

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN  
BİRBİRİNE BAĞLI MİKRO ŞEBEKELERE ETKİLERİNİN OLASILIKSAL  
GÜÇ AKIŞI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdulkerim İSKENDEROĞLU**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer GÜL**

**OCAK 2024**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN  
BİRBİRİNE BAĞLI MİKRO ŞEBEKELERE ETKİLERİNİN OLASILIKSAL  
GÜÇ AKIŞI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdulkerim İSKENDEROĞLU  
(504191058)**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer GÜL**

**OCAK 2024**



**ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL**

**INVESTIGATING THE IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES AND  
RENEWABLE ENERGY SOURCES ON NETWORKED MICROGRIDS USING  
PROBABILISTIC POWER FLOW**

**M.Sc. THESIS**

**Abdulkerim İSKENDEROĞLU  
(504191058)**

**Department of Electrical Engineering**

**Electrical Engineering Programme**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer GÜL**

**JANUARY 2024**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 504191058 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Abdulkerim İSKENDERÖĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BİRBİRİNE BAĞLI MİKRO ŞEBEKELERE ETKİLERİNİN OLASILIKSAL GÜÇ AKIŞI İLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. Ömer GÜL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Ramazan ÇAĞLAR** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Alparslan ZEHİR** .....  
Marmara Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      : 5 Ocak 2024  
**Savunma Tarihi**   : 26 Ocak 2024





*Desteklerini esirgemeyen aileme,*



## ÖNSÖZ

Tez çalışmasında destekleri ve yol göstermelerinden dolayı danışmanım Doç.Dr. Ömer GÜL'e teşekkür ediyorum. Tezin hazırlanması sürecinde yardımlarından dolayı Doç.Dr. Erdem CÜCE'ye teşekkür ediyorum. Yüksek lisans süreci boyunca anlayışları nedeniyle Doç.Dr. Hasan Eroğlu'na, Doç.Dr. Fatih GÜL'e, Prof.Dr. Eyüp Fahri KESKENLER'e ve Arş.Gör.Dr. Caner MURAT'a teşekkürlerimi sunuyorum. En çok da eğitim hayatım boyunca yanımda olan aileme teşekkür ediyorum.

Ocak 2024

Abdulkerim İskenderoğlu  
(Araştırma görevlisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                                                                       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖNSÖZ .....                                                                                                                           | ix    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                                                     | xi    |
| KISALTMALAR .....                                                                                                                     | xiii  |
| SEMBOLLER .....                                                                                                                       | xv    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                                                                                 | xvii  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                                                                   | xix   |
| ÖZET .....                                                                                                                            | xxi   |
| SUMMARY .....                                                                                                                         | xxiii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                                                        | 1     |
| 1.1 Tezin Amacı ve Hedefi .....                                                                                                       | 3     |
| 1.2 Literatür Araştırması .....                                                                                                       | 4     |
| 1.2.1 Rüzgâr ve fotovoltaik güç üretiminin şebeke üzerindeki etkileri .....                                                           | 4     |
| 1.2.2 Elektrikli araçların şebekeye etkileri .....                                                                                    | 6     |
| 1.2.3 Olasılıksal güç akışını hızlandırma çalışmaları .....                                                                           | 7     |
| 1.3 Tezin Yapısı .....                                                                                                                | 8     |
| 2. TEORİ .....                                                                                                                        | 9     |
| 2.1 Hat Kapasitelerinin Hesaplanması .....                                                                                            | 9     |
| 2.2 Deterministik Güç Akışı .....                                                                                                     | 10    |
| 2.3 Üretim ve Tüketimlerin Modellenmesi .....                                                                                         | 12    |
| 2.3.1 Tüketimlerin modellenmesi .....                                                                                                 | 12    |
| 2.3.2 Elektrikli araçların modellenmesi .....                                                                                         | 13    |
| 2.3.3 Senkron makine modellenmesi .....                                                                                               | 14    |
| 2.3.4 Fotovoltaik üretimlerin modellenmesi .....                                                                                      | 14    |
| 2.3.5 RES üretimlerin modellenmesi .....                                                                                              | 16    |
| 2.4 Monte Carlo Simülasyonu .....                                                                                                     | 17    |
| 2.5 Olasılıksal Güç Akışı .....                                                                                                       | 17    |
| 2.6 Mikro Şebekeler .....                                                                                                             | 19    |
| 3. OLASILIKSAL GÜÇ AKIŞI PROGRAMININ OLUŞTURULMASI .....                                                                              | 21    |
| 3.1 Programın Geliştirilmesi ve Genel Bilgiler .....                                                                                  | 21    |
| 3.2 Ana Program .....                                                                                                                 | 21    |
| 3.3 Simülasyonların Yapılması ve Sonuçların Kaydedilmesi .....                                                                        | 23    |
| 3.4 Elde Edilen Sonuçların Görselleştirilmesi ve Kaydedilmesi .....                                                                   | 27    |
| 4. DURUM ANALİZLERİ .....                                                                                                             | 35    |
| 4.1 Senaryo 1: Geliştirilen Programın Test Edilmesi .....                                                                             | 35    |
| 4.2 Senaryo 2: Birbirine Bağlı Mikro Şebekelerden Oluşan Test Sisteminde Baz Durum Analizi .....                                      | 42    |
| 4.3 Senaryo 3: Birbirine Bağlı Mikro Şebekelerden Oluşan Test Sistemine Elektrikli Araç Entegrasyonu .....                            | 50    |
| 4.4 Senaryo 4: Birbirine Bağlı Mikro Şebekelerden Oluşan Test Sistemine Elektrikli Araç Entegrasyonu ve Bölge Kapatmanın etkisi ..... | 58    |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. TARTIŞMA .....</b>                                                          | <b>67</b> |
| 5.1 Elde Edilen Bulguların Özeti.....                                             | 67        |
| 5.2 Çalışmanın Sınırlamaları .....                                                | 67        |
| 5.3 Elde Edilen Bulguların Detaylı Olarak İncelenmesi .....                       | 68        |
| 5.4 Elde Edilen Bulguların Literatürdeki Diğer Araştırmalar ile Karşılaştırılması | 69        |
| 5.5 Yapılan Çalışmanın Literatüre Katkısı .....                                   | 70        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                               | <b>71</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                             | <b>75</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                                | <b>81</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                             | <b>85</b> |



## KISALTMALAR

|                         |                                                                                                     |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AB</b>               | : Avrupa Birliği                                                                                    |
| <b>DA</b>               | : Doğru Akım                                                                                        |
| <b>EA</b>               | : Elektrikli Araç                                                                                   |
| <b>EEA</b>              | : Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency)                                                 |
| <b>EIA</b>              | : ABD Enerji Bilgi İdaresi (U.S. Energy Information Administration)                                 |
| <b>EN50160</b>          | : Genel elektrik şebekeleri tarafından sağlanan elektriğın gerilim karakteristikleri standardı      |
| <b>EPIAŞ</b>            | : Enerji Piyasaları İşletme A.Ş                                                                     |
| <b>IEA</b>              | : Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)                                          |
| <b>IEEE</b>             | : Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers) |
| <b>IRENA</b>            | : Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency)                  |
| <b>MCS</b>              | : Monte Carlo Simülasyonu (Monte Carlo Simulation)                                                  |
| <b><math>n_s</math></b> | : Döngü sayısı                                                                                      |
| <b>OpenCL</b>           | : Açık Hesaplama Dili (Open Computing Language)                                                     |
| <b>p.u.</b>             | : Birim Değer (Per Unit)                                                                            |
| <b>PG&amp;E</b>         | : Pasifik Gaz ve Elektrik Şirketi (Pacific Gas and Electric Company)                                |
| <b>PQ(Bara)</b>         | : Tüketim barası (Load Bus)                                                                         |
| <b>PSS/E</b>            | : Mühendislik için güç sistemi simülatörü (Power system simulator for engineering)                  |
| <b>PV</b>               | : Fotovoltaik (Photovoltaic)                                                                        |
| <b>PV(Bara)</b>         | : Üretim barası (Generator Bus)                                                                     |
| <b>RES</b>              | : Rüzgâr Enerji Santrali                                                                            |
| <b>SG</b>               | : Senkron generatör (Synchronous generator)                                                         |
| <b>VA</b>               | : Volt-amper                                                                                        |
| <b>VA<sub>r</sub></b>   | : Volt-amper reaktif                                                                                |
| <b>W</b>                | : Vat (Watt)                                                                                        |
| <b>WT</b>               | : Wind turbine                                                                                      |



## SEMBOLLER

|                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| $\mu$                | : Beklenen değer              |
| $\sigma$             | : Standart sapma              |
| $\sigma^2$           | : Varyans                     |
| $\delta$             | : Gerilimin açısı             |
| $\beta$              | : Akımın açısı                |
| $\delta_n, \delta_k$ | : Bara gerilimlerinin açıları |
| $P_k$                | : Aktif güç                   |
| $Q_k$                | : Reaktif güç                 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1 : Değiştirilmiş 9 baralı test sisteminin gerilim büyüklükleri ve açıları. . | 37 |
| Çizelge 4.2 : Senaryo 1'in simülasyon süresi. ....                                      | 37 |
| Çizelge 4.3 : Senaryo 2'nin simülasyon süresi. ....                                     | 44 |
| Çizelge 4.4 : Senaryo 3'ün simülasyon süresi. ....                                      | 51 |
| Çizelge 4.5 : Hatlarda akan gücün hat limitlerini aşma ihtimalleri. ....                | 56 |
| Çizelge 4.6 : Senaryo 4'ün simülasyon süresi. ....                                      | 58 |
| Çizelge 4.7 : Hatlarda akan gücün hat limitlerini aşma ihtimalleri. ....                | 64 |
| Çizelge A.1 : Üretim değerleri. ....                                                    | 81 |
| Çizelge A.2 : Mikro şebekeler arasındaki bağlantı hattı verileri. ....                  | 81 |
| Çizelge A.3 : Bara yük verileri. ....                                                   | 82 |
| Çizelge A.4 : Hat verileri. ....                                                        | 83 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Güç üçgeni.....                                                                                      | 10 |
| Şekil 2.2 : Tipik bir normal dağılım grafiği.....                                                                | 12 |
| Şekil 2.3 : Tipik bir Gauss karışım dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği. ....                    | 14 |
| Şekil 2.4 : Tipik bir beta dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği. ....                             | 15 |
| Şekil 2.5 : Tipik bir Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği. ....                          | 16 |
| Şekil 2.6 : Çalışmada kullanılan birbirine bağlı mikro şebekelerden oluşan sisteminin basit blok gösterimi. .... | 19 |
| Şekil 3.1 : Ana programın akış şeması. ....                                                                      | 22 |
| Şekil 3.2 : Simülasyon programının akış şeması.....                                                              | 24 |
| Şekil 3.3 : Sonuç görselleştirme programının akış şeması. ....                                                   | 28 |
| Şekil 4.1 : 9 baralı test sisteminin tek hat şeması. ....                                                        | 36 |
| Şekil 4.2 : Bara gerilim genlikleri dağılımları. ....                                                            | 38 |
| Şekil 4.3 : Bara gerilim açıları dağılımları. ....                                                               | 39 |
| Şekil 4.4 : Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları.....                                                     | 39 |
| Şekil 4.5 : Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları. ....                                                  | 40 |
| Şekil 4.6 : Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları. ....                                                | 41 |
| Şekil 4.7 : Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları dağılımları. ....                                              | 41 |
| Şekil 4.8 : Hatların kapasite kullanımı dağılımları. ....                                                        | 42 |
| Şekil 4.9 : Test sisteminin tek hat şeması. ....                                                                 | 43 |
| Şekil 4.10 : Bara gerilim genlikleri dağılımları. ....                                                           | 45 |
| Şekil 4.11 : Bara gerilim açıları dağılımları. ....                                                              | 45 |
| Şekil 4.12 : Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları. ....                                                   | 46 |
| Şekil 4.13 : Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları. ....                                                 | 46 |
| Şekil 4.14 : Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları. ....                                               | 47 |
| Şekil 4.15 : Hatların kapasite kullanımı dağılımları. ....                                                       | 48 |
| Şekil 4.16 : 301-302 numaralı baralar arasında akan aktif güç akışının dağılımı. ....                            | 48 |
| Şekil 4.17 : 301-302 numaralı baralar arasında akan reaktif güç akışının dağılımı. ....                          | 49 |
| Şekil 4.18 : Bölgelerde oluşan aktif güç kayıpları dağılımları. ....                                             | 49 |
| Şekil 4.19 : Bölge 4 üzerinde oluşan aktif güç kaybının dağılımı. ....                                           | 50 |
| Şekil 4.20 : Elektrikli araçlar eklenmiş test sistemi.....                                                       | 51 |
| Şekil 4.21 : Bara gerilim genlikleri dağılımları. ....                                                           | 52 |
| Şekil 4.22 : Bara gerilim açıları dağılımları. ....                                                              | 52 |
| Şekil 4.23 : Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları. ....                                                   | 53 |
| Şekil 4.24 : Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları. ....                                                 | 54 |
| Şekil 4.25 : Bölgelerde oluşan aktif güç kayıpları dağılımları. ....                                             | 54 |
| Şekil 4.26 : Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları. ....                                               | 55 |
| Şekil 4.27 : Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları dağılımları. ....                                             | 55 |
| Şekil 4.28 : Hatların kapasite kullanımı dağılımları. ....                                                       | 56 |
| Şekil 4.29 : 201-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı. ....                          | 57 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.30 : 301-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı.              | 57 |
| Şekil 4.31 : 301-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı               | 58 |
| Şekil 4.32 : Bara gerilim genlikleri dağılımları. ....                                          | 59 |
| Şekil 4.33 : Bara gerilim açıları dağılımları. ....                                             | 60 |
| Şekil 4.34 : Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları.....                                   | 60 |
| Şekil 4.35 : RES'lerden üretilen gücün en yüksek olduğu baraya bağlı hattan akan aktif güç..... | 61 |
| Şekil 4.36 : Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları.....                                 | 62 |
| Şekil 4.37 : Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları. ....                              | 62 |
| Şekil 4.38 : Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları dağılımları. ....                            | 63 |
| Şekil 4.39 : Hatların kapasite kullanımı dağılımları. ....                                      | 64 |
| Şekil 4.40 : 301-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı.              | 65 |
| Şekil 4.41 : 303-304 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı.              | 65 |
| Şekil 4.42 : Bölgeler üzerinde oluşan aktif güç kayıpları dağılımları. ....                     | 66 |



# **YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BİRBİRİNE BAĞLI MİKRO ŞEBEKELERE ETKİLERİNİN OLASILIKSAL GÜÇ AKIŞI İLE İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Güneş ve rüzgâr gibi sürekli olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması, elektrik şebekesindeki belirsizlikleri arttırmıştır. Bu duruma ek olarak elektrikli araçların sayısı her geçen gün artmaktadır. Elektrikli araçların şarja takılış saatleri, katettikleri mesafe ve kilometre başına tükettiği enerjilerin farklı olması tüketecekleri güçlerin belirsiz olmasına sebep olmaktadır. Artan bu belirsizliklerin şebekeye etkisini deterministik yöntemlerle incelenmesi konusunda yetersizlikler bulunmaktadır. Bu nedenle, stokastik yöntemler kullanılarak değişken giriş durumlarına bağlı olarak çıkışlarda oluşan değerlerin daha etkin bir şekilde analiz etmek gerekir. Bu çalışmada stokastik yöntem olarak olasılıksal güç akışı seçilmiştir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha yüksek doğrulukta sonuçlar veren Monte Carlo simülasyonu (MCS) ile birbirlerine bağlı mikro şebekelerden oluşan bir test sistemi üzerinde senaryo bazlı çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem deterministik güç akışını yüksek tekrar sayıları ile art arda yaparak sonuçlarını kaydetmektedir. Bilgisayarların artan işlem gücü sayesinde Monte Carlo simülasyonları çok daha hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

Mikro şebekeler, çeşitli dağıtık üretimleri, tüketimleri ve enerji depolama sistemlerini birbirine entegre eden küçük ölçekli güç sistemleridir. Mikro şebekeler normal durumlarda ana şebekeye bağlı olarak çalışmakta olup gerekli olduğunda şebekeden bağımsız şekilde çalışabilirler. Tez kapsamında yapılan çalışmada birbirine bağlı 4 mikro şebekeden oluşan test sistemi üzerinde simülasyonlar yapılmıştır. Her bir mikro şebeke ayrı bir bölgeyi temsil etmekte olduğu için bölge 1, bölge 2, bölge 3 ve bölge 4 olarak adlandırılmışlardır. Literatürde bu komplekslikte birbirine bağlı mikro şebekeler ile yapılmış bir çalışma yoktur.

Üretimlerde kullanılan fotovoltaiiklerde (PV) beta dağılımı, rüzgâr enerji santrallerinden (RES) üretilen güçte Weibull dağılımı ve senkron makine ile yapılan üretimler ise binom dağılımı kullanarak modellenmiştir. Tüketimler ise normal dağılım kullanılarak modellenmiştir. Elektrikli araçların şarj istasyonları ise Gauss karışım dağılımı kullanılarak modellenmiştir.

Oluşturulan sistem olasılıksal güç akışı sonuçları olan gerilimin büyüklüğünü ve açılarında olan dağılımlarını vermektedir. Benzer şekilde hatlarda akan gücünde dağılımlarını vermektedir. Bunlara ek olarak hatlarda oluşan kayıpları ve mikro şebekelerde oluşan toplam güç kaybını vermektedir. Bu sistem tüm bu işlemleri kapatılan mikro şebekelere bakarak yapmakta ve otomatik olarak sonuçları vermektedir. Eğer arzu edilirse tek hat veya üretimler sistemden çıkarılarak oluşacak olan sonuçlar incelenebilir.

Kullanılan test sisteminde dört mikro şebeke birbirlerine bağlı (enterkonnekte) olarak çalışmaktadır. Bu 4 bölge üzerinde her bir bölgenin kapanmasına sistemin nasıl tepki

verdiğini, hangi hatlarda aşırı yüklenme olduğu, hangi baralarda gerilimin izin verilen değerlerin dışına çıktığı incelenmiştir.

Çalışma senaryo bazlı olarak yapılmıştır. Toplam dört senaryo üzerinde durum analizi yapılmıştır. Bu senaryoların ilki geliştirilen programın doğruluğunu kontrol etmek için benzer bir çalışmada kullanılan değiştirilmiş 9 baralı test sistem kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar baz alınan makalede alınan sonuçlar ile aynı olduğu görüldüğünden diğer durum analizlerine geçilmiştir.

İkinci senaryoda mikro şebekelerden oluşan test sistemine geçilmiştir. Bu senaryoda mikro şebeke test sistemi üzerinde yapılacak olan diğer durum analizleri ile karşılaştırılmak için baz değer olması için sadece test sisteminin hat ve üretim değerlerine göre modellenmiştir. Bu modelleme sırasında fotovoltaiik üretim Beta, RES'lerden üretilen güç Weibull dağılımları ile modellenmiştir. Üretim ve tüketimler normal dağılım kullanılarak modellenmiştir. Bu durumda sistem beklenen şekilde çalışmaktadır ve sınır aşımı olmamaktadır.

Üçüncü senaryoda ise sisteme elektrikli araçlar eklenmiştir. Önceki senaryoda kullanılan üretim ve tüketim modellerine ek olarak elektrikli araçlar Gauss karışım dağılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu senaryo analizi sonucunda bazı hatların taşıma kapasitelerinin dışına çıkıldığı görülmüştür.

Dördüncü senaryoda elektrikli araçların eklendiği bir önceki senaryo üzerinde bir bölge kapatılıp simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan bu değişikliğin şebekeye olan etkileri incelenmiştir. Bu durumda sistemde mevcut olan limit aşımalarına yenileri eklenip diğer bölgelerde genel olarak kapasite kullanımı sınırlarına yaklaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında, birbirine bağlı mikro şebekelere yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların entegresinin etkileri Monte Carlo simülasyonu kullanılarak olasılıksal güç akışı yöntemi ile incelenmiştir. Olasılıksal güç akışı sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrikli araçların getirdiği belirsizliklerin şebekeye olan etkileri daha detaylı bir şekilde görülebilmektedir. Hatların kapasite aşım ihtimalleri ve baralarda oluşabilecek olan gerilim sınırları aşımı ihtimalleri hesaplanmaktadır. Şebeke üzerinde belirli bir bölgelerin herhangi bir nedenle kapanmasının etkilerinin nasıl olabileceği geliştirilen program sayesinde görülebilmektedir. Elektrikli araçların bir şebekeye nasıl etki ettiği daha önceden hesaplanarak hat planlaması yapılabilir. Modernleşen güç şebekesinin stabil ve güvenilir çalışmasını sağlayabilmek için yeni yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

# **INVESTIGATING THE IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES AND RENEWABLE ENERGY SOURCES ON NETWORKED MICROGRIDS USING PROBABILISTIC POWER FLOW**

## **SUMMARY**

Uncertainties in the grid have also increased due to the increase in non-continuous renewable energy sources such as solar and wind. In addition, the increasing use of electric vehicles also puts extra load on the power grid. There needs to be more in observing these increasing uncertainties with deterministic methods. Therefore, it is necessary to observe the output values for different input conditions using stochastic methods. This study chooses probabilistic power flow as a stochastic method. The study was conducted on a micro-grid test system with Monte Carlo Simulation (MCS), giving higher accuracy results than other methods. This method records the results of deterministic power flow with high repetition numbers. With the increasing processing power of computers, Monte Carlo simulations can be performed much faster.

The test system used utilizes interconnected microgrids. Microgrids are small-scale power systems integrating various distributed generation, consumption, and energy storage systems. Microgrids are typically connected to the primary grid and can operate independently from the grid when necessary. In this thesis, simulations were performed on a test system consisting of 4 interconnected microgrids. Since each microgrid represents a separate region, they are named region 1, region 2, region 3, and region 4. This allows us to switch off some MGs and evaluate the system. There needs to be a study in the literature with interconnected microgrids of this complexity.

Photovoltaic (PV) generation is modeled using beta distribution, wind turbine (WT) generation is modeled using Weibull distribution, and synchronous machine generation is modeled using the binomial distribution. Consumption is modeled using the normal distribution. Charging stations of electric vehicles are modeled using Gaussian mixture distribution.

The created system gives the magnitude and angular distributions of the voltage, which are probabilistic power flow results. Similarly, it gives the distribution of the power flowing through the lines. In addition to these, it gives the losses in the lines and the total power loss in the micro-grids. This system performs all these operations by looking at the switched-off micro-grids and automatically gives the results. If desired, a single line or generator can be removed from the system, and the results can be observed.

The developed program consists of two main parts. These consist of performing simulations and graphing the results obtained. These two separate programs contain different functions within themselves. These two programs are called the main program. The developed program runs on MATLAB using the open-source Matpower package program. The purpose of using this package program is to perform power flow analysis. Probabilistic power flow is obtained by performing many deterministic

power flows and recording the results. The probabilistic power flow done in this way is called the Monte Carlo Simulation method. Matpower does not have a function that can perform probabilistic power flow. For this reason, the desired results were obtained using different methods with the developed program.

After the results are obtained and saved, they are visualized and automatically saved in folders. Each simulation is saved in different folders depending on the simulation's running time. Systems with different input values can be simulated using the main program, and results can be obtained. In the main calling program, only the simulated systems' names can be written, and these simulations can be performed in a simple loop. In this way, the simulations run without human input, and the results are saved. The probabilistic distribution values of the amplitude and angles of the obtained busbar voltages are given in this part of the program. Here, distribution fitting is used to fit the values obtained by the variable to the normal distribution. If the production and consumption values are taken as different from the normal distribution, it would not be very reasonable to rely on the data to be obtained in this way. For this reason, both probability density function and cumulative distribution function graphs of all power flow results are obtained and saved in the results folder.

In the test system used, four micro-grids are connected to each other. On these four zones, we observed how the system reacted to the closure of each zone, which lines were overloaded, and which busbars had voltages that exceeded the permissible values.

The limit values used here are taken from the study on which the systems are based. For example, the limit values obtained in studies using networked microgrids were calculated from the current line values. In the system used, the thermal power limit was calculated from the current using the base power value and base voltage values. The probability of exceeding the limits of the apparent power flowing on the lines was calculated using the cumulative distribution function of the data obtained. The values given here are given as percentages.

The study is scenario-based. In the first case analysis, a modified 9-bus test system was used in a similar study to check that the developed program gave correct results. When the results obtained were the same as the baseline study, the other case analyses were started. This study gives the mean and standard deviation values of the power flow results obtained as a table since only the generation and consumption values have a normal distribution. If a network element with generation or consumption values that have a different distribution other than the normal distribution is used in the system, this table may show incorrect or incomplete results.

In the second scenario, only the system is modeled according to the line and production values of the test system to get a base value. In this case, the system works as expected, and there is no limit exceedance. The system data used in this part of the study are in the appendix. Since there are PVs and WTs in the system, the mean and standard deviation values are not given as a table by analyzing the power flow results as a normal distribution. Instead, the distribution of the amplitudes of the bus voltages and the distribution of the angles of the bus voltages are shown using a boxplot. In the boxplot, much more information can be obtained about the results.

In the third case analysis, electric vehicles were added to the system. The distribution of the added electric vehicle charging stations is modeled using Gaussian mixture distribution. These stations only have real power demand. This situation caused some lines to exceed the existing thermal limits. The lines that exceed the thermal limits are

generally the lines at the beginning of the microgrids or the lines connected to the busbars to which the charging stations are connected.

In the fourth case analysis scenario, the effects on the system were observed by closing the 2nd zone on the test system where electric vehicles were added. In this case, new ones were added to the existing limit exceedances in the system, and capacity utilization limits were generally approached in the third region. In addition, it is seen that capacity utilization generally increases in the connection lines between the microgrids. Since Region 2 is a micro-grid where other regions receive the power they need, the line loading in other micro-grids has increased. In this study, the angles of the voltages at the busbars started to lag behind the oscillation busbar. This situation can be prevented by changing the location of the oscillation bar when the regions are switched off.

As a result, this study allows us to foresee the effects of renewable energy sources and electrical vehicles on the power grid. The program developed because of the thesis gives the desired results. The aim of the study was to create a program that can make probabilistic power flow, evaluate it on a system, and obtain the results.

Electric vehicles function as a load. Due to the high power, they can draw instantaneously, they create a load on lines that are generally not loaded on the network. This instantaneous demand can locally cause voltage drops on busbars. Typically, loading on lines without such demand causes the lines to exceed their thermal limits. However, thermal limits can be exceeded for a brief time.

Similarly, the widespread use of sustainable energy sources causes dispersed production. As a result of dispersed production, power starts to flow from lines that generally do not flow too much power. As a result of this situation, lines may exceed their thermal limits. In this case, the lines need to be updated, or additional lines need to be installed.

The developed program can be used for line planning. Before installing renewable energy sources, studies can be conducted in a simulation environment to observe how the grid will react. Considering the existing line capacities, production planning should be done accordingly.

The scenario analyses performed on the test system, in which four micro-grids are interconnected with each other, have addressed in detail how the grid reacts to system shutdowns, in which line overloads occur, and in which busbars voltage values exceed the limits.

The main objective of the study is to analyze the effects of renewable energy sources and electric vehicles on the grid in advance and to offer solutions for foreseeable problems to be encountered in the sector. The issues addressed are of great strategic importance in terms of electric energy planning and grid reliability. This comprehensive analysis provides valuable guidance for a more sustainable, reliable, and efficient management of future energy grids.



## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim maliyetlerinin giderek düşmesi ile toplam enerji üretimi içinde yenilenebilir enerjinin oranları artmaktadır. Devletler yenilenebilir enerji kaynaklarının yayılmasına destek olmak için farklı çalışmalar yapmaktadır ancak yapılan bu destekler yenilenebilir enerji kaynaklarının yükselmesinde yeterli gelmemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında beklenen büyük artış, bu kaynakların kilowatt saat (kWh) başına maliyetin kömür veya benzin gibi geleneksel üretim maliyetinin altına düşmesinden sonra görülecektir.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) 2022 yılında yayınladığı rapora göre 2009-2022 yılları arasında kristal fotovoltaiik modül fiyatları %88 ile %94 arasında azalmıştır. Aynı rapora göre Türkiye'de 2010-2022 yılları arasında şebekeye bağlı PV üretim tesisi kurulma maliyeti %81 oranında düşmüştür. Karada kurulu RES'lerin 2010-2022 yılları arasında kWh başına maliyeti %42 oranında düştüğü görülmüştür [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en azından yakın zamanda tüm enerji üretiminin yerine geçmesini beklemek mantıklı olmayacaktır. Ancak dünyanın bu yönde gitmesinin en önemli sebebi karbon emisyonunu azaltmak ve fosil yakıtlara olan bağların azaltılmasını sağlamaktır. 2022 yılında yaşanan fosil yakıt fiyat krizi yenilenebilir enerjinin önemini göstermektedir [1]. Dünya üzerinde gelişen savaşlar ve politik olaylardan nedeniyle özellikle petrolün ve doğalgazın fiyatı oldukça artmıştır. Bu artışta görece olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetini düşürmektedir.

Avrupa Birliği (AB) 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonunu hedeflemektedir [2]. 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için satılan araçların 2025 yılında %31'nin, 2030 yılında %64'ünün ve 2035 yılında ise %100'ünün elektrikli araç olması gerekmektedir. Verilen veriler yeni satılan araçları belirtmektedir tüm araçların elektrikliye dönmesi zaman alacaktır. Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) 2018 yılında yayınladığı rapora göre elektrikli araçların ürettiği sera gazı emisyonları benzin ve

dizel yakıtlı araçlara göre %17 ile %30 arasında daha azdır. Bu duruma ek olarak elektrikli araçların üretiminde çevreye olan zararlarının gittikçe azalması beklenmektedir. Tipik bir elektrikli aracın tüm emisyonlarının 2050 yılına kadar en az %73 azalması beklenmektedir [3]. Yapılan planlamalar göze alındığında elektrikli araçların kullanımının seviyesinin dünya genelinde yaygınlaşacağını söylenebilir. Avrupa Birliğinde 2022 yılında kaydedilen araçların %22'sini elektrikli araçlar oluşturmaktadır [4].

Ülkemizde ise Sanayi ve Teknoloji bakanlığının Mobilite Araç ve Teknolojileri Stratejik Hedefleri ve Yol Haritasına [5] göre Elektrikli araçların pazar payının %35'e ulaşması beklenmektedir. Ülkemizde başlanan elektrikli araç üretimi girişimleri de bu hedefe ulaşılmasında yardımcı olacaklardır.

Dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrikli araçların kullanım seviyesinin nereye geleceği hakkında projeksiyonlar yapılmaktadır. Ülkemizde Enerji ve Tabii kaynaklar bakanlığının yayınladığı Türkiye Ulusal Enerji Planı'na göre 2020 de RES'lerde 24.8TWh'lik üretilen enerjinin 2035 yılında 90.1 TWh'e ulaşması beklenmektedir. Benzer şekilde 2020 senesinde güneşten üretilen 11 TWh'lik enerjinin 2035 senesinde 84TWh'e ulaşması beklenmektedir [6].

ABD Enerji Bilgi İdaresi'nin (EIA) yayınladığı rapora göre 2050 yılında global olarak enerji üretiminin %50-60 arasında PV ve nükleer enerjiden oluşmasını öngörmektedir [7]. Benzer şekilde Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) yayınladığı raporda 2030 yılında satılacak olan araçların %60'nın elektrikli araçların (EA) oluşturacağını öngörmüştür [8].

Dünyada ve ülkemizde yaşanan enerjinin üretimi ve tüketiminde yaşanan değişiklikler güç sistemlerini incelemekte kullanılan geleneksel yöntemleri yetersiz kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğası gereği sürekli olarak çalışmazlar ve doğa olaylarından etkilenirler. Bu süreksizlik ve belirsizlik, üretimin çoğunun yenilenebilir enerjiden oluşan şebekelerde üretilen gücün değişken olmasına sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ucuzlaması ve küçük ölçeklerde kurulabilmeleri sayesinde şebeke üzerinde dağıtık olarak üretim yapmaktadırlar. Bu durum şebeke üzerinde bara gerilimleri etkilemektedir. Benzer şekilde elektrikli araçların şebekede artması sebebiyle normalde sistemde mevcut olmayan bir yük şebekeye eklenmiştir.

Tüm bu durumlar yeni hatların kurulmasını ve planlama yapılmasını önemli hale getirmiştir.

Artan bu belirsizliklerin deterministik yöntemlerle incelenmesi konusunda yetersizlikler bulunmaktadır. Bu nedenle, stokastik yöntemler kullanılarak değişken giriş koşullarına bağlı olarak çıkışlarda oluşan değerlerin incelenmesi gerekir. Bu çalışmada stokastik yöntem olarak olasılıksal güç akışı seçilmiştir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha yüksek doğrulukta sonuçlar veren ve uygulaması daha basit yöntem olan [9] Monte Carlo Simülasyonu (MCS) ile birbirlerine bağlı mikro şebekeler ile bir test sistemi üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. MCS diğer olasılıksal güç akışı yöntemlerinin doğruluğunu test etmek amacıyla kullanılmaktadır [10]. Bu yöntem deterministik güç akışını yüksek tekrar sayıları ile art arda yaparak sonuçlarını kaydetmektedir. Bilgisayarların artan işlem gücü sayesinde Monte Carlo simülasyonları çok daha hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

Bu tezde önce 9 baralı test sistemi ile simülasyonlar yapıp mevcut bir çalışma [11] ile doğruluğu test edilmiştir. Sonraki aşamada ana çalışma olan birbirine bağlı mikro şebekeler üzerinde çalışma yapılmıştır. Literatürde bu komplekslikte birbirine bağlı mikro şebekeleri kullanılan çalışma bulunmamaktadır. Tez çalışmasında, kullanılan test sisteminde farklı senaryolar oluşturularak olası senaryolar incelenmiştir.

### **1.1 Tezin Amacı ve Hedefi**

Yapılan çalışmanın ana hedefi güç sisteminde ortaya çıkan belirsizlikleri önceden tespit etmek ve güç şebekesinin bu belirsizliklere nasıl tepki vereceğini görmektir.

Güç üretimi ve tüketimi olarak sınırlara bağlı kalmayan bir program oluşturmak amaçlanmıştır. Sayısal yöntemler kullanıldığı için üretim veya tüketim üretim ve tüketim değerleri programa girilirken lineer olmayan bir yük değeri girilebilir. Hat planlamasında kullanılabilecek olan, mevcut hattın farklı üretim senaryolarına nasıl tepki verdiğini incelemekte kullanılabilecek olan ve bir bölgenin kapalı olması halinde şebekenin nasıl tepki vereceğini de gösterebilecek bir program geliştirmek amaçlanmıştır.

## 1.2 Literatür Araştırması

Literatürde olasılıksal güç akışı üzerinde yapılan çalışmalar bu bölümde kısaca açıklanacaktır. Çalışmalar konularına göre alt başlıklara ayrılmıştır.

### 1.2.1 Rüzgâr ve fotovoltaik güç üretiminin şebeke üzerindeki etkileri

Olasılıksal güç akış analizi Constantin ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada iletim hatlarının planlanmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada 10 sene boyunca tüketim değerinin her yıl %2 artacağı göz önüne alınarak simülasyonları yapmışlardır. Daha önceden geliştirilmiş bir programı kullanarak 14 baralı test sistemi üzerinde Monte Carlo Simülasyonu yöntemini kullanmışlardır [12].

Van Ky Huynh ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada temel bileşenler analizi ve diferansiyel evrim kümeleme yöntemi kullanılarak farklı bir kümeleme metodu geliştirilmişlerdir. Geliştirdikleri metodu IEEE 118 baralı test sistemi üzerinde test edip aldıkları sonucu Monte Carlo Simülasyonu ile aldıkları sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmalarına yenilenebilir enerji sistemlerini de entegre etmişlerdir [13].

Meghdad Tourandaz Kenari ve diğerleri tarafından birleşik kümülanlar ve Laplace dönüşümü kullanılarak yeni bir olasılıksal yük akışı metodu geliştirilmiştir. Yazarlar tarafından geliştirilen bu metot sürekli dağılım fonksiyonuna sahip olan dağılımlar ile kullanılabilir. Matpower 9 ve 118 baralı test sistemlerini kullanarak önerdikleri metodunu test etmişlerdir. Bu sonuçlarını Monte Carlo Simülasyonu ve maksimum entropi ile birleştirilmiş kümülanlar yöntemi ile karşılaştırmışlardır [11].

Daniel Villanueva ve diğerleri tarafından rüzgârdan üretilen gücün şebekeye etkisi olasılıksal güç akışı kullanılarak incelenmiştir. Rüzgâr üretiminden şebekeye aktarılan güç miktarını, rüzgâr türbininin güç eğrisinin 4. Dereceden yaklaşımını kullanarak hesaplamışlardır. Olasılıksal yük akışını analitik olarak konvolüsyon kullanarak yapmışlardır. Buda sadece sürekli dağılıma sahip kaynaklarla çalışabilecekleri anlamına gelmektedir. Kolaylık olması açısından doğru akım güç akışı ile hesaplamaları yapmışlardır. Test sistemleri olarak IEEE 14 RTS ve IEEE 96-RTS kullanmışlardır. Önerdikleri metot ile aldıkları sonuçları Monte Carlo yöntemi ile alınan sonuçlar ile karşılaştırmışlardır [14].

Mohammad Alzubaidi ve diğerleri tarafından rüzgârdan üretilen güçte ve tüketim değerlerinde bulunan belirsizliklerinin güç sistemine olan etkilerini olasılıksal yük akışı analizi kullanarak incelemişlerdir. DigSilent programı üzerinde bulunan dinamik yüklerin seviyelerini değiştirerek ve rüzgârdan üretilen gücü Weibull dağılımı kullanarak modellemişlerdir. Olasılıksal yük akışı analizini Monte Carlo simülasyonu kullanarak yapmışlardır. Testleri IEEE 39 baralı test sistemi üzerinde yapmışlardır. RES'lerin ve değişken yükün sistemdeki baraların gerilimlerine olan etkilerini incelemişlerdir [15].

Fotovoltaik üretim içeren dağıtım şebekeleri üzerine etkilerini Avrupa'nın dağıtım şebekesi standartlarına göre incelemesini Conti S. ve diğerleri 2007 senesinde yapmıştır. Bu çalışmada fotovoltaik güç üretiminin dağıtık hale gelmesinin şebekeye olan etkileri incelenmiş ve EN50160 [16] standardına göre baraların gerilimlerine etkilerini incelemişlerdir. Olasılıksal yük akış analizini Monte Carlo simülasyonu kullanarak yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda deterministik güç akışı sonucunda üretilen fotovoltaik gücün olasılıksal güç akışına göre çok daha yüksek çıktığı görülmüştür. Olasılıksal güç akışının fotovoltaik gücün dağıtık üretim yapılması halinde geleneksel yöntemlere göre çok sistemin tepkilerini çok daha detaylı olarak verebildiklerini görmüşlerdir [17].

RES ve fotovoltaik güçlerin korelasyonunu içeren hibrit güç sistemleri üzerine optimal olasılıksal güç akışını Morteza Aien ve diğerleri 2014 senesinde yapmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasından dolayı artan dağıtık üretimin güç sistemine olan etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada fotovoltaik ve RES'lerin güç üretimleri arasında korelasyon kullanılmıştır. 2 nokta tahmini yönteminde bazı değişiklikler yaparak lineer olmayan rastgele değişkenleri lineer hale getirmişlerdir. Çalışmalarını 6 baralı 'Wood and Woollenberg' ve 30 baralı Matpower test sistemi üzerinde denemişlerdir. Önerdikleri yöntemden elde ettikleri sonuçları Monte Carlo simülasyonundan aldıkları sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Aldıkları sonuçlarda önerdikleri yöntemin Monte Carlo simülasyonuna yakın sonuçlar aldıklarını görmüşlerdir. Ancak lineerleştirme kullandıkları için jeneratör limitleri ve dağıtık üretime sahip üretim elemanları kullanıldığında elde edilen dağılımlar gerçekten çok uzakta olduğunu incelemişlerdir [18].

Zhouyang Ren ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada stokastik yüzey yanıt yöntemi kullanarak güç akışı yapılmıştır. Bu yöntemde normal dağılıma sahip olmayan RES ve

fotovoltaik üretimleri arasında korelasyonlarda modellenmiştir. Önerilen metot IEEE 14 ve 57 baralı test sistemleri kullanılarak denenmiştir. Önerilen metotla alınan sonuçlar Monte Carlo Simülasyonu ve nokta tahmini metodu ile karşılaştırılmıştır [19].

### **1.2.2 Elektrikli araçların şebekeye etkileri**

RES ve elektrikli araçlarının sisteme olan etkilerini incelemek için J.G Vlachgiannis tarafından 2009 yılında bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hibrit öğrenme otomasyonu sistemi kullanılarak sistemi kullanılarak elektrikli araçların tüketim ve üretimlerinin olasılıksal modeli oluşturulmuştur. RES'lerden üretilen güç ile elektrikli araçların arasında yeni bir korelasyon formülü geliştirilip 14 baralı test sistemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır [20].

H. Palahalli ve diğerleri elektrikli araç şarj istasyonlarının orta gerilim dağıtım şebekesine olan etkilerini yaptıkları çalışmada incelemişlerdir. Test sistemi olarak orta gerilim dağıtım şebekesi olan 69 baralı sistemi kullanmışlardır. Elektrikli araçları yük barası olarak sisteme entegre etmişlerdir. Elektrikli araçların tüketim modellerini gerçek tüketim verilerinden modellemişlerdir. Olasılıksal güç akışı yöntemi olarak Monte Carlo simülasyonunu kullanmışlardır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye olan etkilerini saat bazlı incelemişlerdir [21].

Önder Polat ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada Elektrikli araçların dağıtım şebekesine olan etkisi incelemişlerdir. Monte Carlo simülasyonunu elektrikli araçların şarj olma sürelerini hesaplarken kullanmışlardır. Bu hesaplamalar sırasında şarj süresinin başlangıç ve bitişini, elektrikli araçların gün içinde katettiği mesafeyi ve şebekeye hangi fazdan bağlandıkları dikkate alınmıştır. Yazarlar çalışmalarında tüm araçların içinde elektrikli araçların oranını arttırarak dağıtım şebekesine olan etkisi incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda mevcut araçların %50'sinin elektrikli araçların oluşturması durumunda, bara gerilimlerinde meydana gelebilecek limit ihlali ihtimallerinin yaklaşık %25 arttığını tespit etmişlerdir. [22].

Elektrikli araç şarj istasyonlarının RES'lerle beslenmesini Sunoh Kim ve J. Hur tarafından yaptıkları çalışmada incelemişlerdir. Burada ada üzerinde bulunan RES'lerin güç çıkışlarını Weibull dağılımı kullanarak modellemişlerdir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının güç taleplerini ise iki normal dağılımın birleşiminden oluşan Gauss karışım dağılımı kullanılmıştır. Güç akış analizini Python bazlı PSS/E ile

yapmışlardır. Yazarlar sonuç olarak adada 2030 yılına kadar tüm elektrikli araç şarj istasyonu güç talebinin RES'lerle sağlanabileceğini söylemektedirler [23].

Hibrid elektrikli araçların ve fotovoltaik üretiminin şebekeye olan etkisi C. Wu ve diğerleri tarafından incelenmiştir. Elektrikli araçlar ve fotovoltaik üretimlerinin dağılımlarını modellemişlerdir. Yaptıkları modellemeyi saat bazında yapmışlardır. Test sistemi olarak PG&E 69 baralı test sistemini kullanmışlardır. Olasılıksal yük akışında 3 nokta tahmini metodunu baz alan bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri metodu Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırmışlardır. Aldıkları sonuçlarda önerdikleri modelden aldıkları sonuçları Monte Carlo simülasyonundan daha hızlı aldıklarını ancak doğruluğunun daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır [24].

### **1.2.3 Olasılıksal güç akışını hızlandırma çalışmaları**

Morad Abdelaziz tarafından Monte Carlo Simülasyonlarını grafik işlem birimlerini kullanarak hızlandırmak üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada OpenCL kullanılarak grafik işlem birimi üzerinde paralel olarak simülasyonları yapmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgârı iki farklı dağılım olarak alıp 33 baralı dağıtım test sistemi üzerinde simülasyonları yapmıştır. Aynı çalışmayı işlemci ve grafik işlem birimi üzerinde gerçekleştirerek sürelerini karşılaştırılması yapılmıştır. Grafik işlem birimi üzerinde işlemlerin yapıldığında işlemciye nazaran 20,3 kat hızlanma tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma MCS yönteminin gerekli işlem gücünün modern sistemler ve yöntemler ile aşılabildiğini göstermektedir [25].

Güç sistemlerinde topolojik belirsizliklerini olasılıksal güç akışı ile analizini Liang Min ve diğerleri 2007 yılında yapmıştır. Gram-Charlier genişleme ve Kümülanlar yöntemlerini birleştirerek olasılıksal güç akışını hesaplayan yeni bir yöntem kullanılmıştır. Üretim ve tüketim değerlerini dağıtım faktörü kullanarak lineer hale getirmişlerdir. IEEE 30 baralı iletim şebekesi üzerinde yaptıkları bu yöntemi denemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada yazarların önerdiği metot ile Monte Carlo simülasyonundan alınan sonuçları karşılaştırılmışlardır. Buldukları sonuçlar Monte Carlo simülasyonu metoduna göre daha hızlı sonuç vermekte ancak yapılan basitleştirmeler sonucunda simülasyonun doğruluğu bozulmuştur. Önerdikleri metot küçük ve lineer sistemlerde çalışmakta olup büyük sistemlerde çalışmakta sorun yaşadığı sonucuna varmışlardır [26].

### 1.3 Tezin Yapısı

Tezin ikinci bölümünde olasılıksal güç akışı programında kullanılan yöntemler ve denklemler açıklanacaktır. Üçüncü bölümde geliştirilen programın nasıl geliştirildiği, hangi aşamadan geçildiği, kullanılan paket programlar, geliştirilen programın akış şeması, programın kabiliyetleri gibi konular ele alınıp açıklanacaktır. Dördüncü bölümde geliştirilen programın doğru sonuçlar aldığı test edilecektir. Sonraki aşamada birbirine bağlı mikro şebekelerden oluşan test sisteminde farklı senaryolar oluşturulup simülasyonlar yapılacaktır. Yapılan bu simülasyonlardan elde edilen bulgular aynı bölüm içerisinde verilecektir. Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar yorumlanacaktır. Altıncı bölümde sonuç ve öneriler ele alınacaktır.



## 2. TEORİ

Bu bölümde sırasıyla, güç akışının temel bileşenleri, yüklerin ve üretimlerin nasıl modellendiği, hatların kapasitelerinin hesaplanması, olasılıksal yük akışının temelleri, Monte Carlo simülasyonu yöntemi ve mikro şebeke güç sistemleri açıklanmıştır.

### 2.1 Hat Kapasitelerinin Hesaplanması

Yapılan tez çalışması kapsamında hatların kapasitelerinin hesaplanması hattın geçen görünür gücün hesaplanması ile başlamaktadır. Hattın geçen görünür gücü hesaplamak için karşılıklı olarak hattın akan görünür güç hesaplanıp bu değerlerin en büyüğü alınmaktadır. Görünür güç ise aktif ve reaktif güçlerin karesini alıp topladıktan sonra karekökü alarak elde edilir. Bu işlem denklem 2.1’de gösterilmiştir.

$$S_{maks} = \max \left( \left( \sqrt{P_f^2 + Q_f^2} \right), \left( \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} \right) \right) \quad (2.1)$$

Burada:

- $S_{maks}$ , Hattın akan en büyük görünür gücü
- $P_f$  ve  $Q_f$ , baz alınan baradan çıkış yönündeki aktif ve reaktif gücü,
- $P_t$  ve  $Q_t$ , baz alınan baraya giriş yönündeki aktif ve reaktif gücü belirtmektedir.

Hatların yüklenmeleri ise hat limitleri kullanarak elde edilmektedir. Hat yüklenmeleri denklem 2.2’de olduğu gibi yüzde cinsinden hesaplanır.

$$hat\ yuklenmesi(\%) = \frac{Maks.\ gorunur\ guc(MVA)}{Hat\ limiti(MVA)} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada dikkat edilmesi gereken bir hat üzerinde belirtilen limitlerin anlık olarak aşımı güç sistemi için bir sorun teşkil etmeyebilir. Burada Seyede Fatemeh ve diğerleri [27] tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi hattın akan gücün dağılıma göre dinamik bir şekilde hat koruması yapılabilir.

## 2.2 Deterministik Güç Akışı

Güç akışı dengeli ve sürekli hal koşullarındaki bir güç sisteminin, belirlenen bir çalışma koşulu altında bara gerilimlerinin genliğini, açısını, hatlardan aktif ve reaktif gücü hesaplamak için kullanılır. Ayrıca sistem üzerindeki her bir elemanda oluşan gerçek ve reaktif kayıpları hesaplamaktadır. Güç akışı analizleri, sistem planlanmasında, n-1 analizlerinde kullanılmaktadır. Deterministik güç akışında sistem tek bir çalışma koşulu altında incelendiği için değişken bir yapıya sahip olan üretim ve tüketim değerleri kullanılamamaktadır.

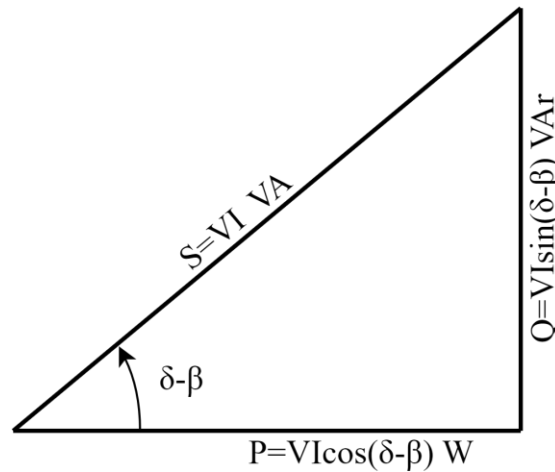
İki devre elemanı arasında akan kompleks güç denklemi 2.3'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} S &= VI^* = [V\angle\delta][I\angle\beta]^* = V I\angle(\delta - \beta) \\ &= VI \cos(\delta - \beta) + jVI \sin(\delta - \beta) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Burada devre elemanı üzerinde oluşan gerilim  $V\angle\delta$  ile gösterilir. Devre elemanına giren akım ise  $I\angle\beta$  ile gösterilir. Burada  $(\delta - \beta)$  gerilim ve akım arasındaki açıdır. Kompleks güç, gerilim ve akımın kompleks eşleniği ile çarpılması ile elde edilir. Aktif ve reaktif güç denklemleri yerine yazıldığı zaman görünür güç denklem 2.4'te olduğu gibi tanımlanabilir [28].

$$S = P + jQ \quad (2.4)$$

Burada S görünür gücü, P aktif gücü ve Q ise reaktif gücü tanımlamaktadır. Kompleks gücün genliği görünür gücü vermektedir. Görünür gücün birimi volt-amper (VA), aktif gücün birimi Watt (W) ve reaktif gücün birimi ise volt-amper reaktiftir (VAR). Görünür güç, aktif güç, reaktif güç, V, I,  $\beta$  ve  $\delta$  arasındaki ilişki Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Güç üçgeni.

N+1 sayıda baraya sahip olan şebekenin düğüm gerilimleri denklem 2.5'te olduğu gibi gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & \cdots & Y_{2N} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & \cdots & Y_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & Y_{N3} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{10} \\ V_{20} \\ V_{30} \\ \vdots \\ V_{N0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Ya da verilen bu denklem matris gösterimi kullanılarak denklem 2.6'da olduğu gibi kısa şekilde gösterilebilir.

$$\mathbf{YV} = \mathbf{I} \quad (2.6)$$

Denklem 2.4'te verilen denklemde Y bara admitans matrisini, V bara gerilimleri ve I ise bara akımlarını göstermektedir. Burada eksen üzerinde bulunan  $Y_{kk}$  elemanı k barasına bağlı olan toplam admitans değerini vermektedir. Eksen dışında bulunan  $Y_{kn}$  elemanları ise k ve n barası arasında bağlı olan admitans değerlerinin negatif toplamalarını temsil etmektedir [29]. Kompleks güç, denklem 2.3 ve denklem 2.4 kullanılarak denklem 2.7'de olduğu gibi tanımlanabilir.

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \quad (2.7)$$

Gerilim ve admitans değerleri denklem 2.7 ve denklem 2.8'de olduğu gibi tanımlanabilir.  $Y_{kn}$  Değeri admitans matrisinden 2.5'ten alınmıştır.

$$V_k = V_k e^{j\delta_k} \quad (2.8)$$

$$Y_{kn} = Y_{kn} e^{j\theta_{kn}} \quad (2.9)$$

N Baraya sahip bir sistem için herhangi k barası için güç sistemi denklemleri 2.9 ve denklem 2.10'da verilmiştir.

$$P_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (2.10)$$

$$Q_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (2.11)$$

Burada  $P_k$  aktif gücü,  $Q_k$  ise reaktif gücü göstermektedir. Burada verilen denklem her bir düğüm için yazıldığında güç akış denklemleri oluşmaktadır. Oluşan bu denklemler lineer değildir ve numerik yöntemler kullanılarak çözümlenebilir. Bu çalışmada verilen bu denklemler Newton-Raphson yöntemiyle Matpower [30] kullanılarak çözülmüştür.

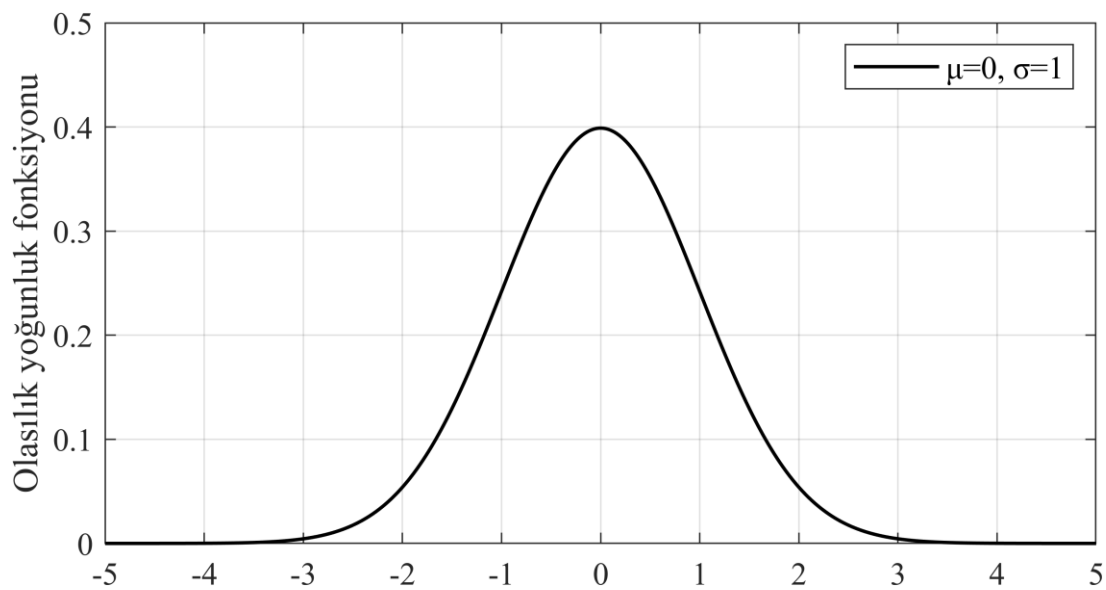
### 2.3 Üretim ve Tüketimlerin Modellenmesi

Üretim ve tüketimler olasılıksal güç akışında kullanmak üzere tarihsel verileri kullanılarak en uygun şekilde dağılımlara benzetilebilir. Her bir üretim tüketim kendine has bir şekilde davranış göstermektedir. Bu nedenle her biri için en uygun dağılımlar bu bölüm içerisinde açıklanacaktır.

#### 2.3.1 Tüketimlerin modellenmesi

Tüketim modelini basitleştirmek adına normal dağılım kullanıldı. Olasılıksal güç akışında bara yükleri genellikle normal dağılım ile tanımlanır. Normal dağılım Matlab üzerinde rastgele sayı üretici fonksiyonu elde edildi.  $\mu$  (Ortalama) ve  $\sigma$  (Standart sapma) değerlerini belirlerken mevcut çalışmalar baz alındı. Ortalama değer olarak talebin kendi değeri,  $\sigma$  değeri olarak ise yükün %5'i alındı [19].

Tipik bir normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği Şekil 2.2'de verilmiştir. Grafik üzerinde ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.



Şekil 2.2 : Tipik bir normal dağılım grafiği.

Tüketim modelinin olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem 2.12’de verilmiştir [31].

$$p(x|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.12)$$

Burada:

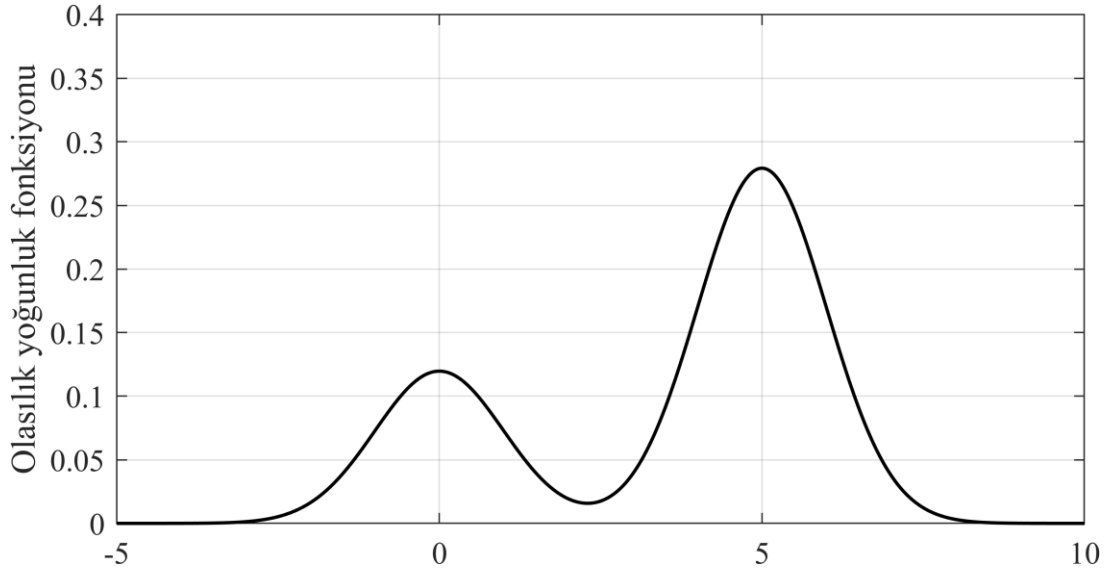
- $p$ , olasılık fonksiyonunu
- $x$ , giriş değeri
- $\mu$ , ortalama değer ya da beklenen değer
- $\sigma^2$ ,  $x$ ’in varyansı.
- $\sigma$ ,  $x$ ’in standart sapmasını belirtmektedir.

### 2.3.2 Elektrikli araçların modellenmesi

Elektrikli araçların şarj taleplerini modellemek için sadece normal dağılım yeterli gelmemektedir. Kim ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada iki farklı normal dağılımı birleştirmek için Gauss karışım dağılımı kullanılmıştır [23]. Gauss karışım dağılımının parametrelerini ise beklenti maksimizasyonu algoritması kullanılarak tespit etmişlerdir. Yazarlar yaptıkları çalışmada elde ettikleri Gauss karışım dağılımı parapetlerini tarihsel veriler kullanarak elde etmişlerdir. Tarihsel veriyi incelediklerinde elektrikli araçların şarj taleplerinin Gauss karışım dağılımı ile temsil edilebileceğini görmüşlerdir.

Tez kapsamında yapılan çalışmada gerçeğe daha yakın olması açısından elektrikli araçların şarj talepleri Gauss karışım dağılımı kullanılarak modellendi. Kullanılan bu dağılımın seçilmesinin ana sebebi elektrikli araçların şarj talepleri katedilen mesafe, elektrikli araçların kilometre başına tükettiği enerji miktarlarındaki farklılıklar, şarja takılış saatleri gibi etkenlere göre değişmektedir. Bu nedenle tez kapsamında yapılan çalışmada elektrikli araçların şarj taleplerini modellerken Kim ve diğerleri [23] tarafından yapılan çalışmadaki Gauss karışım dağılımı kullanılmıştır.

Tipik bir Gauss karışım dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu Şekil 2.3’de verilmiştir. Gauss karışım dağılımı iki tane normal dağılımın birleşiminden oluşmaktadır. Bu durumda grafikte açıkça görülmektedir.



**Şekil 2.3 :** Tipik bir Gauss karışım dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği.

### 2.3.3 Senkron makine modellenmesi

Üretim ünitesi binom dağılımı kullanılarak modellenabilir [11,32]. Literatürde yapılan çalışmalarda genelde lineerleştirme kullanılarak işlemler yapıldığından dolayı binom dağılımı yerine normal dağılım kullanılarak modellenmektedir. MCS yönteminde ayırık bir dağılım olmasının ya da verilen dağılımın lineer olup olmaması önemli değildir. Bundan dolayı senkron makineler binom dağılımı kullanılarak modellenmiştir. Yapılan çalışmalarda sadece sistemi test ederken diğer çalışmalarla aynı işlemleri yapmak adına normal dağılım kullanılarak modelleme yapılmıştır.

Üzerinde test yapılan 9 baralı test sisteminde üretim kısmı normal dağılım kullanılarak modellenmiştir. Senaryo 1 dışında yapılan simülasyonlarda ise ayırık olarak binom dağılımı kullanılarak senkron makineler modellenmiştir. Oluşturulan simülasyon programı üretim ve tüketim kısmını modellerken herhangi bir kısıtlamaya sahip değildir. Gerekli parametreler simülasyon senaryoları kısmında detaylı olarak verilecektir.

### 2.3.4 Fotovoltaik üretimlerin modellenmesi

PV panellerin güç üretimi beta dağılımı kullanılarak modellenebilir [33,34]. Bu çalışmada da PV paneller beta dağılımı kullanılarak modellenmiştir. Benzer bir çalışmada kullandığı gibi Beta dağılımının şekil parametreleri sırasıyla 2,06 ve 2,5 olarak alındı [19]. Benzer çalışmada kullanılan [35] 10MW'lık panellerin güç çıkışları kullanılan test sistemine göre ölçeklenerek uygun hale getirildi.

Beta dağılımının denklemi denklem 2.13'te verilmiştir.

$$f(x|a, b) = \frac{x^{a-1}(1-x)^{b-1}}{B(a, b)} \quad (2.13)$$

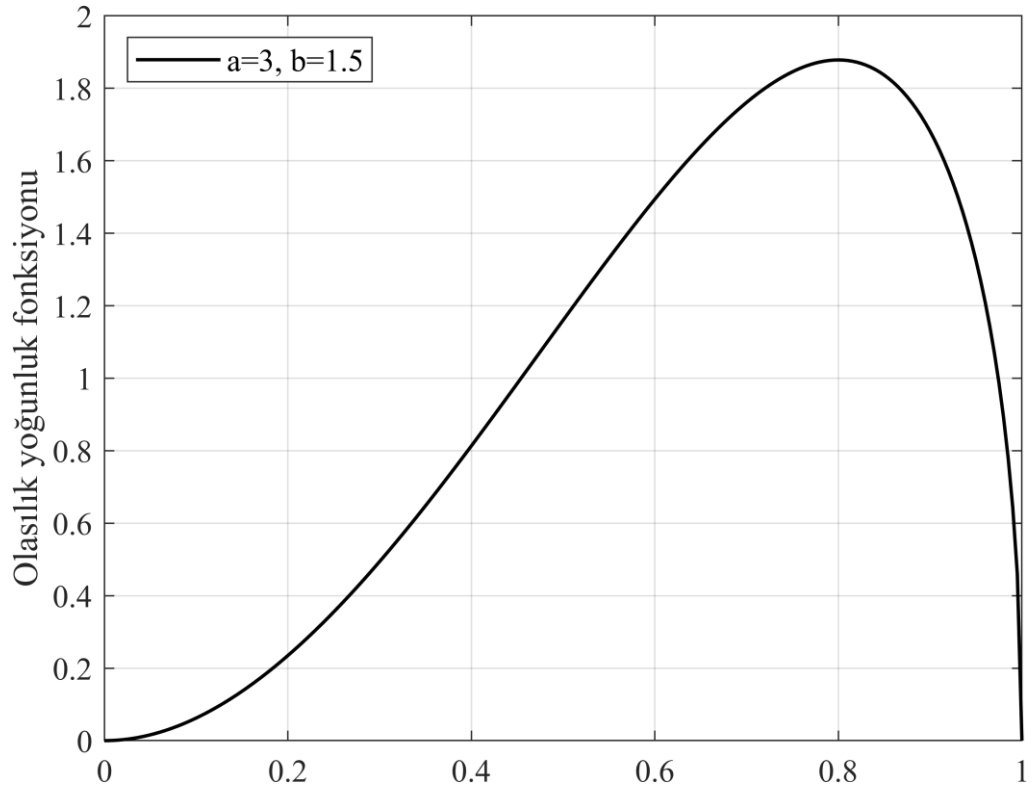
Burada:

- $f$ , olasılık yoğunluk fonksiyonunu,
- $0 \leq x \leq 1$ , incelenmek istenilen değişkeni,
- $a > 0$ , ilk şekil parametresini,
- $b > 0$ , ikinci şekil parametresini,
- $B(a, b)$ , Beta fonksiyonunu belirtmektedir. Beta fonksiyonu burada toplam olasılığın 1'e eşit olmasını sağlayacak şekilde denklemi normalize etmektedir.

Beta fonksiyonunun denklemi denklem 2.14'te verilmiştir.

$$B(a, b) = \int_0^1 t^{a-1} (1-t)^{b-1} dt \quad (2.14)$$

Tipik bir Beta dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği Şekil 2.4'de verilmiştir. Beta dağılımının şekil parametreleri grafik üzerinde verilmiştir.



**Şekil 2.4** : Tipik bir beta dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği.

### 2.3.5 RES üretimlerin modellenmesi

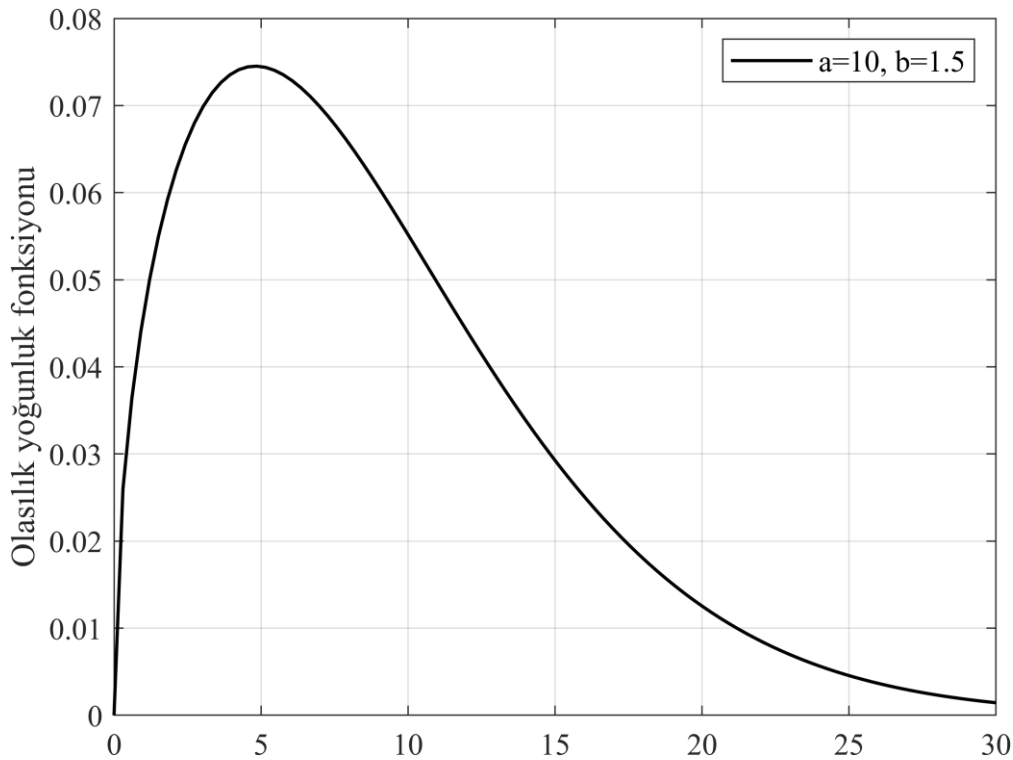
Weibull dağılımı genellikle rüzgâr enerjisinden yararlanılması beklenen bir bölgedeki rüzgâr hızı dağılımının modellenmesinde kullanılır. Weibull dağılımının olasılık dağılım fonksiyonu şekil (a) ve ölçek (b) parametreleri kullanılarak tanımlanır [36]. Rüzgâr hızı doğrudan rüzgâr türbininden üretilen gücü etkilediği için üretilen gücün direk olarak Weibull dağılımını takip ettiği varsayılabilir [37]. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk dağılımı denklem 2.15'te verilmiştir.

$$f(x|a, b) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-(x/a)^b} \quad (2.15)$$

Burada:

- $f$ , olasılık yoğunluk fonksiyonunu,
- $x \geq 0$ , incelenmek istenilen değişkeni,
- $a > 0$ , şekil parametresini,
- $b > 0$ , ölçek parametresini belirtmektedir.

Tipik bir Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu Şekil 2.5'de verilmiştir. Şekil ve ölçek parametreleri grafik üzerinde verilmiştir.



Şekil 2.5 : Tipik bir Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği.

## 2.4 Monte Carlo Simülasyonu

Bu yöntemde simülasyon yapılırken lineer olmayan denklemlerin basitleştirilmesine ihtiyaç duymadan istenilen rastgele değişkenlerin olasılık dağılımlarını vermektedir [29]. Bu durumda Monte Carlo simülasyonunun diğer yöntemlere göre uygulamasının daha basit olduğunu göstermektedir. Denklemleri lineer hale getirmek için bir yakınsama yapılmadığından dolayı alınan sonuçlar ise diğer yöntemlere göre daha kesin olmaktadır. Monte Carlo'nun denklemi denklem 2.16'da verilmiştir [10].

$$\hat{E}(F) = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^{n_s} F(S_i) \quad (2.16)$$

Burada;

- $\hat{E}(F)$  istenen rastgele değişkenin tahmini beklentisidir.
- $F$  istenilen rastgele değerdir.
- $S = [X_1, X_2, \dots, X_n]$
- $n_s$  döngü sayısıdır.

Monte Carlo simülasyonu yöntemi şebekedeki bir hatta meydana gelen güç akışı gibi rastgele değişkeni hesaplamak için doğrusal olmayan yük akışı denklemlerine uygulanabilir. Buda farklı dağılımlara sahip olan güç kaynakları kullanarak güç akışı yapılmasına olanak sağlar. Monte Carlo simülasyonu yöntemi deterministik yöntemleri çok sayıda yaparak olasılıksal olarak sonuçları elde etmektedir. Bu teknik ile deterministik yük akışı denklemleri basitleştirilmeden kullanılabilir. Ancak denklemlerin doğrusal olmayan doğasından ve döngü sayısının yüksek olması gerektiğinden dolayı MCS yöntemi geleneksel yöntemlerden daha büyük hesaplama gücü gerektirmektedir [38]. Ancak bu durum bilgisayarların hesaplama gücü arttığı için bir sorun olmaktan ortadan kalkmıştır. Günümüzde, hesaplamaların çok daha hızlı yapılabildiği görülmektedir.

## 2.5 Olasılıksal Güç Akışı

Olasılıksal güç akışı basit olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlar analitik ve sayısal yöntemlerdir. Analitik yöntemlerde lineer olmayan denklemler lineerleştirilerek her bir giriş değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu bulunmaktadır. Sonraki aşamada

bu değişkenlerin konvolüsyonunu kullanarak sonuç elde edilmektedir. Bu lineerleştirme kısmında farklı yöntemler kullanarak gerçeğe en yakın şekilde yaklaşımlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemler sayısal yöntemlere göre daha hızlıdır ancak verdikleri sonuç diğer yöntemler kadar doğru olmayabilir. Bunun ana sebebi ise hesaplamaları basitleştirmek adına yapılan yakınsamalardır. Ve bu yöntemde giriş değişkenleri ayrıık olarak alındığı zaman ayrıık sonuçlar elde edip alınan sonuçların hatalı elde edilmesine sebep vermektedir.

Sayısal yöntemlerde ise güç akışı sayısal yöntemlerle özölmektedir. Bu sayısal yöntemler Newton-Raphson ve Gauss-Seidel gibi yöntemler içermektedir.

Bu yöntemler güç akışını sayısal olarak çok yüksek sayıda tekrar ile çözerek ıkışları kaydetmeye dayanır. Döngü sayısı arttıkça alınan sonuçların doğruluğu artmaktadır.

Ancak bu döngü sayısının artması yapılan simölasyonun gerektirdiği işlem gücünü arttırmaktadır. Sayısal yöntemlerin diğer yöntemlere göre en büyük eksiği budur. Ancak bu durum paralel işlem gücü ve bu gücü kullanacak şekilde kod yazılarak oldukça kısa zamanda sonuç elde edilebilir. Bu alışmamada yapılan önceki çalışmalara nazaran daha hızlı sonuçlar alınmıştır.

MCS yönteminin analitik yöntemlere göre en büyük avantajı ise elde edilen sonuçların doğruluğunun çok yüksek olmasıdır. Bu doğruluğun sebebi ise her bir döngü için yakınsamalar yapılmadan hesaplamaların yapılmasıdır. Sayısal yöntemlerin diğer bir avantajı ise Newton-Raphson yöntemi gibi bilinen bir yöntem kullanıldığı için giriş değişkenlerinin tanımlamasında herhangi bir engel bulunmamaktadır.

Deterministik güç akışı üretim ve tüketim değerleri sabit varsayılmaktadır. Bu durum güç sistemlerindeki belirsizlikleri dikkate alamamasına sebep olmaktadır. Rüzęâr ve güneş enerjisi gibi değişken yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip modern güç sistemlerindeki etkinliğini sınırlamaktadır.

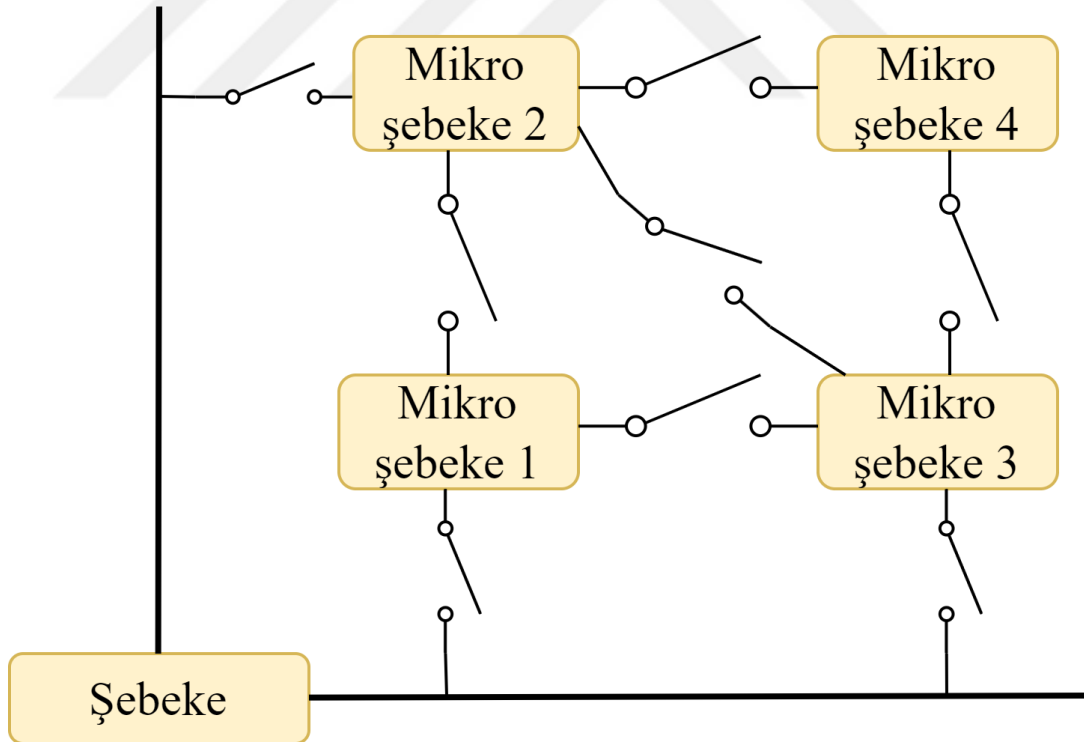
Olasılıksal yük akışı, değişken yükleri, üretimi ve diğer stokastik unsurların meydana getirdiği belirsizlikleri dikkate almaktadır. Bu belirsizlikleri modellemek için olasılık dağılımları kullanır ve böylece güç sistemi durumlarının daha gerçekçi bir tasvirini sağlamaktadır [39]. Değişken ve belirsiz üretime sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sisteminin üzerindeki etkilerini incelemek için olasılıksal güç akışı deterministik güç akışına göre çok daha uygundur [40]. Deterministik güç akışında tek bir giriş durumuna göre hesaplamalar yapılmaktadır. Ancak bu durum yüklerin

değişimlerini ve dağıtık yenilenebilir enerji üretimi gibi gerçek dünya senaryolarını dikkate alamamaktadır [41].

## 2.6 Mikro Şebekeler

Bağımsız olarak veya ana elektrik şebekesi ile çalışabilen küçük ölçekli bir güç sistemlerine mikro şebeke denilir. İçerisinde dağıtık şekilde fotovoltaik panelleri, RES'leri, enerji depolama ve yönetimi sistemlerini içerebilir. Mikro şebekeler ana şebekeye bağlı olarak çalışabildikleri gibi şebekeye bağlı olmadan da çalışabilmektedirler bu çalışma durumunda normal güç sistemlerinden farklı davranışlar göstermektedirler. Mikro şebekeler şebekeyi yöneten kuruma, belirli bir topluluğa ya da şirketlere ait olabilir [42].

Tez kapsamında yapılan çalışmada birbirine bağlı mikro şebekelerden oluşan bir test sistemi [43] kullanılmıştır. Test sistemi Şekil 2.6'da verilmiştir. Verilen şekil incelendiğinde her bir mikro şebenin ana şebekeden ayrı şekilde çalışabildiği görülmektedir. Bu çalışma durum ada şeklinde çalışma olarak adlandırılmaktadır.



**Şekil 2.6 :** Çalışmada kullanılan birbirine bağlı mikro şebekelerden oluşan sistemin basit blok gösterimi.

Mikro şebekelerden oluşan güç sistemleri ile yapılan çalışmalar geleneksel sistemler kullanılarak yapılan çalışmalara göre daha zorlayıcı olabilmektedir. Bunların ana

sebebi mikro şebekelerin ana şebekeye bağılı olmadığı durumlar oluşturmaktadır. Mikro şebekeler ana şebekeden ayrı olarak çalıştıklarında geleneksel çözüm metotları ile güç analizi hesaplamaları yapılamamaktadır. Faisal M. ve diğerleri tarafından yapıldığı gibi geleneksel yöntemlerin üzerinde değişiklikler yaparak çözüme ulaşmak mümkündür [44]. Mikro şebekeler üzerinde yapılan olasılıksal güç akış çalışmaları işlem yükü bakımından oldukça ağır olabilmektedir. Mikro şebekeli sistemlerde şebekeden ayrı çalışma durumunda salınım barası ortadan kalkabilmektedir. Bu durumlarda yapılacak işlemleri zorlaştırabilmektedir [45].

Birbirine bağılı mikro şebekelerde farklı sebeplerden dolayı belirli mikro şebekeler sistemden ayrılabilir ya da tamamen kapatılabilir. Bu olay çok farklı sebep nedeniyle meydana gelebilir. Bunlardan ilki şebekede bozulan üretim tüketim dengesizlikleri sonucunda bozulan frekans dengesini sağlamak olabilir. Belirli bölgelerin şebekeden bağlantısını kesmek frekansın stabil hale getirilmesinde yardımcı olabilmektedir [46]. Belirli bir mikro şebekede oluşan bir arıza sebebi ile bir mikro şebeke tamamen kapatılabilir. Bu durum benzer şekilde oluşan bir arızadan sonra sistemi normal durumunda getirmek içinde yapılabilir [47]. Bu durumlar dışında ekonomik sebepler nedeniyle de bir mikro şebekenin ana şebeke ile bağlantısı kesilebilir.

### **3. OLASILIKSAL GÜÇ AKIŞI PROGRAMININ OLUŞTURULMASI**

Bu bölümde oluşturulan olasılıksal güç akışı programının geliştirme sürecinden, kabiliyetlerinden ve programın genel yapısından bahsedilecektir.

#### **3.1 Programın Geliştirilmesi ve Genel Bilgiler**

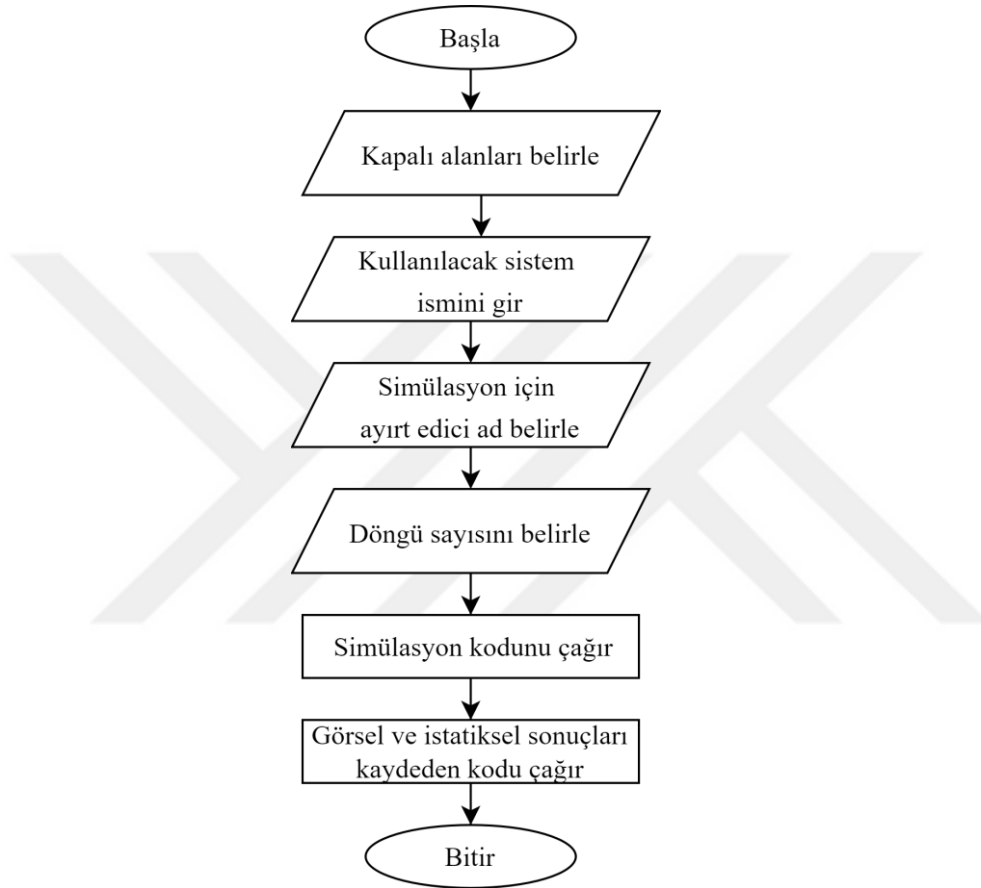
Monte Carlo simülasyonu kullanarak olasılıksal yük akışı, deterministik güç akışının çok sayıda yapılp sonuçların kaydedilmesi ile elde edilir. Deterministik güç akışı Matlab üzerinde Matpower paketi programı kullanarak yapılmıştır. Kullanılan paket sayısal yöntemler kullanarak güç akışı analizi yapmaktadır. Kullanılan paket direk olarak olasılıksal güç akışı yapacak kabiliyete sahip değildir. Bu durumdan dolayı paketi üst bir programda ayrıca çağırmak gerekmektedir. Oluşturulan programda sadece güç akışı kısmında paket kullanılmıştır. Elde edilen tüm sonuçları kaydetmek için ayrı kodlar yazılmıştır. Sonraki aşamada ise elde edilen sonuçların olasılıksal dağılımlarını görmek adına görselleştirmeleri ayrı bir fonksiyon olarak yazılmıştır. Programın kabiliyetleri elde edilen sonuçların görselleştirildiği bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

#### **3.2 Ana Program**

Programı geliştirme sırasında tek bir kod üzerinde üzerin hem simülasyon yapmanın hem de elde edilen bu sonuçların grafiğe dökmenin kodun genel çalışması açısından çok verimli olmadığı görüldü. Grafikleri oluşturmanın olasılıksal güç akışının simülasyonlarından çok daha uzun sürmesinden dolayı yaptığım çalışmanın ne durumda olduğu diğer yayınlar ile kıyaslanamıyordu. Bu durumlardan dolayı simülasyonların yapıldığı program ile sonuçların elde edildiği programlar ayrı şekilde yazıldı. Bu durum düşük baralı sistemler üzerinde çalışmak için yeterli olmaktaydı ancak bara sayısı arttıktan sonra ve mikro şebekelerin birbirine bağlı olduğu bölgelerden oluşan sistemleri simüle etmeye başladıktan sonra yetersiz gelmeye başladığı görüldü. Programdan istenilen tuşa basıp simülasyon başlayıp sonuçları alana kadar hiçbir şekilde programa bir girdi vermeden işlemleri bitirmesidir. Örnek

vermek gerekirse 4 bölgeyi sistemde her bir bölgeyi sırasıyla kapatıp sistemi incelemek istenilirse, 5 defa programa bölgeleri kapatmasını sağlayıp simülasyonları başlatılıp bittikten sonra grafik oluşturma programının açılması gerekiyordu.

Bu durumdan kurtulmak için giriş değerlerini ayarlayan ve sonuçlarını grafiklerini otomatik olarak alacak ana bir program yazılarak tüm işlemler otonom hale getirildi. Geliştirilen programın akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1 :** Ana programın akış şeması.

Geliştirdiğim simülasyon programı ve sonuçları alma programları üzerlerinde ufak değişiklikler yapılarak bu şekilde çağırılmaya hazır hale getirildi. Kod içinde kapatılmak istenilen bölgeleri ana programdan belirlenecek şekilde değişiklikler yapıldı. Program normal durumunda tüm bölgeleri sırasıyla kapatarak sonuçları almaktadır. Koda, ilerleyen aşamalarda simüle edilmek istenen sistemin verilerinin olduğu dosyayı da ana programdan belirlenecek eklemeler yapıldı. Bu işlemler sonucunda simülasyonları ve sonuç grafiklerini oluşturan tek bir ana program elde edildi. Hatta istenilirse bu ana program içerisinde birden fazla sistem test edilerek sonuçları ayrı olarak kaydedilebilmektedir.

Akış şeması Şekil 3.1’de verilen bu program önce kapalı olan bölge kodlarını okumaktadır. Program her bir bölgeyi sırayla kapatarak simülasyonlar yapmaktadır. Sonraki aşamada simülasyonda kullanılacak olan döngü sayısı okumaktadır. Bu işlemler sırasında ayırt edici olması açısından yapılacak her bir simülasyona ayırt edici ad ataması yapılmaktadır. Bu atanan ad klasörde kullanılmaktadır. Diğer adımda simülasyonlar yapıp elde edilen sonuçlar kaydedilmektedir. Kaydedilen bu sonuçlarla sonrasında get\_results programı ile grafikleri oluşturulup kaydedilmektedir. İlerleyen kısımlarda bu kod detaylı olarak açıklanacaktır.

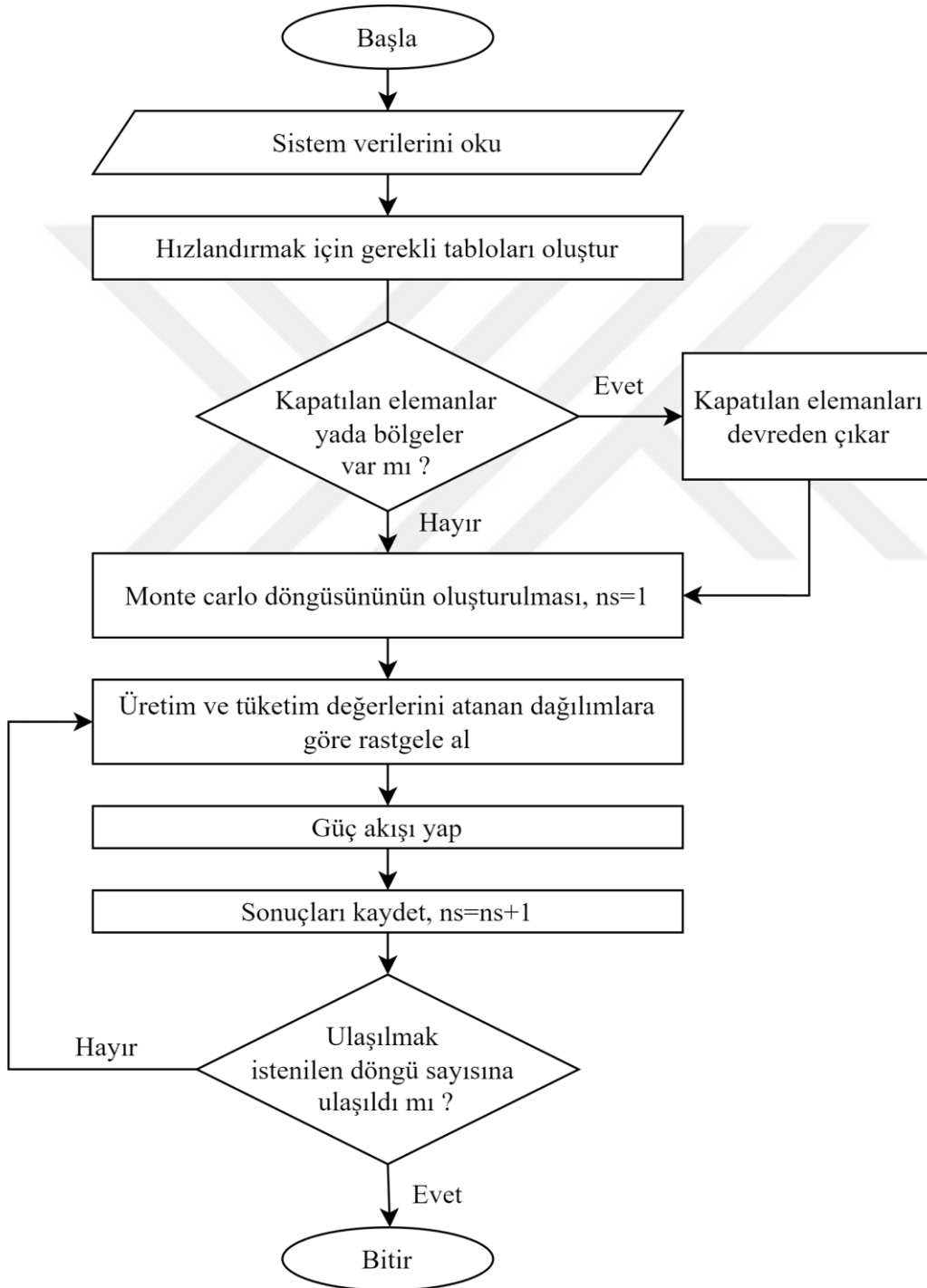
### 3.3 Simülasyonların Yapılması ve Sonuçların Kaydedilmesi

Programın nasıl çalıştığı görsel olarak göstermek için oluşturulan akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir. Geliştirilen program ilk olarak Monte Carlo döngüsünde kullanılacak olan döngü sayısını verilen değerden almaktadır. Sonrasında üzerinde analiz yapılacak olan sistemin verileri Matlab içerisine aktarılmaktadır. Bu aktarma kullanılan paketin kendi içerisinde bulunan loadcase komutu ile yapılmaktadır.

Bu işlemlerden sonra geliştirilen programın daha hızlı çalışması adına yük akışı sonucunda elde edilen sonuçların kaydedileceği tablolar içleri sıfırla dolu olacak şekilde oluşturuluyor. Bu oluşturma işlemi yapılması sadece döngü içerisinde her seferinde tablo boyutu büyütüldüğünde zaman kaybı olmaması için yapılmaktadır. Yazılan bu kod elde edilecek olan sonuca ve döngü sayısına göre otomatik olarak her bir değişken için tabloları atamaktadır. Örneğin, farklı bara sayısına sahip bir sistem ya da farklı döngü sayısı ile bir simülasyon yapılmak istenirse bu program otomatik olarak onlar göre sonuçları oluşturmaktadır. Bu işlemler sonrasında diğer adıma geçmektedir.

Sonraki aşamada eğer sistemde farklı bölgelere ayrılmış mikro şebekeler kapatılmak isteniliyorsa bunları kapatmak için yazılan kod bölümü çalışmaktadır. Bu kod bölümünde girilen bölge koduna bağlı olan tüm hatlar, üretimler, baralar ayrı ayrı yazılan kodla beraber bulunup kapatabilmektedir. Sonraki aşamada belirlenen bölgenin diğer bölgelerle olan bağlantısını sağlayan hatlarda yazılan kodla bulunarak kapalı konumuna getirilmektedir. En son olarak ise eğer kapatılan bölge salınım barasını içeriyorsa sistem otomatik olarak diğer baralara salınım barası ataması yapmaktadır. İşlemlerin bu şekilde yapılması oluşturulan sistemin tek bir sistem üzerinde belirli bir durum analizi yapmak yerine çok daha geniş bir şekilde analizler

yapmasını sağlamıştır. Bu kapatma işlemlerini sistem verileri ile de yapmak mümkündür ancak bu durum yapılacak olan her bir analiz için sistem verilerinin değiştirilmesini gerektirmektedir. Bunu yerine kullanılan paket programının kendi içinde bulunan bir özellik kullanarak şebeke elemanları kapatılmıştır. Arzu edilirse toplamda kaç tane devre elemanının kapalı olduğu bilgisine de bu şekilde ulaşılabilmektedir.



Şekil 3.2 : Simülasyon programının akış şeması

Bu işlemlerden sonra kapatılmak istenilen bir hat varsa bunu kapatan kod çalışıyor. Bu kod ayrı zaman da üretim elemanlarında veya diğer şebeke elemanları üzerinde çalışabilmektedir. N-1 güvenilirlik analizi yaparak bu durumda sistemin nasıl tepki verdiğini görmek adına tamamen rastgele olarak bir hattı kapatabilme yeteneği programa eklendi. Bu rastgele kapanma kodu MCS döngüsü içerisinde bulunmadığı için yapılan simülasyonların sonuçlarını bozmamaktadır. Bu adımda bölge kapatma kodu gibi isteğe bağlı olup arzu edilmezse kullanılmamaktadır.

Sonraki aşamada ise güç akış hesaplamaların yapılacağı ve sonuçların kaydedilmektedir. Program bu aşamada istenilen döngü sayısına ulaşana kadar güç akışı yapmaya ve sonuçları kaydetmeye devam etmektedir. İlk olarak üretim değerlerini istenilen olasılıksal dağılıma uyacak şekilde oluşturmaktadır. Üretim bilgileri mpc.gen içinde bulunmaktadır. Bu yapının içinde tablo olarak üretim verileri verilmiştir. Bu işlemler yapılırken okunan sistemin verilerinde bir değişiklik yapılmamaktadır. Kullanılan paket programı içinde bulunan mpc yapısına yazmaktadır. Yapılacak olan değişiklikler bunun üzerinde yapılmakta olup kaydedilmemektedir. Ancak istenirse bunlar kayıta edilebilir. Her döngü için belirlenen bir dağılım üzerinden rastgele olacak şekilde okuma yapmaktadır. Sırasıyla senkron makineler, fotovoltaiik ve RES'lerden üretilen güç belirlendikten sonra tüketim değerleri aynı şekilde belirlenmektedir. Alınan üretim ve tüketim verileri her bir döngüde kendilerine belirlenen dağılımlar üzerinden belirlenmektedir.

Tüm bu işlemlerden sonra güç akışı runpf komutu ile gerçekleştirilmiştir. Eğer kod bu şekilde çalıştırılacak olursa Newton-Raphson yöntemi kullanarak çözüme ulaşmaktadır ancak mption komutunu bu kodun içine ekleyerek bunu değiştirebilmem mümkündür. Normalde kullanılan paket program elde edilen tüm sonuçları detaylı olarak komut ekranına yazmaktadır. Ancak yapılan denemeler sonucunda bu durumun simülasyon sürecini oldukça yavaşlattığı tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı hızlandırmak için bu özellik kapatılmıştır.

Kullanılan paket program normalde olasılıksal güç akışı için yapılmadığından dolayı üzerinde oldukça çok değişiklikler yapmak gerekmektedir. Geliştirilen programın belirli bir döngü sayısında güç akışı yapıp sonuçları kaydetmesi gerekmektedir. İstenilen sonuçların bir kısmını basit bir matris üzerinden okuma şeklinde elde edebilirken bazı kısımlarda bu verileri elde edebilmek için fonksiyonların sıfırdan oluşturulması gerekmiştir. Örneğin, Matpower elde ettiği sonuçları workspace

üzerinde matris olarak vermemektedir. Yazılan koda `define_constants` şeklinde ekleme yaparak elde ettiği sonuçları matris olarak yazdırılması sağlandı. Alınan bu sonuçlar her bir güç akışı sırasında sıfırlandığı için bunlar farklı bir matris içerisine kaydedilmiştir. Bara gerilimleri, bara açıları, baradan çıkan aktif güç, baradan çıkan reaktif güç, baraya gelen aktif güç ve baraya gelen reaktif güç değerleri `results.branch()` matrisi içinden gerekli yerlerden alınmıştır. Hatlarda oluşan kayıpları ise Matpower içerisinde `get_losses()` fonksiyonunu karmaşık biçimde her bir döngü içerisinde çağırılıp hatlarda oluşan kayıplar ayrı bir loss adlı bir matris içerisine kaydedilmektedir. Loss matrisi içinden ise aktif ve reaktif kayıpları ise basit şekilde ayrılıp farklı matrisler içerisine kaydedildi. Toplam aktif ve reaktif sistem kayıplarını ise loss matrisinin aktif ve reaktif kısmının ayrı ayrı toplanmasından elde edildi. Toplam kayıplar her bir döngü için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Bu kısımdan sonra bölgelerde bulunan toplam kayıpların ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi kısım bölge kayıpları hesaplanırken bölgeleri birbirine bağlayan hatların bulunup bu hatların üzerinde oluşan kaybın sadece yarısının alınması gerektiğidir. Burada yapılacak olan işlem kullanılan test sistemi çok büyük olmadığı için elle yapılabilecek boyuttadır ancak bu işlemi her bir simülasyonda el ile yapmak istemediği için bu şekilde tercih edilmedi. Bu kısımda oldukça çok uğraşlar sonucunda güç akışı yaparken hızlandırmak için devre dışı bırakılan komut ekranına güç akışından elde edilen sonuçları yazdıran `printf` fonksiyonu incelendi. Bu fonksiyon güç akışı yaparken gerekli parametreler verilirse bölgelerde oluşan kayıpları ekrana yazdırabilmekteydi. Bu fonksiyonunun üzerinde tersine mühendislik yapılarak sadece istenilen veriler elde edildi. Geliştirilen yeni fonksiyon bölgelerde oluşan karmaşık kayıpları bölgeler için ayrı olarak hesaplamaktadır. Sistemde bulunan bölge sayısına göre otomatik olarak hesaplama yapması için bölgeleri kapatma kodundan hemen sonrasında sistemde aktif olan mikro şebekelerin sayısını bulan bir kod yazılmıştır. Bu fonksiyon her bir döngü içerisinde çağırılarak her bir bölge için sonuçlar matrise kaydedilmektedir.

Hatların yüklenmelerini yüzde olarak gösterilmek istenildiği için bunu yapacak bir fonksiyona ihtiyaç duyuldu. Bu fonksiyon çalışma alanına aktarılmış olan sistem verilerinden hatların gerçek güç limitlerini okumaktadır. Sonraki aşamada hatlarda akan en yüksek aktif gücü bulmak adına çift taraflı olarak aktif gücü bulup karşılaştırmaktadır. Bulunan en yüksek gücü ise alarak hattın kapasitesine oranı ile

yüzdelik olarak hattın yüklenmesini bulmaktadır. Fonksiyon çağırıldığı zaman hat sayısını çalışma alanından okumakta ve hat sayısı kadar işlem yapmaktadır.

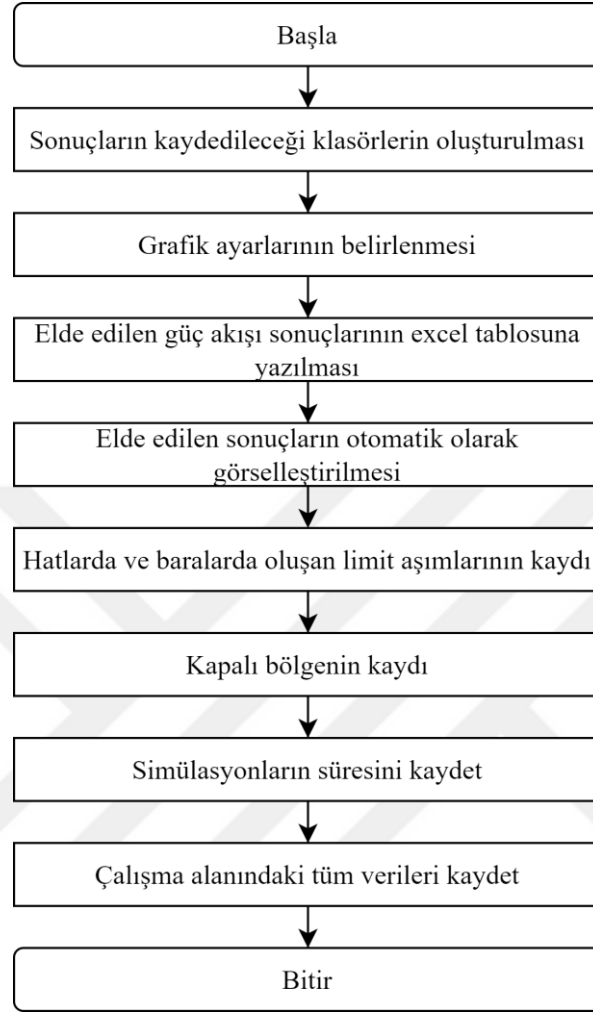
Bu bahsedilen işlemler döngü sayısı kadar yapıldıktan sonra sonuçların görselleştirilmesi ve kaydedilmesi kısmına geçilecektir. Geçiş olmadan önce Matpower kullanılarak elde edilen verilerin Matlab üzerinde işlenmesi için alınan veriler transpoze edilmiştir ve istenilirse kullanılması için elde edilen tüm değişkenler birim değer cinsinde ayrı bir matris altında ifade edilmiştir. Burada sistemin baz MVA değeri hat değerlerinin bulunduğu mpc yapısının içinden okunmuş olup otomatik olarak değişmektedir. Hem birim değer hem de güç cinsinden ayrı ayrı kaydedilmesi sonradan istenilirse oldukça rahat bir biçimde sonuçların görüntülenmesinin sağlanmasıdır. Son olarak yapılan tüm hesaplamaların ne kadar tuttuğu bir fonksiyon yardımı ile hesaplanır çalışma alanına kaydedilir. Bu işlemler bittikten sonra ana programa dönüş sağlanıp sonuçların görselleştirilmesi kısmına geçilmektedir.

### **3.4 Elde Edilen Sonuçların Görselleştirilmesi ve Kaydedilmesi**

Kodun bu kısmında sadece görselleştirme yapılıyor olarak gözüксе de çalışmanın en önemli parçasını bu kısım oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar görselleştirilmeden sonuçlardan bir şey anlamak oldukça güçtür. Örnek vermek gerekcek olursa, çalışmanın ikinci kısmında kullanılan test sisteminde 49 tane hat bulunmaktadır. Eğer 1000 döngü ile yapılan bir MCS sonucunda bu hatlarda akan güçleri incelemek isterseniz önünüze 1000 satırlı ve 49 sütunlu bir matris ortaya çıkacaktır. Bu gördüğünüz değerlerden bir sonuç çıkarmak oldukça zor olacaktır. Ancak bu hatlardan akan güçlerin görselleştirilmesi sonucunda bir hat üzerinden akan gücün olasılık yoğunluk fonksiyonunu veya Toplamsal olasılık fonksiyonunu oldukça rahatça görülebilmektedir.

Tez kapsamında yapılan çalışmaların genel teması otomasyon olduğu için bu kısımda oldukça uğraşılmıştır. Programın bu kısmında yapılan tüm görselleştirmeler otomatik bir şekilde yapılacak hale getirilmiştir. Bu otomasyona elde edilen sonuçların eksenlerinde yazan yazılar, bazı sonuçların üzerine eklenen lejantlarda dahildir. İlgili veriler hat bilgilerinden okunarak veya hesaplanacak grafik üstüne yazılmaktadır. Görselleştirmeye ek olarak hatlarda ve baralarda limitlerin aşımı olma olasılığı bu kısımda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların kayıtları da bu kısımda yapılmıştır.

Sonuçların görselleştirilmesinde kullanılan get\_results.m dosyasının akış şeması Şekil 3.3’de verilmiştir.



**Şekil 3.3 :** Sonuç görselleştirme programının akış şeması.

Yazılan kodda ilk olarak kaydedilen sonuçların bir belirleyici özelliği olması istenildiğinden ve farklı çalışmalara ait sonuçlarında saklanmasının istendiğinden elde edilen sonuçların kaydedilmesini sağlayacak bir kod yazılmıştır. Bu bölümde ana klasör ismi kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Bunun bir altında ise Monte Carlo simülasyonunda kullanılan döngü sayısını vermektedir. Sonraki aşamada ise sonuçların farklılığı için bu kodun çalıştırıldığı tarih klasör ismi olarak verilmiştir. Bunun altında ise elde edilen sonuçların ayrı ayrı klasörleri bulunmaktadır.

Bu işlemlerden sonra ise sonuç grafiklerinin çıktı alınacağı çözünürlük belirlenmektedir. Bu çalışmada 600ppi olarak belirlenmiştir. Bu çözünürlük bu kodun çalışma hızına oldukça etki etmektedir. Sonraki aşamada grafiklerin üzerinde kullanılan yazı karakteri ve boyutu belirlenmektedir. Bu bilgilerin ana kodda

belirlenmesinin sebebi ise farklı yayın organlarının farklı şekilde istekleri olabilmektedir. Sonuçları görselleştirmek için 17 ayrı fonksiyon olduğu göz önüne alındığında bu işlemin oldukça zaman kazandırdığı görülmektedir. Benzer şekilde sadece test aşamasında elde edilecek sonuç grafiklerinin çözünürlüğü düşürülüp toplam süre kısaltılabilir.

Sonraki aşamada güç akışı sonrasında elde edilen güç akış sonuçlarını tablo olarak kaydedilmesi yapılmaktadır. Burada kaydedilen değerler olasılıksal güç akışı sonucu olduğu için ortalama değer ve standart sapma değerleri olarak verilmektedir. Sonraki aşamada elde edilen tabloya ilgili değerlerin deterministik güç akış sonuçları eklenmektedir. Bu işlem için ayrı bir fonksiyon önceki kaydedilen tabloları okuyarak çalışma alanına almaktadır. Sonraki aşamada olasılıksal güç akışı yapılan sistemin değerlerini kullanarak deterministik güç akışı yapmaktadır. Elde ettiği sonuçları ise istenilen sütuna yazarak aynı dosyaları tekrar kaydetmektedir.

Programın tablolara kaydettiği sonuçlar ise maddeler halinde sıralanmıştır.

- Bara gerilimleri
- Bara açıları
- Hatlar arasında akan aktif ve reaktif güç (Karşılıklı olarak)
- Hatlar arasında akan görünür güç (Karşılıklı olarak karşılaştırılıp en yükseği seçilmektedir.)

Tüm bu sonuçların ortalama değerleri, standart sapmalarını ve deterministik sonuçlarını vermektedir.

Sonraki kısımda ise elde edilen sonuçlar görselleştirilmektedir. Bu kısımda basitçe elde edilen sonuçların istatistiksel olarak görselleştirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ilgili klasörlerine kaydedilmektedir. Bu kısmı ana olarak üç bölüme ayırmak mümkündür. Bunlar:

- Baralarla ilgili olan sonuçlar,
- Hatlarla ilgili sonuçlar,
- Kayıplar ile ilgili sonuçlardır.

Bu kısımda özel olarak hangi çıktıların elde edildiği yazmıyorsa, Plasılık yoğunluk fonksiyonu ve Toplamsal olasılık fonksiyonu olarak verilmiştir.

- Bara gerilimlerinin ve açılarının dağılımlarının kutu grafiği ile gösterilmesi
- Bara gerilimlerinin dağılımlarını
- Bara açılarının dağılımlarını

Bara gerilimlerinin dağılımının kutu grafiği elde edilirken sadece yük (PQ) baraları dikkate alınmaktadır. Salınım (Slack) ve üretim (PV) baralarında gerilim değeri sabit kalmaktadır. Burada elde edilen gerilim büyüklükleri birim değer cinsindendir. Yazılan bu fonksiyon simülasyonlar sonucunda elde edilen bütün gerilim değerlerini alarak (Dikkate alınan) baralar için kutu grafiği oluşturmaktadır. Bu kısımda tezin içinde genel devam temanın bir sonucu olarak bu kısımda tamamen otomatik hale getirildi. Fonksiyon ilk olarak bara sayısını mpc.bus yapısının içinden öğrenmektedir. Sonraki aşamada her bir bara için sırasıyla baranın tipini kontrol edip uygun değilse sıradaki baraya geçmektedir. Uygun baraların kodunu, alt limit, üst limit değerini öğrenmektedir. Bu kısımda bu fonksiyonun önceki sürümlerinde olmayan bir ekleme yapıldı. Yeni çalışmada bölgeler kapatılabildiğinden dolayı alınan sonuç grafiğinin x ekseninde bulunan bara etiketi düzgün şekilde sonuç vermemekteydi. Bu durum sonucunda, sadece aktif baraların kodunu okuyarak ayrı bir etiket değişkeni oluşturuldu. Bu durum sayesinde kapalı baralar alınan sonuçlar üzerinde sorun yaşatmamaktadır. Veriler okunduktan sonra yeni oluşturulan x eksen etiketi değişkeni ile kutu grafiği çizdirilmektedir. Sonraki aşamada okunan alt ve üst limitler grafiğe yatay olarak eklenmiştir. Bu çizgiler sadece herhangi baranın limitlere yaklaşması halinde görülmektedir. Kutu grafiğinde verilen sonuçlar üzerinde daha çok bilgi sahibi olabilmek için çentikli şekilde sonuçlar verilmesi sağlanmıştır. Y ekseninde istenirken şekilde yazıları otomatik olarak yazdırılmaktadır. Elde edilen grafik sonrasında ilgili renk paletine göre ayarlanır. Yazı karakterini seçilen tipe ve boyutuna göre ayarlanır. Sonuçları ise istenilen çözünürlükte istenilen dosya ismi ile yazdırılır.

Bara açılarının kutu grafiği elde edilirken salınım barası dışındaki baraların açıları değişebildiği için grafik oluşturulurken böyle bir kısıtlama yapılmamıştır. Burada bara gerilimlerine benzer şekilde sadece istenen baraların verileri okunarak x eksen üzerine yazmaktadır. Burada açısı değişen baralar salınım barası dışında olan ve aktif olan baraları belirtmektedir. Aktif olmayan baraları da aldığı sonuçlara dahil etmemektedir. Gerek olabileceği için hem salınım barasını 0 derece olarak gösterdiği kutu grafiğini hem de salınım barasının olmadığı kutu grafiğini çıktı olarak vermektedir. Bara

gerilimlerinin grafiklerinin elde edildiği sonuca benzer olarak elde edilen grafikler bara açılarının olduğu klasöre kaydedilmektedir. İsimlendirme olaraksa salınım barasının olup olmadığına göre ayrı isimlendirmeler otomatik olarak yapılmaktadır.

Sıradaki fonksiyonlar ise bara gerilimlerinin ve açılarının olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiklerini ve Toplamsal olasılık fonksiyonu grafiklerini vermektedir. Bara sayısı sistem verilerinden alındıktan sonra bir bara sayısı kadar döngü oluşturulur. Gerilim büyüklükleri sadece yük baralarında değişeceği için bu baralar için işlemler yapılır. Burada baraların gerilim büyüklükleri histogram ile gösterilmektedir. Histogram bölme sayısı Freedman–Diaconis metodu [48,49] ile belirlenmiştir. Bu işlemler sonrasında verileri çizgi olarak göstermek için Kernel yoğunluk tahmini [48] kullanılmıştır. X eksenine göre çizilecek grafik için linspace komutu ile histogram limitlerinin 5% alt ve üstü arasında (1/histogram genişliği) kadar aralıklarla ilerleyen bir vektör oluşturulmuştur. Bu durumda elde edilen verinin boyutu ne olursa olsun ne kadar çok veya az döngülü simülasyon yapılmış olsun düzgün sonuçlar alınmaktadır. Bu işlemlerden sonra histogram ve Kernel yoğunluk tahmini sonucunda oluşan veriler grafiğe aktarılmıştır. Grafikte verilerin ortalama değerlerinin ve standart sapmalarının hesaplanması için fitdist kullanılmıştır. Elde edilen bu değerler grafik üzerinde bir kutu içerisinde verilmiştir. Lejant kısmında ise histogram verileri ile Kernel yoğunluk fonksiyonu çıktıları belirtilmiştir. Grafikte gösterilen verinin cinsine göre y ekseninde ise verinin ne olduğunu açıklayıcı veriler girilmiştir. X ekseninde ise verinin hangi baraya ait olduğu ve gerilim veya açı olduğu yazılmaktadır.

Buraya kadar olan kısımlar bara gerilimi ile açılarının ortak kısımlarını belirtmektedir. Baralarda açı veya gerilim büyüklüğü ile ilgili sonuç elde edilmesine göre kaydedilen dosyalar ait olduğu baranın ismi ile ait oldukları değişkenin klasörüne kaydedilmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu ve Toplamsal olasılık fonksiyonu hesaplamalarına göre içlerinde birkaç nüans farklılığı bulunmaktadır ancak genel olarak benzer yapıya sahiptir. En önemli kısımlardan bir tanesi baraların gerilimlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği çıkartılırken baraların limitleri dikey çizgi olarak grafiğe eklenmektedir. Limitler eğer grafikte belirlenen aralıklarda görünüyorsa lejant kısmına eklenmektedirler eğer görünmüyorsa bu kısma eklenmemektedirler. Ayrıca ayrı bir fonksiyon olarak bara gerilimlerinin deterministik güç akışı sonuçları bara gerilimlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiğine dikey kırmızı çizgi olarak eklenildi. Eklendiği yerlerde eğer verilen grafik içerisinde deterministik güç akışı

sonuçları çıkıyorsa lejant içine bu durum otomatik olarak eklendi. Deterministik gerilim sonucu grafiğin belirlenen X eksen limitleri arasında değilse otomatik Lejant kısmında gösterilmemektedir.

Diğer bir önemli fark gerilim büyüklüklerinin ve hatlardan akan aktif gücün Toplamsal olasılık fonksiyonu grafiği oluşturulurken hatların limitleri aşma ihtimalleri sırasıyla  $V_m\_limit$  ve  $S_m\_limit$  değişkenleri içerisine kaydedilmektedir. Bu hesaplamaları ayrı bir fonksiyon kullanarak yapmak yerine tek bir fonksiyon içerisinde ihtiyaç duyulan değerleri alıp burada işlemler yapıldı.

Hatlarla ilgili sonuçlarda ise altta sıralanmıştır:

- Hatların aktif güç limitlerine göre yüklenme yüzdeleri
- Hatlardan akan aktif güç
- Hatlardan akan reaktif güç
- Hatlardan akan görünür güç (Karşılıklı olarak bakılıp büyük değer alınmıştır)

Bu kısımda kullanılan fonksiyonların ilki hatlarda oluşan yüklenmelerin dağılımlarını yüzde olarak kutu grafiğinde göstermektedir. Hatlardaki yüklenme yüzdelerini daha önceden hesaplanan değişken içerisinden alıp kutu grafiği içerisine koymaktadır. Burada hatların kapalı olduğunu görülmesini sağlaması için kapalı olan hatların yüklenme değerlerini grafikten çıkartılmamıştır. X ekseninde kullandığı tüm etiketleri hat verilerinden otomatik olarak çekmektedir. Bu sebeplerden ötürü farklı bir sistemde kullanılmasında bir engel bulunmamaktadır. Hatların limiti ise grafik üzerine eklenmiştir.

Hatlardan akan güçlerin olasılıksal yoğunluk fonksiyonu ve Toplamsal olasılık fonksiyonu grafiklerinin oluşturulmasında kullanılan fonksiyon önceki kısımda açıklanan gerilim ve açıları hesaplayan fonksiyona benzemektedir. Diğer fonksiyonda olduğu gibi ortalama ve standart sapma değerleri kutu içerisinde grafik üzerine eklenir. Diğer işlemlerde aynıdır. Burada oluşan en büyük farklılık X ekseninde bulunan etiket güç akışının hangi baralar arasında olduğuna göre otomatik olarak değişmektedir. Benzer şekilde aktif, reaktif ya da görünür güç akışını belirten etiket X eksenine eklenir. Elde edilen sonuç hangi değişkenin grafiği olduğuna göre ve hangi baralar arasında aktığına göre isimlendirilerek ilgili klasöre kaydedilir. Burada oluşan en büyük farklılık hatlardan akan aktif gücün Toplamsal olasılık fonksiyonu grafiği

ıkarılırken hatların limitleri aşma hesaplanıp olasılığı  $Sm\_limit$  adlı değışkene kaydedilir. Benzer şekilde hatlardan akan aktif gücün olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiğı çıkartılırken hat limitleri verilere yakınsa grafik üstünde lejant olarak eklenir.

Kayıplar ile ilgili elde edilen sonuçlar ise maddeler halinde verilmiştir:

- Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları
- Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları
- Hatlarda oluşan görünür güç kayıpları
- Bölgelerde oluşan toplam aktif güç kayıplarının
- Bölgelerde oluşan toplam reaktif güç kayıplarının
- Tüm sistemde oluşan aktif güç kaybı
- Tüm sistemde oluşan reaktif güç kaybı
- Tüm sistemde oluşan görünür güç kaybı

Hatlar arasında oluşan güç kayıpları güç akışlarına benzer şekilde elde edilir. İlgili X ve Y eksenini etiketleri otomatik olarak adlandırılıp kaydedilir. Benzer şekilde dosya isimleri de hangi baralar arasında bu kaybın oluştuğunu belirtecek şekilde olur.

Bölgelerde oluşan güç kayıpları için simülasyon yapılırken elde edilen bölgesel hat kayıpları verileri kullanılır. Burada X eksenini etiketlemesinde grafiğı elde edilen verinin hangi bölgeye ait olduğuna göre etiketlendirme değışir. Dosya isimlendirmesi de grafiğı elde edilen verinin hangi bölgeye ait olduğuna göre değışmektedir.

Tüm sistemde oluşan güç kaybı da simülasyonlar sırasında hesaplanan tüm sistem güç kaybı değışkeninde bulunan verilerle grafikler elde etmektedir. Burada her bir veri için tek sonuç elde edilmektedir.

Sonraki aşamada bara gerilimlerinin limitleri aşma ihtimallerini içeren  $Vm\_limit$  matrisi aynı isimli bir metin dosyasına kaydedilir. Bu dosyanın içinde ilk sütunda baraların kodu, ikinci sütunda alt limit ve üçüncü sütunda üst limit değeri mpc yapısının içindeki hat verilerinden okunarak kaydedilmiştir. Dördüncü sütunda bu limitleri aşma ihtimali, beşinci sütunda ise limitler içinde kalma olasılığı verilmiştir. Benzer şekilde hatlarda akan aktif güçlerin limitleri aşma ihtimallerini içeren  $Sm\_limit$  matrisi aynı isimli metin dosyasına kaydedilir. Burada ilk sütun hattın hangi baradan başladığını, ikinci sütun hangi baraya gittiğini, üçüncü sütun hat limitlerinin altında

olma olasılığını ve son olarak dördüncü sütun hatların limitini birim değer (p.u.) cinsinden vermektedir. Kaydedilen dosyalar ana kayıt klasörü içinde bulunmaktadır. Her bir simülasyon için oluşturulan klasörün içinde bulunmaktadır.

Akış şemasının diğer kısmında simülasyonların yapıldığı programda belirlenen ve kapalı bölgeleri belirleyen closed\_area aynı isimde metin dosyasına kaydedilir. Bu değer çalışma alanındaki tüm verilerin kaydedilmesinden dolayı işlemler için bir önem arz etmemektedir. Ancak simülasyonların otomatize edildiği bir durumda veya sonradan simülasyonların sonucu incelenmek istediğinde kolaylık olması açısından kaydedilmiştir. Bu dosyada kapalı olan bölge ismi yazmaktadır. Eğer kapalı bölge yoksa sıfır değeri yazılır.

Ana kodun çalışma süresini içeren elapsedTime değişkeni aynı isimli metin belgesine yazılır. Burada dikkat edilmesi gereken kısım bu zaman hesaplamaları yapan programın harcadığı zamanı göstermektedir. Bu çalışma kapsamında verileri görselleştirmek için kullanılan programın harcadığı zaman dikkate alınmamış olup sadece genel bilgilendirme olması açısından tüm işlemlerden sonra ekrana yazılmaktadır.

Tüm işlemlerden sonra ise yazılan kod çalışma alanında bulunan tüm değişkenleri çalışmanın yapıldığı tarih ve saat isimli '.mat' dosyasına kaydetmektedir. Yapılan bu işlem sayesinde alınan sonuçları tekrar inceleme fırsatı olmaktadır. Ana programdan bağımsız olarak sadece sonuçları çıktı olarak verilen bu program çalıştırılabilmesi, sonuçları farklı istatistiksel veya görsel şekilde çıktı alınabilmesine olanak sağlamaktadır.

#### **4. DURUM ANALİZLERİ**

Çalışmanın doğası gereği senaryo bazlı analizi tercih edildi. Geliştirilen programın amacı şebekenin farklı çalışma durumlarında nasıl tepki vereceğini görmek olduğu için tek bir senaryo ile inceleme yapmak geliştirilen program için haksızlık olacağı kanısına varılmıştır. Bu durumdan dolayı farklı test sistemleri üzerinde geliştirilen programla beraber simülasyonlar yapılmıştır.

İlk olarak değiştirilmiş 9 baralı test sistemi üzerinde simülasyonlar yapıp alınan sonuçlar daha önceden bu sistem üzerinde yapılmış olunan başka bir çalışma ile karşılaştırılacaktır. Sonraki aşamada birbirine bağlı mikro şebekelerden oluşan test sistemi üzerinde farklı senaryolar kullanılarak çalışmalar yapılacaktır. İlk olarak ele alınan sistem normal çalışma durumlarında incelenecektir. Sonraki aşamada sisteme elektrikli araçlar eklenerek sisteme olan etkileri incelenecektir. Yapılan senaryolarda belirli bölgelerin kapatılmasının şebekeye olan etkileri de incelenecektir.

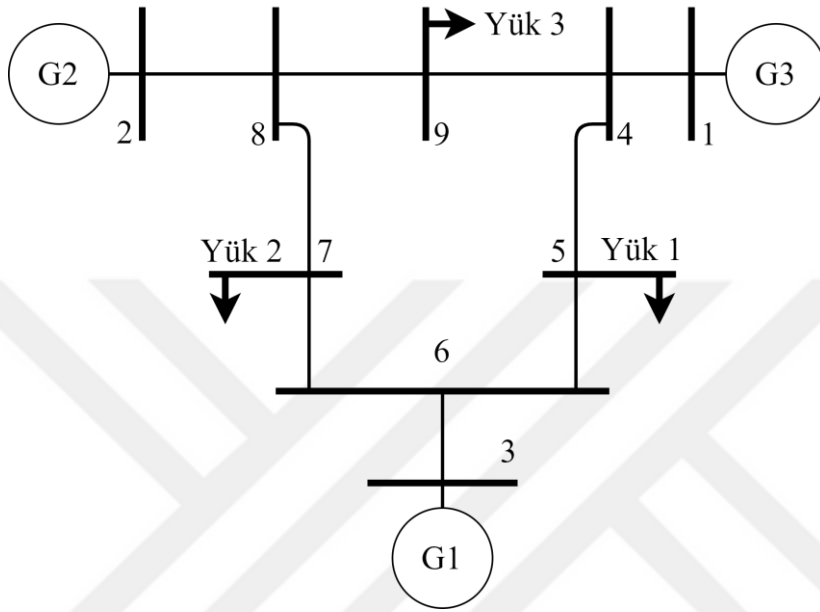
Gerçekleştirilen çalışmalar 3.5GHz hızında çalışan 12 çekirdekli işlemciye ve 64gb bellekli bir iş istasyonu üzerinde yapıldı. Bu bilgileri elde edilen verilerin tekrarlanabilirliği açısından verilmiştir.

##### **4.1 Senaryo 1: Geliştirilen Programın Test Edilmesi**

Geliştirilen programın doğruluğunu test etmek amacıyla değiştirilmiş 3 makineli 9 [30] baralı test sistemi üzerinde simülasyonlar yapılmıştır. Kullanılan test sisteminin tek hat şemasını Şekil 4.1’de verilmiştir. Sistem verileri Matpower 6.0’da [30] bulunan case9 dosyasından alınmıştır. Ancak yapılan simülasyonlar 8.0b1 versiyonunda yapılmıştır. Tez kapsamında geliştirilen programı test etmek amacıyla üzerinde çok fazla çalışma yapılmış olan az elemana sahip bu test sistemi tercih edilmiştir. Az elemana sahip olmasından dolayı geliştirme aşamasında ortaya çıkan hatalar daha rahat bir şekilde bulunmuştur.

Bu sistemin seçilme amacı daha az sistem elemanına sahip olması ve bu test sisteminin oldukça yaygın olarak kullanılmasından dolayıdır.

Oluşturulan olasılıksal güç akış programını test etmek amacıyla benzer bir çalışmada kullanılan 9 baralı test sistemi kullanılmıştır. Kullanılan test sisteminin tek hat şeması Şekil 4.1’de verilmiştir.



**Şekil 4.1 : 9 baralı test sisteminin tek hat şeması.**

Senkron makine normal koşullar altında binom dağılımı ile modellenenabilir ancak özel durumlar altında normal dağılım kullanılarak yaklaşık olarak modellemek mümkündür [50]. Binom dağılımı kullanılarak modellenmiş sistemlerde simülasyon sayısı arttıkça dağılımları normal dağılıma başlayacaktır. Monte Carlo simülasyonunda çok yüksek sayıda simülasyon yaptığımız için bu yakınsamayı yapmakta bir sorun olmayacaktır. Yapılan bu yakınsama elde edilen sonuçlara bir miktar hata katmaktadır [51]. Ancak bu adımda amacımız oluşturulan programın doğruluğunu kontrol etmek olduğu için baz alınan çalışmanın yaptığı kabulleri yapılarak aynı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu senaryoda baz aldığımız yayında analitik yöntemlerle sayısal yöntemlerin karşılaştırılması yapılmaktadır. Kullanılan analitik yöntemlerde ayrık bir rastgele değişken olması çözüme ulaşmayı oldukça zorlaştırır hatta imkânsız hala getirmektedir, bu nedenle yazarlar tarafından yapılan çalışmada bu kabulleri yapmışlardır [11]. Tez kapsamında geliştirilen program sayısal olarak sonuca ulaşmasından dolayı bunun gibi engellere sahip değildir. Ancak yapılan çalışmaların

farklı sonuç elde etmesini önlemek adına baz alınan çalışma ile aynı kabuller yapılmıştır.

Yüklerde oluşan belirsizlikler normal dağılım ile modellenebilir [18]. Yüklerin standart sapmaları ise yüklerin ortalama değerlerinin belirli bir yüzdesi olarak alınabilir [52]. Üretim ve tüketim değerlerinin ortalama değerleri kullanılan test sistemindeki veriler ile aynı alınmıştır. Yüklerin standart sapma değerleri ortalama değerlerinin %10'u olarak, üretimlerin standart sapma değerleri ise ortalama değerlerinin %5'i olarak alınmıştır.

Bu bilgiler ışığında simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Olasılıksal güç akışı sonucunda elde edilen gerilim büyüklükleri ve açıları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu kısımda baz alınan çalışma ile karşılaştırıldığı zaman sonuçların aynı olduğu görülmektedir. Bu durumda geliştirilen programın düzgün çalıştığını göstermektedir.

**Çizelge 4.1 :** Değiştirilmiş 9 baralı test sisteminin gerilim büyüklükleri ve açıları.

| Bara açıları (Derece) |          |          |          | Bara gerilimleri (p.u.) |        |          |
|-----------------------|----------|----------|----------|-------------------------|--------|----------|
| Bara                  | Det.     | $\mu$    | $\sigma$ | Det.                    | $\mu$  | $\sigma$ |
| 1                     | 0,00000  | 0,00000  | 0,00000  | 1,0000                  | 1,0000 | 0,0000   |
| 2                     | 9,66874  | 9,62646  | 2,04392  | 1,0000                  | 1,0000 | 0,0000   |
| 3                     | 4,77107  | 4,73165  | 1,73267  | 1,0000                  | 1,0000 | 0,0000   |
| 4                     | -2,40664 | -2,40955 | 0,68672  | 0,9870                  | 0,9869 | 0,0023   |
| 5                     | -4,01726 | -4,02093 | 1,19862  | 0,9755                  | 0,9754 | 0,0037   |
| 6                     | 1,92560  | 1,89291  | 1,68009  | 1,0034                  | 1,0033 | 0,0013   |
| 7                     | 0,62154  | 0,58352  | 1,93111  | 0,9856                  | 0,9856 | 0,0029   |
| 8                     | 3,79912  | 3,76459  | 1,85499  | 0,9962                  | 0,9961 | 0,0018   |
| 9                     | -4,34993 | -4,35751 | 1,34550  | 0,9576                  | 0,9576 | 0,0054   |

Simülasyonun çalışma süresi Çizelge 4.2'de verilmiştir. Burada verilen süre sadece hesaplamaların yapıldığı süre dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar önceden yapılan çalışma [53] ile karşılaştırılınca simülasyon süresinin bir miktar arttığı incelenmektedir. Gerçekleşen bu artışın ana sebebi programa eklenen yeni yeteneklerin hesaplama süresini arttırmasıdır.

**Çizelge 4.2 :** Senaryo 1'in simülasyon süresi.

| Simülasyon süresi(s) |            |
|----------------------|------------|
| Senaryo 1            | 118,102933 |

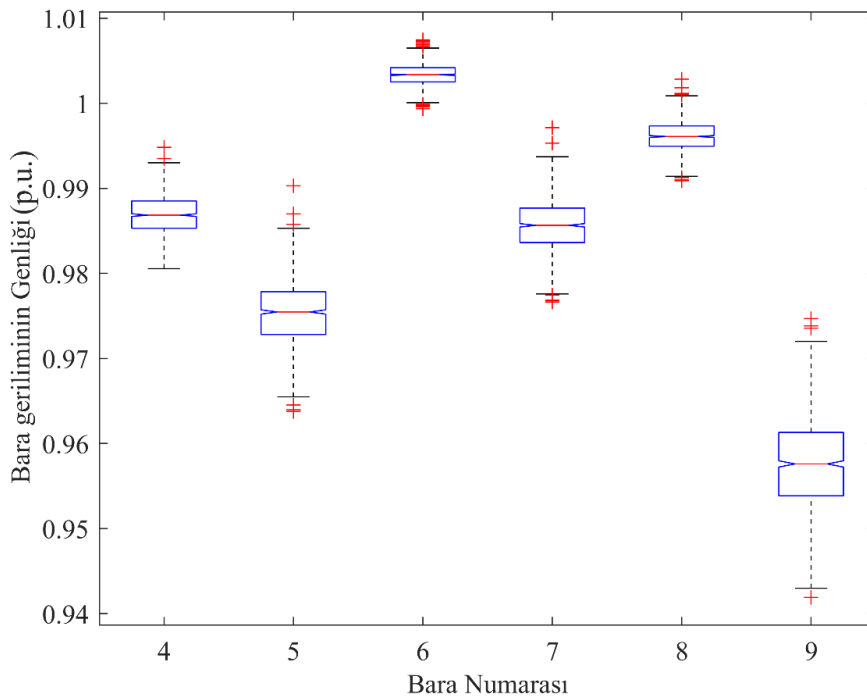
Bara gerilim genlikleri dağılımları kutu grafiği kullanılarak birim değer olarak Şekil 4.2'de verilmiştir. Bara 1 salınım barası ve bara 2 ve 3 üretim baraları olduğu için

genlikleri değişmediği için sonuç grafiklerine eklenmedi. Bara gerilimleri sistemin verilerinde belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır.

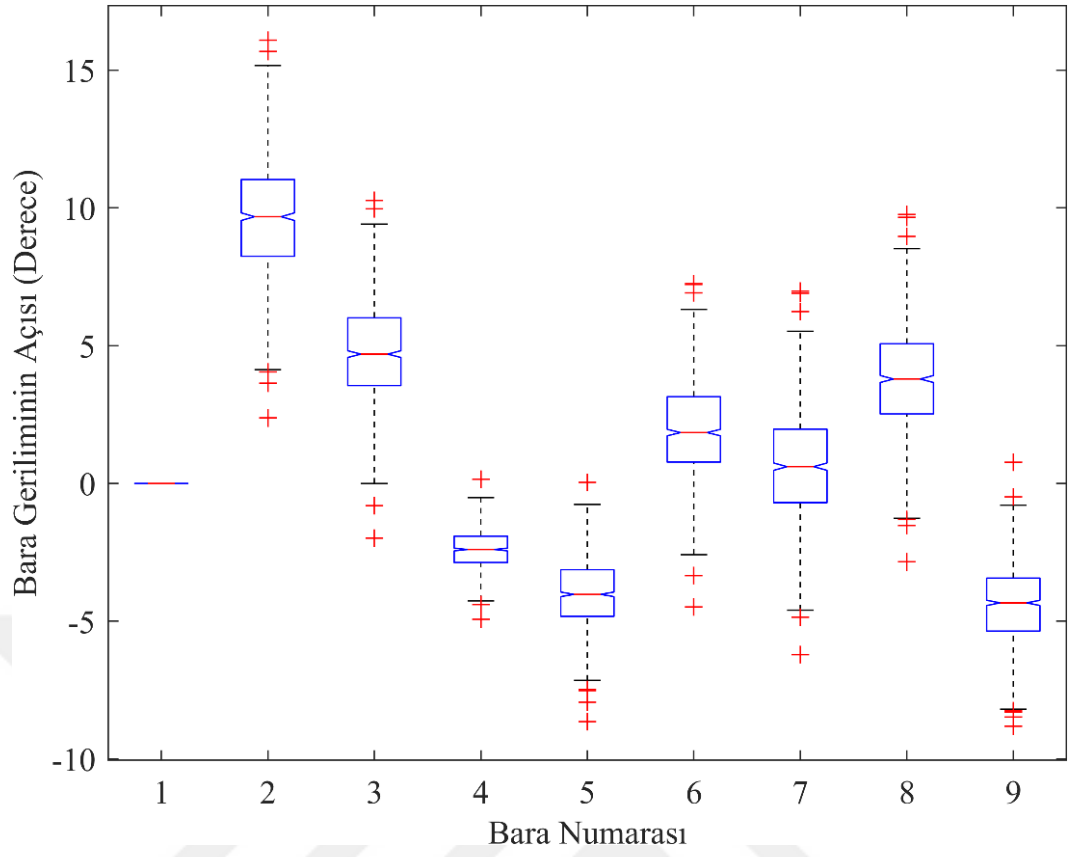
Bara gerilimlerinin açıları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.3’de verilmiştir. 1 numaralı bara salınım barası olduğu için elde edilen sonuçlar bu baranın açısı baz alınarak verilmiştir. Bu nedenle bu baranın açısı sıfır olarak gözükmemektedir. Gösterim için kullanılan kutu grafiği gösteriminde alt ve üst kutular sırasıyla gösterimi yapılan verinin %25 ve %75’ini temsil etmektedir. Kutuların arasında bulunan kırmızı çizgi medyanı, bu çizginin etrafında olan çentik ise medyandan %5’lik uzaklıkta olan verileri temsil etmektedir. Kutulardan çıkan çizgiler ise tüm dağılımı ifade etmektedir. Kırmızı artı ile gösterilen değerler alt ve üst kutulardaki değerlerden 1,5 kat fazla olan değerleri temsil etmektedirler. Bu değerlere aykırı değerler denilmektedir.

Baralar arasında akan aktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.4’te gösterilmiştir. X ekseninde yazan sayılardan ilki hattın hangi baradan başladığını ikincisi ise hangi barada bittiğini göstermektedir. Bu değerlerin negatif olması seçilen yöne ters olarak gücün aktığını göstermektedir. Aktif güç akış dağılımları grafiği incelendiğinde üretim ve yüklerin en yüksek olduğu baralara bağlı hatların güç akış dağılımları diğer hatlara göre daha dağınık olduğu incelenmektedir.

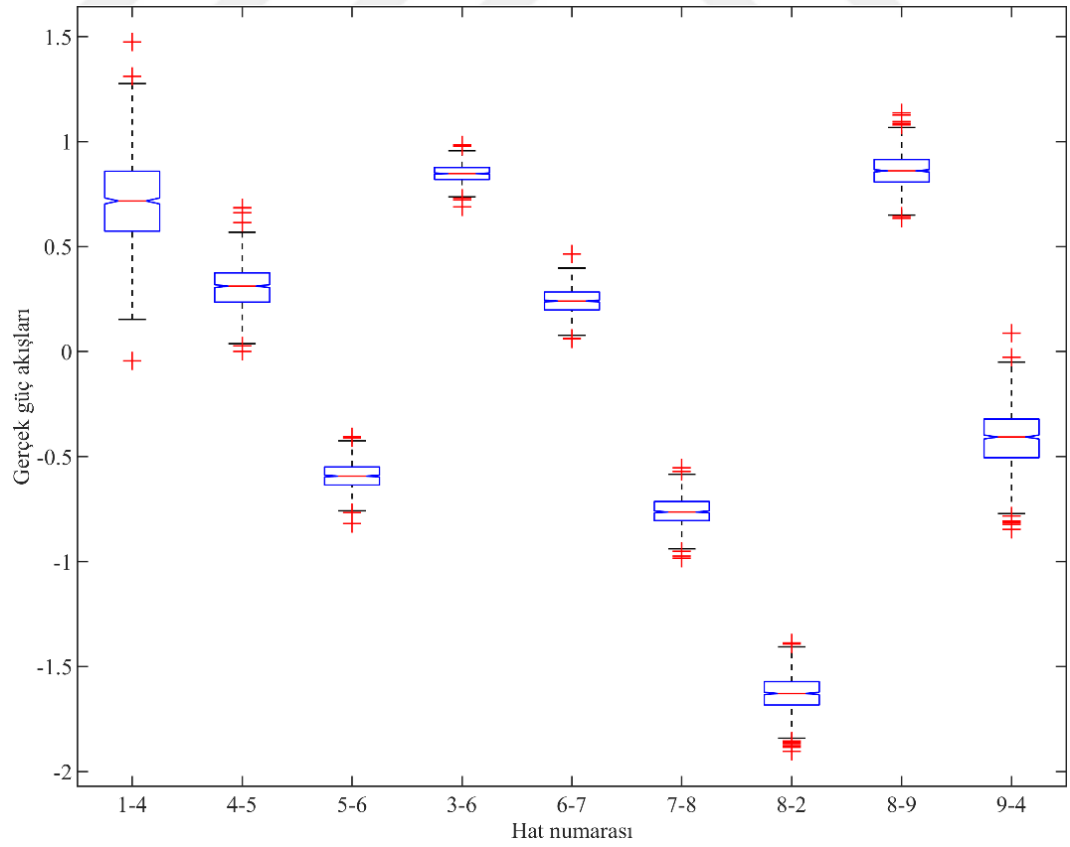
Baralar arasında akan reaktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



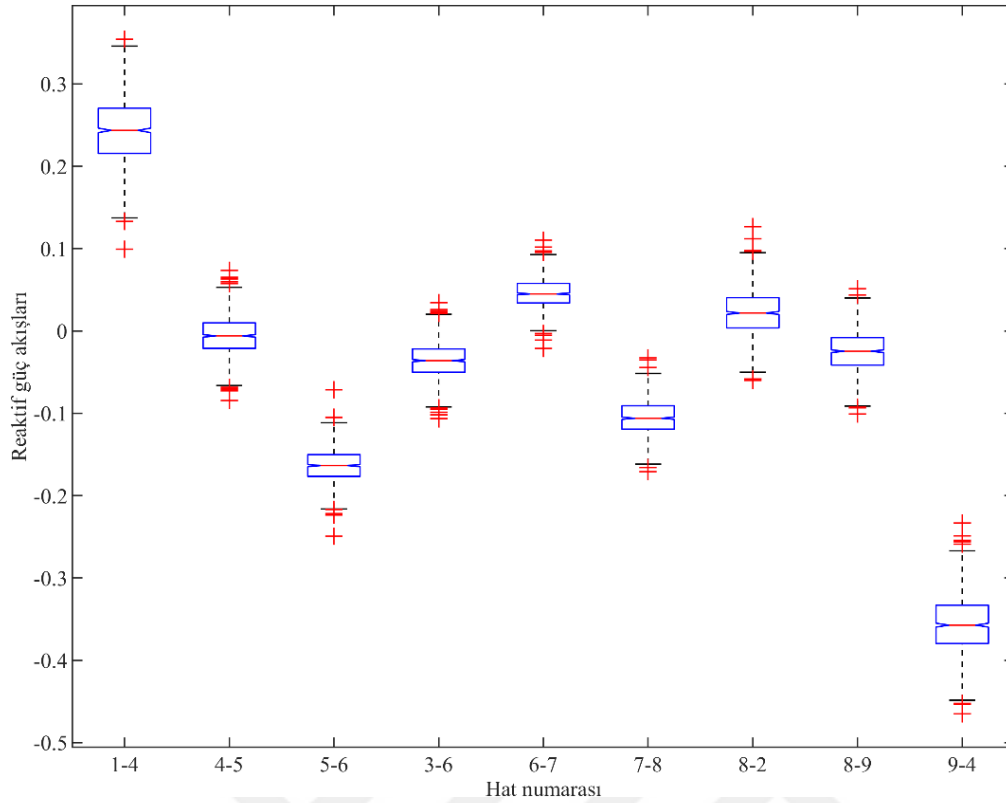
Şekil 4.2 : Bara gerilim genlikleri dağılımları.



Şekil 4.3 : Bara gerilim açıları dağılımları.



Şekil 4.4 : Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları.



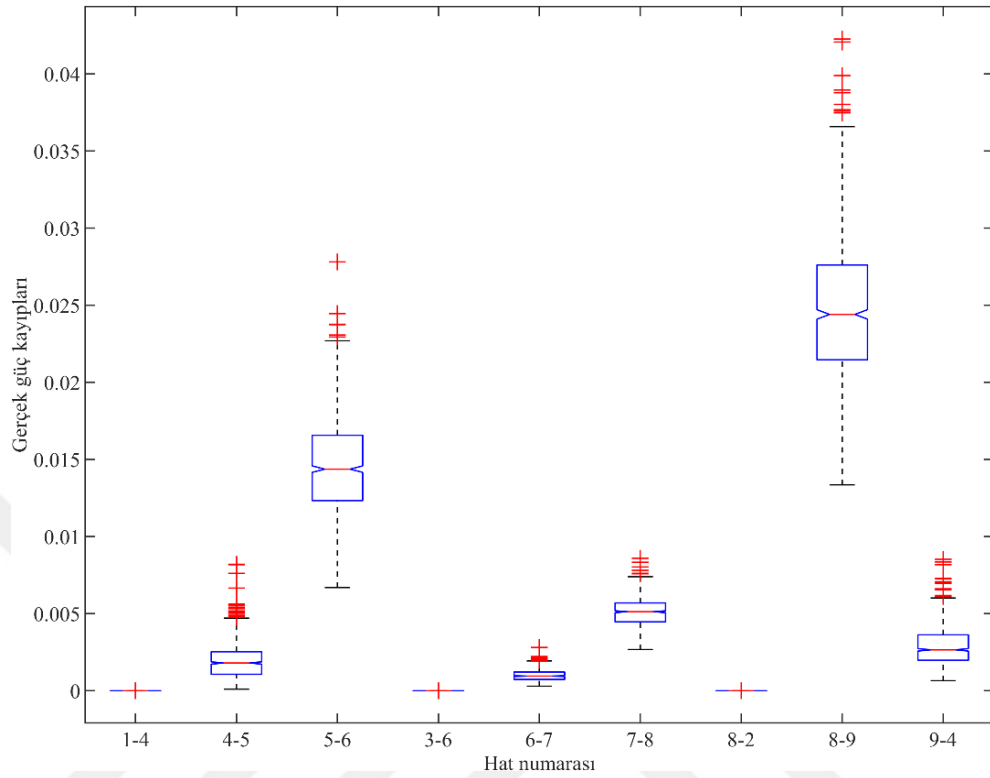
**Şekil 4.5 :** Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları.

Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.6’da birim değer cinsinden gösterilmiştir. Bu değerlerin hesaplaması iki taraflı olarak akan güç akışlarının birbirlerinden farkını alarak yapılmaktadır. Burada, en büyük aktif güç kaybının 8 ve 9 baraları arasındaki hatta meydana geldiği görülmektedir. Bu kaybın ana sebebi en yüksek direnç değerine sahip olan hatlardan olması ve üzerinde akan aktif gücün diğer hatlardan fazla olmasıdır.

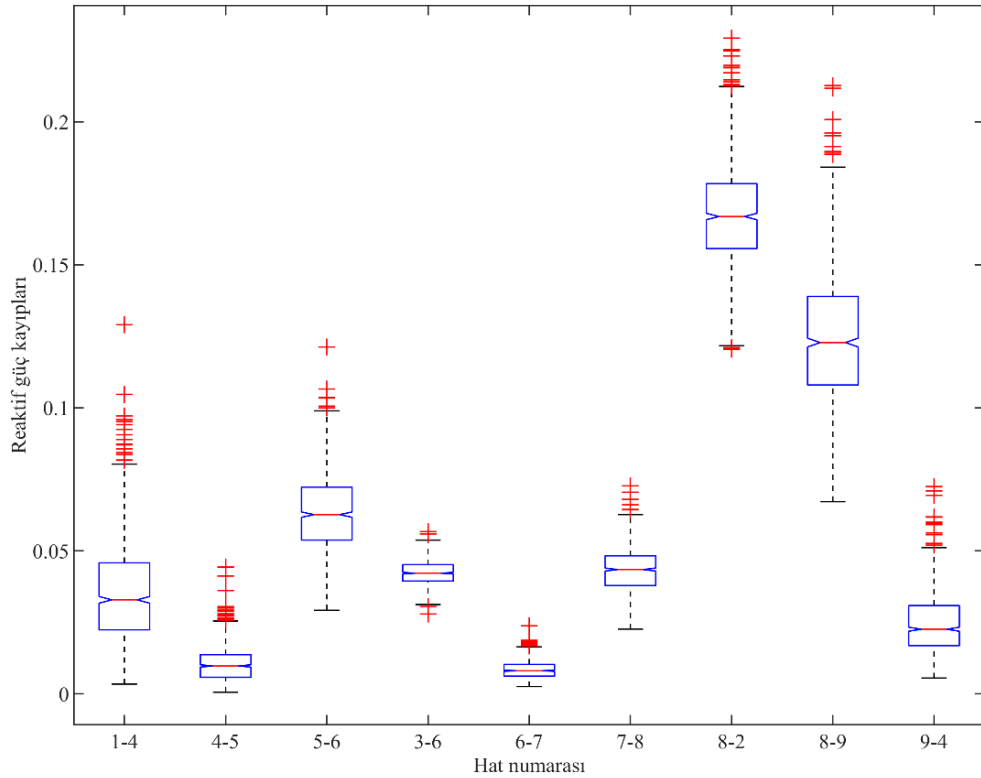
Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.7’de birim değer cinsinden gösterilmiştir. Hatlarda oluşan reaktif kayıplar incelendiğinde, 8-2 baraları arasında oluşan kaybın oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durum bu hattın aslında transformatör olmasından kaynaklanmaktadır. Gerçek direnç değeri bulunmamakta olup sadece reaktans değeri bulunmaktadır. Bu durum hat üzerinde, sadece reaktif güç kaybı ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Hatların kapasite kullanımı dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Burada verilen hat yüklenmesi değeri her bir hat için ayrı olarak hesaplanmaktadır. Öncelikle her bir hat için hattan akan aktif güç hesaplanmaktadır. Karşılıklı olarak en yüksek değer bulunarak değişkene kaydedilmektedir. Bu hesaptan sonra hat verilerinin içinden hat limiti değerleri okunmaktadır. Bu değerler kullanılarak her bir hat için

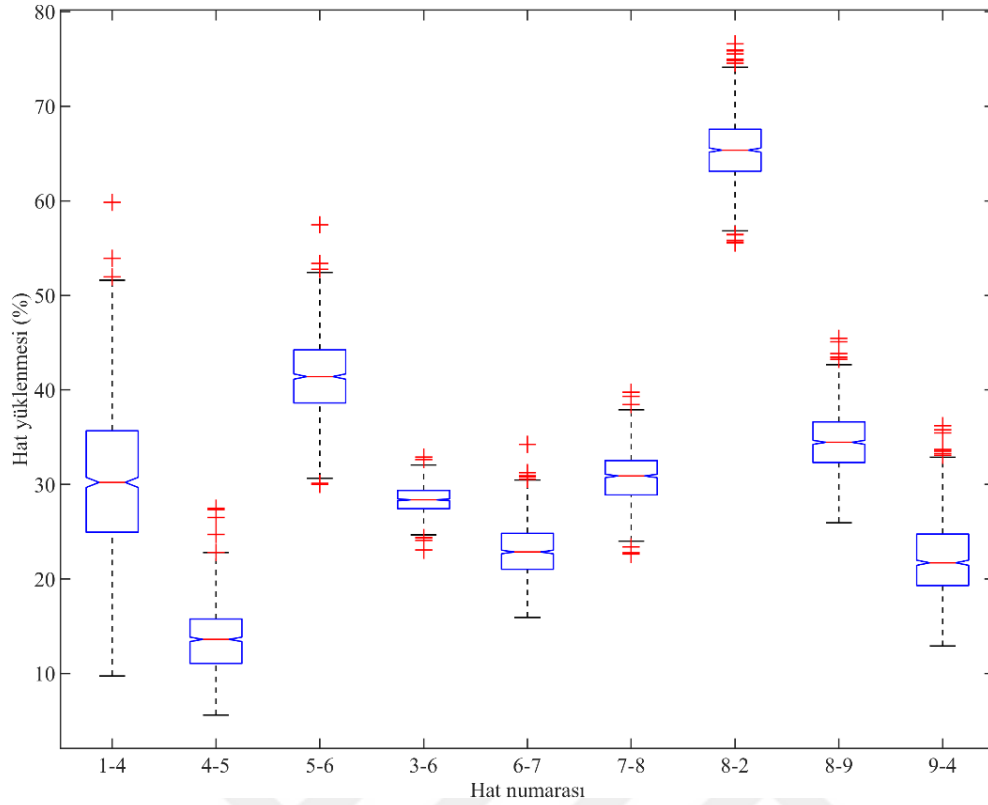
sırayla hat yüklenmesi oranı hesaplanır. Şekilde verilen hat yüklenmeleri oranı sadece hattın kendi içinde kadar kapasitesini kullandığını göstermektedir.



**Şekil 4.6 :** Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları.



**Şekil 4.7 :** Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları dağılımları.

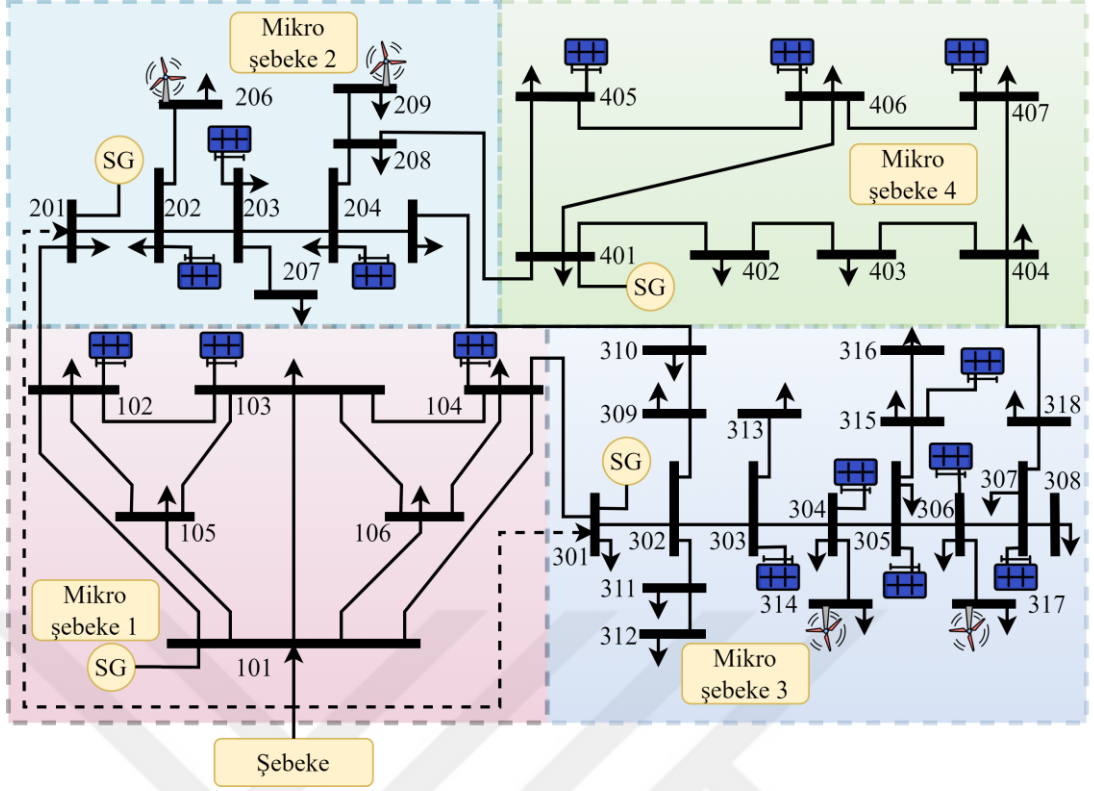


**Şekil 4.8 :** Hatların kapasite kullanımı dağılımları.

#### 4.2 Senaryo 2: Birbirine Bağlı Mikro Şebekelerden Oluşan Test Sisteminde Baz Durum Analizi

Bu bölümde birbirine bağlı 4 mikro şebekeden oluşan 40 baralı test sistemi üzerinde çalışmalar yapılacaktır. Tez kapsamında geliştirilen program M. N. Alam ve diğerleri tarafından geliştirilen test sistemi üzerinde çalıştırılmıştır [43]. Kullanılan test sistemi 4 tane birbirine bağlı mikro şebekeden oluşmaktadır. Bu çalışma diğer çalışmalar ile karşılaştırma amacıyla kullanılacağı için her bölge aktif olarak simülasyonlar yapılmıştır.

Test sisteminin tek hat şeması Şekil 4.9’da verilmiştir. Burada kullanılan ok işaretleri yükleri temsil etmektedir. Kullanılan test sisteminin, üretim değerleri Çizelge A.1’de, mikro şebekeleri birbirine bağlayan hatların değerleri Çizelge A.2’de, bara yük değerleri Çizelge A.3’te ve hat değerleri Çizelge A.4’te ve bulunabilir. Burada dikkat edilmesi kısım üretim ve tüketim değerleri simülasyon içinde yapılan durum analizine göre uygun dağılıma sahip olacak şekilde değiştirilmektedir. Kullanılan bu değerler sistemin normal durum verileridir.



**Şekil 4.9 :** Test sisteminin tek hat şeması.

Bu test sisteminin seçilmesindeki ana amaç gerçek dünya koşullarına daha yakın bir simülasyon ortamı oluşturmaktır. Kullanılan test sisteminde her bir mikro şebeke sistem ana şebekeye bağlanabilir. Yani her bir mikro şebeke salınım barasına bağlantıya sahiptir. Bu çalışmada test sisteminin bu durumu göz önüne alınarak senaryo bazlı incelemeler yapılmıştır.

Tüketim değerleri olarak baralarda oluşan tüm yükler kabul edilmiştir. Hat limit değerleri MVA cinsinden verilmediğinden dolayı akım değerleri kullanılarak baz güç kullanılarak hat limitleri MVA olarak hesaplanmıştır. Ana şebeke normal durumda mikro şebeke 1'e bağlı olacak şekilde ayarlıdır ancak gerekli durumlarda mikro şebeke 2 ve mikro şebeke 3'e bağlanabilmektedir bu durumu programda gerçekleştirecek kodlar eklenmiştir. Sistemde mikro şebekelerin içinde bulunan hatlar dışında bunları birbirine bağlayan hatlarda bulunmaktadır bu hatlarda programın içine eklenmiştir.

Fotovoltaik ve RES'ler sistem verilerinde verilen güç değerlerine göre dağılıma sahip olacak şekilde eklenmiştir. Fotovoltaik üretim için önceki bölümlerde bahsedilen şekilde parametreleri 2,06 ve 2,5 olan Beta dağılımı kullanılmıştır [19]. Qin Z. ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada kullanılan fotovoltaik paneller [37] ölçeklenerek bu sistemde kullanılmaya hazır hale getirildi. RES verileri de Huynh V.

ve diğerleri tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır [13]. RES gücü 9 ve 2 şekil parametresine sahip Weibull dağılımı kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen bu RES gücü dağılımı baralara bağlı olan RES güçlerine göre ölçeklenip programa verileri girilmiştir. Baralara bağlı olan senkron makineler ise binom dağılımı ile modellenmiştir. Hat verilerinden alınan bilgilere göre her bir üretim ünitesi parçalar halinde girilmiştir. Senkron makineler 0,92 arıza yapma ihtimaline sahip oldukları kabul edilip binom dağılımla modellenmişlerdir. Tüketim değerlerinin normal dağılımı takip ettiği varsayılmıştır. Burada ortalama değerleri olarak sistem verileri alınmıştır. Standart sapma değerleri olarak ise ortalama değerlerinin %5'i baz alınmıştır.

Bu bilgiler ışığında programa veriler girilerek simülasyonlar yapılmıştır. Alınan sonuçlar ise alttaki çizelge ve şekillerde verilmiştir. Senaryo 2'nin toplam simülasyon süresi Çizelge 4.3'te verilmiştir. Simülasyon süresi bara ve hat sayılarının artması dolayısıyla artmıştır.

**Çizelge 4.3 : Senaryo 2'nin simülasyon süresi.**

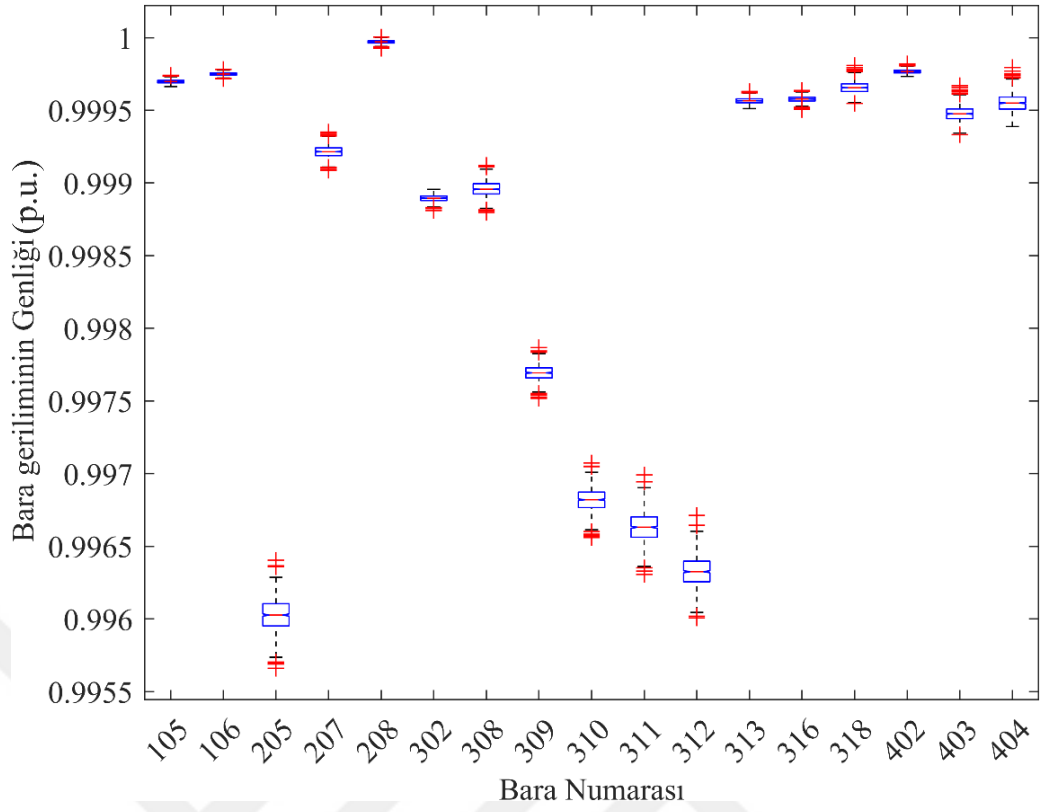
|           | Simülasyon süresi(s) |
|-----------|----------------------|
| Senaryo 2 | 163,2389986          |

Bara gerilim genlikleri dağılımları kutu grafiği kullanılarak birim değer olarak Şekil 4.10' da verilmiştir. Kullanılan test sisteminde üretim değerleri tüketimleri çok rahat bir şekilde karşılayabildiğinden dolayı gerilimler oldukça stabil bir düzeyde dağılıma sahiptirler.

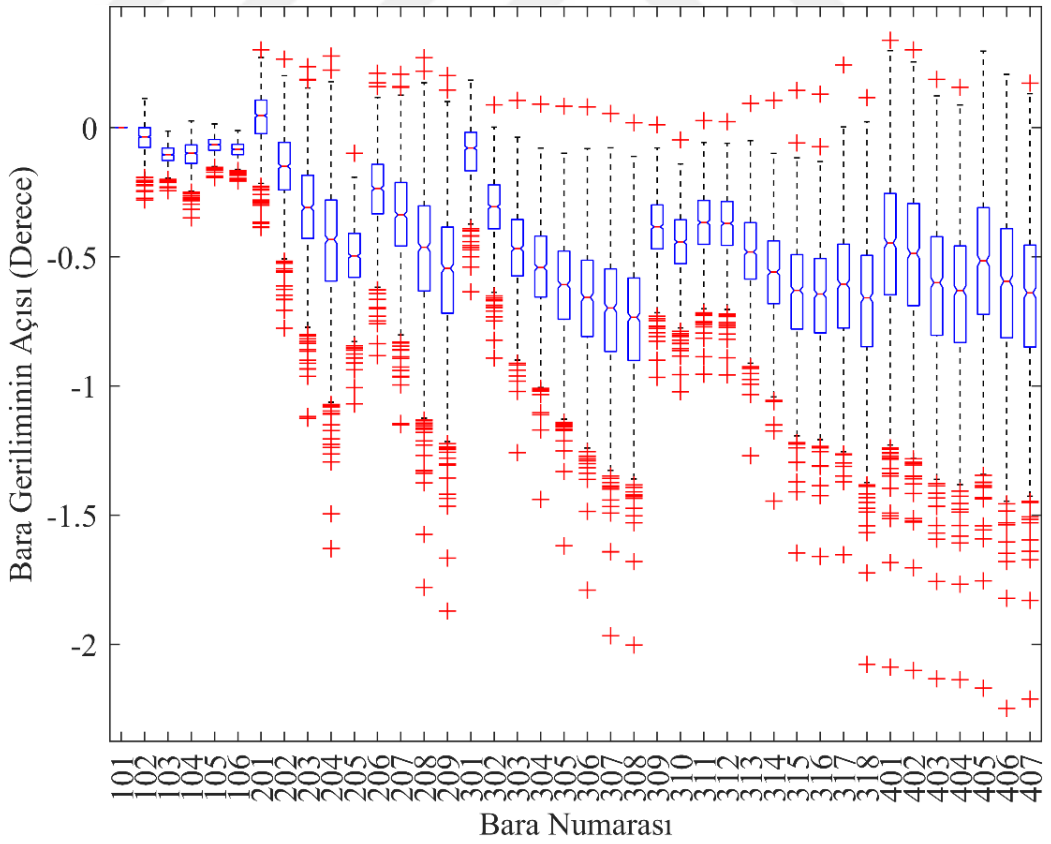
Bara gerilim açıları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.11'de verildi. Bara gerilimlerinin açılarının salınım barasına göre dağılımlarının gösterildiği bu grafik incelendiğinde genel olarak salınım barasından uzaklaştıkça açıların dağılımlarının genişlediği görülmektedir. Üretim yapılan baralarda bara açıları biraz olsun toplamaktadır. Sistemde bulunan üretim ve tüketimler olasılıksal olarak modellendiğinden dolayı aykırı değerler oldukça fazla görülmektedir. Ancak bu durumda bile sistemin sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

Baralar arasında akan aktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

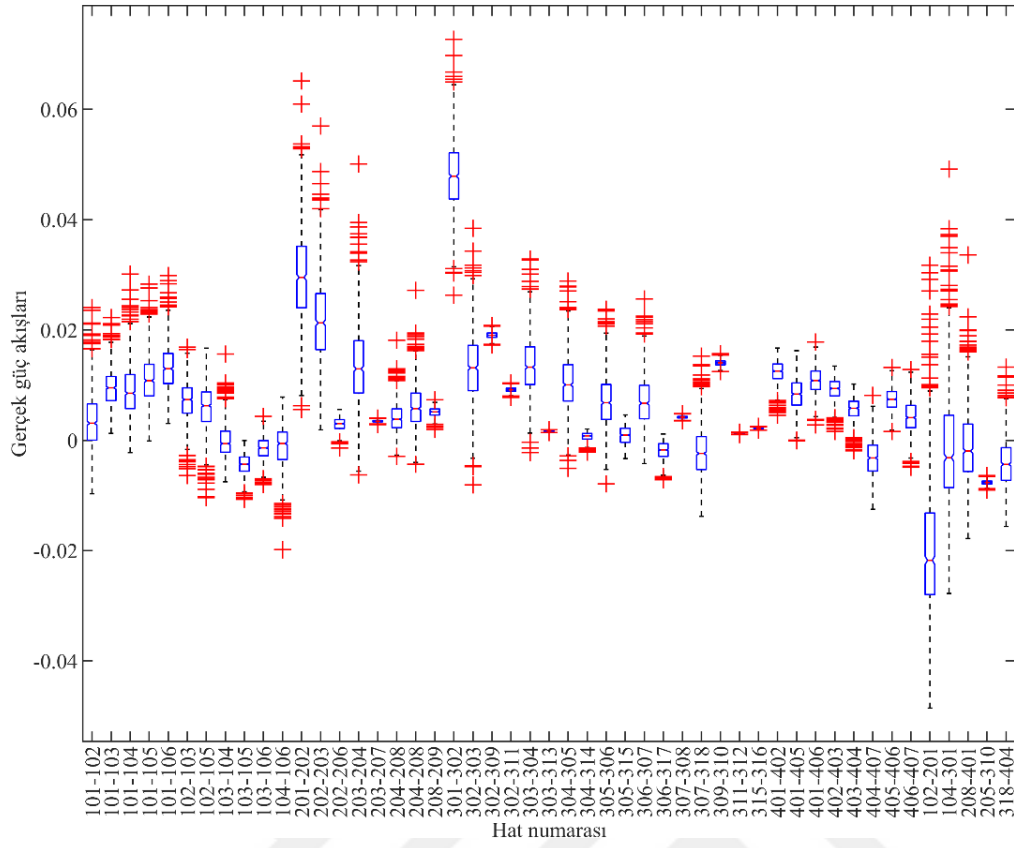
Baralar arasında akan reaktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



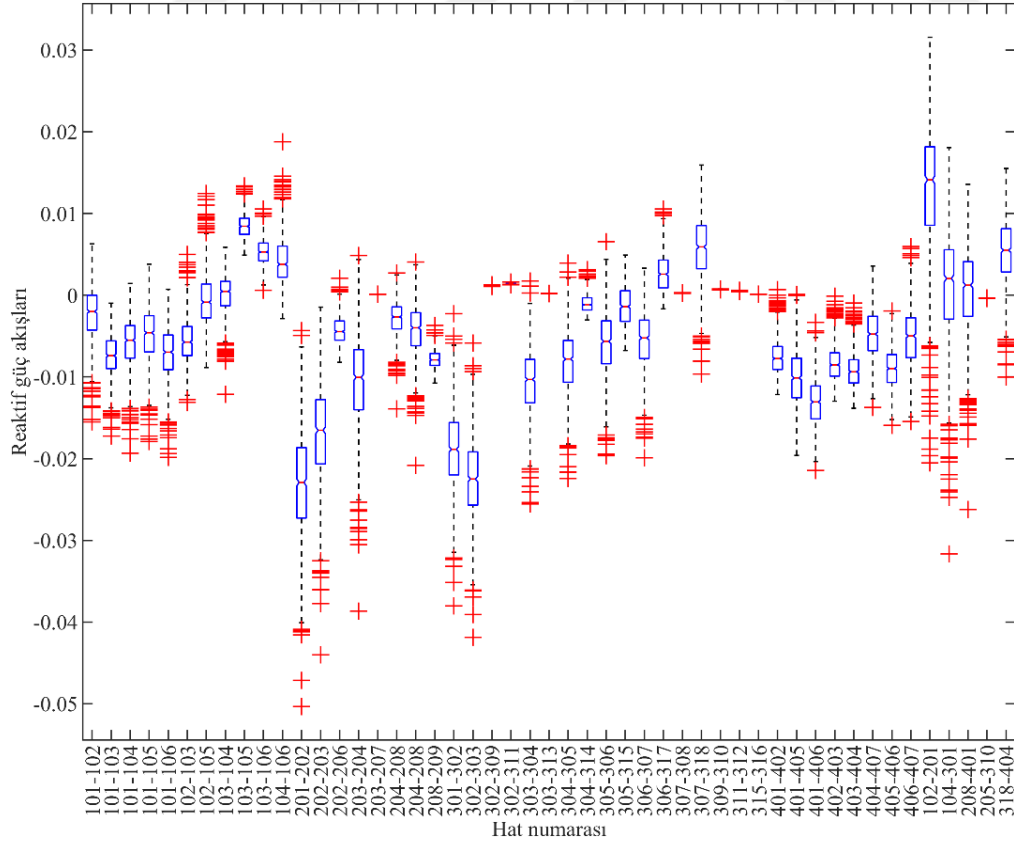
Şekil 4.10 : Bara gerilim genlikleri dağılımları.



Şekil 4.11 : Bara gerilim açıları dağılımları.

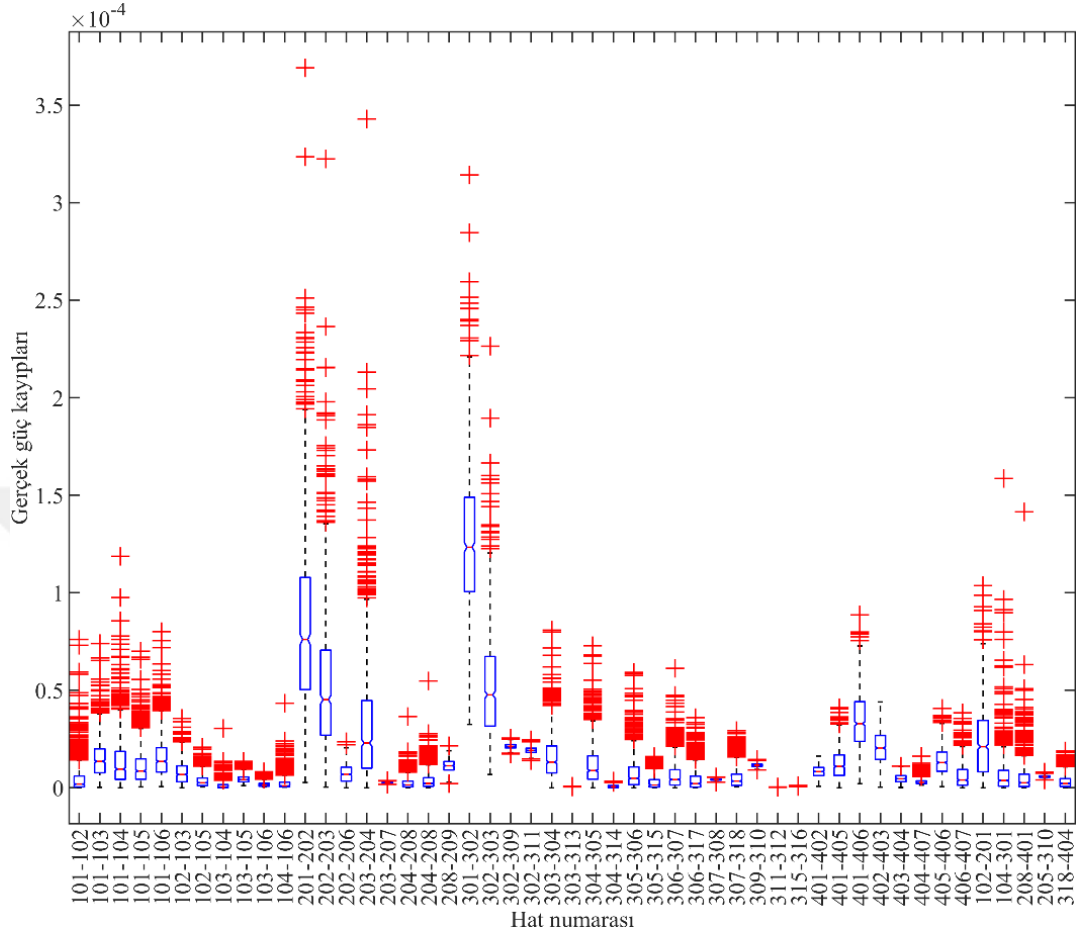


Şekil 4.12 : Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları.



Şekil 4.13 : Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları.

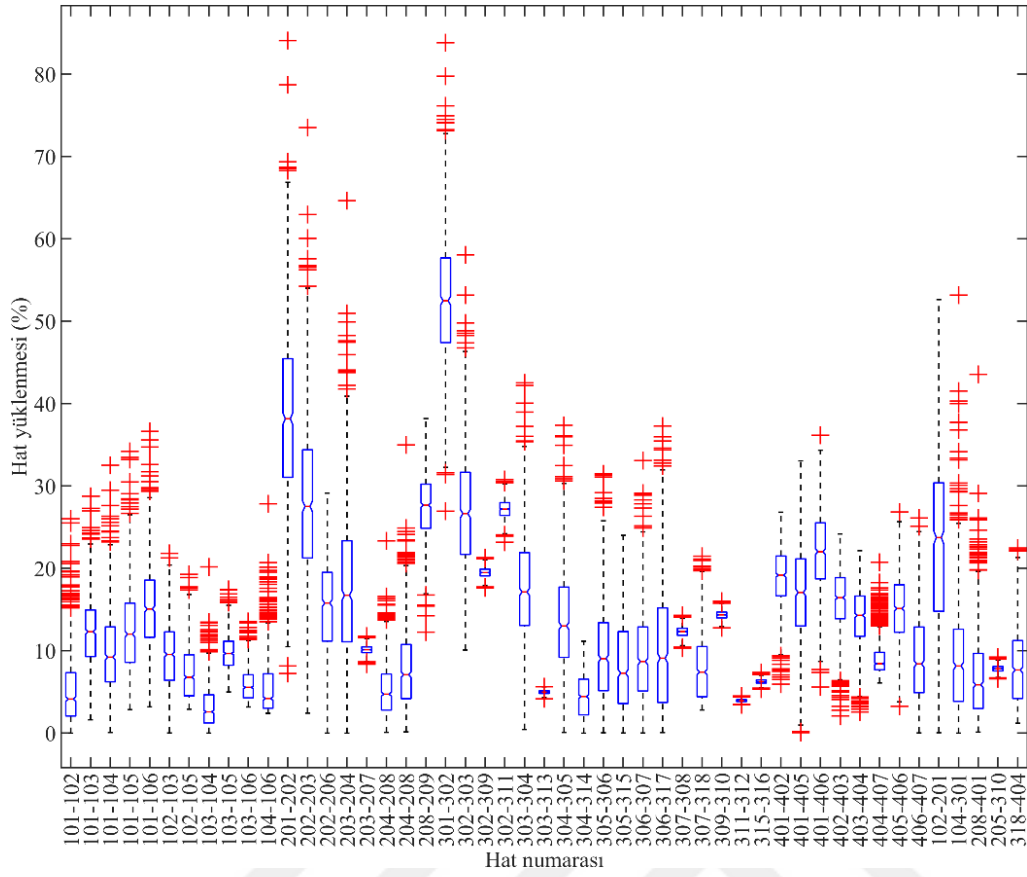
Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.14'te birim değer cinsinden gösterilmiştir.



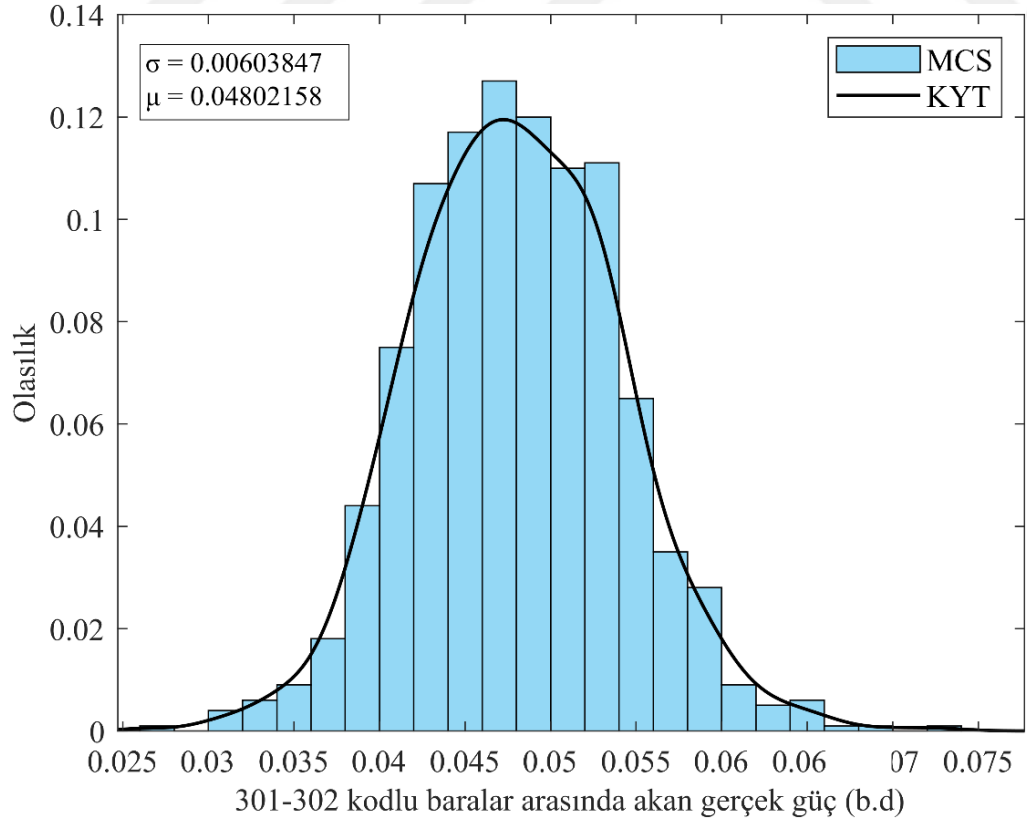
Şekil 4.14 : Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları.

Hatların kapasite kullanımı dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Verilen bu grafiklerde sıralamanın dışında kalan hatlar mikro şebekeleri birbirlerine bağlayan bağlantı hatlarına aittir. Diğer hatlardan ayrı olması açısından en son kısma eklenmişlerdir. Hatlarda kapasite kullanımının en yüksek olduğu yerler sistemlerin diğer sistemler ile bağlantısından sonraki ilk hat olmaktadır.

Hat yüklenmesinin en yüksek olduğu hatlardan biri olan 301-302 hattını daha detaylı bilgi sahibi olabilmek için detaylı aktif ve reaktif güç akışı sonuçları incelenmiştir. Şekil 4.16' da 301-302 kodlu baralar arasından akan aktif güç akışı verilmiştir.

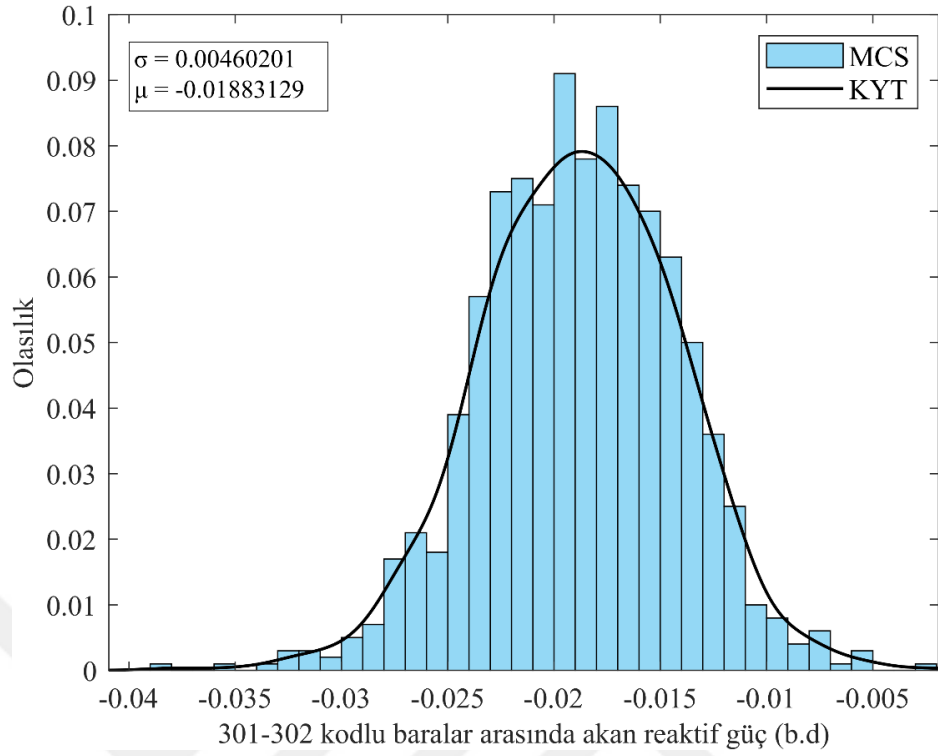


**Şekil 4.15 : Hatların kapasite kullanımı dağılımları.**



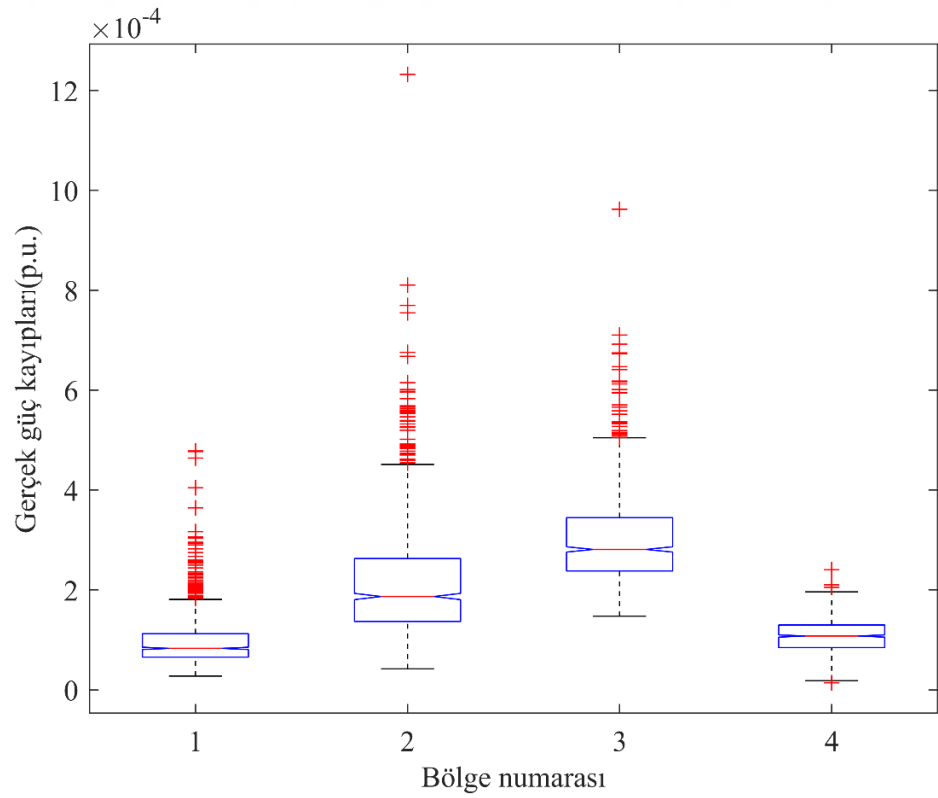
**Şekil 4.16 : 301-302 numaralı baralar arasında akan aktif güç akışının dağılımı.**

Şekil 4.17’de 301-302 kodlu baralar arasından akan reaktif güç akışı verilmiştir.



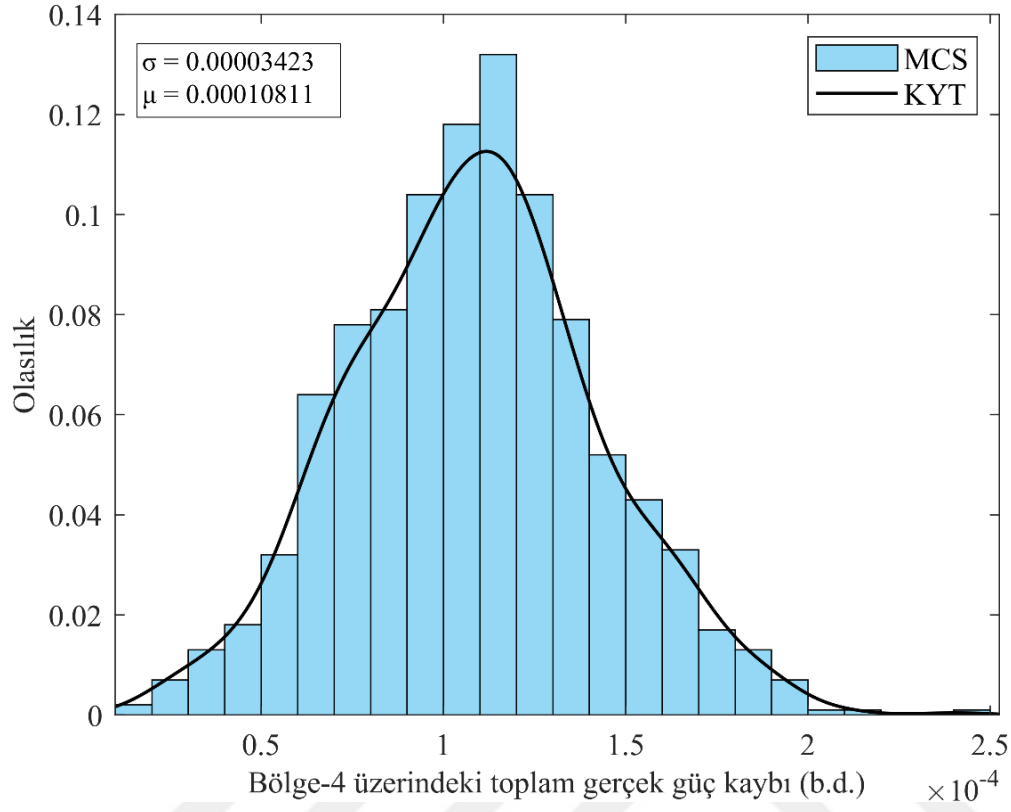
**Şekil 4.17 :** 301-302 numaralı baralar arasında akan reaktif güç akışının dağılımı.

Şekil 4.18’de bölgelerde oluşan aktif güç kayıpları kutu grafiği şeklinde gösterilmiştir.



**Şekil 4.18 :** Bölgelerde oluşan aktif güç kayıpları dağılımları.

Bölge 4 üzerinde oluşan aktif güç kayıplarının daha yakından incelenebilmesi adına Şekil 4.19’de olasılıksal yoğunluk grafiği olarak gösterilmiştir.

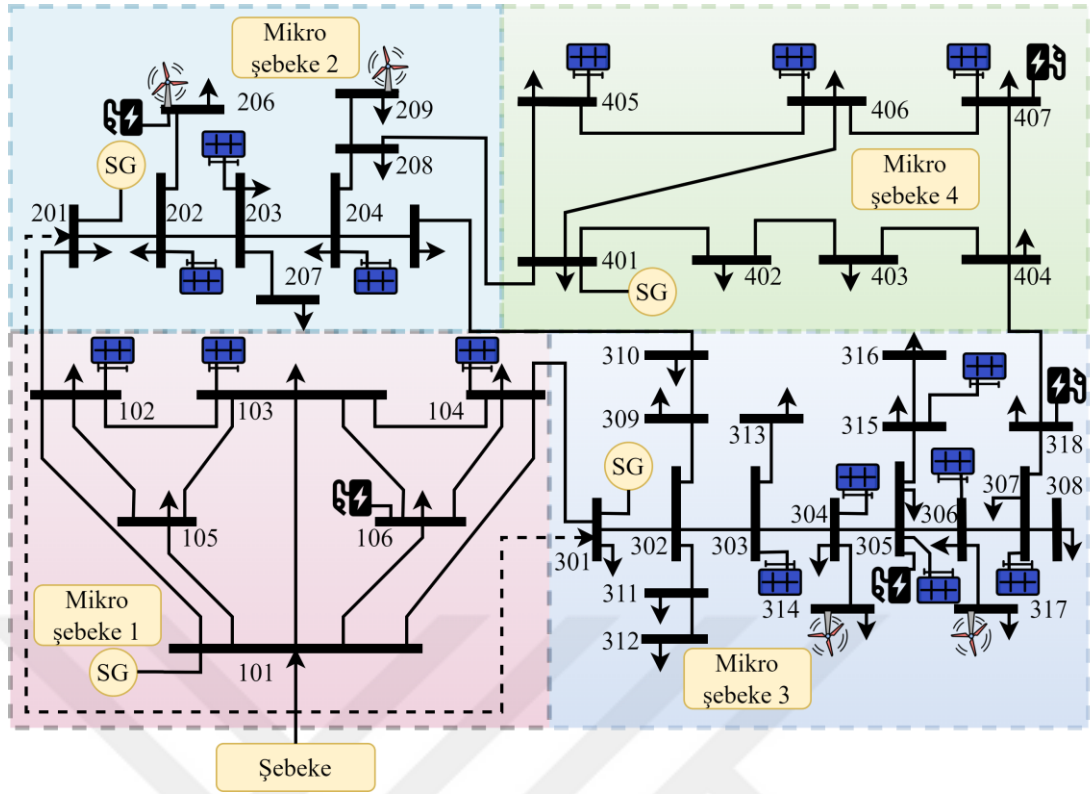


Şekil 4.19 : Bölge 4 üzerinde oluşan aktif güç kaybının dağılımı.

#### 4.3 Senaryo 3: Birbirine Bağlı Mikro Şebekelerden Oluşan Test Sistemine Elektrikli Araç Entegrasyonu

Bu kısımda sisteme elektrikli araçların şarj istasyonlarının entegrasyonu durumunda şebekenin vereceği tepki incelemiştir. Önceki çalışma ile karşılaştırılabilirliği adına sistemin diğer tüm verileri sabit tutulmuştur.

Elektrikli araçların modellenmesi Gauss karışım dağılımı ile yapılmıştır. Kullanılan dağılımın verileri Kim S. ve diğerleri tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır [23]. Yaptıkları çalışmada sonbahar için kullandıkları dağılım verileri alınarak üzerinde çalışma yaptığımız sisteme uygun olacak şekilde ölçeklenerek kullanılmıştır. Bu senaryoda elektrikli araçların eklendiği baraları Şekil 4.20’de görülebilir. Eklenen elektrikli araç şarj istasyonları 106, 206, 305, 318 ve 407 kodlu baralara eklenmiştir. Ölçeklendirme sırasında kullanılan dağılım değerlerini baz alınan sistemin 10 katı olarak alınmıştır.



**Şekil 4.20 :** Elektrikli araçlar eklenmiş test sistemi.

Bu bilgiler ışığında simülasyonlar yapılarak elde edilen sonuçlar çizelge ve grafik olarak verilmiştir.

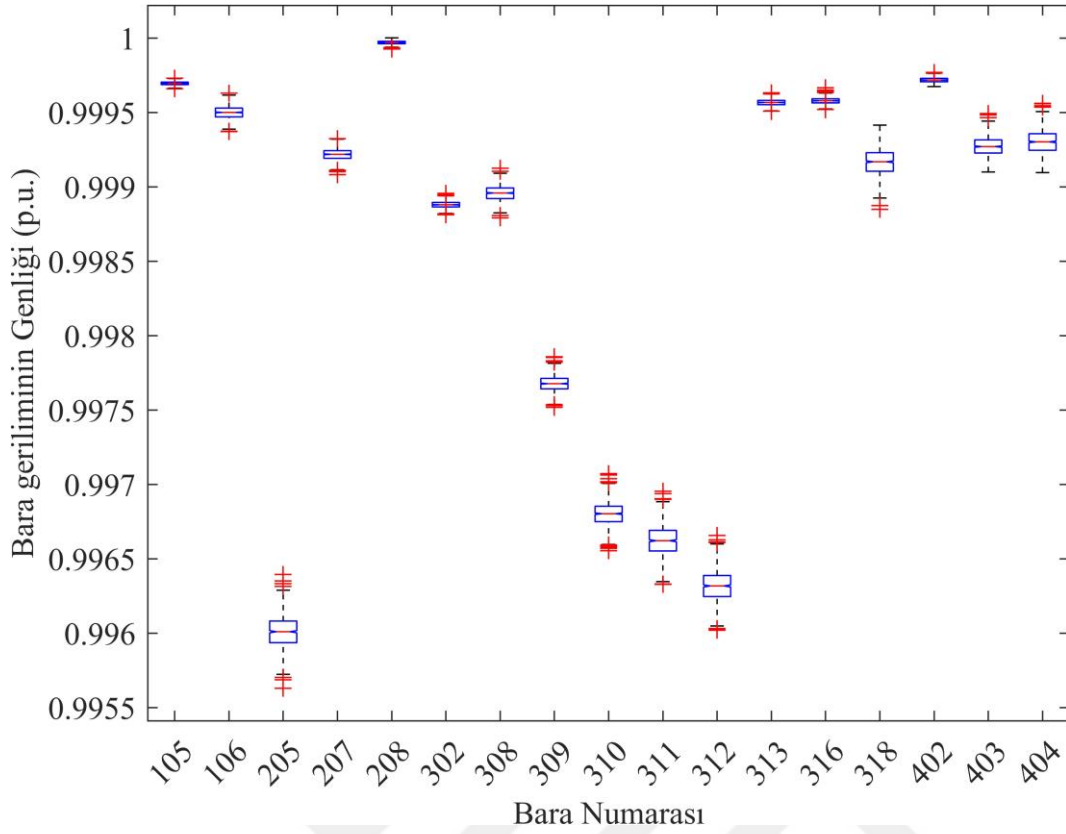
Yapılan simülasyonların süresi Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4 :** Senaryo 3'ün simülasyon süresi.

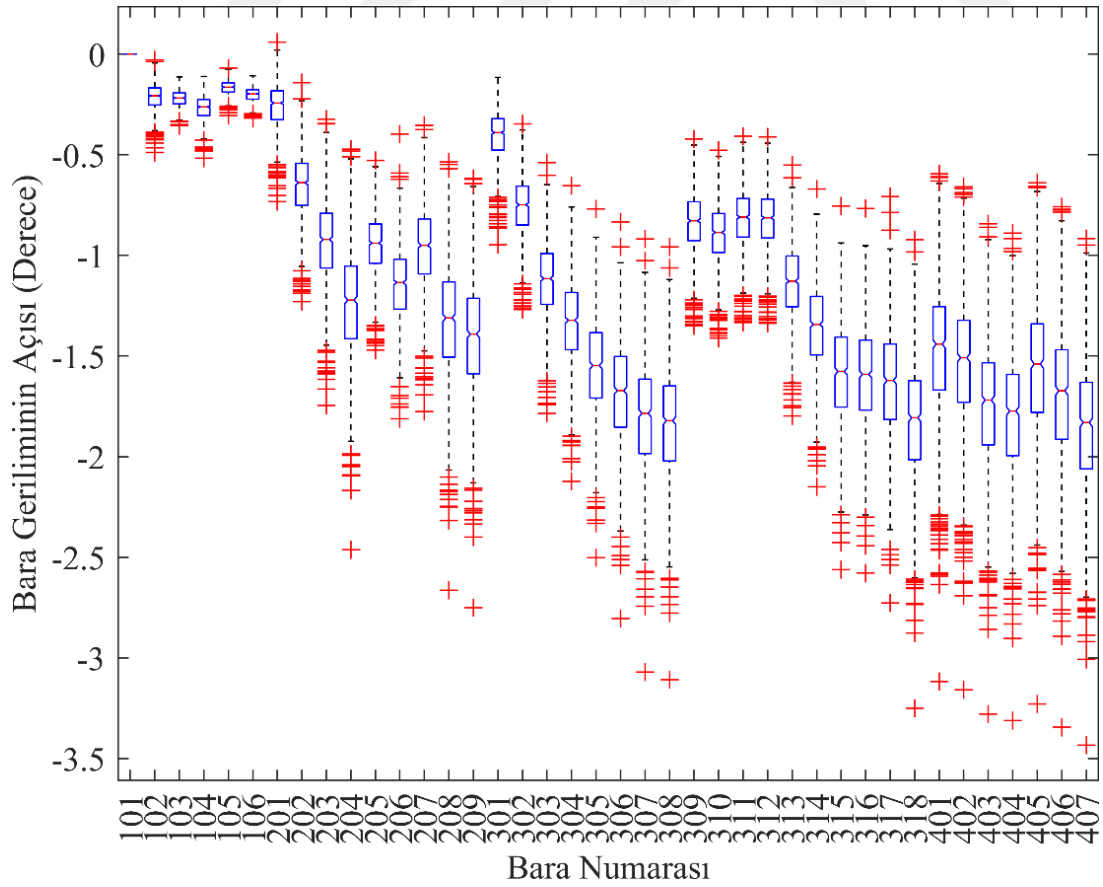
| Simülasyon süresi(s) |             |
|----------------------|-------------|
| Senaryo 2            | 125,8442795 |

Bara gerilimlerinin genliklerinin dağılımı kutu grafiği kullanılarak birim değer olarak Şekil 4.21'de verilmiştir. Sistemin üretim değerleri tüm tüketimi karşıladığı için bara gerilimleri önceki analize çok benzer şekilde çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar limitler içerisindedir.

Bara gerilimlerinin açıları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.22'de verilmiştir. Bara açıları ise eklenen yüklerden dolayı baz çalışma ile karşılaştırıldığı zaman 1 dereceye yakın kaymıştır. Gerçekleşen bu kayma senkron makinelerin bulunduğu baralarda oldukça az yaşanmıştır. İlk bölge salınım barasına yakın olduğu için açılar salınım barasına oldukça yakın kalmıştır. Baz çalışma ile karşılaştırıldığında en kötü baranın açısı değeri minimum -2 derece civarlarından -3,5 dereceye kadar düşmüştür.

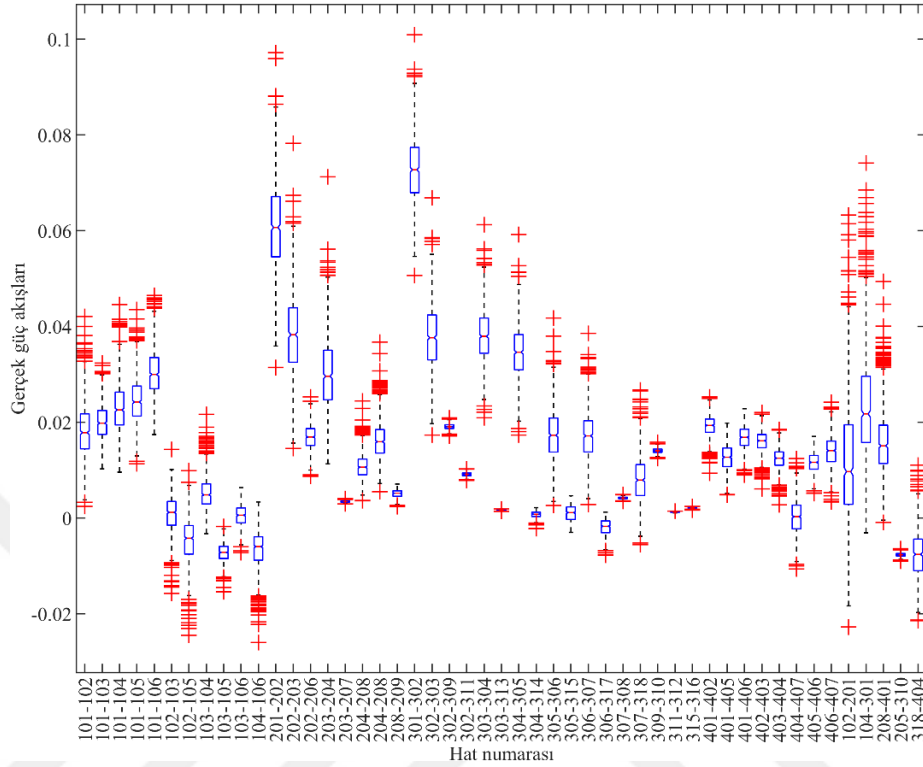


Şekil 4.21 : Bara gerilim genlikleri dağılımları.



Şekil 4.22 : Bara gerilim açıları dağılımları.

Baralar arasında akan aktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



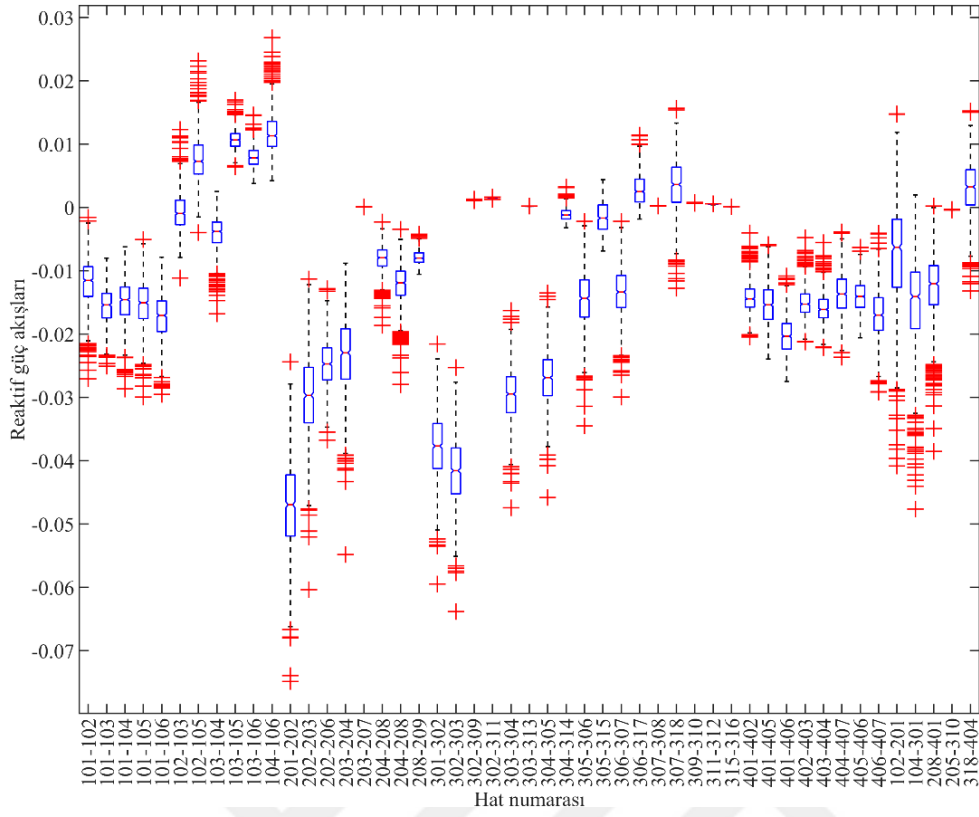
**Şekil 4.23 :** Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları.

Baralar arasında akan reaktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Bölgelerde oluşan aktif güç kayıpları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.25'de birim değer cinsinden gösterilmiştir.

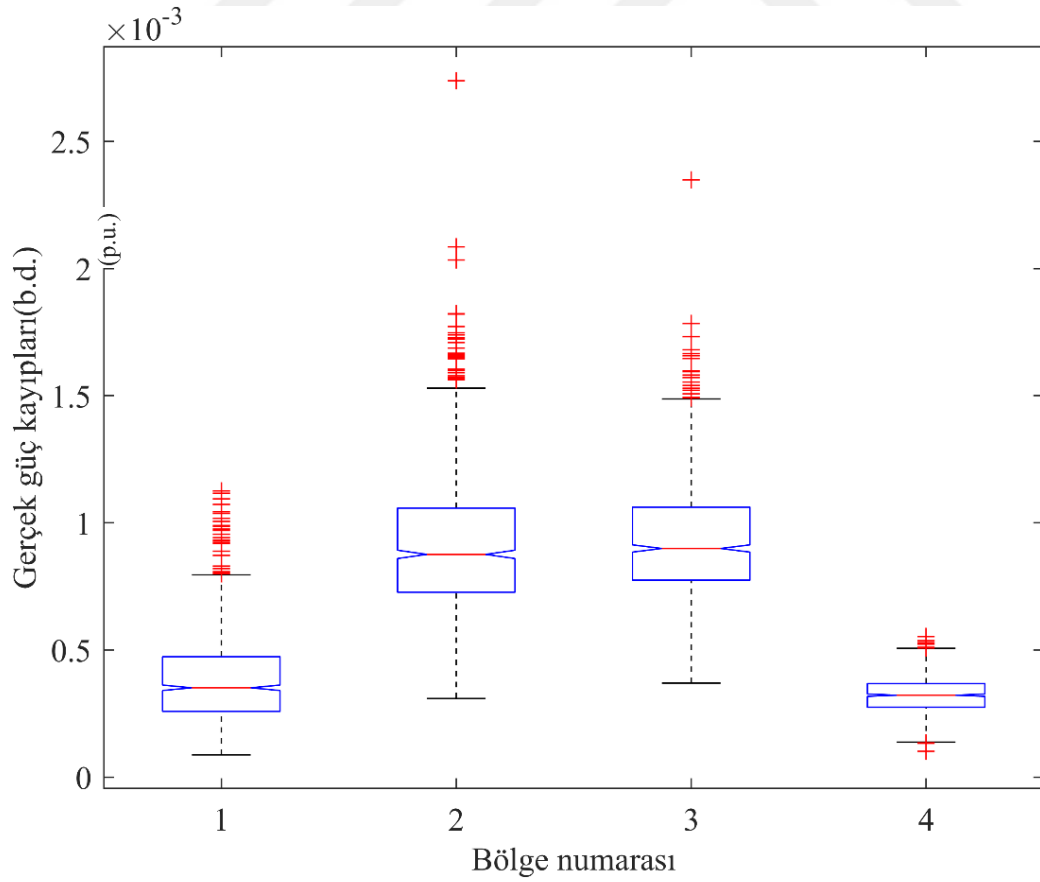
Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.26'de birim değer cinsinden gösterilmiştir.

Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.27'de birim değer cinsinden gösterilmiştir. Burada kayıpların gerçek kayıplara oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum ana sebebi mikro şebekelerde hat değerlerinde R ve X değerlerinin birbirine yakın olmasıdır.

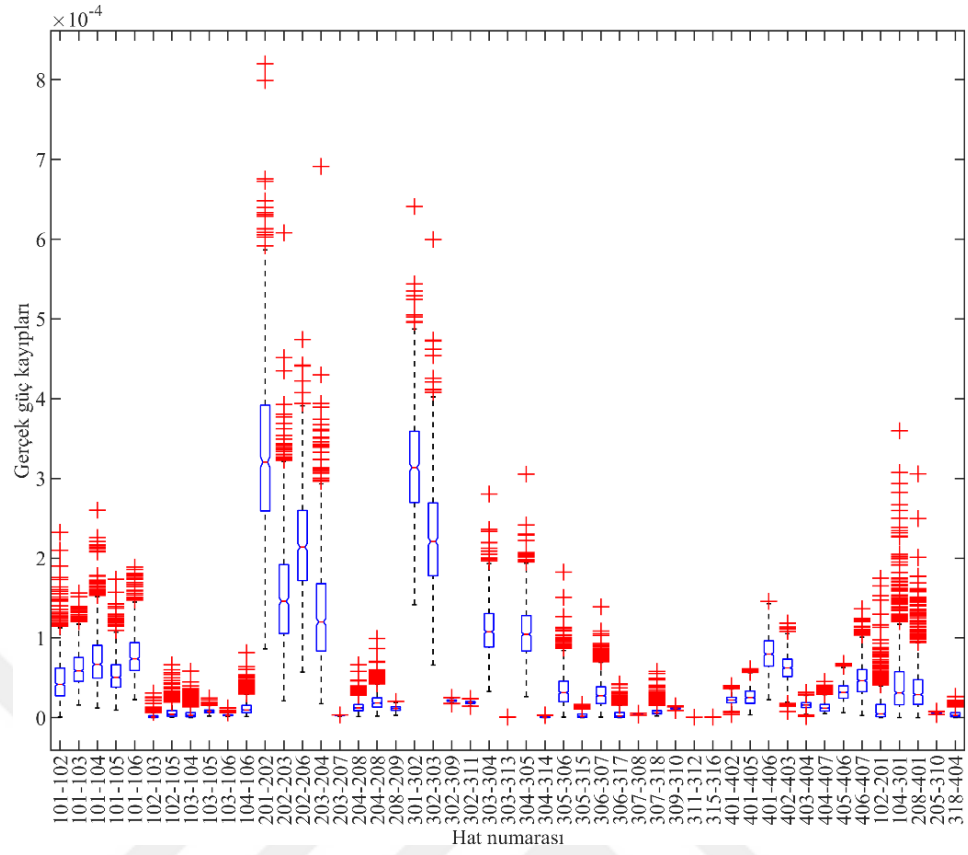
Hatların kapasite kullanma oranlarının dağılımı kutu grafiği olarak Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Burada hat limitlerinin aşıldığı görülmektedir. Limitlerin aşımaları ise genel olarak elektrikli araçların şarj istasyonlarının bağlı olduğu baralara bağlı olan hatlarda meydana gelmektedir. Bu durumlara ek olarak mikro şebekelerin ilk baralarına bağlı olan hatlarında limit aşımı yapıldığı görülmektedir.



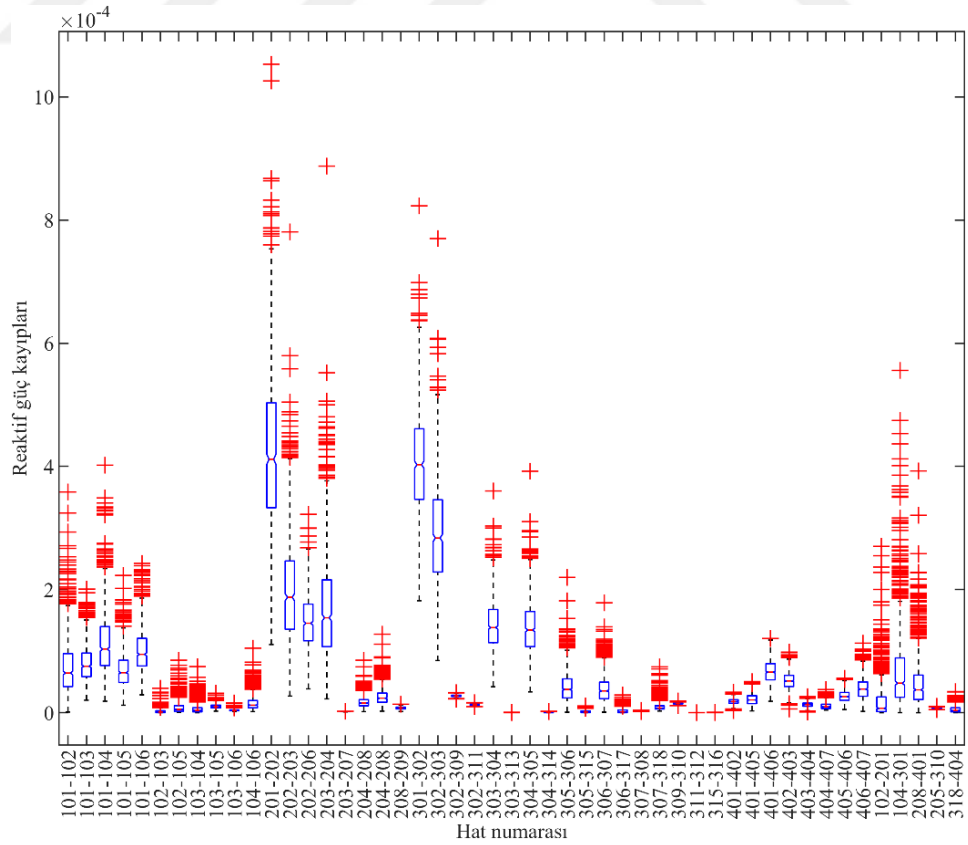
Şekil 4.24 : Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları.



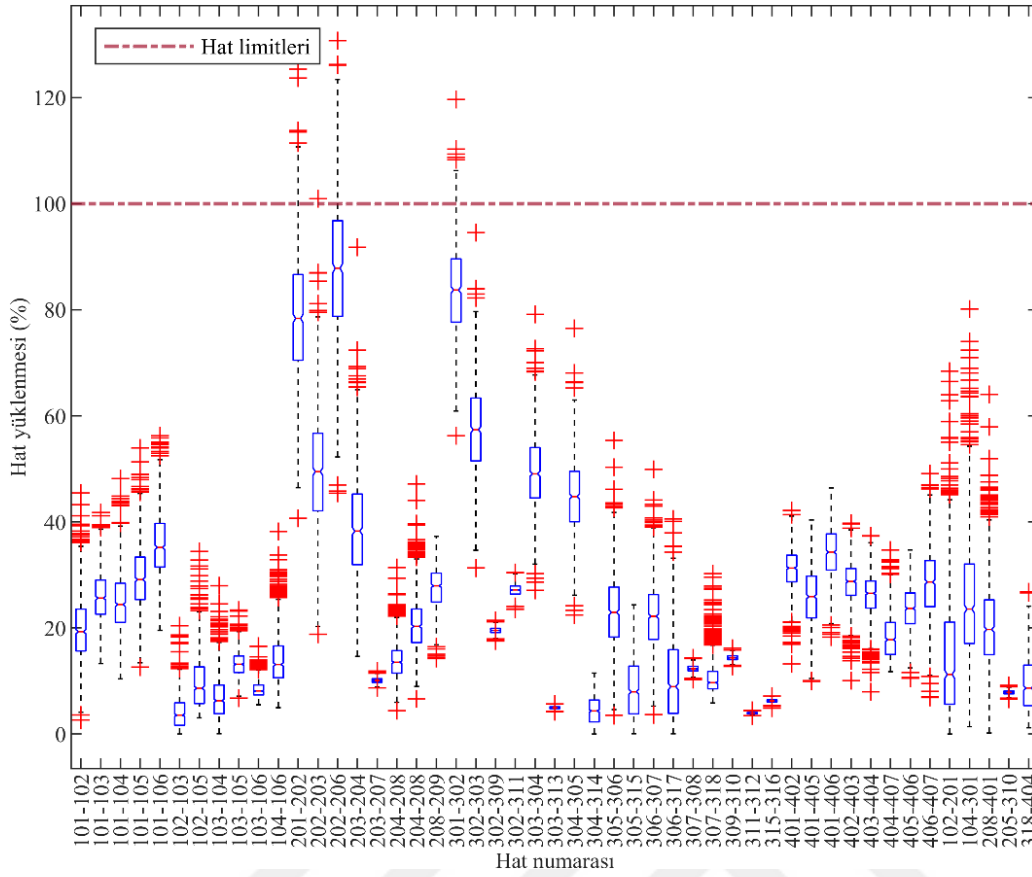
Şekil 4.25 : Bölgelerde oluşan aktif güç kayıpları dağılımları.



Şekil 4.26 : Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları.



Şekil 4.27 : Hatlarda oluşan reaktif güç kayıpları dağılımları.



**Şekil 4.28 :** Hatların kapasite kullanımı dağılımları.

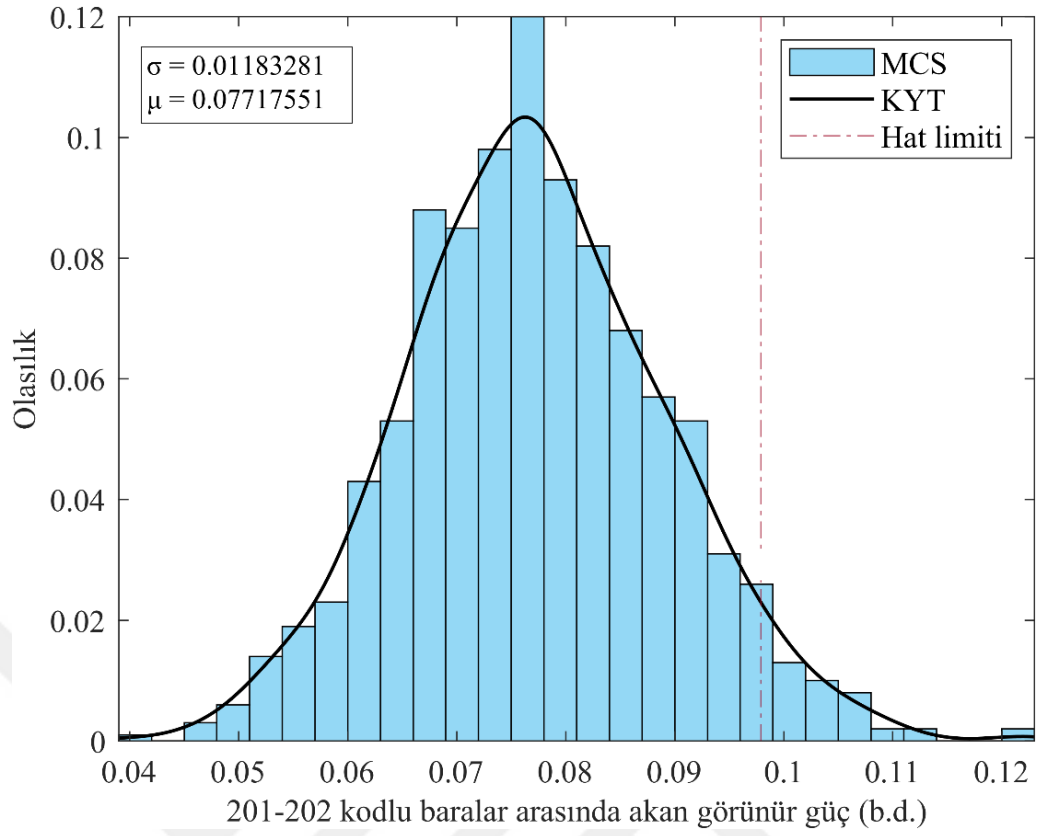
Şekil 4.28’de görüldüğü üzere bazı hatlarda limit aşım ihtimali oluşmuştur. Çizelge 4.5’te hatların limitlerini aşma ihtimalleri verilmiştir. Burada 202-206 baraları arasındaki hatta %18 ihtimalle limitlerin aşımı olabileceğini görebilmekteyiz.

**Çizelge 4.5 :** Hatlarda akan gücün hat limitlerini aşma ihtimalleri.

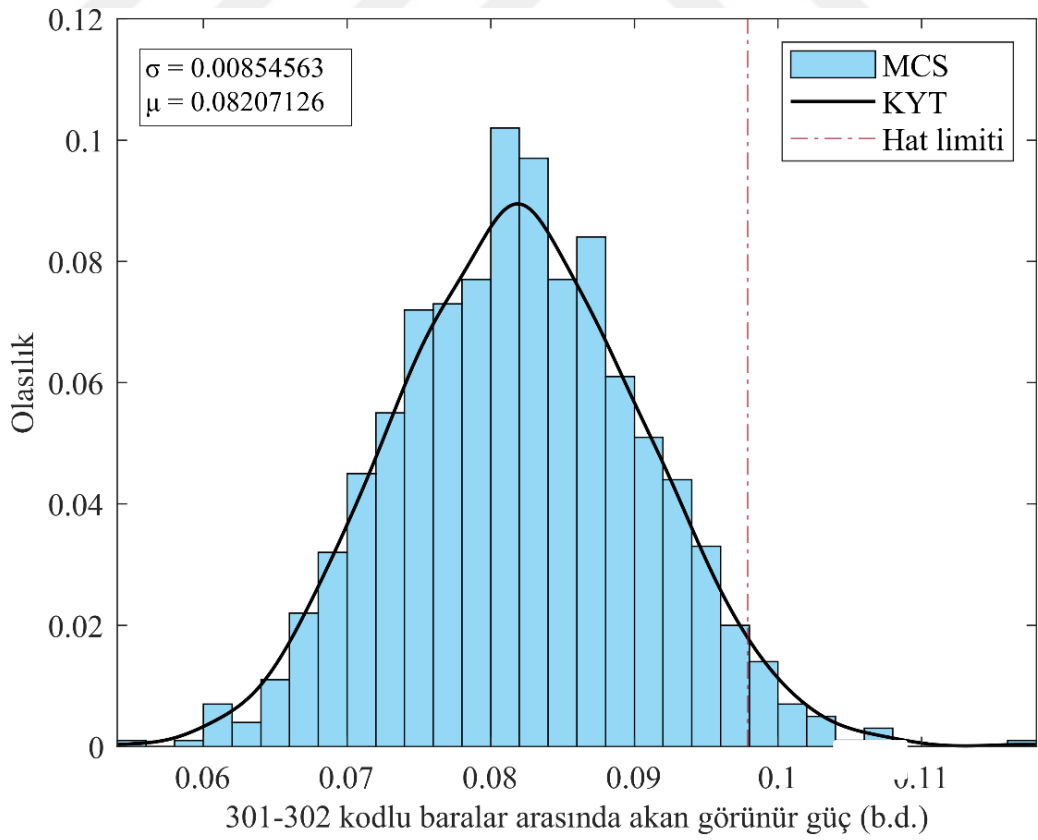
| Baradan | Baraya | Hat limitini aşma ihtimali |
|---------|--------|----------------------------|
| 201     | 202    | 0,0496607                  |
| 202     | 206    | 0,1811249                  |
| 301     | 302    | 0,0376790                  |

Limitleri aşma ihtimalleri olan hatları daha detaylı incelemek için hat bazlı görünür güç akışlarını incelenmiştir. Şekil 4.29’de 201-302 arasında akan görünür gücün olasılıksal yoğunluk grafiği ile alınan sayısal sonuçlar histogram kullanılarak verilmiştir. Burada verilen grafikte hat limiti kırmızı dikey çizgi ile gösterilmiştir. Bu değerin üzerine çıkılması durumunda hat limitinde aşma oluşmaktadır.

301-302 numaralı bara arasında akan aktif gücün olasılık yoğunluk fonksiyonu ile sayısal sonuçlar histogram olarak Şekil 4.30’da verilmiştir. 301-302 numaralı baralar arasındaki hatta hat limitlerini aşma ihtimali %3.7’dir.



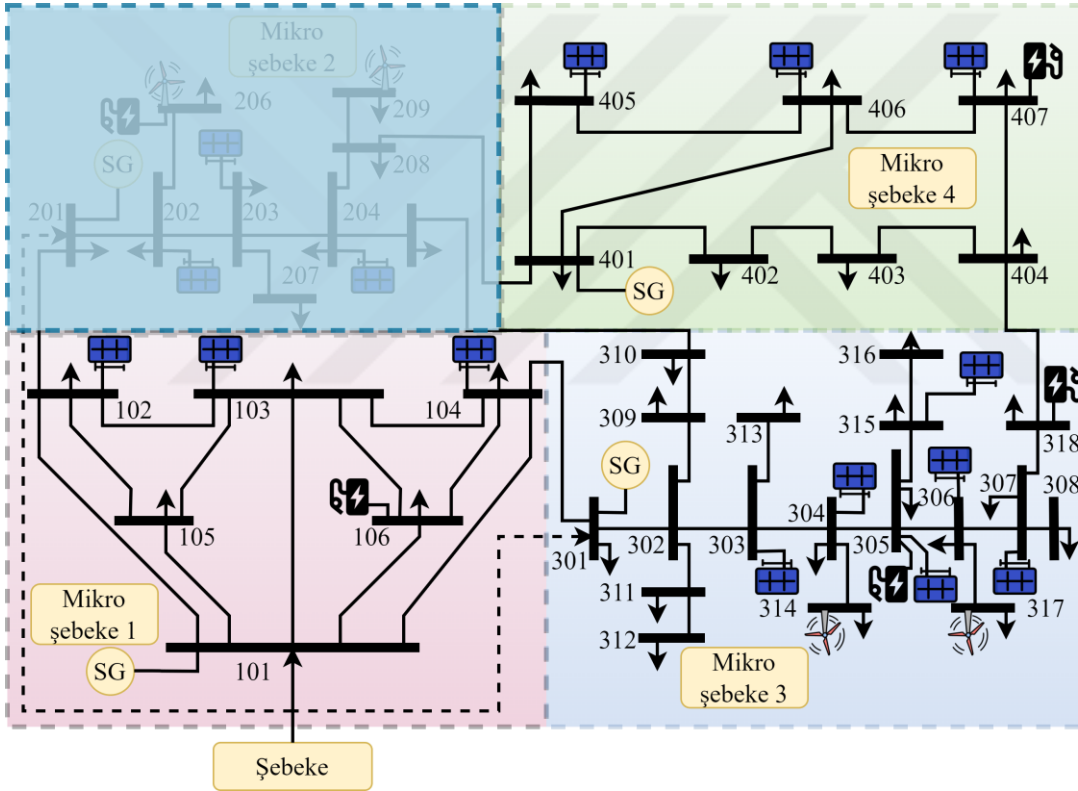
**Şekil 4.29 :** 201-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı.



**Şekil 4.30 :** 301-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı.

#### 4.4 Senaryo 4: Birbirine Bağlı Mikro Şebekelerden Oluşan Test Sistemine Elektrikli Araç Entegrasyonu ve Bölge Kapatmanın etkisi

Geliştirilen program otomatik olarak bölgeleri sırayla kapatıp sonuçları incelemektedir. Sonuçlar ışığında en vurucu etkinin bölge 2'nin kapatılması sonucunda olduğunu gördüm. Bu durumdan dolayı çalışmada bölge 2'nin kapanması halinde test sisteminin durumu incelenmiştir. Şekil 4.31'de test sisteminin bu senaryoda kullanılan şekli verilmiştir. Şekilde koyu kısımlar bölgenin devreden çıktığını göstermektedir. Geliştirilen programa bölge 2'yi kapatmasını söyleyen kodu göndererek simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre şekil ve çizelgeler altta verilmiştir.



Şekil 4.31 : 301-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı

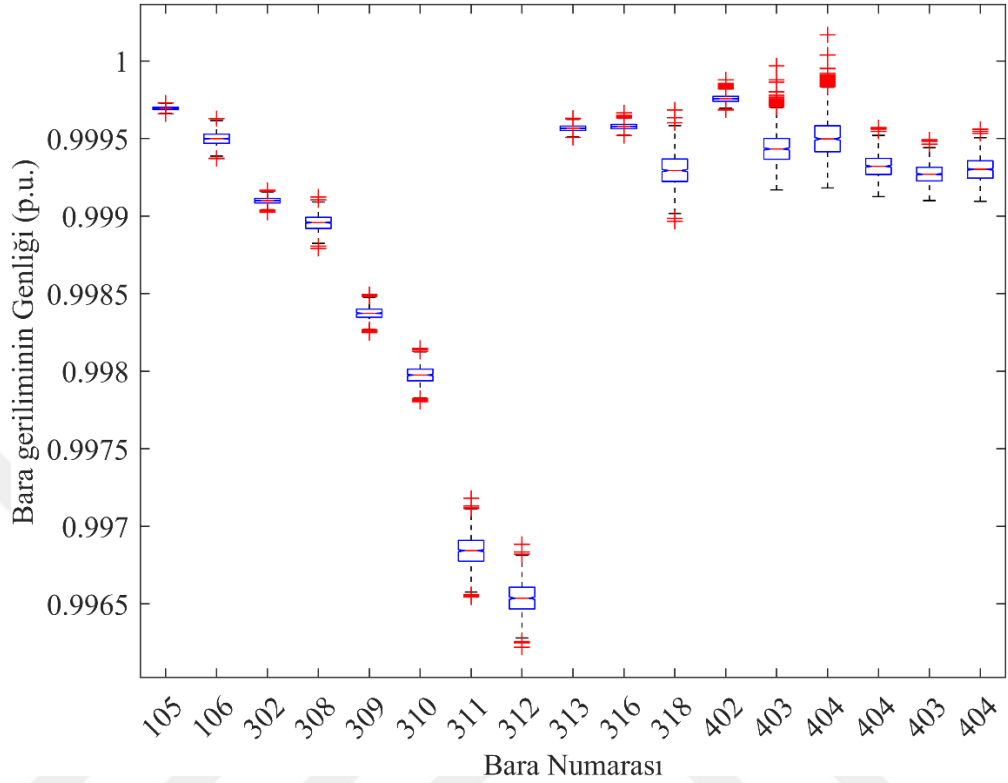
Senaryo 4'ün toplam simülasyon süresi Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Senaryo 4'ün simülasyon süresi.

| Simülasyon süresi(s) |             |
|----------------------|-------------|
| Senaryo 4            | 126,1644115 |

Bara gerilim genlikleri dağılımları kutu grafiği kullanılarak birim değer olarak Şekil 4.32' de verilmiştir. Burada bölge 2 kapalı olduğu için 200'lü kodlara sahip olan

baralar grafikte verilmemiştir. Elde edilen sonuçlar bir önceki analizle karşılaştırıldığında 4.bölgeye ait baralar dışında bara gerilimlerinde değişim kayda değer bir değişim olmamıştır.



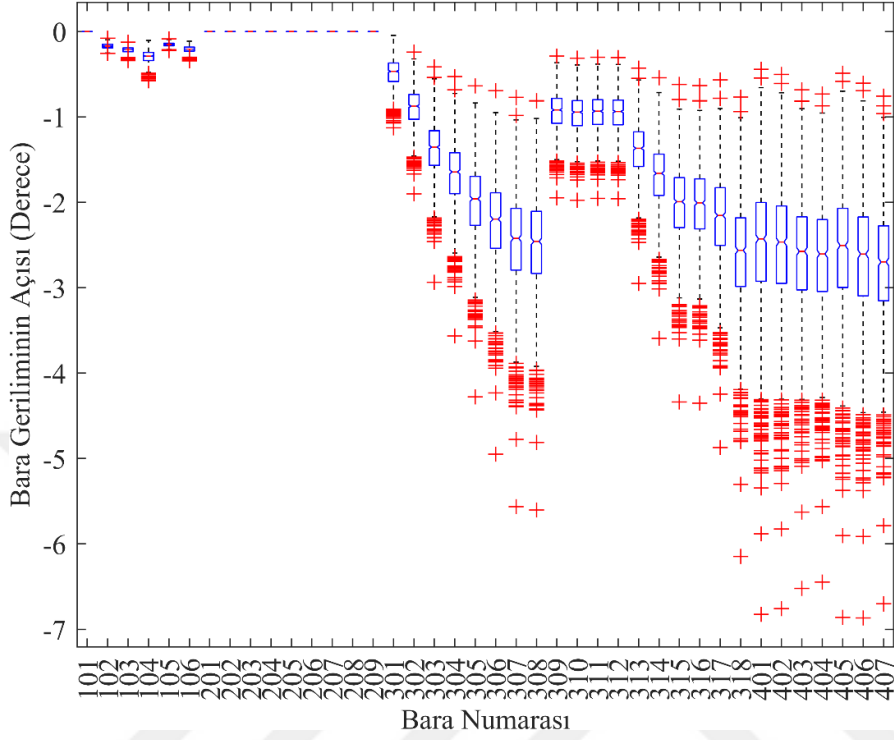
**Şekil 4.32 : Bara gerilim genlikleri dağılımları.**

Bara gerilimlerinde bir aşım olmadığı için bara limitlerini aşma olasılığı çizelgesi verilmemiştir.

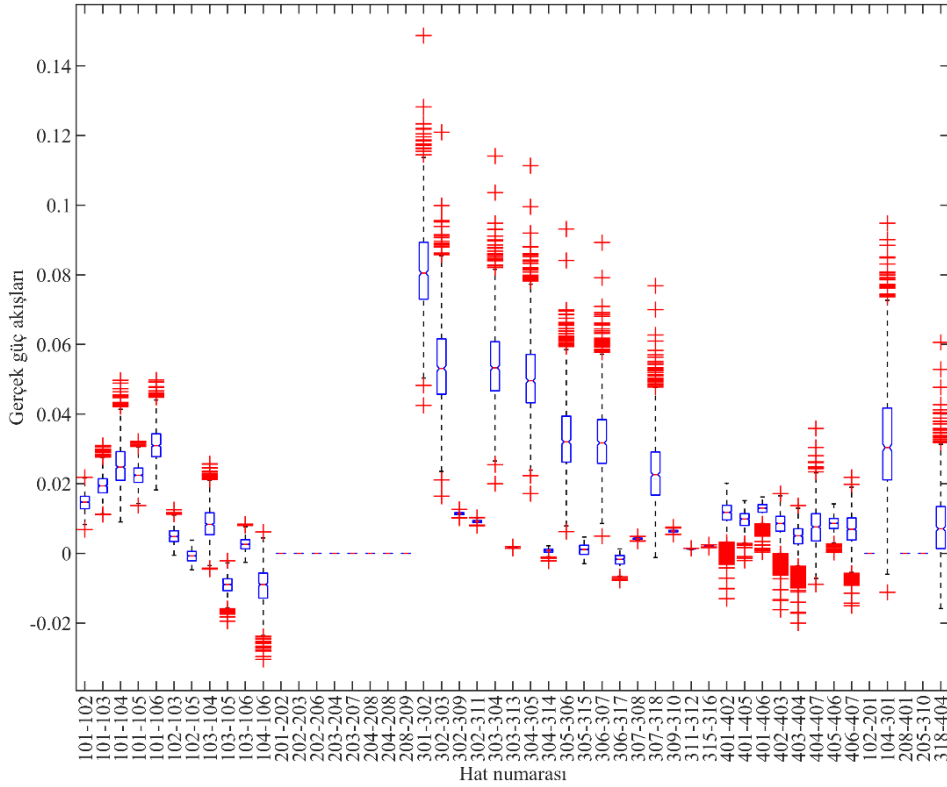
Bara gerilim açıları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.33’de verilmiştir. İkinci bölgeye ait olan tüm elemanlar kapalı olduğu için bu bölgeye ait olan bara açıları sıfır olarak gözükmemektedir. Bu şekilde yapmamın sebebi kapalı bölgenin daha rahat şekilde ayırt edebilmektir. Elde edilen sonuçlar bir önceki analizle karşılaştırıldığında dramatik değişimler görülmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında şekil olarak benzer durumda olduklarını ancak sahip olduğu dağılımların oldukça geniş olduğu sonucuna varılmıştır.

Baralar arasında akan aktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.34’de gösterilmiştir. Bölge 2 ile bağlantıyı sağlayan hatlarda kapalı olduğu için en sonda görünen görülen hatlarda güç akışı yok gibi görülmektedir.

Önceki sistem genelinde akan güç akışı değerlerinde artış görülmüştür. Elde edilen güç akışı sonuçlarında gerçekleşen aykırı değerler artmıştır. Bu durum hat limitlerinin aşılmasına sebep olabilmektedir.

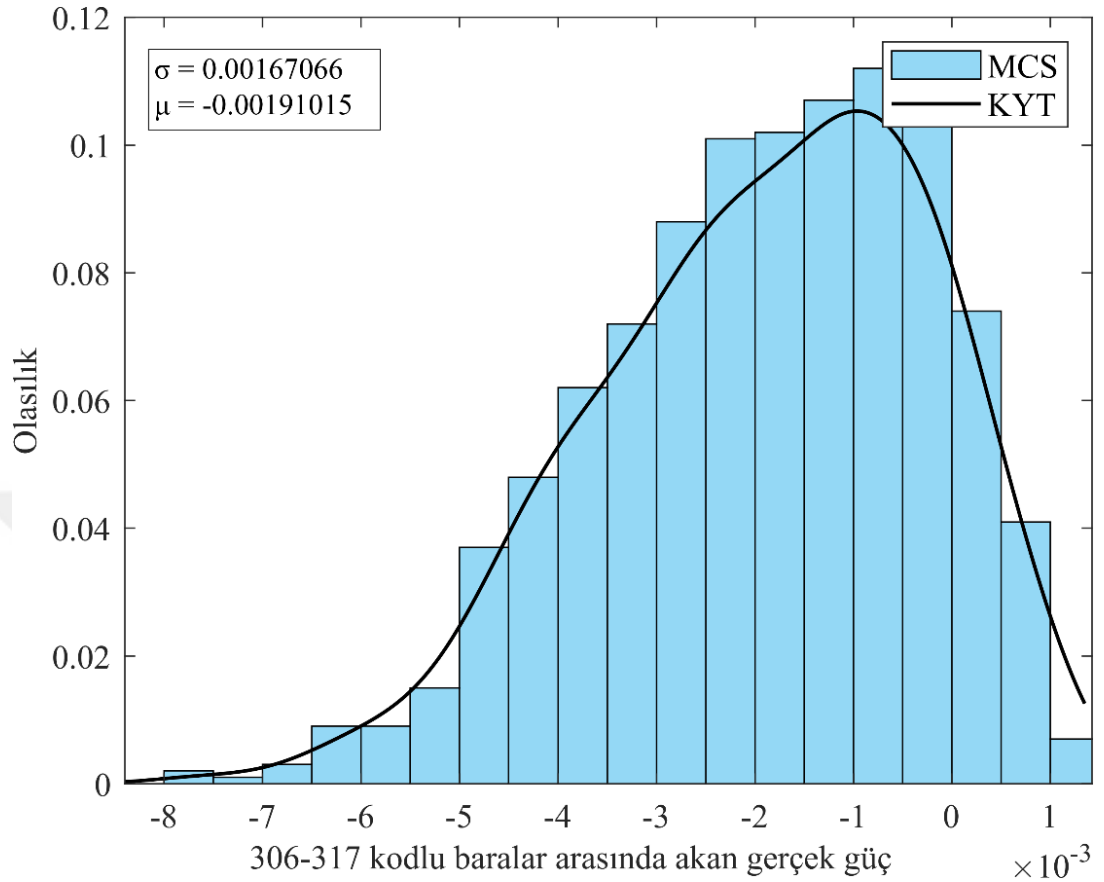


Şekil 4.33 : Bara gerilim açıları dağılımları.



Şekil 4.34 : Hatlarda oluşan aktif güç akışı dağılımları.

Şekil 4.35’de 306-317 kodlu baralar arasından akan aktif güç akışının dağılımı verilmiştir.

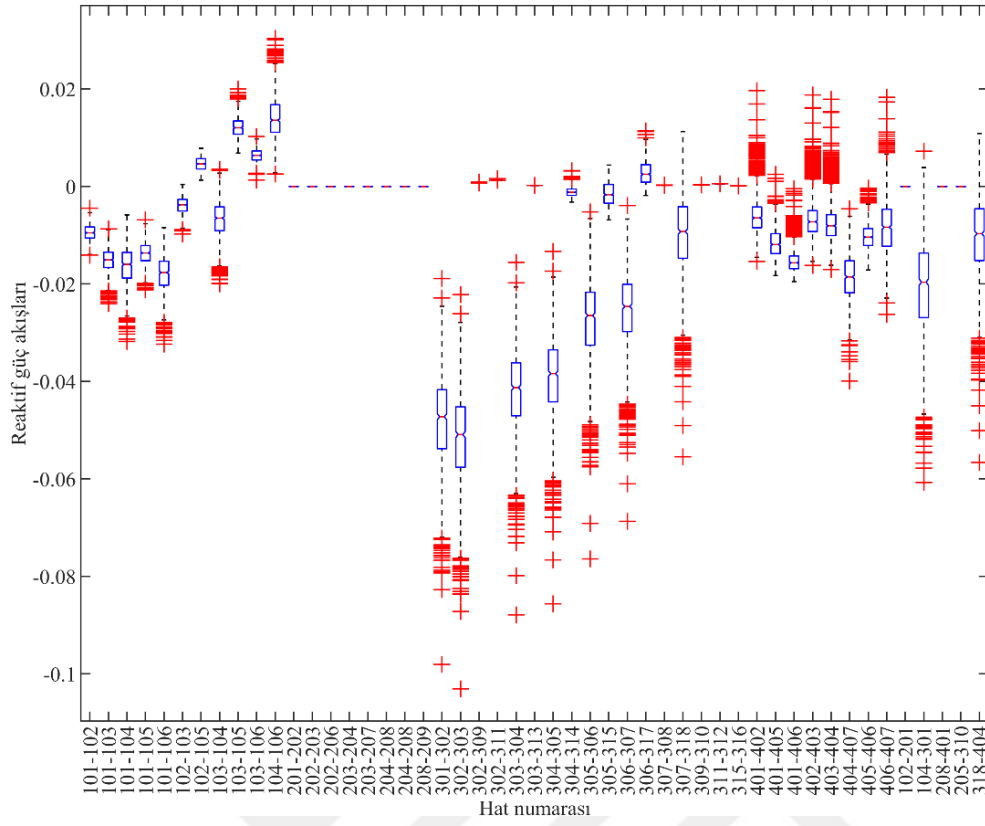


**Şekil 4.35 :** RES’lerden üretilen gücün en yüksek olduğu baraya bağlı hattan akan aktif güç.

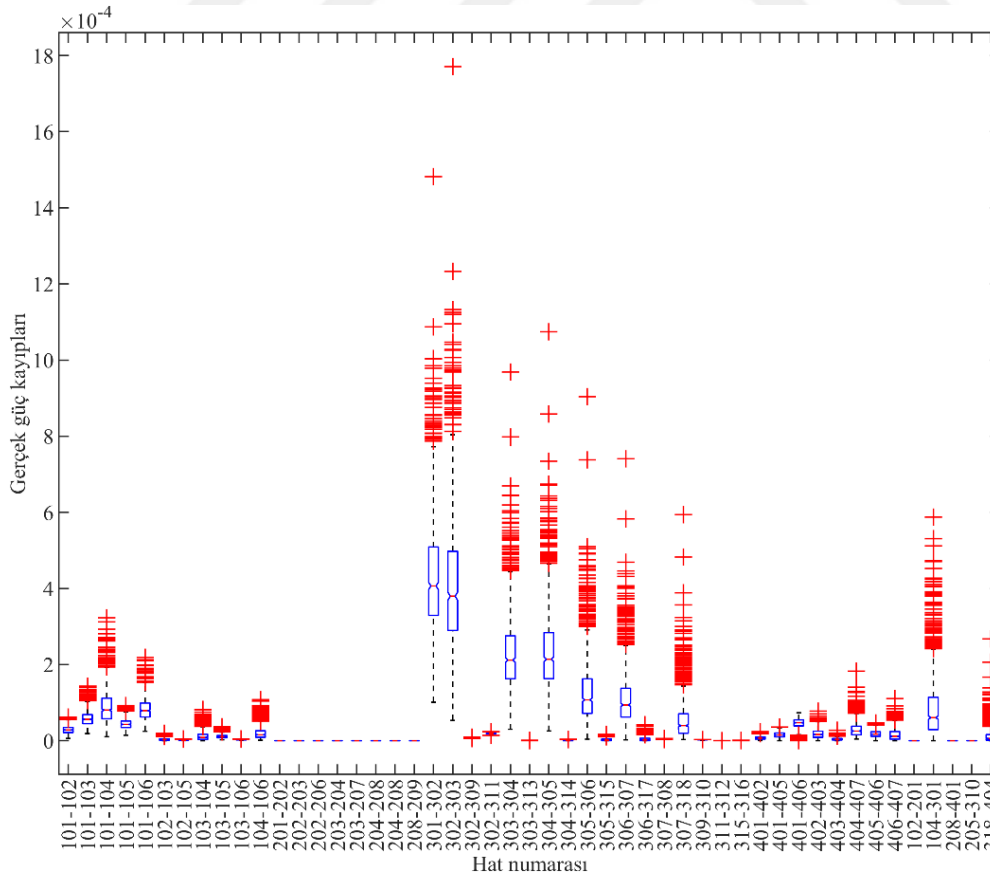
Burada incelenmesi adına yüksek güçlü RES bağlı olan bir hatta gerçekleşen güç akışının olasılıksal güç akışı verilmiştir. Burada elde edilen sonuçta ortalama değerinin negatif olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi bu hattın bağlı olduğu 308 numaralı barada en yüksek rüzgâr gücünün üretilmesi ve bu gücün 317 numaralı baradan yüksek olmasıdır. Grafikte elde edilen şekil ise Weibull dağılımına benzemektedir.

Baralar arasında akan reaktif güç akışı dağılımları birim değer olarak kutu grafiği ile Şekil 4.36’te gösterilmiştir. Bölge 2’nin devreden çıkarılması sonucunda hatlarda akan reaktif güç akışları büyümüştür.

Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.37’de birim değer cinsinden gösterilmiştir. Hatlarda akan aktif güç akışları büyüdüğü için toplam güç kaybı da artmaktadır. Ancak toplam bir bölge devreden çıktığı için toplam aktif kayıp azalmaktadır.

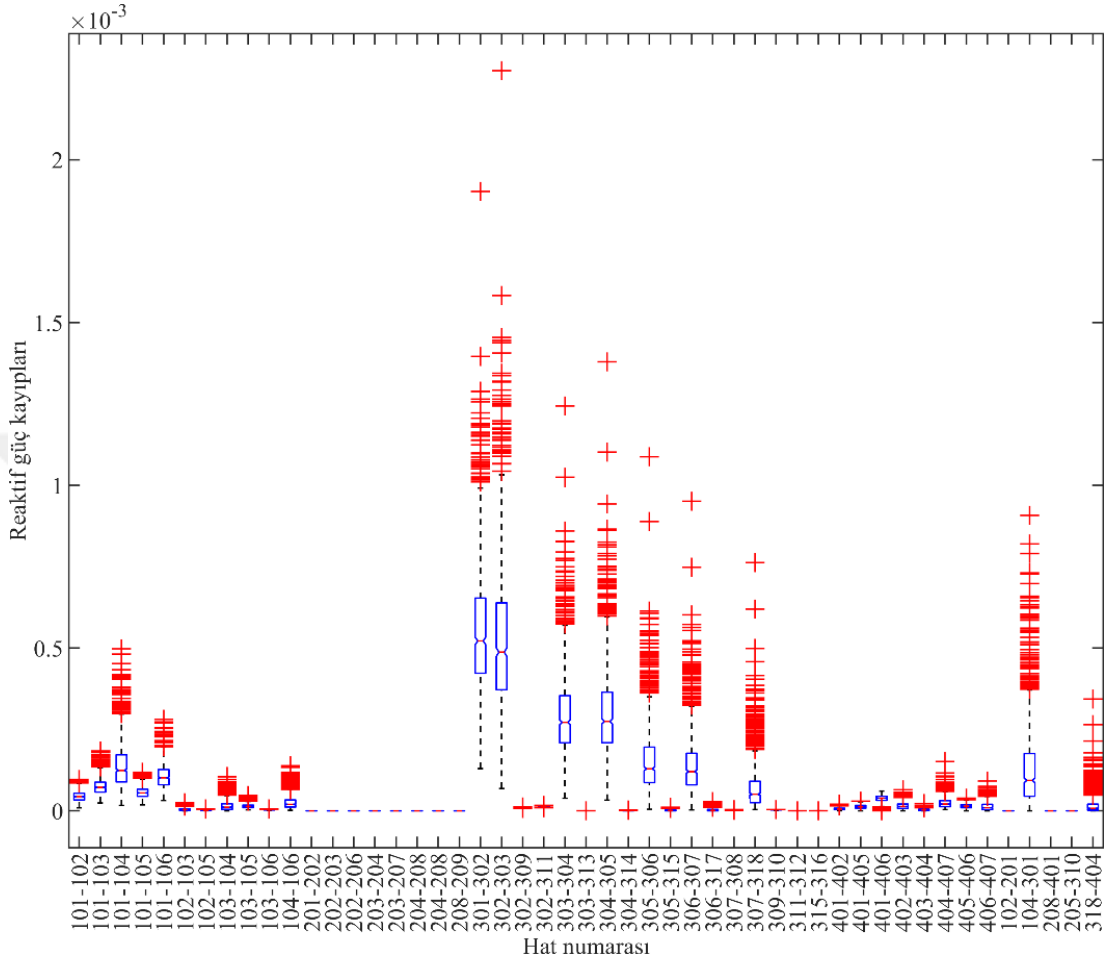


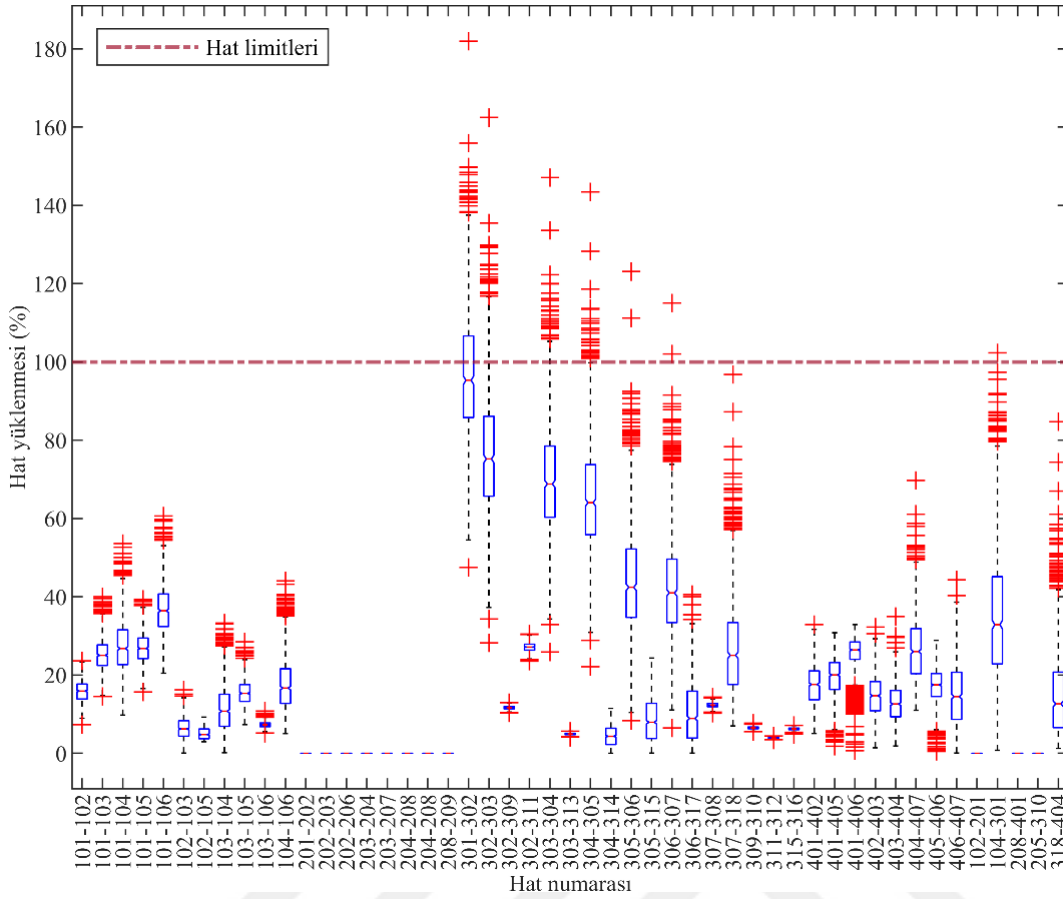
Şekil 4.36 : Hatlarda oluşan reaktif güç akışı dağılımları.



Şekil 4.37 : Hatlarda oluşan aktif güç kayıpları dağılımları.

Hatlarda oluşan reaktif güç kayıplarının dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.38’da birim değer cinsinden gösterilmiştir. Sistemde oluşan reaktif güç kayıpları önceki durum analizine göre artış göstermiştir.





**Şekil 4.39 :** Hatların kapasite kullanımı dağılımları.

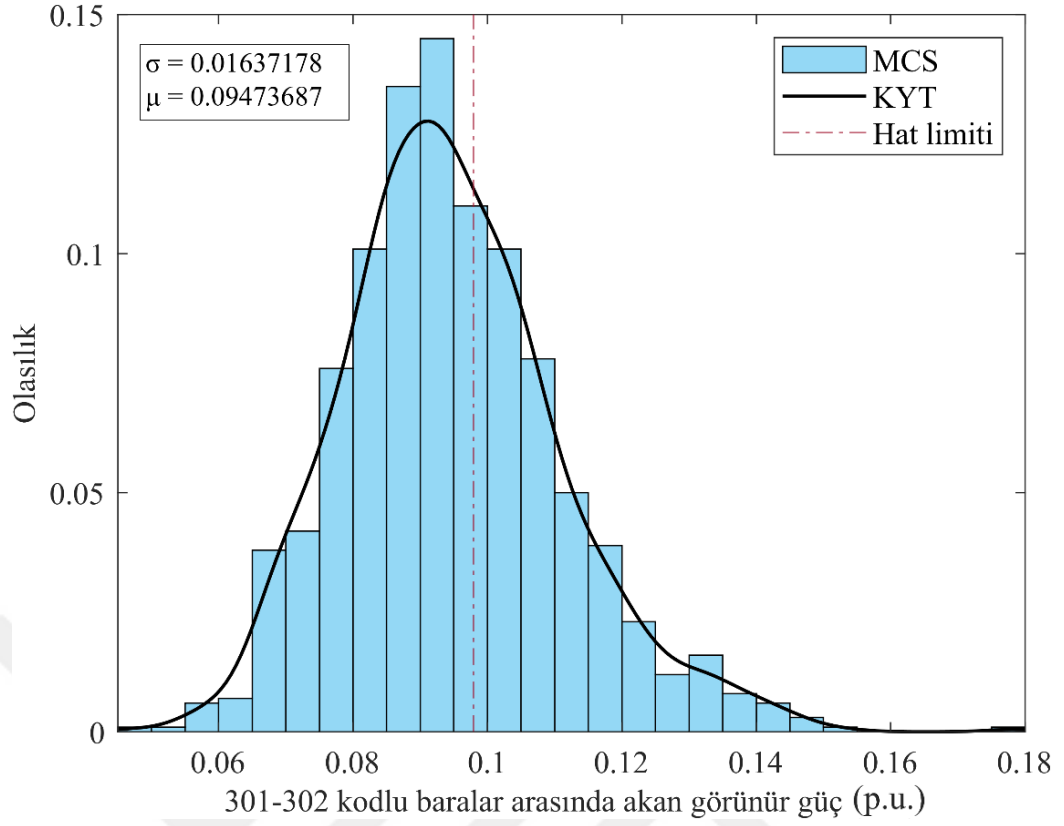
Şekil 4.39’de görüldüğü üzere bazı hatlarda limit aşım ihtimali oluşmuştur. Çizelge 4.7’de hatların limitlerini aşma ihtimalleri verilmiştir.

301-302 numaralı bara arasında akan görünür gücün olasılık yoğunluk fonksiyonu ile sayısal sonuçlar histogram olarak Şekil 4.40’de verilmiştir. Bu hat üzerinde limit aşımı olasılığı %39 olarak hesaplanmıştır.

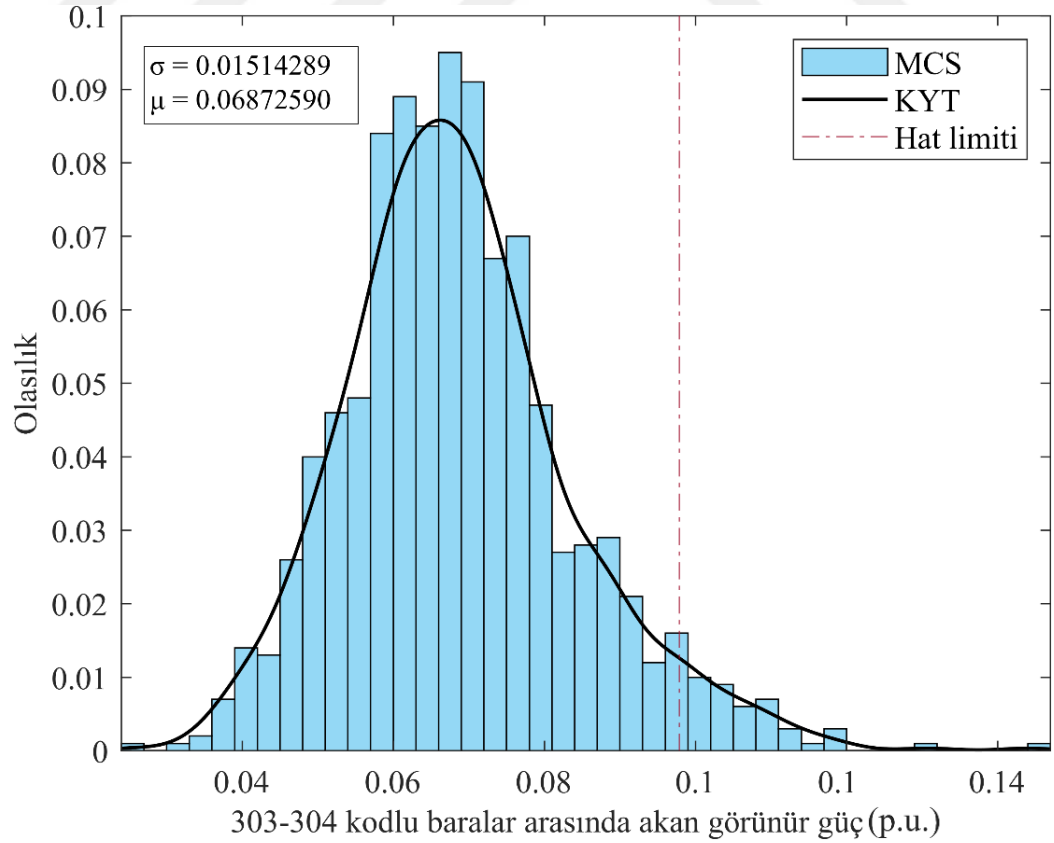
**Çizelge 4.7 :** Hatlarda akan gücün hat limitlerini aşma ihtimalleri.

| Baradan | Baraya | Hat limitini aşma ihtimali |
|---------|--------|----------------------------|
| 301     | 302    | 0,390632196                |
| 303     | 304    | 0,04814                    |
| 304     | 305    | 0,030522                   |
| 305     | 306    | 0,002035                   |
| 306     | 307    | 0,001743                   |
| 307     | 318    | 0,000147                   |
| 104     | 301    | 0,001206                   |

303-304 numaralı bara arasında akan görünür gücün olasılık yoğunluk fonksiyonu ile sayısal sonuçlar histogram olarak Şekil 4.41’de verilmiştir. Bu hatta limit aşımı ihtimali ile %4,8 gibi bir orana sahiptir.

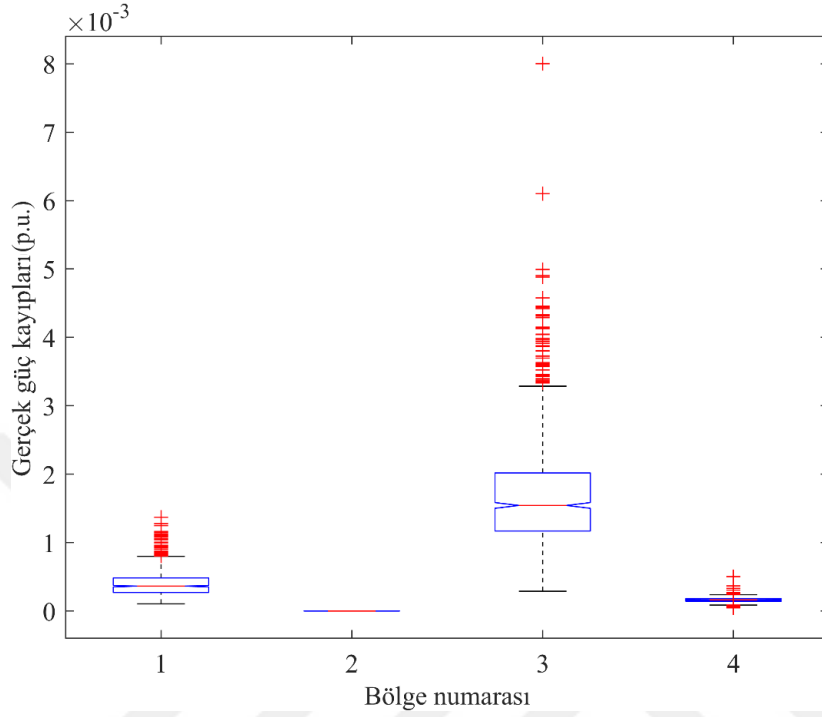


**Şekil 4.40 :** 301-302 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı.



**Şekil 4.41 :** 303-304 numaralı baralar arasında akan görünür güç akışının dağılımı.

Bölgelerde oluşan aktif güç kayıplarının dağılımları kutu grafiği olarak Şekil 4.42’de birim değer cinsinden gösterilmiştir. Tüm bölgelerde oluşan aktif güç kayıpları önceki analize göre düşmüştür. Bölge 2 kapalı olduğu için kayıp sıfır olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.42 : Bölgeler üzerinde oluşan aktif güç kayıpları dağılımları.

## 5. TARTIŞMA

Bu bölümde test sistemleri üzerinde senaryo bazlı yapılan simülasyonlardan elde edilen bulgular yorumlanacaktır.

### 5.1 Elde Edilen Bulguların Özeti

Geliştirilen program dört senaryo kullanılarak Monte Carlo simülasyonu kullanılarak olasılıksal güç akışı yapıp bulgular elde edilmiştir. Yapılan senaryoların birincisinde geliştirilen programın doğruluğunu test etmek amacıyla benzer bir çalışmada kullanılan sistem üzerinde olasılıksal güç akışı yapılmıştır. Elde edilen bulgular baz alınan yayın ile aynı çıkmıştır. Ayrıca bara gerilimlerinde veya hatlar üzerinde bir limit aşımı olmamaktadır. İkinci senaryoda elde edilen bulgularda da sistem üzerinde bara gerilimlerinde veya hatlarda limit aşımı olmadığı incelenmiştir. Yapılan üçüncü senaryo analizinde bir önceki sistem üzerine elektrikli araçlar eklenmiştir. Bu durum normalde kapasitelerini kullanmayan hatlar üzerinde baskı oluşturmaktadır. Artan kapasite kullanımı sonucunda bu hatlarda limitlerin aşıldığı görülmektedir. Yapılan dördüncü senaryo analizinde elektrikli araçların eklendiği sistem üzerinden 2.bölgeyi çıkartarak sonuçlar elde edilmiştir. Hat kapasitelerine zaten yakın çalışan hatlarda kapasitelerinin aşıldığı ve diğer hatlarda kapasite kullanımının arttığını görülmüştür.

Elde edilen bulgular ışığında geliştirilen program en başta yapmaya çalıştığımız tez amaçlarına ulaşıldığını göstermektedir. Başlangıçta hedeflerimiz üretim ve tüketimlerde belirli dağılımlarla sınırlı kalmayan, kullanılan test sisteminde belirli bir bölgenin kapalı olması durumunda şebekenin verdiği tepkileri gösterebilecek bir program geliştirmekti. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular, çalışmanın amacına ulaştığını göstermektedir.

### 5.2 Çalışmanın Sınırlamaları

Yaptığımız çalışmanın kapsamında simülasyonlar sistemin bir anlık durumda alabileceği sonuçları hesaplamakta ve göstermektedir. Burada kullanılan anlık kelimesinin geleneksel yöntemlerde elde edilen sonuçlarla karıştırılmaması gerekir.

Elde edilen sonuçlar bir saatlik, günlük veya mevsimlik olabilir. Bu tamamen sisteme girilen üretim ve tüketim dağılımlarına bağlıdır. Geliştirilen program, simülasyonu yapılan güç sisteminin belirli bir saat içerisinde alabileceği durumları otomatik olarak hesaplayabilmektedir. Eğer istenirse 24 saat için sırayla sistemin giriş değerleri değiştirilirse bir gün için simülasyon elde edilebilir. Ancak bu çalışmada geliştirilen programın genel amacı otomasyon olduğu için bu şekilde bir çalışma yapılması uygun görülmedi. Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar yeterli görülmüştür.

### **5.3 Elde Edilen Bulguların Detaylı Olarak İncelenmesi**

Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak yapılan olasılıksal güç akışı analizi beklendiği gibi sonuç vermiştir. Elde edilen bulgular incelendiği zaman sisteme bağlı olan üretim ve tüketim değerleri normal dağılım kullanılarak modellendiği zaman hatlarda oluşan güç akışlarının normal dağılımı takip ettiği incelenmiştir. Bu durum benzer çalışmalarda da incelenebilir [11]. Ancak bu durum sadece ilk durum analizi için geçerlidir. Sistem doğruluğunu kontrol ettikten sonra kullanılan test sisteminde PV üretimi Beta dağılımı kullanılarak, RES ise Weibull dağılımı kullanılarak modellenmiştir. Burada Şekil 4.35'te görülebileceği gibi yüksek rüzgâr gücü üretilen baraya bağlı olan hatta oluşan güç akışının şekli Weibull dağılımına benzemektedir.

Birbirine bağlı enterkonnekte mikro şebekelerden oluşan sistem üzerinde çalışmalar yapıldığı zaman elde edilen bulgular incelendiği zaman baz çalışmada limit aşımı oluşmamaktadır.

Yapılan üçüncü senaryo incelendiği zaman elektrikli araçlar sisteme eklenmesi sonucunda tüm şebeke boyunca hat kapasitesi kullanımının arttığı görülmüştür. Bunun sebebi elektrikli araçların normalde şebekede normal durumda yük talep etmeyen bir bölgesinden yük talep edilmesidir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken hatlarda limit aşımı olmasına rağmen bara gerilimlerinde bir limit aşımı olmamaktadır hatta bara gerilimleri oldukça az değişmektedir. Bu durumun sebebi sistem genelinde üretim tüketimden oldukça fazladır. Bara gerilimleri de sistem üzerinde bulunan yük dengesinden dolayı değişmekte olduğu için bir değişiklik olmamaktadır.

Yapılan son durum analizinde elektrikli araçların sisteme eklendiği durum da bölge 2 sistem üzerinden çıkarılmaktadır. Bu durumda da bara gerilim değerlerinde kayda değer bir değişim olmamıştır. Bu değişim bara gerilim limitlerine yaklaşılmasına bile

sebepe olmamıştır. Genel olarak hatlarda aktif ve reaktif güç akış değerlerinde önceki çalışmalara göre artış olmuştur. Bu artış hatlarda oluşan kayıplarında artmasına sebep olacaktır. Hatlardan akan güçler bazı hatlar üzerinde diğerlerine göre oldukça fazla artmıştır. Bu hatlar mikro şebekeleri birbirlerine bağlayan hatlardır. Bölge 2 devreden çıktığı için bu bölge üzerinden aktarılan güç diğer şebekelerden talep edilmeye başlanmıştır. Bu durum sonucunda hat kapasite kullanımı genel olarak şebeke genelinde artış göstermiştir.

Mikro şebekelerden oluşan test sistemi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda sistemin üretim değerinin tüketim değerine göre çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum sonucunda sisteme yük eklenmesi durumunda bara gerilimlerinde limit aşımı olmadan, hatların kapasite kullanımının sınırların çok üstüne çıktığı incelenmiştir. Bu durumun önüne geçmek için üretim değerleri düşürülebilir ya da hat limitleri artırılabilir.

Farklı senaryo analizlerinde yapılan simülasyonların sürelerinin birbirine oldukça yakın olması geçen sürenin bara sayısının (en azından bu ölçekte) simülasyon süresi üzerine büyük bir etkisi olmadığını göstermektedir. Burada geçen süreler sistem üzerinde elde edilen sonuçların kaydedilmesi veya hesaplamaları sırasında geçmekte olduğunu göstermektedir.

#### **5.4 Elde Edilen Bulguların Literatürdeki Diğer Araştırmalar ile Karşılaştırılması**

Literatürde bulunan araştırmaların büyük bir kısmı yakınsama içeren ve üretim tüketim değerlerini belirli bir dağılım içinde sınırlayan yöntemler ile yapıldığı görülmüştür. Yaygın bir görüş, Monte Carlo simülasyonunun oldukça zaman aldığı ve yüksek işlem gücü gerektirdiği yönündedir. Ancak ironik bir şekilde çoğu araştırmacı yayınlarında geliştirdikleri yöntemlerin doğruluğunu Monte Carlo simülasyonu yöntemi ile aldıkları sonuçlarla karşılaştırmaktadırlar [11,12,18,19,24,26,54].

Modern donanımlar ve OpenCL sayesinde bu yöntemin süresini oldukça kısaltmak mümkündür. Hatta yapılan bir çalışmada simülasyon süresi ortalama bir ev bilgisayarı kullanılarak 20,3 kat hızlandırılmıştır [25]. Simülasyonları hızlandırmak için bir yöntem kullanılsa bile yapılan simülasyonlar hat planlaması, n-1 analizi ve hatların belirli bir durumda nasıl tepki vereceğini görmek için yapılmaktadır. Bu tarz

işlemlerde elde edilen değerlerin doğruluğu simülasyon sırasında geçen süreden çok daha önemli olduğu savunulabilir. Örneğin, iletim hattı gibi büyük ölçekli projelerde, kurulum süreleri yıllar alabilir ve bu süre zarfında projeye harcanan zaman göz önünde bulundurulduğunda, simülasyonlardan elde edilen zaman kazancı projenin toplam süresi içinde eriyebilir.

### **5.5 Yapılan Çalışmanın Literatüre Katkısı**

Geliştirilen programın literatürde bulunan diğer çalışmalardan en büyük farkı birbirine bağlı enterkonnekte mikro şebekeler üzerinde simülasyonların yapılıp sonuçların elde edilmesidir. Geliştirilen program literatürde bulunan diğer çalışmaların aksine birbirine bağlı olan mikro şebekelerden bir veya birkaçını kapatarak şebekenin verdiği tepkiyi gösterebilmektedir.

Geliştirilen program gerekirse birden fazla sistemi veya sistem durumunu artarda simülasyonlarını yaparak elde edilen sonuçları ayrı klasörler halinde kaydedebilmektedir. Eğer yapılacak olan çalışmanın sonuçları görsel hale getirilme süreci hızlandırılmak isteniliyorsa sonuç grafiklerinin çözünürlüğü düşürülebilir ya da istenmeyen sonuç grafiklerinin üretilmemesini sağlanabilir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde birbirine bağlı mikro şebekelerden oluşan bir test sistemi üzerinde olasılıksal güç akışı ile kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında fotovoltaiik, RES ve elektrikli araçlar mikro şebekeye entegrasyonu yapıp şebekeye olan etkileri gözlemlenmiştir. Rüzgâr ve fotovoltaiik gücün doğasında olan belirsizlik ürettikleri gücünde belirsiz olmasını sağlamaktadır. Bu duruma ek olarak elektrikli araçlarında talep ettikleri güçler şebekeye belirsizlik katmaktadır. Yapılan çalışmalardan alınan veriler kullanılarak üretilen ve tüketilen güçler gerçeğe yakın şekilde modellenerek şebekeye olan etkileri incelenmiştir. Kullanılan test sistemi dört bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler isteğe bağlı şekilde kapatılıp açılabilir ya da sistemden ayrılabilirler. Mikro şebekeler ekonomik ve arıza gibi durumlarda kısmi veya tam olarak kapatılabilir. Yapılan çalışmada bir bölge kapatılarak şebekeye olan etkileri incelendi.

Çalışmanın başında, birbirine bağlı mikro şebekelere yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların entegresinin etkilerinin incelemek amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında olasılıksal güç akışı yapacak bir program geliştirilerek gerekli simülasyonlar gerçekleştirildi. Üretimler ve tüketimler modellenirken gerçeğe olabildiğince yakın kalınmaya çalışıldı.

Yapılan bu tezde, birbirine bağlı mikro şebekelere yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların entegresinin etkileri bir olasılıksal güç akışı yöntemi olan Monte Carlo simülasyonu ile incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda sistem üzerinde bulunan her bir hattan akan aktif ve reaktif gücün dağılımı ve akan gücün hat limitlerini hangi olasılıkla aşacağı hesaplanabilmektedir. Belirli bir bölge kapatılarak sisteme olan etkisi incelenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında ilk olarak geliştirilen programın doğruluğunu test etmek için benzer bir çalışmada kullanılan ve yeniden tekrarlanabilecek olan bir çalışma ile aynı sistem kurularak sonuçlar karşılaştırıldı. Geliştirilen programın doğruluğundan emin olunduktan sonra birbirine bağlı mikro şebekelerden oluşan test sistemi üzerinde çalışmalar yapıldı. Burada elde edilen sonuçlar yorumlandığı zaman belirlenen sınırlar

içerisinde çalışan şebekeye elektrikli araçların eklenmesi durumunda bazı hatlarda limit aşımı oluşmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşabilmesi için sistemde bulunan hatların kapasitelerinin arttırılması gerekmektedir. Üretim değerleri tüketimi karşılayabilecek bir durumda olmasına rağmen hatların kapasitelerinin düşük kalması sebebi ile bu güç istenilen noktaya taşınamamaktadır. Benzer şekilde yenilenebilir enerji üretimlerinin dağıtık hale gelmesinden dolayı normal çalışma durumunda sadece tüketim yapılan baralarda üretimde yapılmaktadır. Bu üretimler sonucunda mevcut hatlar olduğundan çok daha fazla yüklenebilmektedir.

Tez kapsamında yapılan çalışmada deterministik güç akışı yerine olasılıksal güç akışı kullanılması sonucunda üretim ve tüketimlerde oluşan belirsizliklerin güç akışına olan etkileri incelenebilmiştir. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını modellenerek belirsizliklerin güç sistemine olan etkileri gözlemlenmiştir. Belirli bir hat üzerinde hangi ihtimalle limit aşımı olacağının hesabı olasılıksal güç akışı kullanmadan elde edilmesi çok mümkün değildir. Deterministik güç akışında etkin bir şekilde dikkate alınamayan yük talepleri ve yenilenebilir jeneratörlerden kaynaklanan güç dalgalanması gibi girdi değişkenlerinin belirsizliğini yansıtmak için olasılıksal güç akışı daha uygun olduğu yapılan çalışmalar sonucu tespit edilmiştir. Ek olarak olasılıksal güç akışı girdi değişkenlerinin değişimini dikkate alıp hesaplamaları yaptığı için modellenen sistemin nerdeyse tüm girdiklerine göre nasıl durum alacağı görülmektedir. Bu durumda güç sistemi hakkında çok daha fazla bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır.

İleriki çalışmalar için geliştirilecek olan programın saatlik olarak bir günü simüle etmesi sonucunda elde edilen sonuçlar çok daha etkili şekilde yorumlanabilir. Örneğin, belirli bir hat üzerinde belirlenen hat kapasitelerini belirli sürelerde aşılabılır ve bu durum hat açısından sorun yaratmayabilir. Günlük yapılacak simülasyonlar sırasında sadece bir saat boyunca hat %5 limitinin üzerinde çalışması bir sorun oluşturmaz. Mevsimsel olarak hatların kapasiteleri değişebilmektedir. Benzer şekilde sistemin üretim ve tüketim değerleri saatlik olarak değişeceği için bu şekilde programa girilebilir ve daha gerçekçi bir çalışma elde edilebilir.

Yapılan çalışmanın daha gerçek dünyaya yakın olması açısından ve daha farklı simülasyonlar yapılabilmesi adına kullanılan sistem modifiye edilerek İstanbul üzerine bir bölgeye benzetilmeye çalışılabilir. Bu şekilde çalışma yapmanın önündeki en büyük engel ise güncel ve gerçek hat verilerine ulaşmanın çok zor olmasıdır. Ancak

Üretim verilerine EPIAŞ (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş) şeffaflık platformu [55] üzerinden erişilebilir. Üretim verileri kullanarak kayıplar harici tüketim verilerine ulaşılabılır ancak buradan elde edilecek tüketim verileri toplam sisteme ait olacağından ancak yapılacak çalışmada ölçeklendirme amaçlı kullanılabilir. Buradan elde edilecek veriler kullanarak yapılan çalışmalar yerelleştirilebilir.

Fotovoltaik ve rüzgârdan üretilen gler hesaba katılırken belirli bir dağılım üzerinden değil de yerel veriler kullanarak saatlik üretim değerleri bulunabilir. Elde edilen bu değerler sistemin toplam gücüne belirli bir yüzdesi olacak şekilde ayarlanarak şebekenin bu durumlara verdiği tepki incelenebilir. RES'lerden üretilen gle fotovoltaiklerden üretilen gler arasında korelasyon eklenerek daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilir.

Elektrikli araçlar eklenirken basit bir dağılım kullanmak yerine araçların katettikleri mesafe, şarj başlangıç ve bitiş süreleri dikkate alınarak g talepleri hesaplanabilir. Bu veriler mevcut içten yanmalı araçlar için bulunabilmektedir. Bu veriler kullanarak mevcut araçların belirli bir yüzdesi elektrikli araçlardan oluşacak şekilde alınarak çalışmalar yapılabilir.

Gelecek çalışmalarda simülasyonları hızlandırmak adına sadece paralel işlem birimleri kullanmak yerine OpenCL ile grafik işlem birimi kullanarak simülasyonlar oldukça hızlandırılabilir [25]. Ancak bu yöntem ile hızlandırma yapılabilmesi için programın geliştirilme aşamasında buna göre kodların yazılması gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **IRENA.** (2023). *Renewable power generation costs in 2022*. Erişim 05.01.2024, gönderen [https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA\\_Renewable\\_power\\_generation\\_costs\\_in\\_2022.pdf?rev=cccb713bf8294cc5bec3f870e1fa15c2](https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022.pdf?rev=cccb713bf8294cc5bec3f870e1fa15c2)
- [2] **Directorate-General for Climate Action. (European Commission).** (2019). *Going climate-neutral by 2050, A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy*. İçinde *EU publications*. EU publications. <https://doi.org/10.2834/508867>
- [3] **European Environment Agency, & Europæiske Miljøagentur.** (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report*. <https://doi.org/10.2800/77428>
- [4] **Jorre De Schrijver and Melanie Sporer (EEA), Hannah Förster, Sabine Gores, Verena Graichen, Christian Winger, Carina Zell-Ziegler (Öko-Institut), & Nele Renders (Vito).** (2023). *Trends and projections in Europe 2023*. <https://doi.org/10.2800/595102>
- [5] **T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.** (2022). *Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası*. Erişim 19.01.2024, gönderen <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/MobiliteAracveTeknolojileriYolHaritasi.pdf>
- [6] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2023). *Türkiye Ulusal Enerji Planı 2022*. Erişim 10.12.2023, gönderen [https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye\\_Ulusal\\_Enerji\\_Plan%C4%B1.pdf](https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf)
- [7] **U.S. Energy Information Administration.** (2023). *International Energy Outlook 2023 (IEO2023)*. U.S. Energy Information Administration. Erişim 11.10.2023, gönderen <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=60642>
- [8] **IEA.** (2022). *Technology and Innovation Pathways for Zero-carbon-ready Buildings by 2030*. Erişim 05.01.2024, gönderen <https://www.iea.org/reports/technology-and-innovation-pathways-for-zero-carbon-ready-buildings->
- [9] **Abbasi, A. R., & Mohammadi, M.** (2023). Probabilistic load flow in distribution networks: An updated and comprehensive review with a new classification proposal. İçinde *Electric Power Systems Research* (C. 222). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109497>

- [10] **Prusty, B. R., & Jena, D.** (2017). A critical review on probabilistic load flow studies in uncertainty constrained power systems with photovoltaic generation and a new approach. *İçinde Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 69, ss. 1286-1302). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.044>
- [11] **Kenari, M. T., Sepasian, M. S., Setayesh Nazar, M., & Mohammadpour, H. A.** (2017). Combined cumulants and Laplace transform method for probabilistic load flow analysis. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 11(14), 3548-3556. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.0097>
- [12] **Barbulescu, C., Vuc, G., Jigoria-Oprea, D., & Pop, O.** (2008). *Transmission Planning-a Probabilistic Load Flow Perspective*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1058945>
- [13] **Huynh, V. K., Ngo, V. D., Le, D. D., & Nguyen, N. T. A.** (2018). Probabilistic power flow methodology for large-scale power systems incorporating renewable energy sources. *Energies*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/en11102624>
- [14] **Villanueva, D., Pazos, J. L., & Feijóo, A.** (2011). Probabilistic load flow including wind power generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(3), 1659-1667. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2096436>
- [15] **Alzubaidi, M., Hasan, K. N., Meegahapola, L., & Rahman, M. T.** (2021). Probabilistic Voltage Stability Assessment Considering Load and Wind Uncertainties. *2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT Asia 2021*. <https://doi.org/10.1109/ISGTASIA49270.2021.9715664>
- [16] **European Committee for Electrotechnical Standardization.** (2022). *SIST EN 50160:2023-Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks*.
- [17] **Conti, S., & Raiti, S.** (2007). Probabilistic load flow using Monte Carlo techniques for distribution networks with photovoltaic generators. *Solar Energy*, 81(12), 1473-1481. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.02.007>
- [18] **Aien, M., Fotuhi-Firuzabad, M., & Rashidinejad, M.** (2014). Probabilistic optimal power flow in correlated hybrid wind-photovoltaic power systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(1), 130-138. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2293352>
- [19] **Ren, Z., Li, W., Billinton, R., & Yan, W.** (2016). Probabilistic Power Flow Analysis Based on the Stochastic Response Surface Method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(3), 2307-2315. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2461159>
- [20] **Vlachogiannis, J. G.** (2009). Probabilistic constrained load flow considering integration of wind power generation and electric vehicles. *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(4), 1808-1817. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2009.2030420>

- [21] Palahalli, H., Diaz-Londono, C., Maffezzoni, P., & Gruosso, G. (2022). Impact Analysis of Electric Vehicle Charging Stations on the Medium Voltage Distribution Network. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 2022-October. <https://doi.org/10.1109/IECON49645.2022.9968929>
- [22] Polat, Ö., Eyüboğlu, O. H., & Gül, Ö. (2021). Monte Carlo simulation of electric vehicle loads respect to return home from work and impacts to the low voltage side of distribution network. *Electrical Engineering*, 103(1), 439-445. <https://doi.org/10.1007/s00202-020-01093-5>
- [23] Kim, S., & Hur, J. (2020). A probabilistic modeling based on monte carlo simulation of wind powered ev charging stations for steady-states security analysis. *Energies*, 13(20). <https://doi.org/10.3390/en13205260>
- [24] Wu, C., Wen, F., Lou, Y., & Xin, F. (2015). Probabilistic load flow analysis of photovoltaic generation system with plug-in electric vehicles. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 64, 1221-1228. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.09.014>
- [25] Abdelaziz, M. (2017). GPU-OpenCL accelerated probabilistic power flow analysis using Monte-Carlo simulation. *Electric Power Systems Research*, 147, 70-72. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.02.022>
- [26] Min, L., & Zhang, P. (2007). A Probabilistic Load Flow with Consideration of Network Topology Uncertainties. *International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ISAP.2007.4441587>
- [27] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (t.y.). 2020 *International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS): August 18-21, 2020, Liège, Belgium: conference proceedings*.
- [28] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, & Thomas J. Overbye. (2011). *Power System Analysis and Design, Fifth Edition* (5th bs). Cengage Learning.
- [29] Jansson, A., & Åkerman, E. (2021). Monte Carlo Simulations in Load Flow Calculations-An Application on a Swedish 50 kV Network. *CODEN:LUTEDX/TEIE*; (2021). Erişim 29.11.2023, gönderen <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9051471>
- [30] Zimmerman, R. D., Murillo-Sánchez, C. E., & Thomas, R. J. (2011). MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(1), 12-19. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2051168>
- [31] Song, S., Han, C., Jung, S., Yoon, M., & Jang, G. (2019). Probabilistic power flow analysis of bulk power system for practical grid planning application. *IEEE Access*, 7, 45494-45503. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909537>
- [32] Milanović, J. V. (2017). Probabilistic stability analysis: The way forward for stability analysis of sustainable power systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and*

- [33] **Youcef Ettoumi, F., Mefti, A., Adane, A., & Bouroubi, M. Y.** (2002). Statistical analysis of solar measurements in Algeria using beta distributions. *Renewable Energy*, 26(1), 47-67. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00100-8)
- [34] **Fan, M., Vittal, V., Heydt, G. T., & Ayyanar, R.** (2012). Probabilistic power flow studies for transmission systems with photovoltaic generation using cumulants. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(4), 2251-2261. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2190533>
- [35] **Qin, Z., Li, W., & Xiong, X.** (2013). Incorporating multiple correlations among wind speeds, photovoltaic powers and bus loads in composite system reliability evaluation. *Applied Energy*, 110, 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.045>
- [36] **Abanoz, F.** (2011). *Probabilistic Power Flow Analysis for a Given Network In Case of Wind Power Penetration* [Master thesis, Delft University of Technology ]. Erişim 23.01.2024, gönderen <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:25b8ea27-bd49-4dca-8df6-e769c4d9368d?collection=education>
- [37] **Qin, Z., Li, W., & Xiong, X.** (2013). Generation system reliability evaluation incorporating correlations of wind speeds with different distributions. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(1), 551-558. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2205410>
- [38] **Reinders, J., Morren, J., & Slootweg, H.** (2017). Comparing probabilistic load flow methods in dealing with uncertainties at TSO/DSO interface. *2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2017.8232030>
- [39] **Le, D. D., Pham, K. V, Ngo, D. V, Huynh, K. V, Nguyen, N. T. A., & Berizzi, A.** (t.y.). *An Enhancement to Cumulant-based Probabilistic Power Flow Methodologies*.
- [40] **Shu, T., Lin, X., Peng, S., Du, X., Chen, H., Li, F., Tang, J., & Li, W.** (2019). Probabilistic Power Flow Analysis for Hybrid HVAC and LCC-VSC HVDC System. *IEEE Access*, 7, 142038-142052. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2942522>
- [41] **Samet, H., & Khorshidsavar, M.** (2018). Analytic time series load flow. İçinde *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 82, ss. 3886-3899). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.084>
- [42] **Zamora, R., & Srivastava, A. K.** (2018). Multi-Layer Architecture for Voltage and Frequency Control in Networked Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(3), 2076-2085. <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2606460>
- [43] **Alam, M. N., Chakrabarti, S., & Liang, X.** (2020). A Benchmark Test System for Networked Microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(10), 6217-6230. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.2976893>

- [44] **Mumtaz, F. , Syed, M. , Hosani, M. , & Zeineldin, H.** (t.y.). A Simple and Accurate Approach to Solve the Power Flow for Balanced Islanded Microgrids. *A Simple and Accurate Approach to Solve the Power Flow for Balanced Islanded Microgrids*. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2015.7165454>.
- [45] **Moreira, E., Chagas, E., Rodrigues, A., & da Guia da Silva, M.** (2020). Linear Probabilistic Power Flow for Islanded Microgrids. *2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/PMAPS47429.2020.9183485>
- [46] **Zhao, Z., Yang, P., Guerrero, J. M., Xu, Z., & Green, T. C.** (2016). Multiple-time-scales hierarchical frequency stability control strategy of medium-voltage isolated microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(8), 5974-5991. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2015.2496869>
- [47] **Bui, D. M., Lien, K. Y., Chen, S. L., Lu, Y. C., Chan, C. M., & Chang, Y. R.** (2015). Investigate dynamic and transient characteristics of microgrid operation and develop a fast-scalable-adaptable algorithm for fault protection system. *Electric Power Systems Research*, 120, 214-233. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.04.003>
- [48] **Hill, P. D.** (1985). Kernel Estimation of a Distribution Function. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 14(3), 605-620. <https://doi.org/10.1080/03610928508828937>
- [49] **Freedman, D., & Diaconis, P.** (1981). On the Histogram as a Density Estimator: L 2 Theory. İçinde *Z. Wahrscheinlichkeitstheorie verw. Gebiete* (C. 57).
- [50] **Deckerd, R., & Fitzgibbon, D.** (1991). The normal and poisson approximations to the binomial: a closer look. İçinde *Technical Report* (Sayı 82.3). Department of Mathematics, University of Hartford. Erişim 08.01.2023, <http://professorrdecker.x10host.com/NormalandPoissonForBinomial1991.pdf>
- [51] **Berry, A. C.** (1941). The Accuracy of the Gaussian Approximation to the Sum of Independent Variates. *Transactions of the American Mathematical Society*, 49(1), 122-136. <https://doi.org/10.2307/1990053>
- [52] **Billinton, R., & Li, W.** (1994). Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods. İçinde *Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1346-3>
- [53] **İskenderoğlu, A., & Gül, Ö.** (2023). Probabilistic Power Flow Analysis of Power Systems with PV and Wind Using Monte Carlo Method. *2023 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, 480-485. <https://doi.org/10.1109/ICEEE59925.2023.00093>
- [54] **Chen, Y. C., Dong, P., & Wu, Z. D.** (2017). Analysis of power flow in wind farm with matpower. *2017 7th International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer & Security (PESA)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/PESA.2017.8277777>

- [55] *EPİAŞ Şeffaflık platformu.* (2023). Erişim 03.01.2024, gönderen <https://seffaflik.epias.com.tr/home>



## EKLER

**EK A:** Mikro şebeke test sisteminin verileri.

**Çizelge A.1 :** Üretim değerleri.

| Üretim<br>tipi | Bara<br>kodu | Aktif<br>üretim | Reaktif<br>üretim | Qmaks | Qmin  | Vg |
|----------------|--------------|-----------------|-------------------|-------|-------|----|
| SG             | 101          | 15              | 0                 | 5     | -3    | 1  |
| SG             | 201          | 6               | 0                 | 2     | -1,5  | 1  |
| SG             | 301          | 3               | 0                 | 2     | -1,5  | 1  |
| SG             | 401          | 4               | 0                 | 2     | -1    | 1  |
| PV             | 102          | 2,4             | 0                 | 0,4   | 0     | 1  |
| PV             | 103          | 2,4             | 0                 | 0,48  | 0     | 1  |
| PV             | 104          | 2               | 0                 | 0,4   | 0     | 1  |
| PV             | 202          | 1,6             | 0                 | 0,32  | 0     | 1  |
| PV             | 203          | 1,6             | 0                 | 0,32  | 0     | 1  |
| PV             | 204          | 2,4             | 0                 | 0,48  | 0     | 1  |
| WT             | 206          | 0,8             | 0                 | 0,25  | -0,25 | 1  |
| WT             | 209          | 0,5             | 0                 | 0,2   | -0,2  | 1  |
| PV             | 303          | 2               | 0                 | 0,5   | 0     | 1  |
| PV             | 304          | 0,4             | 0                 | 0,1   | 0     | 1  |
| PV             | 305          | 0,8             | 0                 | 0,16  | 0     | 1  |
| PV             | 306          | 0,8             | 0                 | 0,16  | 0     | 1  |
| PV             | 307          | 0,8             | 0                 | 0,16  | 0     | 1  |
| WT             | 314          | 0,5             | 0                 | 0,25  | -0,25 | 1  |
| PV             | 315          | 0,8             | 0                 | 0,16  | 0     | 1  |
| WT             | 317          | 1,2             | 0                 | 0,6   | -0,6  | 1  |
| PV             | 405          | 1,6             | 0                 | 0,32  | 0     | 1  |
| PV             | 406          | 2,4             | 0                 | 0,5   | 0     | 1  |
| PV             | 407          | 1,6             | 0                 | 0,32  | 0     | 1  |

**Çizelge A.2 :** Mikro şebekeler arasındaki bağlantı hattı verileri.

| Bara<br>numarası | Baradan | Baraya | Hat<br>uzunluğu | R       | X       | Normal<br>kapasite | SCCR  |
|------------------|---------|--------|-----------------|---------|---------|--------------------|-------|
| t1               | 102     | 201    | 1               | 0,0309  | 0,0477  | 1000               | 114,4 |
| t2               | 104     | 301    | 1,5             | 0,04635 | 0,07155 | 1000               | 114,4 |
| t3               | 208     | 401    | 2               | 0,0778  | 0,0999  | 890                | 83,8  |
| t4               | 205     | 310    | 2,5             | 0,09725 | 0,12488 | 890                | 83,8  |
| t5               | 318     | 404    | 1               | 0,0389  | 0,04995 | 890                | 83,8  |

**Çizelge A.3 : Bara yük verileri.**

| Bara kodu | Bara Tipi | Aktif yük | Reaktif yük | Bölge | Vmaks | Vmin |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------|-------|------|
| 101       | 3         | 0         | 0           | 1     | 1,05  | 0,95 |
| 102       | 2         | 2,125     | 0,336       | 1     | 1,05  | 0,95 |
| 103       | 2         | 3,329     | 1,023       | 1     | 1,05  | 0,95 |
| 104       | 2         | 2,05      | 0,555       | 1     | 1,05  | 0,95 |
| 105       | 1         | 1,257     | 0,31        | 1     | 1,05  | 0,95 |
| 106       | 1         | 1,056     | 0,24        | 1     | 1,05  | 0,95 |
| 201       | 2         | 0,6       | 0,1         | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 202       | 2         | 1,25      | 0,487       | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 203       | 2         | 1,203     | 0,41        | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 204       | 2         | 1,366     | 0,443       | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 205       | 1         | 0,764     | 0,036       | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 206       | 2         | 0,503     | 0,021       | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 207       | 1         | 0,345     | 0,011       | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 208       | 1         | 0,629     | 0,008       | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 209       | 2         | 0,642     | 0,012       | 2     | 1,05  | 0,95 |
| 301       | 2         | 0,58      | 0,15        | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 302       | 1         | 0,65      | 0,085       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 303       | 2         | 0,673     | 0,096       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 304       | 2         | 0,439     | 0,135       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 305       | 2         | 0,6       | 0,128       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 306       | 2         | 0,56      | 0,112       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 307       | 2         | 0,851     | 0,145       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 308       | 1         | 0,42      | 0,025       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 309       | 1         | 0,5       | 0,045       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 310       | 1         | 0,637     | 0,033       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 311       | 1         | 0,788     | 0,095       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 312       | 1         | 0,125     | 0,05        | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 313       | 1         | 0,169     | 0,02        | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 314       | 2         | 0,2       | 0,043       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 315       | 2         | 0,25      | 0,032       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 316       | 1         | 0,213     | 0,012       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 317       | 2         | 0,133     | 0,025       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 318       | 1         | 0,2       | 0,038       | 3     | 1,05  | 0,95 |
| 401       | 2         | 0,426     | 0,08        | 4     | 1,05  | 0,95 |
| 402       | 1         | 0,318     | 0,078       | 4     | 1,05  | 0,95 |
| 403       | 1         | 0,356     | 0,081       | 4     | 1,05  | 0,95 |
| 404       | 1         | 0,459     | 0,088       | 4     | 1,05  | 0,95 |
| 405       | 2         | 0,82      | 0,091       | 4     | 1,05  | 0,95 |
| 406       | 2         | 2,5       | 0,635       | 4     | 1,05  | 0,95 |
| 407       | 2         | 0,816     | 0,06        | 4     | 1,05  | 0,95 |

**Çizelge A.4 : Hat verileri.**

| Bara<br>numarası | Baradan | Baraya | Hat<br>uzunluğu<br>(km) | R       | X       | Normal<br>kapasite | SCCR  |
|------------------|---------|--------|-------------------------|---------|---------|--------------------|-------|
| 1                | 101     | 102    | 3                       | 0,0927  | 0,1431  | 1000               | 114,4 |
| 2                | 101     | 103    | 2,4                     | 0,09336 | 0,11988 | 890                | 83,8  |
| 3                | 101     | 104    | 3                       | 0,0927  | 0,1431  | 1000               | 114,4 |
| 4                | 101     | 105    | 1,6                     | 0,06224 | 0,07992 | 890                | 83,8  |
| 5                | 101     | 106    | 1,6                     | 0,06224 | 0,07992 | 890                | 83,8  |
| 6                | 102     | 103    | 2                       | 0,0778  | 0,0999  | 890                | 83,8  |
| 7                | 102     | 105    | 1,5                     | 0,05835 | 0,07493 | 890                | 83,8  |
| 8                | 103     | 104    | 2                       | 0,0778  | 0,0999  | 890                | 83,8  |
| 9                | 103     | 105    | 1,2                     | 0,04668 | 0,05994 | 890                | 83,8  |
| 10               | 103     | 106    | 1,2                     | 0,04668 | 0,05994 | 890                | 83,8  |
| 11               | 104     | 106    | 1,5                     | 0,05835 | 0,07493 | 890                | 83,8  |
| 12               | 201     | 202    | 1,4                     | 0,05446 | 0,06993 | 890                | 83,8  |
| 13               | 202     | 203    | 1,6                     | 0,06224 | 0,07992 | 890                | 83,8  |
| 14               | 202     | 206    | 1,5                     | 0,2385  | 0,162   | 310                | 83,8  |
| 15               | 203     | 204    | 2,2                     | 0,08558 | 0,10989 | 890                | 83,8  |
| 16               | 203     | 207    | 1,4                     | 0,2226  | 0,1512  | 310                | 83,8  |
| 17               | 204     | 208    | 1,8                     | 0,07002 | 0,08991 | 890                | 83,8  |
| 18               | 204     | 208    | 1,2                     | 0,04668 | 0,05994 | 890                | 83,8  |
| 19               | 208     | 209    | 0,8                     | 0,1272  | 0,0864  | 310                | 83,8  |
| 20               | 301     | 302    | 1,2                     | 0,04668 | 0,05994 | 890                | 83,8  |
| 21               | 302     | 303    | 1,8                     | 0,07002 | 0,08991 | 890                | 83,8  |
| 22               | 302     | 309    | 1,5                     | 0,05835 | 0,07493 | 890                | 83,8  |
| 23               | 302     | 311    | 1,4                     | 0,2226  | 0,1512  | 310                | 21,4  |
| 24               | 303     | 304    | 1,2                     | 0,04668 | 0,05994 | 890                | 83,8  |
| 25               | 303     | 313    | 1,5                     | 0,2385  | 0,162   | 310                | 21,4  |
| 26               | 304     | 305    | 1,4                     | 0,05446 | 0,06993 | 890                | 83,8  |
| 27               | 304     | 314    | 1,5                     | 0,2385  | 0,162   | 310                | 21,4  |
| 28               | 305     | 306    | 1,6                     | 0,06224 | 0,07493 | 890                | 83,8  |
| 29               | 305     | 315    | 1,5                     | 0,2385  | 0,162   | 310                | 21,4  |
| 30               | 306     | 307    | 1,5                     | 0,05835 | 0,07493 | 890                | 83,8  |
| 31               | 306     | 317    | 1,4                     | 0,2226  | 0,1512  | 310                | 21,4  |
| 32               | 307     | 308    | 1,5                     | 0,2385  | 0,162   | 310                | 21,4  |
| 33               | 307     | 318    | 1,7                     | 0,06613 | 0,08492 | 890                | 83,8  |
| 34               | 309     | 310    | 1,5                     | 0,05835 | 0,07493 | 890                | 83,8  |
| 35               | 311     | 312    | 1,2                     | 0,1908  | 0,1296  | 310                | 21,4  |
| 36               | 315     | 316    | 1,2                     | 0,1908  | 0,1296  | 310                | 21,4  |
| 37               | 401     | 402    | 0,6                     | 0,0381  | 0,0315  | 700                | 52,9  |
| 38               | 401     | 405    | 1                       | 0,0635  | 0,0525  | 700                | 52,9  |
| 39               | 401     | 406    | 1,8                     | 0,1143  | 0,0945  | 700                | 52,9  |
| 40               | 402     | 403    | 2                       | 0,127   | 0,105   | 700                | 52,9  |
| 41               | 403     | 404    | 0,6                     | 0,0381  | 0,0315  | 700                | 52,9  |
| 42               | 404     | 407    | 1                       | 0,0635  | 0,0525  | 700                | 52,9  |
| 43               | 405     | 406    | 1,5                     | 0,09525 | 0,07875 | 700                | 52,9  |
| 44               | 406     | 407    | 1,5                     | 0,09525 | 0,07875 | 700                | 52,9  |



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Abdulkarim İskenderoğlu

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Programı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 yılından beri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesinde Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

### YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **İskenderoğlu, A., & Gül, Ö.** 2023. Probabilistic Power Flow Analysis of Power Systems with PV and Wind Using Monte Carlo Method. *2023 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, 480–485. <https://doi.org/10.1109/ICEEE59925.2023.00093>
- **İskenderoğlu, A., & Gül, Ö.** 2023. Investigating The Impact of Renewable Energy Sources on Networked Microgrids Using Probabilistic Load Flow. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches (IJANSER)*, 7(10), 445–449. <https://doi.org/https://doi.org/10.59287/as-ijanser.395>

### DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Eroğlu, H., Cuce, E., Mert Cuce, P., Gul, F., & İskenderoğlu, A.** 2021. Harmonic problems in renewable and sustainable energy systems: A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48, 101566. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101566>