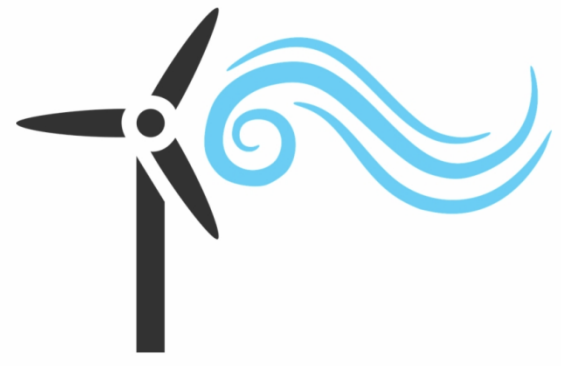


YÜK VE RÜZGAR BELİRSİZLİKLERİ ALTINDA STOKASTİK OPTİMAL GÜÇ AKIŞI



Güneş BECERİK MİR, Engin KARATEPE

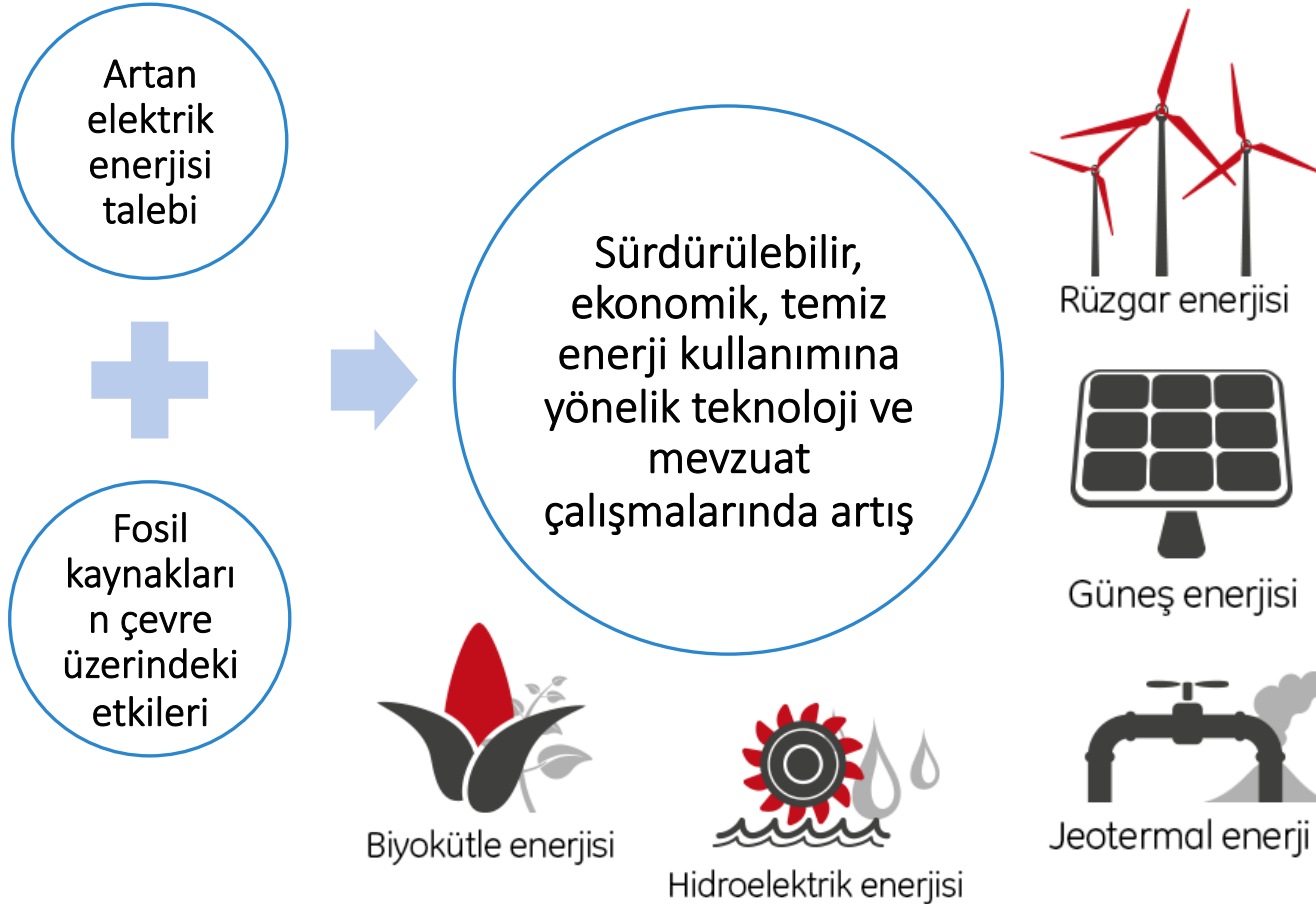
becerikgunes@gmail.com, enginkaratepe@gmail.com

Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

Giriş

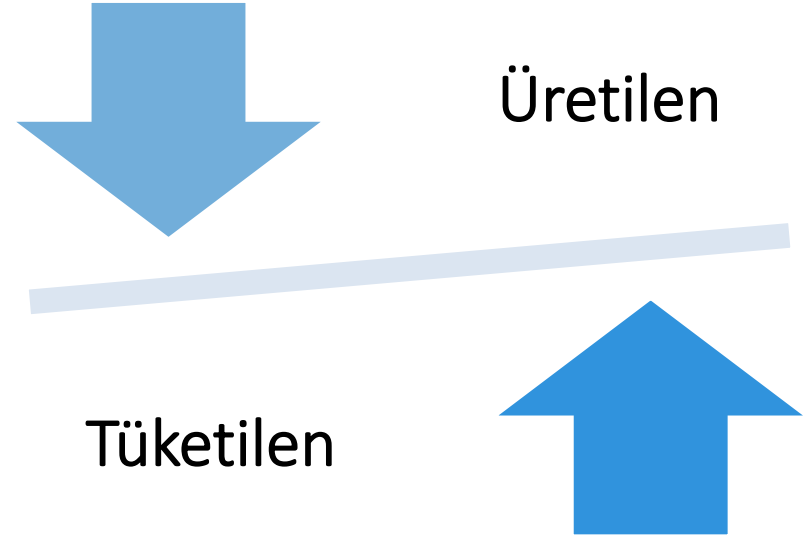
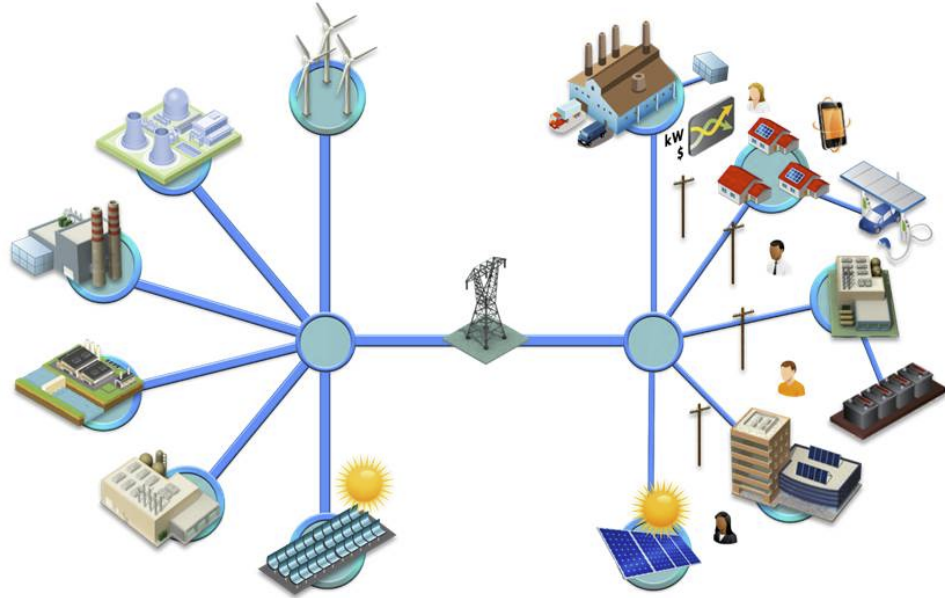
- ❖ Yenilebilir Enerji ve Şebeke
- ❖ Optimal Güç Akışı (OGA) Analizi
- ❖ Beklenen Maliyet Problemi
- ❖ Stokastik Optimal Güç Akışı Optimizasyonun Aşamaları
 - ❖ Aşama 1. : Yük ve Rüzgar Belirsizliklerinin Karakteristiğinin Belirlenmesi
 - ❖ Aşama 2 : Şebeke Modelinin Oluşturulması
 - ❖ Aşama 3 : Stokastik Optimal Güç Akışı
- ❖ Uygulama Çalışmaları
 - ❖ Farklı yük belirsizlikleri altında optimum maliyetlerin ele alınması
 - ❖ Farklı rüzgar belirsizlikleri altında optimum maliyetlerin ele alınması
 - ❖ Rüzgar santralinin şebekedeki yerinin optimum maliyetler üzerine etkisi
- ❖ Sonuçlar

Yenilebilir Enerji ve Şebeke



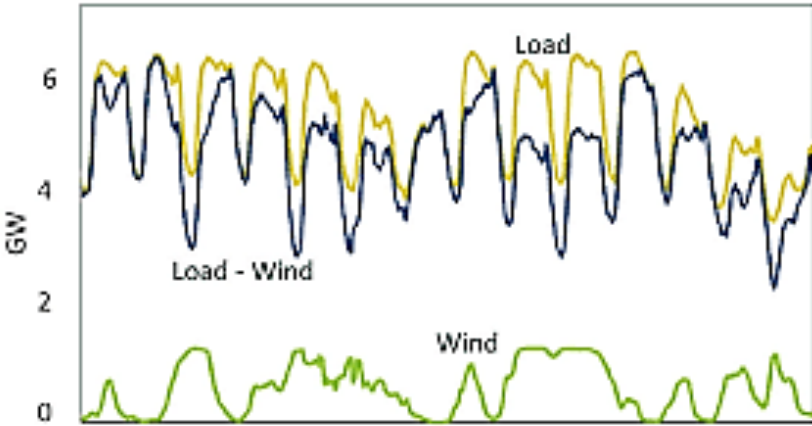
- **Rüzgâr enerjisi** şebekede en yüksek katılım oranına sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- Yıllık yük artış oranları da göz önüne alındığında, yük ve rüzgar gücü belirsizliği sistemin analizinde ve dolayısıyla yönetim aşamasında ele alınan karar verme süreçlerinde **olasılık tabanlı analiz tekniklerinin kullanılmasını** tetiklemektedir.

Optimal Güç Akışı (OGA) Analizi



- Optimal güç akışı (OGA) analizi, **mevcut yükün üretim birimlerinin çıkış güçleri ayarlanarak minimum maliyetle karşılanabilmesidir**. OGA analizi, bir dizi karmaşık matematiksel işlemi doğrusal ya da doğrusal olmayan optimizasyon teknikleri kullanarak çözmeye çalışır.

Beklenen Maliyet Problemi



Soru 1: Rüzgarın kesikli çıkış gücünün şebekeye entegrasyonu ile konvansiyonel üretim santrallerinin çıkış gücü ne olacaktır?
Soru 2: Uzun dönem yük/rüzgar değişiminin etkisi işletme maliyetlerine nasıl yansımaktadır?

Burada asıl amaç, uzun dönemli çalışma koşullarının optimal güç akışı optimizasyonu problemine dahil edilebilmesi ve bunun sonucunda ortaya çıkan büyük boyutlu optimizasyon probleminin etkin bir şekilde çözümünün elde edilebilmesidir.

Stokastik Optimal Güç Akışı

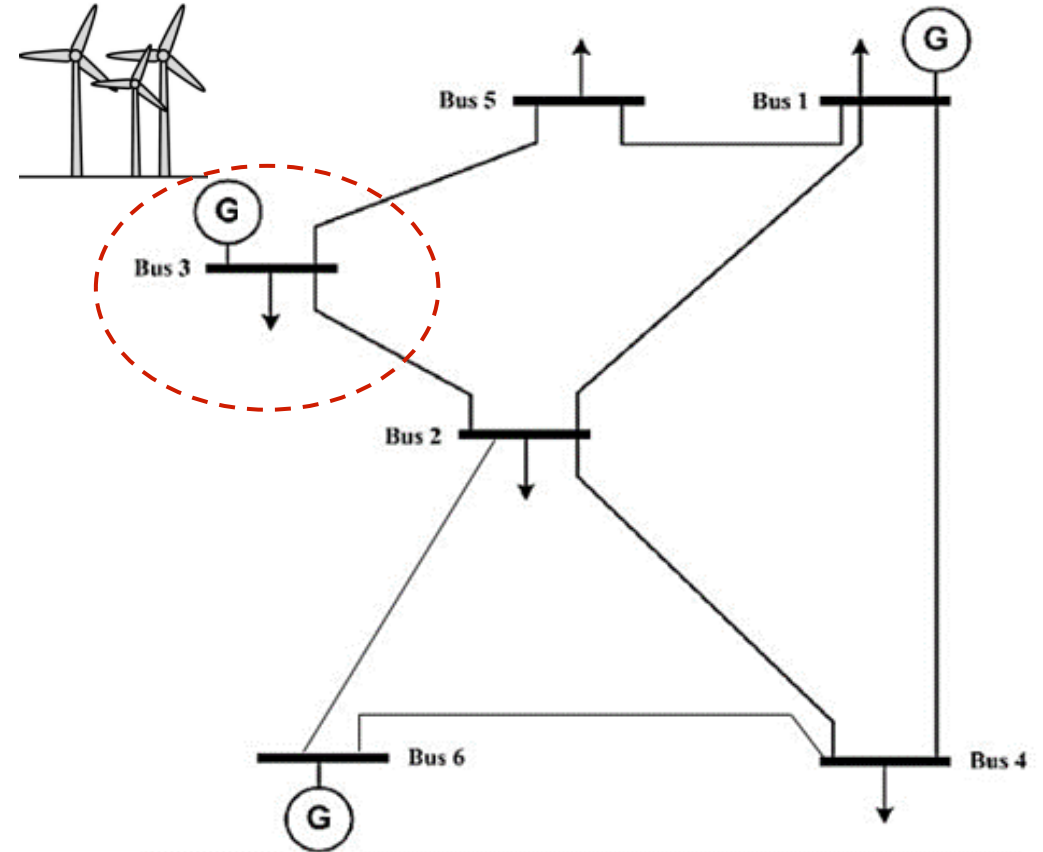
Yük ve rüzgar belirsizliklerinin uzun dönem karakteristiğinin belirlenmesi ve olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması.

Şebeke modelinin belirlenmesi

Optimal güç akışı optimizasyonunun stokastik bir araç ile ele alınması ve beklenen maliyetlerin hesaplanması

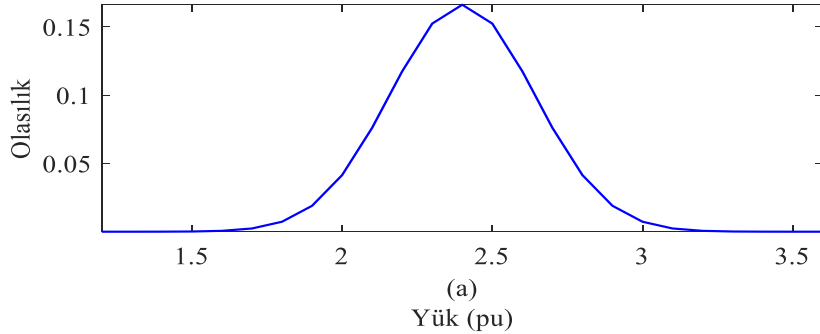
Garver Test Sistemi

- ❖ Garver test sistemi, üç konvansiyonel jeneratöre, beş adet yüke ve altı baraya sahiptir.
- ❖ Rüzgar belirsizliği ile ilgili yapılan analizlerde 3. baradaki jeneratör rüzgar türbini ile değiştirilmiştir.
- ❖ Sistemdeki konvansiyonel jeneratörler rüzgar olmadığı durumda dahi yükü besleyebilecek kapasiteye sahiptir.



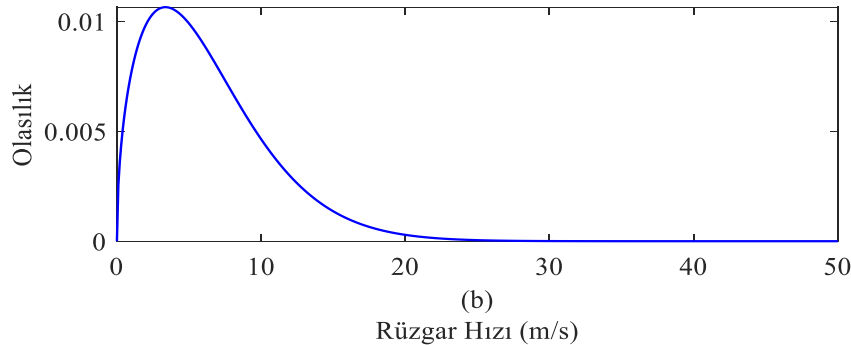
Aşama 1 - Yük ve Rüzgar Belirsizliklerinin Karakteristiğinin Belirlenmesi

Bu çalışmada ele alınacak şebekedeki her bir baranın **yük dağılımı normal dağılım**, **rüzgâr hızı ise Weibull dağılım** olarak birbirinden bağımsız kabul edilerek modellenmiştir.



$$y = f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- Normal dağılım: μ ortalama değer, σ^2 ise varyans
- Sistem verilerinde yer alan yük değerleri ortalama değer olarak alınırken, standart sapma (σ) oranı değiştirilerek farklı yük senaryoları oluşturulmuştur



$$y = f(x|k, c) = \frac{c}{k} \left(\frac{x}{k}\right)^{k-1} e^{-(x/k)^c}$$

- Weibull dağılım: k şekil (k) ve ölçek (c) parametreleri
- Rüzgâr türbininin karakteristiği ise rüzgârı kesme hızlarına göre belirlenmektedir.

Aşama 2 – DC Şebeke Modeli

$$\min \sum_{l \in \Omega^L} 8760 \left[\begin{array}{l} \sum_{g \in \Omega^G} C_g P_g + \sum_{w \in \Omega^W} C_w P_w + \\ \sum_{ls \in \Omega^D} C_{ls} P_{ls} \end{array} \right] \text{ Amaç Fonksiyonu}$$

$$\sum_{g \in \Omega^G} P_g + \sum_{w \in \Omega^W} P_w - \sum_{i|s(i)=n} P_i + \dots \\ \sum_{i|r(i)=n} P_i + \sum_{ls \in \Omega^D} P_{ls} - \sum_{d \in \Omega^D} P_d = 0 \quad \forall n \text{ Güç Denkliği Denklemi}$$

$$P_l = B_l(\theta_{s(l)} - \theta_{r(l)}) \quad \forall l \in \Omega^L \text{ DC güç akışı}$$

$$-f_{\max} \leq P_l \leq f_{\max} \quad \forall l \in \Omega^L \text{ Kapasite aşım kısıtı}$$

$$0 \leq P_g \leq P_g^{\max} \quad \forall g \in \Omega^G \text{ Üretim çıkış gücü kısıtı}$$

$$0 \leq P_{ls} \leq P_d^{\max}(\xi_1) \quad \forall ls \in \Omega^D \text{ Yük atma kısıtı}$$

$$-\pi \leq \theta_n \leq \pi \text{ where } \theta_1 = 0 \text{ Bara açıları kısıtı}$$

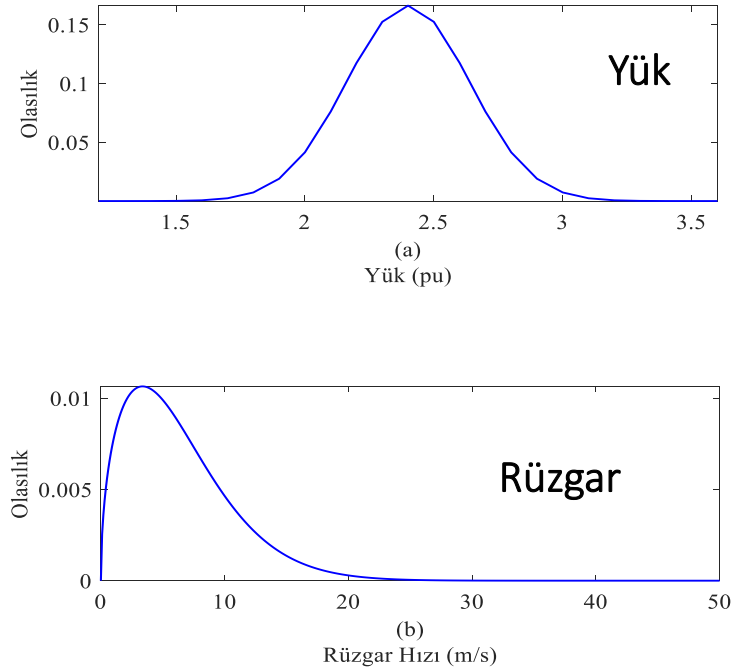
Amaç Fonksiyonu

- Santralin minimum birim maliyeti

Optimizasyon kısıtları

- Güç denkliği eşitliği
- Konvansiyonel jeneratör çıkış gücü
- Bara açıları
- Güç akışı
- Yük atma

Aşama 3 – Stokastik Optimal Güç Akışı



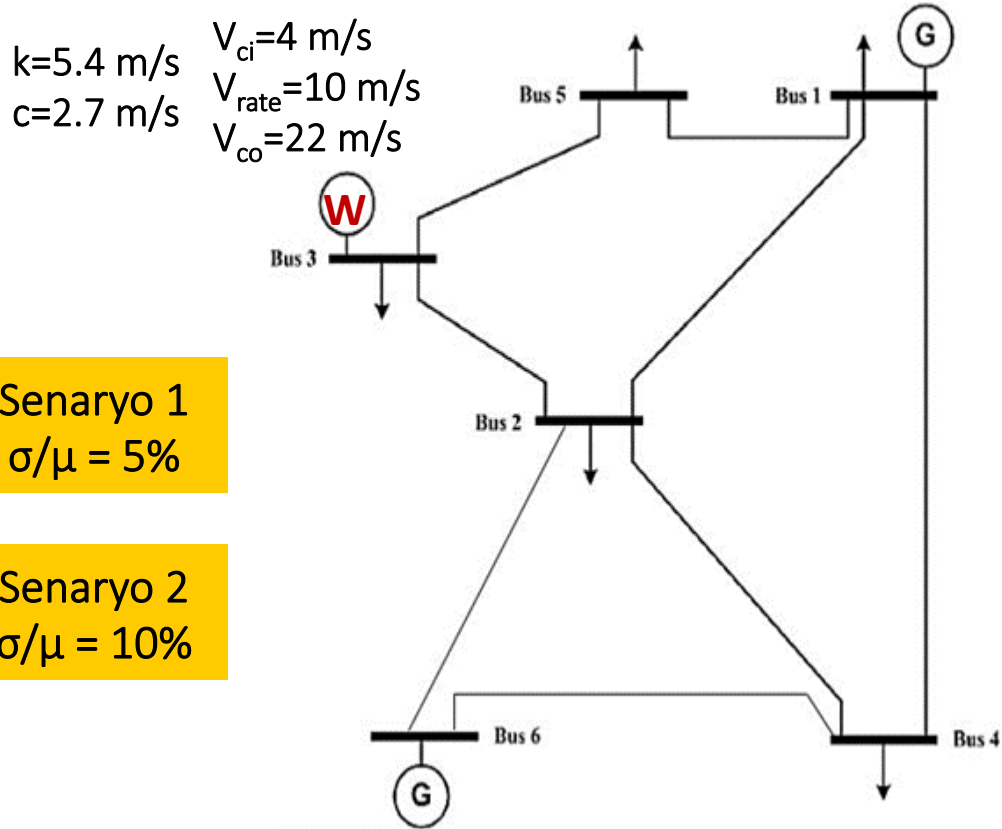
Yük – Rüzgar Senaryosu 1,2,3,..N

DC OGA optimizasyonunun Monte Carlo simülasyonu altında ele alınması

MCS durma kriteri sağlanması

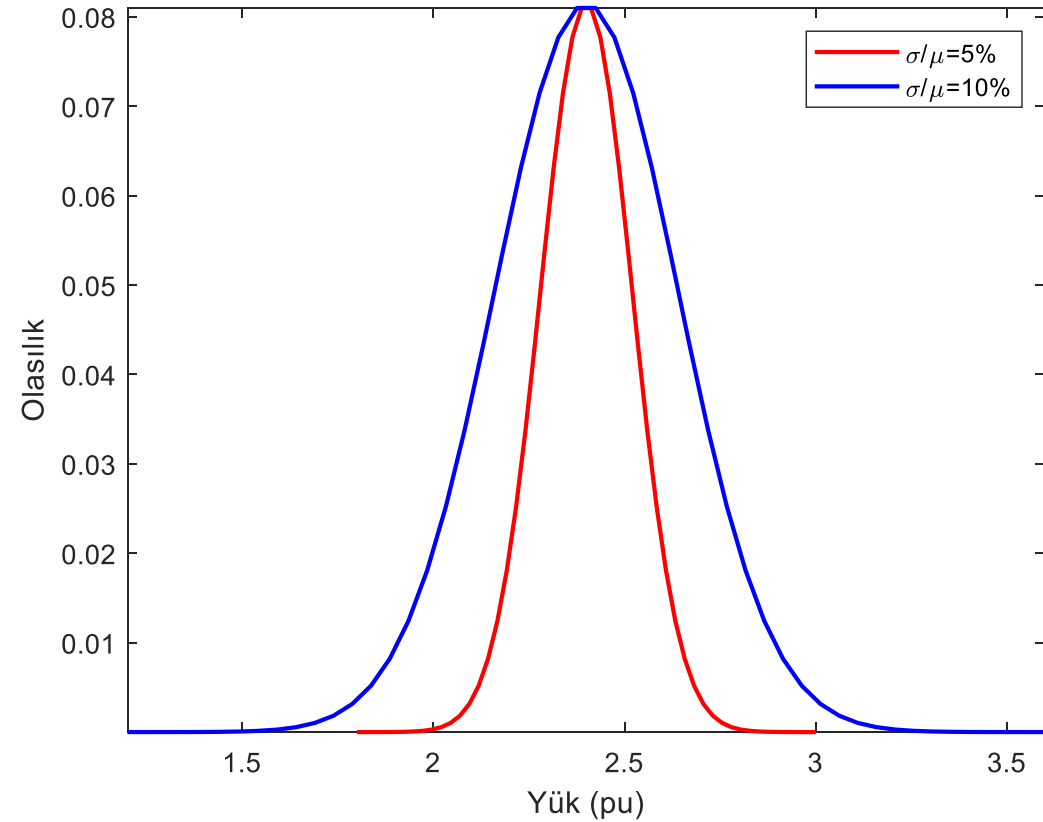
Üretim ve yük atma maliyetlerinin uzun dönem beklenen değerlerin hesaplanması

Yük Belirsizliği Senaryolarının Oluşturulması



Senaryo 1
 $\sigma/\mu = 5\%$

Senaryo 2
 $\sigma/\mu = 10\%$



Yükün farklı belirsizlik seviyelerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonları

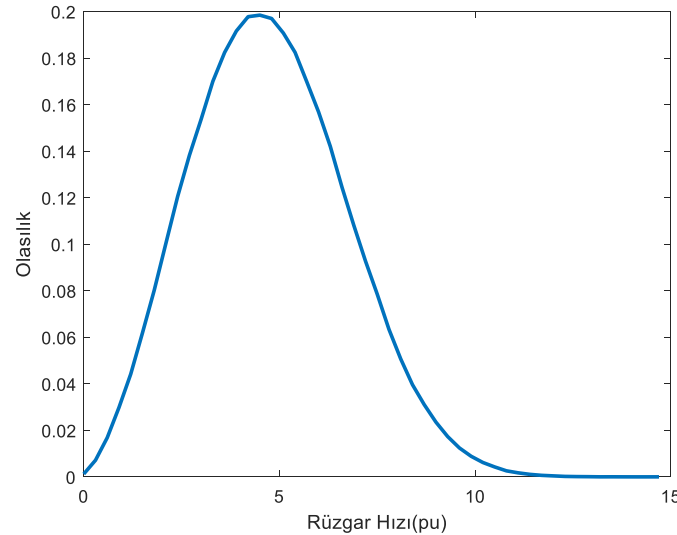
Rüzgar Belirsizliği Senaryolarının Oluşturulması

Tablo 1: Rüzgâr Senaryoları

Senaryo	Weibull Karakteristiği	Türbin Karakteristiği
S1	k=5.4 m/s c=2.7 m/s	$V_{ci}=4$ m/s $V_{rate}=10$ m/s $V_{co}=22$ m/s
S2	k=5.4 m/s c=2.7 m/s	$V_{ci}=3$ m/s $V_{rate}=5$ m/s $V_{co}=15$ m/s
S3	k=7 m/s c=2.5 m/s	$V_{ci}=4$ m/s $V_{rate}=10$ m/s $V_{co}=22$ m/s

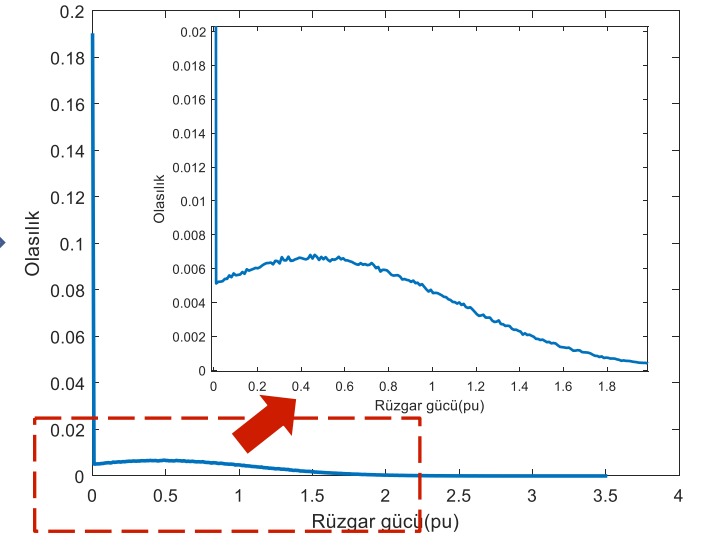
Rüzgar hızı senaryolarının pdf

$$y = f(x|k, c) = \frac{c}{k} \left(\frac{x}{k}\right)^{k-1} e^{-(x/k)^c}$$

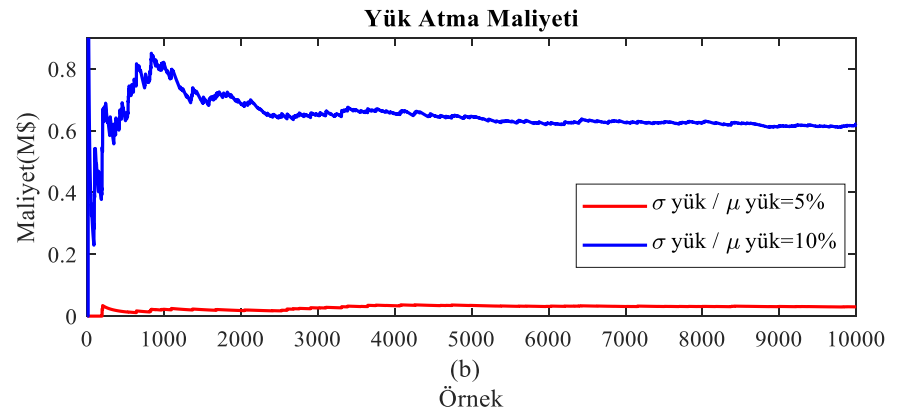
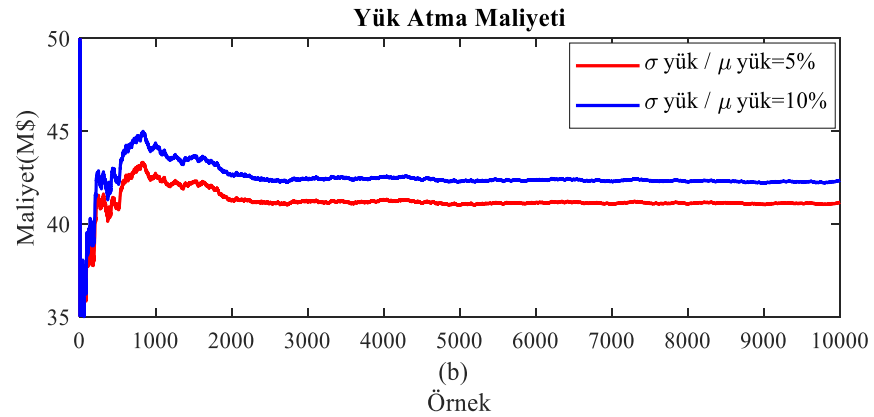
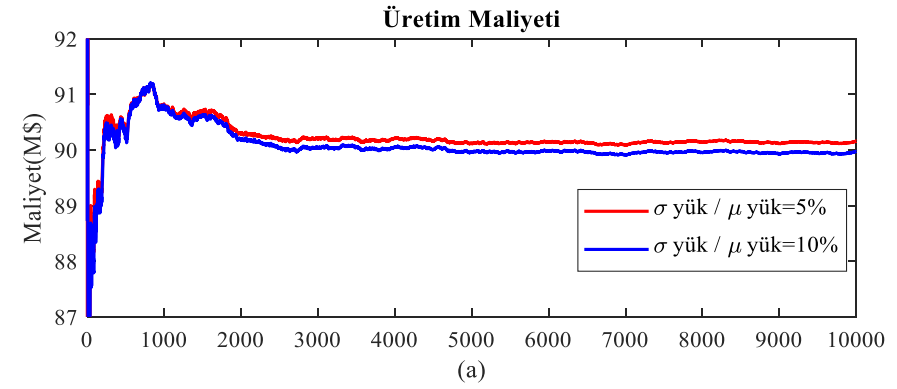
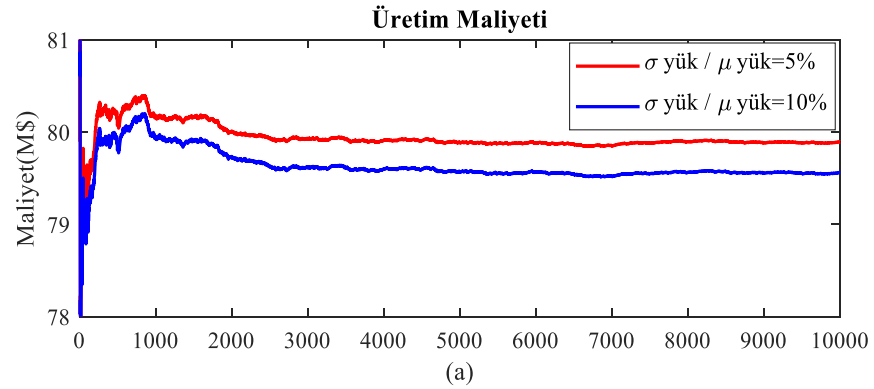


Rüzgar türbini çıkış gücünün pdf

$$P_w = \begin{cases} 0 & 0 \leq V \leq V_{ci} \\ \frac{P_r(V - V_{ci})}{V_r - V_{ci}} & V_{ci} \leq V \leq V_r \\ P_r & V_r \leq V \leq V_{co} \\ 0 & V_{co} \leq V \end{cases}$$



– Uygulama Çalışması 1 – Farklı Yük Belirsizlikleri Altında Beklenen Optimum Üretim ve Yük Atma Maliyetleri

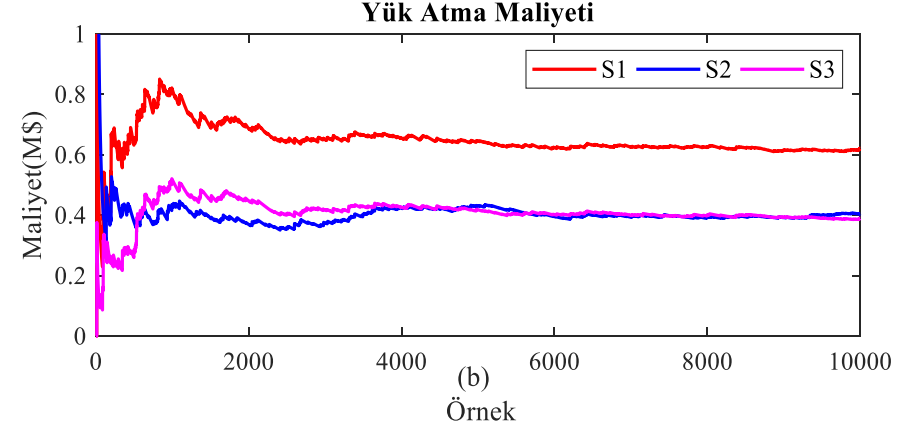
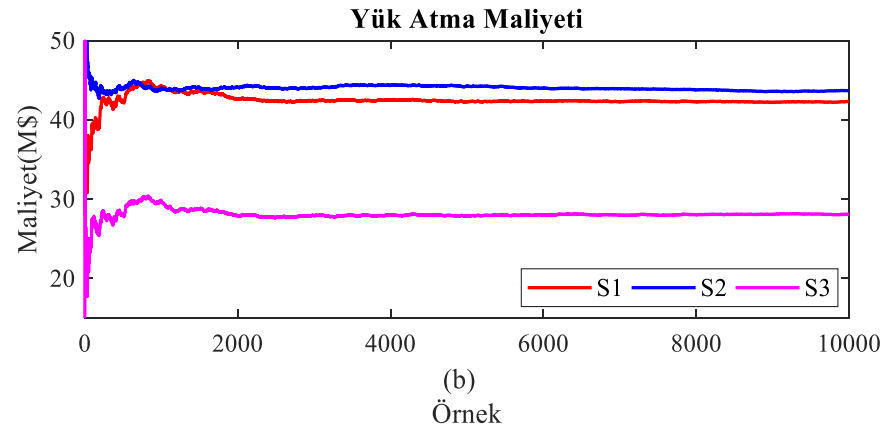
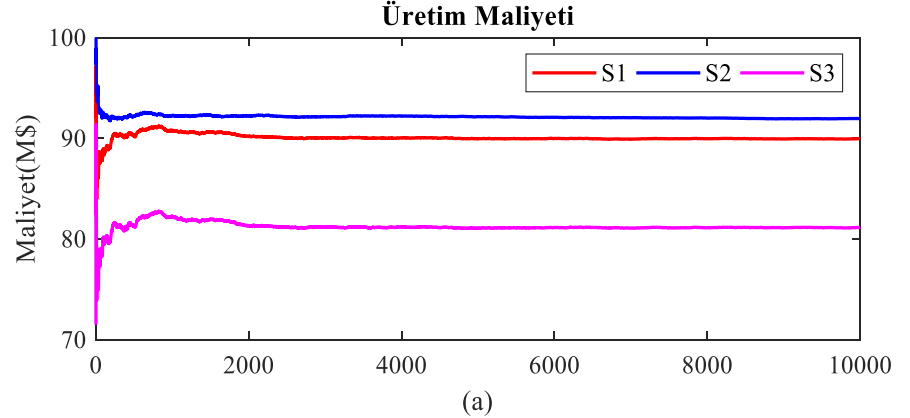
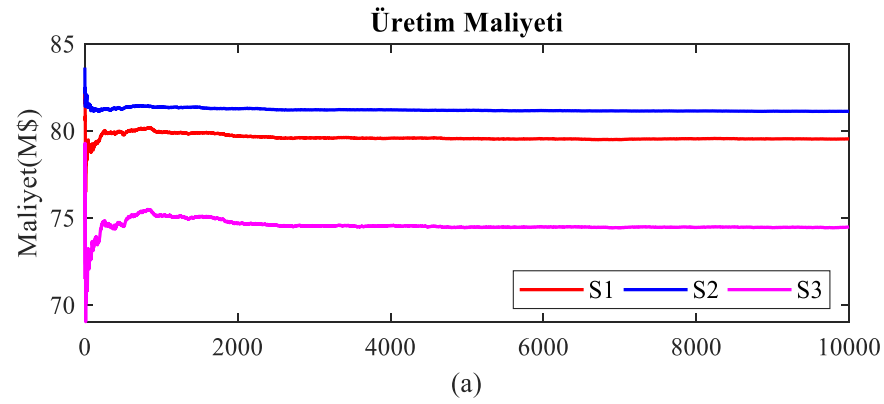


Farklı yük senaryoları altında
beklenen maliyetler

İletim hattı kapasitesi artırıldığı
durumda beklenen maliyetler

– Uygulama Çalışması 2 – Farklı Rüzgar Belirsizlikleri Altında Beklenen Optimum Üretim ve Yük Atma Maliyetleri

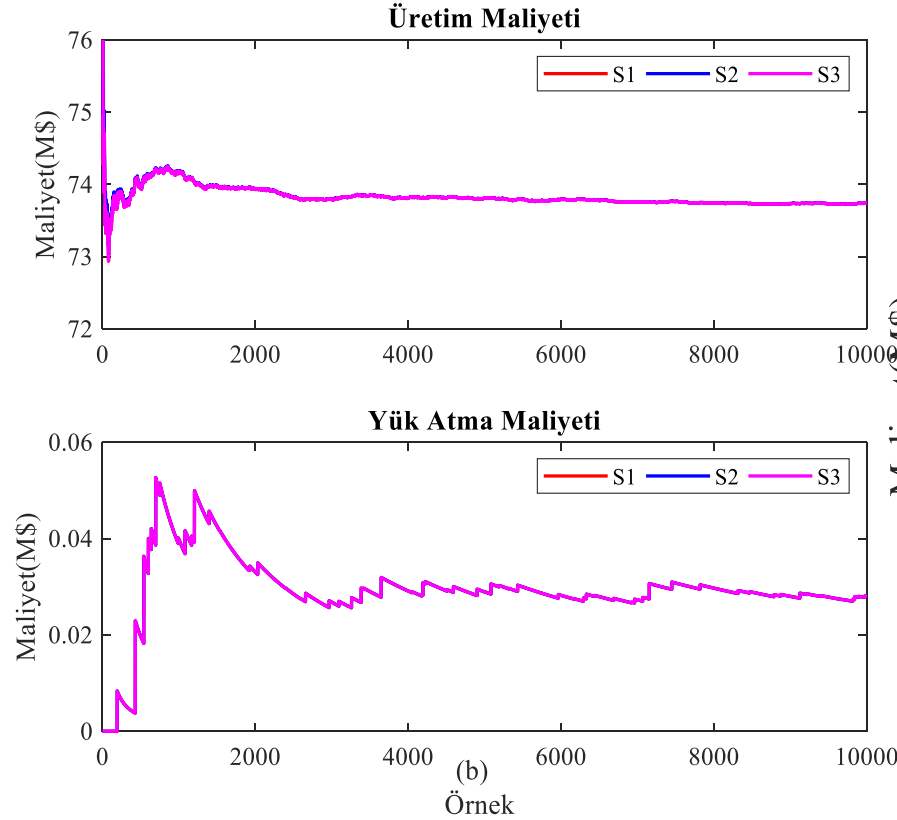
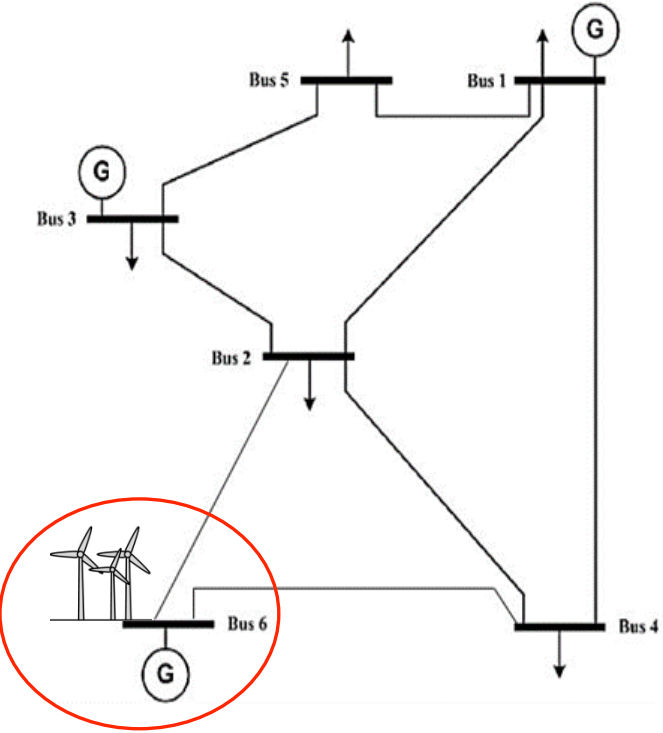
Senaryo	Weibull Karakteristiği	Türbin Karakteristiği
S1	$k=5.4$ m/s $c=2.7$ m/s	$V_{ci}=4$ m/s $V_{rate}=10$ m/s $V_{co}=22$ m/s
S2	$k=5.4$ m/s $c=2.7$ m/s	$V_{ci}=3$ m/s $V_{rate}=5$ m/s $V_{co}=15$ m/s
S3	$k=7$ m/s $c=2.5$ m/s	$V_{ci}=4$ m/s $V_{rate}=10$ m/s $V_{co}=22$ m/s



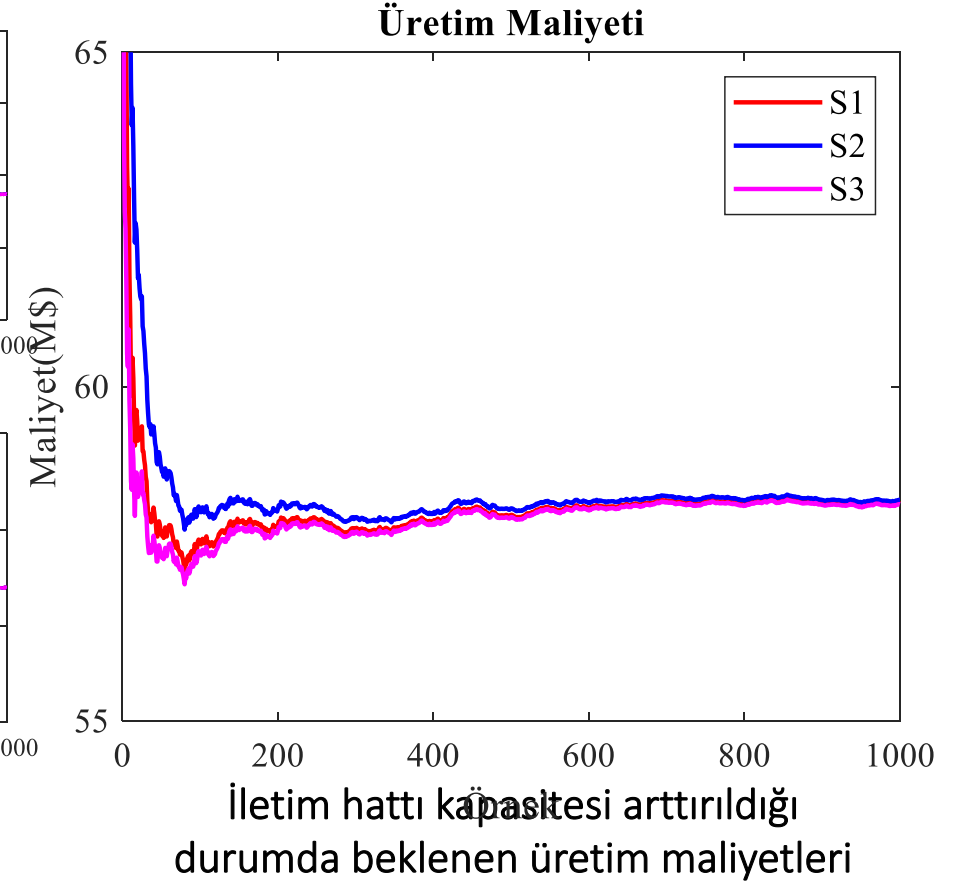
Örnek
Farklı rüzgar senaryoları altında
beklenen maliyetler

Örnek
İletim hattı kapasitesi arttırıldığı
durumda beklenen maliyetler

– Uygulama Çalışması 3 – Rüzgar Santrali Şebekedeki Yerinin Optimum Maliyetler Üzerine Etkisi



Farklı rüzgar senaryoları altında beklenen maliyetler



Sonuçlar

- Bu çalışmada **yük ve rüzgar belirsizliklerinin** optimum üretim ve yük atma maliyetleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu belirsizlikler **Monte Carlo simülasyonu** ile ele alınarak optimal güç akışı problemi temelinde şebeke kısıtları da dahil edilerek ve optimizasyon aşamasında doğrusal programlama kullanılarak sistemin beklenen optimum çalışma maliyetleri elde edilmiştir.
- Olasılık yoğunluk fonksiyonları üzerinden farklı yük ve rüzgâr senaryolarının optimum maliyet değerlerine olan etkileri irdelenmiştir. **Elde edilen sonuçlarda yükteki ve rüzgârdaki belirsizliklerin hem üretim hem de yük atma maliyetlerinde etkili olduğu gözlenmiştir.**
- Özellikle iletim hatlarında görülen dar boğazlar yük belirsizliği arttıkça yük atma maliyetini oldukça artırmaktadır.
- Şebeke yatırımlarının yanında **uzun vadede operasyonel maliyetlerin de planlamada çok büyük bir rol oynadığı** göz önüne alındığında, bu çalışma ile beklenen maliyet değerlerinin belirlenmesinde yük ve rüzgar belirsizliklerinin modellemelere dahil edilmesi gerektiği görülmektedir.