

Elektrik Tesisleri Ulusal Kongre ve Sergisi, 1-3 Kasım 2023

Rüzgâr ve Yük Belirsizliği Altında Risk Temelli Stokastik Üretim ve İletim Planlaması

Osman Altun¹, Engin Karatepe²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Buca – İzmir, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova – İzmir, Türkiye

Sunum Planı

Güç Sistemleri Çalışmalarının Genel Hatları

Dünyada Elektrik Enerjisi Trendleri

Şebekelerde Planlama Kavramı

Üretim ve İletim Sistemi Planlaması

Belirsizlik Modellemesi

Simülasyon Sonuçları

Genel Değerlendirme

Güç Sistemleri Çalışmalarının Genel Hatları

Zaman ufku perspektifinden

Nanosaniye-Milisaniye: **Güç Sistemlerinde Geçici Olaylar**

Milisaniye-Saniyeler: **Güç Sistemleri Dinamikleri**

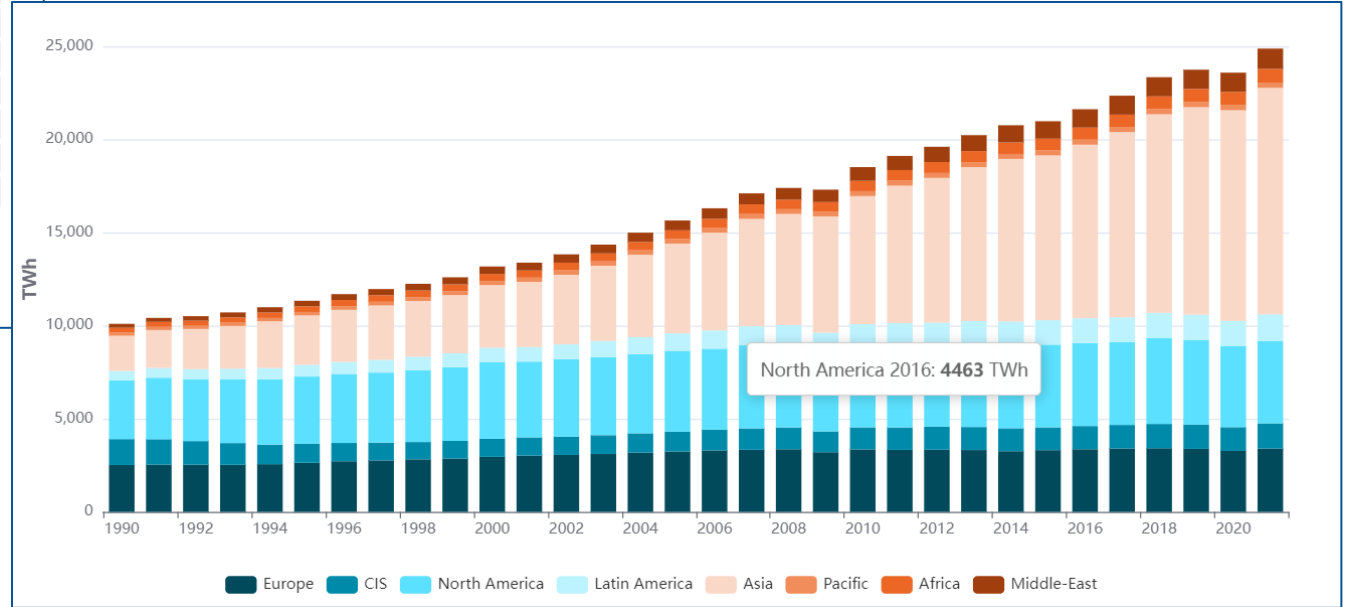
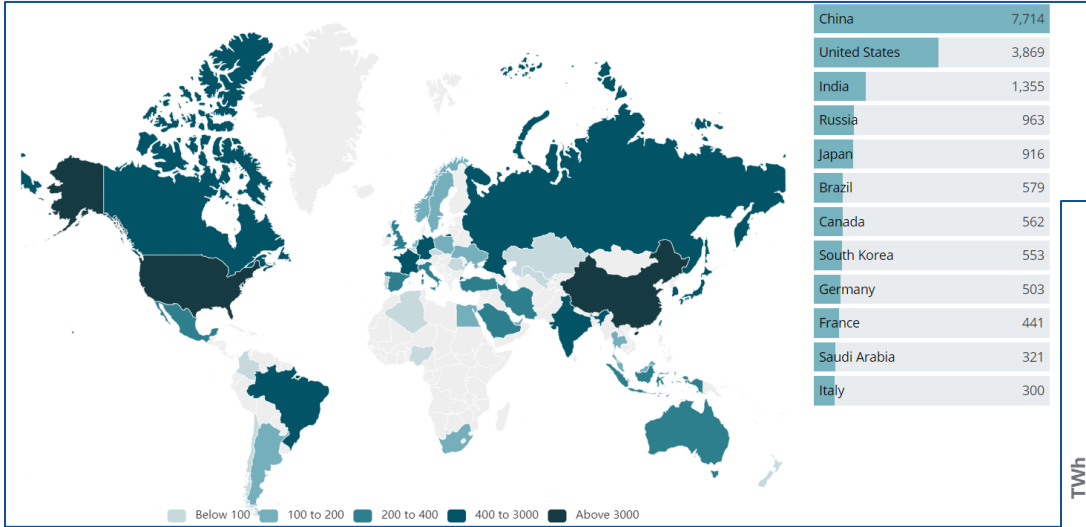
Dakikalar -1 Hafta: **Ünite Tahsisi, Ekonomik Yük Dağıtımı, Otomatik Üretim Kontrolü**

1 hafta -1 yıl: **Bakım Planlaması (Operasyonel Planlama)**

1 yıl -10 yıl: **Güç Sistemleri Planlaması**

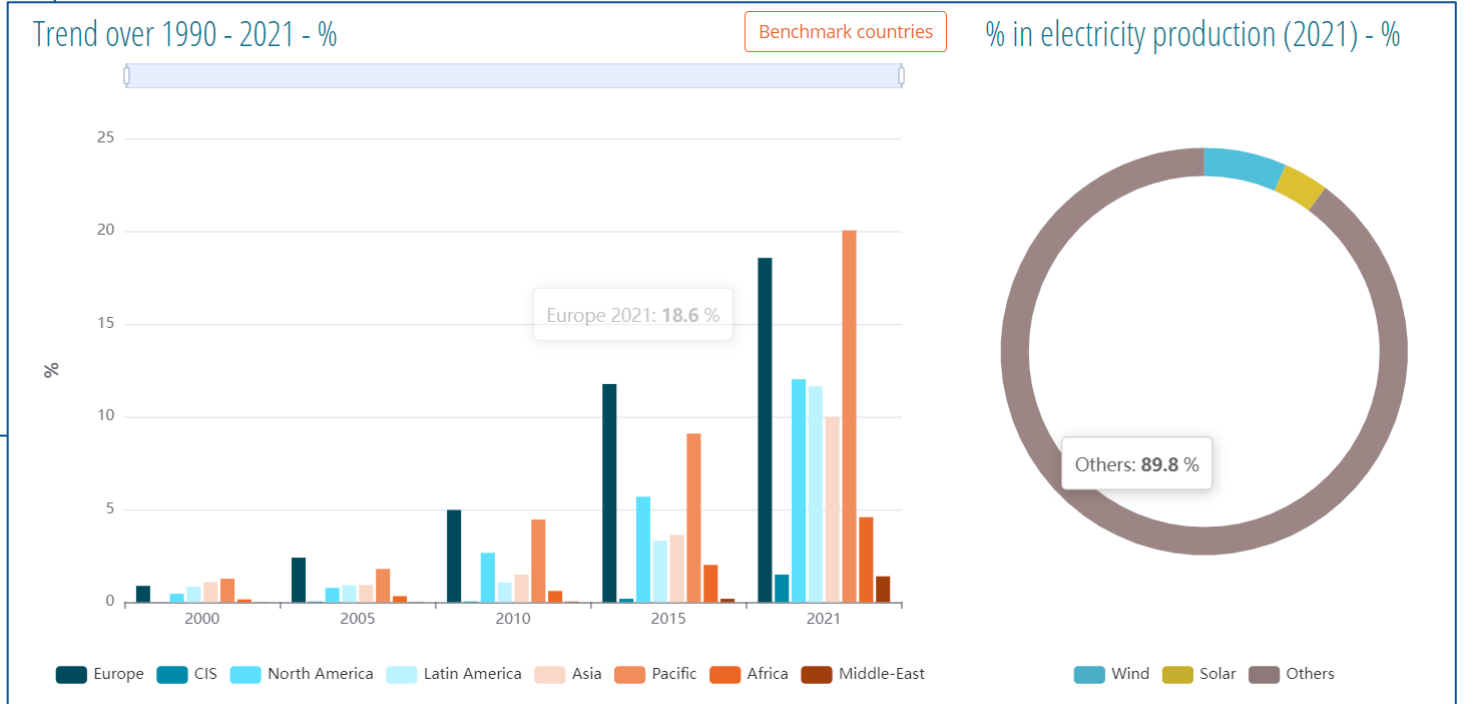
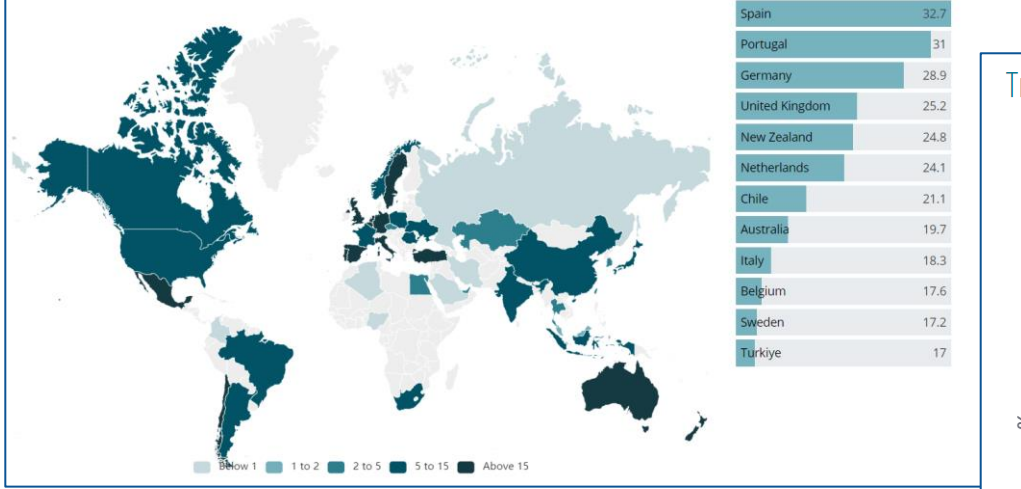
Elektrik Tüketim Trendleri

Elektrik tüketimi son 20 yılda ikiye katlanmıştır.



Yenilenebilir Enerji Genişleme Trendleri

- Yenilenebilir enerji üretimi son 20 yılda dramatik bir şekilde artmıştır.
- Toplam üretim içerisindeki yenilenebilir enerji payı da artmıştır.



Güç Sistemleri Planlaması ?

Güç sistemleri planlaması, öngörülebilir bir gelecekte karşılaşılabilecek talebin karşılanması için yeni güç sistemleri elemanlarının yatırımlarıyla ilgili kararlarının verilmesi sürecidir.

Elemanlar

- Üretim birimleri
- Şalt istasyonları
- İletim hatları / kablolar
- Kapasitör / Reaktörler

Karar

- Nereye?
- Ne zaman?
- Hangi Özelliklerde?

Üretim Genişleme Planlaması?

Güvenilirlik (*reliability*) dikkate alınarak;

- Ne tip santrallere yatırım yapmalıyız?
(rüzgar, güneş, termal, gaz türbini, nükleer vb.)
 - Nereye inşa etmeliyiz?
(hangi bara, hangi bölge?)
 - Ne zaman inşa etmeliyiz?
 - Kapasite ne olmalı?
-

İletim Hatları Genişleme Planlaması?

Üretim baraları ile yük merkezleri arasındaki optimum nakil hatları üzerinden;

yüklere enerjinin,

- hem normal çalışma koşullarında
- hem beklenmedik durumlarda
- hem minimum maliyetle

güvenilirlik ve güvenlik dikkate alınarak iletilmesinin sağlanmasıdır!

Üretim & İletim Genişleme Planlaması

Üretim ve iletim genişleme planlaması için optimizasyon modeli ve prosesi tümleşik (eş zamanlı) gerçekleştirilir.

Üretim ve iletim genişleme kararları eş zamanlı pareto prensibi ile yapılabilir.

Üretim ve iletim planlamasının ayrı ayrı yapıldığı duruma göre daha optimum sonuçlar aranmaktadır.

Üretim ve İletim Genişleme Planlaması

Genel Formülasyon

min (Yıllıklandırılmış Yatırım Maliyeti) + (Yıllık Üretim Maliyeti)

s. t. {

(Bütçe Limitleri)

(Yük Akışı Denklemleri)

(Yük Akışı Limitleri)

(Üretim Limitleri)

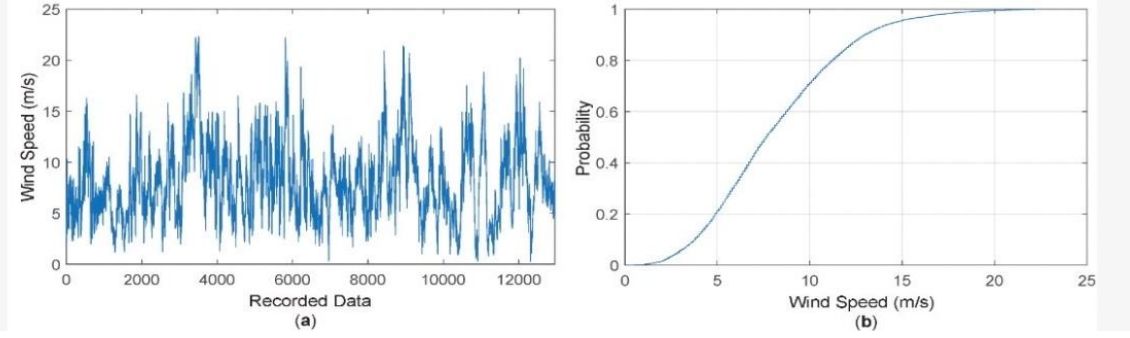
(Emreamade Rüzgar Kapasitesi Limitleri)

(Yük Limitleri)

}

Belirsizlik Modellemesi

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının belirsiz doğası planlamacılara yeni zorluklar yaratmaktadır.
- Sıfır karbon ve düşük emisyon hedeflemesi problemi daha da zorlaştırmaktadır.
- Yeni kaynaklar bulunmalı ve sisteme entegre edilmelidir.



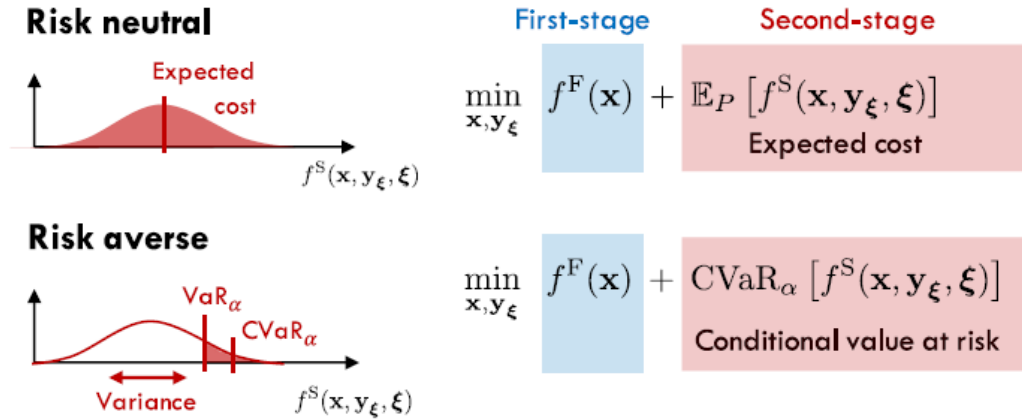
✓ Olasılık teorisi, istatistik, rassal değişkenler ve belirsiz süreçler kullanılmaktadır.

✓ Monte Carlo Simülasyonu, Stokastik Programlama, Robust Optimizasyon, Dağıtık Robust Optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır

✓ Her metodun güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır

Belirsizliğin Modellenmesi– Stokastik Programlama (Ortalama Örnekleme Yaklaşımı)

Two-stage stochastic optimization



$$\min_{\mathbf{x}, \mathbf{y}_\xi} \text{CAPEX}(\mathbf{x}) + \mathbb{E}[\text{OPEX}(\mathbf{x}, \mathbf{y}_\xi, \xi)]$$

s.t.: Investment restrictions (\mathbf{x})

Network flow equations ($\mathbf{x}, \mathbf{y}_\xi, \xi$)

Network capacity limits ($\mathbf{x}, \mathbf{y}_\xi, \xi$)

Generator limits (\mathbf{y}_ξ, ξ)

✓ Belirsiz parametrelerin olasılık dağılım fonksiyonları bulunmaktadır.

✓ Birinci aşama kararlar + ikinci aşama kararların beklenen değeri (birinci aşama kararları verilmiş olarak)

✓ Belirsiz değişken Monte Carlo Örnekleme metoduyla ayrıklaştırılıyor bu sayede belirsizlik ikinci aşamada realize edilmiş oluyor.

✓ Belirsizliğin somutlaştırılması yoluyla problemin çözülmesi mümkün olabilmektedir.

Ortalama Örnekleme Yaklaşımı

(matematiksel formülasyon)

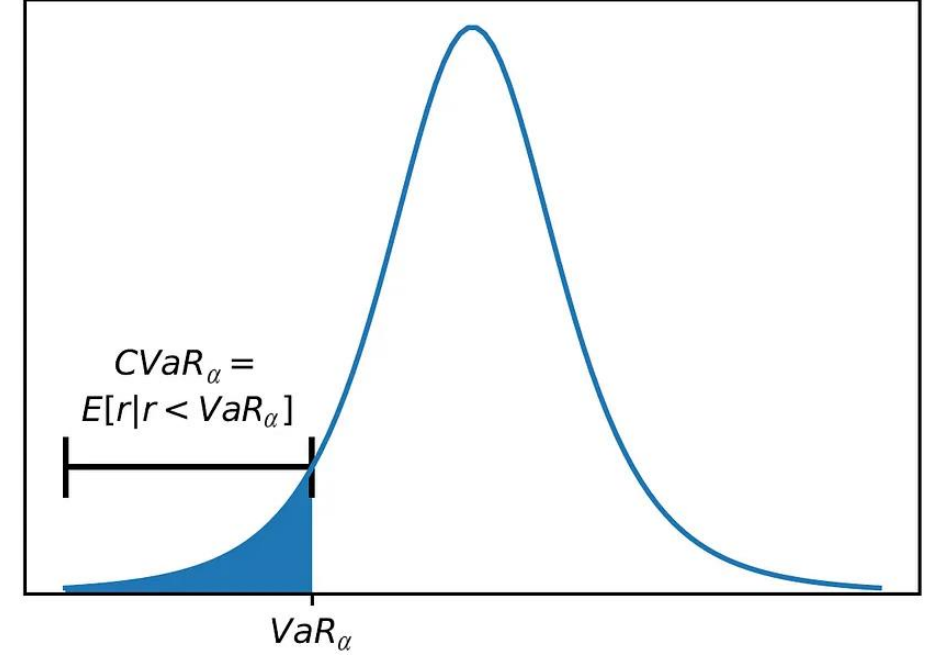
ξ \mathbb{P} olasılığına sahip rassal bir vektör ξ_i ξ vektöründen üretilmiş $\mathbb{P}_N(\xi = \xi_i) = \frac{1}{N}$ için bir örneklem

$$\min_{x \in X} f(x) = \mathbb{E}[F(x, \xi)]$$

$$\min_{x \in X} \hat{f}_N(x) = \mathbb{E}_{P_N}[F(x, \xi)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F(x, \xi_i^m); m = 1, 2, \dots, M$$

Risk Modellenmesi

- ❑ Literatürde risk modellenmesi için farklı metrikler kullanılmaktadır.
- ❑ Var (value at risk) riske bağlı değer metriği lineer olmadığından, lineer programlama ile birlikte kullanılmasında bazı zorluklar bulunmaktadır.
- ❑ CVaR (conditional value at risk) koşullu riske bağlı değer konveks ve lineer programlamayla birlikte kullanılabilir.
- ❑ CVaR gerçekleşmesi düşük olasılıklı senaryoların ağırlıklandırılarak optimizasyona dahil edilmesini sağlar.
- ❑ CVaR olasılık dağılımının kuyruk kısmının ceza olarak optimizasyon sürecine eklenmesiyle en kötü olasılıkların gerçekleşmesi halinde yatırımcının ödemesi gereken miktarı hesaba katmaya yarar.
- ❑ Risk temelli üretim ve iletim genişlemesinde amaç fonksiyonu, ağırlıklandırılmış olarak toplam maliyet ile CVaR teriminin toplamından oluşmaktadır.
- ❑ Bu çalışmada CVaR metriği kullanılmıştır.



α güven aralığı

Stochastic Generation and Transmission Expansion Planning – General Formulation

$$\min(1 - \beta)(\text{Yıllıklandırılmış Yatırım Maliyeti} + \mathbb{E}(\text{Üretim Maliyeti})) + \beta(CVaR)$$

s. t. {

(Yatırım Limitleri)

(Yük Akış Denklemleri)

(Hat Kapasite Limitleri)

(Jeneratör Limitleri)

(Emreamade Rüzgâr Kapasite Limitleri)

(Yük Limitleri)

}

Stokastik Üretim ve İletim Genişleme Planlaması– Ortalama Örnekleme Yaklaşımı (Tekrarlı)

$$m = 1 \dots M$$

N örneklem boyutu

- Maksimum Rüzgar Kapasitesi:
 $P_{w\omega}^{Cmax}(\xi^m)$
- Yük kapasitesi:
 $P_{d\omega}^{Dmax}(\xi^m)$

s. t. {

$$= 1/N (\rho(C_g^E p_{gw}^E + C_c^C p_{cw}^C + C_c^{LS} p_{dw}^{LS}))$$

Yatırım Limitleri(w_1)

Yük Akış Denklemleri (w_1)

Hat Kapasite Limitleri (w_1)

Jeneratör Limitleri (w_1)

Mevcut Rüzgâr Kapasite Limitleri(w_1)

Yük Limitleri (w_1)

.....

Yatırım Limitleri (w_N)

Yük Akış Denklemleri(w_N)

Hat Kapasite Limitleri(w_N)

Jeneratör Limitleri(w_N)

Mevcut Rüzgâr Kapasite Limitleri(w_N)

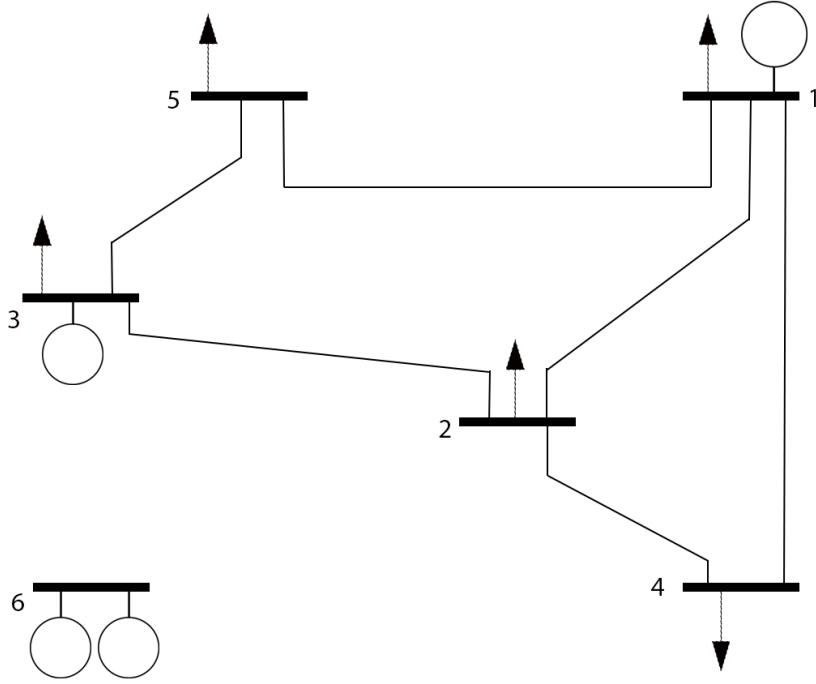
Yük Limitleri(w_N)}

M bağımsız çözüm kümesi

- Hedef değeri^m
- Jeneratör Kapasitesi^m
- İletim hatları^m

Toplam
M çözüm

Test Sistemi



- Normal dağılıma sahip 5 yük
 - Yük 1 ortalama: 0.4922 std: 0.0122
 - Yük 2 ortalama: 1.4765 std: 0.1098
 - Yük 3 ortalama: 0.2461 std: 0.0031
 - Yük 4 ortalama: 0.9843 std: 0.0488
 - Yük 5 Ortalama: 1.4765 std: 0.1098
- Weibull dağılımlı rüzgâr belirsizliği
 - Shape = 2.7, scale = 5.4
- 2 mevcut konvansiyonel jeneratör
- Aday konvansiyonel ve rüzgar santralleri izole altıncı bara
- 11 aday hat

Simülasyon Sonuçları

TABLO II
OPTİMİZASYON SONUÇLARI N=1000
GÜVEN ARALIĞI (α) = 0.95

	β	Temel Yük	1.5x	2x
Toplam maliyet	$\beta = 0$	735212,02	1609143,52	3107623,96
	$\beta = 0.5$	813664,67	1679145,59	3327285,11
	$\beta = 1$	867108,93	1716466,12	3475495,97
İletim Hatları	$\beta = 0$	-	l_4	l_4, l_6, l_{14}
	$\beta = 0.5$	-	l_4, l_6	l_4, l_6, l_{10}
	$\beta = 1$	-	l_4, l_6	l_4, l_6, l_{14}
Üretim Kapasite Yatırımı	$\beta = 0$	-	-	1,0116
	$\beta = 0.5$	-	-	1,3592
	$\beta = 1$	-	-	1,4056

- 1000 örneklem boyutu yeterince büyük kabul edildi.
- Temel yük, %50 genişleme ve %100 genişleme durumları elde edildi ve tabloda özetlendi.
- Yük artışı beklendiği üzere daha fazla maliyet, daha fazla üretim kapasitesi ve daha fazla hat yatırımını gerektirmektedir.
- Örneklem boyutu artırıldıkça sonuç yakınsamaktadır.
- Yüksek örneklem boyutu olasılık dağılım fonksiyonlarının daha iyi bir temsilini sağlar.
- Diğer taraftan örneklem boyutunun artırılması bilgisayar performansını olumsuz etkilemektedir.

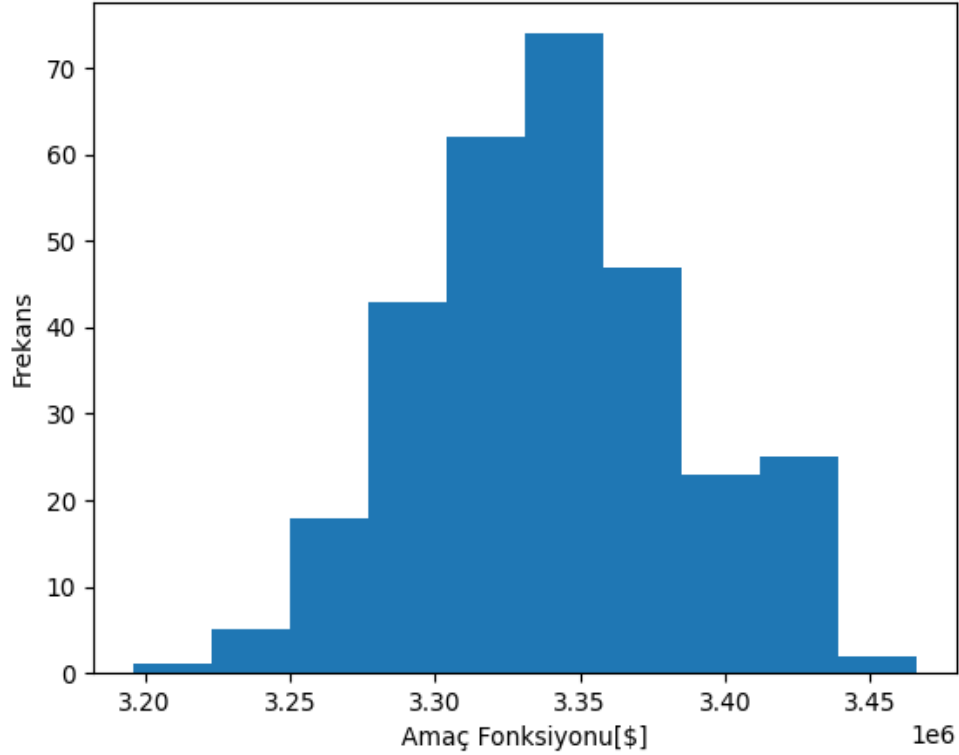
Simülasyon Sonuçları

TABLO III
OPTİMİZASYON SONUÇLARI N=1000

	Güvenilirlik Seviyesi	2xYük
Toplam maliyet	$\alpha = 0,75$	3356795,80
	$\alpha = 0,85$	3410214,46
	$\alpha = 0,95$	3473921,27
İletim Hatları	$\alpha = 0,75$	l_4, l_6, l_{10}
	$\alpha = 0,85$	l_4, l_6, l_{10}
	$\alpha = 0,95$	l_4, l_6, l_{10}, l_{14}
Üretim Kapasite Yatırımı	$\alpha = 0,75$	1.3913
	$\alpha = 0,85$	1.3688
	$\alpha = 0,95$	1.9466

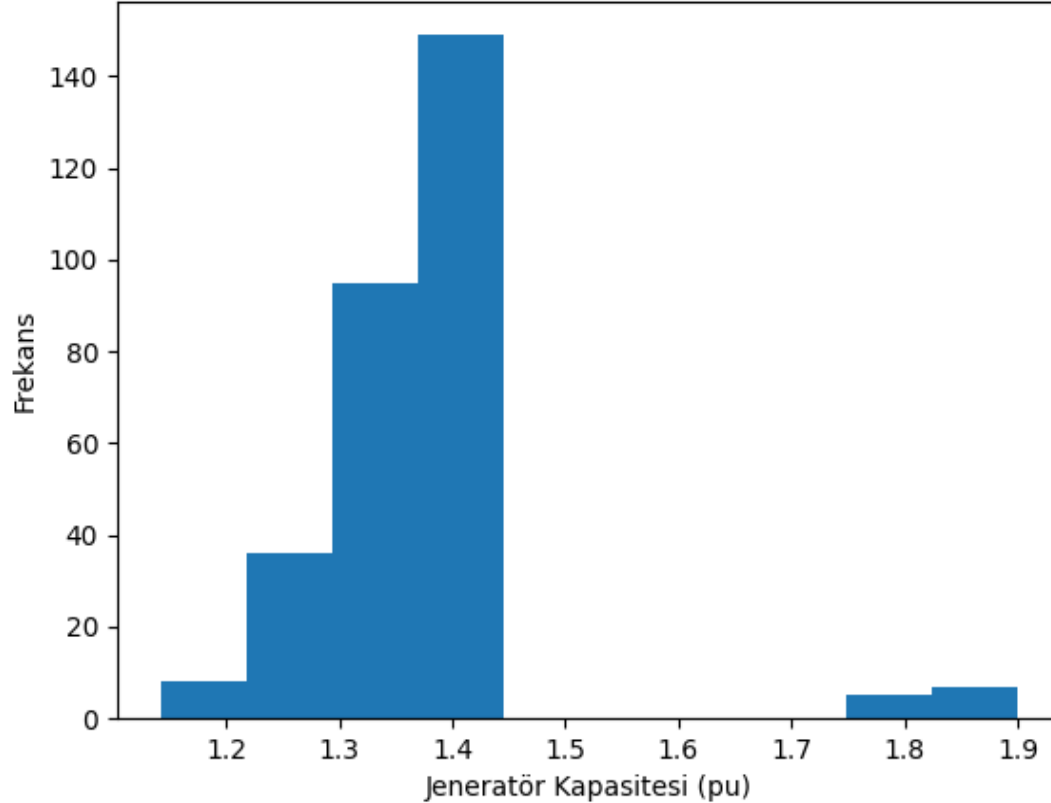
- 1000 örneklem boyutu yeterince büyük kabul edildi.
- %100 genişleme durumunda güven aralığının etkisi gözlemlendi.
- Güvenirlik seviyesinin artırılması daha kötü olasılıklı senaryoların ağırlıklandırılarak hesaba katılması anlamını taşıdığından sonuçlara maliyet artışı olarak yansımaktadır.

Simulasyon Sonuçları (30 örneklem boyutu, 300 örneklem)



- Aynı problem bilgisayarın çözmesi çok daha hızlı olan 30 örneklem boyutuyla çözüldü.
- Beklenen değer 1000 örneklem boyutuyla edilen değere yakınsadığı görülmektedir.
- Örneklem sayısı ve örneklem boyutu artırılarak sonuçların yakınsayacağı beklenebilir.

Simulasyon Sonuçları (30 örneklem boyutu, 300 örneklem)



- Düşük örneklem boyutu ile edilmiş 300 elemanlı çözüm üretim kapasitesi histogramı verilmiştir.
- Büyük sayılar yasası gereği hesaplanan beklenen değer büyük örneklem boyutlu sonuca yakınsamaktadır.

Sonuçlar

- ✓ Stokastik programlama optimizasyon yoluyla karar vermede belirsizliği modellemede kullanılan etkili yöntemlerden birisidir.
- ✓ Ortalama örnekleme yaklaşımı stokastik programlamada kullanılan yöntemlerden birisidir.
- ✓ Bu çalışmada ortalama örnekleme yaklaşımı üretim ve iletim genişlemesi planlamasında büyük örneklem boyutu ve küçük boyutlu çok sayıda örnekleme denenmiştir.

Sonuçlar

✓ Elektrik üretim ve iletim genişleme planlaması öngörmesi güç gelecek dönem koşulları için yüksek maliyetli yatırımlar yapılmasını gerektirmektedir.

✓ Elektrik üretim ve iletim genişleme planlamasında bu sebeple risk yönetimi önem kazanmaktadır.

✓ Tam sayılı doğrusal programlamada CVaR metriği risk temelli planlamada kullanılabilir.

İlginiz için Teşekkürler...