



T.C.

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ELEKTRİK VE BİLGİSAYAR
MÜHENDİSLİĞİ**

**ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GERİLİM
OPTİMİZASYONU**

Seyhan Tural

[Altınbaş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Ceylan

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ELEKTRİK VE BİLGİSAYAR TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI'na

sunulmuştur.

İstanbul, 2017

Bu çalışma tarafımızca incelenmiş olup, kapsam ve kalite açısından Yüksek Lisans / Doktora tezi olmaya yeterli bulunmuştur.

(Ünvan ve İsim)

Eş Danışman

Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Ceylan

(Ünvan ve İsim)

Danışman

İnceleme Komitesi Üyeleri (İlk isim jüri başkanına, ikinci isim tez danışmanına aittir.)

(Ünvan ve İsim)

(Jüri)

Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Ceylan

(Ünvan ve İsim)

(Jüri)

Yrd. Doç. Dr. Kerem Altun

(Ünvan ve İsim)

(Jüri)

Yrd. Doç. Dr. E. Fatih Yetkin

Bu çalışma bir Yüksek Lisans / Doktora tezinin tüm gerekli şartlarını taşımaktadır.

Yrd. Doç. Dr. E. Fatih Yetkin

(Ünvan ve İsim)

Bölüm Başkanı

Doç. Dr. Oğuz Bayat

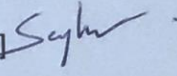
(Ünvan ve İsim)

Enstitü Müdürü

[Üniversite] onayı 15/06/2017

Bu dökümandaki tüm bilgilerin akademik kural ve etiğe bağılı kalınarak yazıldığını ve tez yazım kuralları kapsamında bu çalışmada bulunan ve original olmayan bütün bilgi ve materyallerin referanslandırıldığını temin ederim.

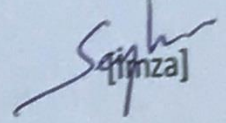
Seyhan TURAL

[imza] 

İTHAF

Bu çalışmada, her konuda destek veren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım değerli Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Ceylan'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım boyunca beni sabırla destekleyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Seyhan TURAL


[imza]

ÖZET

ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GERİLİM OPTİMİZASYONU

Seyhan Tural

Yüksek lisans , Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Bilgisayar Programı, Altınbaş Üniversitesi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Ceylan

2017

Günden güne artan enerji ihtiyacına cevap verebilmek için çeşitli çözüm yöntemleri ve bunların uygulanabilirliğini etkin şekilde destekleyecek, mevcut enerji üretim kaynaklarına, alternatif enerji kaynakları devreye girmiştir. Bunların başında, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar gelmektedir. Rüzgardan enerji elde etmek için Rüzgar Türbini (RT) kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın temelini, Elektrik Dağıtım Sisteminin RT'leri ile etkin bir şekilde çalışmasını oluşturmaktadır. Bilindiği üzere, RT performansı (çıktıları), iklime, mevsimlere, rüzgarın hızına-yönüne vb. gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu sebeple, RT'ye ait gerçek veriler (çıktılar) kullanılacaktır. Benzetimler için kullanılacak sistem 33 baralı dengeli test sistemidir. 33 baralı sisteme ait temel yükler kullanılarak, RT çıktı verileri ölçeklendirilip, test sistemine entegre edilmektedir.

Optimizasyon problemlerinin sayısal veya analitik olarak çözülebileceği bilinmektedir. Sayısal yöntemler, türev tabanlı ve türev tabanlı olmayan yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Türev tabanlı optimizasyon modelleri daha hızlı çözümler sağlar, ancak bazı durumlarda türev bilgisinin bulunmaması nedeniyle çözüm elde etmek kolay değildir ve bazı yakınsama problemlerine neden olabilir. Bu çalışmada, son dönemde geliştirilen popülasyon tabanlı yöntemlerden biri olan Sinüs-Kosinüs Algoritması (SCA) kullanılmaktadır. Genellikle, popülasyona dayalı optimizasyon teknikleri, bir dizi rastgele çözüm ile optimizasyon işlemine başlar. Sonra bunlar modellerin objektif fonksiyonları için değerlendirilir. Bu aday çözümler daha sonra bazı evrimsel teknikler uygulayarak geliştirilir. Bilinen bazı teknikler arasında çaprazlama, mutasyon vb. i dir.

Bu çalışmada, Sinüs Kosinüs Algoritması kullanılarak, RT'lerin çıktılarını dikkate alarak, bir gerilim saptamasını güvenilir aralıkta tutabilmek için optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Anahtarlamalı kapasitörler, regülatörlerin pozisyonları ve RT'lerinin invertörlerinin reaktif güç kaynağı alacak bir modeli seçilmiştir. Bu optimizasyon modeli dengeli 33 baralı sisteme uygulanmıştır. Regülatörlerin, anahtarlamalı kapasitörlerin ve RT'lerin invertörlerinin reaktif güç çıkışlarının pozisyonlarını değiştirerek günlük optimum gerilim profilleri oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: gerilim kontrolü, güç dağıtım sistemleri, optimizasyon, rüzgar enerjisi.

ABSTRACT

Alternative energy sources have been introduced into the existing energy production sources to effectively support various solution methods and their applicability in order to be able to respond to the increasing energy need day by day. There is wind which is one of renewable energy resources at the beginning of the list. It uses Wind Turbine (WT) to generate energy from wind.

The main focus of this study is an efficient operation of the power distribution systems with WTs. It is known that the outputs of WTs depend on many factors such as the climate, season, wind direction etc. A real data-set of WT output will be used for this purpose. The system which will be used for simulations is 33-node balanced test system. Will be used its' base case loads, scale the WT output data, and integrate into the test system.

It is known that optimization problems may be either solved numerically or analytically. Numerical methods may be classified as derivative based ones and non-derivative based ones. Derivative based optimization models provide faster solutions however in some cases, it is not easy to obtain solution due to non-availability of the derivative information, and they may cause some convergence problems. This study aims to use one of the recently developed population based method: Sine-Cosine algorithm (SCA). Generally, population-based optimization techniques start the optimization process with a set of random solutions. Then these are evaluated for the objective functions of the models. These candidate solutions are then improved by applying some evolutionary techniques. Some of well-known techniques are crossover, mutation etc.

In this study is aimed to propose an optimization model is developed to keep voltage deviation in a reliable range using Sine Cosine algorithm, taking outputs of wind turbines into consideration. It is a model that will take switched capacitors, tap positions of regulators and reactive power supply of the inverters of WTs into consideration. It is applied this optimization model to a balanced 33-node system. The daily optimal voltage profiles is created by changing tap positions of the regulators, bank switched capacitors, and reactive power outputs of the inverters of WTs.

Index Term : optimization, power distribution systems, voltage control, wind power.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
SİMGELERLER VE KISALTMALAR.....	xiv
GİRİŞ.....	15
1. LİTERATÜR TARAMASI.....	17
1.1. AKILLI ŞEBEKE.....	17
1.2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	19
1.3. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GERİLİM, KAYIP OPTİMİZASYONU.....	23
1.4. RÜZGAR TÜRBİNİ.....	23
1.4.1. Rüzgar Enerjisi Nedir?.....	23
1.4.2. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi.....	24
2. YÖNTEM.....	27
2.1. OPTİMİZASYON.....	27
2.1.1. Optimizasyon Nedir?.....	27
2.1.2. Optimizasyon Problemi.....	28
2.1.3. Optimizasyon Problemi Nasıl Çözülür?.....	30
3. SİNÜS KOSİNÜS ALGORİTMASI.....	32

3.1. TEST FONKSİYONLARI.....	35
3.1.1. Sphere Test Fonksiyonu.....	35
3.1.2. Rastrigin Test Fonksiyonu.....	36
3.1.3. Ackley Test Fonksiyonu.....	37
3.1.4. Rosenbrock Test Fonksiyonu.....	38
3.1.5. Schwefel Test Fonksiyonu.....	39
3.1.6. SKA ile Elde Edilen Test Fonksiyonların Sonuçları.....	39
4. SİSTEM YÜK AKIŞ ANALİZİ.....	40
4.1. YÜK AKIŞ ANALİZİ.....	40
4.2. İTERASYON (YİNELEME) TEKNİĞİ.....	41
4.3. LİNEER ŞEBEKE.....	41
4.4. LİNEER OLMAYAN ŞEBEKE.....	42
4.5. GENEL BESLEYİCİ.....	43
4.6. PER UNIT SİSTEM.....	45
5. SKA İLE SİSTEMİN GERİLİM OPTİMİZASYONUNUN ELDE EDİLMESİ.....	47
6. TEST SİSTEMİ VE SONUÇLARI.....	47
6.1. RÜZGAR TÜRBİNİ ENTEGRASYONU OLMAYAN SİSTEM.....	53
6.1.1. Kapasitörlü Sistem (Durum 1).....	53
6.1.2. Kapasitörlü, Regülatörlü Sistem (Durum 2).....	57
6.1.3. Sonuçların İstatiksel Analizi.....	61

6.2. RÜZGAR TÜRBİNİ ENTEGRELİ SİSTEM.....	62
6.2.1. Kapasitörlü Sistem (Durum 1).....	65
6.2.2. Kapasitörlü, Regülatörlü Sistem (Durum 2).....	69
6.2.3. Kapasitörlü, Regülatörlü, İnvvertörlü Sistem (Durum 3).....	73
6.2.4. Sonuçların İstatiksel Analizi.....	78
7. SONUÇ.....	80
KAYNAKÇA.....	81

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Test Fonksiyonları Ortalama (Ort) ve Standart (Std) Sapma Değerleri.....	39
Tablo 2: Her bir baranın saat bazındaki aktif güç (kW) değerleri.....	48
Tablo 3: Her bir baranın saat bazındaki reaktif güç (kVar) değerleri.....	50
Tablo 4: İstatiksel Analiz.....	61
Tablo 5: Her bir rüzgar türbinin saat başı ürettiği güç (kW).....	63
Tablo 6: İstatiksel Analiz.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Akıllı Şebeke.....	18
Şekil 2: Heron'un ilk rüzgarla çalışan su aleti (su pompası).....	25
Şekil 3: Sinüs Kosinüs Algoritması Akış Şeması.....	34
Şekil 4: 2 Boyutlu Sphere Fonksiyonu.....	35
Şekil 5: 2 Boyutlu Rastrigin Fonksiyonu.....	36
Şekil 6: 2 Boyutlu Ackley Fonksiyonu.....	37
Şekil 7: 2 Boyutlu Rosenbrock Fonksiyonu.....	38
Şekil 8: 2 Boyutlu Schewefel Fonksiyonu.....	39
Şekil 9: Doğrusal Ladder Şebeke.....	42
Şekil 10: Doğrusal Olmayan Ladder Şebeke.....	43
Şekil 11: Tipik Dağıtım Besleyici.....	43
Şekil 12: IEEE 33 Baralı Radyal Dağıtım Ağı.....	48
Şekil 13: Aktif Güç Değerleri Grafiği.....	50
Şekil 14: Reaktif Güç Değerleri Grafiği.....	52
Şekil 15: Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği.....	54
Şekil 16. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	54
Şekil 17: Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği.....	55
Şekil 18. Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	55

Şekil 19: Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği.....	56
Şekil 20. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	56
Şekil 21: Gün içindeki Kapasitör Durumları.....	57
Şekil 22: Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği.....	58
Şekil 23. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	58
Şekil 24: Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği.....	59
Şekil 25. Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	59
Şekil 26: Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği.....	60
Şekil 27. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	60
Şekil 28: Gün içindeki Kapasitör Durumları.....	61
Şekil 29:Gün içindeki Tap Durumları.....	61
Şekil 30. Durum 1 ve 2 için Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	62
Şekil 31: Rüzgar Türbin Entegreli 33 Baralı Sistem	63
Şekil 32: Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği.....	66
Şekil 33. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	66
Şekil 34: Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği.....	67
Şekil 35. Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	67
Şekil 36: Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği.....	68
Şekil 37. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	68

Şekil 38: Gün içindeki Kapasitör Durumları.....	69
Şekil 39: Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği.....	70
Şekil 40: Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	70
Şekil 41: Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği.....	71
Şekil 42: Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	71
Şekil 43: Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği.....	72
Şekil 44: Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	72
Şekil 45: Gün içindeki Kapasitör Durumları.....	73
Şekil 46: Gün içindeki Tap Durumları.....	73
Şekil 47: Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği.....	74
Şekil 48: Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	75
Şekil 49: Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği.....	75
Şekil 50: Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	76
Şekil 51: Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği.....	76
Şekil 52: Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	77
Şekil 53: Gün içindeki Kapasitör Durumları.....	77
Şekil 54: Gün içindeki Tap Durumları.....	78
Şekil 55: Durum 1, 2 ve 3 için Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	Fonksiyon Değişkeni
β	Fonksiyon Değişkeni
θ	Fonksiyon Değişkeni
γ	Fonksiyon Değişkeni
ρ	α, β, γ değişkenlerine bağlı objektif fonksiyon
q	α, β, γ değişkenlerine bağlı kısıtlayıcı fonksiyon
r	α, β, γ değişkenlerine bağlı kısıtlayıcı fonksiyon
t	iterasyon sayısı
X	Fonksiyon Değişkeni
P	Aktif güç
T	Toplam iterasyon sayısı
N	Değişken sayısı
V_i	i. Gerilim değeri
V_{it}	Zamana bağlı i. gerilim değeri
S_{RT}	Rüzgar türbini görünür gücü
$P_{RT \text{ ÇIKTI}}$	Rüzgar türbini aktif gücü
Q	Reaktif güç
Q_{RT}	Rüzgar türbini reaktif gücü

Kisaltmalar

RT : Rüzgar Türbini

SKA : Sinüs Kosinüs Algoritması

AC : Alternative current

Kap : Kapasitör

Tap : Regülatör Pozisyonu

GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ve sanayileşmeye bağlı olarak enerjiye olan gereksinim de hızla artmaktadır. Buna paralel olarak, tüketilmekte olan geleneksel enerji kaynakları rezervleri de azalmaktadır.

Kullanışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde incelenmektedir.

Yenilenemez enerji kaynakları, kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen enerji kaynakları olup fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ise; oldukça uzun sayılabilecek bir gelecekte tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir [1].

Enerjinin herhangi bir değişim ya da dönüşüme uğramamış şekline birincil (primer) enerji denilmektedir. Birincil enerji kaynakları; petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, güneş ve rüzgardır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji de ikincil (sekonder) enerji şeklinde tanımlanmaktadır. Elektrik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petrokok, hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) bu tip enerji kaynaklarındandır [1].

Dünyada kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. 2011 yılı verilerine göre dünyada birincil enerji kullanım miktarı 122274.6 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir [2]. Birincil enerji kullanımında en büyük paya sahip olan kaynaklar sırasıyla; petrol (%33.1), kömür (%30.3) ve doğal gaz (%23.7) dir [3].

En önemli yenilenemez enerji kaynakları; petrol, kömür, doğalgaz ve nükleer olup bu kaynaklar dünya enerji üretiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

2011 yılı dünya petrol rezervi 225.4 milyar ton, doğal gaz rezervi 208.4 trilyon m³, kömür rezervi ise 860.94 milyar ton olarak tespit edilmiştir. Petrol, doğal gaz ve kömürün kullanılabilme süreleri sırasıyla; 54 yıl, 64 yıl ve 112 yıl olarak öngörülmektedir [3].

Bir başka açıdan, tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olan, enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan fosil yakıtlar bugün çevre kirliliğinin önemli nedenlerinden biridir. Endüstriyel faaliyetler sonucunda her yıl atmosfere yaklaşık 20 milyar ton karbondioksit, 100 milyon ton kükürt bileşikler, 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler salınmaktadır. Karbondioksit emisyonları ve bunun sonucunda meydana gelen küresel ısınmanın artışı ve sera etkisini azaltmak için yenilenebilir enerji yolları geliştirmenin önemi artmıştır [4]. Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekliliği nedeni ile sürdürülebilir olmasının yanında dünyanın her ülkesinde bulunabilmesi ile de büyük önem taşımaktadır. Ayrıca çevresel etkileri, yenilenemeyen enerji kaynaklarına oranla çok azdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut teknik ve ekonomik sorunların çözülmesi halinde 21. yüzyılda en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir [5].

Sürdürülebilir enerji gelişiminin bir sonucu olarak, rüzgar enerjisi üretimi, fotovoltaik enerji üretimi, hidroelektrik enerji üretimi gibi yenilenebilir enerji kaynakları dünyada dikkat çekmektedir [6]. Bu durum, son on yıldır hükümetlerin ilgisini çekerek dünyanın enerji geleceği için büyük bir umut ve fırsat olmuştur [7].

Günümüzde rüzgar enerjisi üretimi yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak, oldukça popüler durumdadır. Rüzgar enerjisi kullanımı konusunda başarılı ülkelerin arasında ABD, Kanada, Fransa, Hindistan, Danimarka, Almanya, Türkiye, Avustralya, Çin, Japonya ve Güney Kore bulunmakta olup, bu ülkeler enerji santralı üretimini artırmaya yardımcı olan rüzgar enerjisi politikalarına sahiptir [8]. 1999-2020 yılları arasında rüzgar enerjisi kapasitesinin 13.6'dan 283 GW'a yükseldiği gösterilmiştir [9]. Başka bir örnek olarak, toplam elektrik enerjisinin % 30'undan fazlasını rüzgar enerjisi ile elde eden ve 2050 yılında % 100'lük bir hedefi olan Danimarka verilebilir [9].

Buna bağlı olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtım sistemlerine entegrasyonu, mevcut sistemi daha karmaşık hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekelerine

etkili bir şekilde bağlantıları ve işletimleri için yeni yöntemler gerekir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin güç çıktılarının sabit olmaması ve dalgalı yapısından dolayı, üretilen güç gün boyunca değişebilir. Bu, dağıtım sistemlerinde gerilim dalgalanması sorunlarına neden olur ve düzeltici önlemler zamanında alınmazsa, ciddi sorunlar ortaya çıkabilir. Yenilenebilir enerjinin, dağıtım sistemlerine geniş çaplı nüfuz etmesiyle, geleneksel "kur ve unut" felsefesi değişmektedir. Geleneksel olarak dağıtım sistemleri, dağıtım trafo merkezleri ile son tüketici arasında bir bağlantı noktası olarak düşünülebilir. Tarihsel olarak bu sistem, hizmet verilen bölgedeki müşterilere güvenli ve güvenilir elektrik enerjisi transferini temin eder. Günümüzde ise, bunun yerine "tesis et ve yönet" politikası ile sistemin sürekli izlenmesi gerekiyor. Bunun sonucunda akıllı şebekeler devreye girmektedir [10].

1. LİTERATÜR TARAMASI

1.1. AKILLI ŞEBEKE

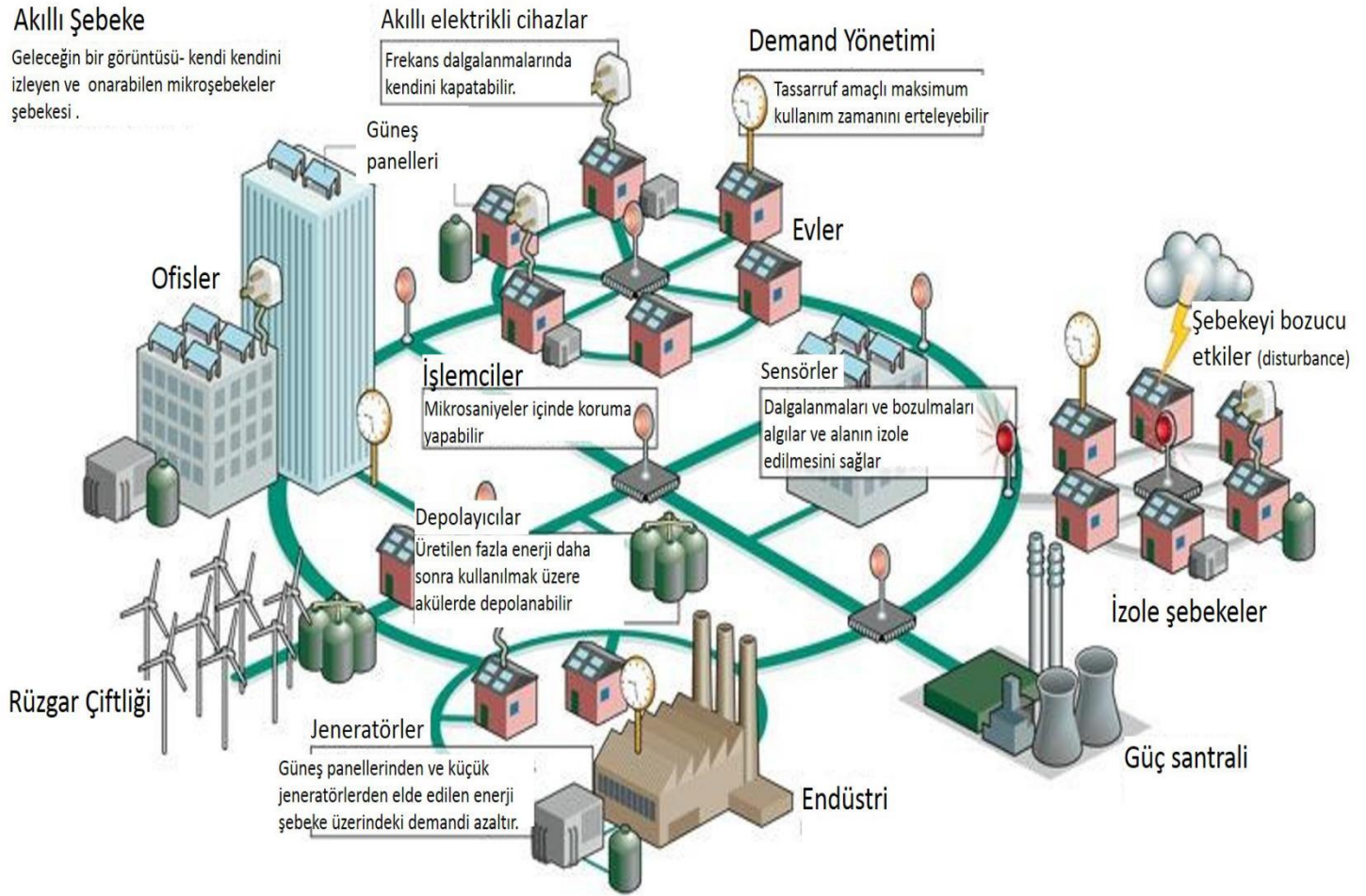
Akıllı şebeke üretici ve tüketici arasındaki iletişimin en kolay ve hızlı bir şekilde sağlanması amacıyla elektrik şebekelerinin izlenmesi ve kontrol edilmesidir. Verimli, güvenilir ve birbiriyle eşgüdümlü olarak çalışan, her biri otomasyona tabi bir çok iletim ve dağıtım sistemlerinden oluşan bir güç sistemidir. Başka bir deyişle, Akıllı şebeke; tedarikçi ve tüketici arasında karşılıklı elektronik iletişimin sağlanması amacıyla akıllı sayaç ve izleme sistemlerinin elektrik şebekelerine eklenerek elektrik şebekelerinin izlenmesi, güncellenmesi ve sürekli güvenilir, kaliteli olarak dağıtım yapılırken kullanıcı güvenliğinin sağlanması gereken bir yaklaşımdır [10].

Tesla'nın buluşuyla (AC sistem ağı) hemen hemen aynı şekilde çalışan 20.yy'den kalma şebekelere 21.yy'nin bilgisayar ve ağ teknolojisi entegre edilerek elde edilen şebeke sistemine "Akıllı Şebeke" (Smart Grid) denilmektedir. Akıllı şebekeler 2000'lerin başında ortaya konan yeni ve popüler bir kavram olmakla birlikte araştırma ve geliştirme alanında önemli bir potansiyele

sahiptir. Akıllı şebeke, temel olarak operasyon, bilgi ve haberleşme sistemlerinin entegrasyonu ile şekillenmiş elektrik dağıtım şebekesidir. Akıllı şebekeler, enerjinin üretiminden, tüketimine kadar her aşamada gerçek zamanlı iki yönlü bilgi transferi sağlayarak, sürdürülebilir, güvenli ve enerji verimliliği yüksek bir enerji ağı sunmaktadır [11].

Akıllı Şebeke

Geleceğin bir görüntüsü- kendi kendini izleyen ve onarabilen mikroşebekeler şebekesi .



Şekil 1. Akıllı Şebeke [12]

1.2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş, su ve rüzgârın tükenmeyen enerji kaynaklarından yararlanılarak üretilen, diğer enerji kaynaklarının üretilmesi için kullanılan enerji, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Günümüzde gelişen bu teknoloji ile beraber ham petrol ve organik gaz fiyatlarındaki artışlar dünya üzerindeki olumsuz tesirleri, bir gün yeraltı enerji kaynaklarının bitecek olması, yenilenebilir doğal enerji kaynaklarına olan önemi artırmaktadır. Bugün gelişmiş olan veya yeni gelişen ülkeler kendi imkanları ile bünyelerinde bulunan, değişik enerji kaynaklarını kullanmak için çaba sarf etmektedirler. Bu Yeni Enerji Kaynakları nelerdir: Güneş, Rüzgar, Hidroelektrik, Jeotermal, Hidrojen, Biyo Kütle Yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Güneş Enerjisi: Güneş çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreci ile açığa çıkan enerjinin bir kısmı dünyaya gelir. Dünyaya ulaşan ışınlar, güneş kolektörleri yardımıyla toplanarak ısı ve elektriğe dönüşür. Isıtma, soğutma ve elektrik üretiminde kontrollü olarak kullanılır. Kullanılan alanlar: Günümüzde güneş enerjisi kullanılarak çalışan araçlar yavaş yavaş yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca güneş enerjisi ile çalışan sokak aydınlatma lambaları, jeneratörler, saatler, hesap makinesi vs. Elektronik cihazlar. Ev ve apartmanların çatılarında sıkça gördüğümüz kolektörler ile su ısıtılarak, evin sıcak su ihtiyacı ya da ısıtma tesisatına verilerek ısınma ihtiyacının kullanılır.

Avantajları: Çevreye hiçbir bir zarar vermemesi, devamlı ve yenilenebilir olması yönünden güneş enerjisi günümüz için çok cazip durumdadır.

Dezavantajları: Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmenin ekonomik olmayışı, kış aylarında kullanışlı olmayışı, elde edilmiş enerji depolamada güçlük çıkması, güneş enerjisi panelleri için geniş alana ihtiyaç duyulması, güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaşması için engel teşkil eder.

Rüzgar Enerjisi: Güneş enerjisi kara ve denizleri aynı oran ile ısıtmaz. Bu durumda yeryüzünde basınç rüzgarı oluşmasına sebep olur. Rüzgarların çok fazla olduğu yerlere kurulan rüzgar tribünleri ise rüzgar kinetik enerjisi önce mekanik, daha sonra elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgârdan elde edilen enerji, rüzgarın hız ve esme süresine bağlı olarak değişir.

Kullanım Alanları: Elektrik üretimi, su depolama, taşımacılık, soğutma, iletişim amacı ile kullanılır.

Avantajları: Temiz ve tükenmez bir enerji deposudur. Bölgesel olduğundan dünya piyasasında büyük bir oranda bağımsızdır.

Dezavantajları: Gürültü, görüntü kirliliği yapması, yatırım maliyetinin yüksek olması, kuşların ölümüne sebep olması ve iletişimde kullanılan cihazların dalgalarını bozması dezavantajlarıdır.

Hidroelektrik Enerji: Hidroelektrik enerji santralleri kurularak suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye ve elde edilen bu enerjinin elektriğe dönüştürülmesi sonucu kullanılan bir enerjidir.

Kullanılan alanlar: Enerji üretiminde, balıkçılığı geliştirme, ulaşım, su taşkınlarını önleme ve sulama amaçlı olarak kullanılır.

Avantajları: Kirlilik olmaz, doğal bir kaynak ve dışa bağımsızdır.

Dezavantajları: Yapımının uzun sürmesi, maliyet yüksekliği ve yağışlara bağlı olması.

Jeotermal Enerji: Kelime olarak yer ısısı anlamına gelir. Yağmur ve kar suları yer kabuğu çatlağından magma tabakasına iner. Magma tabakasında ısınan sular sıcak su kaynağı ve buhar olarak yüzeye çıkar. Yeryüzüne çıkan su, buhar, tribünler ile farklı enerji türlerine dönüşür.

Kullanım alanı: Yeryüzüne çıkarılan bu sıcak su ve buhar enerjisi, kurulan elektrik santraliyle elektrik enerjisine dönüşür. Merkezi ısıtma ve soğutma sistemleri ile fizik tedavi merkezlerinde yenilenebilir enerji kaynakları olarak kullanılır.

Avantajları: Çevre dostudur. Oldukça ekonomik, yangın ve zehirlenme riski olmadığından güvenlidir. Çok faydalı, ısınma için ideal ve kullanıma hazır bir enerjidir.

Dezavantajları: Yüzeye çıkan yerlerde zararlı gaz salar, tesisatı çabuk çürütür, kireç ve paslanmaya neden olur.

Hidrojen Enerjisi: Günümüzde kullanılan teknoloji ile kullanımı çok yaygın değildir. Ancak hızla gelişen teknoloji ile beraber temiz bir enerji kaynağıdır. Tüm dünyanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır.

Kullanılan alanlar: Elektrik, ısı ve yakıt pili üretimi

Avantajları: Dünyanın asıl enerji kaynağıdır, zararlı gaz çıkışı yaparak çevreyi kirlilemez. Malum enerji kaynakları içinde en yüksek verimi sağlayan yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Dezavantajı: Bileşik halde bulunur. Su şeklinde, içinde hidrojen bulunan maddeden ayrı bir enerji kaynağı ile elde edilmesi gerekiyor. Bu da çok büyük yatırımlara ihtiyaç duyulmasına, maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

Biyo-Kütle Enerjisi: Yenilenebilir enerji kaynakları Biyo kütle enerjisi, organik olan maddelerden, enerji kaynağı olarak yararlanmadır. Bu enerji kaynağı türü, geri kalmış toplumlarda en çok yararlanılan enerji türüdür. Öte yandan, çağdaş yöntemlerde bitkilerden biyo dizel, biyo etanol elde etme gibi yeni uygulamalar vardır. Bu ise, çağdaş biyo kütle olarak adlandırılmakta ve yenilenebilir enerji kaynağı türleri içinde yer almaktadır.

Okyanus Enerjisi: Okyanuslarda oluşan dalga enerjisi ve gel, git ile iki şekilde enerji üretilir.

Dalga Enerjisi: Büyük su kütlelerinin meydana getirdiği dalgaların enerjisinden yararlanılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.

Gelgit Enerjisi: Gelgit veya okyanus akıntısı sebebiyle yerini değiştiren su kütlelerinin taşıdığı kinetik, potansiyel enerjinin, elektrik enerjisine dönüştürülmesidir.

Asla bir yüzey kirliliği olmaz. Tükenmeyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır, ama üretim masrafı yüksektir. Kıyıları tahrip edip, burada bulunan tesis, turizm, balıkçılık ve deniz taşımacılığını olumsuz etkilemektedir [13].

1.3. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GERİLİM, KAYIP OPTİMİZASYONU

Dünya genelinde yapılan araştırmalara göre dağıtım seviyesindeki teknik kayıplar, üretilen enerjinin yaklaşık %13'ü kadardır [14]. Bu değer, dağıtım seviyesinde azımsanamayacak boyutlarda kayıpların meydana geldiğini göstermektedir. Gerilim ve reaktif güç kontrolü, kayıpların azaltılması açısından büyük önem arz etmektedir. Optimize edilmiş bir Volt/Var kontrolü ile önemli miktarda kayıpların azalması sağlanabilir ve gerilim profili iyileştirilebilir.

Optimal güç akışı, güç sistemlerinin doğrusal olmayan kısıtlı ve bazen birleşik optimizasyon sorunlarından biridir. Bu tür sorunların çözümü için çeşitli algoritmalar literatürde yer almaktadır. Optimal güç akışı problemi Carpentier'den bu yana sürekli geliştirilmiştir [15]. Bu çok boyutlu, doğrusal olmayan matematiksel programlama problemini çözmek için verimli algoritmalar geliştirmek yıllar almıştır. Birçok farklı matematiksel yaklaşım literatürde denenmiş ve sunulmuştur [16]. Çeşitli matematiksel yöntemler ve doğa temelli sezgisel algoritmalar güç akışı problemleri toplam üretim maliyetini azaltmak için kullanılır, dolayısıyla bu yöntemler gerilim optimizasyonunu sağlamak için de güç akış problemlerine uygulanabilirler. Diferansiyel Gelişim [17], Yapay Arı Kolonisi [18], Parçacık Sürü Optimizasyonu [19], Genetik Algoritma [20], Sinüs Kosinüs Algoritma [21] vb. optimal güç akışı çözümü ve gerilimi optimize etmek amacıyla literatürde kullanılmaktadır.

1.4. RÜZGAR TÜRBİNİ

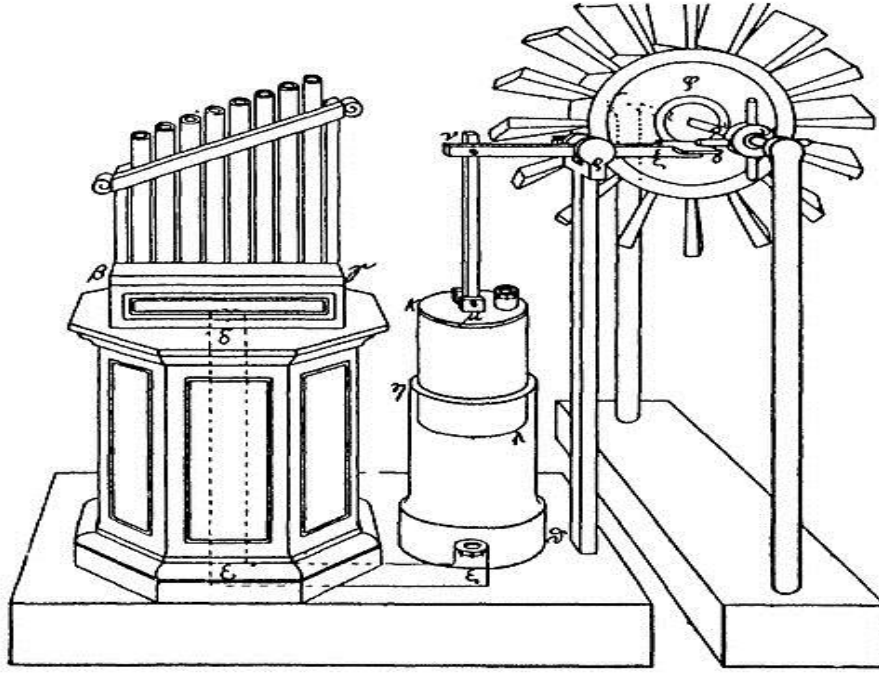
1.4.1. Rüzgar Enerjisi Nedir?

Rüzgar enerjisi, rüzgar oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Bu enerjinin bir bölümü yararlı olan mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir [22].

Rüzgâr enerjisinden yararlanmak için çeşitli dönüştürme yöntemleri kullanılmıştır. Bunlardan ilk akla geleni rüzgâr enerjisini doğrudan mekanik enerjiye dönüştüren makinalardır. Bunlara ait en yaygın örnek ise yel değirmenleridir.

1.4.2. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgar enerjisinden yararlanma tarihi çok eski dönemlere kadar dayanmaktadır. Rüzgar enerjisinden en eski yararlanma türleri yel değirmenleri ve yelkenli gemilerdir. Yelkenli gemilerde rüzgarın kinetik enerjisi gemileri hareket ettirmek için kullanılmış, yel değirmenlerinde ise buğday gibi tahılların öğütülmesinde kullanılmıştır. İnsanlar yelkenli gemileri hareket ettirmek ve gemileri yürütmek için 5500 yıldan beri rüzgârın gücünden faydalandığı bilinmektedir. Yel değirmeninin ortaya çıkması ise çok daha sonra olmuştur [23]. İlk kez Yunan mühendis Heron'un milattan sonra 1. yy başlarında rüzgar enerjisinin kullanımını tanımlamış ve tarif etmiştir, daha sonra bu sistem İran'da geliştirilerek yel değirmenleri ortaya çıkmıştır [24].



Şekil 2. Heron'un ilk rüzgarla çalışan aleti (su pompası) [24]

Günümüzde ise rüzgar, sulama ve tahıl öğütme işleri için değil, daha çok elektrik üretimi ve yelkenli gemilerde kullanılmaktadır. Genel olarak, rüzgardan elektrik üretiminin kilometre taşlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

►1887 Haziran ayında İskoç akademisyen Profesör James Blyth rüzgar gücü deneylerine başlamış ve rüzgar gücü ile çalışan bir pil şarj cihazı yaparak, 1891'de İngiltere'de patentini almıştır.

►1887-88'de Amerika Birleşik Devletleri'nde, Charles Francis Brush rüzgâr güç makinesi kullanarak elektrik üretimini gerçekleştirmiştir.

►1900 yılına kadar evinin ve laboratuvarının elektriğini bu yapmış olduğu rüzgar güç makinesi ile sağlamıştır.

►1890'larda Danimarkalı bilim adamı ve mucit Poul la Cour elektrik üretmek için rüzgâr türbinlerini inşa etti. Bu, daha sonra hidrojen üretmek için kullanıldı.

Bunlar bugüne gelinceye kadar rüzgârdan nasıl faydalandığını gösteriyor.

Modern rüzgâr güç endüstrisi 1979'da, Danimarkalı Kuriant, Vestas, Nordtank ve Bonus şirketlerinin rüzgâr türbinlerini seri üretmesiyle başladı. Bunlar bugünkü standartlardan küçüktü ve her biri 20-30 kW'lıktı. Ondan sonra kapasitelerini 7 MW'a çıkarttılar ve birçok ülkeye yayıldılar.

Dünyadaki rüzgar türbinlerinin dönüm noktalarını ise basitçe sıralayacak olursak;

1939 yılında ABD, Vermont, Granpa's Knob'da 53 m. çapında 1,25 MW'lık Smith Putnam rüzgâr türbini kuruldu.

Rüzgâr türbini geliştirilmesinde bir sonraki dönüm noktası Gedser rüzgâr türbinidir. Marshall planı savaş sonrası finansman yardımı ile 1956 – 57'de Danimarka'nın güney doğusunda Gedser adasında 200 kW'lık 24 m. çapında bir rüzgâr türbini kuruldu. Bu makine 1958 – 1967 arasında %20 kapasite ile çalışmıştır.

1960'lı yılların başında Prof. Ulrich Hütter 100 kW'lık 34 m.'lik bir 2 kanatlı, yüksek rüzgâr hızlı kararsız pervanesi olan Hütter Allgaier rüzgâr türbinini geliştirdi.

1980 yılında merkezi devlet ve federal devlet enerji ve yatırım vergi kredileri toplam %50'ye yakın vergi kredisi sağlıyordu ve bu California rüzgâr enerjisi patlamasını başlattı. 1980 – 1995 arasında, çoğu vergi kredilerinin %15 civarına indirildiği 1985'ten sonra olmak üzere 1700 MW rüzgâr kapasitesi kuruldu.

1990'lı yılların başında Almanya'da yılda 200 MW civarında kapasite artışı ile kuzey Avrupa piyasalarında çarpıcı gelişme kaydedilmiştir.

Günümüzde ise tek bir rüzgar türbininin gücü megawattlarla ifade edilecek kadar artmış ve artmaya devam etmektedir. Şuan kullanılan 7-10 MW güçlü rüzgar türbinleri vardır. Rüzgar türbinlerinin yapısında ve mekanik kısmında yapılan çalışmalar sayesinde yakın zamanda bu değerlerin daha da artması kaçınılmazdır [25].

2. YÖNTEM

Bu çalışmanın temelini, Elektrik Dağıtım Sisteminin RT'lerle etkin bir şekilde çalışması ile gerilim kontrolü ve buna bağlı olarak enerji kayıplarını azaltmaya yönelik katkı sağlamasını oluşturmaktadır. Modern optimizasyon tekniklerinden (meta-heuristik) yararlanılmıştır. Gerekli yazılım işlemi bilgisayar ortamında MATLAB programı kullanılarak, Sinüs Kosinüs Algoritma (SKA) yöntemi ile sistem optimizasyonu yapılmıştır. Çalışma sonucu, elde edilmiş olan sonuçların güvenilirliği ve sağlaması için literatürde yer alan ve doğruluğu kanıtlanmış olan test fonksiyonları Sphere, Rastrigin, Ackley, Rosenbrock, Schwefel sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tek fazlı dengeli 33 baralı test sistemine 32 adet rüzgar türbini bağlanmıştır. Bu şekilde, gerilim kontrolü yapılarak, kayıpların azaltılabileceği gösterilmiştir. Test sistemleri modellenerek sisteme bağlanmış olan bank kapasitörleri, regülatörleri, invertör reaktif güç değerleri SKA tarafından belirlenmiştir. Test sistemlerinde reaktif güç değerlerinin sınır değerler arasında kalması, SKA yönteminde, kullanılan kısıt fonksiyonları tarafından sağlanmıştır. Çalışmada kabul görmüş test fonksiyonları ile işlem yapılarak elde edilen sonuçlar SKA ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2.1. OPTİMİZASYON

2.1.1. Optimizasyon Nedir?

Optimizasyon, bir sistemde varolan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet enazaltılması, kâr ençoklanması, kapasite kullanımının enyükseltilmesi ve verimliliğin ençoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyonda modelleme ve çözümleme iki önemli bileşen olarak nitelendirilmektedir.

Modelleme gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi; çözümlleme ise bu modeli sağlayan en iyi zmn elde edilmesini kapsamaktadır. Optimizasyon modellerinin özellikle ekonomik sistemlerde kullanılması ve üretim/dağıtım sistemlerinde karşılaşılan problemlerin bir çoğunun optimizasyon problemi olarak modellenmesine rağmen optimizasyon modellerinin teorik özelliklerinin araştırılması ve genel çözüm algoritmalarının geliştirilmesi halen devam etmektedir. Optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik olarak ilk önemli alışma Dantzig tarafından yapılmış ve simpleks algoritması geliştirilmiştir [26].

Bu çok boyutlu, doğrusal olmayan matematiksel programlama problemini çözmek için verimli algoritmalar geliştirmek yıllar almıştır. Birçok farklı matematiksel yaklaşım literatürde denenmiş ve sunulmuştur [27]. Çeşitli matematiksel yöntemler ve doğa temelli sezgisel algoritmalar güç akışı problemleri toplam üretim maliyetini azaltmak için kullanılır, dolayısıyla bu yöntemler güç kaybını en aza indirmek için de g akış problemlerine uygulanabilirler. Diferansiyel Gelişim [28], Yapay Arı Kolonisi [29], Paracak Sürü Optimizasyonu [30], Genetik Algoritma [31] optimal güç akışı zm ve toplam güç kaybını optimize etmek amacıyla literatürde kullanılmaktadır.

2.1.2. Optimizasyon Problemi

Optimal güç akışı, güç sistemlerinin doğrusal olmayan kısıtlı ve bazen birleşik optimizasyon sorunlarından biridir. Bu tür sorunların çözümü için çeşitli algoritmalar literatürde yer almaktadır.

Optimal güç akışı doğrusal olmayan bir kısıtlıdır ve güç sistemlerinin optimizasyon problemlerinde kullanılır [32].

Optimal güç akışı problemi, doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. Doğrusal olmayan kısıtlamalarla tanımlanan doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonundan oluşur. En iyi güç akışı problemi çözümü gerektirir. Doğrusal olmayan denklemlerin hesaplanması, güç sistemlerinin optimal ve / veya güvenli çalışmasını açıklar. Genel optimal güç akışı sorunu engellenmiş olarak ifade edilebilir [33].

Genel olarak, optimizasyon problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \min f(x) \\ g(x) = 0, \text{ (eşitlik kısıtlamaları)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$h(x) \leq 0, \text{ (eşitsizlik kısıtlamaları)} \quad (2)$$

Eşitliğin ve eşitsizliğin ikisini de dönüştürerek, penaltı terimlerine yerleştirerek (3) ve (4) 'de açıklandığı gibi penaltı fonksiyonunu oluşturulmuştur.

$$P(x) = f(x) + \Omega(x) \quad (3)$$

$$\Omega(x) = \rho \left\{ g^2(x) + \left[\max(0, h(x)) \right]^2 \right\} \quad (4)$$

Burada $P(x)$ penaltı fonksiyonudur.

$\Omega(x)$ penaltı terimidir.

ρ penaltı faktörüdür.

Penaltı yöntemi, (5) numaralı denklemi kullanarak, kısıtlı optimizasyon problemini, kısıtsız optimizasyon problemine dönüştürerek, Penaltı fonksiyonunu (3) ve (4) numaralı denklemlerdeki gibi sadeleştirir [34].

$$\Omega_Q = \rho \sum_{i=1}^{N_B} \left\{ Q_{G,i} - Q_{D,i} - \sum_{j=1}^{N_B} |V_i| |V_j| |Y_{i,j}| \sin(\theta_{i,j} - \delta_i + \delta_j) \right\}^2 \quad (5)$$

2.1.3. Optimizasyon Problemleri Nasıl Çözülür?

Optimizasyon problemi çözümü 2'ye ayrılır.

- Analitik Yöntemler
- Sayısal Yöntemler; sayısal yöntemler de kendi arasında 2'ye ayrılır:

-Türev Tabanlılar

-Türev Tabanlı Olmayanlar: Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Algoritması (PSO),

Karınca Kolonisi (ACO), Sinüs Kosinüs Algoritması (SCA) vb. idir.

Bu çalışmada, modern Sezgisel (Heuristics) Optimizasyon tekniklerinden olan SKA'yı kullanacağız. Kullanacağımız yöntem ve teknikle ilgili tanımları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

Öncelikle, Sezgisel Algortihma;

Sezgisel yada buluşsal (heuristic) bir problem çözme tekniğidir. Sonucun doğruluğunun kanıtlanabilir olup olmadığını önemsenmen iyi sonucu bulacaklarını garanti etmezler). Çeşitli alternatif hareketlerden etkili olanlara karar vererek iyiye yakın çözüm yolları elde etmeyi amaçlar. Makul bir süre içerisinde bir çözüm elde edeceklerini garanti ederler. Genellikle en iyiye yakın olan çözüm yoluna hızlı ve kolay bir şekilde ulaşırlar.

Sezgisel arama algoritmalarına örnek olarak;

A* Arama (A star Arama), Demet araması (Beam search), Tepe tırmanma (Hill climbing) algoritması, En iyi öncelikli arama (Best first search) verilebilir.

-Sezgisel Optimizasyon;

Sezgisel algoritmalar, büyük boyutlu optimizasyon problemleri için, kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler verebilen algoritmalar. Genel amaçlı sezgisel optimizasyon algoritmaları, biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya

tabanlı olmak üzere altı farklı grupta değerlendirilmektedir. Sürü zekası tabanlı optimizasyon algoritmaları kuş, balık, kedi ve arı gibi canlı sürülerinin hareketlerinin incelenmesiyle geliştirilmiştir.

Sezgisel optimizasyon yöntemlerine örnek olarak;

- Genetik Algoritma (ing: Genetic Algorithm) (GA)
- Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ing: Ant Colony Optimization) (ACO)
- Parçacık Sürü Optimizasyonu (ing: Particle Swarm Optimization) (PSO)
- Yapay Arı Kolonisi (ing: Artificial Bee Colony) (ABC)
- Sinüs Kosinüs Algoritması (ing: Sine Cosine Algortihm) (SKA)

verilebilir.

3. SİNÜS KOSİNÜS ALGORİTMASI

SKA yöntemi, optimizasyon işleminde Sinüs ve Kosinüs fonksiyonlarını kullanır. Ana denklem, aşağıda gösterildiği gibi önceki pozisyonlarla kombine edilmiş bazı rastgele sayılar ekleyerek yeni pozisyonu bulur [21].

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} X_i^t + r_1 + \sin(r_2) \times |r_3 p_i^t - X_i^t| & r_4 < 0.5 \\ X_i^t + r_1 + \cos(r_2) \times |r_3 p_i^t - X_i^t| & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

X_i^t : i . boyutun t . iterasyonundaki güncel çözümü

$r_1 / r_2 / r_3$: Rastgele sayılar

p_i : i . boyuttaki hedef noktanın pozisyonu

$| |$: Mutlak değer

r_4 : $[0, 1]$ aralığında rastgele bir sayıdır.

r_1 , yinelemeler dolayısı ile aşağıdaki şekilde değişmektedir.

$$r_1 = \alpha - t \frac{\alpha}{T} \quad (7)$$

t , mevcut iterasyondur. T maksimum iterasyon sayısıdır ve α bir sabittir.

Denklem (6), bu denklemin iterasyonlar boyunca sinüs ve kosinüs fonksiyon aralığının azalışını gösterir. SKA'nın sinüs ve kosinüs fonksiyonları, arama uzayını $(1, 2]$ ve $[-2, 1)$ aralığında araştırır. Ancak, algoritma $[-1, 1]$ arama alanını tümünü kapsar.

Algoritmanın işleyişi özet olarak:

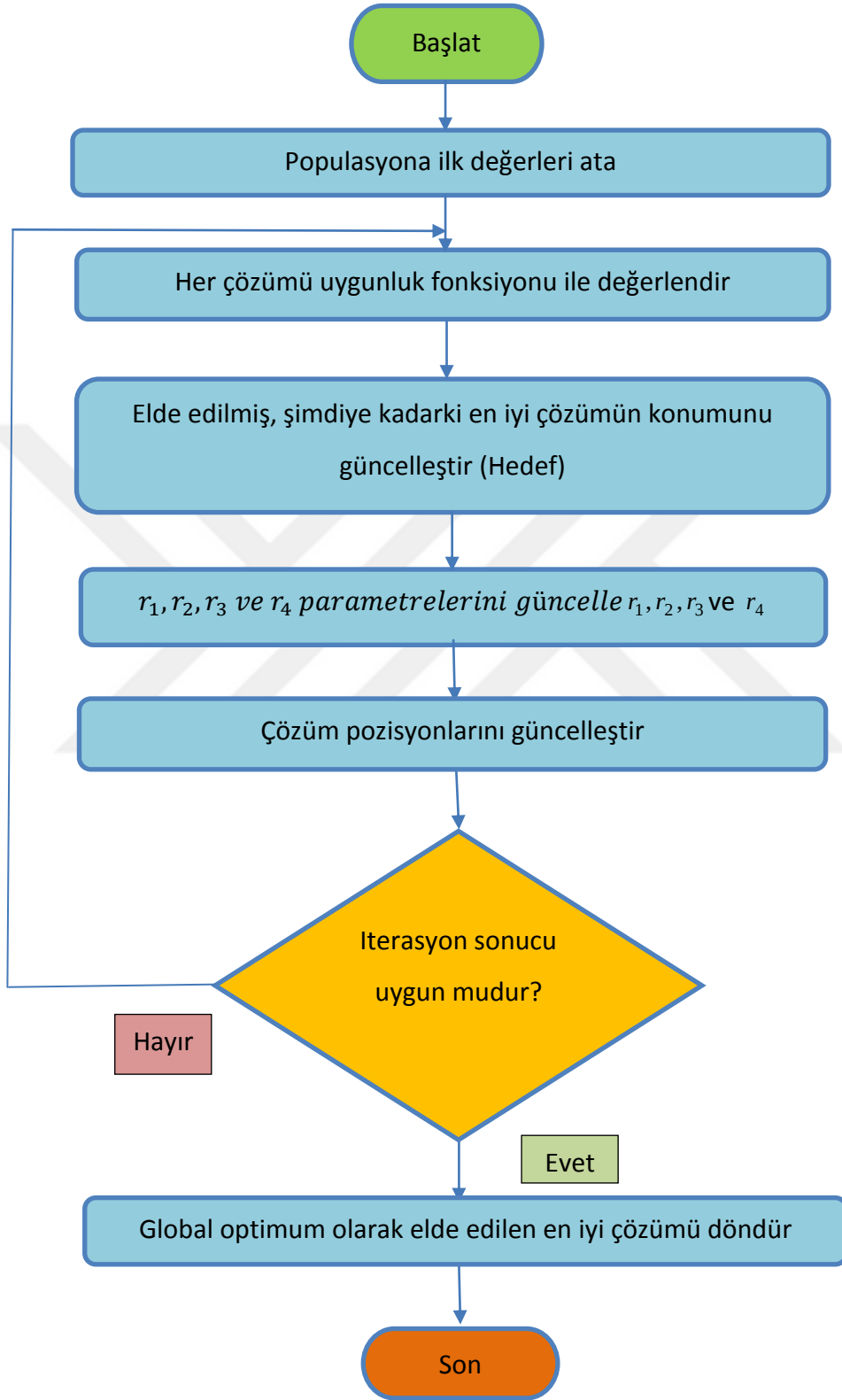
SKA optimizasyon sürecinde, rastgele çözüm kümesi ile başlamaktadır. Algoritma, elde edilen en iyi çözümü kaydeder, onu hedef noktası olarak atar ve bu çözüme göre diğer çözümleri günceller. Bu arada, sinüs ve kosinüs fonksiyon aralığı kapsamayı garanti etmek için iterasyon

sayısı arttıkça güncellenir. Algoritma varsayılan olarak iterasyon sayacının maksimum iterasyon sayısını aşması ile optimizasyon sürecini sonlandırır. Bununla birlikte sonlandırma koşulu olarak maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı veya elde edilen global optimumun doğruluğu dikkate alınabilir.

SKA'nın belirtilen operatörler ile optimizasyon problemlerinin global optimumunu belirlemesi teorik olarak aşağıdaki nedenlerden dolayı mümkündür:

- SKA belirli bir problem için rastgele çözümler dizisi oluşturur ve geliştirir, bu nedenle bireysel tabanlı algoritmalara kıyasla yüksek keşif ve yerel optimumdan kaçınmayı sağlar.
- Sinüs ve kosinüs fonksiyonları 1'den büyük veya -1'den küçük bir değer döndürdüğünde arama uzayının farklı bölgeleri keşfedilir.
- Arama uzayının değer verici alanları sinüs ve kosinüs -1 ile 1 aralığında değer döndürdüğünde kullanılır.
- SKA, sinüs ve kosinüs fonksiyon aralığını adaptif kullanım ile keşiften kullanmaya kolayca geçer.
- Global optimumun en iyi yakınsaması hedef nokta olarak bir değışkende saklanır ve optimizasyon sırasında asla kaybolmaz.
- Çözümler, pozisyonlarını elde edilen en iyi çözümler etrafında güncellediğinden optimizasyon boyunca arama uzayını en iyi bölgelerine doğru bir eğilim vardır.
- Önerilen algoritma, optimizasyon problemini kara kutu olarak gördüğünden farklı alanlardaki problemlere kolayca uygulanabilir [21].

Aşağıda verilen akış şemasında algoritmanın genel hatlarıyla işleyişı sıralı bir şekilde gösterilmiştir.

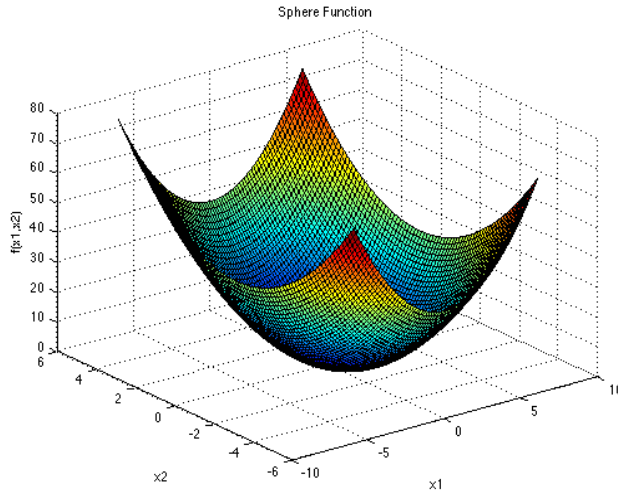


Şekil 3. Sinüs Kosinüs Algoritması Akış Şeması

3.1. TEST FONKSİYONLARI

Çalışmanın sağlaması ve doğruluğu niteliğinde sonuçları elde ettiğimiz test fonksiyonları Sphere, Rastrigin, Ackley, Rosenbrock, Schwefel [35]-[36] için kullanılan tanımlamalar ve matematiksel ifadeleri aşağıda belirtildiği gibi sıralayabiliriz.

3.1.1. Sphere Test Fonksiyonu



Şekil 4. 2 Boyutlu Sphere Fonksiyonu [35]

$$f(x) = \sum_{i=1}^d x_i^2$$

Tanımlama:

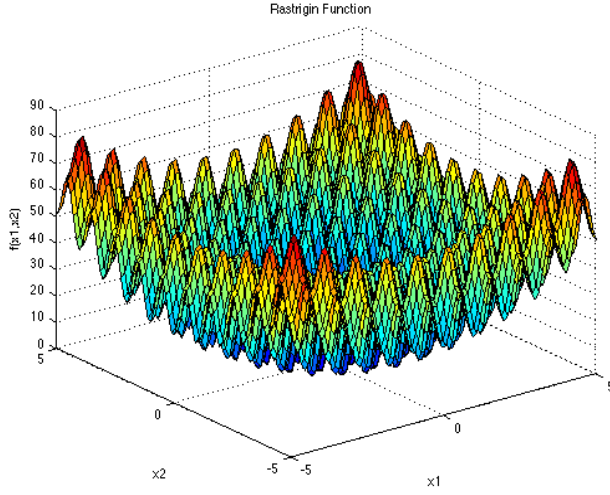
Boyutlar - d

Sphere işlevi, küresel işlev dışında yerel bir minimuma sahiptir. Sürekli, konveks ve tek modeldir. Şekil iki boyutlu formunu göstermektedir.

Fonksiyon genellikle tüm $i = 1, \dots, d$ için hiperküp $x_i \in [-5.12, +5.12]$ üzerinden değerlendirilir.

Global Minimum: $f(x^*) = 0, x^* = (0, \dots, 0)$

3.1.2. Rastrigin Test Fonksiyonu



Şekil 5. 2 Boyutlu Rastrigin Fonksiyonu [35]

$$f(x) = 10d + \sum_{i=1}^d x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)$$

Tanımlama:

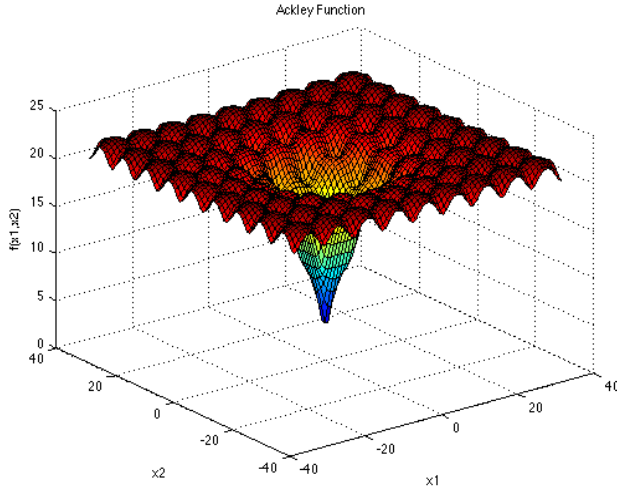
Boyutlar- d

Rastrigin işlevi birkaç yerel minimum sahiptir. Oldukça çoklu modeldir, ancak minimumların yerleri düzenli olarak dağıtılır. Yukarıdaki çizim, iki boyutlu formunu temsil etmektedir.

Fonksiyon genellikle tüm $i = 1, \dots, d$ için hiperküp $x_i \in [-5.12, +5.12]$ üzerinden değerlendirilir.

Global Minimum: $f(x^*) = 0, x^* = (0, \dots, 0)$

3.1.3. Ackley Test Fonksiyonu



Şekil 6. 2 Boyutlu Ackley Fonksiyonu [35]

$$f(x) = -a \exp\left(-b \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \cos(cx_i)\right) + a + \exp(1)$$

Tanımlama:

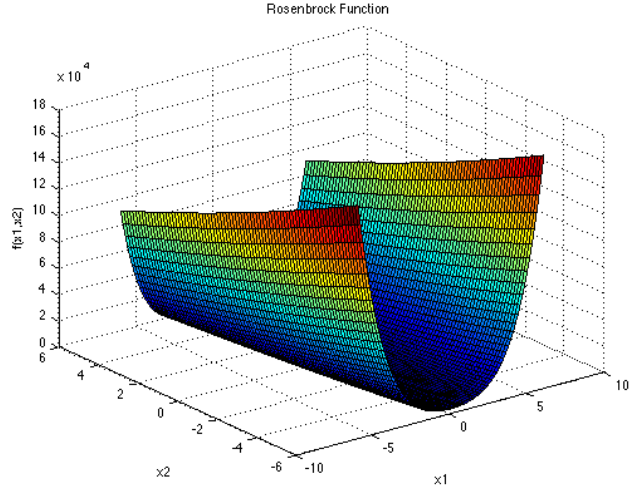
Boyutlar - d

Ackley işlevi, optimizasyon algoritmalarını test etmek için yaygın olarak kullanılır. İki boyutlu formunda, yukarıdaki çizimde gösterildiği gibi, neredeyse düz bir dış bölge ve merkezde büyük bir delik ile karakterizedir. Fonksiyon, optimizasyon algoritmaları, özellikle tepe koşu bandı algoritmaları için birçok yerel minimumdan birinde sıkıştıracak bir risk oluşturur.

Fonksiyon genelde, $i = 1, \dots, d$ tümü için $x_i \in [-32.768, +32.768]$ hiperküpünde değerlendirilir, ancak daha küçük bir alanla sınırlandırılabilir.

Global Minimum: $f(x^*) = 0$, $x^* = (0, \dots, 0)$

3.1.4. Rosenbrock Test Fonksiyonu



Şekil 7. 2 Boyutlu Rosenbrock Fonksiyonu [35]

$$f(x) = \sum_{i=1}^{d-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$$

Tanımlama:

Boyutlar - d

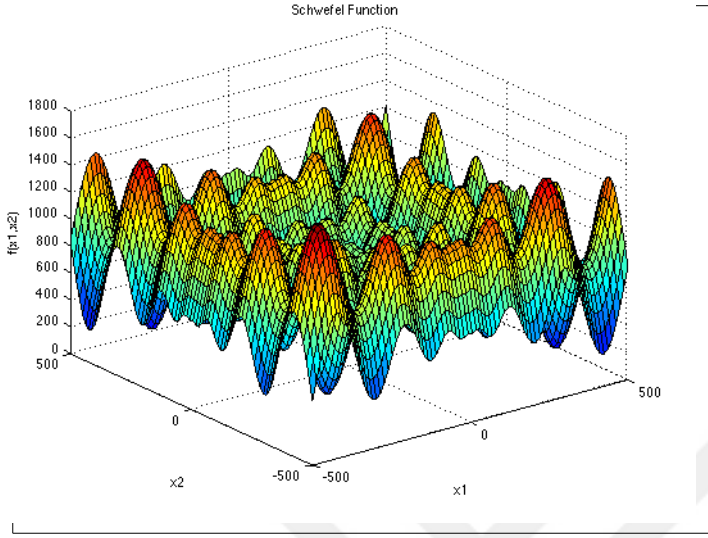
Vadi yada Muz işlevi olarak bahsedilen Rosenbrock işlevi, gradyan-tabanlı optimizasyon algoritmaları için popüler bir test sorusudur.

İşlev tek modeldir ve küresel minimum, dar, parabolik bir vadide yer alır. Bununla birlikte, bu vadinin bulunması kolay olmasına rağmen, asgariye yakınsaklık güçtür.

Fonksiyon genellikle tüm $i=1,...,d$ için hiperküp $x_i \in [-5,+10]$ üzerinde değerlendirilir, ancak tüm $i=1,...,d$ için hiperküp $x_i \in [-2.048,+2.048]$ ile sınırlandırılabilir.

Global Minimum: $f(x^*) = 0$, $x^* = (1,...,1)$

3.1.5. Schwefel Test Fonksiyonu



Şekil 8. 2 Boyutlu Schwefel Fonksiyonu [35]

$$f(x) = 418.9829d - \sum_{i=1}^d x_i \sin\left(\sqrt{|x_i|}\right)$$

Tanımlama:

Boyutlar - d

Schwefel işlevi birçok yerel minimum sahip karmaşıktır. Çizim, işlevin iki boyutlu biçimini gösterir.

Fonksiyon genellikle tüm $i = 1, \dots, d$ için hiperküp $x_i \in [-500, +500]$ üzerinden değerlendirilir.

Global Minimum: $f(x^*) = 0$, $x^* = (420.9687, \dots, 420.9687)$

3.1.6. Test Sonuçları

Test fonksiyonları için çalışma d=2; d=5; d=10; d=50 boyutunda yapılmıştır.

Tablo 1: Test Fonksiyonları Ortalama (Ort) ve Standart Sapma (Std) Değerleri

Fn	Ort	Std	Ort	Std	Ort	Std	Ort	Std
	2- Boyut	2-Boyut	5-Boyut	5-Boyut	10-Boyut	10-Boyut	50-Boyut	50-Boyut
Sphere Fonksiyonu	0	0	0	0	0	0	293.3591	478.6374

Rastrigin Fonksiyonu	0	0	0	0	0	0	96.2101	49.8735
Ackley Fonksiyonu	0	0	2.3093e-015	1.8346e-015	6.8744e-014	1.5932e-013	17.9574	4.9976
Rosenbrock Fonksiyonu	4.1539e-004	3.3831e-004	1.7468	0.3712	7.3611	0.4089	8.9550e+005	1.2153e+006
Schwefel Fonksiyonu	-837.3439	0.3629	1.5868e+003	138.0336	-2.2470e+003	149.1987	5.0377e+003	352.0350

4. SİSTEM YÜK AKIŞ ANALİZİ

Bu bölümde yük akış analizi ile ilgili genel bilgiler verilmek ile beraber Linear ve Linear olmayan şebekelerdeki gerilim ve akım hesaplama yöntemi ele alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak olan metod, ladder iteratif yöntemi olacaktır.

4.1. YÜK AKIŞ ANALİZİ

Yük akış analizi, genel olarak, sistemde bulunan tüm baraların gerilim, gerilim açısı ve bu baraların sisteme yükledikleri yada çektikleri aktif ve reaktif güçlerin hesaplanması için gerçekleştirilir. Yapılan analizlerde sistemin arızasız ve kararlı halde çalıştığı varsayımı ön koşuldur.

Bir dağıtım besleyicisinin yük akış analizi, birbirine bağlı bir iletim sisteminin analizine benzemektedir. Tipik olarak analizden önce bilinmesi gereken, trafo merkezindeki üç fazlı gerilimler ve tüm yüklerin kompleks gücü ve yük modeli (sabit kompleks güç, sabit empedans, sabit akım veya bir kombinasyon) olacaktır. Bazen, trafo merkezinden besleyiciye sağlanan giriş kompleks gücü de bilinir.

Bir besleyici bir güç akışı analizi fazı ve toplam üç fazı aşağıdaki belirleyebilir.

- Besleyicinin tüm düğümlerinde gerilim büyüklükleri ve açıları,

- b. Her bir hat kesitinde kW ve kVar, amper ve derece cinsinden hat akışı veya amperi ve güç faktörü,
- c. Her hat kısmında güç kaybı,
- d. Toplam besleyici girişi kW ve kVar,
- e. Toplam besleyici güç kayıpları,
- f. Yük için belirtilen modele göre kW ve kVar yükleridir.

4.2. İTERASYON (YİNELEME) TEKNİĞİ

İletim şebekesi güç akışı çalışmalarında, Newton Raphson metodu kullanılmaktadır. Dağıtım sistemlerinde ise radyal sistem yapısından ve yüksek R/X oranından dolayı özel olarak tasarlanmış ladder iteratif tekniği kullanılır.

4.3. LİNEER ŞEBEKE

Doğrusal sistemler için kullanılan ladder şebeke teorisi modifiye edilmesi ile güç akış analizi için sağlam bir iteratif tekniği olmuştur. Bir dağıtım besleyicisinin doğrusal olmaması, yüklerin çoğunun sabit kW ve kVar varsayılmasıdır. Bununla birlikte, doğrusal sistem için alınan yaklaşım, dağıtım besleyicisinin doğrusal olmayan özelliklerini hesaba katacak şekilde değiştirilebilir.

Şekil 9, doğrusal bir ladder şebekesini göstermektedir. Ladder şebekesi için, tüm hat empedansları ve yük empedansları, kaynaktaki gerilim (V_s) ile birlikte bilinir. Bu şebekenin çözümü, en uzaktaki yükte (V_s) bir gerilim varsaymaktır. Yük akımı I_s daha sonra aşağıdaki gibi belirlenir:

$$I_s = \frac{V_s}{ZL_s} \quad (8)$$

Linear şebeke için gerilim ve akım değerlerini KVL Fig.(9) ve KCL Fig.(10) denklemlerini kullanarak elde edilir.

Bu son düğüm durumunda, hat akımı I_{45} , yük akımı I_5 'e değer olarak eşittir.

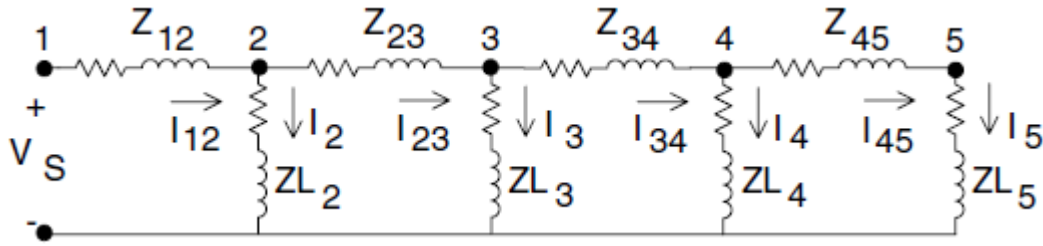
Kirchhoff gerilim yasasını (KVL) uygulayarak düğüm 4'teki (V_4) gerilim şu şekilde belirlenebilir:

$$V_4 = V_5 + Z_{45}I_{45} \quad (9)$$

Yük akımı I_4 belirlenebilir ve daha sonra Kirchhoff'un mevcut yasası (KCL) hat akımını belirlemek için uygulanan I_{34} :

$$I_{34} = I_{45} + I_4 \quad (10)$$

Kirchhoff'un gerilim yasası düğüm gerilimi V_3 'ü belirlemek için uygulanır. Bu prosedür, kaynaktaki bir gerilim (V_1) hesaplanıncaya kadar sürdürülür.



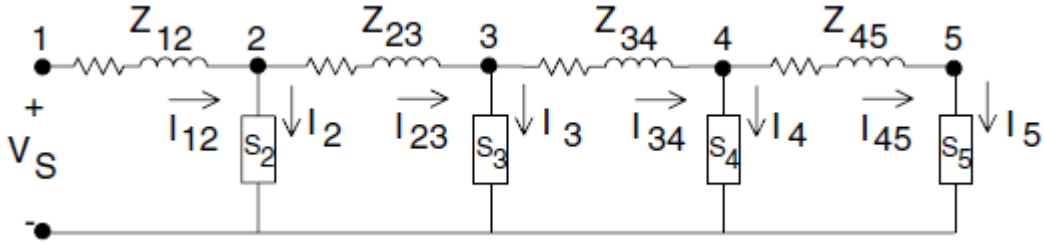
Şekil 9. Doğrusal Ladder Şebeke [37]

4.4. LİNEER OLMAYAN ŞEBEKE

Şekil 9'un doğrusal şebekesi, sabit yük empedanslarının tamamını Şekil 10'da gösterildiği gibi sabit kompleks güç yükleri ile değiştirerek doğrusal olmayan bir şebekeye dönüştürülür. Doğrusal şebeke için özetlenen prosedür başlangıçta doğrusal olmayan şebekeye uygulanır. Tek fark, her düğümdeki yük akımının şu şekilde hesaplanmasıdır:

$$I_n = \left(\frac{S_n}{V_n} \right)^* \quad (11)$$

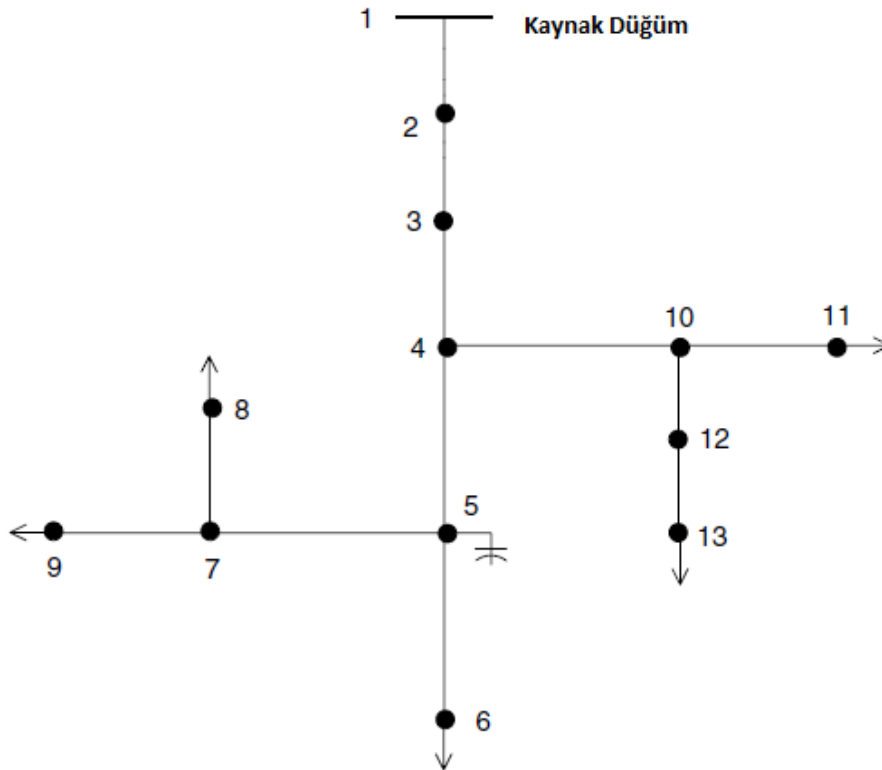
$$V_2 = V_s + Z_{12}I_{12} \quad (12)$$



Şekil 10. Doğrusal Olmayan Ladder Şebeke [37]

4.5. GENEL BESLEYİCİ

Tipik bir dağıtım besleyici, birincil ana üniteden, lateraller birincil ana ve alt lambalardan çıkarılan lambalardan vb. Şekil 11, tipik bir besleyiciyi göstermektedir. Yineleme tekniği kullanılarak Şekil 11'in besleyici aşağıdaki şekilde ilerleyecektir:



Şekil 11. Tipik Dağıtım Besleyicisi [37]

1. Üç faz gerilimleri uç düğümlerde olduğu varsayılır (6,8,9,11 ve 13).

Genel varsayım ile, nominal gerilimler kullanılır.

2. Dügüm 13'ten başlanarak düğümün akımı hesaplanır (kapasitör akımı varsa yük akımı artı).
3. Bu akımla Kirchhoff'un gerilim yasası (KVL) uygulanarak, 12 ve 10 düğümlerindeki gerilimler hesaplanır.
4. Dügüm 10, iki yönden yan dallar bağlantı noktası olduğu için "birleşim" düğümü olarak geçmektedir. Bu besleyici için Dügüm 11'e gidilir ve düğüm akımı hesaplanır. Dügüm 10'daki gerilimi hesaplamak için bu akımı kullanın. Bu gerilim, düğüm 10 için en güncel gerilim olarak değerlendirilir.
5. Dügüm 10'daki gerilimin en son değeri kullanılarak, düğüm 10'daki akım hesaplanır.
6. Kirchhoff'un mevcut yasası (KCL) kullanılarak, düğüm 4'ten düğüm 10'a geçen akım hesaplanır.
7. Dügüm 4'teki gerilim hesaplanır.
8. Dügüm 4 bir bağlantı düğümüdür. Dügüm 4'ten ileriye doğru süpürmeyi başlatmak için düğüm 4'ten aşağıya doğru bir uç düğüm seçilir.
9. Dügüm 6 seçilir, düğümün mevcut akımı hesaplanır ve daha sonra bağlantı noktası olan düğüm 5'teki gerilim hesaplanır.
10. Aşağı doğru son düğüm olan düğüm 8'e gidilir. Dügüm akımı hesaplanır ve daha sonra bağlantı noktası olan düğüm 7'deki gerilim hesaplanır.
11. Aşağı doğru son düğüm olan düğüm 9'a gidilir. Dügüm akımı hesaplanır ve daha sonra bağlantı noktası olan düğüm 7'deki gerilim hesaplanır.
12. Dügüm 7'deki en son gerilim değeri kullanılarak ile düğüm 7'deki düğüm akımı hesaplanır.
13. Dügüm 7'de, Kirchhoff'un mevcut yasası (KCL) kullanılarak düğüm 5'ten düğüm 7'ye akan akım hesaplanır.
14. Dügüm 5'teki gerilim hesaplanır.

15. Dügüm 5'te düğüm akımı hesaplanır.

16. Dügüm 5'e Kirchhoff'un mevcut yasası (KCL) uygulanarak, düğüm 4'ten düğüm 5'e doğru akan akım hesaplanır.

17. Dügüm 4'teki gerilim hesaplanır.

18. Dügüm 4'teki düğüm akımı hesaplanır.

19. Dügüm 4'e Kirchhoff'un mevcut yasası (KCL) uygulanarak, düğüm 3'ten düğüm 4'e doğru akan akım hesaplanır.

20. Dügüm 3'teki gerilim hesaplanır.

21. Dügüm 3'teki düğüm akımı hesaplanır.

22. Dügüm 2'den akan akımı hesaplamak için Dügüm 3'e KCL uygulanır [37].

4.6. PER UNIT SİSTEM

Güç sistemi analizinde, gerilim, akım, güç ve empedans değerlerini analiz etmek ve iletmek için birim başına miktarları kullanmak yaygın bir uygulamadır. Bu ünite büyüklükleri, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, seçilen br tabanda normalleştirilir veya ölçeklendirilir; mühendisler, güç sistemi hesaplamalarını çoklu gerilim dönüşümleriyle basitleştirirler.

Aşağıdaki denklemde, *per-unit (pu)* olarak ifade edilen birimin elde ediliş hesaplaması verilmiştir.

$$\text{per unit miktar} = \frac{\text{gerçek miktar}}{\text{baz miktar}}$$

$$\text{Yüzdelik miktar} = \text{per unit miktar}\%$$

Örneğin; Nominal taban değerlendirmesi 12.470 volt ile 12.100 voltta çalışan bir dağıtım sistemi, nominal başına 0.97 veya% 97'lik bir per-unit gerilim miktarına sahiptir.

$$\frac{12.1 \text{ volt}}{12.47 \text{ volt}} = 0.97 \text{ pu}$$

İletim sistemlerini inceleyen mühendislerin çoğu, analiz sonuçlarını birim başına bir değerle değerlendirecek olsa da, dağıtım sistemleri üzerinde çalışanlar, birim başına olan değeri 120 volt baz kullanarak gerilim değerine dönüştürürler. Dolayısıyla, yukarıdaki örnekte, birim başına 0.97 çalışma gerilimine sahip dağıtım sistemi 120 volt bazda 116.4 volta dönüştürülecektir.

Tarihsel olarak birim başına değerler, elle yapılan güç hesaplamalarını çok daha basit yapmıştır. Birçok hesaplama şimdi bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılmaktadır, bu artık birincil avantaj değildir; Ancak bazı avantajlar hala mevcuttur. Örneğin, kademeli ve kademeli transformatörler vasıtasıyla birçok farklı anma gerilimine sahip daha büyük bir sistem ölçeğinde gerilimi analiz ederken, birim başına miktarlar her birinin spesifik nominal gerilimini doğrulamadan tüm sistemin durumunu değerlendirmenin kolay bir yolunu sağlar alt sistemi. Bir başka avantaj da, birim başına niceliklerin nispeten dar bir aralıkta düşmesi eğiliminde olması, yanlış verilerin tanımlanmasını kolaylaştırmasıdır. Bu avantajlara ek olarak, çoğu güç akışı analiz yazılımı giriş gerektirir ve birim başına sonuçlar rapor eder. Bu nedenlerle, mühendisler ve teknisyenler için ünite kavramını anlamaları önemlidir [38].

5. SKA İLE SİSTEMİN GERİLİM OPTİMİZASYONUNU ELDE ETME

SKA yönteminin, mevcut optimizasyon probleminde nasıl kullanıldığı aşağıda belirtildiği şekilde özetlenebilir:

1. Başlatma: Bu adımda, rastgele çözüm adaylarının oluşturulmasıyla problem başlatılmaktadır. Durum 1, rastgele çözüm adayları 3 kapasitör ile kontrol sağlandığı için $n = 3$ olacaktır. Durum 2, rastgele çözüm adayları, kontrol 3 kapasitör ve 2 regülatör ile sağlandığı için $n = 5$ olacaktır. Durum 3, kontrol 3 kapasitör, 2 regülatör ve 32 invertör ile sağlandığı için $n = 37$ olacaktır.
2. Her durumda, bu adım amaç fonksiyonunu değerlendirir, gerilimlerin tümü için sapmalarını en aza indiren denklemlerde (1), (2) ve (3).
3. Bu adım çözüm adaylarına en iyi çözümü bulur ve pozisyonunu p_i^t ye ayarlar.
4. r_1, r_2, r_3 ve r_4 değerlerini güncelleştir.
5. Bu adım, çözüm adaylarının yerini (4) kullanarak, günceller.
6. Bu adım, durdurma ölçütünü kontrol eder. Bu ya en iyi çözümlerin farklılıklarını kontrol ederek yapılır ya da önceden tanımlanmış yineleme sayısını veya maksimum yineleme sayısını ayarlayarak yapılır.

SKA için objektif fonksiyon ve sistemin kısıtları ile kısıt fonksiyon oluşturulmuştur. Burada amaç fonksiyon güç kaybını ve gerilim düşmesi riskini azaltmaktadır. Sistemin objektif fonksiyonu;

$\min p(\alpha, \beta, \gamma)$, biçimindedir.

Sistem kısıt fonksiyonları ise;

$$q(\alpha, \beta, \gamma) = 0 \quad (13)$$

$$q(\alpha, \beta, \gamma)_{\min} \leq r(\alpha, \beta, \gamma) \leq r(\alpha, \beta, \gamma)_{\max} \quad (14)$$

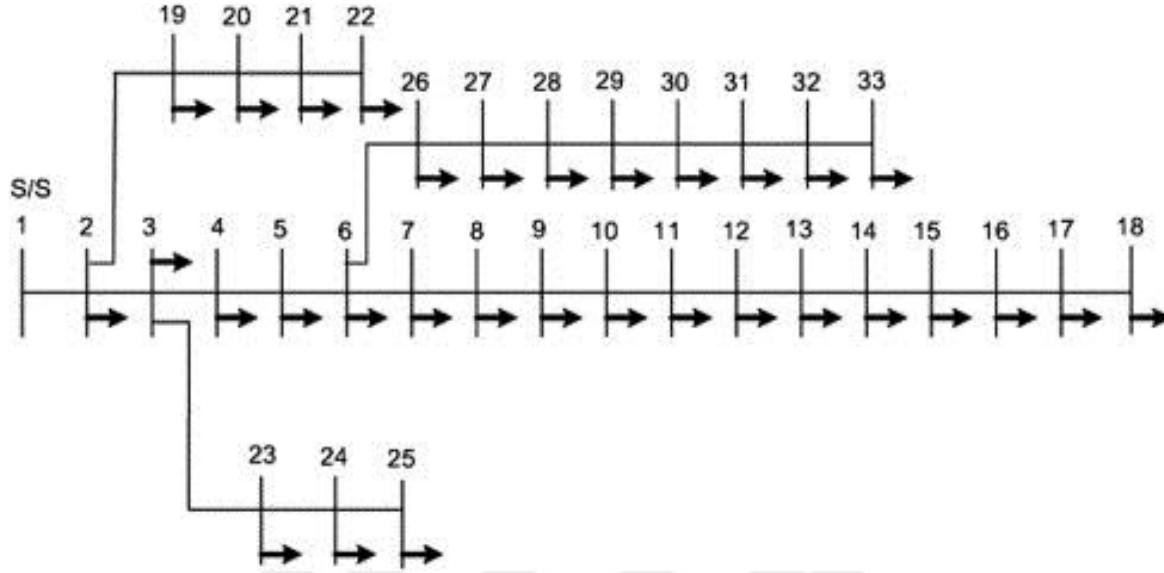
Burada α , β ve γ sistem değişkenleridir. Sistem değişkenleri sistemin aktif güçleri, reaktif güçleri ve gerilim genlik değerleridir.

6. TEST SİSTEMİ VE SONUÇLARI

Değişken yüke sahip, tek faz, dengeli 33 Baralı test sistemi kullanılarak, sistemin iki farklı durumu incelenmiştir.

- Rüzgar türbini entegrasyonu olmayan sistem

- Rüzgar türbini entegreli sistem



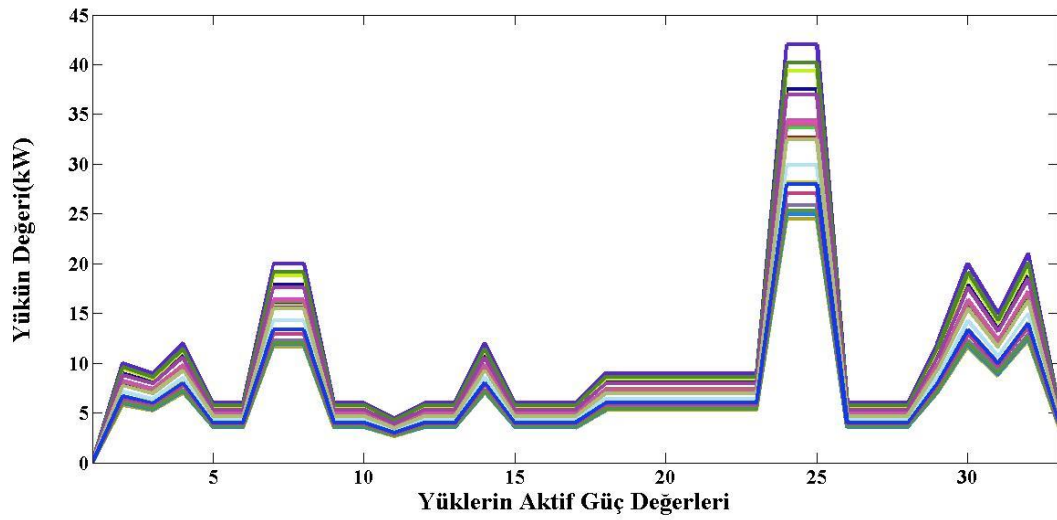
Şekil 12. IEEE 33 Baralı Radyal Dağıtım Ağı [39]

Tablo 2: Her bir baranın saat bazındaki aktif güç(kW) değerleri [40]

Bara No/Saat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7	6	6	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	9	8	7
3	6	6	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	8	7	6
4	8	7	7	7	7	7	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	12	11	11	9	8
5	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4
6	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4
7	13	12	12	12	12	12	13	14	16	16	16	16	16	16	16	16	18	19	19	20	19	18	15	13
8	13	12	12	12	12	12	13	14	16	16	16	16	16	16	16	16	18	19	19	20	19	18	15	13

9	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
10	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	3	3	
12	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
13	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
14	8	7	7	7	7	7	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	12	11	11	9	8
15	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
16	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
17	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
18	6	6	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	8	7	6
19	6	6	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	8	7	6
20	6	6	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	8	7	6
21	6	6	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	8	7	6
22	6	6	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	8	7	6
23	6	6	5	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	9	9	9	8	7	6
24	28	26	25	24	25	25	27	30	33	34	34	34	34	34	34	34	38	39	40	42	40	37	32	28
25	28	26	25	24	25	25	27	30	33	34	34	34	34	34	34	34	38	39	40	42	40	37	32	28
26	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
27	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	
28	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4	

29	8	7	7	7	7	7	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	12	11	11	9	8
30	13	12	12	12	12	12	13	14	16	16	16	16	16	16	16	16	18	19	19	20	19	18	15	13
31	10	9	9	9	9	9	10	11	12	12	12	12	12	12	12	12	13	14	14	15	14	13	12	10
32	14	13	13	12	12	13	14	15	16	17	17	17	17	17	17	17	19	20	20	21	20	18	16	14
33	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4



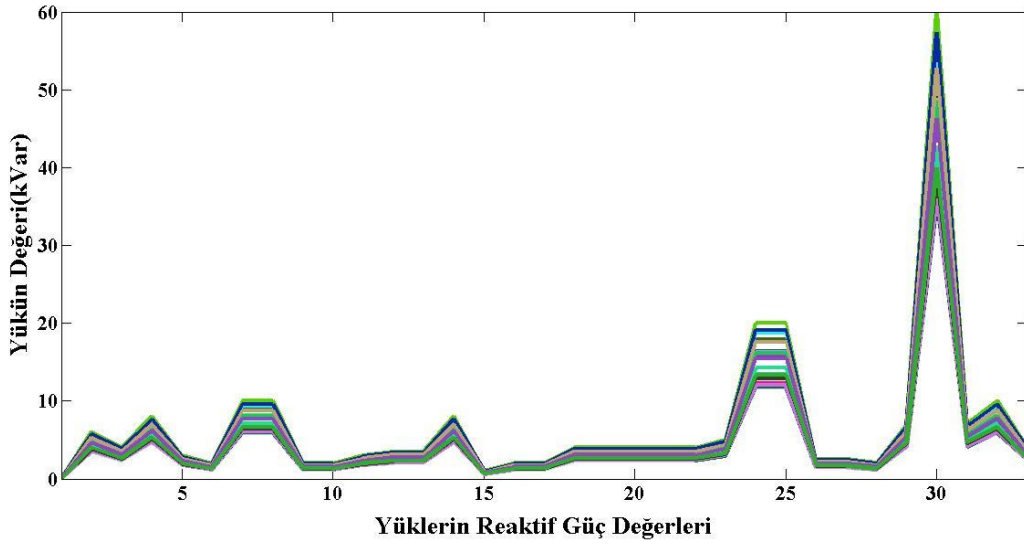
Şekil 13. Aktif Güç Değerleri Grafiği

Tablo 3: Her bir baranın saat bazındaki reaktif güç(kVar) değerleri [40]

BaraNo/Saat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	4
3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
4	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	7	6	7	7	7	6	7	8	8	8	8	7	6	5
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2

6	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1		
7	7	6	6	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	9	8	7	
8	7	6	6	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	9	8	7	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
10	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	
12	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	2	
13	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	2	
14	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	7	6	7	7	7	7	6	7	8	8	8	8	7	6	5
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
16	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
17	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
18	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
19	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
20	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
21	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
22	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
23	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	3
24	13	12	12	12	12	12	13	14	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	19	19	20	19	18	15	13
25	13	12	12	12	12	12	13	14	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	19	19	20	19	18	15	13

26	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2
27	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2
28	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
29	5	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	6	5	5
30	40	37	36	35	36	36	39	43	47	48	49	48	49	49	49	49	54	56	57	60	57	53	46	40
31	5	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	6	5	5
32	7	6	6	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	9	8	7
33	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3



Şekil 14. Reaktif Güç Değerleri Grafiği

6.1. RÜZGAR TÜRBİNİ ENTEGRASYONU OLMAYAN SİSTEM

33 baralı test sistemi için, yük akış analiz kodunu MATLAB’de ladder iteratif yöntemi kullanılarak sistemdeki aktif, reaktif güç değerleri ve gerilim, akım değerleri elde edilmiştir.

Sistem gerilimi 0.95 ile 1.05 pu arasında tutabilecek optimizasyon için anahtarlamalı kapasitörler ve regülatörler kullanılmıştır.

Tüm çalışmalar, günlük veri üzerinden, saat bazında değerlendirilmiştir.

6.1.1. Kapasitörlü Sistem (Durum 1)

Optimizasyon prosesinde sistemde sadece kapasitör bulunma durumu incelenmiştir. Kapasitörler, kontrol cihazları olarak kullanılarak, gerilim sapmaları en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

3 adet kapasitör, maksimum reaktif gücü 300kVar olan ve her biri 10 farklı ayarlama seviyesine sahip anahtarlamalı kapasitör sisteme dahil edilmiştir. Kapasitör modellemesi yapılırken, sisteme sadece fonksiyonel olarak müdahale edilmiştir. Kapasitörler, 15. , 25. ve 30. baralara bağlanarak, sistem benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Matematiksel ifadesi;

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \\ &X \quad \sum_{t=1}^{\text{günsonu}} \sum_{i=1}^N |V_{it} - 1|^2 \\ &\text{eşitsizliğine bağlı} \quad 0.95 \leq V_i \leq 1.05 \\ &\quad \quad \quad Kap_{\min} \leq Kap_i \leq Kap_{\max} \end{aligned}$$

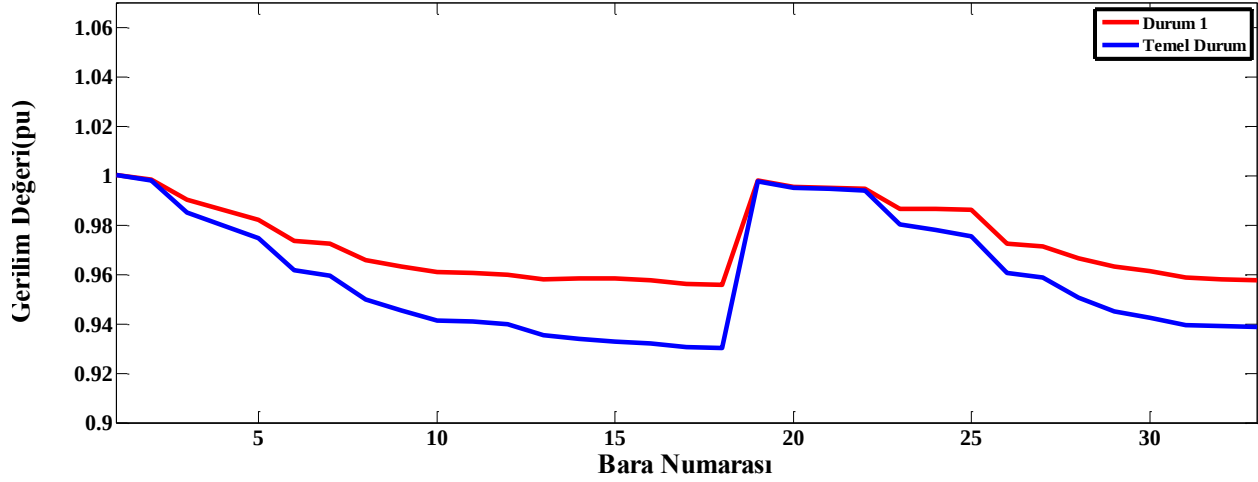
V_{it} , t. saatteki, i. bara gerilimi

$Kap_{\min}$, kapasitör alt limiti

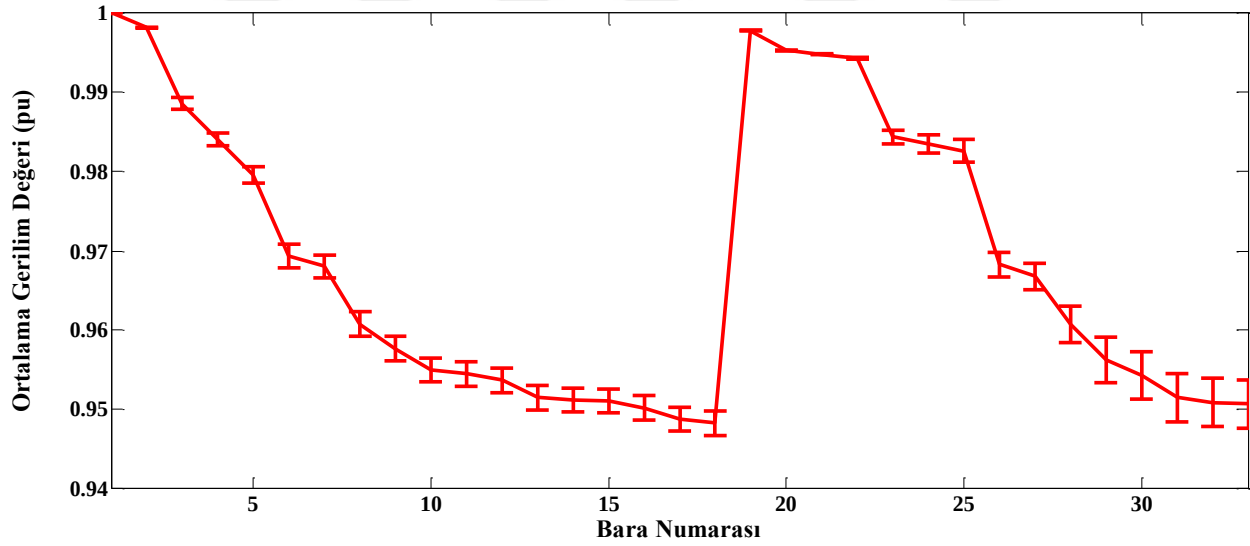
$Kap_{\max}$, kapasitör üst limiti

Kap_i , i. kapasitör

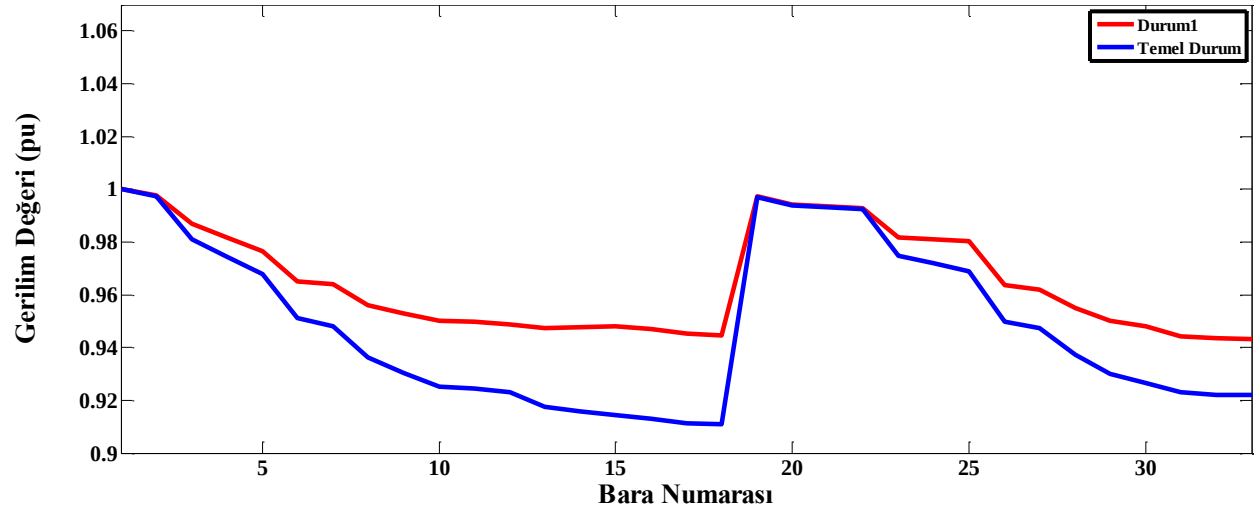
- ❖ SKA optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen 8, 17 ve 20 saatleri için grafiksel sonuçlar aşağıdaki gibidir. Elde edilmiş olan değerlerin Ortalama - Standart Sapma gerilim grafiği aşağıda gösterildiği gibidir.



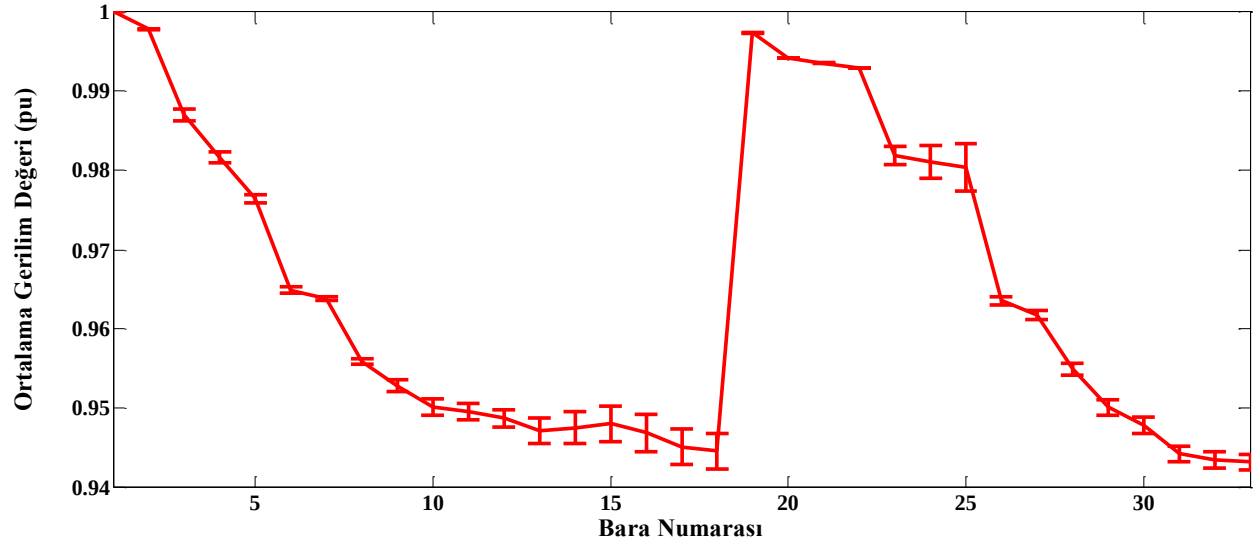
Şekil 15. Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği



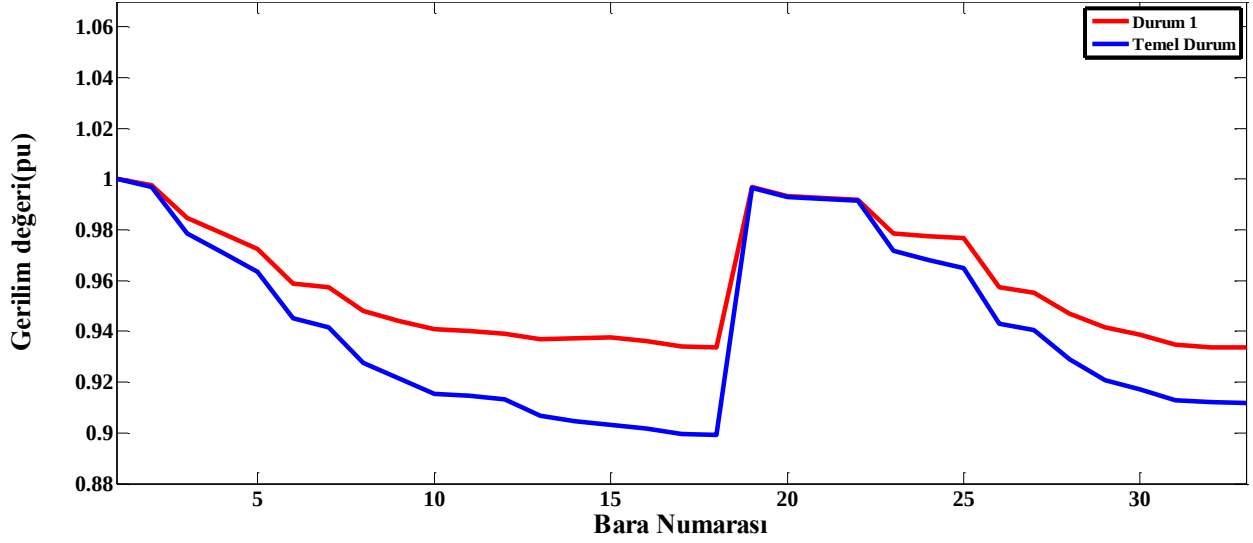
Şekil 16. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği



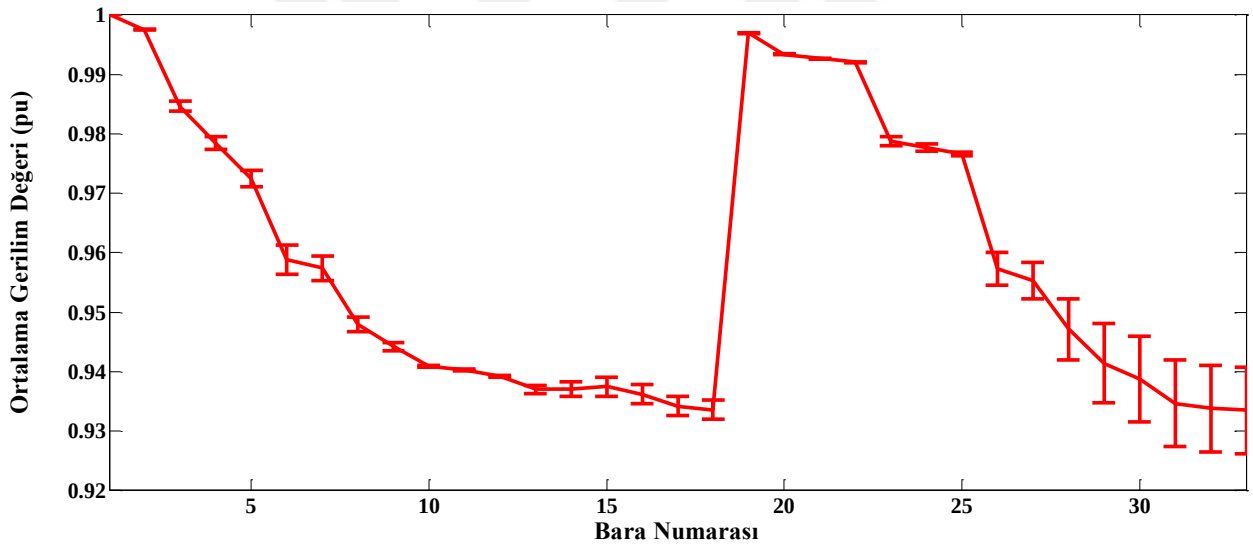
Şekil 17. Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği



Şekil 18. Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

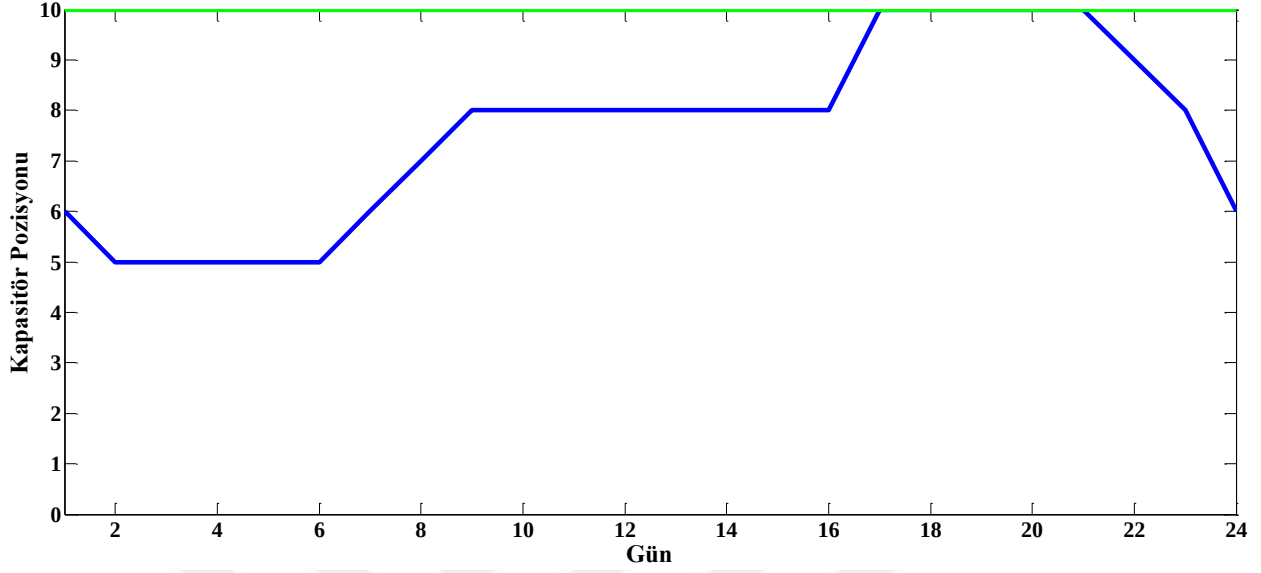


Şekil 19. Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği



Şekil 20. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

Her üç saat için çizilen profillerde, baralara kapasitörler bağlı ikenki, Durum 1, Temel duruma göre, sistemin gerilim sapmasını, iyileştirmiştir.



Şekil 21. Gün içindeki Kapasitör Durumları

6.1.2. Kapasitörlü, Regülatörlü Sistem (Durum 2)

Optimizasyon prosesinde sistemde kapasitör ve regülatör bulunma durumu incelenmiştir. Kapasitörler ve regülatörler, kontrol cihazları olarak kullanılarak, gerilim sapmaları en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Mevcut konumlarında, 3 adet kapasitör ile beraber, her biri -16 ile +16 arasında değişen seviyelere sahip, iki adet regülatör 6. ve 7. ile 26. ve 27. baralar arasına bağlanarak, sistem benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Matematiksel ifadesi;

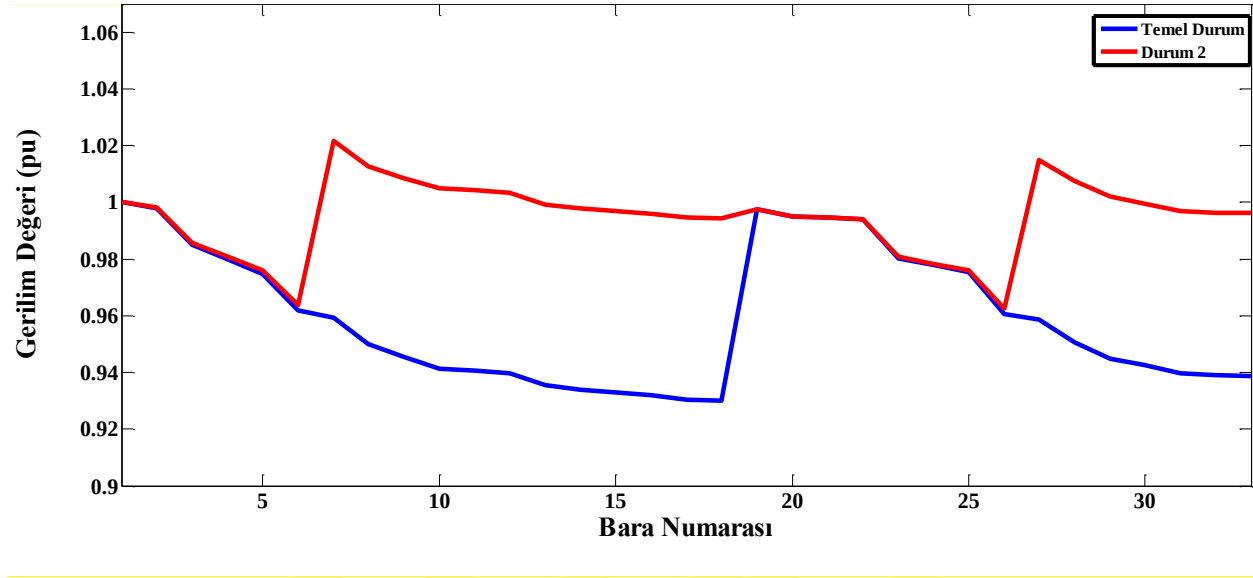
$$\begin{aligned} &\text{minimize} \\ &X \quad \sum_{t=1}^{\text{günsonu}} \sum_{i=1}^N |V_{it} - 1|^2 \\ &0.95 \leq V_i \leq 1.05 \\ &\text{eşitsizliğine bağlı} \quad Kap_{\min} \leq Kap_i \leq Kap_{\max} \\ &\quad \quad \quad Tap_{\min} \leq Tap_i \leq Tap_{\max} \end{aligned}$$

$Tap_{\min}$, regülatör alt limiti

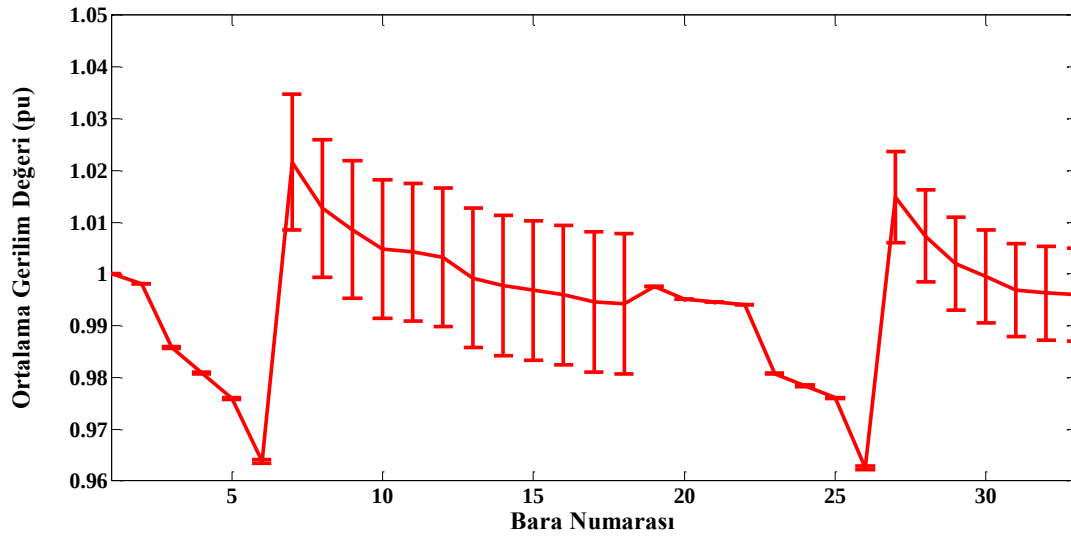
$Tap_{\max}$, regülatör üst limiti

Tap_i , i . değeri

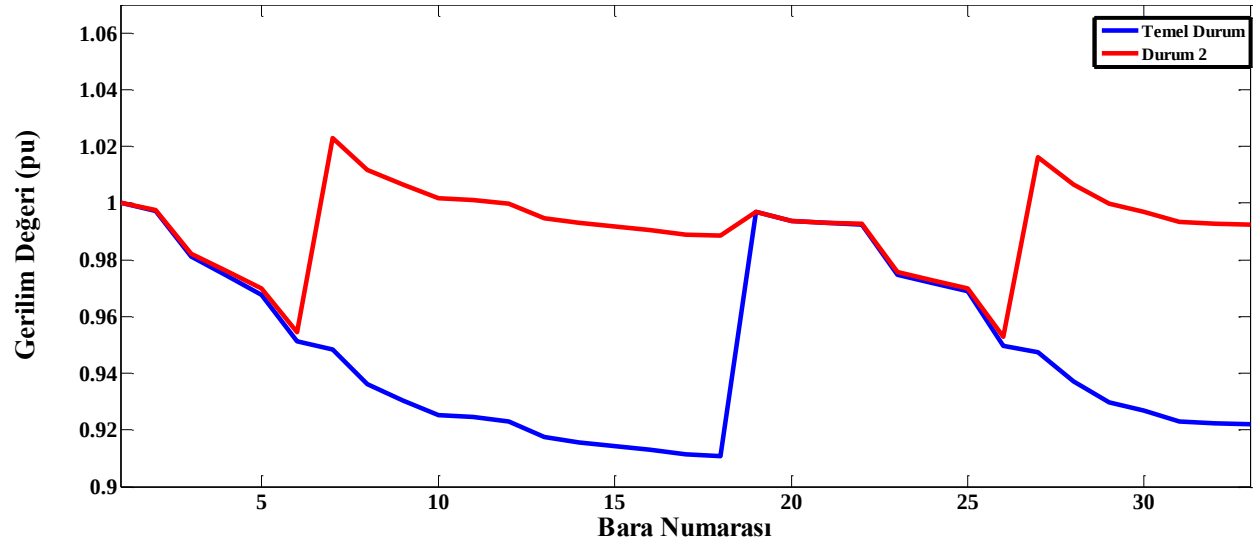
- ❖ SKA optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen 8, 17 ve 20 saatleri için grafiksel sonuçlar aşağıdaki gibidir. Elde edilmiş olan değerlerin Ortalama - Standart Sapma gerilim grafiği aşağıda gösterildiği gibidir.



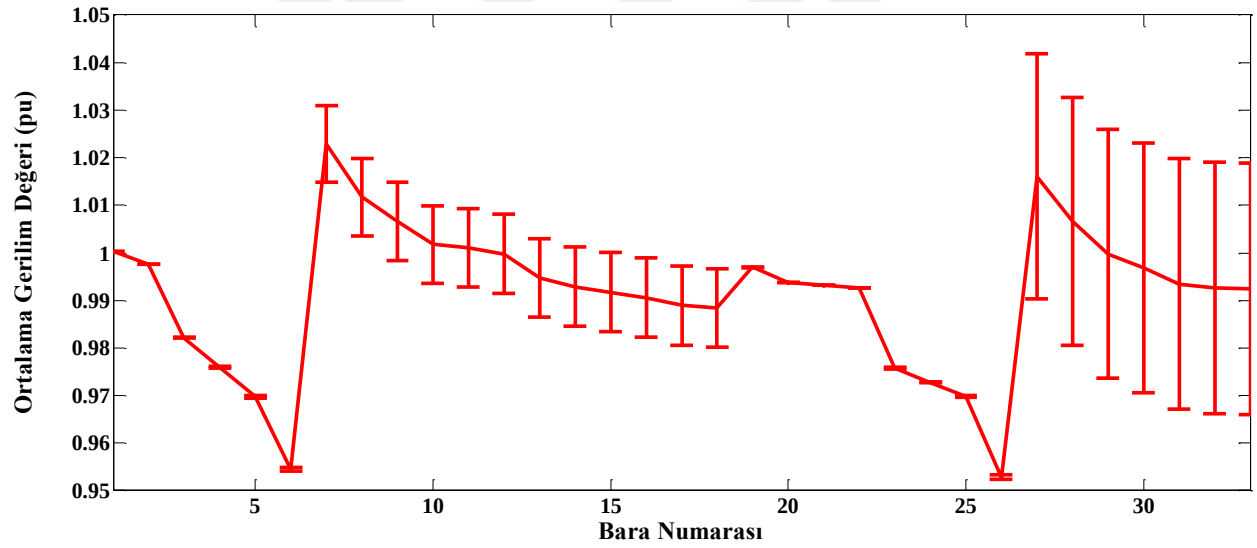
Şekil 22. Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği



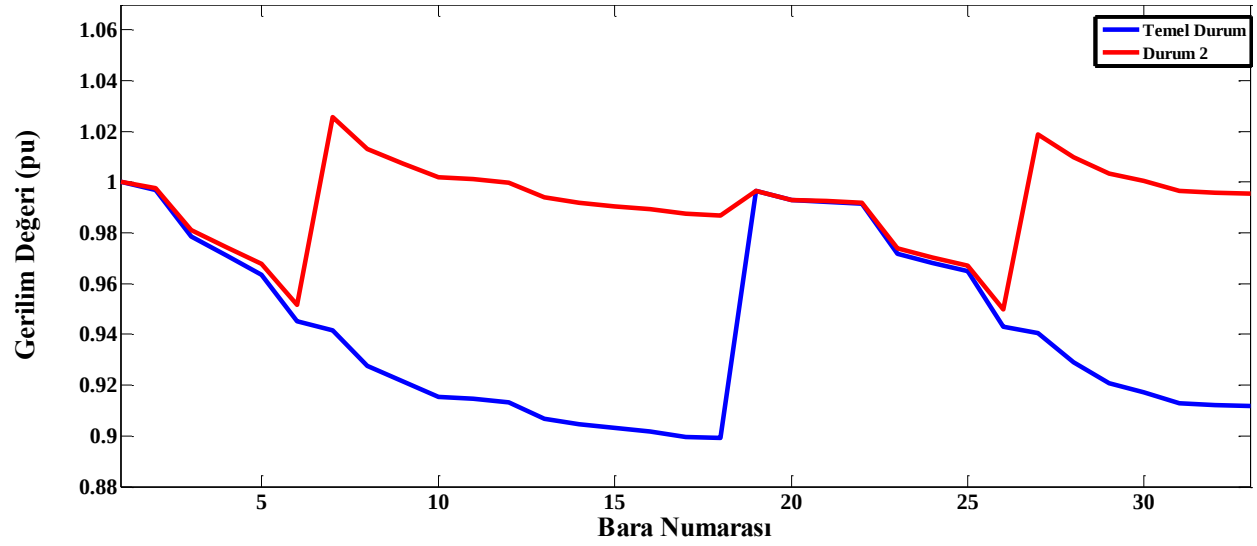
Şekil 23. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği



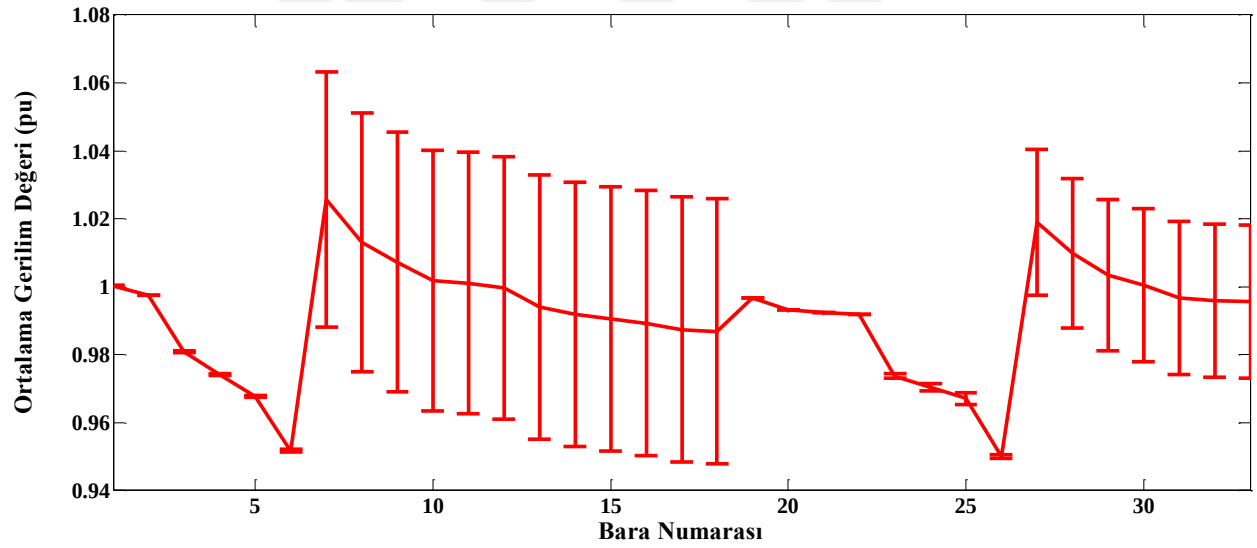
Şekil 24. Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği



Şekil 25. Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

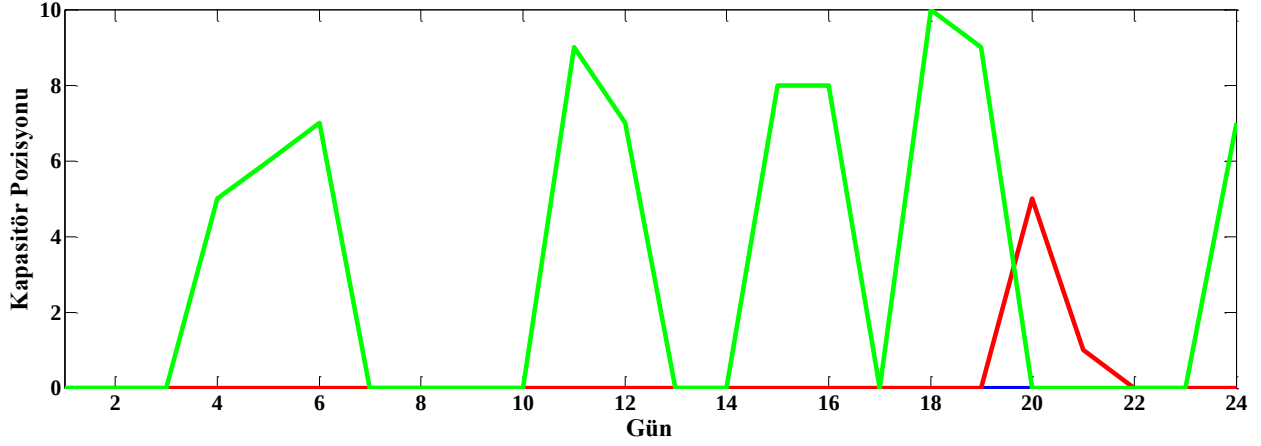


Şekil 26. Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği

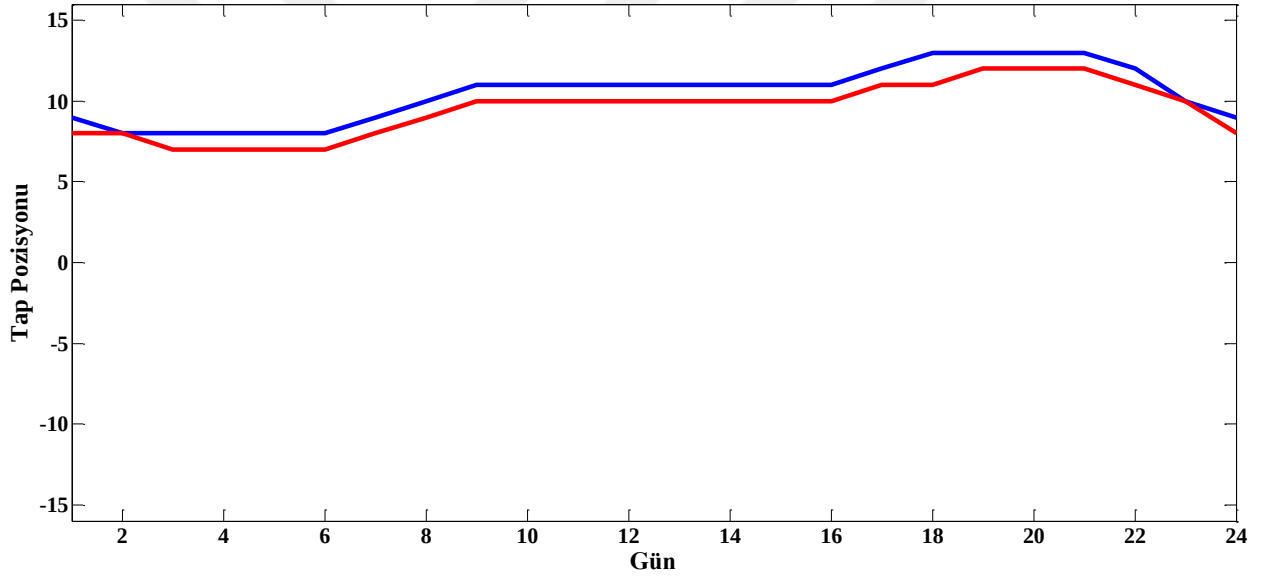


Şekil 27. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

Her üç saat için çizilen profillerde, baralara kapasitörler bağlı ve sistemde regülatör var ikenki, Durum 2, Temel duruma göre, sistemin gerilim sapmasını, iyileştirmiştir.



Şekil 28. Gün içindeki Kapasitör Durumları



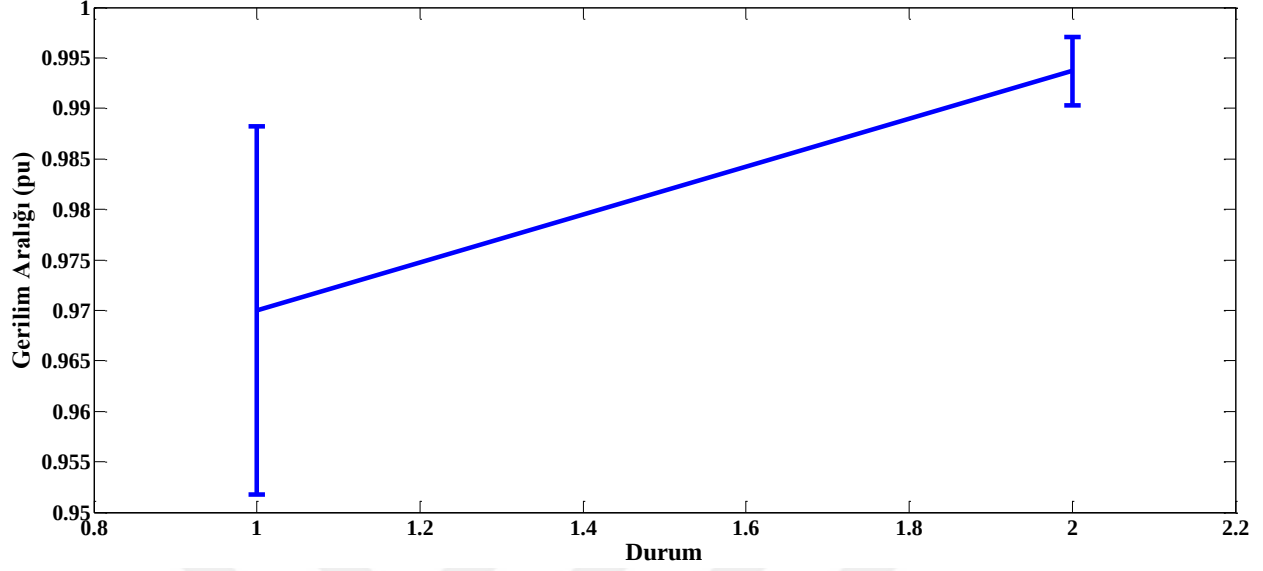
Şekil 29. Gün içindeki Tap Durumları

6.1.3. Sonuçların İstatiksel Analizi

Durum 1 ve Durum2'ye ait istatistiksel analiz, ortalama ve standart sapma gerilimi olarak Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda Durum 2'nin, Durum 1'e göre sistem iyileştirmesini daha etkin bir şekilde gerçekleştirdiği, gözlemlenmiştir.

Tablo 4: İstatiksel Analiz

Model	Ortalama Gerilimi	Standart Sapma Gerilimi
Durum 1	0.9700	0.0182
Durum 2	0.9937	0.0034



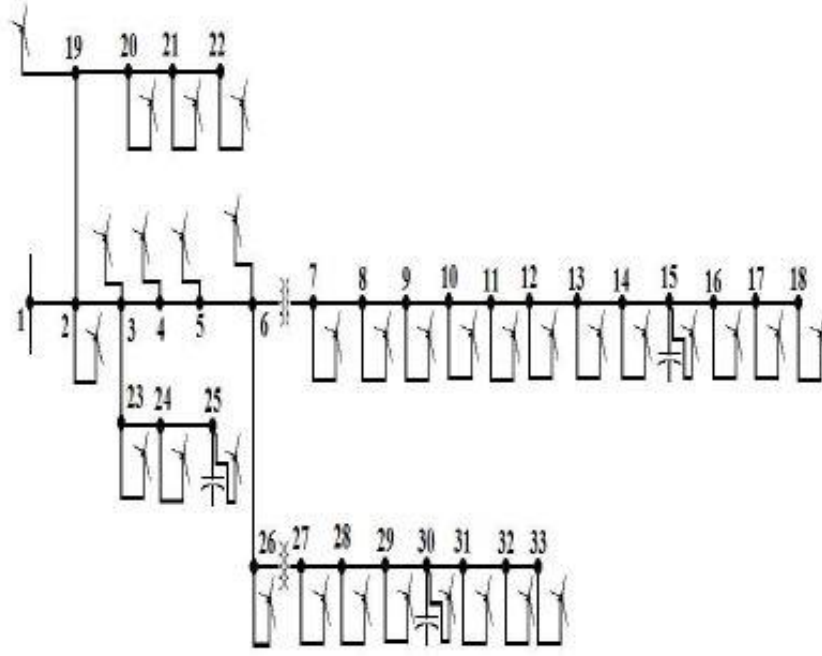
Şekil 30. Durum 1 ve 2 için Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

6.2. RÜZGAR TÜRBİNİ ENTEGRELİ SİSTEM

Sistem gerilimini 0.95 ile 1.05 pu arasında tutabilmek için daha iyi bir performans sergileyen rüzgar türbinleri, baralara bağlanmıştır. 2. baradan başlanarak, her bir baraya birer adet rüzgar türbini bağlanmış olup, toplamda 32 adet rüzgar türbini devreye girmiştir. Her bir rüzgar türbini gücü 100kW olup, gerçek veriler kullanılmıştır [41]. Sistemde kullanılan günlük rüzgar enerjisi verileri belirli olup, rüzgar gücü 24 saat dikkate alınarak, tablo şeklinde aşağıda verilmiştir.

Sistemdeki verimliliğin etkileyici faktörleri 3 farklı durumla değerlendirildi. Bu 3 farklı durum sırasıyla, baralara anahtarlamalı kapasitör bağlantısı, baralar arası regülatör bağlantısı ve invertör eklenmesi şeklindedir.

Tüm çalışmalar, günlük veri üzerinden, saat bazında değerlendirilmiştir. Sistemin bağlantı durumu, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 31. Rüzgar Türbin Entegreli 33 Baralı Sistem [42]

Tablo 5: Her bir rüzgar türbinin saat başı ürettiği güç(kW) [41]

Rüzgar Türbini No/Saat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	81	88	100	86	90	90	69	94	71	73	59	66	63	60	59	66	52	37	38	31	16	12	3	25
2	36	26	27	27	30	33	36	37	32	38	21	16	44	53	59	72	35	65	39	73	100	51	75	72
3	59	51	69	72	59	66	69	74	90	94	88	100	98	94	94	86	79	78	78	83	78	75	72	68
4	100	93	89	94	93	87	56	31	7	8	11	30	25	29	26	25	42	33	41	47	37	37	35	29
5	35	66	75	80	93	91	60	56	75	100	87	70	58	69	62	67	70	74	82	81	91	83	85	80
6	66	85	78	73	72	57	70	65	82	87	100	89	89	78	68	61	58	50	59	66	56	48	72	50
7	18	20	32	53	57	47	45	47	53	81	79	71	84	80	82	95	93	94	94	89	89	94	100	62

8	49	48	55	50	75	100	52	48	33	28	74	68	61	64	73	61	35	23	32	45	48	55	72	78
9	70	85	89	100	86	74	80	76	71	87	83	70	63	51	49	43	51	42	34	34	26	25	3	5
10	47	38	38	49	34	46	35	14	4	34	37	18	20	26	28	30	20	74	100	24	25	18	33	16
11	28	25	26	16	19	11	13	38	56	74	88	96	92	86	100	97	91	96	85	86	64	55	43	51
12	59	77	75	82	66	68	67	67	77	96	100	90	92	84	73	82	77	77	41	44	27	29	7	30
13	30	42	43	66	69	65	35	34	48	41	48	58	73	57	77	71	56	68	89	100	83	73	92	91
14	86	76	93	93	86	96	95	100	95	97	99	86	79	70	67	72	90	87	92	93	88	80	91	68
15	94	92	100	84	69	77	57	64	54	50	33	18	37	7	14	17	22	4	4	63	19	42	65	72
16	88	68	83	57	64	77	41	43	19	23	25	33	21	10	46	80	100	86	77	70	31	47	93	69
17	39	30	31	37	32	39	40	47	42	15	22	41	62	59	69	84	100	90	73	71	84	87	91	63
18	54	84	100	80	78	95	75	82	76	71	61	56	54	46	47	46	49	52	42	42	41	26	34	30
19	26	30	41	36	38	78	45	34	18	41	69	82	87	100	91	84	69	84	88	84	66	43	50	43
20	54	36	48	78	79	76	80	60	46	34	9	16	37	51	72	85	81	76	87	100	83	76	72	33
21	24	31	26	39	57	74	100	78	71	64	58	31	22	18	26	24	38	29	5	14	34	22	44	70
22	53	79	54	68	87	80	57	42	50	32	7	40	50	89	29	100	95	23	49	78	89	87	90	91
23	16	22	49	46	44	11	46	34	51	49	66	73	68	79	83	94	100	94	71	58	60	64	68	67
24	88	95	99	100	71	64	66	57	61	61	67	71	69	72	65	72	75	87	90	74	71	51	64	57
25	41	53	36	28	15	9	6	7	44	57	76	83	94	100	95	93	94	76	52	67	67	81	78	86
26	70	71	78	72	56	66	82	94	90	100	80	90	90	82	87	80	79	76	72	58	55	40	30	37
27	40	8	25	12	7	26	18	4	33	48	61	70	81	100	83	76	74	83	82	92	76	62	55	58

28	87	58	9	36	63	60	47	87	69	69	53	36	28	23	23	48	36	100	78	18	48	56	24	26
29	45	44	56	59	33	30	45	68	50	55	46	40	29	31	23	52	27	98	53	100	75	25	55	15
30	100	63	70	83	46	40	26	30	26	23	19	33	37	51	53	56	59	68	40	40	77	66	39	34
31	37	28	18	14	21	8	7	3	31	32	47	48	58	59	57	48	100	44	74	23	17	22	17	15
32	91	84	86	69	50	49	55	66	62	69	51	28	70	98	93	47	37	53	43	22	30	89	95	100

6.2.1. Kapasitörlü Sistem (Durum 1)

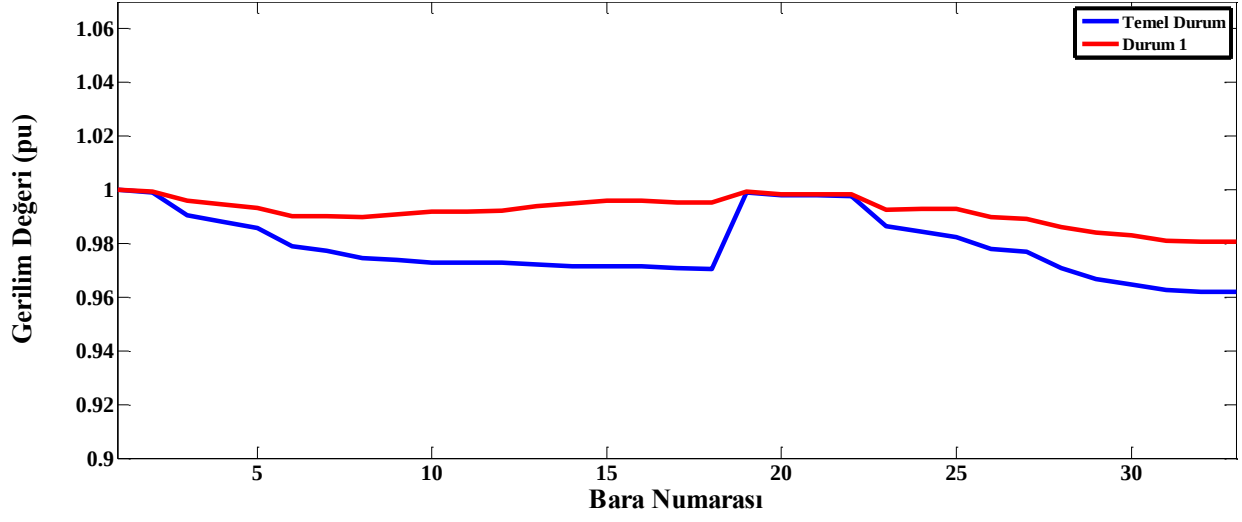
Optimizasyon prosesinde, rüzgar türbinli sistemde sadece kapasitör bulunma durumu incelenmiştir. Kapasitörler, kontrol cihazları olarak kullanılarak, gerilim saptmaları en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

3 adet kapasitör, maksimum reaktif gücü 300kVar olan ve her biri 10 farklı ayarlama seviyesine sahip anahtarlamalı kapasitör sisteme dahil edilmiştir. 3 adet kapasitör, her biri farklı baralara, 15. , 25. ve 30. no.lu baralara bağlanarak, sistem benzetimi gerçekleştirilmiştir.

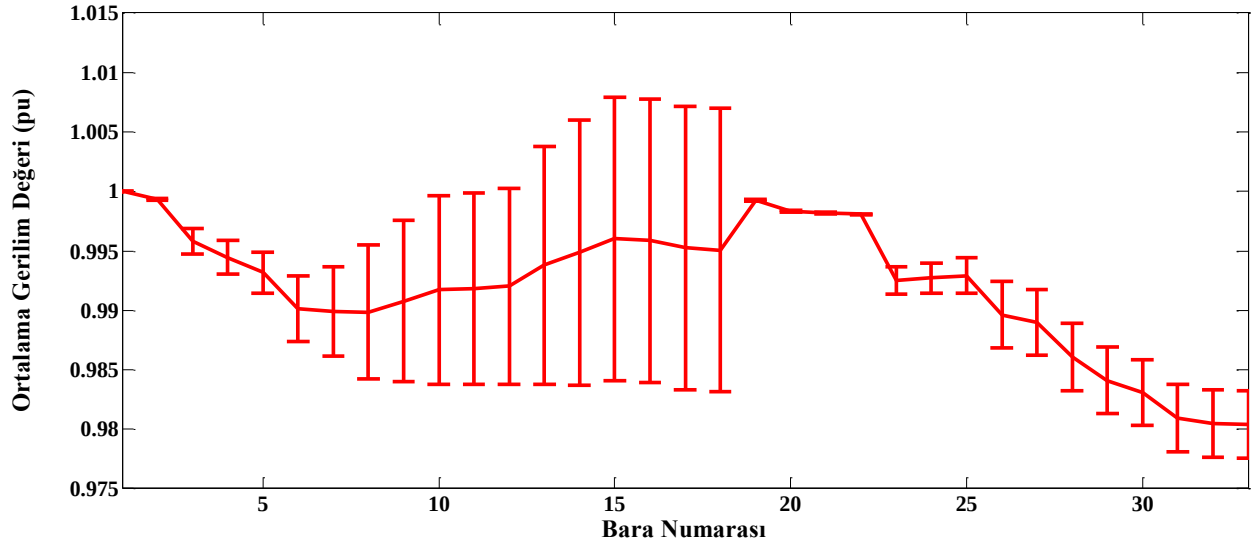
Matematiksel ifadesi;

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \\ &X \quad \sum_{t=1}^{\text{günsonu}} \sum_{i=1}^N |V_{it} - 1|^2 \\ &\text{eşitsizliğine bağlı} \quad 0.95 \leq V_i \leq 1.05 \\ &\quad \quad \quad Kap_{\min} \leq Kap_i \leq Kap_{\max} \end{aligned}$$

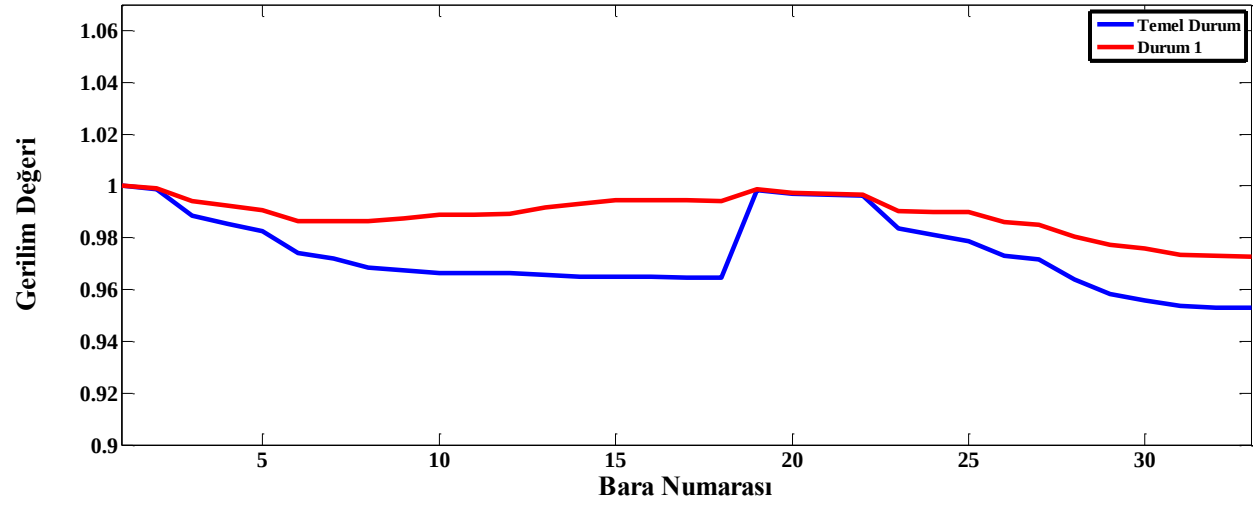
- ❖ SKA optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen 8, 17 ve 20 saatleri için grafiksel sonuçlar aşağıdaki gibidir. Elde edilmiş olan değerlerin Ortalama - Standart Sapma gerilim grafiği aşağıda gösterildiği gibidir.



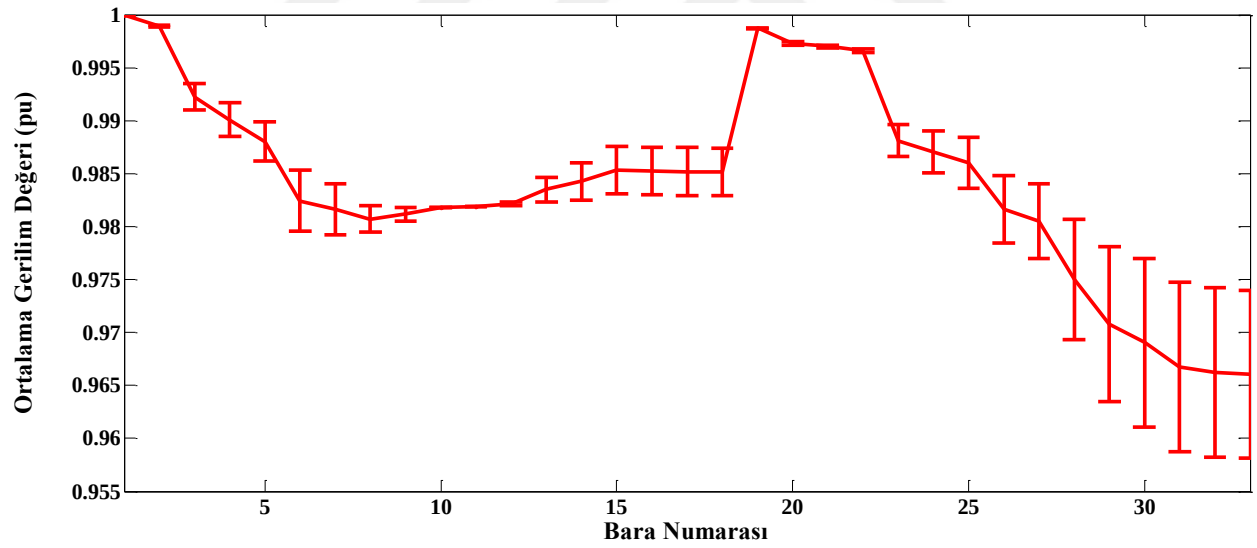
Şekil 32. Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği



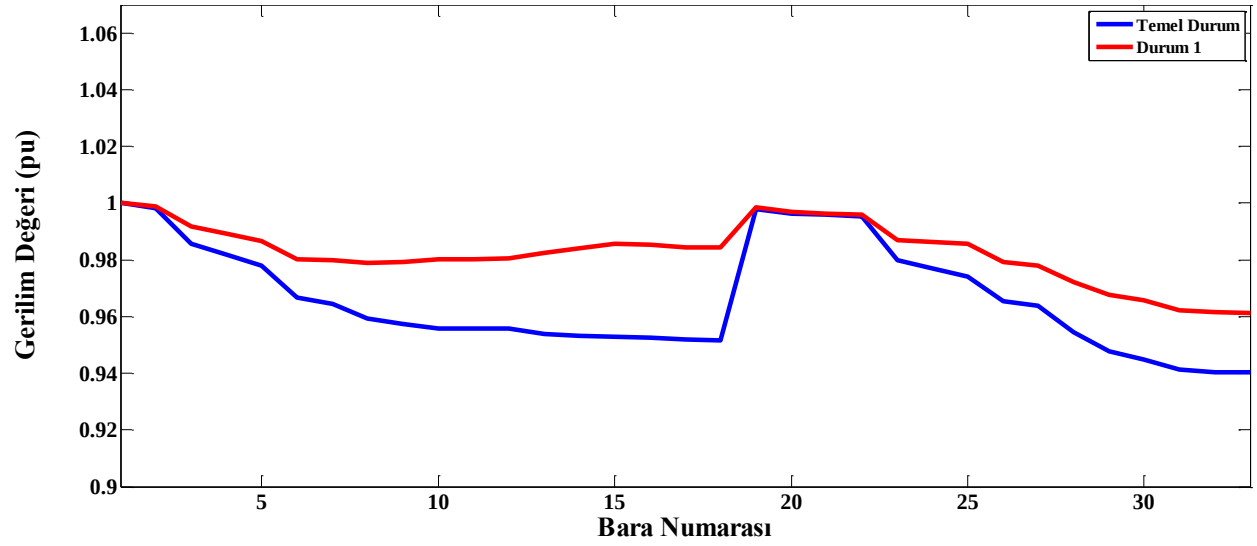
Şekil 33. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği



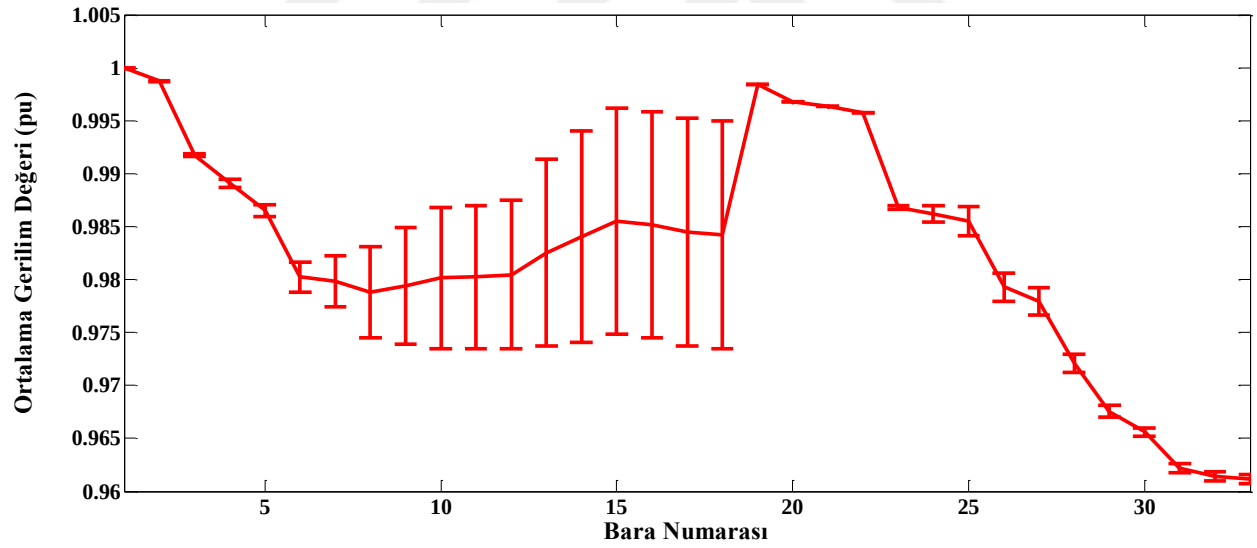
Şekil 34. Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği



Şekil 35. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

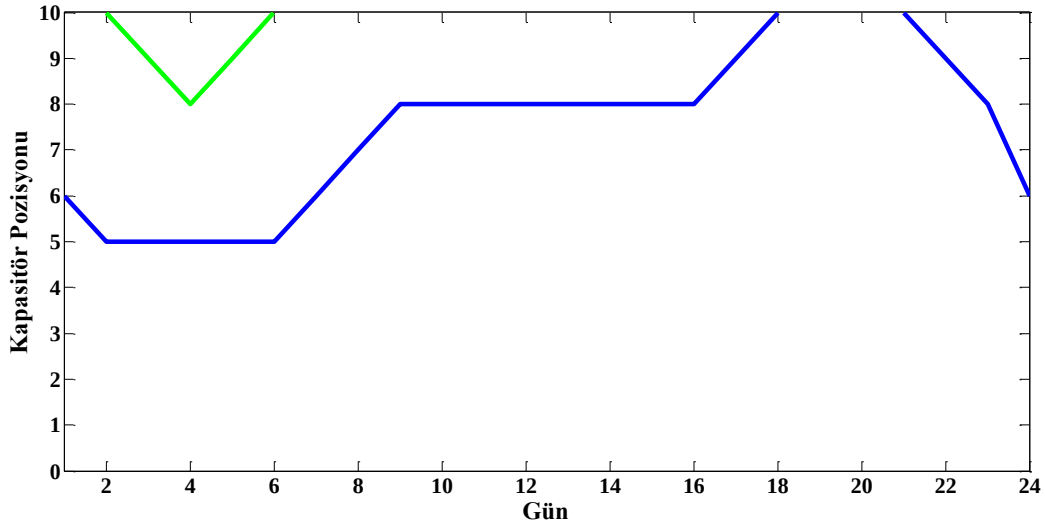


Şekil 36. Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği



Şekil 37. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

Her üç saat için çizilen profillerde, baralara kapasitörler bağlı ikenki, Durum 1, Temel duruma göre, sistemin gerilim durumunu iyileştirmiştir.



Şekil 38. Gün içindeki Kapasitör Durumları

6.2.2. Kapasitörlü, Regülatörlü Sistem (Durum 2)

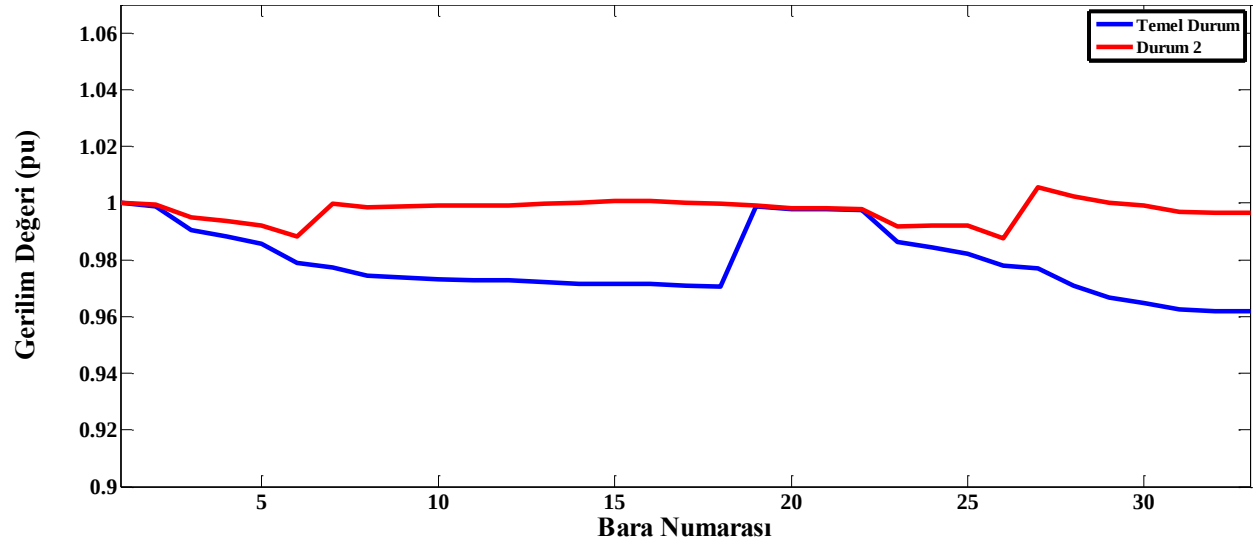
Rüzgar türbinli sistemde kapasitör ve regülatör bulunma durumu incelenmiştir. Kapasitörler ve regülatörler, kontrol cihazları olarak kullanılarak, gerilim saptmaları en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Mevcut konumunda 3 adet kapasitör ile beraber,er biri -16 ile +16 arasında değışen seviyelere sahip, iki adet regülatör 6. ve 7. ile 26. ve 27. baralar arasına bağlanarak, sistem benzetimi gerçekleştirilmiştir.

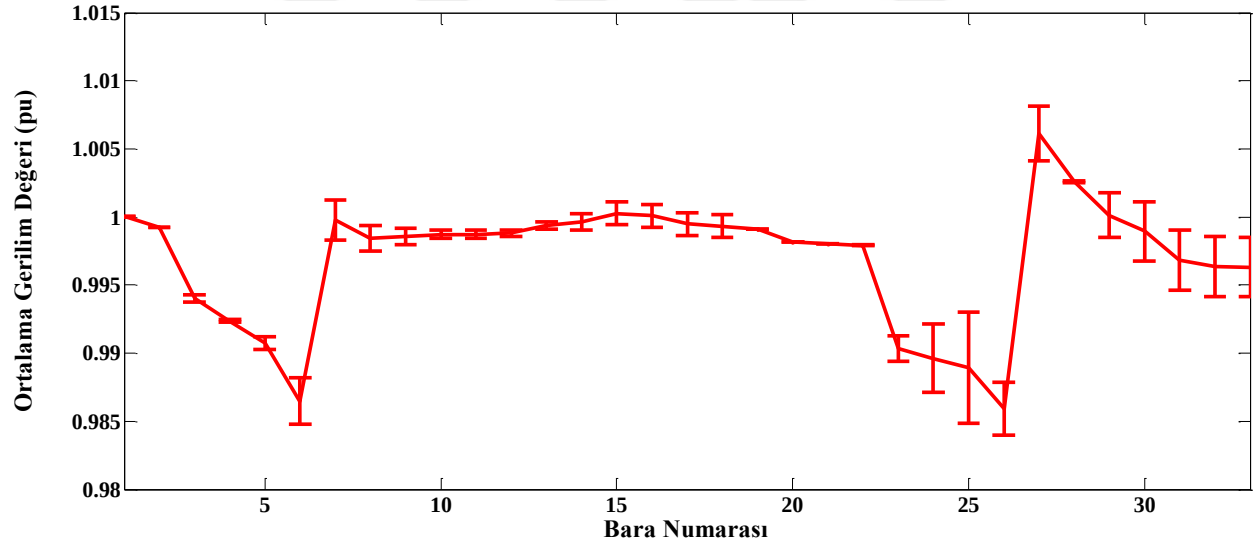
Matematiksel ifadesi;

$$\begin{aligned}
 &\text{minimize} \\
 &X \quad \sum_{t=1}^{\text{günsonu}} \sum_{i=1}^N |V_{it} - 1|^2 \\
 &\text{eşitsizliğine bağlı} \quad 0.95 \leq V_i \leq 1.05 \\
 &\quad \quad \quad Kap_{\min} \leq Kap_i \leq Kap_{\max} \\
 &\quad \quad \quad Tap_{\min} \leq Tap_i \leq Tap_{\max}
 \end{aligned}$$

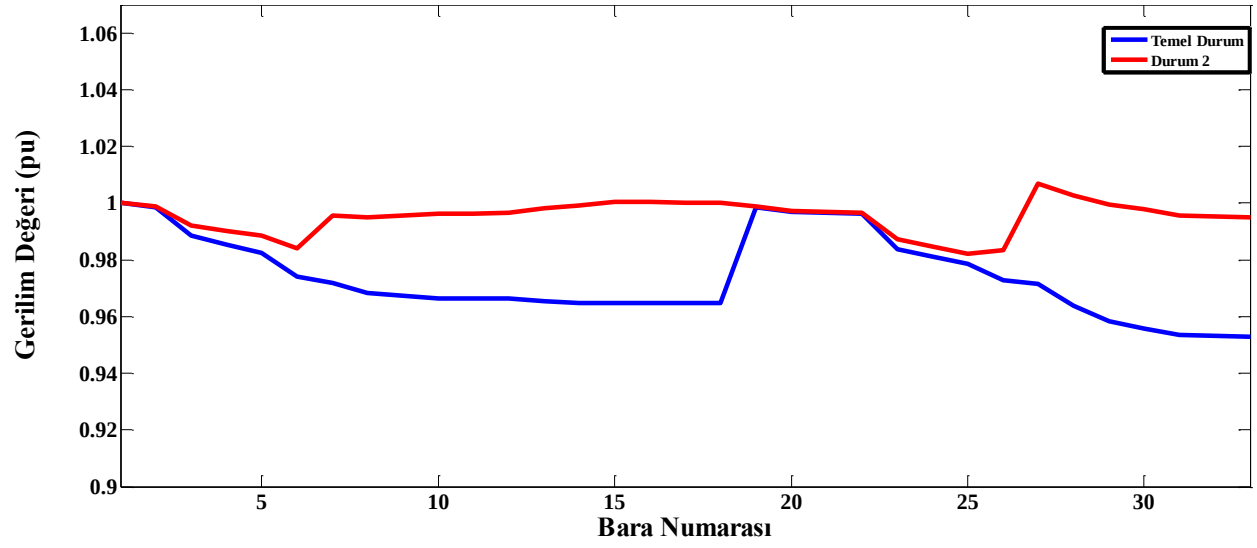
- ❖ SKA optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen 8, 17 ve 20 saatleri için grafiksel sonuçlar aşağıdaki gibidir. Elde edilmiş olan değerlerin Ortalama - Standart Sapma gerilim grafiğı aşağıda gösterildiğı gibidir.



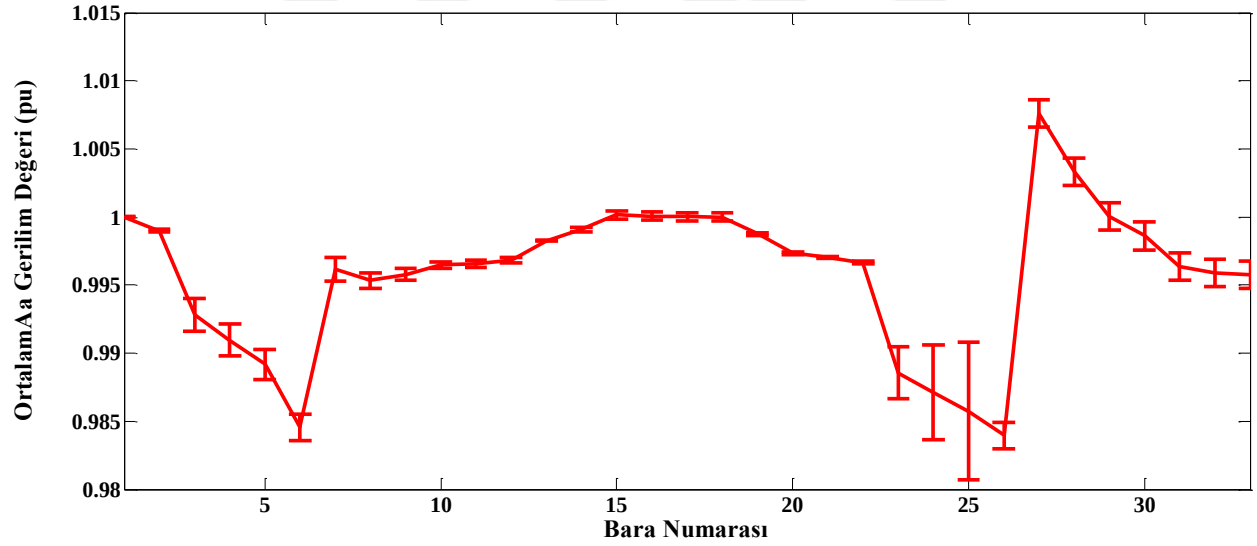
Şekil 39. Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği



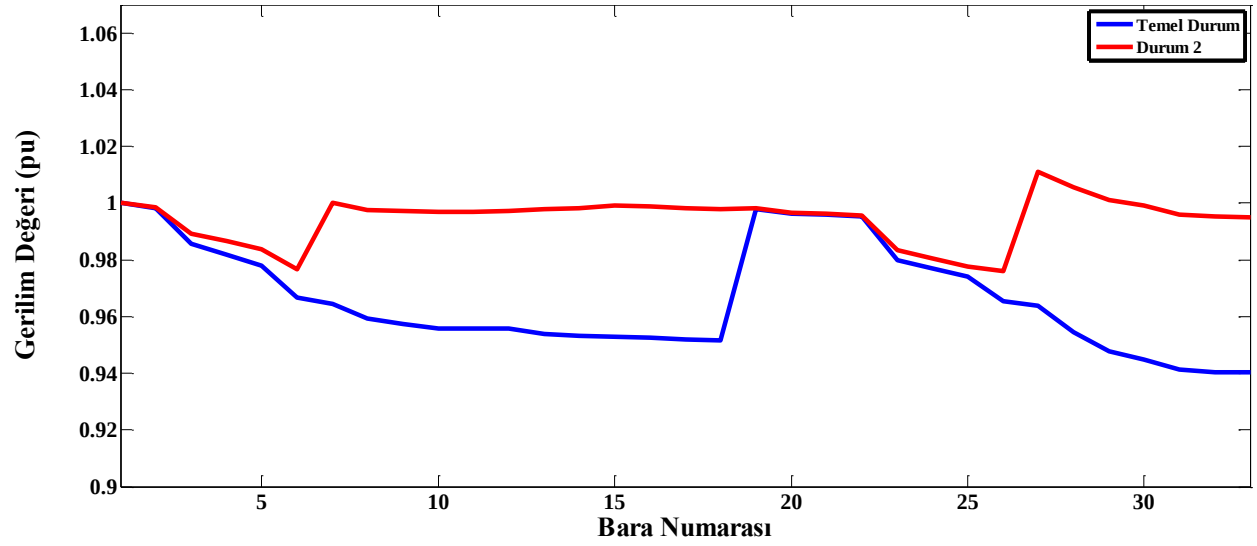
Şekil 40. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği



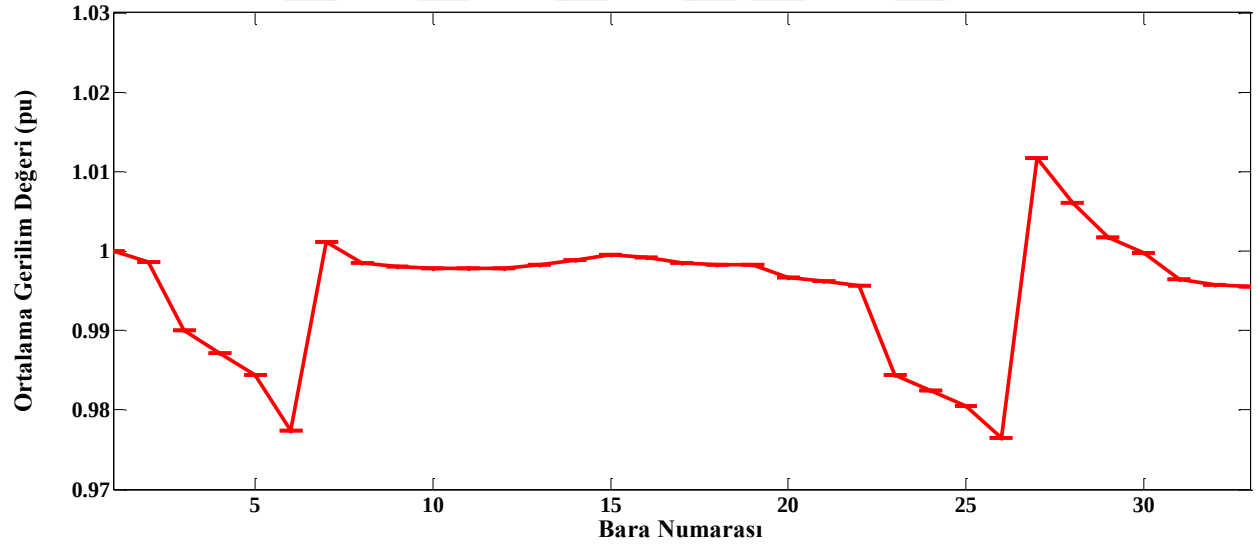
Şekil 41. Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği



Şekil 42. Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

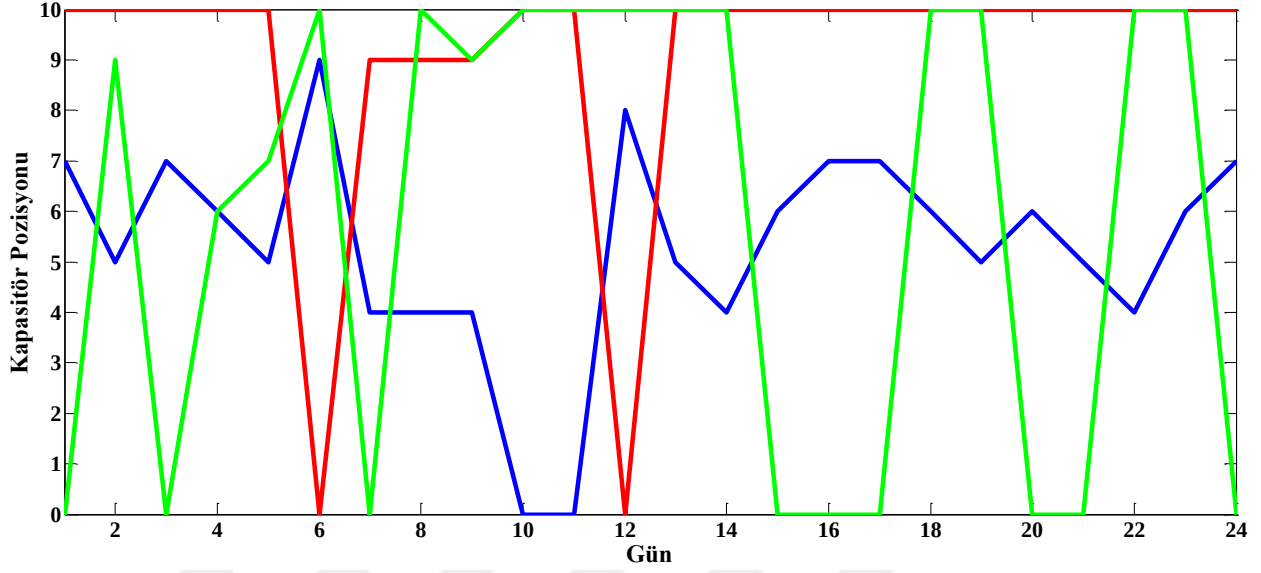


Şekil 43. Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği

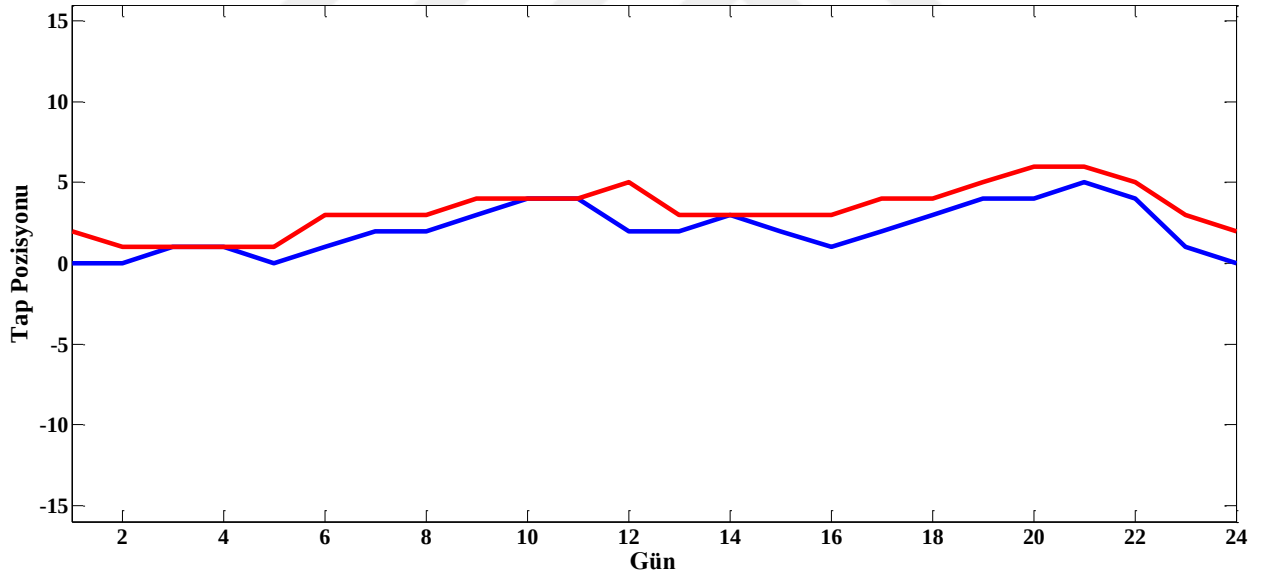


Şekil 44. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

Her üç saat için çizilen profillerde, baralara kapasitörler bağlı ikenki, Durum 1 ve Temel duruma göre, regülatörlerin devreye girmesiyle, sistemin gerilim durumu iyileşmiştir.



Şekil 45. Gün içindeki Kapasitör Durumları



Şekil 46. Gün içindeki Tap Durumları

6.2.3. Kapasitörlü, Regülatörlü, İnvörtörlü Sistem (Durum 3)

Rüzgar türbinli sistemde kapasitör, regülatör ve invertör bulunma durumu incelenmiştir. Kapasitörler, regülatörler ve invertörler kontrol cihazları olarak kullanılarak, gerilim sapmaları en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

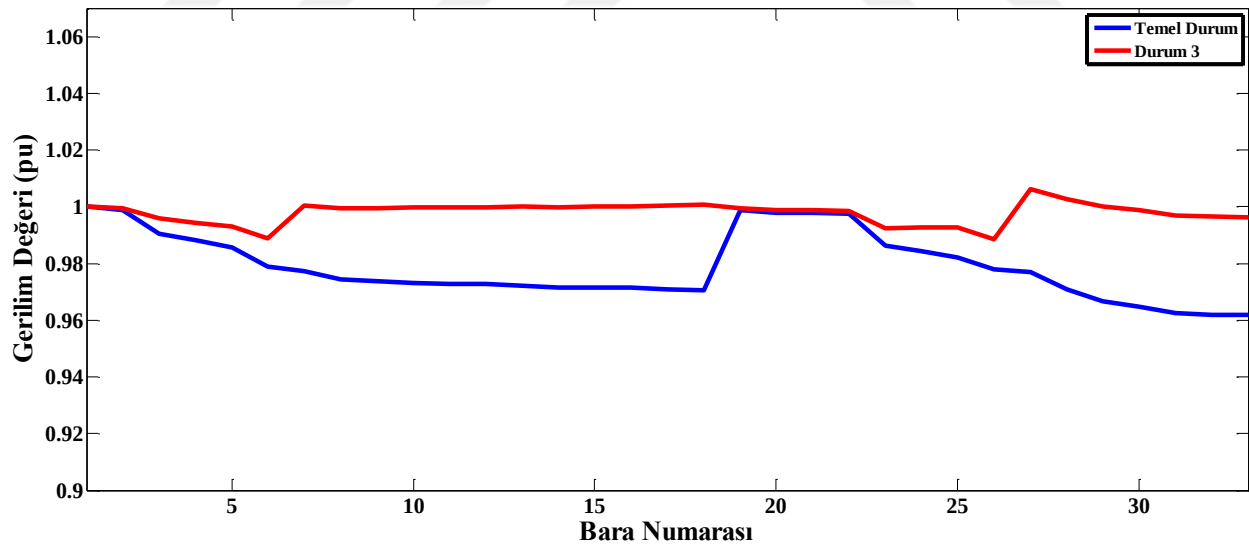
Gerilim kontrolü, reaktif güç kullanılarak gerçekleştirilebildiği için, sisteme invertör kullanımı dahil edilmiştir.

Mevcut konumlarında 3 adet kapasitör ve iki adet regülatör ile beraber 32 adet rüzgar türbininin (ilk rüzgar türbini hariç) her birine birer adet invertör bağlanarak, sistem benzetimi gerçekleştirilmiştir.

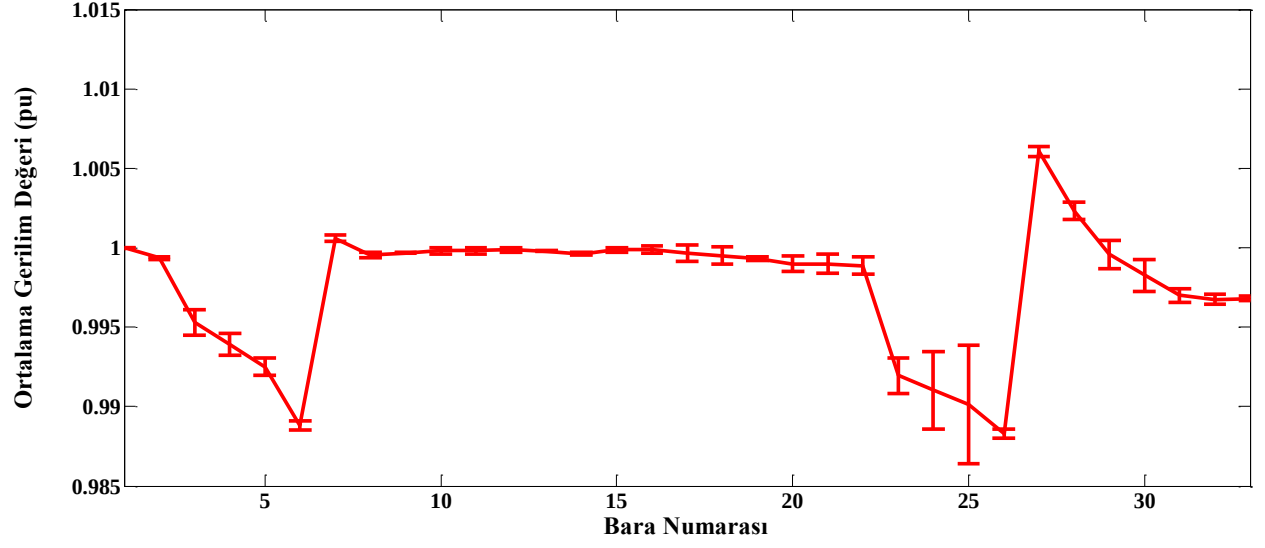
Matematiksel ifadesi;

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \\ & X \quad \sum_{t=1}^{\text{günsonu}} \sum_{i=1}^N |V_{it} - 1|^2 \\ & 0.95 \leq V_i \leq 1.05 \\ & \text{eşitsizliğine bağlı} \quad Kap_{\min} \leq Kap_i \leq Kap_{\max} \\ & \quad \quad \quad Tap_{\min} \leq Tap_i \leq Tap_{\max} \\ & \quad \quad \quad Q_{RT} \leq +\sqrt{S_{RT}^2 - P_{RT\text{ÇIKTI}}^2} \\ & \quad \quad \quad Q_{RT} \geq -\sqrt{S_{RT}^2 - P_{RT\text{ÇIKTI}}^2} \end{aligned}$$

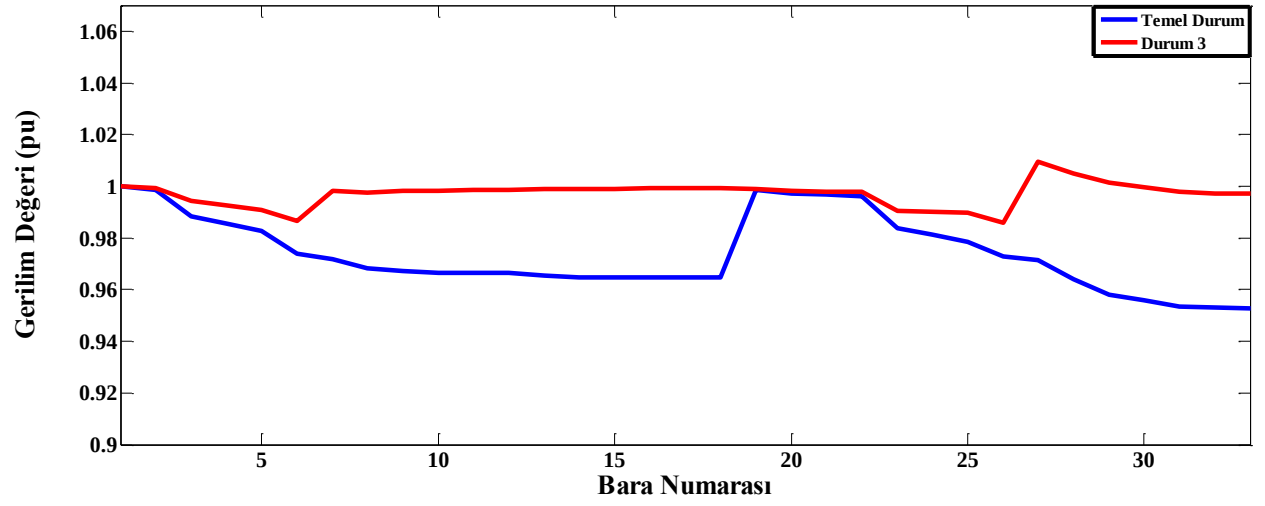
- ❖ SKA optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen 8, 17 ve 20 saatleri için grafiksel sonuçlar aşağıdaki gibidir. Elde edilmiş olan değerlerin Ortalama - Standart Sapma gerilim grafiği aşağıda gösterildiği gibidir.



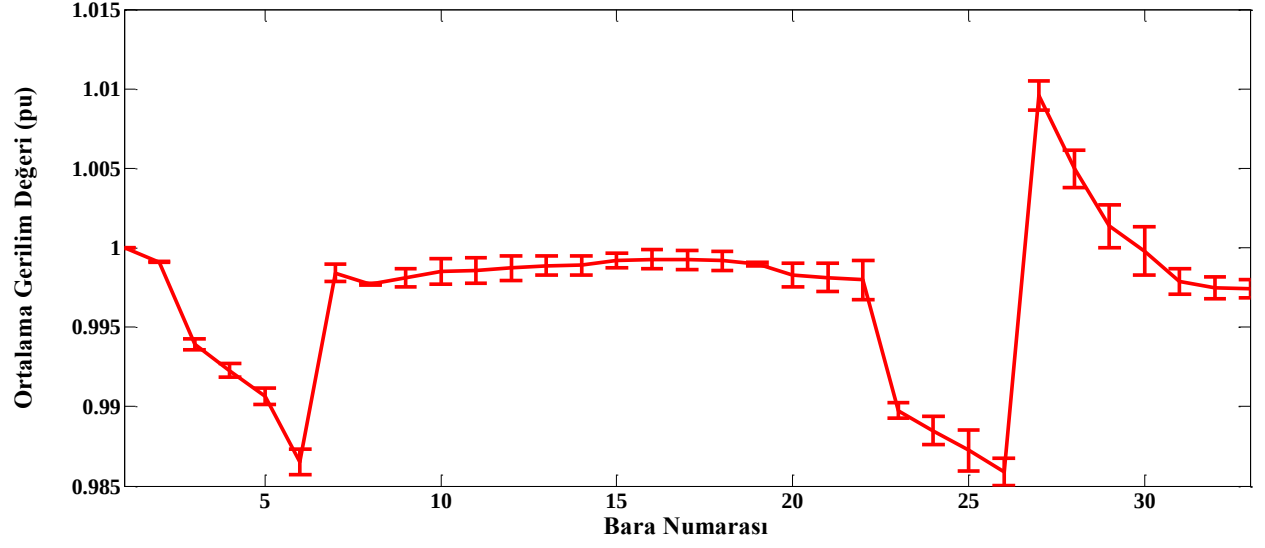
Şekil 47. Saat 08.00'daki Gerilim Grafiği



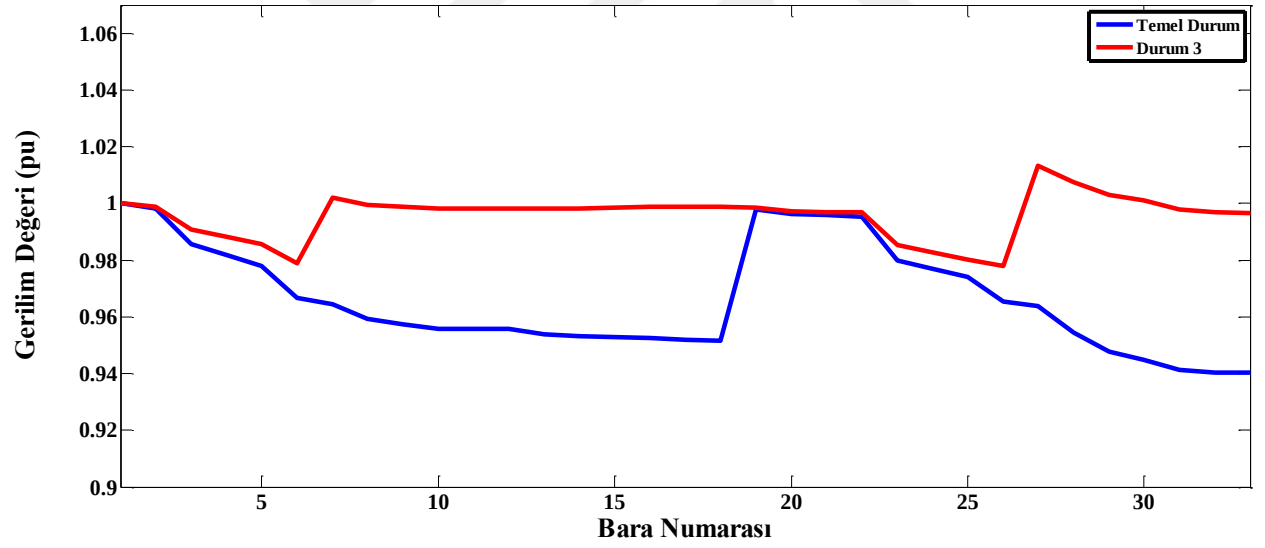
Şekil 48. Saat 08.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği



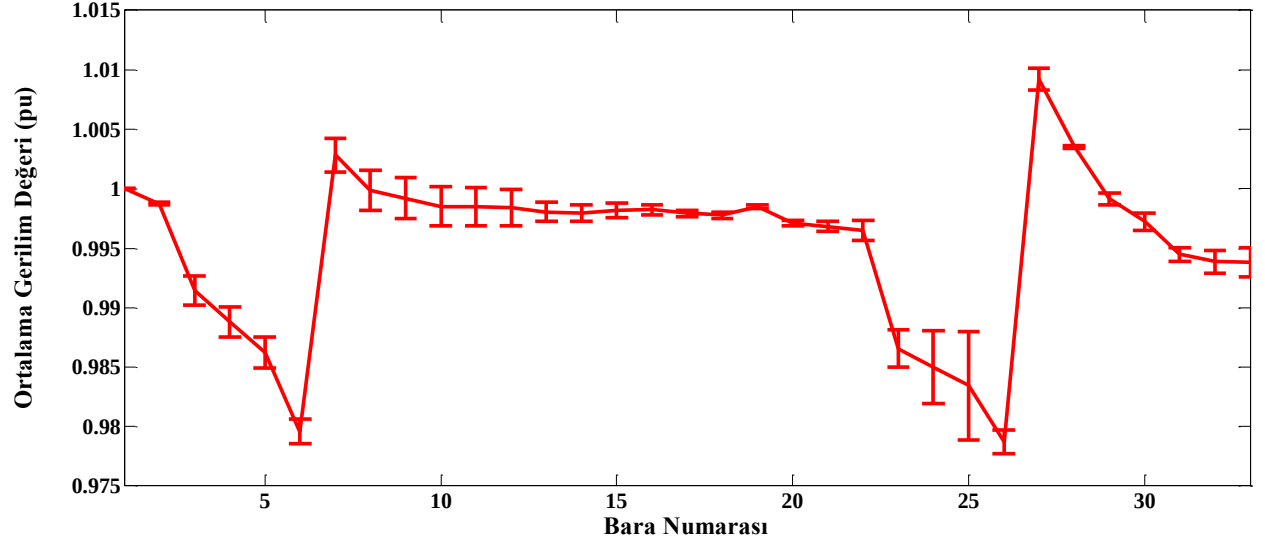
Şekil 49. Saat 17.00'daki Gerilim Grafiği



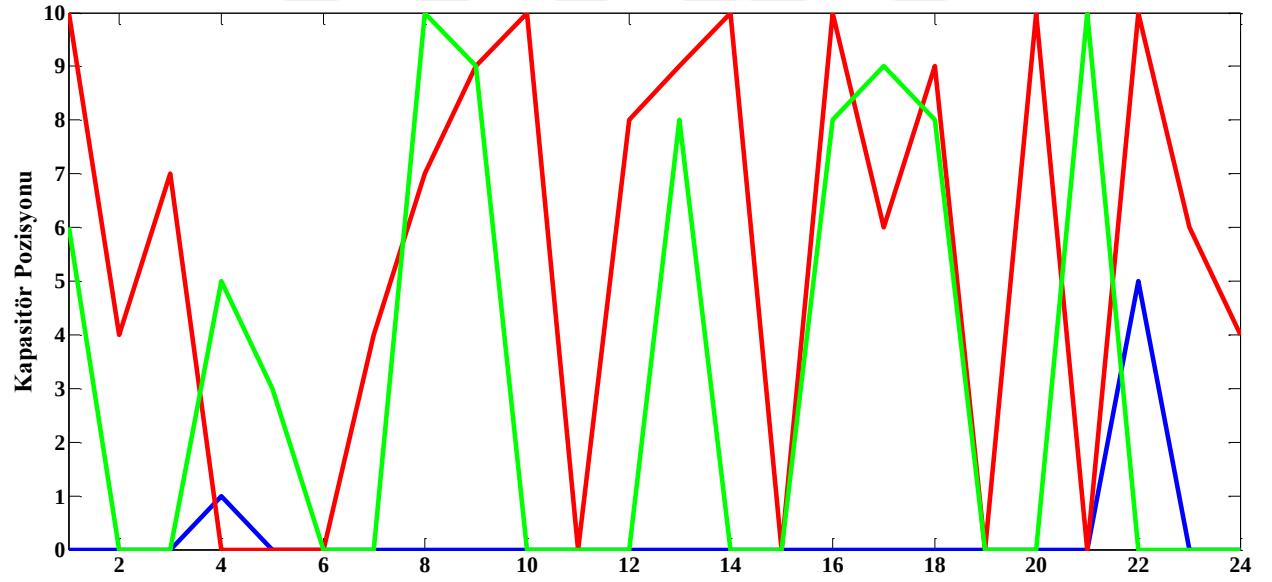
Şekil 50. Saat 17.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği



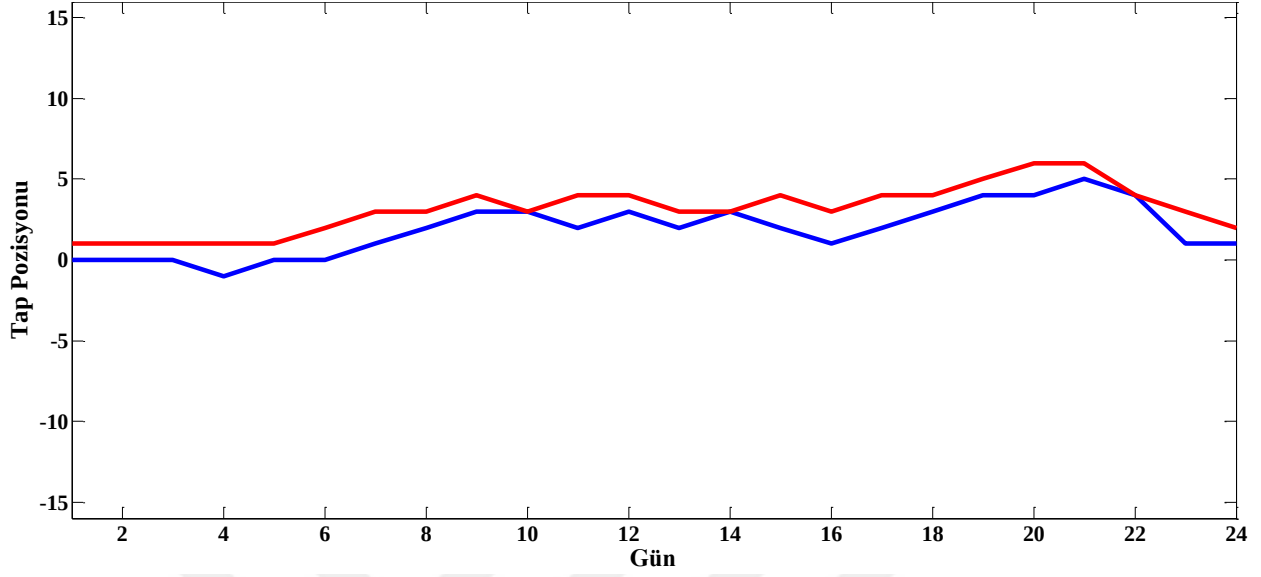
Şekil 51. Saat 20.00'daki Gerilim Grafiği



Şekil 52. Saat 20.00'daki Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği



Şekil 53. Gün içindeki Kapasitör Durumları



Şekil 54. Gün içindeki Tap Durumları

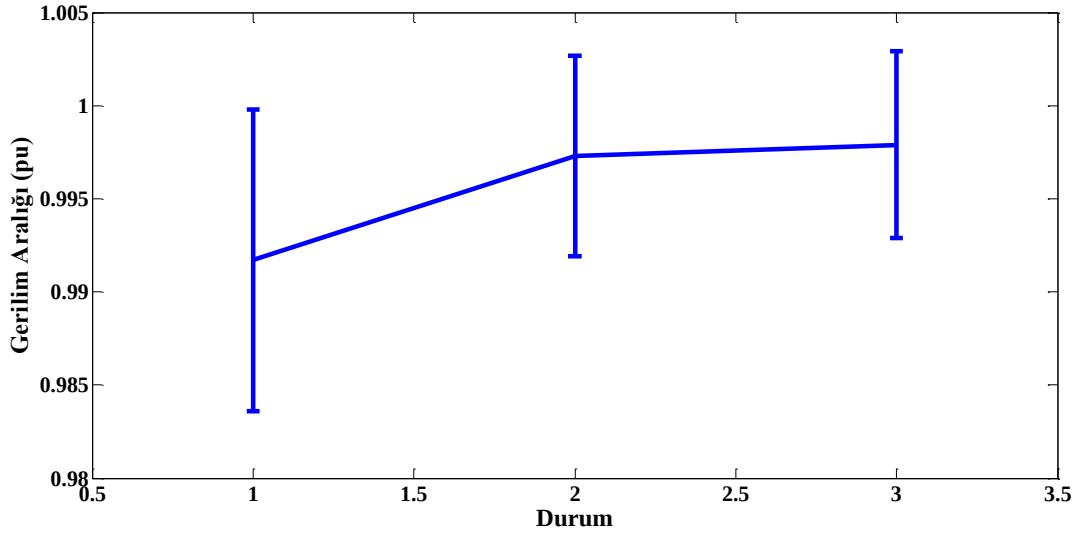
6.2.4. Sonuçların İstatiksel Analizi

Durum 1, Durum 2 ve Durum 3'e ait istatistiksel analiz, ortalama ve standart sapma gerilimi olarak Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo'da, Durum 3'ün, Durum 1 ve Durum 2'ye, Durum 2'nin ise, Durum 1'e, göre sistem iyileştirmesini daha etkin gerçekleştirdiği, gözlemlenmiştir.

Tablo 6: İstatiksel Analiz

Model	Ortalama Gerilimi	Standart Sapma Gerilimi
Durum1	0.9917	0.0081
Durum 2	0.9973	0.0054
Durum 3	0.9979	0.0050



Şekil 55. Durum 1, 2 ve 3 için Ortalama - Standart Sapma Gerilim Grafiği

7. SONUÇ

Sistem iki farklı durum için incelenmiştir.

Rüzgar türbini entegreli olmayan ilk durumda, devrede kapasitör bulunma durumu (Durum 1) ile devrede hem kapasitör hem regülatör bulunma durumu (Durum 2) için veriler alınmıştır. Elde edilen veriler, Durum 2'nin sistem iyileştirmesini daha etkin bir şekilde gerçekleştirdiğini göstermektedir. İstatiksel veri analizi, sonuçları doğrulamaktadır.

Rüzgar türbini entegreli olan ikinci durumda, üç farklı durum incelenmiştir. Bunlar kendi içinde kıyaslandığında, devrede kapasitör bulunma durumu (Durum 1), devrede hem kapasitör hem regülatör bulunma durumu (Durum 2) ve devrede hem kapasitör hem regülatör hem de invertör bulunma durumu (Durum 3) sırasıyla; Durum 3, Durum 2 ve Durum 1'den, Durum 2, Durum 1'den daha iyi bir performans göstermiştir. Elde edilen istatiksel analizler, sonuçları doğrulamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Şenel, M. C. 2012. “Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları- Dinamik Davranış,” Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye
- [2] <http://www.enerji.gov.tr>, 2017
- [3] BP Statistical Review of World Energy, 2012. British Petroleum (BP), London, UK
- [4] X. Zhang, W. Pei, W. Deng, Y. Du, Z. Qi, and Z. Dong, “Emerging smart grid technology for mitigating global warming,” International Journal of Energy Research, vol. 39, no. 13, pp. 1742–1756, 2015, eR-14-5004.R1. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/er.3296>
- [5] Çukurova Kalkınma Ajansı (ÇKA), (2010), 2010-2013 Çukurova Bölge Planı Mevcut Durum Analizi
- [6] J. Twidell and T. Weir, Renewable Energy Resources, 2015
- [7] S. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, and A. Louche, “Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in corsica island,” Energy Policy, vol. 36, no. 2, pp. 743 – 754, 2008. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421507004788>
- [8] R. Saidur, M. Islam, N. Rahim, and K. Solangi, “A review on global wind energy policy,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, no. 7, pp. 1744 – 1762, 2010. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110000626>
- [9] F. Blaabjerg and K. Ma, “Future on power electronics for wind turbine systems,” IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 1, no. 3, pp. 139–152, Sept 2013
- [10] Kürşat TANRIÖVEN, Serdal YARARBAŞ, Hadi CENGİZ, “GELECEĞİN ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİ SMART GRİD”, Kayseri ve Civarı Elk.T.A.Ş. , Kayseri, 2017
- [11] Barış SANLI, Agah HINC, “Smart Grid (Akıllı Sebekeler)” : Türkiye’de Neler Yapılabilir?

[12] Oktay Erdem , “AKILLI ŞEBEKELRDE”, 2017

[13] <http://www.enerji.gen.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.html>, 2017

[14] Y. Chikhani, M.M.A. Salama, H.N.Ng, “Classification of Capacitor Allocation Techniques”, Vol.15, No.1, IEEE Transactions on Power Delivery, 2000

[15] AlRashidi, M.R. and El-Hawary, M.E., “Hybrid Particle Swarm Optimization Approach for Solving Discrete OPF Problem Considering the Valve Loading Effects,” IEEE Trans. on Power Systems, 22, 2030–2038, 2007

[16] Leeton, U., Uthitsinthorn, D., Kwannetr, U., Sinsuphun, N. and Kulwirawanichpong, T., “Power Loss Minimization Using Optimal Power Flow Based on Particle Swarm Optimization,” ETI-CON 2010 Int. Conference, 19-21 Mayıs 2010

[17] Vaisakh, K., Sridhar, M., Murthy, K.S., "Differential Evolution Algorithm for Reduction of Network Loss and Voltage Instability," NaBIC, 9-11 Aralık 2009

[18] Sumpavakup, C., Srikun, I., and Chusanapiputt, S., "A Solution to The Optimal Power Flow Using Artificial Bee Colony Algorithm," International Conference of Power System Technology, 24-28 Ocak 2010

[19] Oliveira, C.B.M., Medeiros, M.F., Oliveira, J.T., "New Method Based in Particle Swarm Optimization for Power Dactor Remote Control and Loss Minimization in Power Systems with Wind Farms Connected," ISAP'09, 8-12 Kasım 2009

[20] Malik, I.M. and Srinivasan, D., "Optimum power flow using flexible genetic algorithm model in practical power systems," IPEC Conference Proceedings, 27-29 Ocak 2010

[21] Seyedali Mirjalilia, “SCA:A Sine Cosine Algorithm for solving optimization problems”

A school of information and Communication Technology Griffith University, Nathan Campus, Brisbane QLD4111 Australia, bGriffith College, MtGravatt, Brisbane, QLD4122, Australia

[22] <http://www.elektrikport.com>, 2017

- [23] İran'dan Hollanda'ya Yel Değirmeni, from <http://tarihvemedeniyet.org/2009/08/irandan-hollandaya-yel-degirmeni/>, 2017
- [24] Heron of Alexandria, from wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Heron_of_Alexandria, 2017
- [25] Windmill from wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Windmill>, 2017
- [26] Dantzig, G.B. (1949a). "Programming in a Linear Structure," Report of the September 9, 1948 meeting in Madison, *Econometrica* 17, 73–74
- [27] M.R AlRashidi and M.E El-Hawary, "Hybrid Particle Swarm Optimization Approach for Solving the Discrete OPF Problem Considering the Valve Loading Effects," *IEEE Transactions on Power Systems*, Issue 4, Vol. 22, pp.2030-2038, 2007
- [28] Vaisakh, K., Sridhar, M., Murthy, K.S., "Differential Evolution Algorithm for Reduction of Network Loss and Voltage Instability," *NaBIC*, 9-11 Aralık 2009
- [29] Sumpavakup, C., Srikun, I., and Chusanapiputt, S., "A Solution to The Optimal Power Flow Using Artificial Bee Colony Algorithm," *International Conference of Power System Technology*, 24-28 Ocak 2010
- [30] Oliveira, C.B.M., Medeiros, M.F., Oliveira, J.T., "New Method Based in Particle Swarm Optimization for Power Factor Remote Control and Loss Minimization in Power Systems with Wind Farms Connected," *ISAP'09*, 8-12 Kasım 2009
- [31] Malik, I.M. and Srinivasan, D., "Optimum power flow using flexible genetic algorithm model in practical power systems," *IPEC Conference Proceedings*, 27-29 Ocak 2010
- [32] Amir Beck Technion-Israel Institute of Technology Kfar Saba, "INTRODUCTION TO NONLINEAR OPTIMIZATION", Israel, 2014
- [33] P. Dutta and A. K. Sinha, "Voltage Stability Constrained Multi-objective Optimal Power Flow using Particle Swarm Optimization," 1st International Conference on Industrial and Information Systems, pp. 161-166, 8-11 August, 2006

- [34] Numphetch Sinsuphun, Uthen Leeton, Umaporn Kwannetr, Dusit Uthitsunthorn, Thanatchai Kulworawanichpong, "Loss Minimization Using Optimal Power Flow Based on Swarm Intelligences", ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS, AND COMMUNICATIONS VOL.9, NO.1 February 2011
- [35] test fn: www.sfu.ca (Simon Fraser University), 2017
- [36] <http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp> (Kyoto University), 2017
- [37] W. H. Kersting, Distribution System Modeling and Analysis, 2012
- [38] <http://www.powersystem.org/media/articles/pse-fall15-web.pdf>, 2017
- [39] <http://ieeexplore.ieee.org>, 2017
- [40] "National grid load profiles," available at <https://www9.nationalgridus.com/niagaramohawk/business/rates/5\load\profile.asp>, 2017.
- [41] "Idaho wind data," available at <http://coen.boisestate.edu/windenergy/wind-data/>, 2017
- [42] Seyhan Tural, Oğuzhan Ceylan, Sumit Paudyal, "Optimal Voltage Control in Distribution Feeders with Large Penetration of Wind" UPEC 2017 52st International Universities Power Engineering Conference, 29 August - 1 September 2017