

Bölgesel Rezerv Gereksinimini Dikkate Alan Optimum Santral Bakım Planlama Yaklaşımı Geliştirilmesi

Optimum Generation Maintenance Scheduling Considering Regional Reserve Constraints

Yusuf Yanık¹, İsmail Elma¹, Melih Bilgen¹, Fatih İrez², Soykan Nohut²

¹TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Teknolojileri
yusuf.yanik@tubitak.gov.tr, ismail.elma@tubitak.gov.tr, melih.bilgen@tubitak.gov.tr

²Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
fatih.irez@teias.gov.tr, soykan.nohut@teias.gov.tr

Özet

Bakım çalışmaları sistem ekipmanlarının ömrünü ve sistem arz güvenliğini artırırken, ekipman arızaları ve kesintilerden kaynaklanan işletme ve bakım maliyetlerini azaltmaktadır. Bu sebeple santral bakım planlaması (SBP) güç sistemlerinde işletme, kontrol ve sistem güvenilirliğinin sağlanması için gerekli bir uygulama olup sistemin ekonomik ve güvenli bir şekilde işletilmesinde önemli bir yere sahiptir. SBP ülkemizde iletim sistemi operatörü tarafından sistem kısıtları ve arz güvenliği dikkate alınarak santral işletmecilerinin ilettiği bakım planlarının koordine edilmesi ve düzenlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmanın amacı SBP'nin bir optimizasyon problemi olarak tanımlanması ile sistem kısıtları ve yenilenebilir enerji kapasite kullanımları dikkate alınarak arz güvenliğinin sağlanması ve santral bakım planlamasının gerçekleştirilmesidir. Bu bağlamda çalışmada, net rezerv kapasitesini maksimize etmeyi hedefleyen santral bakım çizelgesi, bölgesel minimum üretim gereksinimleri ve bakımdaki ardışıklık dikkate alınarak belirlemek için tamsayı doğrusal programlama optimizasyon yaklaşımı kullanılmaktadır. Ayrıca çalışmada geliştirilen sistem ile 2022 yılı Türkiye iletim sistemi için bakım programı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Santral bakım planlama, Optimizasyon

Abstract

While maintenance efforts increase the life span of the equipment in the system and the security of supply, it reduces operating and maintenance costs and unexpected events that occur due to equipment malfunctions and interruptions. For this reason, generation maintenance scheduling (GMS) is required for the operation, control and reliability of power

systems and plays an important role in the economic and safe operation of the system. The aim of this study is to define SBP as an optimization problem and to ensure supply security and power plant maintenance planning optimization by taking into account system constraints and renewable energy capacity uses. In this regard, mixed integer linear programming optimization approach is utilized to determine maintenance schedule that aims to maximize net reserve capacity while taking minimum regional generation necessities and adjacency in maintenance into account. In addition, with the system developed in the study, the maintenance program for the transmission system of Turkey in 2022 was carried out and the results were discussed.

Keywords: Generation maintenance scheduling, optimization

1. Giriş

Santral bakımı teçhizatların ömrünü uzatırken beklenmedik kesinti ve arızaları azaltmaktadır. Bakım işlemi net rezerv kapasitesi ve ağ kısıtlamaları açısından sistemin güvenilir bir şekilde işletilmesi için önemlidir.

Modern güç sistemleri çok sayıda üretim birimine ve gün geçtikçe azalan rezerv miktarına sahip olan kompleks bir yapıdadır. Bu nedenle güç sistemindeki üretim birimlerinin bakım planlaması, sistem tasarımı, planlaması ve işletme yönetiminde büyük bir öneme sahiptir. [1]

SBP yapılırken arz güvenliği, sistem güvenilirliği ve kullanılabilir maksimum net rezerv kapasitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum SBP'yi bir optimizasyon problemine çevirmektedir. Bu çalışmada SBP problemi, orta vadeli (bir yıllık) olarak sistem net rezerv kapasitesini maksimize etmeyi amaçlayan bir optimizasyon problemi olarak modellenmiştir

Çalışmada kullanılan optimizasyon yönteminin amacı net rezerv kapasitesini maksimize etmek ve sistemin işletme maliyetini minimize etmek iken diğer yandan da sistem kısıtlarının yerine getirilmesidir.

Literatürde üretim bakım çizelgeleme problemleri için önerilen çözüm yöntemleri, matematiksel programlama yaklaşımları, sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler, kısıt programlama ve oyun teorisi altında geniş bir şekilde gruplandırılabilir [2]. Matematiksel programlama grubu altında, tamsayı doğrusal programlama ve dinamik programlama yaklaşımları görülmektedir [3]-[4]. Sezgisel yöntemler ve meta-sezgisel yöntemler arasında genetik algoritma teknikleri, parçacık sürüşü optimizasyonu, benzetilmiş tavlama, tabu arama, bilgiye dayalı modeller vb. [5], [6], [7] bulunur. Bu teknikler, iyileştirilmiş sonuçlar elde etme arayışı içinde birbirleriyle birleştirilebilir.

Bu çalışmada, SBP probleminin çözümü için tam sayı doğrusal programlama optimizasyon metodu [3], [8] ve IBM ILOG CPLEX optimizasyon çözüm motoru kullanılmıştır. Optimizasyon probleminde net rezerv kapasitesinin maksimize edilmesi, bakımların eş zamanlı olma ya da olmama veya ardışık olma durumları, sistem işletmecisinin aldığı önlemler ve rezerv güvenlik seviyesi sırasıyla amaç fonksiyonu ve kısıt olarak kullanılmıştır

Optimizasyon probleminin oluşturulması sürecinde ihtiyaç duyulan orta dönem ulusal talep tahmini, yenilenebilir kaynaklar için kapasite kullanım faktörleri ve geleneksel kaynaklar için emre amade kapasite faktörlerinin belirlenmesi ve şebeke kısıtları için bölgeler arası net transfer kapasitesinin belirlenmesi çalışmaları da yürütülmüştür.

2. Çalışmalar

Elektrik Şebeke Yönetmeliği (EŞY) Madde 52'de belirtilen santral bakım planlaması iletim sistemi işletmecisinin sorumluluğunda olup 50 MW ve üstü kurulu güce sahip yenilenebilir kaynak kullanmayan santraller için gerçekleştirilmektedir [9].

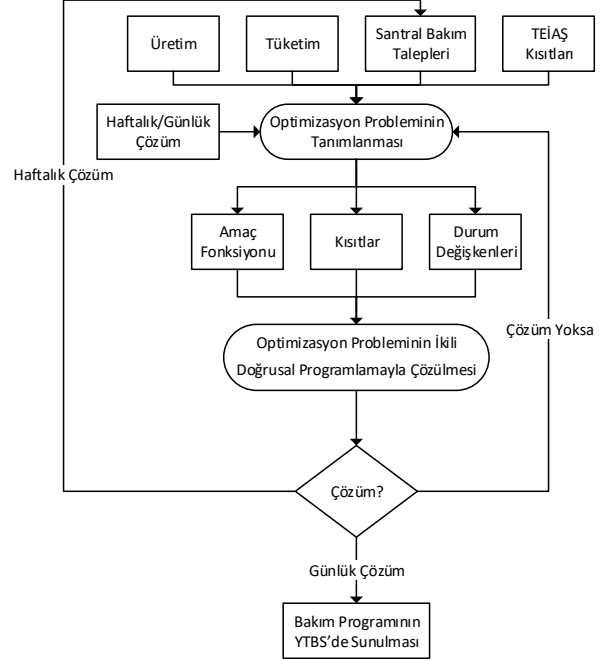
Çalışmada SBP bir optimizasyon problemi olarak ele alınmış olup santral bakım planı optimizasyonu için yapılan çalışmalar alt başlıklarda anlatılmaktadır.

2.1. Metodoloji

Gelecek yıla ait santral bakım planlaması için izlenecek yöntem Şekil 1'de gösterilmektedir. SBP için brüt rezerv bilgisine, bakım taleplerine ve şebeke kısıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Brüt rezervi elde etmek için ulusal talep tahmin ve maksimum üretilebilecek güce ihtiyaç duyulurken, şebeke kısıtları açısından sistem işletmecisi kısıtlarına ve üretim senaryosuna ihtiyaç duyulmaktadır.

SBP için kullanılan girdiler üretim ve tüketim değerleri, santral bakım talepleri ve kısıtları, sistem işletmecisi kısıtları ve üretim senaryoları olarak tanımlanmaktadır. Bu girdiler kullanılarak optimizasyon problemi amaç fonksiyonu ve kısıtlar halinde tanımlanarak ilk aşamada

haftalık çözünürlükte optimizasyon problemi olarak tanımlanıp çözülmüştür. İkinci aşamada, haftalık çözümden elde edilen sonuçlar kullanılarak günlük bazda optimizasyon problemi tanımlanarak çözülmüş ve nihai olarak yıl boyunca günlük bazda santral bakım planlaması elde edilmiştir.



Şekil 1. Santral bakım planlama metodu

2.2. Orta Dönem Ulusal Talep Tahmini

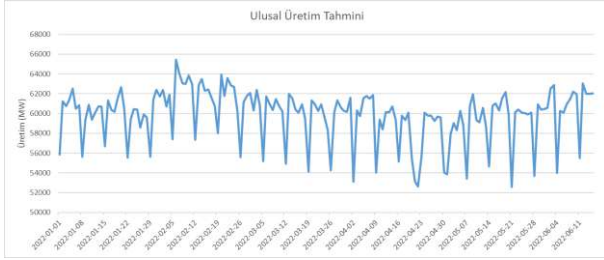
Yük tahmini gelecek döneme ait elektrik tüketiminin tahmin edilmesi amacıyla gerçekleştirilir. Yük tahminleri zamansal uzunluk yönünden kısa dönem (saat -1 hafta), orta dönem (1 hafta – 1 yıl) ve uzun dönem (1 yıldan daha uzun) talep tahminler olmak üzere üçe ayrılır.

Bu çalışmada SBP çözümü için gerekli olan 1 yıllık (8760 saat) talep tahmininin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Talep tahmininin saatlik çözünürlükte elde edilebilmesi için iki aşamalı bir tahmin yöntemi kullanılmıştır. İlk aşamada geçmiş 4 yıla ait saatlik çözünürlükteki veriler kullanılarak 8760 saatlik ulusal yük eğrisi elde edilmiştir. Bu noktada her yıl belli gün kayma yaşayan bayram süreçlerine özellikle dikkat edilmektedir. Elde edilen yük eğrisi yıllık bir profil haline dönüştürülmüştür. Bununla birlikte ikinci aşama olarak geçmiş verinin önümüzdeki 1 yıllık sürece dönüştürülebilmesi için 10 yıllık geçmiş tüketim veri seti kullanılmış ve aylık çözünürlükte 1 yıllık tahmin SARIMA yönetimi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile ilk aşamada oluşturulan yıllık yük eğrisi profili harmanlanarak önümüzdeki 1 yıllık süreç için 8760 saat talep tahmininin oluşturulması sağlanmıştır.

2.3. Kaynakların Kapasite Kullanım ve Emre Amade Kapasitelerinin Belirlenmesi

Gelecek yıla ait günlük çözünürlükte üretilebilecek gücün belirlenmesinde konvansiyonel ve yenilenebilir santral üretimlerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde bulunan santralleri emre amade durumlarına göre konvansiyonel ve yenilenebilir kaynak olmak üzere ikiye ayrılabilir. Konvansiyonel kaynaklar (termik) emre amade kapasiteleri oranında güç üretebilirken, yenilenebilir kaynaklar (rüzgâr, güneş, akarsu) ise kullanılan kaynağın o anki varlık durumuna ve miktarına göre güç üretebilmektedir. Bu bakış açısıyla konvansiyonel santraller için bildirmiş olduğu tarihsel emre amade kapasite değerleri kullanılarak saatlik çözünürlükte bir yıllık emre amade kapasite oranları hesaplanmıştır. Yenilenebilir santraller için tarihsel üretim değerleri kullanılarak saatlik çözünürlükte bir yıllık kapasite kullanım faktörleri belirlenmiştir. Emre amade kapasite ve kapasite kullanım faktörleri kullanılarak gelecek yıla ait maksimum üretim değerleri hesaplanmıştır



Şekil 2. Ulusal üretim tahmini

2.4. Sistem İşletmecisi Kısıtları ve Üretim Senaryoları

Sistem işletmecisi iletim sisteminin N ve N-1 durumları için kararlı ve güvenli işletimini sağlamak için gerekli gördüğü durumlarda önlemler ve aksiyonlar alabilmektedir. Nitekim bu işletme gereklilikleri santral bakım planlama sürecinde de dikkate alınması gereken önemli konulardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple sistem işletmecisinin dikkate alınmasını istediği maksimum bölgesel üretim kaybı, büyük güçte santrallerin eş zamanlı bakıma girmemesi, santrallerin primer enerji kaynaklarında oluşabilecek kısıtlar, elektrik şebekesi kaynaklı olası kısıtlar vb. durumların geliştirilen yazılım ile tanımlanmasına imkan verilmiş ve bu kısıtlar optimizasyon problemine aktarılmıştır.

2.5. Optimizasyon Probleminin Oluşturulması

Bir optimizasyon problemi amaç fonksiyonu ve kısıtlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada SBP probleminin bir optimizasyon problemi olarak tanımlanması noktasında kullanılan amaç fonksiyonu ve kısıtlara dair denklemler aşağıda sunulmaktadır.

T	Periyot sayısı.
N_m	Bakım sayısı.
N	Bakım yapılacak ünite sayısı.
YTM_j	Yük Tevzi Bölgesi

$P_{YTM_j}^{min}$	Her bir Yük Tevzi Bölgesi için belirlenmiş minimum emre amade üretim kapasitesi
$P_{G_i}^{max}(t)$	i ünitesinin t anında üretebileceği maksimum güç.
$P_D(t)$	t anındaki toplam talep.
$P_G^{max}(t)$	Tüm ünitelerin t anında üretebileceği maksimum güç.
$x_i(t)$	i ünitesinin t anındaki bakım durumu. Bakımda ise 1, değilse 0.
$P_{GR}(t)$	t anındaki brüt rezerv.
$P_{NR}(t)$	t anındaki net rezerv.
S_{ij}	i ve j ünitelerinin bakımları arasındaki zaman farkı.
O_{ij}	i ve j ünitelerinin bakımlarının kesişme süresi.
D_i	i ünitesinin bakım süresi.
D_{ij}^{min}	i ve j ünitelerinin bakım sürelerinin minimumu.
D_{ij}^{max}	i ve j ünitelerinin bakım sürelerinin maksimumu.

Optimizasyonun amacı yıl boyunca gerçekleşen net rezerv miktarının brüt rezerve oranının toplamını maksimize etmektir. Amaç fonksiyonunu oluşturan ana denklemler ile net ve brüt rezerv aşağıda ifade edilmektedir.

$$P_G^{max}(t) = \sum_{i=1}^N P_{G_i}^{max}(t) \quad (1)$$

$$P_{GR}(t) = P_G^{max}(t) - P_D(t) \quad (2)$$

$$P_{NR}(t) = \sum_{i=1}^N P_{G_i}^{max}(1 - x_i(t)) - P_D(t) \quad (3)$$

$$\max \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \frac{P_{G_i}^{max}(1 - x_i(t)) - P_D(t)}{P_G^{max}(t) - P_D(t)} \quad (4)$$

Optimizasyon probleminde kullanılan kısıtlar aşağıda ifade edilmektedir. Eşitlik kısıtı, tüm üniteler için optimizasyon sonucunun bakım süresi ile planlı bakım süresi arasındaki eşitliği sağlar.

$$\sum_{t=1}^T x_i(t) = D_i \quad (5)$$

Ünite bakımı belirli bir tarih aralığında yapılmasının sağlanması için (6) kısıtı eklenmiştir.

$$\sum_{t=t_1}^{t_2} x_i(t) = D_i \quad (6)$$

Eşitsizlik kısıtlarından ilki net rezerv miktarının yıl boyunca toplam talebin %10'undan büyük olmasıdır. Ancak bu değer brüt rezervin talebe oranının minimum değerine değiştirilebilir.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \frac{P_{G_i}^{max}(1 - x_i(t)) - P_D(t)}{P_D(t)} \geq 0.1 \quad (7)$$

Bakımın sürekli bir şekilde ara vermeden devam etmesini sağlamak için kullanılan kısıt (8)'de verilmiştir.

$$x_i(t) - x_i(t-1) \leq x_i(t + D_i - 1) \quad (8)$$

İki bakımın eş zamanlı olmamasını veya bakımların çakışmamasını sağlamak için kullanılan kısıt (9)'da, iki bakımın bir zaman aralığı ile ardışık olmasını sağlamak için kullanılan kısıt ise (10)'da verilmektedir.

$$x_i(t) + x_j(t) \leq 1 \quad (9)$$

$$\sum_{\tau=1}^t x_i(\tau - D_i - S_{ij}) - x_j(t) \geq 0 \quad (10)$$

$$\sum_{\tau=1}^t [D_{ij}^{min} x_i(\tau - D_i - S_{ij})] - \sum_{\tau=1}^t [D_{ij}^{max} x_j(\tau)] \leq 0 \quad (11)$$

İki bakımın bir süre birlikte yapılmasını sağlamak için kullanılan kısıt ve oluşan nihai form (12) ile (13)'de verilmektedir.

$$\sum_{\tau=1}^t x_i(\tau - D_i + O_{ij}) - x_j(t) \geq 0 \quad (12)$$

$$\sum_{\tau=1}^t [D_{ij}^{min} x_i(\tau - D_i + O_{ij})] - \sum_{\tau=1}^t [D_{ij}^{max} x_j(\tau)] \leq 0 \quad (13)$$

Bu kısıtlara ek olarak sistemde darboğazların oluşmasının engellenmesi amacıyla bölgesel minimum üretim kısıtının gerektiği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, geçmiş veriler doğrultusunda her bir bölge için minimum emre amade üretim kapasitesi değeri belirlenmiş ve aşağıdaki kısıt probleme eklenmiştir.

$$\sum_{i \in YTM_j} P_{G_i}^{max}(t)(1 - x_i) \geq P_{YTM_j}^{min} \quad (14)$$

Yukarıda tanımlanan denklemler arz güvenliğini hedefleyen amaç fonksiyonunu ve santral bakım taleplerini oluşturmak ve optimizasyon problemini tanımlamak için kullanılmıştır. Yukarıdaki denklemlerle tanımlanan optimizasyon problemi CPLEX optimizasyon çözüm motoruna aktarılmıştır.

2.6. Santral Bakım Programının Yazılımsal bir Araç Haline Getirilmesi

SBP çözüm yaklaşımının yıllık bazda tekrarlanan bakım çalışmalarında sistem operatörünün bir yardımcısı haline getirilebilmesi için öncelikle girdi/çıktılarının düzenli ve düzenlenebilir bir hale getirilmesi, sonuçlarının izleme ve değerlendirmeye uygun bir formatta sunulacak şekilde oluşturulması gerekmektedir. Bu noktada hali hazırda sistem operatörünce yaygın bir şekilde kullanılan Yük Tevzi Bilgi Sisteminin (YTBS) altyapısının kullanılması ve geliştirilen çözümün bir yazılım aracı olarak bu ortamda kurgulanması tercih edilmiştir. Nihai durumda SBP, TEİAŞ'ın kullanımı için Yük Tevzi Bilgi Sistemi (YTBS) üzerinde geliştirilmiş bir uygulamadır.

Uygulama üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde sistem işletmecisinin şebeke işletmesi için ihtiyaç duyduğu önlemleri ve üretim kapasite faktörlerini tanımlamaya imkân vermektedir. İkinci bölüm santrallerin gelecek yıl için bakım özelliklerini içeren bakım taleplerini tanımlamaya imkân vermektedir. Son bölümde ise SBP algoritmasının oluşturduğu bakım programına dair sonuçlar (bakım takvimi, üretim kaybı, net rezerv, rezervin tüketime oranı, üretim kaybını kaynak türlerine dağılımı gibi) sunulmaktadır. Bunula birlikte EŞY gereksinimleri de dikkate alınarak planlı bakımların belirlenmesine dair belirtilen takvim doğrultusunda süreçler yine bu altyapı içinde kurgulanmıştır. Bu sebeple geliştirilen uygulama süreç yönetimini içermektedir.

3. Çalışma Vakası ve Sonuçlar

Geliştirilen uygulama 2021 yılında hizmete alınmıştır. 2022 yılı için santral bakım planlaması bu uygulama ile gerçekleştirilmiştir.

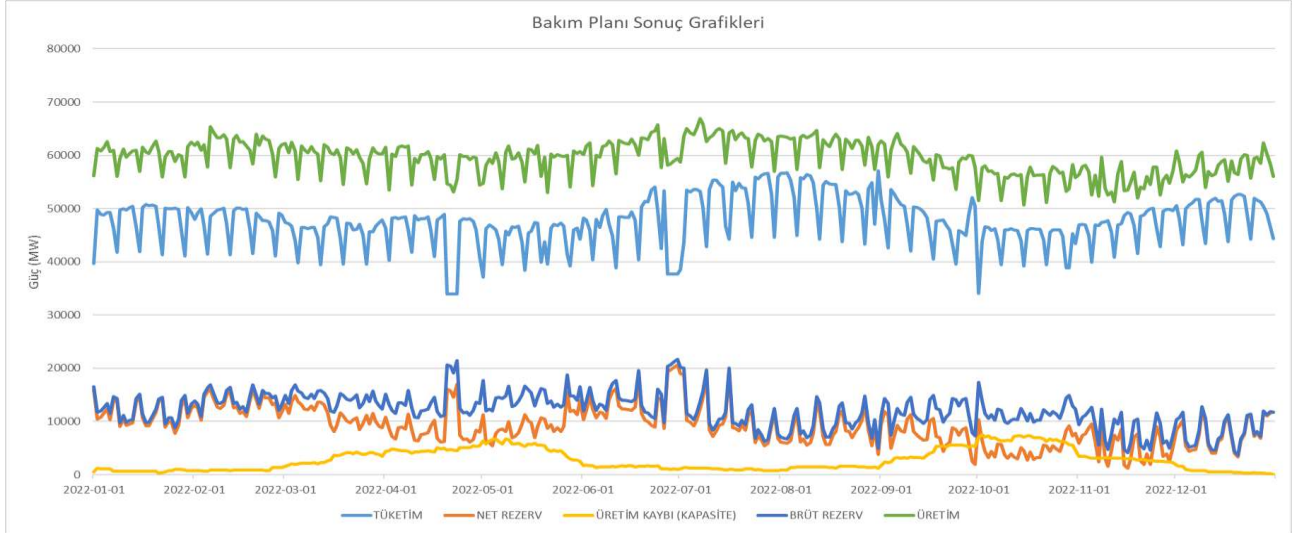
2022 bakım yılında 53700 MW kurulu güce sahip 153 santral ve 383 ünite için sistem işletmecisi önlemleri, üretim kapasite değerleri ve santral bakım talepleri uygulamaya tanımlanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 3'de sunulmaktadır.

Sonuçlar incelendiğinde tüm kısıtların sağlandığı ve bakımların tüketimin daha düşük ve brüt rezervin daha yüksek olduğu tarihlerde planlandığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar bölgesel olarak incelenmiş olup bölgede bulunan emre amade kurulu güç ve bölgeler arası net transfer kapasite değerleri kullanılarak bölgesel üretim ve net transfer kapasite toplamının bölgesel tüketimi karşıladığını görmek suretiyle bölgenin arz güvenliğinin sağlandığı teyit edilmiştir.

Bu çalışma ile yıl boyunca günlük çözünürlükte;

- Net rezerv miktarı ve net rezervin tüketime oranı
- Üretim kaybı ve bölgesel emre amade üretim miktarı
- Kaynak bazlı üretim kaybı elde edilmektedir.

Bu çıktılar sayesinde arz güvenliğinin kontrolü, zayıf noktaların tespiti ve gerekli önlemlerin alınabilmesi noktasında fayda sağlayacaktır.



Şekil 3. Bakım Planı Sonuçları

4. Sonuçlar

Elektrik şebeke yönetmeliğine göre, arz güvenliğinin önemi nedeniyle, 50 MW ve üzeri kurulu güce sahip santraller için santral bakım planlamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sistem işletmecisi bu planlama sürecinde, her santral sahibinden bakım talebi ve talep edilen tarihi ile ilgili bilgileri toplamakta sonrasında şebeke için arz ve işletme güvenliğini dikkate alarak en uygun bakım planını oluşturmaktadır. Gerekli gördüğü hallerde sistem işletmecisinin üretim birimlerine yönelik bakım programlarını farklı bir tarihe erteleme opsiyonu bulunmaktadır. Ancak bu planlama, arz ve şebeke güvenliğinin yanında birçok kısıtı birlikte değerlendirilmesi gerekliliğini içerdiği için karmaşık bir planlama olarak değerlendirilmektedir. Bu noktada santral bakım planlarının oluşturulması için optimizasyon altyapısına dayalı bir çözüm sisteminin geliştirilmesi, sistem işletmesinin güvenli ve kararlı işletimi için bir gerekliliktir.

Bu çalışmada Türkiye iletim sistemi şebeke işletmecisine yönelik geliştirilen optimizasyon temelli santral bakım planlama çalışmaları anlatılmıştır. Geliştirilen sistem rezerv maksimizasyonunu ana hedef olarak almakta, şebeke işletmecisinin sistem işletmesi/ arz güvenliği gereksinimlerini karşılar kısıtları dikkate almaktadır. Bu amaçla geliştirilen SBP çözüm yaklaşımının yıllık bazda tekrarlanan bakım çalışmalarında sistem operatörünün bir yardımcısı haline getirilebilmesi için SBP çözüm altyapısı sistem operatörüne yaygın bir şekilde kullanılan Yük Tevzi Bilgi Sisteminin (YTBS) altında işletme destek yazılımı olarak devreye alınmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada ele alınan santral bakım planlayıcısı sistemi TÜBİTAK MAM ile TEİAŞ arasında yürütülen “Yük Tevzi Teknik Danışmanlık” projesi kapsamında

gerçekleştirilmiş olup, yazarlar projedeki desteklerinden ötürü TEİAŞ’a teşekkürlerini sunar.

6. Kaynaklar

- [1] Ahmad, A. ve Kothari, D. P., "A review of recent Advances in generator maintenance scheduling", Electric Machines & Power Systems, 26-4., 373-387, 1998.
- [2] Froger, A., Gendreau, M., Mendoza, J. E. ve Louis-Martin Rousseau., "Maintenance scheduling in the electricity industry: A literature review", European Journal of Operational Research, 2016.
- [3] Al-Khamis, T., Vemuri, S., Lemonidis, L., and Yellen, J. (1992). Unit maintenance scheduling with fuel constraints. IEEE Transactions on Power Systems, 7(2):933–939.
- [4] Wang, Yang & Kirschen, D.s & Zhong, Haiwang & Xia, Qing & Kang, Chongqing. (2015). Coordination of Generation Maintenance Scheduling in Electricity Markets. Power Systems, IEEE Transactions on. 10.1109/TPWRS.2016.2514527.
- [5] Burke, E. ve Smith, A., "Hybrid evolutionary techniques for the maintenance scheduling problem", IEEE Transactions on Power Systems, 94-5, 1537-1545, 1975.
- [6] Mukerji, R., Merrill, H., Erickson B., Parker, J. ve Friedman, R., "Power plant maintenance scheduling: optimizing economics and reliability", IEEE Transactions on Power Systems, 6-2, 476-483, 1991.
- [7] Leou, R.-C., "A Flexible Unit Maintenance Scheduling Considering Uncertainties", IEEE Transactions on Power Systems, 3-16, 552-559, 2001.
- [8] Ahmad, A. ve Kothari, D. P., " A practical model for generator maintenance scheduling with transmission constraints.", Electric Machines & Power Systems, 28-6., 501-503, 2000.
- [9] EPDK, "Elektrik Şebeke Yönetmeliği", erişim adresi: "https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat" , erişim tarihi: 25.01.2022