



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Etkin portföy yönetimi açısından doğalgaz kombine çevrim santrallerinin bakım önceliklendirmesi

Maintenance prioritization of the natural gas combined cycle power plants in terms of effective portfolio management

Yazar(lar) (Author(s)): İzzet ALAGÖZ¹, Nermin AVŞAR ÖZCAN², Umur KÜÇÜKYARAR³, Evrencan ÖZCAN⁴

ORCID¹: 0000-0002-9735-3392

ORCID²: 0000-0002-3715-704X

ORCID³: 0000-0002-3754-9676

ORCID⁴: 0000-0002-3662-6190

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Alagöz İ., Avşar Özcan N., Küçükayarar U. ve Özcan E.C., “Etkin portföy yönetimi açısından doğalgaz kombine çevrim santrallerinin bakım önceliklendirmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 821-831, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.716408

Etkin Portföy Yönetimi Açısından Doğalgaz Kombine Çevrim Santrallerinin Bakım Önceliklendirmesi

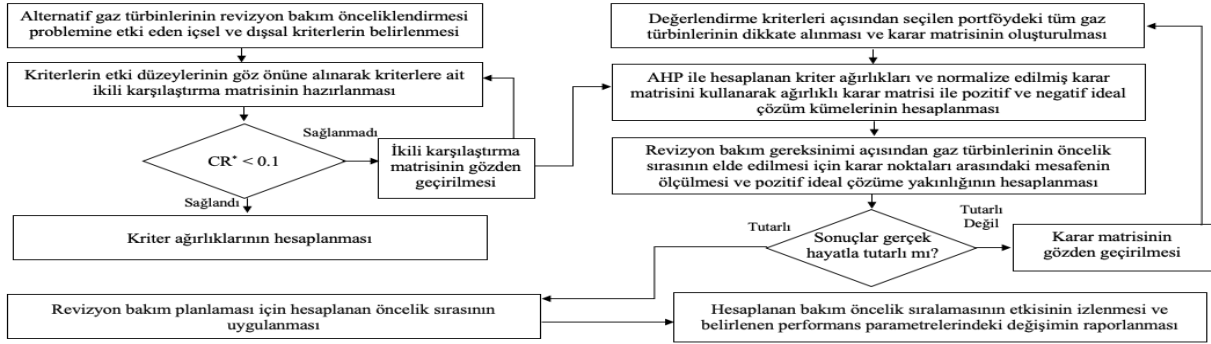
Maintenance Prioritization of the Natural Gas Combined Cycle Power Plants in Terms of Effective Portfolio Management

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Amaç, etkin emre amadelik maksimizasyonudur./The aim is to maximize the effective availability.
- ❖ Portföy yönetiminde bakım planlamasını içerir./It includes maintenance planning in portfolio management.
- ❖ İlk kez çok kriterli karar modeli önerilmiştir./Multi-criteria decision model is proposed for the first time.
- ❖ Çözümde kapsamlı kriterler dikkate alınmıştır./Comprehensive criteria are taken into account in the solution.
- ❖ Öncelik temelli bakım planlaması içerir./It includes priority-based maintenance planning.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, literatürde ilk defa bir doğalgaz kombine çevrim santrali portföyünde revizyon bakımların planlanması için çok kriterli bir karar modeli önerilmiştir./In this study, a multi-criteria decision making model is proposed for revision maintenance planning in a natural gas combined cycle power plant portfolio for the first time in the literature.



Şekil. Uygulama adımları / Figure. Application steps

Amaç (Aim)

Etkin emre amadeliliğin maksimizasyonu için revizyon bakım sıralamasının elde edilmesi./Calculating the revision maintenance sequence to maximize the effective availability.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çalışmada AHP ve TOPSIS kombinasyonu kullanılmıştır./The combination of AHP and TOPSIS was used in the study.

Özgünlük (Originality)

Problemin kapsamı, uygulama yeri, kullanılan yöntemler ve elde edilen gerçek hayatta tutarlı sonuçlar çalışmanın yenilikçi yönleridir./ The scope of the problem, the place of application, the methods used and the consistent results with the real life are innovative aspects of the study.

Bulgular (Findings)

Etkin emre amadelik oranının artırılması amacıyla gerçek hayatta tam tutarlı sonuçlar elde edilmiştir./ Fully consistent results were obtained with real life to increase the effective availability ratio.

Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmanın, portföy sahibi kuruluşa daha yüksek getiri sağlama ve ülkenin enerji arz güvenliğine hizmet etmesi beklenmektedir./ This study is expected to provide higher returns to the portfolio owner organization and to serve the country's energy supply security.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Etkin Portföy Yönetimi Açısından Doğalgaz Kombine Çevrim Santrallerinin Bakım Önceliklendirmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İzzet ALAGÖZ¹, Nermin AVŞAR ÖZCAN², Umur KÜÇÜKYARAR³, Evrencan ÖZCAN^{4*}

^{1,2,3}Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Türkiye

⁴Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 08.04.2020 ; Kabul/Accepted : 08.05.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 10.05.2020)

ÖZ

Elektrik üretim santrallerinde belirli zaman aralıkları ile yürütülmesi gereken revizyon bakımlar, santrallerin emre amadelik oranlarının mümkün olan en üst noktaya çıkarılması açısından büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda, revizyon bakımların analitik olarak planlanması etkin portföy yönetimi açısından bir gerekliliktir. Buradan hareketle, literatürde birden fazla sayıda santral ya da ünitenin bakım çizelgeleme problemi sıklıkla ele alınmış olmakla birlikte, bu çalışmaların ürettiği yılın belirli bir döneminde gerçekleştirilecek bakımları içeren takvimler Türkiye elektrik üretim sisteminin dinamikleri ve sistem kısıtları açısından her zaman uygulanamamaktadır. Asıl ihtiyaç, santrallerin emre amade tutularak hem portföy kârlılıklarının artırılması hem de enerji arz güvenliğine katkıda bulunmak için uzun süreli duruş gerektiren revizyon bakım önceliklerinin bilinerek portföylerin yönetilmesidir. Bu kapsamda bu çalışmada, literatürde ilk kez büyük ölçekli doğalgaz kombine çevrim santral portföylerinden bir tanesinde 3 farklı santrale ait 12 ünitenin revizyon bakım önceliklendirme problemi ele alınmıştır. Çok kriterli karar verme yaklaşımları ile probleme çözüm arayan bu çalışma, dar kapsamlı periyodik bakımların planlamasından ziyade, enerji arz güvenliğine üst düzeyde etki eden uzun süreli duruşlara sahip revizyon bakım planlamasını gerçekleştirmesi açısından da literatürdeki ilk çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Bakım planlama, portföy yönetimi, etkin emre amadelik, doğalgaz kombine çevrim santrali.

Maintenance Prioritization of the Natural Gas Combined Cycle Power Plants in Terms of Effective Portfolio Management

ABSTRACT

Revision maintenance that should be carried out at certain time intervals in power plants is of great importance in terms of increasing the availability of power plants to the highest possible level. In this context, it is a necessity to plan the revision maintenance analytically for effective portfolio management. Within this scope, although the maintenance scheduling problem of more than one power plant or unit is frequently discussed in the literature, calendar with maintenance to be performed during certain periods of the year produced by these studies is not always applicable in terms of the system dynamics and constraints of Turkey's electricity generation system. The main need is to manage the portfolios by keeping the power plants available and knowing the revision maintenance priorities that require long-term stoppages in order to both increase portfolio profitability and contribute to energy supply security. In this context, in this study, revision maintenance prioritization problem of 12 units at 3 different power plants is discussed in one of the large-scale natural gas combined cycle power plant portfolio for the first time in the literature. This study, which seeks a solution to the problem with multi-criteria decision-making approaches, is the first study in the literature to realize revision maintenance planning with long-term stoppages that affect the energy supply security at the highest level, rather than planning narrow-scoped periodic maintenance.

Keywords: Maintenance planning, portfolio management, effective availability, natural gas combined cycle power plant.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bakım, elektrik üretim santrallerinin kesintisiz, güvenilir, verimli, ekonomik ve çevreye duyarlı olarak işletilmesini sağlayan temel proses grubu olarak kritik öneme sahiptir. Bu 5 temel unsuru ihtiva eden sürdürülebilir enerji arzı santrallerin temel amacıdır ve bu kapsamlı ve karmaşık amacı gerçekleştirmek için santrallerde uygulanan etkinlik düzeyi en yüksek bakım stratejisi ise, ünite bazlı yürütülen revizyon bakımlardır. Elektrik üretim santrallerinin uzun süreli planlı

duruşlarını gerektiren revizyon bakımlar, süreçte gerçekleştirilen iş ve işlemler, zaman, makine-ekipman, malzeme ve personel gereksinimleri ile bu bakımların santralin sürdürülebilir enerji arzı üzerindeki etkisi ile birlikte düşünüldüğünde çok iyi planlanması gereken bir proses halini almaktadır [1,2].

Bununla birlikte, revizyon bakım takvimleri birçok farklı parametrenin göz önünde bulundurulduğu birbirini etkileyen süreçler sonucunda belirlenmektedir. Santral ekipmanlarının tekil veya çoklu bakım ihtiyaçlarına istinaden, teknik ve ekonomik faktörlerin göz önünde bulundurulduğu santral işletmeciliğine dair yönetim

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : evrencan.ozcan@kku.edu.tr

süreçlerinin yanında, santralin yer aldığı portföyün tümünün de değerlendirildiği ve nihayetinde i

lgili mevzuat hükümleri çerçevesinde İletim Sistem Operatörüne iletilen bakım taleplerinin elektrik iletim işletme güvenliği açısından değerlendirilerek onaylandığı dış süreçler de revizyon bakım planlamasını direkt olarak etkilemektedir. Bu nedenle, birbirini etkileyen bu unsurlarla birlikte portföyün bütünsel olarak değerlendirilerek bakım takvimlerinin oluşturulması enerji arz güvenliği açısından büyük öneme sahiptir [3].

Mevcut rekabetçi piyasa koşullarında, santrallerin sürekli ve güvenilir üretim rejimlerini etkin ve verimli bir şekilde sürdürebilmeleri, bir başka ifade ile enerji üretiminde sürdürülebilirliği sağlamaları kritik bir unsurdur. Bununla birlikte, dinamik bir yapıya sahip elektrik piyasalarında oluşan fiyatlar birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik, santrallerin üretim planlarının gerek kısa gerekse uzun vadeli olarak yapılması adına zorlayıcı etkilerinin yanında çeşitli fırsatlar da sunmaktadır. Bu bağlamda, santrallerin ihtiyacı olan bakımların doğru planlanması portföy yönetimi açısından öncelikli ve çok önemlidir.

Birden çok santralin yer aldığı portföyler için tüm santrallerin revizyon bakım planlarının portföyün tümü değerlendirilerek yapılması esastır. Bu değerlendirmeler neticesinde portföy yönetimi açısından ekonomik, teknik ve organizasyonel olarak en uygun revizyon takviminin oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca, portföyün etkin yönetiminde dinamik piyasa koşullarına uyum sağlamada en önemli enstrümanlardan bir tanesi emre amade santral gruplarının fazlalığıdır. Çünkü, temel olarak her bir santralin üretim açısından devamlı hazır olması, başka bir ifade ile emre amadeliğinin yüksek olması santrallerin sürdürülebilir enerji arzı hedefini gerçekleştirmelerinde başlıca faktörlerdendir.

Bunun sağlanmasında ise en önemli araçların başında talimatlara ve periyotlara uygun gerçekleştirilen revizyon bakımları gelmektedir. Bununla birlikte, piyasa koşulları ve işletme güvenliği açısından emre amadeliğin değerlendirilmesi ve buna göre bakım planlamalarının yapılması gerekmektedir.

Tüm bu açıklamalar ışığında, yukarıda belirtilen hem içsel hem de dışsal santral işletme parametreleri dikkate alınarak santrallerin revizyon bakım planlamasında

önceliklendirilmesinin etkin portföy yönetimi açısından önemli katkılar sağlayacağı yorumunu yapmak yanlış

olmayacaktır. Buradan hareketle bu çalışmada, Türkiye’de büyük bir doğalgaz kombine çevrim santrali portföyüne sahip bir kuruluşta, hem ülkenin enerji arz güvenliğine katkı sağlamak hem de daha fazla kâr elde etmek temel amaçları altında 3 farklı santrale ait 12 adet ünitenin revizyon bakım planlamasını önceliklendirmek için bir yaklaşım önerilmiştir. Literatürde ilk defa gerçekleştirilen bu çalışmada, belirlenen karar probleminin uygun algoritmalar sunması açısından çok kriterli karar verme yaklaşımlarına başvurulmuş ve bu algoritmalarından sunduğu avantajlardan dolayı en yaygın kullanıma sahip olan AHP-TOPSIS kombinasyonu [4] kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ (LITERATURE REVIEW)

Bakım, sürdürülebilir enerji arzı üzerindeki etkisi ile toplumsal refah düzeyinden, ülkelerin küresel dünyadaki rekabet gücüne kadar birçok makro parametreyi dolaylı yoldan etkileyen en kritik proseslerden birisi olarak elektrik üretim sektöründeki yerini almıştır. Bu önemli prosesin en önemli aşamalarının başında ise üretim rejimine direkt etkisi ile bakım planlaması gelmektedir. Bu nedenle, birçok araştırmacı enerji sektöründe bakım planlamasına odaklanmıştır [3].

Bu çalışmaları iki temel başlık altında gruplandırmak mümkündür. Bunlardan ilki, bir santraldaki ekipman gruplarının bakım planlarını oluşturan çalışmalar, diğeri ise birden çok santralin hangi zaman diliminde bakıma alınacağını belirlenmesi için bakım çizelgeleme probleminin odaklanan çalışmalardır. İlk gruptaki çalışmalar ise, elektrik iletimi [5-8] ve elektrik üretimi [9-21] olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmalarda, Monte Carlo simülasyonundan [7] genetik algoritmalara (GA) [11], çok amaçlı optimizasyondan [15] tamsayı programlamaya (TP) [21] kadar birçok yöntem kullanılmıştır. Bununla birlikte, risk tabanlı bakımı esas alan ve enerji sektöründe yer alan sadece iki çalışmada [19,20] çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP-TOPSIS kombinasyonu ile bakımlar planlanmıştır.

Bu çalışmanın da kapsamını oluşturan bir portföy içindeki santrallerin bakım planlamasına odaklanan

Çizelge1. Literatür özeti (Literature overview)

Araştırmacılar	Portföy	Metot	Santral Tipi	Periyot
Baskar vd. [22]	1 santral- 21 ünite	GA	Belirtilmemiş	26 hafta
Bisanovic vd. [23]	5 santral- 22 ünite	Karışık tamsayı doğrusal prog. (MILP)	Termik	52 hafta
Canto [24]	75 santral	MILP	Termik, hidrolik, nükleer	13 ay
Perez-Canto ve Rubio-Romero [25]	4 santral	MILP	Termik, hidrolik, nükleer, rüzgar	13 ay
Dahal vd. [26]	1 santral- 21 ünite	GA-TP	Belirtilmemiş	52 hafta

Çizelge1. Literatür özeti (devamı) (Literature overview (continuation))

Araştırmacılar	Portföy	Metot	Santral Tipi	Periyot
Dahal ve Chakpitak [27]	1 santral-21 ünite	GA-TP	Belirtilmemiş	52 hafta
Mazidi vd. [28]	5 santral-6 ünite	MILP-oyun teorisi	Belirtilmemiş	52 hafta
Naebi vd. [29]	10 ünite ve 38 hat	Karışık tamsayı doğrusal olmayan prog.	Belirtilmemiş	52 hafta
Lei ve Sandborn [30]	1 santral-5 ünite	Monte Carlo benzetimi	Rüzgar	12 ay
Lindner vd. [31]	32 ünite	Doğrusal prog.	Termik, hidrolik, nükleer	52 hafta
Behnia ve Akhbari [32]	6 ünite ve 41 hat	MILP	Belirtilmemiş	30 gün
Barot ve Bhattacharya [33]	37 ünite	MILP	Termik, hidrolik, nükleer	12 ay

çalışmalardan bazılarında ait özet bilgiler Çizelge 1’de sunulmuştur.

Bu çalışmalardan tamamı belirtilen periyotlar dahilinde ele alınan ünite, santral ya da iletim hatlarının bakımlarının ne zaman yapılacağına dair sonuçlar üretmektedir.

Bu çalışmaların çoğunluğu farklı enerji kaynaklarını kullanan santralleri içermekle birlikte, yapılan incelemelerde önerilen modellerin izlemeleri yapılarak portföylere sunulan katma değer sınırlı bir performans parametresi üzerinden sunulmuştur. Ayrıca, bu çalışmaların tamamına yakını 1 yıl ve üzerinde bir zaman periyotunda bakım çizelgeleri üretmektedir ve bu açıdan bakılınca, tamamının dikkate aldığı bakım stratejisi olan önleyici bakım rutin aralıklarla yapılan revizyon bakımından daha az kapsamlı olan periyodik bakımlardır.

Tüm bu bilgiler ışığında bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farkı, belirlenen kapsamda gerçekleştirilme gerekçesi, hareket noktası ve literatüre sundukları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Bu çalışmanın hareket noktası, çalışma rejimi İletim Sistem Operatörünün talimatlarından etkilenen seçilen portföyün, yine İletim Sistem Operatörüne ülke genelindeki enerji arzının yönetilmesi için santral ünitelerinin revizyon bakım takvimlerinin bildirilmesi gerekliliğidir.
- Bu talebin doğru olarak karşılanmasındaki en etkin yöntem, Çizelge 1’de belirtilen çalışmalar gibi, seçilen portföyün belirlenecek probleme uygun optimizasyon yöntemleri ile bakım çizelgelerinin hazırlanmasıdır. Ancak, seçilen portföy ülkenin büyük portföylerinden birisidir ve değişken piyasa koşulları, enerji arz güvenliğinin sağlanmasındaki zorlayıcı kısıtlar ve iletim şebekesine ait teknik kısıtlar gibi nedenlerden dolayı bu önemli portföye beklenmedik anlarda ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu nedenle, tarih bazlı revizyon bakım takvimlerinin zamanında uygulanması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte asıl ihtiyaç, süreleri belli olan ünite bazlı revizyon bakımlarının hangi sırada yapılacağına belirlenmesidir. Bu nedenle, tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte seçilen portföydeki santrallerin bakım sıraları, portföy içindeki durumları ve sistemsel parametrelerin tamamını kapsayacak şekilde değerlendirilerek elde edilmelidir. Etkin portföy yönetimi ve enerji arz güvenliğine maksimum katma değer sağlanması

ana amaçlarıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, bu ihtiyacı karşılamak için seçilen portföydeki santrallerin bakım gereklilikleri açısından hem seçilen kuruluş hem de ülke portföyü için önem derecesi belirlenmiştir.

- Netleştirilen problem tanımına göre en uygun yöntemin çok kriterli karar verme algoritmaları olduğu açıktır. Çünkü, eldeki santral alternatifleri belirli kriterler altında bir amaç doğrultusunda sıralanacaktır. Özcan ve Eren [19] ve Özcan vd. [20] tarafından sırasıyla bir doğalgaz kombine çevrim santrali ve hidroelektrik santraldaki en kritik ekipmanların belirlenmesi ve bunlar için risk temelli olarak bakımların planlamasını amaçlayan literatürdeki örneklerden yola çıkarak, bu çalışmada literatürde ilk kez birden fazla santral ya da ünite kombinasyonuna sahip bir portföyün bakım önceliklendirmesi çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir.
- Doğalgaz kombine çevrim santrallerinin yakıt maliyetlerinin değişkenliği ile beraber son yıllarda üretim maliyetlerinin elektrik piyasa fiyatlarına göre diğer santral tiplerine kıyasla daha dezavantajlı olması neticesinde bu santrallerin bakım planlamalarının doğru yapılması portföy gelirlerinin artırılması açısından çok önemlidir. Ayrıca, mevcut değişken elektrik piyasa koşullarından en çok etkilenen ve diğer santral tiplerine göre daha esnek üretim rejimlerinde çalışmak zorunda olmaları, bu çalışma kapsamında doğalgaz kombine çevrim santrallerinin seçilmesinin diğer temel nedenidir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde doğalgaz kombine çevrim santrallerinden oluşan bir portföyün ilk defa bakım planlaması açısından ele alınması, bu santrallerin yukarıda belirtilen özellikleri dikkate alındığında literatüre sunulan bir diğer katkıdır.
- Çizelge 1’deki çalışmalar incelendiğinde çalışmaların tamamının dar kapsamlı periyodik bakımları içerdiği daha önce de belirtilmiştir. Oysaki bir portföyün bakım planlamasının, portföy sahibi kuruluşa sağladığı ekonomik katkının yanında enerji arz güvenliğine etkisi de dikkat çekmektedir. Bu nedenle, uzun süreli duruşları gerektirmesi ile birlikte santralin emre amadeliğinin maksimize edilmesi üzerindeki direkt etkisi ile revizyon bakımlar literatürde ilk defa bu çalışma ile planlanmıştır.
- Yine Çizelge 1’de sunulan çalışmaların bazılarında özellikle maliyet parametresi ile ilgili iyileşmelerden

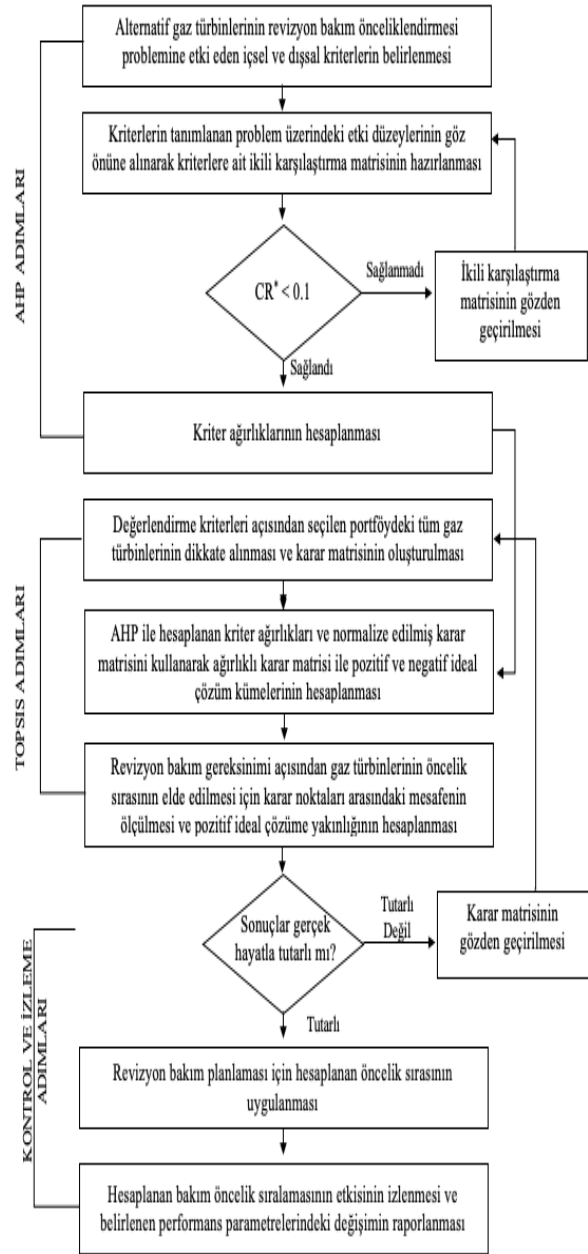
bahsedilmiştir. Tüm ticari kuruluşlarda olduğu gibi elektrik üretim portföyüne sahip kuruluşların ana amaçlarından bir tanesi kâr maksimizasyonudur. Ancak, bakım maliyetlerindeki iyileşme tek başına bu amaç için yeterli değildir. Çünkü, bakım maliyetleri, sadece bakım için kullanılan malzeme, personel ve zamanla sınırlı değildir. Elektrik üretim sektöründe en önemli bakım maliyetini bakım esnasında gerekli olan uzun süreli üretim duruşları beraberinde getirmektedir. Literatürdeki çalışmaların çoğunda bakım maliyetinin bu kapsamda belirtilmediği görülmüştür. Ayrıca, bir portföyün bakım planlaması değişken piyasa koşulları değerlendirildiğinde etkin emre amadelik oranının artırılmasına katkı sağlaması açısından çok daha önem arz eden bir konu haline almaktadır. Çünkü, fiyatların yüksek olduğu noktalarda, teknik spesifikasyonları, geçmiş arıza durumları, eş değer işletme saatleri (EOH) gibi birçok farklı parametreden dolayı farklı üretim maliyetlerine sahip santrallardan en düşük maliyete ve en yüksek verime sahip olanın tercih edilmesi daha yüksek kâr sağlayacaktır. Santralin üretime hazır olarak beklemesi olarak tanımlanabilecek emre amadelik kavramı, bu örnekte olduğu gibi daha doğru zamanda doğru noktada çalıştırılmak üzere santralların hazırda bulunması olarak tanımlanabilecek etkin emre amadelik oranı olarak bu çalışmada literatürde ilk kez ifade edilmiştir.

3. UYGULAMA (CASE STUDY)

Günlük ve profesyonel yaşantının her safhasında, birbirleri ile çelişen ya da ilişkili birçok kriter altında yine birçok alternatif değerlendirilerek karar verilmesi durumu gerçekleşmektedir. Enerji sektörü ile ilgili olarak da durum bundan farklı değildir. Enerjinin, ülkelerin küresel rekabet güçleri, gelişmişlik düzeyleri ve toplumsal refah düzeyi gibi makro parametreler üzerindeki direkt etkileri düşünüldüğünde, özellikle enerjinin üretildiği elektrik üretim santrallarındaki karar problemlerinin analitik bir düzeyde çözümü daha da büyük önem arz etmektedir. Bu tip problemlerin analitik olarak çözümünde literatürde kabul görmüş yöntemler grubu çok kriterli karar verme yaklaşımlarıdır [3].

Literatürde, AHP, ANP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE ve VIKOR gibi geliştirilmiş birçok çok kriterli karar verme algoritması mevcuttur ve bu yöntemler farklı koşullardaki uygulanabilirlikleri açısından görece avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bu yöntemlerden AHP, ikili karşılaştırmalar yoluyla ölçümler yapan bir yöntemdir ve uzmanların öncelik ölçekleri elde etme kararlarına dayanır. AHP, belirli bir hiyerarşiye göre düzenlenen kriterleri içeren, bu kriterlerin ağırlıklarını dikkate alan, kriterlere temelinde alternatifleri karşılaştıran ve alternatifleri sıralayan uygulaması kolay bir yaklaşımdır [34]. Bu özellikleri ile AHP, literatürde özellikle değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırması için kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan diğer bir çok kriterli karar verme yöntemi olan

TOPSIS, çok boyutlu bir hesaplama alanında ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatifi tanımlamak için geliştirilmiş bir yaklaşımdır [35]. Bununla birlikte, gerçek hayatta tutarlı olarak ürettiği sonuçlar, kolay kavranabilirliği, uygulama kolaylığı ve ağırlıklandırılmış değerlendirme kriterlerini dikkate alarak sonuca ulaşması.



Şekil 1. Uygulama adımları (Application steps) [34,35]

3.1. Değerlendirme Kriterleri ve Ağırlıkları (Evaluation Criteria and their Weights' Calculation)

Türkiye enerji arz güvenliğine mümkün olan en üst seviyede hizmet etmek ve seçilen portföyün kârlılık seviyesini maksimize etmek temel amaçlarıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, 3 farklı santrala ait 12 gaz türbininin revizyon bakım takvimi açısından

önceliklendirilmesi için hem elektrik iletim sistemi ve piyasa koşulları, hem de santralin işletmesine dair iç etkenler en kapsamlı şekilde ve eş zamanlı olarak dikkate alınmıştır. Bu bağlamda, belirtilen karar problemini etkileyen değerlendirme kriterleri söz konusu ana başlıklar altında aşağıda verilmiştir:

İletim Sistemi ve Piyasa Koşulları ile İlgili Dışsal Kriterler

1. Arz Güvenliğine Etkisi / Çalışma Zorunluluğu

Türkiye Elektrik Piyasası, diğer gelişmekte olan piyasalardaki süreçlere benzer süreçler yaşamaktadır. Konvansiyonel santrallerin hakimiyetinde gelişen piyasalarda arz güvenliğinin sağlanması en temel iletim sistemi işletme parametrelerindedir.

Sanayileşme ve şehirleşmeyle beraber, son kullanıcı dahil tüm tüketim grupları düşünüldüğünde elektriğe olan talep sürekli artmaktadır. Önümüzdeki yıllarda teknolojik gelişmeler neticesinde elektriğin kullanım alanları giderek artacak, bu da enerji arz güvenliğinin önemini daha da artıracaktır. Bu kapsamda, büyük ve güvenilir güç kapasitelerine sahip konvansiyonel santrallerin hâkim konumunu bilhassa arz güvenliği açısından bir süre daha devam ettirmeleri beklenmektedir.

İletim Sistem Operatörü, Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri çerçevesinde bir sonraki yılın yıllık iletim sistemi işletme planlaması kapsamında 50 MW ve üstü üretim santrallerinin planlı devre dışı olma taleplerini Nisan ayının 30'una kadar toplamakta ve bütünsel bir yaklaşımla değerlendirerek, 31 Ekim tarihine kadar karara bağlamaktadır. Sistem operatörü iletim sistemi planlamasını, sistem güvenliği açısından bu süreçte değerlendirmekte ve bölgesel ve/veya ulusal çapta gerektiği durumlarda santraller için çeşitli tasarruflarda bulunabilmektedir. Sistem işletme planlaması ile gerçek zamanda yaşanabilecek sıkıntılar önüne geçilmesi bu süreçteki ana amaçtır. Bu bağlamda, çalışmanın temel gerekçesini de belirleyen bir durum yaşanabilmektedir. İletim Sistem Operatörü, revizyon bakım planlaması ile ilgili kararlarını gerekli gördüğünde değiştirebilmekte, yine gerçek zamanda piyasa koşullarında sistem güvenliği açısından gerek gördüğünde santrallerin çalışma durumlarını yeniden değerlendirebilmektedir. Bu temel nedenden dolayı daha önce de belirtildiği üzere, net olarak belirlenen tarihlerde revizyon bakımların gerçekleşmemesi mümkün olmaktadır.

Bu çerçevede, İletim Sistem Operatörü işletmesini yaptığı iletim sistemine bağlı olan bilhassa yüksek güçlü santrallerin emre amade kapasitelerini yakından takip etmekte ve bunların maksimum seviyede emre amade olmalarını beklemektedir.

Doğalgaz kombine çevrim santralleri da yüksek güç kapasiteleri ve esnek işletme rejimleri sayesinde arz güvenliğinin akamete uğramaması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, santrallerin etkin emre amadelik oranlarını artırması açısından çok önemli olan

revizyon bakım öncelikleri, enerji arz güvenliği açısından değişebilmektedir.

2. Yakıt Tipi

Birçok farklı elektrik üretim kaynağına (yakıt tipi) göre dağılım gösteren elektrik üretim sisteminde, kaynak ve/veya yakıt tedarikinde yaşanabilecek sıkıntılar da santrallerin emre amadeliklerini etkileyebilmektedir. Hidrolik kaynaklar için su gelirlerinin azalması, kömürlü santrallerin maden sahasında yaşanabilecek problemlerden dolayı kömür tedariki sıkıntısı yaşaması ya da boru hatları vasıtasıyla ve LNG marifetiyle getirilen doğalgazın temininde ve iletiminde yaşanabilecek aksaklıklar bunların başlıcalarıdır.

Türkiye, kullandığı doğalgazın tamamına yakını ithal etmektedir. Geçmiş yıllarda tedarik edilen ülkelerden kaynaklı ve/veya mevsim şartlarına bağlı olarak mesken kullanımının çok artması ve öncelikli olması neticesinde elektrik üretiminde kullanılan doğalgaz arzında kısıntılar/kesintiler yaşanmıştır. Türkiye yakın zamanda yaptığı yatırımlar ve aldığı önlemlerle bu sıkıntıları son birkaç senedir yaşamamaktadır. Ancak, ithalat kaynaklı olması nedeniyle konjonktürel durumlara bağlı olarak arzda sıkıntı yaşanma ihtimali her zaman vardır.

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinden bazıları doğalgaz haricinde motorin gibi ikincil yakıt yakabilme ya da doğalgazla beraber karışık çalışma kabiliyetlerine sahiptirler. Çift yakıtlı/çok yakıtlı doğalgaz kombine çevrim santralleri yukarıda bahsi geçen kesinti/kısıntı dönemlerinde arz güvenliği için önemli katkılarda bulunmuşlardır. Bu çerçevede arz güvenliği açısından düşünüldüğünde çift yakıtlı santrallerin bakımlarının bilhassa kesinti ihtimali olan dönemler dikkate alınarak planlanması enerji arz güvenliği açısından gereklidir.

3. Piyasa Fiyatlarının Etkisi

Doğalgaz kombine çevrim santralleri, işletme kolaylığı, yüksek güç kapasitesi ve verim avantajları ile elektrik üretiminde önemli bir paya sahiptir. Baz yük ve pik yük olarak çalışabilen bu santraller, arz güvenliğine katkılarının yanında esnek çalışma avantajları sayesinde sistemi destekleyici özellikleri ile de ön plana çıkmaktadırlar.

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinin üretim maliyetleri büyük ölçüde yakıt maliyetine bağlıdır ve burada yaşanan dalgalanmalar maliyetleri direkt etkilemektedir. Doğalgaz maliyetleri de döviz kuru ve Brent petrol fiyatı gibi çeşitli unsurlardan direkt veya dolaylı etkilenebilmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda Türkiye Elektrik Piyasalarında döviz kuru bazında düşen ve dalgalı seyir izleyen spot piyasa elektrik fiyatları ile birlikte bu santrallerin artan yakıt maliyetleri neticesinde diğer santral tiplerine göre rekabetçi özellikleri zayıflamış, kapasite kullanma faktörleri düşmüştür. Elektrik fiyatlarının mevsimsel değişimleri de düşünüldüğünde santrallerin uzun süren revizyon bakımlarının doğru önceliklendirilmesi gelirlerin artırılması ve fırsatların yakalanabilmesi için de büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, yıllık olarak planlanan revizyon bakımlara bağlı olarak elektrik

piyasa fiyatları açısından portföy kârlılığı etkilenmektedir.

Santrala Bağlı İçsel Kriterler

4. Kombine Çevrim Verimi

Doğalgaz kombine çevrim santrallarının kombine çevrim verimliliklerinde malzeme dayanımı ve teknolojik gelişmeler ışığında geçmişten günümüze artışlar sürekli yaşanmıştır. Türkiye’de üretimlerine devam eden doğalgaz kombine çevrim santrallarına bakıldığında, imal edildiği yıl ve teknolojik gelişmişlik durumuna göre farklı verim düzeyleri dikkat çekmektedir. Yakıt maliyetlerinin üretim maliyetini direkt olarak etkilediği doğalgaz kombine çevrim santrallarında, kombine çevrim verimi elektrik piyasa fiyatlarının dalgalı seyri de düşünüldüğünde çalışma durumunu etkileyen temel parametrelerdendir. Bu kapsamda, etkin bir portföy yönetimi için gerekli olan revizyon bakım önceliklendirmesinde kombine çevrim verimi direkt olarak etkilidir.

5. Revizyon Bakım Gereksinimi

Özellikle ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü termik kökenli santrallarda, yüksek sıcaklık, yüksek basınç, akım ve gerilim değişimlerinden dolayı mekanik, elektriksel ve ölçü ve kontrol ekipmanlarında bozunumlar oluşmaktadır. Bu nedenle, santrallara kaynak ve tip ayırt etmeksizin üretici firmaların belirlediği çalışma saatleri neticesinde kapsamlı bakımlar uygulanmak zorundadır [36,37]. Bu bağlamda, bir doğalgaz kombine çevrim santral portföyünün revizyon bakım önceliklendirmesinde direkt etkili unsurlardan birisi de revizyon bakım gereksiniminin tekrar edeceği zaman aralığıdır.

6. Eşdeğer İşletme Saati

Santralların revizyon bakım gereksinimleri için zamansal olarak EOH temel gösterge olarak kullanılmaktadır. EOH, ünitelerin çalışma saatlerini ünitenin ilk devreye alındığı saat ve/veya son revizyon bakımdan sonra devreye alınmasından itibaren çalıştığı süre üzerinden hesaplanmaktadır. EOH, normal işletme koşullarında hesaplanmasının yanında, ünite start-stop gibi manevralar ve beklenmedik ünite duruşları gibi arıza durumlarının da hesaba katıldığı bir süreç dikkate alınarak değerlendirilir.

Santrallar, revizyon bakımlarını EOH üzerinden hesaplar, eleman ve malzeme ihtiyacı durumlarını buna göre planlar. Bu çalışma kapsamında değerlendiren bakımlar majör overhaul olarak da adlandırılan revizyon bakımlar olduğu için genelde bu bakımlarda malzeme, yedek parça temini ve eleman organizasyonu belirli süreçler içermektedir ve iyi planlanmak zorundadır. Bakımların belirli sürelerle ihtiyaçları vardır ve daha önce de belirtildiği üzere İletim Sistem Operatörü onayına da tabi olduğu için süreç ve tahmin edilen bakım sürelerinin analitik olarak planlanmaları esastır.

Özetle, emre amadelik oranının maksimize edilerek hem üretim veriminin artırılması hem de maliyetlerin düşürülerek toplam portföy kârlılığının sağlanması

amacıyla, EOH’si revizyon bakım gereksiniminde belirlenen saatlere yakın olan santrallar öncelikli olarak bakıma alınmalıdır.

Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemine göre simetrik bir matris olan ikili karşılaştırma matrisi (Çizelge 2) oluşturulmuş ve elde edilen ağırlıklar Çizelge 3’de sunulmuştur. Kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi hazırlanırken, en az 10 yıl doğalgaz kombine çevrim santral işletme ve bakım tecrübesi olan 5 adet makine, elektrik ve endüstri mühendislerinden oluşan uzman görüşlerine başvurulmuştur. Matrisin hazırlanması sürecinde, yukarıda kapsamlı olarak tanımları verilen kriterler kendi aralarında Saaty’nin 1-9 önem skalası [34] temel alınarak kıyaslanmış ve her ikili karşılaştırma için uygun olan önem derecesi santralların bakım önceliklendirmesi bağlamında belirlenmiştir. Bu ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,0845 olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda, 0,1’den küçük bulunan bu değere göre matris tutarlıdır.

Çizelge 2. Değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi (Pairwise comparison matrix of evaluation criteria)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1	2	2	2	3	3
C2	1/2	1	2	2	3	3
C3	1/2	1/2	1	3	1	2
C4	1/2	1/2	1/3	1	4	2
C5	1/3	1/3	1	1/4	1	2
C6	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1

Çizelge 3. Kriter ağırlıkları (Criteria weights)

Kriter Kodu	Kriterler	Ağırlıklar
C1	Arz Güvenliğine Etkisi / Çalışma Zorunluluğu	0,289
C2	Eş Değer İşletme Saati	0,227
C3	Revizyon Bakım Gereksinimi	0,165
C4	Piyasa Fiyatlarının Etkisi	0,150
C5	Kombine Çevrim Verimi	0,098
C6	Yakıt Tipi	0,071

Doğalgaz kombine çevrim santrallarının yukarıda detaylı olarak belirtilen çalışma prensipleri, işletme ve bakım gereksinimleri ve kullanım nedenleri hem elektrik üretim sistemi hem piyasa koşulları hem de santral iç dinamikleri açısından birlikte ele alındığında, Çizelge 3’deki sonuçların gerçek hayatla da tutarlı olduğu yorumu yapılabilir. Çünkü, santral işletmeciliğinde ana amaç enerji arz güvenliğini desteklemektir. Seçilen portföydeki santralların revizyon bakım önceliklerine

karar verilirken %30'a yakın etkinin bu kriterden gelmesi anlamlıdır. Santralların enerji arz güvenliğine maksimum katma değeri sağlamalarını destekleyen en önemli unsurun bakım olduğu gerçeğinden hareketle, EOH ve revizyon bakım gereksinimi kriterlerinin birbirlerine yakın değerler alarak yaklaşık %40'luk bir etki oluşturması da elektrik üretim sistemi dinamikleri açısından doğrudur. Piyasa fiyatlarına göre revizyon bakımların önceliklendirilmesi sayesinde portföyün toplam kârlılığının artırılacağı gerçeği düşünüldüğünde, C4'ün %15 değer alması da tutarlı bir sonuçtur. Bunu destekleyen bir diğer unsur ise, kombine çevrim veriminin bu kriteri takip ederek yaklaşık %10'luk oran ile karar probleminde etki etmesidir. Çünkü, verimi yüksek olan santralda daha düşük maliyet ile üretim yapılabilir ve bu santralların öncelikli olarak bakıma alınması sayesinde değişen piyasa fiyatlarına daha etkin cevap verme imkânı elde edilerek portföyün daha kârlı olması sağlanabilir. Yakıt tipi kriterinin de revizyon bakım önceliklendirmesinde etken olduğu bilinmekle birlikte, diğer 5 kritere göre daha az önemli olduğu kabul edilen bir gerçektir.

yöntemi için karar matrisi (Çizelge 5), her bir parametreye 1-100 arasında değerler atanarak oluşturulmuştur. Çizelge 4'deki verilere göre her bir kriter altındaki parametrelerin karar matrisindeki değerlerinin atanması/hesaplanmasına ilişkin detaylar aşağıda sunulmuştur:

- C1: Öncelikli – 80, zaman zaman – 70, nadiren – 50
- C2: C3'de verilen sürelerin katlarında bakım olacağı için C3'deki süreler üzerinden geçen zaman hesaplanmıştır. Örneğin, GT111 için $48.000 - (138.987 - (48.000 * \lceil 138.987/48.000 \rceil)) = 5.013$. Bu değer, GT111'in 48.000 saatlik revizyon bakımına 5.013 saat kaldığını göstermektedir. Bu nedenle, bu değer ne kadar büyük olursa 1-100 skalasına göre o kadar küçük değer alacaktır. Ancak, GT331 ve GT332 bu hesaplama prosedürüne göre sırasıyla -3.551 ve -8.309 değerlerini almıştır. Bu da bu ünitelerin 33.000 saatlik bakımlarının geçtiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, Çizelge 5'de bu parametrelere 100 puan atanmıştır. Bu açıklamalara göre, bu kriter için en küçük değere bakıma daha çok

Çizelge 4. Karar matrisi için santral verileri (Power plant data for decision matrix)

*Ünite Kodu	Kriterler					
	C1	**C2 (saat)	***C3 (saat)	C4	C5 (%)	C6
GT111	Öncelikli	138.987	48.000	Yüksek	55	Doğalgaz
GT112	Öncelikli	144.320	48.000	Yüksek	55	Doğalgaz
GT121	Öncelikli	118.323	48.000	Yüksek	55	Doğalgaz
GT122	Öncelikli	115.645	48.000	Yüksek	55	Doğalgaz
GT211	Zaman Zaman	48.700	25.000	Orta	55	Doğalgaz – motorin
GT221	Zaman Zaman	50.500	25.000	Orta	55	Doğalgaz – motorin
GT311	Nadiren	29.298	41.000	Düşük	51	Doğalgaz
GT312	Nadiren	4.627	41.000	Düşük	51	Doğalgaz – motorin
GT321	Nadiren	26.182	33.000	Düşük	52	Doğalgaz – motorin
GT322	Nadiren	5.197	33.000	Düşük	52	Doğalgaz – motorin
GT331	Nadiren	36.551	33.000	Düşük	51	Doğalgaz – motorin
GT332	Nadiren	41.309	33.000	Düşük	51	Doğalgaz – motorin

* GT – gaz türbini, sayısal üç dijitten ilki kaçınıcı santrala ait olduğunu, ikincisi kaçınıcı blokta yer aldığını, üçüncüsü ise o bloktaki kaçınıcı gaz türbini olduğunu göstermektedir. Örneğin, GT111, 1.santraldaki 1.blokta yer alan 1.gaz türbinidir.

** 1. ve 2. santrallara ait gaz türbinlerinin EOH'leri, gaz türbininin işletmeye alındığı günden bugüne kadar çalıştığı toplam süreyi, 3. santralda ise son revizyon bakımdan (C3 kriteri) bu yana çalıştırıldığı süreyi göstermektedir.

*** Ünitenin bakıma alınması için çalışması gereken süredir. Örneğin, GT111 için her 48.000 saatte bir revizyon bakıma ihtiyaç vardır

3.2. Revizyon Bakım Gereksinimi Açısından Gaz Türbinlerinin Sıralanması (Ranking the Gas Turbines in terms of Revision Maintenance Necessity)

Belirlenen problem için ilk aşamada, söz konusu santrallardan alınan ölçülebilir veriler, bir önceki aşamada detaylandırılan kriterler altında Çizelge 4'de sunulmuştur.

Kriterlerin belirlenmesi ve bunlara ait ikili karşılaştırmaların yapılması aşamasında görüşlerine başvuru santral uzmanlarının değerlendirmeleri neticesinde, Çizelge 4'deki veriler ışığında TOPSIS

zaman kaldığını ifade ettiği için en büyük değer verilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, en küçük değer -8,309'dur. Fakat bu değere göre bir düzenleme yapılması halinde diğer değerler çok küçük ve matematiksel olarak anlamlı olmayan değerler olacağı için, en küçük pozitif değer olan GT211'e ait 1.300 saat dikkate alınmış ve bu değer en küçük negatif değere oranı hesaba katılarak tüm ünitelerin C2 kriteri altındaki değerleri 1-100 arasında hesaplanmıştır.

- C3: En küçük değere 100 puan atanmıştır. Çünkü, bu kriter ünitelerin ne kadar sıklıkta bakıma girmesi gerektiğini göstermektedir. Bu atama referans

alınarak diğer değerler doğru orantı ile hesaplanmıştır.

- C4: Yüksek – 80, orta – 70, düşük – 50
- C5: En yüksek değere 100 puan atanmıştır. Çünkü, kombine çevrim verimi yüksek olan ünitenin emre amadeliğinin etkin ve yüksek olması için daha önce bakıma alınmalıdır. Bu atama referans alınarak diğer değerler doğru orantı ile hesaplanmıştır.
- C6: Doğalgaz – 50, doğalgaz + motorin – 70

Çizelge 5. Karar matrisi (Decision matrix)

Ünite Kodu	Kriterler					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
GT111	80,00	21,88	52,08	80,00	100,00	50,00
GT112	80,00	2,30	52,08	80,00	100,00	50,00
GT121	80,00	4,27	52,08	80,00	100,00	50,00
GT122	80,00	3,87	52,08	80,00	100,00	50,00
GT211	70,00	84,35	100,00	70,00	100,00	70,00
GT221	70,00	4,48	100,00	70,00	100,00	70,00
GT311	50,00	9,37	60,98	50,00	92,73	70,00
GT312	50,00	3,01	60,98	50,00	92,73	50,00
GT321	50,00	16,08	75,76	50,00	94,55	70,00
GT322	50,00	3,94	75,76	50,00	94,55	70,00
GT331	50,00	100,00	75,76	50,00	92,73	70,00
GT332	50,00	100,00	75,76	50,00	92,73	70,00

AHP ile hesaplanan kriter ağırlıkları ile normalize karar matrisi kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuştur. Daha sonra, ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri elde edilmiş ve bu kümelerden ayırım ölçütleri hesaplanarak, ideal ve negatif ideal çözümlere yakınlıklar, yani portföydeki gaz türbinlerinin revizyon bakım öncelik sıralaması elde edilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Gaz türbinlerinin revizyon bakım öncelik sıralaması (Revision maintenance priority ranking of gas turbines)

Sıra	Ünite Kodu	Hesaplanan Öncelik Değeri	*Ayarlanmış Öncelik Değeri
1	GT211	0,823017748	100
2	GT331	0,742010217	90,15725593
3	GT332	0,742010217	90,15725593
4	GT111	0,315227582	38,30143187
5	GT221	0,251127869	30,51305637
6	GT121	0,245926908	29,88111845
7	GT122	0,245066137	29,77653127
8	GT112	0,24203899	29,40872065
9	GT321	0,170661966	20,73612227
10	GT322	0,1105148	13,42799723
11	GT311	0,089168347	10,83431637
12	GT312	0,040703835	4,94568138

*Hesaplanan öncelik değerlerinden maksimum olana okuma kolaylığı sağlanması için 100 puan ataması yapılmış ve diğer değerler buna göre ayarlanmıştır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Hem portföy kârlılığı hem de enerji arz güvenliğine katkı sağlamak temel amaçlarıyla Türkiye'deki büyük doğalgaz kombine çevrim santrali portföylerinden birisinde 3 farklı santrale ait 12 ünitenin revizyon bakım önceliklendirmesi problemini ele alan bu çalışmada, literatürdeki portföy bakım çizelgeleme çalışmalarından farklı olarak çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Bunun nedeni, seçilen portföyün büyüklüğünden yola çıkarak İletim Sistem Operatörünün arz güvenliği ve iletim sistem kısıtları açısından bu portföydeki santrallara üretim emrini, bakım dönemlerini erteleyerek verme olasılığının yüksek olmasıdır. Başka bir ifade ile belirtilen zorunluluklardan dolayı, belirli tarihlerde bakımların gerçekleştirilememesi durumunun sıklıkla yaşanmasıdır. Bu nedenle de asıl ihtiyaç, özellikle yüksek üretim kapasitesine sahip olan konvansiyonel santral portföylerinin arz güvenliği açısından emre amade olmalarını temin etmek için revizyon bakım önceliklerinin tayin edilmesidir. Bu çalışma ile ayrıca, literatürde ilk kez avantajları temel alınarak bir doğalgaz kombine çevrim santrali portföyü ele alınmış ve yine literatürde ilk defa periyodik bakımlardan ziyade daha kapsamlı revizyon bakımların planlanması için bir önceliklendirme yapılmıştır.

Santral uzmanları ile belirlenen değerlendirme kriterleri, doğalgaz kombine çevrim santrallerinin bakım açısından önceliklendirilmesi için gerçek hayatla tutarlı olarak hem içsel hem de dışsal tüm unsurları ihtiva edecek şekilde belirlenmiştir. Bu kriterlerin mevcut elektrik üretim sistemi ve piyasa koşulları dikkate alınarak tutarlı ağırlıklandırması neticesinde, Çizelge 5'deki karar matrisi temelinde gerçek hayatla tutarlı bir sıralama (Çizelge 6) elde edilmiştir. Çünkü;

- Revizyon bakım önceliğinin en yüksek olduğu ünite GT211'dir. Bu ünite kriter ağırlıkları açısından en yüksek değere sahip C1, C2 ve C4 kriterlerinden (yaklaşık %65) en yüksek ikinci puanları, diğerlerinden ise en yüksek puanları almıştır. Başka bir ifade ile santralin arz güvenliğine etkisi yüksek düzeyde iken, EOH'sine göre bakım zamanı yaklaşmaktadır. Aynı zamanda piyasa fiyatlarından da orta düzeyde etkilenmektedir. Kombine çevrim verimi olarak ilk sıradaki grupta yer alan ünite, 25.000 saatlik revizyon bakım gereksinimi açısından da önceliklidir.
- İkinci ve üçüncü sırayı aynı puanla paylaşan GT331 ve GT332 üniteleri aynı santralde yer almaktadır. Bunların birinci sıradaki üniteyi yakın bir puanla takip etmesinin ana nedeni, EOH'lerine göre revizyon bakım dönemini geçirmiş olmalarıdır. Bu nedenle de ivedi olarak bakıma alınmaları gerekmektedir. Kombine çevrim verimi olarak yüksek değere sahip bu üniteler, çift yakıtlı gaz türbinleridir ve arz güvenliğine olan etkileri ve piyasa fiyatlarından etkilenme durumları diğer alternatiflere göre düşük olmasına rağmen revizyon bakım

gereksiniminde 33.000 saat ile ikinci sırada yer almaktadırlar.

- Yukarıda belirtilen üniteleri, spesifikasyonları birbirine benzer olan birinci santrala ait gaz türbinleri (GT111, GT121, GT122 ve GT112) ile ikinci santralin ikinci gaz türbini (GT221) takip etmektedir. Bu üniteler, EOH olarak bakıma kalan süreleri yüksek ünitelerdir ve arz güvenliğine etkileri ve kombine çevrim verimleri yüksek olmasına rağmen kullandıkları yakıt tipi ve revizyon bakım gereksiniminden dolayı üçüncü öncelikli grupta yer almıştır. GT221'in bu 4 üniteden biraz daha yüksek puan almasının nedeni ise, kullandığı yakıt tipinin verdiği avantaj ile revizyon bakım gereksiniminin daha yüksek olmasıdır.
- Son grupta yer alan 4 ünite ise üçüncü santrala ait gaz türbinleridir ve bu üniteler diğer santrallardakilerden daha eski yıllarda inşa edilmiştir. Bu nedenle de hem kombine çevrim verimleri hem arz güvenliğine etki düzeyleri hem de piyasa fiyatlarından etkilenme düzeyleri daha düşüktür. EOH'leri açısından revizyon bakıma kalan süreleri de yüksek olduğu için bu santralların revizyon bakım önceliklendirmesinde son sırada yer almaları tutarlı bir sonuçtur.

Bir elektrik üretim portföyünün bakım planlamasının değişken piyasa koşullarının dikkate alınarak yapılması olarak literatürde ilk kez bu çalışmada tanımlanan etkin emre amadelik oranının artırılmasına katkı sağlamak amacıyla yapılması gerektiği düşünüldüğünde, yukarıdaki değerlendirmeler ışığında bu çalışmanın sonuçlarının portföy sahibi kuruluşa önemli katkılar sağlayacağı beklenmektedir. Çünkü, fiyatların yüksek olduğu zaman dilimlerinde, farklı üretim maliyetlerine sahip santrallardan en düşük maliyete ve en yüksek verime sahip olanın çalıştırılması için, ilgili santralların/ünitelerin emre amade olmalarının sağlanması portföy sahibi kuruluşa büyük bir avantaj sağlayacaktır. Bu bağlamda, kapsamlı bir bakış açısıyla gerçek hayat santral işletmeciliğine dair bakım planlamasına etki eden değerlendirme kriterleri altında analitik olarak elde edilen revizyon bakım öncelik sırasının, piyasa fiyatlarının kuruluş açısından daha kârlı imkanlar sunacağı dönemlerde ünitelerin çalıştırılarak daha yüksek getiri sağlanması ve ülkenin enerji arz güvenliğine yüksek kapasiteli santralları ile daha yüksek verimde, kesintisiz, çevreye duyarlı ve daha ekonomik üretim sağlayarak hizmet etmesi bu çalışmanın hem uygulamanın yapıldığı portföye hem de literatürde ileride yapılacak çalışmalara sunacağı beklenen katkılardır.

Son yıllarda kapasite kullanma oranları düşen doğalgaz kombine çevrim santrallarının üretim verimliliğinin ve piyasa koşul ve fırsatlarında emre amadeliklerinin etkin ve yüksek olması ile santral güvenilirliğinin ve kârlılıklarının artırılması adına güzel sonuçlar elde edilen bu çalışma sonucunda gelecekte yapılması önerilen çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

- Farklı bir kaynak grubu/santral tipi için (hidroelektrik gibi) belirlenecek bir portföyde benzer bir problem çözülebilir.
- Literatürdeki bazı çalışmalarda olduğu gibi, farklı santral tiplerinden oluşan portföyler için bu problem çözülebilir.
- Yukarıdaki iki öneri, çok kriterli karar verme algoritmalarından TOPSIS'le aynı grupta yer alan diğer sıralama algoritmaları ile gerçekleştirilerek sonuçların karşılaştırması yapılabilir.
- Yukarıdaki öneriler, çok kriterli karar verme algoritmalarının bulanık formları ile gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Verilerin tedarik edilmesi, değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması süreçlerine verdikleri destekten dolayı Onur Göksoy, Erman Tuna ve Ali Ünal'a teşekkürlerimizi sunarız.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

İzzet ALAGÖZ: Enerji sektöründeki deneyimi ve çalışmaları ile problemin tespiti, çözümü ve sonuçların değerlendirilmesinde katkılar sunmuştur.

Nermin AVŞAR ÖZCAN: Çalışmada ele alınan probleme ilişkin verilerin toplanması, çözüm yöntemlerinin uygulanması ve sonuçların raporlanması sürecini gerçekleştirmiştir.

Umur KÜÇÜKYARAR: : Uygulama alanı ile ilgili sistem analizinin yapılmasında katkı sağlamıştır.

Evrencan ÖZCAN: Bakım konusundaki deneyimi ile çalışmada kullanılan yöntemlerin belirlenmesi ve sonuçların doğrulanması süreçlerine katkılar sunmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

REFERENCES

- [1] Özcan E.C., "*Bakım Yönetim Sistemi: Kurulum ve İşletme Esasları*"; Elektrik Üretim A.Ş. Yayınları, (2016).
- [2] Márquez A.C., "*The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*", Springer Science & Business Media, (2007).

- [3] Özcan E.C., Ünlüsoy S. and Eren T., “A combined goal programming—AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78: 1410–1423, (2017).
- [4] Velasquez M. and Hester P.T., “An analysis of multi-criteria decision making methods”, *International Journal of Operations Research*, 10(2): 56–66, (2013).
- [5] Cheung K.Y., Hui C.W., Sakamoto H., Hirata K. and O’Young L., “Short-term site-wide maintenance scheduling”, *Computers and Chemical Engineering*, 28(1-2): 91-102, (2004).
- [6] Fattahi M., Mahootchi M., Mosadegh H. and Fallahi F., “A new approach for maintenance scheduling of generating units in electrical power systems based on their operational hours”, *Computers and Operations Research*, 50: 61-79, (2014).
- [7] Yssaad B. and Abene A., “Rational reliability centered maintenance optimization for power distribution systems”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73: 350-360, (2015).
- [8] Piasson D., Biscaro A.A., Leão F.B. and Mantovani J.R.S., “A new approach for reliability-centered maintenance programs in electric power distribution systems based on a multiobjective genetic algorithm”, *Electric Power Systems Research*, 137: 41-50, (2016).
- [9] Sheikhalishahi M., Azadeh A. and Pintelon L., “Dynamic maintenance planning approach by considering grouping strategy and human factors”, *Process Safety and Environmental Protection*, 107: 289-298, (2017).
- [10] Krishnasamy L., Khan F. and Haddara M., “Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(2): 69-81, (2005).
- [11] Ayooibia N. and Mohsendokht M., “Multi-objective optimization of maintenance programs in nuclear power plants using genetic algorithm and sensitivity index decision making”, *Annals of Nuclear Energy*, 88: 95-99, (2016).
- [12] Wang K., Zhang B., Wu X., Zhai J., Shao W. and Duan Y., “Multi-time scales coordination scheduling of wind power integrated system”, *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, Tianjin, Çin, 1-4, (2012).
- [13] Perez-Canto S. and Rubio-Romero J.C., “A model for the preventive maintenance scheduling of power plants including wind farms”, *Reliability Engineering and System Safety*, 119: 67-75, (2013).
- [14] Dai L., Stålhane M. and Utne I.B., “Routing and scheduling of maintenance fleet for offshore wind farms”, *Wind Engineering*, 39(1): 15-30, (2015).
- [15] Abdollahzadeh H., Atashgar K. and Abbasi M., “Multi-objective opportunistic maintenance optimization of a wind farm considering limited number of maintenance groups”, *Renewable Energy*, 88: 247-261, (2016).
- [16] Froger A., Gendreau M., Mendoza J.E., Pinson E. and Rousseau L.M., “A branch-and-check approach for a wind turbine maintenance scheduling problem”, *Computers and Operations Research*, 88: 117-136, (2017).
- [17] Zhong S., Pantelous A.A., Beer M. and Zhou J., “Constrained non-linear multi-objective optimisation of preventive maintenance scheduling for offshore wind farms”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 104: 347-369, (2018).
- [18] Backlund F. and Hannu J., “Can we make maintenance decisions on risk analysis results?”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1): 77-91, (2002).
- [19] Özcan E.C. ve Eren T., “Bakım planlamasında TOPSIS yöntemi uygulaması: doğalgaz kombine çevrim santral örneği”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma Geliştirme Dergisi*, 6(2): 26-38, (2014).
- [20] Özcan E.C., Yumuşak R. and Eren T., “Risk based maintenance in the hydroelectric power plants”, *Energies*, 12: 1502, (2019).
- [21] Özcan E.C., Danişan T. ve Eren T., “Hidroelektrik santrallarda bakım çizelgeleme için hibrid bir model önerisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Basımda, (2020).
- [22] Baskar S., Subbaraj P. and Rao M.V.C., Tamilselvi S., “Genetic algorithms solution to generator maintenance scheduling with modified genetic operators”, *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 150(1): 56-60, (2003).
- [23] Bisanovic S., Hajro M., Dlakic M., “A profit-based maintenance scheduling of thermal power units in electricity market”, *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(3): 156-164, (2011).
- [24] Canto S.P., “Application of Benders’ decomposition to power plant preventive maintenance scheduling”, *European Journal of Operational Research*, 184(2): 759-777, (2008).
- [25] Perez-Canto S. and Rubio-Romero J.C., “A model for the preventive maintenance scheduling of power plants including wind farms”, *Reliability Engineering & System Safety*, 119: 67-75, (2013).
- [26] Dahal K.P., Aldridge C.J. and McDonald J.R., “Generator maintenance scheduling using a genetic algorithm with a fuzzy evaluation function”, *Fuzzy Sets and Systems*, 102(1): 21-29, (1999).
- [27] Dahal K.P. and Chakpitak N., “Generator maintenance scheduling in power systems using metaheuristic-based hybrid approaches”, *Electric Power Systems Research*, 77(7): 771-779, (2007).
- [28] Mazidi P., Tohidi Y., Ramos A. and Sanz-Bobi M.A., “Profit-maximization generation maintenance scheduling through bi-level programming”, *European Journal of Operational Research*, 264(3): 1045-1057, (2018).
- [29] Naebi Toutouchi A., Seyed Shenava S.J., Taheri S.S. and Shayeghi H., “MPEC approach for solving preventive maintenance scheduling of power units in a market environment”, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 40(2): 436-445, (2018).
- [30] Lei X. and Sandborn P.A., “Maintenance scheduling based on remaining useful life predictions for wind farms managed using power purchase agreements”, *Renewable Energy*, 116: 188-198, (2018).
- [31] Lindner B.G., Brits R., Van Vuuren J. H. and Bekker J., “Tradeoffs between levelling the reserve margin and minimising production cost in generator maintenance scheduling for regulated power systems”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 101: 458-471, (2018).

- [32] Behnia H. and Akhbari M., “Generation and transmission equipment maintenance scheduling by transmission switching and phase shifting transformer”, *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 32(1): 2483, (2019).
- [33] Barot H. and Bhattacharya K., “Security coordinated maintenance scheduling in deregulation based on genco contribution to unserved energy”, *IEEE Transactions on Power Systems*, 23(4): 1871-1882, (2008).
- [34] Saaty T., “Decision making with the analytic hierarchy process”, *International Journal of Services Sciences*, 1(1):83–98, (2008).
- [35] Hwang C.L. and Yoon K., “*Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*”, Springer-Verlag, (1981).
- [36] Özcan E.C., Gür Ş. and Eren T., “A hybrid model to optimize the maintenance policies in the hydroelectric power plants”, *Journal of Polytechnic*, In Press, (2020).
- [37] Özcan E.C., Danişan T. ve Eren T., “Hidroelektrik santrallerin en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için bir matematiksel model önerisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4): 498-506, (2019).