

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMİK SANTRALLARDA BAKIM STRATEJİ SEÇİMİ: BİR UYGULAMA

Sultan ÜNLÜSOY

OCAK 2020

ÖZET

TERMİK SANTRALLARDA BAKIM STRATEJİ SEÇİMİ: BİR UYGULAMA

ÜNLÜSOY, Sultan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Suna ÇETİN

Ortak Danışman: Prof. Dr. Tamer EREN

Ocak 2020, 72 sayfa

Ülkelerin kendini görünür kılması, ekonomik ve toplumsal olarak kalkınabilmesine bağlıdır. Günümüzde bu kalkınmayı doğrudan etkileyen en büyük unsurlardan biri ise enerjidir. Gelişen teknoloji, şehirleşme, sanayileşme ve nüfus artışı enerjiye olan talebin artışına sebep olarak gösterilebilir. Enerji talebinin hızla artması, ülkelerin enerjinin sürdürülebilirliği konusunda önlemler almasına sebep olmuştur.

Enerji santralleri birçok ekipmandan oluşan büyük ve karmaşık sistemlerdir. Ekipmanlar verimli kullanılmadığında sistem doğrudan etkilenebilmekte ve üretimin durması gibi ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Bu da dolaylı yoldan maliyet ve verimliliği, doğrudan sürdürülebilirliği etkilemektedir. Günümüzde bakım talimatları bilinen ekipmanlar konusundaki problemler kritikleşmeden çözülsede diğer ekipmanlar için bu durum her zaman geçerli değildir. Geleneksel yaklaşımla, idareciler tarafından tecrübeye dayalı olarak seçilen bakım stratejileri ve yapılan çizelgeler, günümüz koşullarında ekipmanların bakım ihtiyaçlarını karşılamakta yeterli gelmemektedir. Bu sebeple ekipmanların bakım ihtiyaçlarını en üst seviyede karşılayacak bakım çizelgelerinin sistematik şekilde oluşturulması zorunluluk haline gelmiştir. Etkin bir bakım çizelgesi oluşturmak için ilk adım ekipmanlar için doğru bakım stratejilerinin seçilmesidir. Bazı ekipmanlar için arıza bakım yeterli olurken bazı ekipmanlar için kestirimci bakım veya revizyon bakım gerekebilir.

Bu alışmada, Temmuz 2019 itibariyle Türkiye’de toplam elektrik üretiminin %51,70’ini karşılayan termik santrallarda bakım strateji seçimi problemi beş aşamada ele alınmıştır. İlk dört adımda 657 ekipmanlı bir ünitede yer alan ekipmanların bakım strateji seçiminde kararı etkileyen kriter ve alt kriter ağırlıkları Analitik Hiyeaarşı Proses (AHP), Analitik Ağı Süreci (Analytic Network Process; ANP) yöntemleri ile hesaplanmış ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemi ile ekipman öncelik puanları belirlenerek ekipmanlar bu puanlara göre gruplandırılmıştır. Beşinci ve son adımda ise ele alınan 657 ekipmanın ayrıldığı 21 grup için Hedef Programlama (HP) modeli kurularak bakım strateji seçimi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Bakım Strateji Seçimi, Termik Santral, Analitik Hiyerarşı Prosesi, Analitik Ağı Prosesi, TOPSIS, Hedef Programlama.

ABSTRACT

MAINTENANCE STRATEGY SELECTION OF THERMAL POWER PLANTS: A CASE STUDY

ÜNLÜSOY, Sultan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering Master's Thesis

Supervisor: Asst. Dr. Suna ÇETİN

Co- Supervisor: Prof. Dr. Tamer EREN

January 2020, 72 pages

The fact that countries make themselves visible in the international arena depends on their economic and social development. Today, energy is one of the biggest factors that directly affect this development. Development of technology, urbanization, industrialization and population growth can be cited as the reason for the increase in energy demand.

Power plants are large and complex systems consisting of many equipment. When the equipment is not used efficiently, the system can be directly affected and can cause serious problems such as production downtime. Although today's maintenance instructions can solve problems with known equipment without being critical, this is not always the case with other equipment. With the traditional approach, the schedules prepared manually by the managers with much time and effort based on experience are not sufficient to meet the maintenance needs of the equipment in today's conditions. For this reason, it has become a necessity to systematically create maintenance schedules that will meet the maintenance needs of the equipment at the highest level. The first step of creating an effective maintenance schedule is to choose the right maintenance strategy for the equipment. For some equipment, corrective maintenance

is sufficient, while for some equipment, predictive maintenance or revision maintenance may be required.

In this study, the problem of maintenance strategy selection in thermal power plants that account for 51.70% of total electricity production in Turkey as of July 2019 was discussed in five stages. A unit which includes 657 equipments is located in the first four steps, equipment maintenance affect the decision strategy in the selection of criteria and sub-criteria weights calculated by using AHP (Analytical Hierarchy Process) and ANP (Analytics Network Process). With AHP and ANP values, priority scores of the equipments are calculated by using the technique for order preference by Similarity to ideal solution (TOPSIS) and equipments have been grouped according to this score. In the fifth and final step, maintenance strategy selection was made by establishing a goal programming (GP) model for 21 groups of 657 equipment.

Keywords: Maintenance Strategy Selection, Thermal Power Plant, Analitic Hierarchy Process, Analitic Network Process, TOPSIS, Goal Programming

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanma sürecinde desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Suna ÇETİN'e, çalışmalarımda beni daima motive eden Sayın Prof. Dr. Tamer EREN ve Dr. Öğr. Üyesi Hacı Mehmet ALAKAŞ'a, tecrübeleriyle çalışmama ışık tutan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Evrencan ÖZCAN'a, okul hayatımız boyunca beraber ilerlediğimiz yol arkadaşım Şeyda GÜR'e, her koşulda yanımda olan Çağatay ÜNAL'a ve tezim süresince yardımlarını esirgemeyen MAN Türkiye A.Ş. çalışma arkadaşlarım ve idarecilerime teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında beni destekleyen başta babam Saadet Ünlüsoy olmak üzere hep yanımda hissettiğim biricik annem Meryem Ünlüsoy'a ve canım kardeşlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. BAKIM YÖNETİMİ.....	4
2.1. Bakım Türleri	5
2.1.1. Periyodik Bakım	5
2.1.2. Kestirimci Bakım.....	6
2.1.3. Düzeltici (Arızı) Bakım	6
2.1.4. Revizyon Bakım	7
3. TERMİK SANTRALLAR VE BAKIM	8
3.1. Türkiye’de Termik Santrallar	10
3.2. Termik Santralların Çalışma Esasları.....	11
3.3. Termik Santrallarda Bakım	13
4. KULLANILAN YÖNTEMLER	15
4.1. AHP Yöntemi	15
4.2. ANP Yöntemi	19
4.3. TOPSIS Yöntemi.....	21
4. 4. Hedef Programlama Yöntemi.....	23
5. LİTERATÜR TARAMASI	26
6. UYGULAMA.....	38
6.1. Kriterlerin Belirlenmesi.....	40
6.2. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	41
6.2.1. AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	41
6.2.1. ANP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	42

6.3. Kritik Ekipmanların Belirlenmesi	43
6.3.1. AHP- TOPSIS Kombinasyonu ile Ekipmanların Belirlenmesi	44
6.3.2. ANP- TOPSIS Kombinasyonu ile Ekipmanların Belirlenmesi	45
6.4. Hedef Programlama ile Bakım Stratejilerinin Optimizasyonu	46
6.5. Model Çıktılarının Yorumlanması	52
7. SONUÇ.....	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	68



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4. 1. Saaty' nin önem skalası.....	26
Çizelge 4. 2. RI değerleri	28
Çizelge 6. 1. Değerlendirme kriterleri	40
Çizelge 6. 2. AHP kriter ağırlıkları.....	42
Çizelge 6. 3. ANP kriter ağırlıkları.....	43
Çizelge 6. 4. Kritik ekipman grupları ve kritiklik seviyeleri (AHP- TOPSIS).....	44
Çizelge 6. 5. Kritik ekipman grupları ve kritiklik seviyeleri (ANP- TOPSIS).....	46
Çizelge 6. 6. Bakım stratejileri kriter ağırlıkları	47
Çizelge 6. 7. Bakım stratejileri global öncelik değerleri	48
Çizelge 6. 8. Bakım stratejileri lokal öncelik değerleri	48
Çizelge 6. 9. Ekipman puan grupları için optimum bakım strateji kombinasyonları	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3. 1. Ağustos 2019 itibarıyla Türkiye’deki elektrik üretim tesislerinin toplam kurulu gücünün dağılımı	9
Şekil 3. 2. Nisan 2019 Türkiye toplam elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı	9
Şekil 3. 3. Temmuz 2019 Türkiye toplam kurulu gücün kaynaklara dağılımı	10
Şekil 3. 4. Örnek kömürlü termik santral yapısı	12
Şekil 6. 1. Uygulama adımları	49
Şekil 6. 2. Bakım strateji seçimi için kurulan AHP hiyerarşik yapısı	55



KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ Süreci
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
HP	Hedef Programlama
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution



1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşme ve azalan kaynaklar nedeniyle ülkeler arasındaki rekabet artış göstermiştir. Rekabet ortamında ülkelerin ekonomik ve toplumsal olarak kalkınması için kendi yerli ve sürdürülebilir kaynaklarını kullanmaları ön plana çıkmıştır. Enerji, bu rekabet ortamında ülkeleri öne çıkaracak en önemli unsurdur. Gelişen teknoloji, artan nüfus ve sanayileşmenin sonucu olarak enerji ihtiyacı artış göstermektedir. Dünya üzerinde bu ihtiyacın çok büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Türkiye’de de özellikle 70’li yıllardan bugüne artarak devam eden elektrik enerjisi talebi 90’lı yılların sonuna kadar genelde su, linyit, taş kömürü, ithal kömür ve fuel- oil kullanan santrallardan karşılanmıştır. Ülkemizde son 10 yılda ekonomideki yüksek gelişim hızı ve refah seviyesinin artışına bağlı olarak enerji sektöründeki her alanda talep artışı ivme kazanmıştır (Özcan ve Eren, 2014).

Termik santrallardaki her bir sistem veya ekipman için bakım stratejisi seçim problemi, sistem bileşenlerinin sayıları ve fonksiyonlarındaki farklılıklar, veri elde etmede göz önünde bulundurulması gereken ve nitelendirilmesi gereken birçok nitel ve nicel kriter gibi nedenlerden dolayı zor ve karmaşık bir sorundur. Bakım planlaması için ilk ve en önemli aşama bakım strateji seçiminin yapılmasıdır, hangi ekipman için hangi stratejinin uygulanacağı bilinmeden bir planlama ve çizelge oluşturulamaz. Bu nedenle, uygulanan stratejiler olan düzeltici, önleyici, kestirimci ve revizyon (kapsamlı ve uzun süreli periyodik / önleyici bakım) bakım gibi olası seçeneklerden ekipman için uygun bakım stratejilerine karar verilmesi şarttır. Sistem veya ekipman tabanlı bakım stratejisi optimizasyonu, özellikle gereksiz veya yetersiz bakım uygulamalarının tüm bakım bütçesinin yaklaşık üçte birine mal olması muhtemel olduğu için çok önemlidir (Mobley, 2002). Bakım kavramının önemini vurgulayan bu çalışmalar birçok alanda farklılık göstermektedir ve kullanılan çözüm metodolojileri farklılaşmaktadır (Goossens ve Basten, 2015; Baidya vd. 2018; Borjalilu ve Ghambari, 2018; Emovon vd. 2018; Mechefske ve Wang 2001).

Bu tez çalışmasında 2019 yılı temmuz ayı itibariyle Türkiye toplam elektrik üretiminin %51,70’ini karşılayan termik santrallarının yaklaşık %22’si kaynak olarak kömür ve linyit kullanmaktadır. Çalışmada, bu tip santrallardan büyük ölçekli birinde bakım politikası optimizasyonu sorunu ele alınmıştır. Literatürdeki kapsamlı araştırmalar

sonucunda, sayıca fazla olmasına rağmen termik santrallarda bakım stratejisi seçimi veya bakım politikası optimizasyon problemi ile ilgili literatürde çok az bilimsel çalışma yer almaktadır. Ayrıca, bakım stratejisi seçme problemi, literatürde bu birleşik ÇKKV yaklaşımı (AHP-TOPSIS ve ANP-TOPSIS) kullanılarak termik enerji üretim tesisleri için hiçbir zaman çözülmemiştir. Çalışmanın diğer öne çıkan özellikleri, sağladığı yönetsel katkıları, her türlü enerji santralına uygulanabilecek bir metodolojiyi ve bu metodolojiyle üretilen gerçek hayatla tutarlı sonuçları içermektedir.

Bu tez çalışması kapsamında Temmuz 2019 itibariyle Türkiye’de toplam elektrik üretiminin %51,70’ini karşılayan termik santrallarda bakım strateji seçimi problemi ele alınmıştır. Gerçekleştirilen bakım strateji seçimi için ilk iki aşamada 657 ekipmanlı bir ünite, ekipmanların bakım açısından değerlendirme kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanmış, elde edilen ağırlıklarla TOPSIS yöntemiyle ekipmanlar puanlanmış ve ünite, ekipmanlar için kritiklik seviyeleri belirlenmiştir. Üç ve dördüncü aşamada ise, santraldaki ekipmanların bakım açısından değerlendirme kriter ağırlıkları bu kez ANP yöntemi ile hesaplanmış, elde edilen ağırlıklarla TOPSIS yöntemiyle ekipmanlar puanlanmış ve ünite, ekipmanlar için kritiklik seviyeleri belirlenmiştir, aynı kritiklik seviyesine sahip olan ekipmanlar bir grup olarak değerlendirilmiştir. HP modeli kurularak her iki yöntem için de gruplanan ekipmanlar için belirlenen maliyet ve süre kısıtlarından sapmalar hesaplanarak bakım strateji seçimi yapılmıştır. Çalışmada ekipman ve kaynakların en verimli şekilde kullanılarak enerji üretiminin sürdürülebilirliği amaçlanmaktadır.

Çalışma, yedi bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm giriş bölümü olup bu bölümde enerjinin hayatımızdaki yeri, konu olarak neden termik santralin seçildiği, bakım kavramı ve öneminden kısaca bahsedilmiştir. Daha sonra bakım planlama ve çizelgeleme problemine ilişkin literatürdeki örneklerden bahsedilmiştir. Tezin bölümleri hakkında kısaca bilgi verilmiş ve son olarak tezde ele alınan problemin tanımı yapılmıştır.

İkinci bölümde, tez çalışmasının üzerine kurulduğu bakım yönetimi ele alınmıştır. Bakımın önemi, kapsamı ve periyodik, kestirimci, düzeltici (arızı), revizyon bakım çeşitleri detaylı olarak anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde Türkiye’de enerji sektörüyle ilgili güncel veriler ve şekiller paylaşılmıştır. Tez çalışmasının yürütüldüğü termik santrallerin Türkiye’deki geçmişi, termik santrallerin çalışma esasları ve santralin çalışma sisteminin anlaşılmasına yardımcı olacak örnek bir termik santral şekli ile desteklenmiştir.

Dördüncü bölümde, tezin uygulama kısmında bu problemi çözmek için faydalanan AHP, ANP, TOPSIS ve HP yöntemlerine ilişkin teorik bilgiler ve yöntemlerin temel işlem basamaklarına yer verilmiştir.

Beşinci adımda, tez kapsamında incelenen literatüre yer verilmiştir. Ayrıca termik santral sahasında bakım strateji seçimi alanında daha önce ÇKKV ve HP’nin bir arada kullanıldığı bir çalışma olmaması sebebiyle tez çalışmasının önemi vurgulanmıştır.

Altıncı bölümde ise tez kapsamında gerçekleştirilen bakım strateji optimizasyonu çalışmasının uygulamasına yer verilmiştir. Öncelikle problem ayrıntılı şekilde sunulmuş ve tanımı yapılmıştır. Uygulamanın her adımı ayrıntılı bir şekilde bu bölümde açıklanmıştır. Yedinci bölümde ise bu tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar sunulmuş ve 657 ekipmandan oluşturduğu bir üniteye tüm ekipmanlar için bakım strateji optimizasyonu yapılmıştır. Son olarak yapılan bu tez çalışmasının diğer çalışmalardan farklarına, literatüre sağlayacağı katkılara yer verilmiştir ve ilerideki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. BAKIM YÖNETİMİ

Üretiminin sürdürülebilirliği, üretimde kullanılan ekipmanların ihtiyaç duyulduğu takdirde kullanılabilmesine bağlıdır. Enerji santrallerinde bu kavram, emre amadelik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bölgesel veya ulusal olarak enerji ihtiyacını karşılayan enerji santralleri birçok ekipmandan oluşan büyük sistemlerdir. Bu sistemlerin yüksek emre amadelik, yüksek güvenilirlik, optimum performans ile ekonomik üretim yapması hedeflenir. Hedeflerin gerçekleşebilmesi ise sistemin düzgün çalışmasına; dolayısıyla ekipmanların uyumlu şekilde çalışmasına bağlıdır. Meydana gelecek arızalar bu uyumu olumsuz yönde etkilemektedir. Arızaların etkileri, ekipmanın kritiklik seviyesine göre farklılık gösterir. Bazı arızalar sistemi etkilemeden giderilebilirken, kritik ekipmanlarda meydana gelecek arızalar üretimi durdurabilir ve giderilmesi için uzun zaman dilimleri veya ekipmanın/alt parçanın yenisi ile değişimi gerekebilmektedir. Arıza kaynaklı üretim duruşları, üretimin hedeflerini doğrudan etkiler. Bu tür duruşları minimize etmek ekipman arızalarını önlemeye yönelik muayene ve bakım çalışmalarına bağlıdır. Kullanıcılara sağlıklı ve kesintisiz enerji sağlanabilmesi için arızaların minimum düzeye indirgenmesi, arızaların minimum düzeye indirgenmesi için de belirlenen aralıklarla periyodik kontrollerin ve buna bağlı bakım faaliyetlerinin yürütülmesi gerekmektedir (Özcan ve Eren, 2014).

Bakım planlaması en kısa tanımıyla bakım yapılması düşünülen bir ekipmanın nasıl, ne zaman ve ne kadar süre ile kim tarafından yapılacağının karar verilmesi işlemidir. Bakım planlaması yapılırken bakımdan kaynaklanan hizmet veya üretim kaybının sisteme olan etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bakımdan kaynaklanan hizmet veya üretim kaybı sistem işletmesini güvenli bir şekilde gerçekleştirmeyi engellememelidir (Özcan, 2013).

Etkili ve doğru hazırlanmış bakım planlarının sisteme oldukça önemli katkılarda bulunacağı öngörülmektedir, bu faydalardan birkaçı;

- Bakım masraflarının düşürülmesi,
- Gecikmeler ve kesintileri azaltarak bakım işgücü kullanımının geliştirilmesi,
- Bakım için kalifiye çalışanların seçilmesi, en iyi yöntem ve prosedürlerin uygulanmasıyla bakım kalitesinin iyileştirilmesi,

- Bakım çalışanlarının boŖta kalma zamanlarının minimuma indirgenmesi,
- Çalışma süresi, malzeme ve ekipmanın etkin kullanımının maksimize edilmesi,
- Teslimat zamanı ve kalite bakımından işletme ekipmanının üretim ihtiyacına duyarlı seviyede muhafaza edilmesidir (Yanık, 2018).

2.1. Bakım Türleri

Bakım faaliyetleri; planlı ve plansız bakımlar olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Plansız bakım, en genel hatlarıyla, ekipmanın arıza vermesi durumunda arızanın giderilmesine yönelik işlemlerden oluşur. Planlı bakım ise kestirimci ve periyodik olmak üzere ikiye ayrılır. Söz konusu bakım türlerine ek olarak tez kapsamında incelenecek olan termik santraller için revizyon bakımından da kısaca bahsedilecektir (Yanık, 2018).

2.1.1. Periyodik Bakım

Tamamlanmamış düzeltici bakım faaliyetlerini, koruyucu ve kestirimci bakım kontrollerinde tespit edilen arızaların giderilmesine yönelik iş emirleri, projeler ve organizasyonun tamamında acil olmayan ihtiyaçlar oluşturmaktadır. Tamamlanmamış düzeltici bakım, acil durumlar dışındaki açık kalan bütün planlı bakım faaliyetlerini kapsamaktadır. Bakım kaynaklarının %65-75'i bu bakım işlemlerinde kullanılmalıdır. Uygun şekilde hazırlanan iş emirleri, faaliyetlere yönelik haftalık programların oluşturulmasında kullanılır. Rutin bakım ve tamamlanmamış düzeltici bakım, bakım faaliyetlerinin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Söz konusu faaliyetlerin doğru olarak yapılması, gelecekteki teçhizat ve sistem güvenilirliğini sağlayarak, gelecekte duyulacak acil bakım ihtiyaçlarını minimize edecektir (Nyman ve Levitt, 2001). Koruyucu bakımdan başlayarak periyodik bakıma yönelmek, sistem arızalarında kalıcı, hızlı ve bunlara ek olarak çok daha ucuz çözümler üretilmesini sağlar. Enerji üretim sistemlerinde periyodik bakım, koruyucu ve kestirimci bakım işlemlerini aynı zamanlarda yürütmeye yarayan bir yöntemdir (Nyman ve Levitt, 2001).

2.1.2. Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım programı, makine veya donanımın sürekli gözlemlenmesi ve işleme şartlarının ve bu şartların zamanla gelişiminin/ değişiminin analizini içerir. Donanımın durumunun gözlemlenmesi için tercih edilen bir faaliyettir (Çebi vd., 2008). Bu faaliyet başlangıç anında, normal akışında ilerleyen işlem sürecinde ve kapama safhalarında yapılır. Elde edilen verilerin işlenmesi sonucu edinilen bilgi, işlemlerde oluşan olağandışı durumları açıklayacak ve gerekli görülen bakım faaliyetleri için karar verilmesini sağlayacaktır. Gerçekleştirilecek bakım faaliyetleri ile makine veya donanım duruşlarının minimum düzeyde tutulması sağlanabilecektir (Palmer, 2006).

Bütün bunlara ek olarak kestirimci bakım faaliyetleriyle birlikte yedek parça yönetimi kolaylaşacaktır. Tesisin ve proseslerin durumuna göre, basınç fark ölçümü, ultrason, sıcaklık ölçümü, titreşim analiz cihazları, gürültü ölçümü ve tahribatsız kontrol de tek başına veya birbirlerini destekleyecek şekilde kullanılabilir (MMO, 2017).

2.1.3. Düzeltici (Arızı) Bakım

Arıza meydana geldikten sonra onarımın yapıldığı bir bakım faaliyetidir. Acil bakım ekipleri, gerçek acil ihtiyaçlara cevap veren faaliyetleri gerçekleştirmektedir. Acil bakım ekipleri, sadece ihtiyaç duyulduğunda destek gerektiren tüm acil bakım taleplerini (ani olarak ortaya çıkan arıza sonrası teçhizatın bozulması gibi) karşılama sorumluluğuna sahiptir. Diğer bir deyişle, bu ekiplerin amacı, rutin bakım ekipleri ile tamamlanmamış düzeltici bakım destek ekipleri (planned backlog relief group) nin faaliyetlerinin kesintiye uğramasını önlemektir. Optimum olmayan aşırı bakım taleplerinde, rutin bakım grubu faaliyetlerinin aksamaması için, tamamlanmamış düzeltici bakım personelinin yaklaşık olarak %10 bakım zamanı (işgücü) desteği sağlanmalıdır (Nyman ve Levitt, 2001).

Koruyucu bakımlar, çizelgelenmiş bakım faaliyetleridir ve tezgâh ve ekipmanları gerekli çalışma şartlarında tutmak için yapılırlar. Koruyucu bakım standartları oluşturulurken ekipmanların teknik kullanım kılavuzlarından faydalanır. Periyodik muayeneler, kritik parça değişimleri, kalibrasyon ve yağlama gibi işlemler koruyucu bakım kapsamındadır (MMO, 2017).

2.1.4. Revizyon Bakım

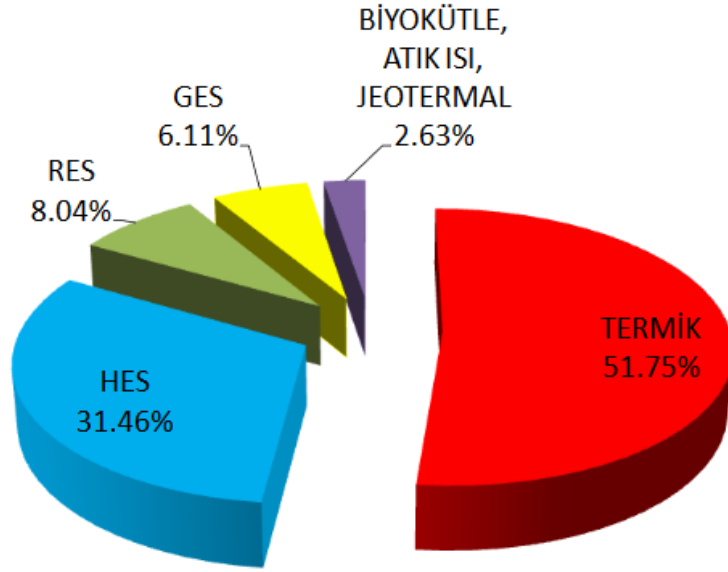
Bakıma esas olan ekipmanlardan bazılarının belli bir çevrim süresi çalışmalarından sonra yapılan bakımlardır. Farklı ekipmanlarda belirlenen çevrim süresi değişiklik gösterebilmektedir. Revizyon bakımlar çok kapsamlı ve ayrıntılı bakımlar olduğu için uzun sürebilmektedir, bu sebeple bir üniteye revizyon yapılacak birden çok ekipman varsa ve ekipmanların sistem yedekleri yoksa revizyon bakım süresince (30 ila 90 gün) ilgili üniteye/ blokta üretim durdurulur. Üretim kayıpları enerji üretim santrallerinin verimliliğini doğrudan olumsuz etkileyen bir faktör olduğu için yıl içerisinde revizyon bakım yapılacak ekipmanlara, zaman aralıkları (gün ve saat olarak) öncesinde karar verilir. Revizyon bakımı yapılacak olan ekipmanlara bağlı üretim yapan diğer ekipmanlar da bu süre içerisinde üretime dahil olmaz. (Yanık, 2018).

3. TERMİK SANTRALLAR VE BAKIM

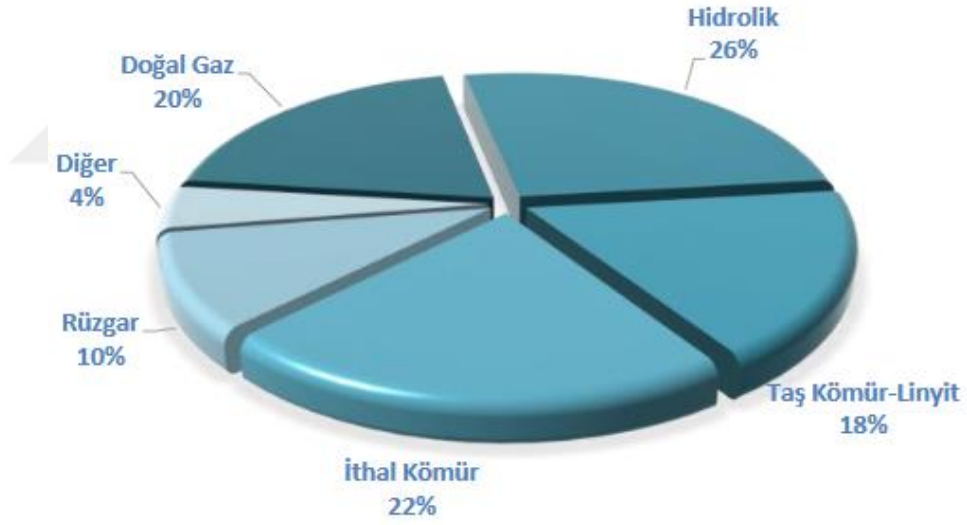
Nüfus artışı, sanayileşme ve şehirleşmeyle birlikte artan ticaret olanakları ve hızla gelişen teknolojinin insan hayatında vazgeçilmez bir unsur haline gelmesinin sonucu bir sonucu olarak enerjiye olan talep gün geçtikçe katlanarak artmaktadır (ETBK, 2010). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yapılan projeksiyon çalışmaları, şuanki mevcut enerji politikalarının devamı halinde 2040 yılında dünya enerji talebinin %25 oranında artış göstereceğini öngörmektedir (IEA, 2018). Bu talebin karşılanabilmesi, ülkelerin sosyal ve ekonomik anlamda ilerlemelerinin devamı için ülkeler birbirleriyle yarış halindedir. Her ülke kendi stratejik planı kapsamında geçmiş yıllarda edindiği tecrübelerle dayanarak politikalar geliştirmektedir. Enerjinin üretimi tek başına yeterli değildir, üretilen enerjinin sürdürülebilir, ucuz ve güvenilir olması bu üretimi anlamlı kılmaktadır (Palmer, 2006).

Gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye’de enerji denildiğinde, akla olarak akaryakıt, ısınma yakacak ve günlük ihtiyaçlar için evler ve işyerlerinde kullanılan elektrik gelmektedir. Elektrik, birçok farklı çeşidi bulunan elektrik santrallerinde üretilmektedir. Bu santraller kullandıkları enerji kaynağına göre isimlendirilmektedir. 1913 ile 2019 yılları arasında, Türkiye’de elektrik üretimi yapan santrallerin toplam kurulu gücünün; termik, hidrolik, jeotermal, rüzgâr, güneş, biyoyakıt ve sıvı yakıtlar olmak üzere 7 kategoriye ayrıldığı görülmektedir (Krishnasamy vd., 2005).

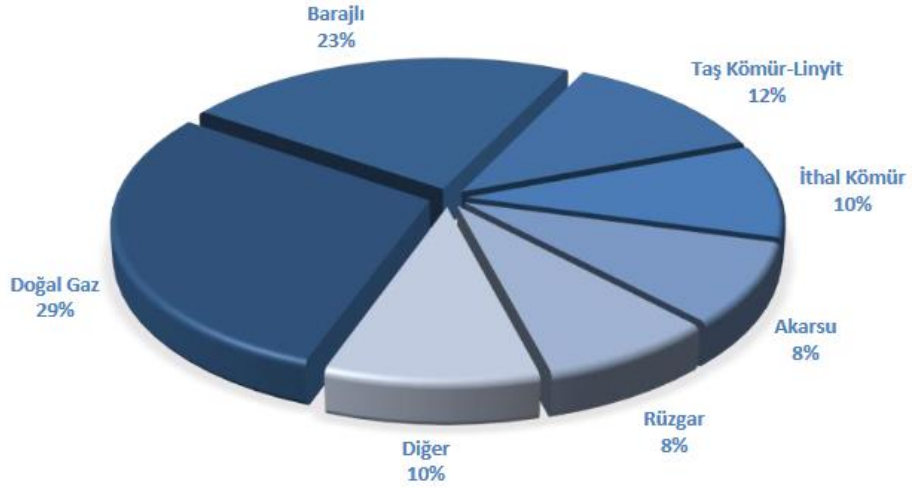
2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 90.720 MW'a ulaşmıştır. Bahsedilen kurulu gücün yarısından fazlasını termik santraller oluşturmaktadır (Şekil 3.1) (EİGM, 2019). 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,4’ü hidrolik enerji, yüzde 28,6’sı doğal gaz, yüzde 22,4’ü kömür, yüzde 8,1’i rüzgâr, yüzde 6,2’si güneş, yüzde 1,6’sı jeotermal ve yüzde 1,7’si ise diğer kaynaklar şeklindedir (ETKB, 2019). Türkiye toplam kurulu gücün kaynaklara dağılımı ise Şekil-3’de gösterilmiştir (EPİAŞ, 2019).



Şekil 3. 1. Ağustos 2019 itibarıyla Türkiye’deki elektrik üretim tesislerinin toplam kurulu gücünün dağılımı (EÜAŞ, 2019)



Şekil 3. 2. Ağustos 2019 Türkiye toplam elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı (EPİAŞ, 2019)



Şekil 3. 3. Ağustos 2019 Türkiye toplam kurulu gücün kaynaklara dağılımı (EPIAŞ, 2019)

Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2018 yılı sonu itibarıyla lisanssız santraller dahil edildiğinde 7.423'e ulaşmıştır. Mevcut durumda devrede olan santralin 653 tanesi hidroelektrik, 42 tanesi kömür, 249 tanesi rüzgâr, 48 adedi jeotermal, 320 tanesi doğal gaz, 5.868 tanesi güneş, 243 tanesi ise diğer kaynaklardan enerji elde eden santrallerdir (EÜAŞ, 2019).

Birincil enerji arzı içerisinde fosil yakıtların payı, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de oldukça yüksektir. Günümüzde bu yakıtların birincil enerji arzı içindeki oranı %87'ye ulaşmıştır. Büyük bir çoğunluğu fosil yakıtı dayalı olan Türkiye'deki termik santrallerin 2019 yıl sonu itibarıyla elektrik üretimindeki payı, kurulu güçte %22,46, üretimde ise %35, 61'dir. 2018 yılına ait kaynak bazında üretim verileri incelendiğinde, ithal kömür kaynaklı üretim yapan santrallerin yıllık üretimi 2017 yılına göre %23 artış göstermiştir (EPIAŞ, 2018). Türkiye elektrik üretiminde termik santrallerin ve fosil yakıtların bu denli yüksek kullanıma ve üretime sahip olması sebebiyle bu yakıtların etkisinin uzun bir süre daha hissedileceği öngörülmektedir.

3.1. Türkiye'de Termik Santraller

Ülkemizde elektrik enerjisi ilk kez 1902 yılında Tarsus'ta su değirmeni mili vasıtasıyla döndürülen 60 kW'lık bir dinamoyla elde edilmiştir. İlk termik santralımız İstanbul'da 1910 yılında yapımına başlanan Silahtarağa Termik Santralıdır. Taş kömürüyle çalışan santraldan 6 MW'lık üç ünite servise alınmıştır. Daha sonra çeşitli

değişikliklere uğrayan santralin toplam kurulu gücü 80 MW' a kadar çıkmıştır. Cumhuriyet dönemindeki ilk termik santralımız ise 1948 yılında Zonguldak 'da devreye alınan ve günümüzde de faaliyete devam eden Çatalağzı Termik santralıdır, 1952 yılında devreye giren santral 154 kW' luk bir iletim hattı ile İstanbul'a elektrik takviyesi yapılmıştır. Günümüzde 1.440MW ile en yüksek üretim seviyesine sahip olan termik santral Afşin Elbistan termik santralıdır ve düşük kalorili Linyit kömürüyle çalışmaktadır. (EÜAŞ, 2019b).

Termik santrallar kömür, fuel- oil, doğal gaz ve türevi fosil yakıtların belirli adımlardan geçirilerek yakılması sonucu ortaya çıkan kimyasal enerjiyi farklı sistemlerle mekanik enerjiye sonrasında ise mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Kurulum maliyetinin düşük olması, üretimin mevsim/ iklime bağlı olmaması, kalitesiz linyit kömürü ve kömür tozları ile yakılması oldukça zor olan fuel- oil kullanılabildiği için ekonomiktir. Ülkemizde bulunan termik santrallarda çoğunlukla yakıt olarak kömür, doğalgaz ve petrol kullanılmaktadır.

Bu çalışma kaynak olarak kömür kullanılan bir termik santralda yapılmıştır. Türkiye'de termik santrallarda kaynak olarak kullanılan kömürlerin ısı değerleri 1000-3500 kcal/kg arasında, içerdikleri kül miktarları ise çoğunlukla olarak % 15- 35 arasında değişen linyit kömürleridir. Birçok farklı türde termik santral vardır. Santrallar kullanım amacına, üretim türüne, buharın türbinde genişleme şekline, kuruluş şekline, çalıştırma şekline ve yakma sistemlerine göre sınıflandırabilmektedir (Krishnasamy vd., 2005).

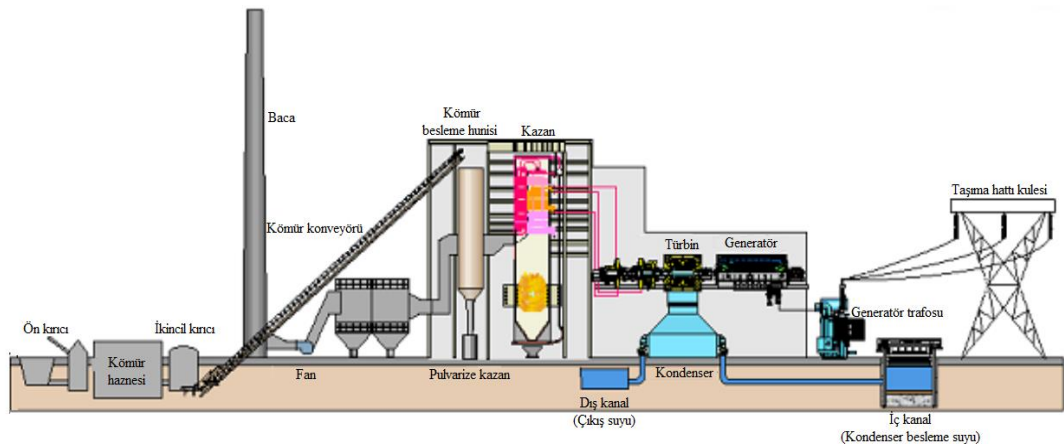
3.2. Termik Santralların Çalışma Esasları

Termik santrallardaki ilk enerji dönüşümü buhar kazanlarında diğer bir deyişle buhar üreticilerinde, yakıtın yakılması ile elde edilen ısı enerjisinin suyun buhara dönüşümü şeklinde gerçekleşir. Buhar kazanı, bir ocak ile bir boru demetinden oluşur; boruların içinde dolanan su, burada ısıtılır ve buhar haline geldikten sonra yüksek basınçlı türbinlere gönderilir. Oluşan buhar, türbinin çarklarını döndürerek buradan geçer. Yüksek basınçlı türbinde bir miktar enerji kaybı olur, korunan enerji ise buhar tekrar kazanlara yönlendirilerek ısıtılır ve orta basınçta çalışan türbinlere gönderilir. Bu

aşamadan sonra türbinlerde oluşan mekanik enerji generatör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Ve transformatör aracılığıyla gerilimi yükselen elektrik, iletim hatlarına aktarılır. Basıncı iyice düşen buhar ise kondensere yönlendirilir. Kondenser, içerisinde yüzlerce soğuk su dolaşan borulardan oluşur, buhar burada yoğuşarak tekrar suya dönüşür. Su tekrar toplanır ve ısıtma çevrimine sokulur, çevrim bu şekilde devam eder (Sevin, 2014). Özetlemek gerekirse, termik santrallarda elektrik üretimi;

- Kömür veya linyit santralda bulunan kazanlara beslenmesi,
- Kazanlarda yanma işleminin başlaması ve kazan içi borulardaki suyun buharlaşması,
- Yüksek sıcaklık ve basınca buharın türbinlere yönlendirilmesi,
- Türbinlerin buhar etkisiyle dönmesi ve
- Generatöre bağlı sistemin elektriği üretmesi adımlarından oluşur.

Kömür kaynaklı termik santrallar; kömür bantlarının, kazanların, su ısıtıcılarının, türbinlerin, generatörlerin, kondenserlerin, soğutma kulelerinin ve bunlar gibi daha binlerce ekipmanının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu ekipmanlar mekanik- statik, mekanik- dinamik, elektriksel, ölçüm ve kontrol ekipmanı olmak üzere dört ana başlık altında ele alınabilir. Örnek bir kömürlü termik santral yapısına Şekil 3.4.'de yer verilmiştir.



Şekil 3. 4. Örnek kömürlü termik santral yapısı (Kaynak: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRNhC8Xfp47Rwxw221O7hF4rJ_tN0vc5yCA6DPao650XTu_1ueo5w&s)

Termik santral kazanları, kömürle hava temasını sağlama amaçlı birkaç türde olabilir, bunlardan en sık kullanılanları (Köknal, 2011);

- Izgaralı yakma sistemleri,
- Akışkan yataklı yakma sistemleri ve
- Pulverize yakma sistemleridir.

Ülkemizde en yoğun olarak pulverize kazan teknolojisi kullanılmaktadır. Pulverize kazan sistemlerinde kömür, değirmenlerde öğütülerek mikron boyutunda parçalanır. Böylece yanma homojen şekilde gerçekleşir dolayısıyla verimi artar. Püskürtme toz kullanılan diğer bir deyişle pulverize kömür santrallerinde yakma sistemlerinde iki teknoloji den bahsedebiliriz. Öğütülerek ufak parçalar haline getirilen kömürün tamamı yanma odasına püskürtülmesi durumunda sistem direkt yakma sistemi, kömürün bir kısmının öğütülen alan çıkışında ayrılıp tekrar kurutulduktan sonra yanma odasına gönderildiği durumda ise sistem indirekt yakma sistemidir (Başaran, 1997).

3.3. Termik Santrallarda Bakım

- Ülkemizde bulunan termik santrallerin büyük çoğunluğu yaşlı santraller kategorisinde değerlendirilebilecek işletme ömrüne sahiptir. Santrallerin performansları, santral içerisindeki ekipmanlar belirli bir süre çalıştıktan sonra düzenli olarak kontrol edilmez ve bakımdan mahrum bırakılır/ bakımları aksatılırsa düşmeye başlamaktadır (Başaran, 2011). Bu santrallere periyodik/planlı bakımlar yapılmasının gerekliliği aşağıda verilmiştir.

- Kaliteli, güvenli ve sürekli enerji üretiminin devamını sağlamak,
- Santral veriminin üst düzeye çıkmasını sağlamak,
- Üretim maliyetinin azaltmak,
- Beklenmedik arızaları ve buna bağlı duruşları minimize etmek,
- Emre amadelik oranını artırmak için

Önceki bölümlerde bahsedilen termik santrallerin işleyişiyle ilgili örnek vermek gerekirse, kırıcılarda bir bozulma/ arıza görülürse yakıt tam olarak kullanılamaz, büyük parçalar kazana girdiğinde yanma yine gerçekleşecektir ama alınan verim ufak parçalardan alınan verimden çok daha düşük bir oranda olacaktır. Daha kritik

ekipmanlarda oluşacak arızalar ise yük düşümü, blok ve ünite duruşları, ilgili ekipmanda veya beraber çalıştığı ekipmanda hasar gibi çok daha ciddi sonuçlar doğurabilmektedir (MMO 2017).

Kısa vadeli, santralın günlük işletiminde kullanılan ölçü ve kontrol ekipmanları ile santral işletme teknisyenlerinin sahadaki kontrolleri sırasında tespit ettikleri hataları gidermeyi hedef alan ve duruş gerektirmeyen bakımlar kısa vadeli bakımlardır ve bu tez kapsamına dahil edilmemiştir. Santralın enerji üretiminde kullanılan ve üretim duruşuna sebep olabilecek kritiklik seviyesindeki ekipmanlarda arıza ya da hasar durumunun önceden tespiti, arıza/ hasardan önce bakım faaliyeti uygulaması imkânı sağlayarak ekipman ya da bileşenlerin sistemi çökertebilecek düzeydeki iş görmezliğinin önlenmesi konusunda yardımcı olur. İşletmelerin ekipmanlarının ve akabinde de tüm tesisin emre amadeliğini/kullanılabilirliğini geliştirebileceği alanlardan biridir. Fakat belirtmek gerekir ki münferit ekipmanların kullanılabilirliğinin artması her zaman toplam işletme kullanılabilirliğinin artması anlamına gelmeyebilir. Münferit ekipmanların kullanılabilirliğinin artması toplam işletme kullanılabilirliğinin de uzun vadede artmasına sebep olur (MMO, 2017).

4. KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu çalışmanın ilk üç adımında bakım strateji optimizasyonu problemi ele alınmış olup problem çözümünde AHP (Analitik Hiyerarşi Proses)- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)- HP (Hedef Programlama) ve ANP (Analitik Network Proses)- TOPSIS- HP yöntemlerinden oluşan kombinasyonlar kullanılmıştır. Bu ana başlık altında, çalışmada ele alınan problemin çözümünde kullanılan yöntemlere dair teorik bilgilere yer verilmiştir.

Santrallarda emre amadeliği artırmak ve santralin tüm ekipmanlarına en uygun bakım stratejisinin seçimini uygulamak için, çok kriterli ve çok amaçlı özellikleri göz önünde bulundurulduğunda literatürde de görüldüğü gibi bakım stratejisi optimizasyonu, bakım yönetimi ve bakım planlama konularında, değerlendirmeler için genellikle iki Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metodu birleştirilir. Bakım planlamasının ilk aşaması olan ekipman seçimi yöntemlerden ilki ile, planlama/ çizelgeleme ise seçilen ikinci yöntem ile gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, değerlendirmelerin analitik seviyesini artırmak için AHP, ANP ve TOPSIS olmak üzere üç yöntem bir araya getirilmiştir. Bakım strateji optimizasyonu yapılmak istenen ekipman sayısının oldukça fazla olması sebebiyle değerlendirme için gereken süre de uzun olacaktır. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP ve ANP yöntemleri ile problem üzerinde etkili olan kriterler değerlendirilmiştir. Daha sonra TOPSIS yöntemi ile ekipmanların sıralaması yapılmıştır. Daha sonra hedef programlama yöntemi kullanılarak ekipmanlara uygun bakım stratejisi seçimi aşamasına geçilmiştir. Bu nedenle çalışmada bakım strateji alternatifleri, kriterler ve ekipmanlardan oluşan 3 yönlü problem için sonuncu adım olarak HP seçilmiştir.

4.1. AHP Yöntemi

Thomas L. Saaty tarafından 1970’li yılların başında geliştirilen analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi, karar verme problemlerinde araştırmacılar sıklıkla kullanmaktadır. Üzerinde birçok faktörün etkili olduğu karar verme problemlerinde hiyerarşik yapı kurularak ikili karşılaştırmalar ile çözüm süreci geliştirilmektedir. AHP yöntemi ile problem ana kriterler, alt kriterler, amaç ve seçenekler dikkate

alınarak hiyerarşik olarak modellenir. AHP yöntemi temelde 4 adımdan oluşmaktadır (Gür vd., 2017). Bu aşamalar:

Adım 1. Ele alınan karar verme probleminin tanımlanması:

Karar vericiler ele aldıkları problem üzerinde etkili olan tüm faktörleri belirlemektedir. Bu aşamada, faktörler nitel ve nicel olarak tanımlanır ve bu tanımlama sürecinde konu ile alakalı uzman kişilerin görüşlerinden yararlanılmaktadır. Elde edilen bu bilgiler ışığında amaç, kriterler ve alternatifler net olarak belirlenerek hiyerarşik yapı kurulmaktadır.

Adım 2. Hiyerarşik yapı sonucu ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması:

Hiyerarşik yapı kurulduktan sonra ana kriterler/alt kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisleri kurulmaktadır. İkili karşılaştırma matrisleri için Saaty'nin 1-9 skalası kullanılmaktadır. Kriterler arasında kurulan karşılaştırma matrisi $n \times n$ boyutlu bir kare matris (4.1) yapısıdır. Bu matris yapısı üzerindeki matrisin köşegen bileşenleri 1 değerini almaktadır. Bunun sebebi ise karşılaştırma matrisinde faktörün kendisi ile karşılaştırma yapılamamasıdır.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Oluşturulan karşılaştırma matrisinde kriterler birbirlerine göre önem dereceleri dikkate alınarak karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalar yapılırken Saaty'nin 1-9 skalası kullanılmaktadır. Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 1. Saaty' nin önem skalası

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

Adım 3. Karşılaştırma matrisi sonucu kriterlerin yüzde önem ağırlıklarının belirlenmesi:

İkili karşılaştırma matrisleri kurulduktan sonra kriterlerin birbirine göre önem derecelerini gösteren özvektör (b_{ij}) değeri hesaplanmaktadır. Eşitlik 4.2' de hesaplama adımları gösterilmektedir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.2)$$

Her bir kriter için hesaplama adımları tekrarlandığında B sütun vektörü elde edilmektedir. Bu sütun vektörleri bir araya getirilip C matrisi oluşturulmaktadır.

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Elde edilen C matrisi ile kriterlerin birbirine göre önem derecelerini gösteren değerler elde edilmektedir. Bunun için satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması (4.4)

alınmaktadır ve bu değerler ile öncelik vektörü (W) (4.5) eşitliğinden elde edilmektedir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4.4)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Adım 4. Tutarlılık oranının hesaplanması:

Yapılan karşılaştırmaların doğruluğunu gösteren tutarlılık oranı hesaplanmaktadır. Bunun için öncelikle tutarlılık indeksi (CI) hesaplanmaktadır. Çizelge 4.2’de gösterilen rassalılık indeksi (RI) değerleri formülasyonda yerine konulmaktadır. Daha sonra temel değer adı verilen (λ) katsayısı ile hesaplama işlemi devam ettirilmektedir. λ değerinin hesaplanması için de A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün çarpımından elde edilen D sütun vektörü kullanılmaktadır.

Çizelge 4. 2. RI değerleri

N	RI	N	RI
1	0	8	1,41
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56

$$D = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının birbirine bölünmesi (4.7) ile temel değer (E) elde edilmektedir. Elde edilen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak λ (4. 8) değeri hesaplanmaktadır.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.7)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (4.8)$$

λ hesaplandıktan sonra **Tutarlılık Göstergesi (CI)**, (4.9) formülünden yararlanarak hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.9)$$

Hesaplanan CI değeri kullanılarak formülasyon 4.10'daki işlemler ile CR değeri hesaplanmaktadır. Elde edilen CR değerinin 0,10'dan küçük olması beklenmektedir. Bu değerinin 0,10'dan küçük olması yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğunu yani doğruluğunu göstermektedir (Öner ve Ülengin, 1995).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.10)$$

4.2. ANP Yöntemi

AHP yönteminde ele alınan problemlerde ele alınan kriterler hiyerarşik bir düzende modellenmektedir, bu sebeple hiyerarşik olarak aynı seviyede olan kriterler ve alt kriterler için bir etkileşim göz ardı edilmektedir. Hâlbuki gerçek hayat problemlerinde karar vericiler karar aşamasında kriterler ve alt kriterlerin birbiri ile bağılılık ve karşılıklı etkisini de göz önünde bulundururlar, bu yöntemde kriter ve alt kriter ilişkilerinin yönleri amaca uygun bir ağ şeklinde tanımlanır. Literatürde sıkça

karşılaşılan ANP yöntemi, AHP yönteminin özel bir halidir. AHP'den en önemli farkı ise yukarıdan aşağıya doğru inen hiyerarşik yapının yerine eşit seviyedeki gruplar arasında da etkileşime olanak sağlayan bir hiyerarşik yapının kullanılmasıdır (Mehpare, 2002). ANP yöntemi bu özelliği sebebiyle karar problemlerinde gerçek hayata paralel, daha gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır ve problemin analizini kolaylaştırmaktadır (Pamukçu, 2014). Yöntem başlıca 5 adımdan oluşmaktadır. ANP yönteminin adımlar:

Adım 1. Problemin tanımlanması ve ağ yapısının oluşturulması:

Ele alınacak olan problemin yapısı analiz edildiği, alternatiflerin belirlendiği ve bu alternatiflerin optimizasyonunda rol oynayacak olan kriter ve alt kriterlerin belirlendiği aşamadır.

Adım 2. Faktörler arasındaki ilişkilerin (İkili karşılaştırma matrisleri) kurulması:

Seçenekler arasında verilecek olan karara etki eden kriter ve alt kriterlerin Saaty tarafından önerilen 1-9 skalası (Çizelge 4. 1.) kullanılarak ikili karşılaştırmaları yapılarak birbirlerine göre üstünlükleri belirlenir. Ayrıca bu aşamada problem ile ilgili alanında uzman kişilerin görüşlerine de başvurulabilir. Karar vericilerin görüşleri alınarak oluşturulan kriterlerden elde edilen matrisler Süpermatrislerin oluşturulmasında kullanılmaktadır.

Adım 3. Matris öz vektörlerinin hesaplanması ve tutarlılık analizi:

Bu aşama en büyük özvektörün hesaplanmasını içermektedir. Karşılaştırmaların kendi içlerinde ve hiyerarşideki diğer karşılaştırmalarla tutarlı olup olmadığını görmek için her bir matris için “tutarlılık oranı” bulunur.

Adım 4. Süpermatrislerin oluşturulması:

Süpermatrisler, parçalı matrislerdir, matrislerin bölümleri, kurulan sistem içerisindeki iki kriter/ alt kriter arasındaki ilişkiyi gösterir. Önceliklerin elde edilmesinde kullanılan olan yapılar ikili karşılaştırma matrislerden elde edilen değerlerden oluşur.

Hücrelerdeki değer sayısı, kriter ve alt kriter sayısına bağlı ve eşittir. Sayı yükseldikçe süper matrisin boyutu da doğru orantılı olarak büyümektedir. Süpermatrisler yapılarında ağırlıklandırılmamış, ağırlıklandırılmış ve limit süpermatrisleri barındırırlar. Ağırlıklandırılmamış süpermatris yakınsamadan önce elde edilen matristir bu sebeple de kararlı yapıya sahip değildir. Matris yapısının stokastik şekle gelebilmesi için sütun toplamaları 1'e eşitleninceye kadar normalizasyon işlemleri yapılır, elde edilen önceliklerin tek noktada toplanması için süper matrisin $(2n+1)$ dereceden kuvveti alınır. Matris içindeki bütün değerler aynı olana kadar aynı işlem tekrarlanır. Bu işlemin sonucunda limit süpermatris elde edilir.

Adım 5. En İyi Alternatifin Seçilmesi:

Sonuçta bulunan limit matrisle birlikte alternatiflere ait önem dereceleri hesaplanmıştır. Matris içerisindeki en büyük değere sahip alternatif, en iyi alternatiftir (Şah, 2010).

4.3. TOPSIS Yöntemi

1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından karar verme problemleri için geliştirilen TOPSIS yöntemi seçeneklerin kriterler altında birbirlerine göre üstünlüklerinin sıralanmasını içermektedir. Problem üzerinde etkili olan kriterlerin satırda yer aldığı seçeneklerin/alternatiflerin ise sütunlarda yer aldığı matris yapısı kurulmaktadır (Yoon ve Hwang, 1995).

İşletmelerde seçeneklerin sıralanması/ performans değerlendirme süreçlerinde karar vericiler tarafından sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu sebeple literatüre bakıldığında araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Yöntemin çözüm sürecinde pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm noktalarına odaklanılmaktadır. Bu noktalara göre seçeneklerin/alternatiflerin sıralaması yapılmaktadır. TOPSIS uygulama aşamaları temelde 6 adımdır (Gökdalay, 2009). Bu adımlar:

Adım 1. Karar matrisinin (A) oluşturulması:

Ele alınan problemde karar vericiler satırlarda birbirlerine göre üstünlükleri sıralanmak istenilen kriterler, sütunlarda ise seçeneklerin yer aldığı karar matris yapısı oluşturulmaktadır. Bu matris başlangıç matrisi olarak adlandırılmaktadır.

Adım 2. Standart karar matrisinin (R) oluşturulması:

Eşitlik 4.11'deki eşitlik kullanılarak R matrisi oluşturulmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (4.11)$$

Adım 3. Ağırlıklı standart karar matrisinin (V) oluşturulması:

Problem üzerinde etkili olan değerlendirme faktörlerinin ağırlık değerleri (w_{ij}) ile standart karar matrisinin sütunundaki değerlerin çarpılması ise V matrisi oluşturulmaktadır.

Adım 4. İdeal (A^) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin oluşturulması:*

Ağırlıklı standart karar matrisinde yer alan değerler arasında maksimum ve minimum değerler belirlenmektedir.

$$A^* = \{(max_i^{v_{ij}} | j \in J), (min_i^{v_{ij}} | j \in J')\} \quad (4.12)$$

$$A^- = \{(min_i^{v_{ij}} | j \in J), (max_i^{v_{ij}} | j \in J')\} \quad (4.13)$$

(4.12) ve (4.13) eşitliklerinde gösterilen J değeri fayda (maksimizasyon), J' değeri kayıp (minimizasyon) değerleri olarak ifade edilmektedir. Bu eşitliklerin hesaplanması sonucu A^* ve A^- değerleri elde edilmektedir.

$$A^* = v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^* \quad (4.14)$$

$$A^- = v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^- \quad (4.15)$$

Adım 5. Ayrım ölçütlerinin hesaplanması:

Bu adımda negatif ideal (S_i^-) ve pozitif ideal S_i^* ayrım noktaları hesaplanmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2} \quad (4.16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (4.17)$$

(4. 16) ve (4. 17) eşitlikleri kullanılarak ideal çözümden sapmalar hesaplanmaktadır.

Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması:

Hesaplanan ideal ve negatif ideal ayrım noktaları kullanılarak (C_i^*) yakınlık değerleri hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (4.18)$$

Bu değer 0-1 aralığında olmaktadır. 0 ise karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını, 1 ise ideal çözüme mutlak yakınlığı ifade etmektedir.

4. 4. Hedef Programlama Yöntemi

Hedef programlama (HP), çok amaçlı optimizasyonun bir dallarından biridir. Günlük hayatımızda karşımıza çıkan çeşitli birçok sorunun temelinde birden fazla hedefimiz vardır. Bu hedeflerimiz bazen birbirleriyle paralel bazen ise zıt olabilmektedir. Bu gibi durumlarda hedeflerimizin aynı anda gerçekleşebilmesi için çok amaçlı programlama modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerden biri olan hedef programlama, hedeflerin amaçlarımızın tamamını kısıtlar haline getirerek önem sıralarına göre hedeflerden sapmayı minimize etmeye çalışır (Tamiz ve Jones, 1997). Hedef programlama yönteminin temelleri Charnes ve Cooper tarafından 1961 yılında atılmıştır. 70'li

yıllarda Lee ve Ignizio' nun yapmış olduğu çalışmaları sayesinde uygulamalar ve teknik gelişmelerle ivme kazanmıştır.

Aynı anda bütün hedeflerin gerçekleşmesi zor bir durumdur. Bu sebeple amaçları bir şekilde birbirlerinden ayırmak sonuca ulaşmayı kolaylaştıracaktır. HP' de istenen sonuç için öncelikle hedefler belirlenir. Sonrasında bu hedefler için önceliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen öncelik sıralamasına göre istenilen hedefler gerçekleştirilir (Türkoğlu, 2017).

Hedef programlamada üç farklı amaç fonksiyonu çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; öncelikli, ağırlıklı ve öncelikli ağırlıklı olarak belirtilebilir. Öncelikli amaç fonksiyonu, farklı önceliklere sahip her bir amacın en büyükten küçüğe sıralandığı hedeflenen değerden sapmaların minimize edildiği yapıdadır. Ağırlıklı amaç fonksiyonu ise, her bir öncelik derecesindeki istenmeyen sapma değişkenlerinin minimize edildiği fonksiyondur. Öncelikli ve ağırlıklı amaç fonksiyonu türüne benzeyen öncelikli ağırlıklı amaç fonksiyonu, amaç fonksiyonun alabileceği en büyük ve en küçük değerlerle tanımlı bir istenmeyen sapma değişkeninin minimize edilmesi ile alakalıdır (Özyörük, 2000).

Hedef Programlama Kavramları;

Amaç:

Karar vericinin taleplerini açıkça ifade edecek şekilde tanımlaması gereken kavramdır.

Hedef:

Amaçların somut halidir. Sayısal değerlerle ifade edilir.

Karar Değişkenleri:

Karar verici tarafından değeri bilinmeyen değişkenlerdir.

Amaç Fonksiyonu:

Belirlenmiş olan amaç için hedeften sapmaları minimize eden fonksiyondur.

Sistem Kısıtları:

Öncelikli olarak modelin çözümünde gerçekleştirilmesi gereken kısıtlardır. Çözümde sapma olmamalıdır.

Hedef Kısıtları:

Ulaşılmak istenen hedef değeridir. Sistem kısıtları kadar katı değildir.

Sapma Değişkenleri:

Karar verici tarafından hedeflenen başarı ile gerçekleşen başarı arasındaki farktır. Sapma değişkenleri negatif değer alamaz. Hedefin tam olarak sağlanması her iki sapma değişkeninin (pozitif, negatif) değerinin sıfır olması anlamına gelmektedir. Gerçekleşen durum belirlenen hedefin altındaysa negatif, hedefin üzerinde ise sapma pozitifdir. Sapma değişkenleri d_i^+ ve d_i^- ile gösterilir.

Sağ Taraf Sabitleri:

Matematiksel modeldeki eşitlik/ eşitsizliklerin sağ tarafında eldeki kaynak olarak ifade edilir ve b_i ile gösterilir.

Hedef programlama yönteminin genel formülasyonu:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m (d_i^- + d_i^+)$$

$$\sum_{j=1}^n A_{ij}X_{ij} - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (4.19)$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad (4.20)$$

$$d_i^+, d_i^-, X_{ij} \geq 0 \quad (4.21)$$

$$i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n$$

X_j = j. karar değişkeni

A_{ij} = i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı

b_i = i. hedef için ulaşılmak istenilen değer

d_i^+, d_i^- = i. hedefin pozitif ve negatif sapma değerleri

5. LİTERATÜR TARAMASI

Bakım optimizasyonu, literatürde araştırmacılar tarafından önem verilen bir konudur. Üretimde sürekliliğin ve kalitenin sağlanabilmesi için bakım üzerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde üretim sektöründeki işletmeler ekonomik olarak ayakta kalabilmek için rekabet edilebilirliği korumak adına operasyonel verimliliğe odaklanmaktadır. Uygulanan uygun bakım politikası sistemin operasyonel verimliliğini artırırken, üretim süreçlerinin ömrünü uzatmaya yönelik katkıda bulunmaktadır. Yapılan bakım faaliyetleri ile sistem güvenilirliği ve kullanılabilirliği arttırılmaktadır. Genel olarak bakım kavramına bakıldığında ise, işletmelerde varolan sistemin çalışmasını sorunsuz bir şekilde devam ettirmesi, aralıksız olarak sürdürebilmesi için yapılan faaliyetlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır. İşletmelerde bakım faaliyetleri planlı ve plansız olarak iki kategori altında toplanabilmektedir. Plansız bakım arıza gerçekleştiği anda sisteme müdahale edip, arızanın giderilmesi olarak bilinmektedir. Planlı bakım politikaları ise arıza ve bakım ile ilgilenme şekline göre farklılaşmaktadır. Literatürde planlı bakım politikaları olarak periyodik bakım, kestirimci bakım ve önleyici bakım üzerine tanımlamalar ve çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada ise termik santrallarda bakım optimizasyonu problemi ele alınmıştır. Literatürde bakım stratejisinin optimizasyonu ve bakım politikalarının optimizasyonu üzerine birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar farklı uygulama alanlarında çeşitlenmektedir. Santrallarda bakım stratejisi optimizasyonu olarak gerçekleştirilen çalışmalar ise sınırlı sayıdadır.

Literatürdeki ilk çalışmalardan olan Satoh ve Nara (1991), çalışmasında termik santrallarda bakım çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Matematiksel programlama yönteminin çözüm sürecinde kullanılması ile optimal çözüm için model kurulmuştur. Problem boyutu ve yapısı itibarıyla NP-hard olduğu için metasezgisel algoritmalarından biri olan tavlama benzetimi yönteminden yararlanılmıştır. Problemin çözüm sürecinde gerçek verilerden test etme işlemi gerçekleştirildiği için sonuçta önerilen yöntemin etkinliği sunulmuştur.

Arora ve Kumar (1997a), termik santrallarda çalışma prensipleri ve arızalanma oranları dikkate alınmıştır. Sistemi farklı çalışma birimlerine ayırmışlardır ve her çalışma birimi için sürekli başarısızlık ve arızaların bakım oranlarını incelemişlerdir.

Bu oranların sistemin kullanılabilirliği üzerindeki etkisi göstermişlerdir. Arora ve Kumar (1997b), çalışmalarında yine termik santrallarda bakım planlaması problemini ele almışlardır. Probleme bu sefer stokastik açıdan yaklaşmışlardır. Sistemdeki analiz ettikleri alt birimlerin arıza ve tamir oranlarını dikkate almışlardır. Gerçek termik santrallardan veri alınarak, her çalışma biriminin davranışı analiz edilmiştir. Uygun bakım programları ile ilgili sorunlar ve çözüm yolları tartışılmıştır.

Prasad vd. (1999), çalışmasında bir termik santralin işletmesini ekonomik hale getirmek için ihtiyaca dayalı bir entegre performans izleme stratejisi önerilmektedir. Bakıma dayalı performans ölçüm sistemi kurularak termik santralda kontrol edilebilir parametrelerin izlenmesi ve santralin iyileştirilmesi için önerilerde bulunmuşlardır. Moro ve Romos (1999), çalışması ile gerçek bir güç sistemine bakım planlaması uygulaması yapılmıştır. Termik santralların bakım planlamasında maliyetler ve güvenilirliklerin birbirleri üzerindeki etkileri karşılaştırarak gösterilmiştir. Çalışmada hedef programlama yöntemi kullanılarak maliyet minimizasyonu ve termik rezerv marjlarının dengelenmesi olarak iki aşama bulunmaktadır.

Baek vd. (2001), termik santrallarda çalışma şartlarının iyileştirilmesi ve sistemin kullanılabilirliğinin artırılması için çalışmışlardır. Kurdukları pilot sistem ile sistemin gelişimini değerlendirmişlerdir.

Sergaki ve Kalaitzakis (2002), bakım planlamasında bulanık durumları göz önünde bulundurmuşlardır. Ele aldıkları bakım planlama faaliyetleri sistem bileşenlerinin emniyetini ve güvenilirliğini değerlendirmek ve gerçekte meydana gelmeden önce arıza durumlarını tanımlama yeteneğini artırmak için kullanılmaktadır. Çalışmalarında güvenlik ve güvenilirlik, ekonomi, değişken işletme koşulları ve çevresel etkiler ile ilgili kriterleri içeren, termik santrallarda güç sistemleri denetim ve bakım planlaması için bulanık tabanlı model kullanmışlardır.

Yang (2003), zamana ve duruma bağlı olarak bakım faaliyetlerini tanıtmıştır. Çalışmada durum tahmini yaparak bir başarısızlığın erken veya hatta tahmin edilebileceği tespit edilip edilmeyeceği hakkında incelemeler yapmıştır. Erken arıza tespiti, arıza yalıtımı, olay sayımı, sistem durumu açıklaması ve otomatik kapanma veya düzenlemeyi kolaylaştıran bir sistem geliştirmiştir. Önerdiği model ile örnek

olarak bir termik santralın durum izleme sistemi, bir arıza tahmini ve işleme şeması sunmuştur.

Cheung vd. (2004), bakım planlama faaliyetlerini uzun vadeli ve kısa vadeli olmak üzere iki basamağa bölmüşlerdir. Üretim kaybını en aza indirmek için her bir ünitenin bakımını genel olarak malzeme ve hizmet dengeleriyle ilgili hususları dikkate alarak ikiye bölmüşlerdir. Uygun bir bakım çizelgesi belirleyerek, bakım periyodu boyunca toplam site kârını maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Wei vd. (2004), termik santral için geleneksel zamana dayalı bakım stratejisinin dezavantajlarının analizlerini yapmışlardır. Aynı zamanda bu analizler baz alınarak yepyeni bir bakım stratejisi sunmuşlardır. Bu bakım faaliyetlerinin uygulanabilmesi için bir optimizasyon modeli formülize etmişlerdir. Yang (2004), etkili bakım planlamasının işletmelerde arızaların azaltılması için ana yaklaşım olduğundan bahsetmiştir. Bakım türlerinden bahsederek sistemde arızaların zamanına göre uygulanması gereken prosedürler hakkında bilgi vermiştir. Sistem üzerinde arızaların oluşma durumuna göre erken arıza tespitini, arıza izolasyonunu, olay sayısını, sistem durumu tanımını ve otomatik kapatma veya düzenlemeyi kolaylaştıran bir düzenleme gerçekleştirmiştir. Önerdiği programın kullanılabilirliğini göstermek için bir örnek olarak bir termik santral uygulaması yapmıştır.

Cassady ve Kutanoğlu (2005), deneysel bir çalışma yürüterek üretim planlamasının koruyucu bakım planlaması ile entegrasyonunu araştırmışlardır. Entegre çözümün performansını, koruyucu bakım planlamasının ve iş planlaması sorunlarının bağımsız olarak çözülmesinden elde edilen çözümlerle karşılaştırmışlardır.

Canto (2006), bir elektrik santralında düzenli olarak emniyet denetiminin sağlanması için hangi üreticilerin hangi hattan çıkarılacağını dikkate alan bir çalışma yürütmüştür. Böylece herhangi bir arızanın neden olabileceği genel bir arızanın önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Chabar vd. (2006), bir termik santralda bakım faaliyetlerinin optimizasyonunu ve yönetimini ele almışlardır. Optimizasyonda bakım döngüleri ve ortam sıcaklığının tesis verimliliğine etkisi gibi santralın ayrıntılı modellenmesi dikkate alınmaktadır. Entegre bir şekilde, model tesislerin bakım için en uygun zamanlamasını belirlemektedir. Uygulanan metodoloji stokastik çift dinamik programlamadır. Chen (2006), çalışmada makinenin esnek bir şekilde muhafaza

edildiği ve ortalama akış süresinin bir performans ölçüsü olarak kullanıldığı tek makine ve paralel makine zamanlama sorunlarını ele almıştır. Esnek bakım faaliyetleri ile bakım planlamasını entegre etmiştir. Bunun için tam sayılı programlama yöntemini kullanmıştır.

Wang vd. (2007), çalışmalarında farklı ekipman için farklı bakım stratejilerini (düzeltici bakım, zamana dayalı önleyici bakım, duruma dayalı bakım ve öngörücü bakım gibi) değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Önerdikleri model ile bir santralda bakım stratejilerinin seçimine özel bir örnek vermişlerdir. Bakım stratejilerinin seçimi tipik birçok kriterli karar verme problemi olduğundan bahsetmişlerdir. Bu yüzden tesislerinin kullanılabilirliğini ve güvenilirlik seviyelerini artırmak için en uygun bakım stratejisi seçiminde karar vericilere belirsiz ve kesin olmayan yargılarına değerlendirme imkânı sunan çok ölçütlü karar verme yöntemlerini kullanmışlardır. Huang vd. (2007), Çin’de bulunan bir termik santralda duruma dayalı bakım optimizasyonu problemini ele almışlardır. Bu konu ile ilgili literatürde detaylı bir inceleme yaparak araştırmacıların değerlendirme sonuçlarını bir araya getirmişlerdir. Böylece araştırmacıların sundukları uygulama yaklaşımlarını tartışmışlar ve temel kazanımları incelemişlerdir. Kumar vd. (2007), çalışmalarında metasezgisel algoritmalarından genetik algoritma ve tavlama benzetimini kullanmışlardır. Santral üzerinde uygulama yaparak bakım optimizasyonu problemini ele almışlardır. Çalışmada üretim birimleri ve yük seviyeleri ile analiz yapmışlardır. Ayrıca yük olasılığı kaybı (LOLP) için güven aralığını değerlendirmişlerdir. Bu durumun gerekçesi olarak da öngörülemeyen farklı gerçek durumlar nedeniyle bakım programları yürütülürken optimum programdan bazı değişiklikler beklendiğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, LOLP için güven aralığı açısından karşılaştırıldığında, seviyelendirilmiş risk yönteminin, güç seviyesindeki rezerv yöntemine kıyasla stokastik niteliğini yeterince içerdiğini göstermektedir.

Salvador (2008), çalışmasında santrallarda bakım faaliyetlerinin planlanması için sistemin düzenli olarak incelenmesi ve hangi faaliyetin hangi zamanda devreye gireceğinin bilinmesini içerdiğinden bahsetmektedir. Bu durumun aksi halde olması yani bilinmezliğin sebep olduğu birçok aksiliğin sistemin güvenilirliğini azalttığını belirtmektedir. Bir güç istasyonunda yaşanan arızanın sistem içerisinde daha büyük ve

genel bir arızaya sebep olabileceğinden bahsetmiştir. Bu gibi durumlarda sistemin yeterince detaylı bir şekilde incelenmesi ve araştırılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Alardhi ve Labib (2008), hem elektrik enerjisi hem de tuzsuz su üreten kojenerasyon tesislerinin önleyici bakım görevlerini zamanlayan bir tamsayılı doğrusal programlama modeli kurmuşlardır.

Gupta vd. (2009), çalışmalarında olasılıklı bir yaklaşım kullanarak bir termik santralin kömür işleme ünitesinin bakım faaliyetlerini de içeren performans değerlendirmesi için bir Markov modelinin geliştirilmesi tartışılmıştır.

Carazas ve Souza (2010), çalışmalarında termik santraller için santral ekipmanlarının bakım politikası seçiminde bir karar verme yöntemi sunulmaktadır. Yöntem risk analizi kavramlarına dayanmaktadır. İlk adımda hem santral işletme performansı için hem de risk kavramlarına dayalı mevcudiyet için kritik ekipmanın tanımlanması yapılmıştır. İkinci adım, erişilebilirliğini arttırmak için kritik ekipmana uygulanabilecek olası bir bakım politikası önerisini içermektedir. Her bir potansiyel bakım politikasına ilişkin maliyetler, bakım maliyetleri ve santral işletmesi için kritik ekipman arızası sonuçlarını ölçen arıza maliyeti de modele dahil edilmiştir. Arıza olasılıkları ve arıza maliyetleri tahmin edildiğinde, en iyi bakım politikasını seçmek için bir karar alma prosedürü uygulanmaktadır. Lezhen vd. (2010), karar verme optimizasyonu için ekipman koşullarına dayalı bakım ve şebeke operasyonunun kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini ele almışlardır. Bu değerlendirmenin yapılamadığı durumlarda hem ekipman arıza riskini hesaba katan, hem de iletim ekipmanı için şartlara dayalı bakım karar vermeye yönelik bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Çözüm sürecinde metasezgisel algoritma yöntemlerinden faydalanmışlardır. Duruma göre, bakımdan önce ve sonra ekipman arızası olasılıklarındaki değişiklikler göz önüne alınmıştır.

Rekabet ortamında, işleme ve imalat sektörlerinin toplam maliyetlerini düşürmek için çalışmalar yaparken, varlıklarının değerini ve güvenilirliğini koruyabilmeleri gerekmektedir. Bhangu vd. (2011), çalışmalarında santrallerinde ekonomik verimliliği artırmak için etkili yollar aramakta aktif durumda olduklarından bahsetmişlerdir. Özellikle bir ekipmanın bakımı, genel olarak güvenilir sistemi korurken maliyetleri düşürmek için incelendiğine dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple çalışmalarında farklı

güvenilirlik merkezli bakım uygulamalarının kapsamlı bir incelemesini sunmuşlardır. Termik santrallarda başarılı bir şekilde bakım faaliyetlerinin uygulanması için örnek bir model önerisinde bulunmuşlardır. Oyedepo vd. (2011), sistem performansının iyileştirilmesi ve istenmeyen sistem arızası veya çökmesinin önlenmesi için sistem öğelerinin durumunu iyileştiren eylemleri araştırmışlardır. Çalışmalarında tesis ve teçhizatın fiziksel bileşenlerini öngörülen takvimi izleyerek denetlemeyi, bakım yapmayı, onarmayı veya değiştirmeyi içeren bir yaklaşımdan bahsedilmektedir. Yalnızca parçaların onarım süresini değil, aynı zamanda parçaların sistemin bütünlüğünü, bozulmasını ve kullanılabilirliğini etkileyen güvenilirliğini de etkilediğine dikkat çekilmiştir. Çalışmalarında aynı zamanda türbin ünitelerinin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini değerlendirmektedir. Türbinlerin güvenirliliği ve kullanılabilirliği, beş yıllık bir başarısızlık veri tabanına dayanarak hesaplanmaktadır.

Bisanovic vd. (2011), çalışmalarında termik santrallarda güç ünitelerinin bakım çizelgeleme problemi için kapsamlı bir modelleme yaklaşımı sunmuşlardır. Problem için 0-1 tam sayılı matematiksel programlamanın modelleme avantajından yararlanmışlardır. Model, tanımlanmış güç ve fiyat profillerine sahip uzun vadeli ikili sözleşmeleri ve pazar açık artırması için haftalık öngörülen pazar fiyatlarını içermektedir.

Chen vd. (2011), bir termik santralda ekipman verimliliğinin nasıl iyileştirileceği konusunu ele almışlardır. Verimliliğin ve kullanılabilirliğin büyük ölçüde yüksek güvenilirliğe ve bakım yapılabilirliğe bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında aynı zamanda bakım maliyetini azaltmak için e-bakım kavramı getirildiğinden de bahsetmişlerdir. E-bakım sistemlerinde, akıllı arıza tespit sistemi arıza tespitinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu noktada veri madenciliği teknikleri bu tür akıllı sistemlerin merkezinde yer almaktadır ve performanslarını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu tekniklerin arıza tespitine uygulanması, kapatma bakımının kısaltılmasını ve böylece ekipmanın kapasite kullanım oranlarının arttırılmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle çalışmada termik santrallardaki türbinlerin arızalarını analiz etmek için bir boyut azaltma şemasını birleştiren bir destek vektör makineleri (SVM) tabanlı bir model önerilmektedir. Zhao ve Lin (2011), çalışmalarında termik santralda kömür işleme sisteminin işletme sürecini incelemişlerdir. Kömür taşıma sisteminin teknik özelliklerini ve ilgili makine ve

teçhizatın çalışma özelliklerini analiz etmişlerdir. Ardından, kömür taşıma sisteminin güvenli çalışması ve ekipman bakımı ile ilgili önerilerde bulunmuşlardır. Kovács vd. (2011), rüzgâr santrallerinde bakım operasyonlarının ayrıntılı bir şekilde planlamasını yapan bir sistem tasarlamışlardır. Bu planlama sırasında işletme maliyetlerinin önemine vurgu yapmışlardır. Bakım yapılacak türbinlerin bulunması için bakım operasyonlarını ayrıntılı şekilde planlamayı ve işletme maliyetlerini minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Koruca vd. (2011), bir işletmede simülasyon kurarak elektrik arızaları arıza tiplerine göre sınıflandırılmış ve tamir bakım ve arızalara ulaşım süreleri ölçülerek dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen gerçek verilerden bir aylık simülasyon koşumu gerçekleştirilmiştir. Arızaların kısa sürede giderilmesi, maliyetlerin düşürülmesi ve hizmet kalitesinin ve sürekliliğinin sağlanması için tamir bakım süresinin ve kaynakların verimli kullanılmasını hedeflemişlerdir.

Uzun ve Özdoğan (2011), çalışmalarında güvenilirlik analizine dayalı bir önleyici bakım uygulamasına yer vermişlerdir. Bir üretim hattındaki güvenilirliği ve sistemin alt parçalarının güvenilirliği için ekipmanların duruş frekanslarına dayanarak optimum bakım zamanlarını belirlemişlerdir. Bunun için güvenilirlik katsayısı ile bakım maliyetlerine dayanan model tasarlamışlardır. Besnard vd. (2011), stokastik modelleme ile bakım planlamasında maliyet minimasyonunu hedeflemişlerdir. Aynı zamanda üretim kayıpları ve nakliye masraflarının minimize edilmesi hedeflenmiştir.

Wang vd. (2012), rüzgâr türbinlerinde uzun ve kısa vadeli bakım planlama faaliyetlerini entegre etmişlerdir. Bu entegrasyon ile hem enerji dağılımı problemini çözmeyi hem de saatlik güç çıkışı ile ilgili problemi çözmeyi amaçlayan bakım planlaması yapmışlardır. Rüzgâr enerjisi ve yük talebinin yüksek belirsizliği ile başa çıkabilmeyi hedeflemişlerdir. Gürbüz ve Cömert (2012), uçakların bakım faaliyetlerinin yapıldığı bir işletmede bakıma alınabilecek tüm alt ekipmanlar için en iyileme üzerine çalışmışlardır. İşletme içerisinde ünitelerde bakım ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için ihtiyaçlara ait iş yükleri belirlemişlerdir. İş gücü kapasitesine göre toplam yapılabilecek en fazla kaç üniteye bakım faaliyeti gerçekleştirilebileceğine yönelik çalışmışlardır. Almomani vd. (2012), yüksek bileşen / makine çeşitliliği ortamlarında koruyucu bakım planlaması oluşturmayı amaçlamışlardır. Yedek parçaların envanterini optimize etmeyi ve koruyucu bakım işlemini yürütmek için standart işlem planı hazırlamayı amaçlanmıştır. Orhan vd.

(2012), uçak rotalarının belirlenmesini ve bakım planlamasını entegre eden bir çalışma yürütmüşlerdir. Rotalar boyunca bakım gereksinimlerini dikkate alarak uçakların etkin kullanılmasını amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda uçakların bakıma girmeden önceki kalan yasal uçuş sürelerini ve bakım maliyetlerini en küçükleyen model tasarlamışlardır.

Boland vd. (2013), yıllık toplam çıktı miktarını en yükseğe çıkararak demiryolu hattında yıllık bir bakım planlaması yapmayı hedeflemişlerdir. Bakım faaliyetlerinin uzun vadede yürütülmesini düşünerek yıllık toplam çıktı miktarını en yükseğe çıkarmayı istemişlerdir daha sonra ise problemleri küçük alt parçalara ayırarak kısa vadeli bakım faaliyetlerine odaklanmışlardır. Suebsomran ve Talabgeaw (2013), termik santralında ekipmanın bozulmasını veya hasar görmesini önlemek için bakım faaliyetlerinin önemine dikkat çekmişlerdir. Her bir termik santral ünitesinin geçmiş bakım verileri dikkate alınmıştır. Veriler, birimler, sistemler, ekipmanlar ve bileşenler gibi dört seviyede sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır. Termik santral için bakım önceliği ve yönetimi için yazılım analiz edip geliştirmişlerdir. Geliştirilen yazılım, bakım ekibinin yedek parça yönetiminde karar vermesine yardımcı olmakta ve genel sistemlerde kritik bakım ekipmanlarına odaklanan bakım politikasını izlemeye faydalı olmaktadır. Moghaddam (2013), karmaşık üretim sistemleri için en uygun bakım planlarının geliştirilmesi sorununa yönelik bir model kurmuştur. Herhangi bir iş dönemindeki herhangi bir iş istasyonu için en uygun bakım kararlarının alınmasını amaçlamıştır. Toplam işletme maliyetlerini en aza indirmeyi ve sistemin kullanılabilirliğini arttırmayı hedeflemiştir. Canto ve Rubio-Romero (2013), bir santral sisteminde hangi jeneratörün üretiminin güvenlik nedeniyle periyodik olarak kontrol edilmesi gerektiğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada amaç santrallerinde önleyici bakım planlamasını güvenilirlik açısından gerçekleştirerek sistemin güvenilirliği en üst düzeye çıkarmaktır. Sunulan model, rüzgâr enerjisi santrallerinin veya rüzgâr çiftliklerinin termal, hidroelektrik ve nükleer güç ünitelerini içeren geleneksel bir elektrik üretim sistemine entegrasyonunu ele almaktadır. Elektrik hizmetinin kesintiye uğramadan talebi tam zamanında karşılayabilmeyi hedeflemişlerdir.

Fattahi vd. (2014), bakım planlama faaliyetlerinde kısa ve uzun vadede planlama yaparak kesinti sürelerinin birimlerin çalışma saatleri dikkate almışlardır. Jeneratör

bakım planlaması yaparak matematiksel modeller ile metasezgisel algoritmaların entegrasyonunu sunmuşlardır. Mollahassani- Pour vd. (2014), jenerasyon ünitelerinde koruyucu bakım faaliyetlerinin çizelgelemesi problemini ele almışlardır. Yeni bir maliyet düşürme endeksi ile işletme ve bakım maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Özcan ve Eren (2014), bakım planlaması probleminde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden yararlanmışlardır. Santrallarda kullanılan ekipmanların 9 kriter altında kritiklik seviyelerini belirlemişlerdir. Böylece bu kritik ekipmanlar için 9 yıllık iş gücü gereksinimini ve bakım planlamasını oluşturmayı hedeflemişlerdir.

Stålhane vd. (2015), rüzgâr türbinleri için bakım planlama problemini ele almışlardır. Bir rüzgâr çiftliği için bakım görevlerini yerine getirecek olan bir filo gemisi için en uygun güzergahları ve çizelgeleri bulma problemine çözüm sunmuşlardır. Rüzgâr çiftliği üzerine bir diğer çalışma ise Dai vd. (2015), tarafından yapılmıştır. Bu çiftlikte kesinti ve üretim kayıplarını önleyen bakım planlaması problemi üzerine yoğunlaşmışlardır. Maliyet açısından türbinlerin ve gemilere giden yolların en uygun atamalarını belirlemek için denizde rüzgâr çiftliklerine bir bakım filosunun rotalama ve çizelgeleme problemine yönelik çözüm algoritması geliştirmişlerdir. Bakım planlama problemine farklı bir açıdan yaklaşan Tavana vd. (2015), çalışmalarında gerçek hayatta bakım çizelgeleme problemlerinde doğal belirsizlik ve belirsizliği hesaba katmayı amaçlamışlardır. Bunun için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden yararlanmışlardır. En uygun bakım programını geliştirmeyi hedeflemişlerdir.

Purohit ve Lad (2016), işletmeler içindeki üretim tesislerin ana parçalarından olan makineler üzerinde bakım faaliyetlerini gerçekleştirmek için çalışmışlardır. Bu makinelerin kullanılabilirliğini arttırmayı, toplam başarısızlık sayısını azaltmayı hedeflemişlerdir. Problem için bir model önerisinde bulunmuşlardır. Daha sonra bu önerdikleri modelin üstünlüğünü göstermek için toplam işlem maliyetlerini azaltmaya yönelik bir uygulama yapmışlardır. Çalışmalarını aşama aşama yürüten Purohit ve Lad (2016), daha sonra bakım ve üretim hattını entegre eden bir çizelgeme problemi üzerinde çalışmışlardır. Chalabi vd. (2016), bakım masraflarını ve yüksek sistem kullanılabilirliğini sağlamak için gerekli olan bakım planlamada sistemin kullanılabilirliğini ve önleyici bakım maliyetlerinin azaltılmasını amaçlamışlardır. Bakım faaliyetleri üzerine birçok çalışma yapılan literatürde araştırmacılar çoğunlukla sistem kullanılabilirliğini arttırmayı, sistemden elde edilen verimi en üst seviyeye

taşımayı, bakım maliyetlerini azaltmayı amaçlamışlardır. Froger vd. (2016), literatürde bu konu üzerine yoğunlaşmıştır. Bakım konusunu ele alarak araştırmacıların bakım çalışmalarında hangi noktalar üzerine yoğunlaştığını araştırmışlardır. Bakım probleminin hangi noktalardan ele alındığını, literatürde ne seviyede olduğunu ve işletmeler üzerindeki uygulamalar sonucunda elde edilen sonuçlar üzerine çalışma yapmışlardır. Chemweno vd. (2016), termik santrallardaki karşılaşılan arızalar ile ilgili kök neden analizi yapmanın genellikle birbirine bağlı sistem bileşenleri arasında var olan karmaşık arıza ilişkileri nedeniyle zor olduğundan bahsetmişlerdir. Bununla birlikte, literatürde bakım alanındaki kök neden analizine, nitel ve yarı nicel yaklaşımların kullanılması hakimdir. Öte yandan, kök neden analizi için kantitatif teknikler, örneğin, fay ağaçları ve Bayesian ağları genellikle oldukça basit sistemlerde kök sebeplerin analizi ile sınırlıdır. Dolayısıyla, bu çalışmada bu zorlukların üstesinden gelmek ve kök neden analizi için dört adımdan oluşan yeni bir veri arama metodolojisi önerilmiştir. Bakım kararı desteği için metodolojinin katma değerinin gösterildiği detaylı bir tartışma sunulmuştur.

Optimum bakım stratejisinin seçimi, bakım yöneticilerinin karşılaştığı en büyük zorluklardan birisidir. Panchal ve Kumar (2017), ise çalışmalarında birleşik bulanık AHP-bulanık TOPSIS yaklaşımı uygulayarak bir kömür yakıtlı termik enerji santralının elektrik üretim birimi (PGU) için optimum bir bakım stratejisi önermişlerdir. Bakım faaliyetlerinin seçimi uzmanlardan alınan nitel bilgilerin nicel formata dönüştürüldüğü çok ölçütlü bir karar verme (ÇKKV) problemi olduğundan bahsetmişlerdir. Bakım stratejisinin sağlamlığını alt kriterlerdeki ağırlıklardaki değişim ile izlemek için duyarlılık analizi yapmışlardır. Sonuçlar, sistem kullanılabilirliğini arttırmak ve işletme maliyetini en aza indirmek için belirlenen bakım stratejisini uygulamanın doğruluğunu kanıtlamaktadır. Legát vd. (2017), koruyucu periyodik bakımda optimal aralığı ve prediktif bakım yerine koyulmasına yönelik optimal bir tanı parametresini belirlemek için bir yöntem sunmuşlardır. Aynı zamanda kullandıkları Weibull dağılımı ile bakım yapılan sistem öğelerinin başarısızlık olasılığını ve bu başarısızlığın operasyonel güvenilirliğini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. McLellan ve Schneider (2017), bir uçak işletmesi üzerinde çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Bakım planlaması kararlarının ve yedek parça tedarikinin uçak kullanılabilirliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek için ayrı bir olay simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Bakım problemine farklı bir açıdan yaklaşan

He vd. (2017), koruyucu bakım planlamasında karşılaşılan, politikada beklenmedik sapmalar işgücüne bağlı beklenmedik sorunlar ile ilgili maliyetleri optimize eden model geliştirmiş ve sapmaların etkisini araştırmışlardır. Upasani vd. (2017), bir işyeri imalat senaryosundaki özdeş paralel çok bileşenli makineler için akıllı bakım planlaması yapan bir dağıtılmış algoritma geliştirmişlerdir. Duruş sürelerini azaltarak ve ürün kalitesini artırarak üretimi daha verimli hale getirmek için geliştirdikleri sezgisel algoritmalar ile uzun vadeli bakım planlaması yapmayı amaçlamışlardır. Rüzgâr türbinleri üzerinde bir diğer çalışma olan Froger vd. (2017), çalışmada, kara rüzgâr enerjisi endüstrisinde ortaya çıkan bir bakım çizelgeleme problemini ele almışlardır. Rüzgâr hızı değerlerini, çoklu görev yürütme modlarını ve teknisyenlerin güzergahlarındaki günlük kısıtlamaları dikkate alarak elektrik üretimini en üst düzeye çıkaracak bakım faaliyetlerini zamanlamayı hedeflemişlerdir.

Özcan vd. (2017), hidroelektrik santrallerdeki bakım planlama faaliyetlerini ele almışlardır. Ekipmanları kritiklik seviyelerine göre derecelendirilerek sistemin sürdürülebilirliğini arttırmayı hedeflemişlerdir. Belirlenen bu ekipmanları çeşitli kriter altında değerlendirmiş ve uygun bakım politikaları belirlenmiştir. Irawan vd. (2017), açık deniz rüzgâr çiftliklerindeki bakım yönlendirme ve zamanlama için bir optimizasyon modeli ve bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Türbinlerin bakımı için en uygun zamanlamayı ve mürettebat transfer gemilerinin türbinlere hizmet etmesi için en uygun güzergâhları ve her gemi için gereken teknisyen sayısını bulmayı amaçlamışlardır.

Açık deniz rüzgâr türbinleri üzerinde bakım planlama problemini ele alan bir diğer çalışma ise Zhong vd. (2018), çalışmasıdır. Zhong vd. (2018), çalışmalarında açık deniz rüzgâr çiftliğinde türbinlerin koruyucu bakımının, güç kaynağını arızasız bir şekilde tatmin etmek için bakım planlaması yapılmasını amaçlamışlardır. Aynı zamanda sistem güvenilirliğini maksimize etmeyi ve bakımla ilgili maliyeti en aza indirmeyi hedeflemişlerdir.

Bu tez çalışmasının uygulama kısmının ilk dört aşamasında ise termik santralin en problemli ünitesinde bulunan 657 ekipman içerisinden kritik olan ekipman grupları AHP-TOPSIS ve ANP- TOPSIS yöntemleri ile bulunmuş ve belirlenen 15 kritik ana ekipman grubu için bir HP modeli geliştirilerek bakım strateji seçimi yapılmıştır. Bakım strateji optimizasyonu problemi için literatür incelemesinde edinilen bilgilerle

kullanılan yöntemler ve yöntemlerin etkinlikleri, kriter ve alt kriter sayıları, ekipman sayıları, problemin uygulama sahası ve uygulama sonuçları ele alındığında bu kapsamdaki bir tez çalışması literatüre büyük fayda sağlayacaktır. Çalışmada;

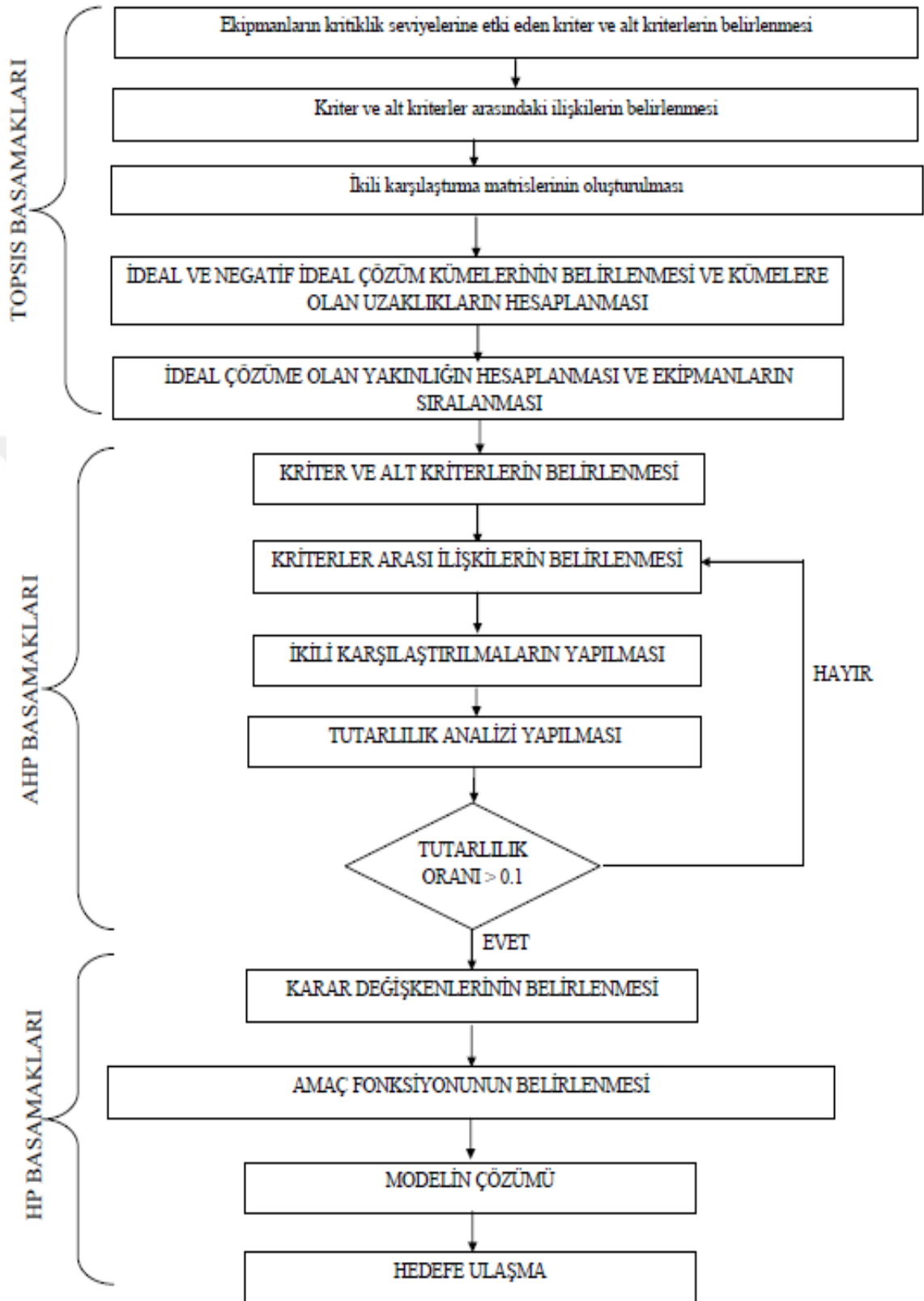
- Termik santrallarda bakım strateji optimizasyonu probleminin çözümü için literatürde AHP- TOPSIS- HP ve ANP- TOPSIS- HP yöntemlerinden oluşan kombinasyon ilk kez kullanılmıştır.
- Çalışmanın kapsamı, literatürdeki hâlihazırdaki çalışmalarda yer alan mevcut sistemlerin bir “prototipi” niteliğindeki daraltılmış verilerle kısıtlı kalmamış olup her ünite için on binlerce ekipmandan oluşan bir sistemin içerisinde 657 ekipmanlı bir ünitenin tüm ekipmanları için AHP ağırlıklarıyla ve ANP ağırlıkları kullanılarak yapılan TOPSIS ile kritiklik seviyeleri hesaplanmıştır. Ekipmanlar hesaplanan kritiklik puanlarına göre gruplandırılmıştır.
- Bunlara ek olarak, literatürdeki mevcut çalışmaların uygulama alanlarından farklı olarak çalışılan yöntem kombinasyonu AHP- TOPSIS- HP ve ANP- TOPSIS- HP ile ilk kez bir termik santralda gerçekleştirilmiş ve tezin son bölümü olan sonuç bölümünde de bahsedildiği üzere çalışmadan elde edilen sonuçların çalışmanın yapıldığı santrale faydası ve gerçek hayatla paralel sonuçlar görülmesi açısından etkinliğini kanıtlar niteliktedir.

6. UYGULAMA

Elektrik üretim santrallerinin verimli bir şekilde üretim yapabilmesinin öneminden hareketle bu tez çalışmasında Türkiye'deki yıllık elektrik ihtiyacının yaklaşık %51'sini karşılayan termik santrallardan birinde bakım strateji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk adımı ekipmanların bakım stratejisi optimizasyonunu doğrudan etkileyen kriterler ve alt kriterlerin ağırlıklarının AHP ve ANP yöntemleriyle hesaplanmasıdır. Sonrasında bu ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılarak 657 ekipmanın her birinin kritiklik seviyeleri hesaplanmıştır, aynı kritiklikte olan ekipmanlar bir grup olarak değerlendirilmiştir. Bu adımlar için literatürde benzer problemlerde kullanılan ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Birinci adımda, santral uzmanları tarafından belirlenen 9 kriterin ağırlıkları AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. İkinci adımda ise, AHP yöntemi ile ağırlıkları tespit edilen kriterler esas alınarak 657 ekipmanın öncelikleri TOPSIS yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışmanın uygulama adımları Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Tez çalışmasının ilk dört aşamasını oluşturan bakım strateji seçimi çalışmasında (Özcan vd., 2019) kullandığı kriterlere ek olarak arıza giderme ekibi ve sistem ekipman yedeği kriterleri eklenmiş, arıza giderme süresi adlı kriterin alt kriterleri çeşitlendirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı termik santraldaki üretim sürdürülebilirliğine doğrudan etkisi olan 657 ekipman arasından en kritik olanların tespiti için ÇKKV yöntemlerinden öncelikle AHP- TOPSIS sonrasında ise ANP- TOPSIS yöntemleri olmak üzere iki farklı kombinasyon ve HP beraber kullanılmıştır.

Problem çözümünde AHP ve ANP yöntemleri için Super Decisions, HP model çözümü için ise IBM ILOG CPLEX Optimisation Studio programı kullanılmıştır.



Şekil 6. 1. Uygulama adımları

6.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışmanın birinci adımında her biri 10- 25 yıl termik santral işletme ve bakım tecrübesine sahip, alanlarına hâkim, mühendis (endüstri, elektrik, elektrik-elektronik, makine) olan sekiz santral uzmanıyla termik santralin işletme kuralları ve literatürdeki çalışmalar (Özcan vd., 2017) göz önünde bulundurularak, Çizelge 6.1’de yer alan değerlendirme kriterleri belirlenmiştir ve puanlanmıştır.

Çizelge 6. 1. Değerlendirme kriterleri

Kriter	Kriterde Yer Alan Parametreler	Parametrelerin Sayısal Karşılıkları
Bakım öncesi koşullar	Ünite duruşu	7
	Yedeksiz bakım	2
	Duruş gerektirmez	1
	Süreye göre duruş gerekebilir	5
	Duruma göre duruş gerektirebilir	6
Arıza periyodu	Ayda 1	8
	3 ayda 1	5
	6 ayda 1	3
	Yılda 1	2
	Uzun süreli	1
	Bilinmiyor	1
Arıza tespit edilebilirlik	Tespiti kolay	1
	Tespiti zor	3
Olası sonuçlar	Ünite duruşu	10
	Yedeksiz çalışma	7
	Yük düşümü	8
	Arıza büyür- İlişkili ekipman hasar	2
	Güvenliğe zarar verir	6
	Eksik görev	2
	Akışkan sarfıyatı artar	1
	Start vermede problem	1
	Ekipman servis harici	6
	Acil durumlarda problem oluşturur	9

Çizelge 6. 2. Değerlendirme kriterleri- Devam

Ekipman kategorisi (Statik- dinamik- elektriksel- ölçüm)	Mekanik-Statik	1
	Mekanik-Dinamik	2
	Elektriksel	1
	Ölçüm Elemanı	1
Tahmini Arıza Giderme Süresi	2 Saatte az	1
	2-8 saat	2
	1 hafta	9
	1 günden fazla	3
	Bilinmiyor	3
Ölçüm ekipmanlarının mevcudiyeti	Var	3
	Yok	1
Sistemdeki ekipman yedeği	Evet	1
	Hayır	3

6.2. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu bölümde uzmanlar tarafından belirlenen değerlendirme kriterlerinin birbirlerine göre ağırlıkları AHP ve ANP yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntemle hesaplanmıştır.

6.2.1. AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

İlk aşamada santralin bir ünitesinde yer alan 657 ekipmanın santral açısından kritiklik seviyesinin belirlenebilmesi için tespit edilen bu kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanmış olup, oluşturulan karar matrisine Ek 1.'de yer verilmiştir. Birinci adımda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 6. 2'de sunulmuştur.

Çizelge 6. 3. AHP kriter ağırlıkları

Kriter Adı	Kriter Tanımı	Parametrelerin Sayısal Karşılıkları
C1	Bakım öncesi koşullar	0,3825
C2	Arıza periyodu	0,0847
C3	Arıza tespit edilebilirlik	0,1409
C4	Olası sonuçlar	0,2391
	Ekipman kategorisi	
C5	(Statik, dinamik, elektriksel, ölçüm)	0,0307
C6	Tahmini Arıza Giderme Süresi	0,0254
C7	Ölçüm ekipmanlarının mevcudiyeti	0,0512
C8	Sistemdeki ekipman yedeği	0,0455

6.2.1. ANP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bir önceki adımdaki gibi Çizelge 6.2’de yer alan değerlendirme alt kriterleri birbirleriyle karşılaştırılarak içinde bulundukları ana kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır, yöntem olarak ise alt kriter ve kriterlerin birbiriyle etkileşimi mümkün kılan ANP yöntemi kullanılmıştır. Bu karşılaştırmalar ve ağırlıklar Super Decision programı yardımıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan etkileşim şemasına Ek 4.’de, örnek karar matrisine ise Ek. 5’de yer verilmiştir. Birinci adımda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 6. 3’te sunulmuştur.

Çizelge 6. 4. ANP kriter ağırlıkları

Kriter Adı	Kriter Tanımı	Parametrelerin Sayısal Karşılıkları
C1	Bakım öncesi koşullar	0,3524
C2	Arıza periyodu	0,0986
C3	Arıza tespit edilebilirlik	0,1535
C4	Olası sonuçlar	0,2157
	Ekipman kategorisi	
C5	(Statik, dinamik, elektriksel, ölçüm)	0,0368
C6	Tahmini Arıza Giderme Süresi	0,0320
C7	Ölçüm ekipmanlarının mevcudiyeti	0,0647
C8	Sistemdeki ekipman yedeği	0,0463

Görüldüğü gibi ANP yönteminde ulaşılan kriter ağırlıkları ile AHP yöntemi kullanılarak bulunan ağırlıklar arasında farklılıklar vardır, söz konusu farklılık AHP yönteminde sadece kriterler değerlendirilirken ANP yönteminin alt kriteri de kendi aralarında ikili karşılaştırma matrisleri içerisinde değerlendirilmesini mümkün kılmasıdır.

6.3. Kritik Ekipmanların Belirlenmesi

Bu bölümde, öncesinde belirlenen değerlendirme kriterleri ve hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemiyle 657 ekipmanın ağırlıkları belirlenmiştir. Ulaşılan sonuçların maksimum değer üzerinden 0-1 arasında değişen C_i^* değerlerinden en büyük olanı 100'e denk gelecek şekilde uyarlanmıştır. Sonuçlara göre, çalışmanın yapıldığı termik santralda ele alınan ünitenin kesintisiz enerji talebini kesintisiz olarak karşılaması için puanları aynı olan ekipmanlar bir grupta ele alınmıştır. 657 ekipmandan aynı puanda olan 20 ekipman grubu elde edilmiştir.

6.3.1. AHP- TOPSIS Kombinasyonu ile Ekipmanların Belirlenmesi

İlk aşamada AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları TOPSIS yöntemine dahil edilerek toplamda 657 ekipmanın santral açısından kritiklik seviyeleri hesaplanmıştır. Bu aşamada kullanılan veri örneklerine Ek 2.'de ve Ek 3.'te yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ekipmanların kritiklik seviyeleri Çizelge 6. 4'te yer almaktadır.

Çizelge 6. 5. Kritik ekipman grupları ve kritiklik seviyeleri (AHP- TOPSIS)

Ekipman Grup Numarası	Gruptaki Ekipman Adedi	Kritiklik Seviyesi
1	5	4,564
2	6	5,305
3	3	7,796
4	16	8,644
5	11	9,341
6	19	10,157
7	17	12,835
8	23	13,247
9	21	14,763
10	20	15,145
11	21	16,501
12	13	17,914
13	4	22,503
14	287	23,648
15	3	26,260
16	5	27,125
17	160	29,401
18	5	31,884
19	14	88,309
20	4	100

6.3.2. ANP- TOPSIS Kombinasyonu ile Ekipmanların Belirlenmesi

İkinci aşamada ANP yöntemi ile ulaşılan kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemiyle ekipmanların kritikliğine göre sıralama yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar bir 6.1.2’de de olduğu gibi maksimum değer üzerinden 0-1 arasında değişen C_i * değerlerinden en büyük olanı 100’e denk gelecek şekilde uyarlanmıştır. Ekipmanların aynı grupta yer alabilmesi için hesaplanan kritiklik değerleri aynı olmalıdır.

Sonuçlara göre, puanları aynı olan ekipmanlar gruplandığında 20 ekipman grubu oluşmuştur. AHP yöntemi kullanıldığında oluşan gruplarla ANP yöntemi kullanıldığında oluşan gruplar aynıdır, her iki yöntemde de aynı ekipmanların gruplanması çözümlerin tutarlı olduğunu göstermektedir, oluşan tablo Çizelge 6.5’te gösterilmiştir. Ekipman kritiklik seviyelerindeki puan farklarının sebebi ise ANP yönteminde ulaşılan kriter ağırlıklarının farklı olmasıdır. Bu aşamada kullanılan veri örneklerine Ek 2.’de ve Ek 3.’te yer verilmiştir.

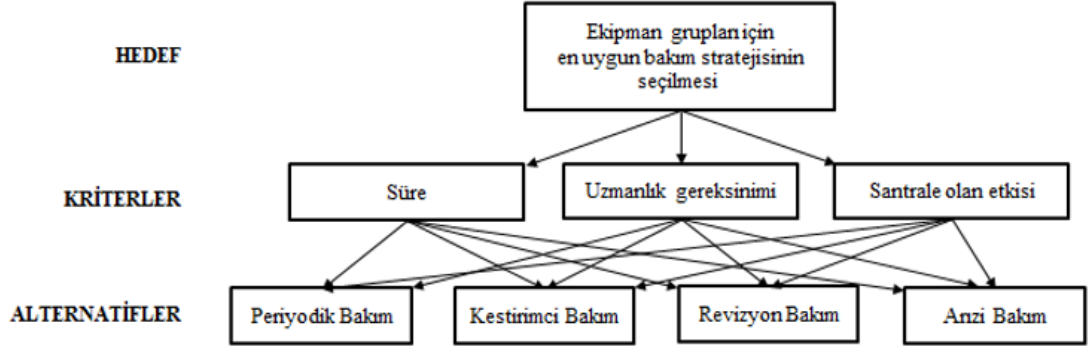
Çizelge 6. 6. Kritik ekipman grupları ve kritiklik seviyeleri (ANP- TOPSIS)

Ekipman Grup Numarası	Gruptaki Ekipman Adedi	Kritiklik Seviyesi
1	5	3,022
2	6	4,960
3	3	5,738
4	16	6,491
5	11	8,503
6	19	10,259
7	17	11,530
8	23	12,663
9	21	13,427
10	20	15,319
11	21	16,223
12	13	18,735
13	4	23,507
14	287	25,802
15	3	26,538
16	5	27,616
17	160	28,426
18	5	29,734
19	14	86,157
20	4	100

6.4. Hedef Programlama ile Bakım Stratejilerinin Optimizasyonu

Bu adımda TOPSIS yöntemi kullanılarak santraldeki üretimi direk olarak etkileyen ekipman grupları için 4 bakım stratejisi arasından en uygun kombinasyonun seçilmesi için bir HP- AHP modeli kurulmuştur. AHP yöntemi ile bakım stratejilerinin ağırlıkları süre, uzmanlık gereksinimi ve santrale olan etki kriterleri altında değerlendirilip ağırlıklandırılmıştır. Hiyerarşik yapı Şekil 6.2.'de gösterilmiştir. Sonrasında bu ağırlıklar da kullanılarak termik santraldaki 657 ekipman arasından

belirlenen kritik 20 ana ekipman grubunun bakım strateji seçimini gerçekleştirmek için HP ile modeli kurulmuştur.



Şekil 6. 2. Bakım strateji seçimi için kurulan AHP hiyerarşik yapısı

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, termik santrallarda periyodik, kestirimci, revizyon ve arzi bakımlar olmak üzere 4 bakım stratejisi uygulanmaktadır. Bu stratejilerin seçilmesinde etkili olan kriterler ise santralde görev yapan uzmanlar tarafından bakım süresi, uzmanlık gereksinimi ve santrale olan etkisi olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler ve alternatifler için ikili karşılaştırma matrisleri hazırlanmış ve her bir matrisin tutarlılık oranı 0.1'den küçük olarak hesaplanmıştır.

Bu matrisler üzerinde yapılan hesaplamaların sonucunda, her bir kriterle göre alternatifin global önceliği ($PUAN_{AHP, i}$), bu alternatifin yerel önceliği ($PUAN_{k, i}$) ve kriterlerin (süre, uzmanlık gereksinimi, santrale olan etki) ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 6.6, 6.7 ve 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6. 7. Bakım stratejileri kriter ağırlıkları

Kriter	Ağırlık
Bakım süresi	0,2257
Uzmanlık gereksinimi	0,0934
Santral üzerindeki etkisi	0,6809

Çizelge 6. 8. Bakım stratejileri global öncelik değerleri

Alternatif strateji	Öncelik puanı
Periyodik bakım	0,3897
Kestirimci bakım	0,2970
Revizyon bakım	0,1984
Arızı bakım	0,1149

Çizelge 6. 9. Bakım stratejileri lokal öncelik değerleri

Alternatif strateji	Öncelik puanı		
	Bakım süresi	Uzmanlık gereksinimi	Santral üzerindeki etkisi
Periyodik bakım	0,2915606	0,1874307	0,582401
Kestirimci bakım	0,1670426	0,2578561	0,251352
Revizyon bakım	0,4618215	0,4912532	0,123157
Arızı bakım	0,0795753	0,0634600	0,043090

HP Modelinin Kurulması:

Modelin kurulması için gerekli olan karar değişkenleri ve parametreler aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\min Z = P_1(d_C^+) + P_2(d_{MT}^+) + P_3(d_{PUAN,AHP}^-) + P_4(w_o d_o^- + w_s d_s^- + w_D d_D^-) \quad (6.1)$$

P₁= Maliyeti minimize etmek

P₂= Bakım süresini minimize etmek

P₃= AHP ağırlıklarını maksimize etmek

P₄= Lokal AHP ağırlıklarını maksimize etmek

Karar Değişkenleri:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, i. \text{ ekipman puan grubu için } j. \text{ bakım stratejisinin seçilmesi} \\ 0, \text{ diğer durumlar} \end{cases}$$

$$i=1,..20, j=1,..4$$

(j; 1= periyodik, 2= kestirimci, 3= revizyon, 4= arızı)

$$Y_{ia} = \begin{cases} 1, i. \text{ ekipman puan grubunun } a. \text{ tip arızası olması durumu} \\ 0, \text{ diğer durumlar} \end{cases}$$

$$i=1,..,20, a=1,..,20$$

Notasyon:

$P_{1,2,3,4}$ = Önem derecesi ($1 \gg 2 \gg 3 \gg 4$)

i: ekipman puan grubu sayısı

i=1,..., 20

j: bakım stratejisi sayısı

j= 1,...,4

k: bakım strateji seçimini etkileyen kriterler

k= s, u, e

M: Büyük bir sayı

T_C : Toplam maliyet (7.300.300 ₺)

T_{MT} : Toplam bakım süresi (1.200.000 adam/ dk)

C_{ij} : i. parçaya uygulanan j. bakım stratejisinin maliyeti

MT_{ij} : i. Parçaya uygulanan j. bakım stratejisinin süresi

w_k : k. Kriterin ağırlığı

$PUAN_j$: j. bakım stratejisinin AHP sonucunda elde edilen alternatif sonucu

$PUAN_{kj}$: k. kriterin l. alternatife göre oluşturulan önem ağırlığı

$T_{S,PUAN}$: Uzmanlık gereksinimi kriterinin yerel puan maksimizasyon puanına bağlı kısıtlama hedefi

$T_{U,PUAN}$: Uzmanlık gereksinimi kriterinin yerel puan maksimizasyon puanına bağlı kısıtlama hedefi

$T_{E,PUAN}$: Santrale olan etki kriterinin yerel puan maksimizasyon puanına bağlı kısıtlama hedefi

d_C^- : Maliyetin negatif yöndeki sapması

d_C^+ : Maliyetin pozitif yöndeki sapması

d_{MT}^- : Bakım süresinin negatif yöndeki sapması

d_{MT}^+ : Bakım süresinin pozitif yöndeki sapması

d_S^- : Arıza süresinin negatif yöndeki sapması

d_S^+ : Arıza süresinin pozitif yöndeki sapması

d_U^- : Uzmanlık gereksiniminin negatif yöndeki sapması

d_U^+ : Uzmanlık gereksiniminin pozitif yöndeki sapması

d_E^- : Santrale olan etkinin negatif yöndeki sapması

d_E^+ : Santrale olan etkinin pozitif yöndeki sapması

Kısıtlar:

Arıza bakım atama kısıtı:

$$x_{i,4} - M * y_{i,F} \leq 0 \quad (6.2)$$

(6.2) eşitliğindeki kısıt ile, arıza oluşması durumunda 4. Bakım stratejisi olan arıza bakımın seçilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Maliyet kısıtı:

$$C_1 * x_{i,1} + C_2 * x_{i,2} + C_3 * x_{i,3} + C_4 * x_{i,4} + d_C^- - d_C^+ = 7.300.000 \quad (6.3)$$

(6.3) eşitliğindeki kısıt ile, ekipman puan gruplarına atanacak bakım stratejisi maliyetlerinin toplamının bakıma ayrılan toplam bütçeyi aşmaması gerektiği ifade edilmiştir.

Süre kısıtı:

$$MT_1 x_{i,1} + MT_2 x_{i,2} + MT_3 x_{i,3} + MT_4 x_{i,4} + d_{MT}^- - d_{MT}^+ = 1.200.000 \quad (6.4)$$

(6.4) eşitliğindeki kısıt ile, ekipman puan gruplarına atanacak bakım stratejisi sürelerinin toplamının bakıma ayrılan toplam süreyi aşmaması (fazla mesai oluşmaması) gerektiği ifade edilmiştir.

AHP yönteminden gelen kısıtlar:

$$0,508505385 * x_{i,1} + 0,188488336 * x_{i,2} + 0,157616554 * x_{i,3} + 0,145389725 * x_{i,3} + d_{PUAN,AHP}^- - d_{PUAN,AHP}^+ = 1 \quad (6.5)$$

(6.5) eşitliğindeki kısıt ile, ekipman puan gruplarına için her bir bakım stratejisinin atandığı durumda AHP ağırlık toplamalarının 1 olması gerektiği ifade edilmiştir. Kullanılan sabitler bakım stratejilerinin AHP global ağırlıklarıdır. Bu kısıt AHP yönteminin gelmektedir.

$$0,48859 * x_{i,1} + 0,09731 * x_{i,2} + 0,23189 * x_{i,3} + 0,18192 * x_{i,4} + d_S^- - d_S^+ = 0,72048 \quad (6.6)$$

(6.6) eşitliğindeki kısıt ile, bakım stratejilerinin ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan süre kriterinin lokal ağırlığının (alternatifler süre kriteri altında değerlendirildiğinde elde edilen değer) maksimizasyon değerine eşit olması gerektiği ifade edilmiştir Badri (2009)'a göre, en yüksek iki $T_{S,PUAN}$ değerinin toplamı olarak seçilmiştir.

$$0,27954 * x_{i,1} + 0,48390 * x_{i,2} + 0,06852 * x_{i,3} + 0,16805 * x_{i,4} + d_U^- - d_U^+ = 0,76344 \quad (6.7)$$

(6.7) eşitliğindeki kısıt ile, bakım stratejilerinin ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan süre kriterinin lokal ağırlığının (alternatifler süre kriteri altında değerlendirildiğinde elde edilen değer) maksimizasyon değerine eşit olması gerektiği ifade edilmiştir. Badri (2009)'a göre, en yüksek iki $T_{U,PUAN}$ değerinin toplamı olarak seçilmiştir.

$$0,62911 * X_{i,1} + 0,23095 * X_{i,2} + 0,08527 * X_{i,3} + 0,05467 * X_{i,4} + d_E^- - d_E^+ = 0,86006 \quad (6.8)$$

(6.8) eşitliğindeki kısıt ile, bakım stratejilerinin ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan süre kriterinin lokal ağırlığının (alternatifler süre kriteri altında

değerlendirildiğinde elde edilen değer) maksimizasyon değerine eşit olması gerektiği ifade edilmiştir. Badri (2009)'a göre, en yüksek iki $T_{E,PUAN}$ değerinin toplamı olarak seçilmiştir.

$$\sum_{i=20}^{20} X_{i4} \leq 85 \quad (6.9)$$

Uzmanlar tarafından belirlenen kritiklik değeri olan 85 puan ve üzerindeki ekipman puan gruplarına revizyon bakım yapılmalıdır. (6.9) eşitliğindeki kısıt ile, termik santralin kendi işletmesi gereği yaptığı revizyon bakım ifade edilmiştir.

6.5. Model Çıktılarının Yorumlanması

Kurulan HP modeli IBM ILOG CPLEX programı çözülmüştür. Kritiklik seviyelerine göre ayrılmış 657 ekipmanın oluşturduğu puanlarına göre 20 grupta toplanan ekipmanlar için optimum bakım stratejisi kombinasyonuna Çizelge 6.9'da yer verilmiştir.

Çizelge 6. 10. Ekipman puan grupları için optimum bakım strateji kombinasyonları

Ekipman Grubu	Periyodik Bakım	Kestirimci Bakım	Revizyon Bakım	Arızı Bakım
1				✓
2				✓
3				✓
4				✓
5				✓
6				✓
7				✓
8				✓
9				✓
10				✓
11	✓	✓		✓
12	✓	✓		✓
13	✓	✓		✓
14	✓	✓		✓
15	✓	✓		✓
16	✓	✓		✓
17	✓	✓		✓
18	✓	✓		✓
19	✓	✓	✓	
20	✓	✓	✓	

Çizelge 6.9’ da yer alan sonuçlar incelendiğinde, ekipman grupları için seçilen bakım stratejilerinin termik santrallerin işletme kuralları ve gerçek hayattaki faaliyetleri ile paralel olduğu görülmektedir. Model sonuçlarını yorumladığımızda, arızanlaması durumunda büyük zarara yol açmayacak olan, diğer bir deyişle kritik bir pozisyonda

olmayan ekipmanlar için uzun süreli ekipmanı devre dışı bırakan revizyon bakım, ekipmanın belirli aralıklarla performansını ölçmek için ekstra yatırım maliyeti gerektiren kestirimci bakım ve öncesinde planlama gerektiren, belli zaman aralıkları ile tekrar eden periyodik bakım uygun bulunmamıştır. Bu tür ekipmanlar için model, sadece arızı bakımı uygun görmüştür.

Kritiklik seviyesi arttıkça, revizyon bakım gibi uzun süreli duruşa sebep olacak veya kestirimci bakım gibi ölçüm/ izleme ekipmanı maliyeti oluşturacak seçimler yerine ekipmanın halihazırdaki performansını ve işlerliğini korumak için periyodik bakım ve arıza anında müdahale anlamına gelen arızı bakım stratejilerinin kombine edilmesi işletmeler açısından daha anlamlıdır.

Kritiklik seviyesi en yüksek ekipmanlar için en uzun süreli ve en kapsamlı bakım tipi olan revizyon bakımın atanması ve işletme açısından üretim duruşuna sebep olacak arızaların oluşması halinde uygulanacak arızı bakımın atanmaması modelin tutarlılığını kanıtlamaktadır. Bu tip ekipmanlar için arıza durumunda arızı bakım elbette yapılacaktır fakat arızı bakım bu denli önemli ekipmanlar için bir strateji olarak seçilmemelidir, diğer bakım stratejileriyle arızı bakıma gerek kalmaması hedeflenmelidir. Arızanın belirtilerini fark edebilmek için kestirimci bakım, ekipmanın yağlama/ tork değeri vb. çalışma şartlarını belli bir standartta tutmak için ise periyodik bakım stratejisi bu tür ekipmanlar için kaçınılmazdır.

Elde edilen sonuçlar ve yapılan değerlendirmeler neticesinde de görüleceği gibi, önerilen modelin tutarlı sonuçlar ortaya koymuştur.

7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, termik santrallarda bakım strateji seçimi problemi için altı adımdan oluşan bir çalışma yürütülmüştür.

Çalışmada bakım strateji seçim problemi ele alınarak 2019 yılı itibarıyla kurulu gücü %51,70 olan ve üretilen enerjinin %37'sini karşılayan termik santrallardan birinde, santralın gerçek verileri kullanılarak enerji üretiminde kritik olan ekipman grupları değerlendirilmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında birinci adımında, santralda görev yapan tecrübeli uzman mühendislerle 9 ana değerlendirme kriteri ve 36 alt değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Ardından AHP ve ANP yöntemleri ile bu kriterlerin ağırlıklarına ulaşılmıştır.

Uygulamanın iki ve dördüncü bölümlerinde ise ulaşılan kriter ağırlıkları kullanılarak her iki yöntem ayrı ayrı TOPSIS yöntemi ile kombine edilmiş ve 657 ekipmanın her biri için kritiklik seviyesi/ önem derecesi hesaplanmıştır. Bu puanlama sonucu aynı kritiklik seviyesine sahip olan ekipmanlar gruplanmıştır. Böylece puanları 4,803 ile 100 arasında değişen 20 grup oluşturulmuştur. Gruplanan ekipmanlar için önceki bölümlerde detaylı anlatılan arızı, periyodik, kestirimci ve revizyon bakım stratejileri arasından santral bünyesinde bulunan en kritik ekipmanlar için bakım çeşitlerinin önem dereceleri, süre ve işçilik kısıtları dahilinde maliyet minimizasyonu hedeflenerek her bir ekipman için HP modeliyle en uygun/ optimal strateji atması yapılmıştır.

Ülkemizde de sayıca oldukça fazla olan termik santral alanında yapılan, ÇKKV yöntemleri kullanarak 2 farklı yöntem kombinasyonunun ve bunlara ek olarak HP' nin kullanılması, kriter ve alt kriter sayılarının yüksekliği ve ekipman sayısının yüksek olması özellikleriyle literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olan bakım strateji seçimi için kurulan HP modelin çözümü ile elde edilen sonuçlara göre planlanan bakım sonuçları 1 yıl süre ile izlenmiştir. Santralda, çalışmada yer verilen ekipmanlardan kaynaklı duruşlarda düşüş görülmüştür. Bu düşüş, enerji üretimi sürdürülebilirliği diğer bir deyişle santrallarda çok önemli bir kavram olan emre amadeli oranın artırmış olup, ucuz ve verimli elektrik üretimini ve verimli işgücü kullanımını mümkün kılmaktadır. Yapılan bu çalışmanın enerji üretimi sahası dışındaki problemlere de çok

amaçlı bir yapısı sebebiyle ışıık tutacağı düşünölmektedir. Ayrıca tez çalışmasının ilk üç adımında ele alınan termik santralda bakım strateji seçimi probleminin çözümü için literatürde AHP- TOPSIS- HP ve ANP-TOPSIS- HP yöntemlerinden oluşan kombinasyon ilk kez kullanılmıştır.

Ele alınan problem, literatürdeki çalışmaların aksine daraltılmış bir alan veya alt-sistemde değil, 60MW kapasiteli bir termik santralda 657 ekipman barındıran problemli bir ünite içerisindeki tüm ekipmanlar için oldukça geniş bir kapsamda incelenmiştir. Bununla birlikte literatürde AHP- TOPSIS- HP kullanılan çalışmalar bulunmasına rağmen bu yöntemlere ANP'nin dahil edildiğı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasının hem yapıldığı alan hem de yöntemleri açısından şu an literatürde benzeri bulunmamaktadır. Uygulamanın ikinci ve dördüncü adımlarında (TOPSIS ile ekipman seçimi) elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olması kurulan ikili matrislerinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Ayrıca Türkiye'deki bir termik santraldan alınan gerçek veriler ile çalışmanın gerçek hayat uygulaması ise literatürdeki çalışmalarda görölmemektedir. İleriki dönemlerde çalışma olarak da birden fazla ünitedeki ekipmanların veya ekipman gruplarının değerlendirildiğı hem ünite hem ekipmanlar için seçilen stratejiler baz alınarak bir bakım çizelgeleme çalışmasının yapılması, bununla birlikte probleme personel çizelgelemenin de dahil edildiğı kombine çalışmaların yapılması literatüre ışıık tutacaktır.

KAYNAKLAR

Akça, N., Sönmez, S., Gür, Ş., Yılmaz, A., Eren, T., Kamu hastanelerinde analitik ağ süreci yöntemi ile finans yöneticisi seçimi. *Optimum: Journal of Economics & Management Sciences/ Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*. 5(2), 2018.

Arora, N., & Kumar, D., Stochastic analysis and maintenance planning of the ash handling system in the thermal power plant. *Microelectronics Reliability*. 37(5); 819-824, 1997.

Alardhi, M., Labib, A. W., Preventive maintenance scheduling of multi-cogeneration plants using integer programming. *Journal of the Operational Research Society*. 59(4); 503-509, 2008.

Almomani M., Abdelhadi A., Seifoddini H., Xiaohang Y., Preventive maintenance planning using group technology. *Journal of Quality In Maintenance Engineering*. 18(4): 472-480, 2012.

Arora, N., Kumar, D., Availability analysis of steam and power generation systems in the thermal power plant. *Microelectronics Reliability*. 37(5): 795-799, 1997.

Badri, M. A., A combined AHP–GP model for quality control systems. *International Journal of Production Economics*, 72 (1): 27-40, 2001.

Baek, W. B., Lee, S. J., Baeg, S. Y., Cho, C. H., Flame image processing and analysis for optimal coal firing of thermal power plant. In *ISIE 2001. 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceedings (Cat. No. 01TH8570)*. 2: p. 928-93, 2001.

Baidya, R. Dey, P. K., Ghosh, S. K., Petridis, K., Strategic maintenance technique selection using combined quality function deployment, the analytic hierarchy process and the benefir of doubt approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 94 (1-4): 31- 44, 2018.

Başaran, M., Kömürle çalışan termik santraller. *Çevre Ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı*. 52(617): 104-113, 1997.

Başaran, M., Termik santrallerde verimlilik alışmaları ve kazanımlar. *Engineer & The Machinery Magazine*. (617), 2011.

Besnard, F., Patriksson, M., Stromberg, A., Wojciechowski, A., Fischer, K. ve Bertling, L., A stochastic model for opportunistic maintenance planning of offshore wind farms, *Proceedings of the IEEE PowerTech Conference*. 19-23 June, Trondheim, Norway, 2011.

Bhangu, N. S., Singh, R., Pahuja, G. L., Reliability centred maintenance in a thermal power plant: a case study. *International Journal of Productivity and Quality Management*. 7(2): 209-228, 2011.

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.

Boland, N., Kalinowski, T., Waterer, H., Zheng, L., Mixed integer programming based maintenance scheduling for the hunter valley coal chain. *Journal of Scheduling*. 16(6): 649-659, 2013.

Borjalilu, N., Ghambari, M., Optimal maintenance strategy selection based on fuzzy analytical network process: a case study on a 5- MW powerhouse. *International Journal of Engineerins Business Management*. 10, 2018.

Canto, S. P., Application of benders' decomposition to power plant preventive maintenance scheduling. *European Journal of Operational Research*. 184(2): 759-777, 2008.

Carazas, F. G., Souza, G. D., Risk- based decision making method for maintenance policy selection of thermal power plant equipment. *Energy*. 35(2): 964-975, 2010.

Cassady, C. R. ve Kutanoglu, E., Integrating preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine. *IEEE Transactions On Reliability*. 54(2), : 304-309, 2005.

Chabar, R. M., Pereira, M. V. F., Granville, S., Barroso, L. A., Iliadis, N. A., Optimization of fuel contracts management and maintenance scheduling for thermal plants under price uncertainty. *In 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*. P. 923- 930, 2006.

Chalabi, N., Dahane, M., Beldjilali, B. ve Neki, A., Optimisation of preventive maintenance grouping strategy for multi-component series systems: Particle swarm based approach. *Computers & Industrial Engineering*. 102: 440-451, 2016.

Chen, J. S., Using integer programming to solve the machine scheduling problem with a flexible maintenance activity. *journal of statistics and management systems*. 9(1): 87-104, 2006.

Chen, K. Y., Chen, L. S., Chen, M. C., Lee, C. L., Using SVM based method for equipment fault detection in a thermal power plant. *Computers in industry*. 62(1): 42-50, 2011.

Chemweno, P., Morag, I., Sheikhalishahi, M., Pintelon, L., Muchiri, P., Wakiru, J., Development of a novel methodology for root cause analysis and selection of maintenance strategy for a thermal power plant: A data exploration approach. *Engineering Failure Analysis*. 66: 19- 34, 2016.

Cheung, K. Y., Hui, C. W., Sakamoto, H., Hirata, K., O' Young, L., Short-term site-wide maintenance scheduling. *Computers & Chemical Engineering*. 28(1): 91-102, 2004.

Çebi, S., Çelik, M., Kahraman, C., Gemi sistemleri için entegre bakım- onarım yönetimi gereksiniminin analizi. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*. 3(4): 17-24, 2008.

Dai, L., Stålhane, M. ve Utne, I. B., Routing and scheduling of maintenance fleet for offshore wind farms. *Wind Engineering*. 39(1): 15-30, 2015.

EMO, Türkiye elektrik enerjisi istatistikleri, 31 Temmuz 2019 dosyası, http://www.emo.org.tr/ekler/f5959441c3f5942_ek.pdf?tipi=41&turu=X&sube=0 (Erişim tarihi: 20. 09. 2019).

Emovon, I. Norman, R. A., Murphy, A. J., Hybrid MCDM based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 29(3): 519- 531, 2018.

ETBK, 2010 - 2014 Stratejik Planı, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. 25-30, 2009.

EİGM, Türkiye elektrik yatırımları 2019 yılı Mayıs ayı özet raporu, <https://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2F4%2FDocuments%2FRapor%2FElektrik%20Yat%C4%B1r%C4%B1mlar%C4%B1%202019%20May%C4%B1s%20Ayl%C4%B1k%20C3%96zet%20Raporu.pdf> , (Erişim tarihi: 22.08.2019).

EPİAŞ, Elektrik piyasası özet bilgiler raporu 2019, <https://www.epias.com.tr/wp-content/uploads/2019/09/A%C4%9Fustos-2019-Elektrik-Piyasalar%C4%B1-Raporu.pdf>, (Erişim tarihi: 20.12.2019).

ETKB, Elektrik, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, (Erişim tarihi: 20. 12. 2019).

EÜAŞ, 2018 Yıllık faaliyet raporu, <http://www.euas.gov.tr/Duyuru%20Belge%20Kitapla/a/E%20ÜAŞ%202018%20Yıllık%20Faaliyet%20Raporu.pdf>, (Erişim tarihi: 20. 09. 2019).

EÜAŞ, 2019 Temmuz Ayı Enerji Raporu, <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT/1/Documents/E%C4%B0GM%20Periyodik%20Rapor/2019%20Temmuz%20Ay%C4%B1%20Enerji%20Raporu.pdf>, (Erişim tarihi: 15.10.2019)

Fattahi, M., Mahootchi, M., Mosadegh, H. ve Fallahi, F., A new approach for maintenance scheduling of generating units in electrical power systems based on their operational hours. *Computers & Operations Research*. 50: 61-79, 2014.

Froger, A., Gendreau, M., Mendoza, J. E., Pinson, É., Rousseau, L. M., Maintenance scheduling in the electricity industry: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 251(3): 695-706, 2016.

Froger, A., Gendreau, M., Mendoza, J. E., Pinson, E. ve Rousseau, L. M., A branch-and-check approach for a wind turbine maintenance scheduling problem. *Computers & Operations Research*. 88: 117-136, 2017.

Goossens A. J., Basteen, R. J., Exploring maintenance policy selection using analytic hierarchy process; an application for naval ships. *Reliability Engineering & System Safety*. 142: 31- 41, 2015.

Gökdalay, M. H., Havaalanlarının performans analizinde bulanık ölçütlü karar verme yaklaşımı. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8 (6): 157- 168, 2009.

Gupta, S., Tewari, P. C., Sharma, A. A., Markov model for performance evaluation of coal handling unit of a thermal power plant. *Journal of Industrial and Systems Engineering*. 3 (2): 85-96, 2009.

Gür, Ş., Bedir, N., Eren, T., Analitik ağ süreci ve PROMETHEE yöntemleri ile gıda sektöründeki orta ölçekli işletmeler için pazarlama stratejilerinin seçimi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2017, 6.1: 79-92.

Gür, Ş., Hamurcu, M., Eren, T. Selecting of Monorail projects with analytic hierarchy process and 0-1 goal programming methods in Ankara. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(4): 437-443, 2017.

Gürbüz H. ve Cömert, E., Bakım planlama faaliyetlerinde tamsayı doğrusal programlama ve bir uygulama. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*. 4(7): 101- 102, 2012.

He, K., Maillart, L. M. ve Prokopyev, O. A., Optimal planning of unpunctual preventive maintenance. *IIE Transactions*. 49(2): 127-143, 2017.

Huang, S., Li, J., Chen, F., The development of condition-based maintenance in chinese thermal power plants. *Turbine Technology*. 2007.

World energy Outlook 2018, <https://www.iea.org/weo2018/>, (Erişim tarihi: 04.09.2019).

Irawan, C. A., Ouelhadj, D., Jones, D., Stålhane, M., Sperstad, I. B., Optimisation of maintenance routing and scheduling for offshore wind farms. *European Journal of Operational Research*. 256(1): 76-89, 2017.

Krishnasamy, L., Khan, F., 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.

Koruca, H. İ., Aydemir, E., Oktay, A ve Uğurlu, N., Isparta İli Elektrik Arıza Tamir Bakım Biriminde Simölasyon Destekli Personel Planlama ve Organizasyon Yapılandırma Araştırması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 15 (3), 2011.

Kovács, A., Erdős, G., Viharos, Z. J. ve Monostori, L., A system for the detailed scheduling of wind farm maintenance. *CIRP Annals- Manufacturing Technology*. 60(1): 497-501, 2011.

Köknal, B., KEAŞ ve YEAŞ termik santrallerindeki cüruf yapılarının incelenmesi ve kömür özellikleri ile ilişkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir. 1: 14-16, 2011.

Kömürlü termik santral yapısı, https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRNhC8Xfp47Rwxw221O7hF4rJ_tN0vc5yCA6DPao650XTu_1ueo5w&s, (Erişim tarihi: 04.10.2019)

Legát, V., Mošná, F., ALeš, Z., Jurčá, V., Preventive maintenance models—higher operational reliability. *Eksploatacja i Niezawodność*. 19(1): 134, 2017.

McLellan, D. A. ve Schneider, K., Maintenance planning and spare parts provisioning for a small unmanned aerial system. *In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2017 Annual (pp. 1-7), IEEE, 2017.

Mechefske, C. K., Wang, Z., Using fuzzy linguistics to select optimum maintenance and condition monitoring strategies. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 15 (6): 1129- 1140, 2001.

Mehpare, T., Kolayda Ürünler İçin Perakende Satış Yeri Seçimi: Bir Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması, *Yönetim Dergisi*. 13: 23-36, 2002,

MMO, Termik santrallerde modern bakım yöntemleri, <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/Sayfa%20159%20sonras%C4%B1.pdf>, (Erişim tarihi: 23. 12. 2019).

Mobley, R. K., An introduction to predictive maintenance. *Elsevier*, 2002.

Moghaddam, K. S., Multi- objective preventive maintenance and replacement scheduling in a manufacturing system using goal programming. *International Journal of Production Economics*. 146(2): 704-716, 2013.

Mohanta, D. K., Sadhu, P. K., Chakrabarti, R.. Deterministic and stochastic approach for safety and reliability optimization of captive power plant maintenance scheduling using GA/SA-based hybrid techniques: A comparison of results. *Reliability Engineering & System Safety*. 92(2): 187-199, 2007.

Mollahassani-Pour, M., Abdollahi, A., Rashidinejad, M., Application of a novel cost reduction index to preventive maintenance scheduling. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 56: 235-240, 2014.

Moro, L. M., Ramos, A., goal programming approach to maintenance scheduling of generating units in large scale power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*. 14(3): 1021-1028, 1999.

Nyman, D. ve Levitt, J., Maintenance planning scheduling, and coordination. *Industrial Press Inc*, 2001.

Orhan, İ., Kapanoğlu, M., Karakoç, T. H., Hedef programlama ile bütünleşik uçak rotalama ve bakım çizelgeleme. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 27(1), 2012.

Oyedepo, S. O., Fagbenle, R. O., A study of implementation of preventive maintenance programme in Nigeria power industry- Egbin Thermal Power Plant, case study. *Energy and Power Engineering*. 3: 207-220, 2011.

Özcan, E. C., Eren, T., Bakım planlamasında TOPSIS yöntemi uygulaması: doğalgaz kombine çevrim santrali örneği. *International Journal of Engineering Research and Development*. 6 (2), 2014.

Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., 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.

Özcan, E.C., Elektrik üretim planlamasında çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı: Türkiye örneği. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2013.

Özyörük, B., Erol, S., Tek aşamalı hazırlık zamanlı parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için doğrusal hedef programlama modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 2001.

Palmer, D. Maintenance planning and scheduling handbook (p. 821). New York: McGraw-Hill, 2006.

Pan, L., Lu, G., Zhang, Y., Yu, G., Zhu, D., Decision- making optimization of equipment condition- based maintenance according to risk comprehensive evaluation. *Automation of Electric Power Systems*. 11, 2010.

Panchal, D., Kumar, D., Maintenance decision- making for power generating unit in thermal power plant using combined fuzzy AHP-TOPSIS approach. *International Journal of Operational Research*. 29(2): 248-272, 2017.

Perez-Canto, S., 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.

Prasad, G., Swidenbank, E., Hogg, B. W., A novel performance monitoring strategy for economical thermal power plant operation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 14(3): 802- 809, 1999.

Purohit, B. S. ve Lad, B. K., Production and maintenance planning: an integrated approach under uncertainties. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 86(9-12): 3179- 3191, 2016.

Sergaki, A., & Kalaitzakis, K., A fuzzy knowledge based method for maintenance planning in a power system. *Reliability Engineering & System Safety*: 77(1), 19- 30, 2002.

Satoh, T., & Nara, K., Maintenance scheduling by using simulated annealing method (for power plants). *IEEE Transactions on Power Systems*. 6(2): 850- 857, 1991.

Sevin, L., Bir termik santralin enerji analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi*, 2014.

Stålhane, M., Hvattum, L. M., Skaar, V., Optimization of routing and scheduling of vessels to perform maintenance at offshore wind farms, *Energy Procedia*. 80: 92- 99, 2015.

Suebsomran, A., & Talabgeaw, S., Critical maintenance of thermal power plant using the combination of failure mode effect analysis and AHP approaches. *King Mongkut's University of Technology North Bangkok International Journal of Applied Science and Technology*. 3(3): 1- 6, 2010.

Şah, N., Analitik serim süreci yöntemi ile Mersin-Torino arasındaki güzergâh alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2010.

Tavana, M., Zarook, Y., Santos-Arteaga, F. J., An integrated three-stage maintenance scheduling model for unrelated parallel machines with aging effect and multi-maintenance activities. *Computers & Industrial Engineering*. 83: 226- 236, 2015.

Tamiz, M., Jones, D. F. Interactive frameworks for investigation of goal programming models: Theory and practice. *Journal of Multi - Criteria Decision Analysis*, 6(1): 52-60, 1997.

Türkoğlu, S. P., Karar vermede hedef programlama yöntemi ve uygulamaları. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2): 29-46, 2017.

Upasani, K., Bakshi, M., Pandhare, V., Lad, B. K., Distributed maintenance planning in manufacturing industries. *Computers & Industrial Engineering*. 108: 1- 14, 2017.

Uzun, A. ve Özdoğan, A., Güvenirlik analizlerine dayalı önleyici bakım planlanması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 20(1): 303- 320, 2011.

Wang, K., Zhang, B., Wu, X., Zhai, J., Shao, W., Duan, Y., Multi-time scales coordination scheduling of wind power integrated system. In *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, 2012 IEEE (pp. 1-4). IEEE, 2012.

Wang, L., Chu, J., Wu, J., Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*. 107(1): 151- 163, 2007.

Wei, S. Y., Xu, F., Min, Y., Study and modeling on maintenance strategy for a thermal power plant in the new market environment. *2004 IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings* (Vol. 1, pp. 200-204). IEEE, 2004.

Yang, S. K., A condition-based failure- prediction and processing- scheme for preventive maintenance. *IEEE Transactions on Reliability*. 52(3): 373- 383, 2003.

Yang, S. K., A condition-based preventive maintenance arrangement for thermal power plants. *Electric Power Systems Research*: 72(1), 49- 62, 2004.

Yanık, Y., Elektrik üretim santralleri bakım programı optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi*, 2018.

Yoon, K. P., & Hwang, C. L. Multiple attribute decision making: an introduction (Vol. 104). Sage publications, 1995.

Zhao, L., Lin, Y., Operation and maintenance of coal handling system in thermal power plant. *Procedia Engineering*. 26: 2032- 2037, 2011.

Zhong, S., Pantelous, A. A., Beer, M., 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.

EKLER

EK 1. AHP yönteminde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1,00	0,20	2,00	1,00	0,14	1,00	0,50	2,00	1,00	0,50	0,33
C2	5,00	1,00	9,00	5,00	0,17	1,00	5,00	9,00	5,00	3,00	3,00
C3	0,50	0,11	1,00	0,25	0,11	0,33	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50
C4	1,00	0,20	4,00	1,00	0,14	1,00	5,00	3,00	1,00	1,00	0,50
C5	7,00	6,00	9,00	7,00	1,00	8,00	8,00	9,00	3,00	6,00	6,00
C6	1,00	1,00	3,00	1,00	0,13	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00
C7	2,00	0,20	2,00	0,20	0,13	1,00	1,00	2,00	1,00	0,50	1,00
C8	0,50	0,11	1,00	0,33	0,11	0,33	0,50	1,00	0,33	0,25	0,50
C9	1,00	0,20	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00	2,00
C10	2,00	0,33	2,00	1,00	0,17	0,50	2,00	4,00	0,33	1,00	2,00
C11	3,00	0,33	2,00	2,00	0,17	0,50	1,00	2,00	0,50	0,50	1,00

EK 2. Bakım optimizasyonu için değerlendirilen kriterlerin AHP yönteminde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Bakım süresi	Uzmanlık gereksinimi	Santral üzerindeki etkisi
Bakım süresi	1	0,2	0,25
Uzmanlık gereksinimi	5	1	2
Santral üzerindeki etkisi	4	0,5	1

EK 3. ANP çözümü Super Decisions programında oluşturulan ikili karşılaştırma matris örneği

Comparisons wrt "Bazen olur" node in "Arıza periyodu" cluster
6 ayda 1 is equally to moderately more important than **3 ayda 1**

1.	3 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	6 ayda 1
2.	3 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Ayda 1
3.	3 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Bilinmeyen
4.	3 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uzun süreli
5.	3 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Yılda 1
6.	6 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Ayda 1
7.	6 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Bilinmeyen
8.	6 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uzun süreli
9.	6 ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Yılda 1
10.	Ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Bilinmeyen
11.	Ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uzun süreli
12.	Ayda 1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Yılda 1
13.	Bilinmeyen	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Uzun süreli
14.	Bilinmeyen	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Yılda 1
15.	Uzun süreli	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Yılda 1

EK 4. Matematiksel modellerde kullanılan veriler

Ekipman Grubu	Periyodik Bakım Maliyeti	Kestirimci Bakım Maliyeti	Revizyon Bakım Maliyeti	Arızı Bakım Maliyeti
1	21.880	19.743	119.860	10.133
2	20.701	15.180	80.301	19.940
3	25.545	11.795	32.108	10.310
4	25.545	9.784	30.201	18.898
5	15.051	10.870	23.480	14.100
6	15.000	9.143	16.181	13.106
7	13.115	8.410	14.551	14.889
8	10.471	8.741	13.745	16.541
9	11.020	8.201	10.685	15.102
10	10.000	8.807	10.000	15.410
11	10.500	8.053	7.510	14.574
12	11.700	7.120	7.400	15.360
13	10.005	7.200	7.410	12.498
14	9.033	5.201	7.285	13.305
15	7.308	4.504	5.269	13.316
16	6.308	4.120	6.000	11.160
17	5.370	5.227	4.010	10.168
18	7.874	3.420	4.500	9.102
19	40.450	0	100.180	500.800
20	63.850	0	210.570	600.710

EK 4. Matematiksel modellerde kullanılan veriler- Devam

Ekipman Grubu	Periyodik Bakım Süresi (dk)	Kestirimci Bakım Süresi (dk)	Revizyon Bakım Süresi (dk)	Arızı Bakım Süresi (dk)
1	150	100	100	100
2	150	100	100	100
3	150	100	100	150
4	200	160	260	350
5	200	160	200	180
6	200	160	260	180
7	200	160	260	100
8	250	330	500	500
9	250	330	500	300
10	310	330	500	200
11	310	330	242	180
12	500	660	100	485
13	400	400	80	100
14	700	660	200	100
15	500	600	200	210
16	700	660	200	210
17	800	800	300	1.500
18	150	150	200	2.000
19	100	500	200	2.000
20	210	320	300	2.400