

KÖMÜRLÜ TERMİK SANTRALLERDE EN UYGUN TÜRBİN BAKIM STRATEJİSİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF THE MOST APPROPRIATE TURBINE MAINTENANCE STRATEGY IN COAL-FIRED THERMAL POWER PLANTS

Nagihan ERSOY*

Makale Bilgisi/Article Info

Geliş/Received: 11/09/2025; Düzeltme/Revised: 03/12/2025
Kabul/Accepted: 15/12/2025

Araştırma Makalesi / Research Article

Atıf/Cite as: Ersoy, N. (2025). Kömürlü termik santrallerde en uygun türbin bakım stratejisinin belirlenmesi. DÜMAD (Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi), 8(2), 44-58. <https://doi.org/10.58853/dumad.1782101>

Özet

Kömürlü termik santraller gibi karmaşık sistemlerde doğru bakım stratejisi seçimi önemli bir sorundur. Termik santrallerin türbin bakım gibi kritik öneme sahip bölümlerinde bakım planlaması için ilk ve en önemli aşama bakım strateji seçiminin yapılmasıdır. Bir planlama ve çizelge oluşturmak hangi stratejinin uygulanacağını bilmesi gereklidir. Bakım planlaması çalışmaları yapılırken, bakımdan kaynaklanabilecek kayıpların sisteme olan etkileri dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, kömürlü termik santrallerin türbin bakım servisinde, türbin kablolarının ısınıp (kızışıp) alev alması sonucu çıkan yangınlar dikkate alınmıştır. Termik santrallerde elektrik üretiminde kritik öneme sahip türbinin yanma sebebi, yeterli bakım yapılmadan eski santralin üretim odaklı kapasitesinin üzerinde çalıştırılmasıdır. Bir planlama ve çizelge oluşturmak için, hangi stratejinin uygulanacağını bilmesi gereklidir. Bakım çalışmalarından kaynaklanan hizmet ve üretim kayıplarının sisteme olan etkileri, bakım planlaması oluşturulurken dikkate alınması gerekmektedir. Mevcut iş kazasından yola çıkarak, işletmelerin bakım kriterlerinin seçiminin önemi vurgulanmıştır. Türbin bakım çalışmasının önemi ve doğru bakım stratejisini seçmek için, özgün, esnek, uygulaması pratik, orijinal, güvenilir ve gerçekçi

* Öğr. Gör. Dr. Nagihan ERSOY, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, (e-posta:nagihanersoy89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9807-9786).

bir model geliştirilmiştir. Bu çalışmada, türbin bakım servisinde çalışan uzmanlar yardımıyla bakım kriterleri belirlenmiş ve bu kriterler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklar TOPSİS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve alternatif bakım yöntemleri seçilmiştir. Bulgular, işletmelerde doğru bakım stratejisini seçen, uygulayan riskler ve iş Sağlığı ve Güvenliği sonuçlarını inceleyen önceki araştırmalarla uyumludur. Ayrıca, Türkiye'deki santrallerin yıllara göre gerçekleşen kapasite kullanım oranı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: AHP, bakım stratejisi, iş kazası, kömürlü termik santral, TOPSİS, türbin bakım,

Abstract

Choosing the right maintenance strategy is a significant challenge in complex systems like coal-fired power plants. Choosing the right maintenance strategy is the first and most crucial step in planning maintenance in critically important areas of thermal power plants, such as turbine maintenance. Creating a plan and schedule requires knowing which strategy to implement. When planning maintenance, the impact of potential losses on the system should be considered.

This study examines fires that occur during turbine maintenance services at coal-fired power plants due to the heating and ignition of turbine cables. The cause of turbine fires, a critical component of electricity generation in thermal power plants, is operating the old plant beyond its production-based capacity without adequate maintenance. To develop a plan and schedule, it is necessary to understand the strategy to be implemented. The impact of service and production losses on the system resulting from maintenance work must be considered when developing a maintenance plan. Based on a recent workplace accident, the importance of selecting maintenance criteria for businesses has been highlighted. A unique, flexible, practical, original, reliable, and realistic model has been developed to address the importance of turbine maintenance and the selection of the right maintenance strategy. In this study, maintenance criteria were determined with the help of experts working in the turbine maintenance service and weighted using the AHP method. The resulting weights were evaluated using the TOPSIS method, and alternative maintenance methods were selected. The findings are consistent with previous research examining the risks and occupational health and safety consequences of selecting and implementing the right maintenance strategy in businesses. Additionally, the capacity utilization rate of power plants in Turkey over the years was calculated.

Keywords: AHP, coal fired thermal power plant, maintenance strategy, TOPSİS, turbine maintenance work accident

Giriş

Elektrik enerjisi; kaliteli, uygun maliyetli, sürekli, yeterli ve güvenli bir şekilde tüm paydaşlara sunulmalıdır. Dünyada yaşanan uluslararası savaşıardan dolayı, Avrupa tekrar kömüre yönelmektedir. Almanya, Polonya, Avusturya ve Hollanda'dan peş peşe 'kömüre dönmek zorundayız' açıklamaları gelmektedir. Kömürlü termik santrallerde üretimin verimliliği ve güvenliği çok önemlidir. Günümüzde iş kazası sayıları İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında ilerlemeye rağmen hala yüksektir. İş kazaları çok boyutlu önemli bir problemdir. Çalışma hayatının önemli sorunlarından biri, işyerinde meydana gelen iş kazalarıdır. Güvenli çalışma ortamı insani ve toplumsal açıdan önem arz etmektedir.

Akgök (2010) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, Soma ve Tunçbilek termik santralleri işçilerinde iş kazaları ve meslek hastalıkları görülme sıklığı ile bağlantılı etmenleri belirlemiştir. Soma ve Tunçbilek termik santrallerinde çalışanların Haziran ve Ağustos yaz ayları arasında geçirdikleri iş kazaları ve meslek hastalıkları incelenmiştir. Araştırma sonucunda anket uygulanma oranı %25.4'tür. Bulgular SPSS 16.0 istatistiksel paket programında değerlendirilmiştir. Niteliksel değerler frekans dağılımı ve yüzde, niceliksel değerler ortalama ve standart sapma olarak verilmiştir. İstatistiksel analizde ki-kare testi uygulanmıştır. Çalışanların tamamının erkek, yaş ortalaması 43 ve %57'si Teknik/Meslek lisesi mezunu olduğu belirlenmiştir. Araştırma bulgularına göre çalışanların %97'si işe başlarken sağlık raporu aldıklarını, %82'si vardiya sistemi ile çalıştıklarını, %78'i işe başlarken iş sağlığı ve güvenliği eğitimi aldıklarını, %65'i çalıştıkları işte mutlu olduklarını, %72'si işyerindeki çalışma koşullarından hoşnut olduklarını, %82'si makine koruyucusunun olduğunu, %73'ü ilk yardım eğitimi aldıklarını, %9' u iş başı eğitimi aldıklarını, %67'si iş konusuyla ilgili eğitimi aldıklarını, %85'i kişisel koruyucu donanım kullandıklarını, %34'ü iş kazası riskleri eğitimi aldıklarını, %3'ü meslek hastalığı tanısı belirtildiği ve %6'sı iş kazası geçirdiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak termik santral çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri aldıkları ve çalışanların çoğunluğunun bir iş kazası veya meslek hastalığı geçirmediği ve eğitim ve kaza ilişkisini tespit etmişlerdir (Akgök, 2010).

Diao ve Ghorbani (2018) yaptıkları çalışmada, termik santrallerde belirlenen insan faktörlerini ve bu faktörlerin neden olduğu üretim riskleri ile ilişkili yönetim yöntemlerini araştırmışlardır. Çin'deki dört adet kömürlü termik santral yöneticileri ile yarı yapılandırılmış görüşme yapılarak veri toplanmıştır. Bu yapılan çalışma çoklu vaka çalışmasıdır. Bu nedenle yalnızca aynı kömürlü termik santraldeki farklı düzeylerdeki yöneticiler tarafından kullanılan yöntemler analiz edilmemiştir. Ayrıca, aynı anda farklı santrallerden aynı düzeydeki

yöneticilerin kullandığı yöntemleri de anlamlandırmış ve karşılaştırmışlardır. Nedensel ağ analizi ve arıza ağacı analizi uygulamışlardır. Termik santralin üretim birimlerinde meydana gelen insan faktörlerinden kaynaklanan çeşitli üretim risklerini sınıflandırmışlardır. Ayrıca, termik santrallerde üretim risklerine sebep olan kaynakları ve insan faktörlerini analiz etmişlerdir. Yönetim yöntemlerinin uygunluğunu farklı şirketlerden gelen yöneticiler ile farklı düzeydeki yöneticilere insan faktörleri ile ilişkili üretim risklerini analiz etmiş ve değerlendirmişlerdir (Dio and Ghorbani, 2018).

Ersoy (2023) doktora çalışması sırasında, geliştirilen kapsamlı kömürlü termik santrallerde İSG performans ölçüm modeli ile proaktif olarak iş kazalarının önlenebileceğini ispatlamışlardır (Ersoy, 2023).

Dünyadaki elektrik üretiminde buhar türbinleri ciddi rol oynamaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki kızgın buharın sahip olduğu kinetik enerjinin, mekanik enerjiye dönüştürüldüğü sistemlere buhar türbini denilmektedir.

Bir buhar türbini stator ve rotordan oluşmaktadır. Stator türbinin sabit kısmıdır. Karter, sabit kanatlar, ara kanat aynaları, salmastralar, meme ve yatakların bulunduğu kısımdır. Rotor ise hareketli kısmını oluşturmaktadır. Mil, tanburlar, tekerlekler, hareketli kanatlar ve kavramalardan oluşmaktadır. Buhar çevrimi ile elektrik üreten bir santralde yüksek, orta ve alçak basınç olmak üzere üç ayrı basınç kademesine sahip türbin bulunmalıdır. Türbinlerdeki kanatlar basınç düştükçe genişler ve en geniş kanatlar alçak basınç türbinine aittir. Türbinde yapılan iş, kazanda çıkış sıcaklığına ve türbin verimine bağlı olarak değişmektedir. Kazan basınç ve sıcaklık değeri kritik noktanın üzerine çıktığında, enerji miktarı ve verim artmaktadır. Bu durum malzeme dayanımıyla sınırlıdır. Türbinden elde edilen mekanik enerji jeneratör ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Kömürlü termik santrallerde jeneratörler, güç şebekesine alternatif akım sağlamak üzere tasarlanmışlardır. Kömürlü termik santraller karmaşık kompleks sistemlerdir. Yenilenebilir enerji santrallerine göre kömürlü termik santrallerin elektrik üretimi ve işletilmesi daha meşakkatlidir. Termik santraller genel olarak işletim sistemlerinin değişimine uyumu daha zordur, Türkiye'deki kömürlü termik santraller eski oldukları için performansları, verimleri ve güvenilirlikleri düşüktür. Termik santrallerin işletme parametreleri yakından takip edilmeli, santrallerin operasyonel çalışma şartlarını ve çalışma tutumlarını, prensiplerini yenilemeleri gerekmektedir. Kömürlü termik santrallerde sünme zamana bağlı bir deformasyondur. Sünme özellikle türbin gibi uzun süre sıcaklık ve basınca maruz kalan parçalarda kritik önem arz etmektedir. Sünme sonucu oluşan deformasyonun hızı, türbin rötarında, muhafazalarında, kızgın buharın geçtiği boruların kaynak ve cıvata bağlantılarında

daha fazladır. Yorulma bir malzemenin devirli olarak sürekli yüklemeye uğraması sonucu zamanla deformasyona uğramasıdır. Türbinin rotorunda ve kanatlarda yorulma görülebilir. Termik santrallerde aşınmanın büyük olduğu yerler türbin kanatları ve diskleri, kazan boruları, kablolar ve elektrikli aksamlardır. Termik santrallerde çalışan bir parçanın ömrü önceden belirlenen tolerans sınırını aşarsa bitebilir. Termik santraller bakımları yapılmadan kapasite kullanım oranlarının üzerinde çalıştırılması iş kazalarına sebep olmaktadır. Mevcut santrallerin ömrünü uzatmak, sistemin güvenilirliğini sürdürmek ve verimliliği arttırmak için bakım çalışmaları önemlidir. Türbinde ilk ve en önemli aşama bakım planlaması için bakım yöntemi seçiminin yapılmasıdır. Bu nedenle, uygulanan yöntemler olan periyodik, düzeltici, kestirimci ve revizyon (kapsamlı ve uzun süreli periyodik / önleyici bakım) bakım gibi olası seçeneklerden ekipman için uygun bakım yöntemlerine karar verilmesi şarttır. Sistem veya ekipman içerikli bakım stratejisi optimizasyonu, özellikle gereksiz veya yetersiz bakım uygulamalarının tüm bakım bütçesinin yaklaşık üçte birine mal olması muhtemel olduğu için çok önemlidir (Mobley, 2022).

Bakım kavramının ve stratejilerinin önemini vurgulayan çalışmalar birçok alanda farklılık göstermekle beraber kullanılan çözüm yöntemleri değişmektedir (Goossens and Basten, 2015; Baidya et al, 2018; Borjalilu and Ghambari, 2018; Emovon et al, 2018; Mechefske and Wang, 2001).

Termik santrallarda çalışma şartlarının iyileştirilmesi ve sistemin kullanılabilirliğinin artırılması için çalışmışlardır. Sistemin gelişim aşamalarını değerlendirmesini oluşturdukları model ile karşılaştırmışlardır (Onat et al, 2021).

Bakım planlama faaliyetlerinde kısa ve uzun vadede planlama yaparak kesinti sürelerinin birimlerin çalışma saatleri dikkate almışlardır. Matematiksel model ile jeneratör bakım planlamasını entegre etmişlerdir (Fattahi et al, 2014).

Bu çalışmada, kömürlü eski termik santralin yeterli bakım çalışmaları yapılmadan kapasitesinin üzerinde çalıştırılması sırasında türbinde çıkan yangın sonucu santralin bakım politikası optimizasyonu sorunu ele alınmıştır. Literatürdeki kapsamlı araştırmalar sonucunda, çok fazla olmasına rağmen, termik santrallerde bakım stratejisi seçimi veya bakım politikası optimizasyon problemi ile ilgili literatürde çok az bilimsel çalışma yer almaktadır. Kömürlü termik santralleri türbin bakım gibi kritik öneme sahip bölümlerinde bakım kriterlerinin belirlenmesi ve ağırlıklandırılmasında basit, hızlı, uygulaması kolay ve güvenilir olan AHP yöntemi kullanılmıştır. Bakım stratejilerinin seçiminde hızlı, uygulaması kolay ve güvenilir olan TOPSİS yöntemi ile seçim çalışması yapılmış ve termik santral açısından

değerlendirilmiştir. Türbin bakım gibi kritik öneme sahip yerlerde doğru bakım stratejilerinin seçilmesi ve uygulanması iş kazaları açısından ciddi öneme sahiptir. Eski termik santrallerin bakımları yapılmadan kapasite kullanım oranlarının üzerinde çalıştırılması iş kazalarına sebep olmaktadır. Enerji kolundaki iş kazalarının literatürde çoğunlukla arıza, bakım ekiplerinin elektrik direkleri ve yüksek gerilim hatlarında çalışmaları sırasında gerçekleştirdiği ve ölüm nedenlerini 41 elektrik çarpması, 12 düşme, 8 ezilme-göçük, 5 trafik servis kazası, 3 nesne çarpması ve 2 diğer nedenler olarak belirlenmiştir. Ölümünün %85'i özel sektörde olduğu belirtilmektedir.

Meydana gelen 74 ölümlü iş kazasının 63'ünün özel sektörde, 11'inin ise kamu da meydana geldiğinin belirtildiği raporda, iş kollarına göre ayırım yapıldığında 33 dağıtım şirketi, 19 bağımlı veya bağımsız usta/teknisyen, 7 su sondajı, 5 DSİ sulama birliği, 3'er TEİAŞ, HES, termik santral ve 1 rüzgâr santrali kazası sonucu ölümlü iş kazası meydana geldiği açıklanmıştır. Termik santrallerde işletme yönetimi verimliliğin düşmesi korkusundan tecrübeli bakım personeli tarafından önleyici bakım çalışmaları zamanında ve gerektiği gibi yapılmamakta buna bağlı olarak iş kazaları olmaktadır. İşletme yönetimi İSG önceliğine almalı ve sadece düzeltici faaliyet olan arıza bakım çalışması yapmamalıdır. Termik santralde 4 Kasım 2022'de meydana gelen türbin bakım servisindeki yangından yola çıkarak işletmelerin bakım kriterlerinin seçiminin önemi vurgulanmıştır. Asıl olan düzeltici bakım çalışmaları değil önleyici bakım çalışmaları olduğu modelde ispatlanmıştır. Türbinin yanmadan önceki durumu Şekil 1'de gösterilmiştir. Türbinin yangından sonraki durumu Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Türbinin yanmadan önceki durumu **Şekil 2.** Türbinin yangın sonrası durumu

Şekil 2'de görüldüğü gibi eski santrallerin yeterli süre ve tecrübeli uzmanlar tarafından bakımları yapılmadığı takdirde elektrik üretiminin can damarı olan türbin kabloları

kapasitesinin üzerinde çalışmaya bağlı olarak ısınmış ve yangın çıkartmıştır. Türbinin yanmasına zamanında müdahale edilmese içerisindeki hidrojenle oluşturacağı felaket gözler önündedir. Literatürde bilinen bakım çalışmalarının uygulama aşamasında, yönetimin denetleme yapması ve bakım çalışmalarına zaman ayırması önemlidir.

1. Termik Santralin Çalışma Sistemi

Bu çalışmada, Türkiye'nin batı bölgesinde yer alan maksimum 990 MW kapasiteye sahip termik santralin türbin servisinin operasyonel bakım stratejilerinin seçilmesi, esnekliğinin artırılması ve buna bağlı iş kazalarının önlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Kömürlü termik santral 44 yıldır aktif olarak çalışmaktadır. Özelleştirme yapılmadan önce termik santralin işletmesi verimli olup, düzenli bakım faaliyetleri yapılmıştır. Ancak, özelleşme ile bakım çalışmalarında aksaklıklar oluşmuştur. Bu santralde yakılan linyit kömürü aynı havzadan tedarik edilmektedir. Santral büyük kapasiteli kompleks yapılı bir tesistir. Termik santralin temel bileşenleri yüksek basınçlı buhar kazanı, buhar türbinleri, farklı çeşit pompalar, baraj suyu soğutmalı kondenser sistemini bulundurmaktadır. Santral yılda yaklaşık 7920 saat baz yükte yani genellikle tam yükte çalışmaktadır. Santralin sekiz yıldır özel sektöre dahil olmasıyla beraber mevcut operasyonel çalışma yüklerinin ve koşullarının ekonomik karlılık açısından değişmesi öngörülmektedir. Bu sebeple mevcut operasyonel bakım esnekliğinin ve bakım politikası optimizasyon probleminin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Kömürlü termik santraller reaktif arıza olmadığı durumlarda normal şartlarda baz yükte uzun süreli çalışabilmektedir. Ancak enerji arzının düştüğü ve birim fiyatın maliyetinin altına düştüğü dönemlerde devreden çıkmaları öngörülmektedir. Termik santralleri devreye alma sırasında fuel-oil gibi yardımcı yakıtlar kullanılır. Yardımcı yakıt kullanma süresinin optimize edilerek hem süreden hem de yakıttan tasarruf edilmelidir. Ayrıca hedeflenen zamanda santralin devreye girmesi şebeke güvenliği ve santral ekonomisi için önemlidir. Bu bağlamda devreye alma süresi termal stresi önemli ölçüde etkiler ve termal stres ekipman üzerinde kritik öneme sahiptir. Termik santralin devreye alınma süreçlerinde asıl hedeflenen türbin ve kazan ısıtma sürelerinin dışına çıkılmadan optimum şartların sağlanmasıdır.

2. Termik Santrallerde Bakım

Dünyada ve ülkemizde bulunan termik santrallerin çoğunluğu eski santrallerdir. Santrallerin içerisindeki makine ve ekipmanların düzenli olarak kontrolleri ve bakımları yapılmaz ise zamanla performansları düşmeye başlamaktadır (Başaran, 2011).

Santraldeki enerji üretiminde kullanılan ve üretimde verim düşüşüne yol açabilecek kritik ekipmanların arıza ya da hasar durumu önceden tespit edilmelidir. Arıza ve hasardan önce bakım çalışmaları sistemi durdurabilecek düzeydeki arızaların oluşmasını önlemektedir. Buna bağlı oluşabilecek iş kazalarının önlenmesine proaktif bakım çalışmaları yardımcı olmaktadır.

3. Kömürlü Termik Santrallerin Kapasite Kullanım Oranı

Kömürlü termik santralin bir yıldaki 8760 saatte tam kapasiteyle çalışması durumunda elde edebileceği elektrik enerjisi ile gerçek çalışma şartlarında elde edilen elektrik enerjisi oranına kapasite kullanım oranı (KKO) denir. KKO değeri santralin yaşına, modernizasyonuna, bakım saatlerinin düşük olmasına büyük oranda bağlıdır ve termik santralin termik verim veya benzeri verimlerden farklı bir değerdir. KKO değeri enerji planlamasında dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Buna bağlı olarak çalışmada ülkemizdeki kömürlü termik santrallerin yıllara göre KKO değerleri incelenmiştir (TEİAŞ, 2019). Türkiye’de yıllara göre kömürlü termik santrallerin gerçekleşen kapasite kullanım oranı değişimi Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Türkiye’de Yıllara Göre Kömürlü Termik Santrallerin Gerçekleşen Kapasite Kullanım Oranı Değişimi

Yıllar	Kapasite Kullanım Oranı (KKO) %
2000	72
2001	72
2002	61
2003	61
2004	65
2005	70
2006	54
2007	61
2008	66
2009	64
2010	57
2011	68
2012	65
2013	61
2014	62
2015	58
2016	62
2017	62
2018	68
2019	68

Türkiye’deki kömürlü termik santrallerin yıllara göre gerçekleşen kapasite kullanım oranı Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye’deki kömürlü termik santrallerin yıllara göre gerçekleşen kapasite kullanım oranı

4. AHP Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP); kömürlü termik santrallerde çalışan uzman görüşlerine dayanarak öncelikleri belirleyen, ikili karşılaştırma yöntemiyle ölçüm yapan, soyut kriterlerin ölçümünde kullanılan “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemidir”. AHP, Myers ve Alpert 1968 yılında ilk ortaya çıkarmış ve 1970’lerde Saaty tarafından geliştirilmiştir (Yaralıoğlu, 2001).

Tablo 2. İkili kıyaslamalarda kullanılan önem dereceleri (Ersoy et al, 2023).

AHP ile karmaşık problemlerin çözümündeki aşamalar; kriterlerin belirlenmesi, hiyerarşik yapıların oluşturulması, ikili karşılaştırma matrisleri, kriterlerin önem ağırlıkları, tutarlılık oranı ve alternatiflerin önemlerine göre sıralanmasıdır (Eren et al, 2018). Saaty tarafından geliştirilmiş olan ölçekteki ikili kıyaslamalarda kullanılan önem dereceleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

AHP yönteminde amaç kriterlerin önem ağırlıklarını bulmaktır. AHP yöntemi karmaşık problemleri, amaçlar, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiyi belirterek çok seviyeli hiyerarşik bir biçimde yapılandırarak analiz eden bir modeldir. Bu yöntemin en önemli avantajı; basitliği, uygulanabilirliği ve esnekliğidir. AHP karar vericilerin birden fazla olmasına izin verir. Uzmanların cevaplarının geometrik ortalaması alınarak kriterler değerlendirilir. Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise, kriterlerin ve alternatiflerin analiz edilmesi uzman görüşüne bağlı olduğu için subjektiftir. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması kriter ve alternatif sayısı arttıkça zorlaşır ve kesin doğru sonuca ulaşamayabilir (Uludağ and Doğan,

Sayısal Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki faaliyet hedefe eşit katkıda bulunması durumunda kullanılmıştır.
3	Birbirinin diğerine göre zayıf önemli	Deneyim ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha tercih edilmesi durumunda kullanılmıştır.
5	Temel veya güçlü önemli	Deneyim ve yargı, güçlü veya esasen bir faaliyeti diğerine tercih etme derecesidir.
7	Gösterilen önemli	Bir aktivite diğerine göre güçlü bir şekilde tercih edilmiştir ve baskınlığı pratikte gösterilmiştir.
9	Mutlak önemli	Bir faaliyeti diğerine tercih etmenin kanıtı mümkün olan en yüksek derecededir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler (Uzlaşma Değerleri)	1, 3, 5, 7 ve 9 ağırlıklarındaki tercihler arasındaki uzlaşmaları temsil etmek için kullanılmıştır.

2016).

5. TOPSİS Yöntemi

TOPSİS uygulama yönteminin aşamaları aşağıda belirtilmiştir (Ertuğrul and Özçil, 2014; Sari and Timor, 2015).

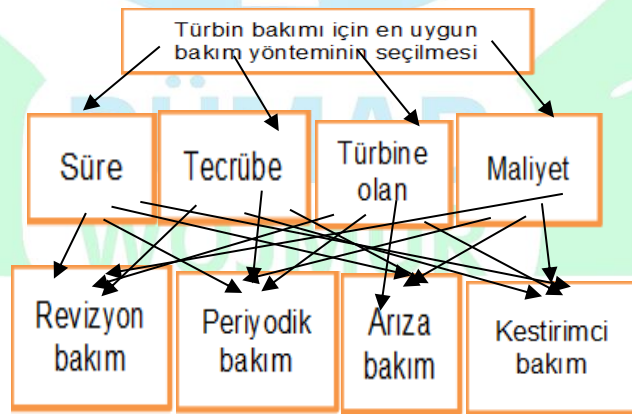
- Değerlendirme kriterlerinin ve alternatiflerin belirlenmesi
- Başlangıç karar matrisinin oluşturulması
- Karar matrisinin normalleştirilmesi
- Ağırlıklandırılmış normalize matrisin elde edilmesi
- Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinde kriterlerin fayda veya maliyet özelliklerine göre pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerin belirlenmesi
- Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerinden uzaklıklarının belirlenmesi

- Alternatiflerin negatif ideal çözümden uzaklıklarının negatif ve pozitif ideal çözümden uzaklıklarının toplamına oranlanarak yakınlık katsayılarının hesaplanması
- Alternatiflerin yakınlık katsayılarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanması ve en yüksek değere sahip olan bakım stratejisinin seçilmesi ve sıralanması

5. 1. Yöntem ve Uygulaması

Kömürlü termik santral türbin bakım servisinde, kestirimci, revizyon arıza ve periyodik bakımlar olmak üzere 4 bakım yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin seçilmesinde etkili olan kriterler ise türbin bakım servisinde görev yapan on uzman tarafından bakım süresi, çalışan tecrübesi, türbine olan etkisi ve maliyet olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler ve alternatifler için ikili karşılaştırma matrisleri hazırlanmış ve 12 uzmandan belirlenen kriterlerin 2'li karşılaştırma anketlerini değerlendirmeleri istenmiştir. Super Decisions Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Analitik Ağ Süreçlerine (ANP) dayalı karar verme yazılımıdır.

Uzmanlardan gelen anket sonuçlarının geometrik ortalaması alınarak AHP yöntemi ile Süper Decision programı yardımıyla ağırlıklandırılmıştır. İkili karşılaştırmaların tutarlılık oranını hesaplandığında 0.1'den küçük olduğu görülmüştür. Termik santralde elektrik üretimi için kilit nokta olan türbinin bakım stratejileri TOPSİS yöntemi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile en iyi bakım yöntemi seçilmiş ve alternatif bakım yöntemleri önceliklendirilmiştir. Bakım yöntemi seçimi için kurulan AHP hiyerarşi modeli Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Bakım yöntemi seçimi için kurulan AHP hiyerarşi modeli

6. Sonuç ve Tartışma

AHP yönteminin uygulanması sonucu elde edilen bakım yöntemleri ağırlıkları kriterleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Bakım seçimi kriter ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar
Bakım süresi	0.1956
Çalışan tecrübesi	0.1835
Türbine olan etkisi	0.6009
Maliyet	0.0200

Bu sonuçlara göre kömürlü termik santrallerde türbin bakım servisinde en önemli bakım seçim kriteri türbine olan etkisidir (0.6009). Bakım süresi ile çalışan tecrübesinin birbirine çok yakın değer aldıkları görülmektedir. Bakım seçim kriterleri içerisinde en az öneme sahip kriterin maliyet olduğu görülmektedir.

Kriter ağırlıklarının elde edilmesinin ardından bakım stratejilerinin seçimi TOPSİS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bakım strateji seçimi veri matrisine TOPSİS yöntemi aşamaları uygulanmıştır.

Alternatif bakım yöntemleri için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Alternatif bakım yöntemleri için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi

Alternatif yöntemler	Bakım Süresi	Çalışan Tecrübesi	Türbine olan etkisi	Maliyet
Revizyon bakım	0,115	0,102	0,265	0,007
Periyodik bakım	0,077	0,090	0,353	0,009
Arıza bakım	0,051	0,068	0,265	0,013
Kestirimci bakım	0,128	0,102	0,309	0,009

Bakım stratejisi alternatiflerinin ideal çözüme yakınlık düzeyleri arasında en yüksek değere sahip alternatif en uygun bakım stratejisini göstermektedir. Tablo 5'te ideal çözüme yakınlık düzeyine göre bakım stratejileri seçilmiş ve sıralanmıştır.

Tablo 5. Alternatif bakım yöntemleri seçimi sonuçları

Alternatif yöntemler	İdeal çözüme yakınlık değeri (S*)
Revizyon bakım	0,075
Periyodik bakım	0,636
Arıza bakım	0,047
Kestirimci bakım	0,317

TOPSİS sonuçlarına göre en önemli bakım yöntemi periyodik bakım olarak bulunmuştur. Türbin ekipmanın halihazırdaki performansını ve işlerliğini korumak için planlı periyodik bakımın önemi görülmektedir. Kritiklik seviyesi en yüksek ekipmanlar için en uzun

sürelili ve en kapsamlı bakım tipi olan revizyon bakımının yapılması ve termik santral açısından üretimin aksamasına neden olacağından üçüncü sırada önceliklendirildiği görülmektedir. Termik santral için revizyon ele alındığında her servis için elektrik üretiminin durdurulması işletme tarafından istenmez. Türbin gibi kritik öneme sahip noktalarda revizyona gidilmesi kaçınılmazdır. Kritiklik seviyesi arttıkça, kestirimci bakım gibi ölçüm ve gözlemleme ekipman maliyeti oluşturan seçimlerin önemi ikinci olarak sıralanmıştır. Reaktif bir bakım olan arıza bakım ise en az öncelik değerine sahip (0.047) olarak bulunmuştur.

Literatürdeki çalışmaların içeriklerinde bazı eksikler tespit edilmiştir. Örneğin; çalışmalarda birçok soruna odaklanılmış, çözüm önerileri getirilmemiş ya da yetersiz çözüm önerileri sunulmuştur. Kömürlü termik santrallerde çalışan, işveren, kanun yapıcı ve uygulayıcıların ilişkilerini ve gelişmeleri uzun süreli inceleyen, sonuçlarını karşılaştıran faydalı olabilecek hiçbir müdahale ve öneri çalışması mevcut değildir. Çalışanların iş kazası ve meslek hastalığı kayıtları düzenli tutulmamıştır. Bu durum, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) performansını olumsuz etkilemektedir. Kömürlü termik santrallerin kritik bölümlerinde kapsamlı bir risk çalışması yapılmamıştır. Termik santrallerde insan faktörlerinden kaynaklanan riskler belirtilmemiştir. İş kazalarını önlemek için tespit ve önerilerde bulunulmamıştır. Kömürlü termik santrallerde çalışanlara bakım çalışması ve İSG riskleri hakkında yeterli eğitim verilmemiştir. Bakım çalışmalarının seçimi ve önemi vurgulanmamıştır. Bakım strateji belirleme çalışmaları ile santrallerin güvenli bir şekilde sürdürülebilirliği sağlanmış olur. Çalışmamızda kömürlü termik santrallerin türbin bakım servisinde yeterli bakım çalışması yapılmadan eski santralin üretim odaklı kapasitesinin üzerinde çalıştırılmasıyla türbin kablolarının kızıp ateş alması sonucu çıkan yangın göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Kömürlü termik santrallerde bakım çalışmasının önemi ve doğru bakım stratejisini seçmek için geliştirilmiş literatürde türbin bakım üzerine ilk defa çalışılan özgün esnek bir modeldir. Termik elektrik santrallerinde verimliliği ve kapasite kullanım oranını arttırabilmek için aşağıdaki tedbirler alınmalıdır; a) Buhar kazanlarında tasarım kömüründeki özelliklere sahip kömürler yakılmalıdır. b) Termik santral nominal devamlı yükte ve nominal fiziki ve kimyasal şartlarda işletilmelidir. c) Buhar kazanlarında tam yanma sağlanmalı ve su-buhar çevriminde en küçük ısı kaybına neden olabilecek tüm kaçaklar giderilmelidir. d) Santral iç tüketiminde tasarruf sağlanmalıdır. e) Çok iyi ve etkin bir teknik büro oluşturulmalıdır. f) Santral ünitelerinin bakım ve revizyonları ile test ve ayarları en yüksek seviyede, asla aksatılmadan periyodik olarak işletme ve bakım talimatlarına uygun yapılmalıdır. f) Santrallerin yönetimine teknik ve ekonomik bilgi seviyeleri yüksek yöneticiler getirilmeli ve tüm teknik personel periyodik olarak devamlı termik santral işletmeciliği ve bakım konularında yeterli seviyede eğitilmelidir.

Kaynakça

- Akgök Lale, S. (2010). Tunçbilek ve Soma Termik Santrallerinde Çalışan İşçilerde İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Görülme Sıklığı ve İlişkili Etmenler (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara).
- Diao, H., & Ghorbani, M. (2018). Production risk caused by human factors: a multiple case study of thermal power plants. *Frontiers of Business Research in China*, 12(1), 15.
- Ersoy, N. (2023). Termik santrallerde iş sağlığı ve güvenliği performans modeli üzerine bir çalışma. Doktora Tezi, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul.
- Mobley, R. Keith. (2022). *Kestirimci bakıma giriş*. Elsevier.
- Goossens, A. J., & Basten, R. J. (2015). Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process; an application for naval ships. *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 31-41.
- Baidya, R., Dey, P. K., Ghosh, S. K., & Petridis, K. (2018). Strategic maintenance technique selection using combined quality function deployment, the analytic hierarchy process and the benefit of doubt approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1), 31-44.
- Borjalilu, N., & Ghambari, M. (2018). Optimal maintenance strategy selection based on a fuzzy analytical network process: A case study on a 5-MW powerhouse. *International journal of engineering business management*, 10, 1847979018776172.
- Emovon, I., Norman, R. A., & Murphy, A. J. (2018). Hybrid MCDM based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems. *Journal of intelligent manufacturing*, 29(3), 519-531.
- Mechefske, C. K., & Wang, Z. (2001). Using fuzzy linguistics to select optimum maintenance and condition monitoring strategies. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 15(6), 1129-1140.
- Onat, C., Daşkin, M., Toraman, S., Golgiyaz, S., & Talu, M. F. (2021). Prediction of combustion states from flame image in a domestic coal burner. *Measurement Science and Technology*, 32(7), 075403.
- Fattahi, M., Mahootchi, M., Mosadegh, H., & Fallahi, F. (2014). A new approach for maintenance scheduling of generating units in electrical power systems based on their operational hours. *Computers & Operations Research*, 50, 61-79.
- Başaran, M. (2011). Termik Santrallerde Verimlilik Alışmaları ve Kazanımlar. *Engineer & the Machinery Magazine/Mühendis ve Makina*, (617).

Yaralıoğlu, K. (2001). Performans değerlendirmede analitik hiyerarşi proses. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1).

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Raporları

<https://www.teias.gov.tr>

Ersoy, N., Bingöl, N., & Ekmekçi, İ. (2023). A Study on the OSH Performance Model in Coal-Fired Thermal Power Plants. *Journal of International Trade, Logistics and Law*, 9(1), 194-202.

Eren, T., Hamurcu, M., & Dinç, S. (2018). Kentsel ulaşım için alternatif tramvay araçlarının çok kriterli seçimi. *Gazi Journal of Engineering Sciences*, 4(2), 124-135.

Uludağ, A. S., & Doğan, H. (2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklı bir hizmet kalitesi uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 17-48.

Ertuğrul, İ., & Özçil, A. (2014). Çok kriterli karar vermede TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle klima seçimi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 267-282.

Sari, T., & Timor, M. (2015). Tedarikçi seçiminde ANP, TAGUCHI VE TOPSIS yöntemleri ile otomotiv sektöründe bir uygulama. *Kafkas University. Faculty of Economics and Administrative Sciences. Journal*, 6(10), 281.

