

BAKIM PLANLAMASINDA TOPSIS YÖNTEMİ UYGULAMASI: DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALI ÖRNEĞİ

Evren Can ÖZCAN¹, Tamer EREN²,

¹Bakım Yönetim Sistemi Müdürlüğü, Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü, 06520, Ankara

evrencan.ozcan@euas.gov.tr

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, 71451, Kırıkkale

teren@kku.edu.tr

ÖZET

Ekonomiklik ve verimlilik, sürdürülebilir bir enerji politikasının temel bileşenlerindedir. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında, bakım planlamasının enerji verimliliği üzerindeki pozitif etkisine ek olarak, etkin bakımlar ile elektrik üretim maliyetlerinin azalması prensibi temel alınmış ve Türkiye'deki enerji arz güvenliğine direkt olarak etki eden bir doğalgaz kombine çevrim santralında bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada, bakım planlaması probleminin çok amaçlı ve çok kriterli yapısı ile bakım yapılacak ekipmanların sistemler açısından taşıdıkları risklerin dikkate alınması gerekliliğinden hareketle, TOPSIS metodolojisi kullanılarak ekipmanların 9 kriter altında santral açısından kritiklik seviyeleri hesaplanmış ve 9 yıllık bir iş gücü gereksinim ve bakım planı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bakım planlaması, TOPSIS, doğalgaz kombine çevrim santrali

APPLICATION OF TOPSIS METHOD FOR MAINTENANCE PLANNING: NATURAL GAS COMBINED CYCLE POWER PLANT CASE STUDY

ABSTRACT

Economy and efficiency are one of the basic components of a sustainable energy policy. In this context in the scope of this study, the principle of reducing the electricity generation costs through effective maintenances in addition to the positive effect of maintenance planning on energy efficiency are based and an application has been performed in a natural gas combined cycle power plant effects the Turkey's security of energy supply directly. In this application, criticality levels of the equipments in terms of power plant have been calculated under 9 criteria by using TOPSIS methodology, considering the multi objective and multi criteria nature of the maintenance planning problem and the necessity of taking into account the risks of the equipments in terms of the systems, and 9-years maintenance and a labor requirement plans are obtained.

Keywords: Maintenance planning, TOPSIS, natural gas combined cycle power plant

1. GİRİŞ

Enerji, insanların yaşam kalitesini yükselten, ülkelerin ekonomik ve sosyal ilerlemesinde sürükleyici bir rol oynayan ve bu sayede globalleşen dünyada ülkelerin rekabet edebilme gücünü artıran en temel unsurlardandır [1]. Nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, artan ticaret olanakları ve sürekli gelişen teknolojinin insan hayatında vazgeçilmez bir unsur haline gelişi ise, enerjiye olan talebi her geçen gün biraz daha artırmaktadır [2]. Artan bu talebin karşılanması için ülkeler yeni tedbirler almakta, bu bağlamda mevcut piyasa yapılarını yaşadıkları sorun ve tecrübelerden edindikleri kazanımlar ile revize etmekte ve enerji sektörüne yapacakları büyük altyapı yatırımlarını hem mevcut sistemlerini güçlendirmek, hem de çağın gereklerini yerine getirmek üzere kesintisiz, çevreye duyarlı ve düşük maliyetli enerji üretimini sağlamak doğrultusunda yapılandırmaktadırlar [3]. Bu yeni yapılanma gereksinimi asıl olarak, çağın bir gereği olan ve ülkeleri küresel dünya düzeni içinde ayakta tutan en önemli faktörler arasında yer alan sürdürülebilir kalkınma hamlelerinin planlı bir şekilde hayata geçirilmesi olarak da tanımlanabilir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma hamlelerinin gerçekleştirilebilmesi için sosyal, ekonomik ve çevresel faktörleri temel alan sürdürülebilir enerji politikalarının uygulanmasının bir zorunluluk olduğu yorumunu yapmak yanlış olmayacaktır.

Sürdürülebilir enerji; ihtiyaç duyulan enerjinin en az finansmanla ve çevre ve toplum üzerindeki olumsuz etkilerin minimize edilerek sürekli olarak teminine olanak sağlayan politika, teknoloji ve uygulamalar olarak tanımlanabilir. Bu genel tanımdan yola çıkarak sürdürülebilir bir enerji politikası, enerji arz güvenliğinin minimum maliyet, maksimum verim ve çevresel faktörlerin dikkate alınarak karşılanmasına olanak sağlayan temel ve vazgeçilmez bir araç olarak düşünülebilir.

Dünya genelinde enerjinin en yaygın formu elektrik enerjisidir ve bu enerji türü elektrik üretim santrallerinde üretilmektedir. Elektrik üretim santralleri, kullandıkları enerji kaynağına göre isimlendirilmekte (doğalgaz kombine çevrim santrali, hidroelektrik santral, nükleer santral, vb.) olup sürdürülebilirlik açısından kaynak çeşitliliği büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de özellikle 70’li yıllardan bu yana ivmeli olarak artan elektrik enerjisi talebi 90’lı yılların sonuna kadar genel olarak su, linyit, taş kömürü, ithal kömür ve fuel-oil kullanan santrallerden karşılanmıştır. Türkiye’de son 10 yılda yaşanan yüksek ekonomik gelişme ve artan refah seviyesinin sonucu olarak enerji sektörünün her alanında talep artışı daha da hız kazanmıştır. Türkiye, İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 10 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke durumundadır ve gelecek 10 yılda da enerji talebinin 2 katına çıkması beklenmektedir [4]. Bu talep artışı, Türkiye Cumhuriyeti Hükümetini kaynak çeşitliliğini (yenilenebilir enerji kaynakları, doğalgaz ve nükleer enerji gibi) gözetmek kaydıyla sürdürülebilirlik prensipleri çerçevesinde yeni santrallerin inşasına itmiş olmakla birlikte, stratejik bir amaç olarak mevcut tesislerin verimli bir şekilde işletilmesi doğrultusunda tedbirlerin de alınmasını gerekli kılmıştır. Çünkü, sürdürülebilir enerji politikalarının odaklandığı temel noktalardan birisi de, maliyet minimizasyonu ve verim maksimizasyonu amaçları doğrultusunda mevcut elektrik üretim tesislerinin verimli bir şekilde işletilmesine ve bu sayede ekonomiklik kriteri çerçevesinde enerji arz güvenliğine hizmet etmesine olanak sağlanmasıdır. İşte tam bu noktada karşımıza, mevcut elektrik üretim tesislerinin ekonomik ve verimli bir şekilde üretim yapmasına olanak sağlayan yöntemler bütünü olan bakım planlaması çıkmaktadır.

Son 30 yıl içinde bakım stratejileri arızı bakımdan, daha sofistike stratejiler olan durum ve güvenilirlik tabanlı bakıma doğru bir değişim yaşamıştır [5, 6]. Bakım planlamasına bütünleşik yönetim anlamında yeni bir vizyon kazandıran, sistemlerdeki risk seviyelerini bir kriter olarak kullanan ve son yıllarda araştırmacıların ilgisinin yoğunlaştığı risk tabanlı bakım stratejisi ise 90’lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Harnyl [7], Khan ve Haddara [8, 9] ile Arunraj ve Maiti [10] risk tabanlı bakım stratejisini kimyasal üretim tesislerinin; Apeland ve Aven [11], Bertolini, vd. [12] ve Kerhavarz, vd. [13] ise petrol endüstrisi ile ilgili tesislerin bakım planlamasında uygulamışlardır. Risk tabanlı bakım planlamasında Kumar [14] madencilik sektörünü, Farquharson ve Choquette [15] havacılık endüstrisini ve Kahn ve Haddara [16] ise ısıtma, havalandırma ve soğutma sektörünü uygulama sahası olarak seçmişlerdir. Ayrıca, bu çalışmanın da uygulama sahası olan elektrik üretim tesislerinin bakım planlamasında risk tabanlı bakım stratejisinin uygulamasına, Backlund ve Hannu [17], Jovanovic [18] ve Krishnasamy, vd. [19]’nin çalışmaları örnek olarak verilebilir. Bunların yanı sıra bakım planlaması; güvenilirlik, geçerlilik, bakım yapılabilirlik ve maliyet parametrelerinin karar kriterleri olduğu, izleme testleri ve bakım stratejilerinin (arızı bakım, periyodik bakım, kestirimci bakım, vb.) ise karar değişkenleri olarak dikkate alındığı bir, çok amaçlı optimizasyon problemi olarak dikkate alınabilir [20]. Sistemlerin karmaşıklığı, birbirleri ile ilişkili sistem kısıtlarının fazlalığı, bakım sıklıklarının alternatif stratejiler arasından seçilecek bir kombinasyona (periyodik + kestirimci bakım gibi) göre belirlenmesi gerekliliği, vb. nedenlerden dolayı, araştırmacılar problemin çözümü için meta sezgisel yöntemlere yönelmiş ve bir, çok amaçlı optimizasyon problemi olarak bakım planlaması için genetik algoritmalar (Busacca, vd. [21], Lapa, vd. [22], Marseguerra, vd. [23], Levitin ve Lisnianski [24]), Monte-Carlo benzetimi (Marseguerra, vd. [23], Borgonovo, vd. [25]) ve parçacık sürü optimizasyonu (Carlos, vd. [20]) gibi teknikleri kullanılmışlardır.

Bahsedildiği üzere, elektrik üretim santrallerinin ve bu santrallerin verimli bir şekilde işletilmesinin sürdürülebilir enerji politikalarının uygulanmasındaki öneminden hareketle bu çalışmada, Türkiye’de yıllık elektrik üretiminin ortalama %46 [26] dolaylarında gerçekleştirildiği doğalgaz kombine çevrim santrallerinden bir tanesinde bakım planlaması gerçekleştirilmiştir. Bakım planlamasının çok amaçlı ve çok kriterli yapısı ile sistemlerde yer alan bakıma esas ekipmanların sistemin maksimum verimde işletilmesi açısından taşıdığı riskler temel alınarak bu çalışmada, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan TOPSIS metodolojisi kullanılmış ve binlerce ekipmandan oluşan sistem için bakıma esas ekipmanlar önem derecelerine göre sıralanmıştır. TOPSIS metodolojisi kapsamında belirlenen kriterler temelinde planlama için alternatif 4 senaryo üretilmiş ve bu senaryolara göre sistem için kritik yada önemli olan tüm ekipmanlar, hem periyodik bakım, hem kestirimci bakım, hem de revizyon bakım temelinde dağıtılarak her bir senaryo için 9 yıllık bakım ve işgücü planları oluşturulmuştur.

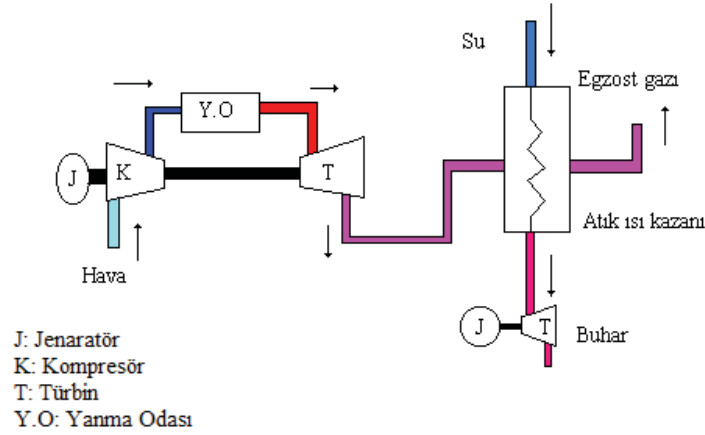
2. DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALLARI

Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımları incelendiğinde, elektrik üretimi için en yaygın olarak kullanılan kaynağın kömür olduğu görülmektedir. Kömürden sonra en fazla kullanılan kaynak ise

doğalgazdır. ABD, Çin, Hindistan ve Almanya'da kömür, Rusya'da doğalgaz, Fransa'da nükleer enerji ve Kanada'da yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretiminde en fazla paya sahip olan kaynaklardır [4]. Türkiye'de ise doğalgazın elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar arasında son 10 yıldır 1. sıradaki yeri değişmemiştir. Türkiye'de son 10 yılda gerçekleştirilen elektrik üretiminde doğalgazın payı ortalama olarak %46 iken, 2013 sonu itibarıyla %45'dir [26]. Türkiye'de kaynak mevcudiyeti olmamasına rağmen doğalgazın elektrik üretiminde en çok kullanılan kaynak olmasının nedenleri arasında, doğalgaz kombine çevrim santrallerinin yüksek kapasiteye sahip kömürlü santraller, hidroelektrik santraller ve nükleer santrallara göre kurulum süresi ve kurulum maliyetlerinin düşük olması, yenilenebilir enerji santrallerine göre kapasitelerinin ve kurulum maliyetlerinin düşük olması, diğer fosil yakıtlara (kömür, petrol ve petrol türevi) göre doğalgazın temininin kolay olması ve çevresel etkilerinin düşük olması, özellikle kömürlü santrallara göre işletmeye alma süresinin kısa olması, verimlerinin yüksek olması, işletme ve bakım kolaylığı ile ekonomik ömürlerinin uzun olması sayılabilir.

Doğalgaz kombine çevrim santralleri üretim bloklarından oluşur ve her bir kombine çevrim üretim bloğu; 2 gaz türbini, 2 kompresör, 2 gaz türbini jeneratörü, 2 atık ısı kazanı, 2 kondenser birimi, 1 buhar türbini ve 1 buhar türbini jeneratörü içerir. Bunların yanısıra, kuru tip veya deniz suyu soğutmalı ıslak tip soğutma kuleleri, su arıtma tesisi, şalt tesisi ile kumanda ve kontrol sistemleri de santralda yer almaktadır.

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde üretim blokları birbirinden bağımsız çalışır. Ancak, bloklar bazı tesisleri ortak kullanır. Bu santrallerde elektrik üretimi iki farklı aşamada gerçekleştirilir (Şekil 1): Hava ile karıştırılan doğalgaz, gaz türbinlerinde yakılarak gaz türbiniyle aynı şaft üzerinde bulunan bir jeneratörü çevirir ve birinci aşama elektrik üretilir. Aynı anda, bu yanmadan oluşan sıcak gazlar atık ısı kazanına gönderilir ve bu ısı ile buhar üretilir. Gerekli basınç ve sıcaklığa ulaşan buhar ise, buhar türbinine gönderilir ve türbini döndürerek buhar türbini ile aynı şaft üzerinde bulunan jeneratör vasıtasıyla ikinci aşama elektrik üretilir. Buhar türbininden çıkan buhar, soğutma kulelerinden gelen soğutma suyu ile kondenserlerde yoğunlaştırularak suya dönüştürülür. Kondenserlerin alt bölümünde biriken yoğunlaşma suyu tekrar ısıtılmak üzere atık ısı kazanlarına gönderilir. Kazanlarda üretilen buhar, buhar türbinine gönderilerek çevrim tamamlanır. Verimliliği maksimum düzeyde tutabilmek için, kazanlarda buhar üç farklı basınç düzeyinde (yüksek, orta, alçak basınç) üretilir. Böylece kazanlardaki sıcak gazlardan mümkün olduğunca yararlanılmış olur [27].



Şekil 1. Kombine çevrimin şematik gösterimi [27]

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde bahsedilen sistemlerden en önemlisi türbinlerdir. Bunun temel nedeni açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, elektriğin gaz yada buhar türbinlerinde üretilmesidir. Türbinlerin devre dışı olması ilgili bloğu yada üniteyi (herbir gaz türbini bir ünite olarak adlandırılmaktadır) devre dışı bırakır ve sistem durur. Oysaki bazı doğalgaz kombine çevrim santrallerinde by-pass hatları mevcuttur ve buhar türbini yada atık ısı kazanlarında oluşan bir arızada gaz türbinlerinden çıkan sıcak gaz, by-pass bacası vasıtasıyla direkt olarak atmosfere atılabilir ve sadece gaz türbinlerinde elektrik üretimine devam edilebilir (single çalışma). Ayrıca bu sistemler, yapısal olarak santraldaki diğer sistemlere nazaran daha karmaşıktır.

Doğalgaz kombine çevrim santrallerinde elektrik üretiminin kesintisiz bir şekilde devam ettirilebilmesindeki en önemli parametrelerden bir tanesi, türbinlerin çalışma sürelerine (8.000 saat-minör, 16.000 saat, 24.000 saat-majör, vb.) göre revizyon bakımlarının gerçekleştirilmesidir. Santralin planlı olarak devre dışı kaldığı revizyon dönemleri bu nedenle gaz ve buhar türbinlerinin çalışma saatlerine göre belirlenmektedir. Bu durum ise, santraldaki diğer sistemlerin revizyon bakımlarını tarih olarak türbinlere bağımlı kılmaktadır. Çünkü, santral kesintisiz olarak ancak revizyon dönemlerinde (30 ila 60 gün arası) kesintisiz olarak devre dışı kalmaktadır ve santralin diğer sistemlerindeki ekipmanlara ait genellikle uzun süreli olan bakımların bu revizyon dönemlerinde yapılması daha

mantıklı bir tercih olarak santral işletmecileri tarafından dünya genelinde uygulanmaktadır. Ayrıca, atık ısı kazanında yer alan ekipmanlar ile elektriksel ve ölçmeye dayalı ekipmanların önemli bir kısmı da türbin ekipmanları ile bağlantılıdır. Bu durum da, santralin hem periyodik bakımlarını, hem de revizyon bakımlarını türbinlere bağımlı kılmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında bu çalışmada kapsam, Türkiye’de 2 bloktan oluşan bir doğalgaz kombine çevrim santralında, 4 adet gaz türbini ve 2 adet buhar türbini ekipmanları ile sınırlandırılmıştır.

3. TOPSIS METODOLOJİSİ

Çok kriterli karar analizi yada çok kriterli karar verme, yöneylem araştırmasının bir alt disiplini ve bir grup yada tek bir karar vericinin sonlu sayıdaki karar alternatiflerini yine sonlu sayıdaki performans kriterleri altında özel olarak değerlendirilmesini destekleyen matematiksel araçların tasarımı ile ilgilenir [28]. 1960’lardan bu yana çok kriterli karar verme, aktif bir araştırma alanı olarak işlev görmektedir ve bu başlık altında PROMETHEE’den AHP’ye, TOPSIS’den ANP’ye kadar birçok teknik geliştirilmiştir.

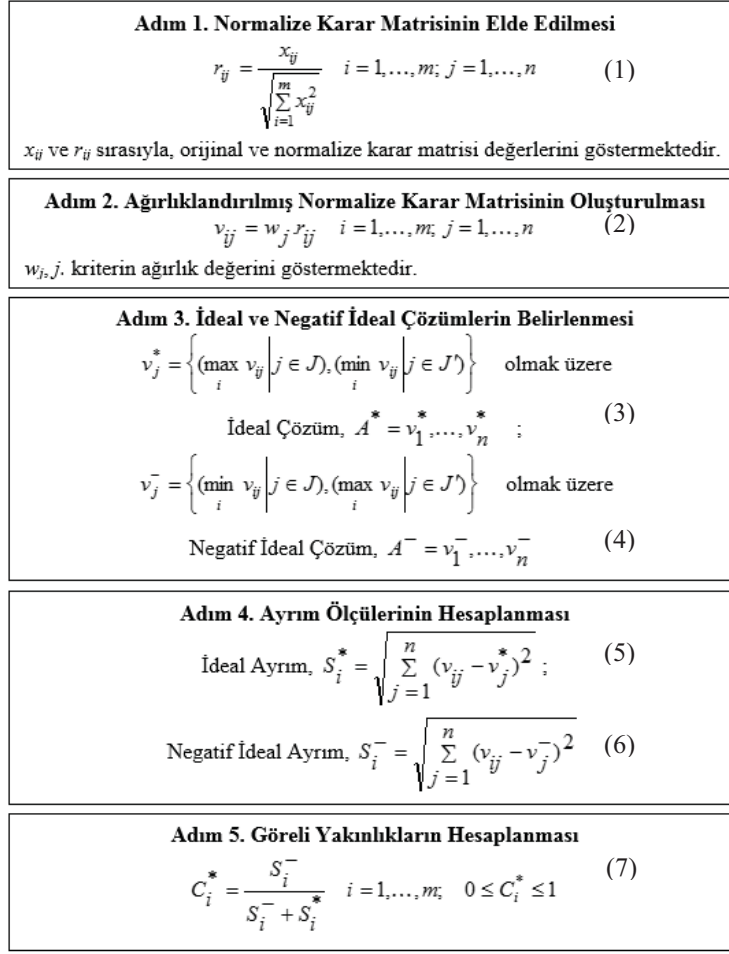
Gerçek hayat karar problemlerinin çözümü için geliştirilen çok sayıdaki çok kriterli karar verme metodunun arasında TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), birçok uygulama sahasında tatminkar sonuçlar üreterek kullanımını sürdürmektedir. Bu çalışma kapsamında ele alınan doğalgaz kombine çevrim santralının 6 adet türbininde yer alan 2.525 ekipmandan bakıma esas olanların sıralanması amacıyla hareketle, belirlenen 9 kriter altında bir sıralama yapılması amaçlanmış ve bu nedenle de literatürde bu amaç için kabul görmüş TOPSIS metodolojisi karar verme metodu olarak kullanılmıştır.

TOPSIS, 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş, uygulaması oldukça basit olan ve gerçekçi sonuçlar üreten bir sıralama yöntemidir. Yöntemin uygulanması için, göstergelerin nümerik olması, tek yönlü bir ilerleme göstermesi (artış yada azalış) ve aynı birimle ölçülebilmesi gerekmektedir. TOPSIS metodolojisinde, alternatiflere sayısal değerler atanırken hem en iyi alternatif, hem de en kötü alternatif hesaba katılır. Yöntemin temelini ise, ideal çözüm ve negatif ideal çözümün tanımlanması oluşturur. İdeal çözüm, faydaları en büyüklerken maliyetleri en küçükleyen, negatif ideal çözüm ise, faydaları en küçüklerken maliyetleri en büyükleyen çözümdür. İdeal çözümün tanımlanmasında kriterlere atanabilecek en iyi değerler göz önünde bulundurulur. Negatif ideal çözüm ise, kriterlere atanabilecek en kötü değerleri içerir. En iyi alternatif, ideal çözüme en yakın mesafede bulunur. İdeal çözüme en yakın mesafede bulunan bir alternatif, aynı zamanda negatif ideal çözüme en uzak mesafede bulunur. İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri büyükten küçüğe sıralanarak tercih sırası elde edilir [29, 30].

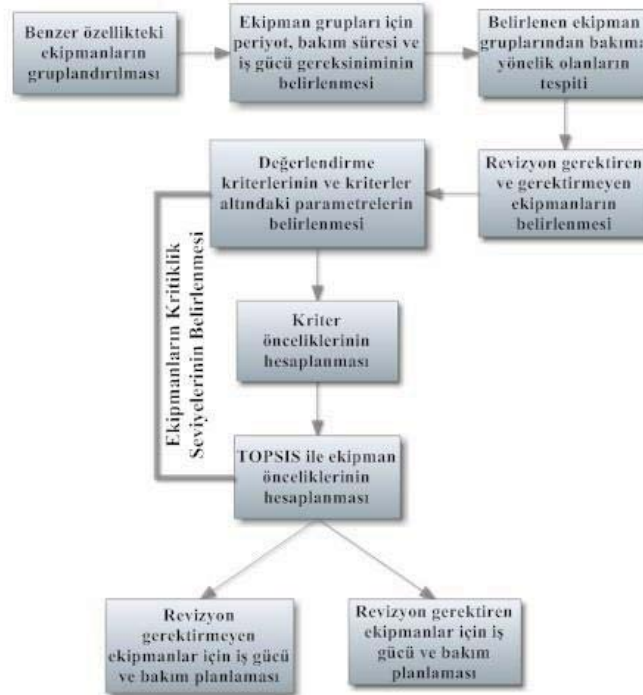
Şekil 2’de TOPSIS’in uygulama adımları gösterilmiştir. Başlangıç karar matrisinin oluşturulmasının ardından, normalize karar matrisinin (Adım 1) elde edilmesi ile işlemlere başlanır. Bu aşamayı, ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin (Adım 2) oluşturulması takip eder ve 3. Adımda, ideal ve negatif ideal çözümler belirlenerek her bir alternatif için ayırım ölçüleri (Adım 4) hesaplanır. Prosedür, ideal çözüme göreli yakınlıkların (Adım 5) hesaplanması ile sonlandırılır ve alternatifler kümesi için tercih sırası elde edilir [31].

4. UYGULAMA

Doğalgaz kombine çevrim santralleri Türkiye’deki elektrik üretiminde yıllık ortalama %46’lık [26] payı ile enerji arz güvenliğinin sağlanmasındaki en önemli alt yapı yatırımlarındandır ve sürdürülebilir bir enerji politikasının temel gereği olarak bu santrallerde düşük maliyetli, verimli ve kesintisiz enerji üretiminin gerçekleştirilebilmesi için bakım planlaması vazgeçilmez bir gereksinimdir. Buradan hareketle bu çalışma kapsamında, bakım planlaması ve yönetimi esaslarına göre işletilmeyen Türkiye’nin en önemli doğalgaz kombine çevrim santrallerinden bir tanesinde bakım planlaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın aşamaları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. TOPSIS metodolojisinin uygulama adımları



Şekil 7. Uygulama aşamaları

Çalışmanın gerçekleştirildiği santral temel olarak, 2 üretim bloğundaki 4 gaz türbini, 4 gaz türbin jeneratörü, 4 atık ısı kazanı, 2 buhar türbini ve 2 buhar türbin jeneratöründen oluşmakta olup santral genelinde yaklaşık olarak 14.000 adet ekipman bulunmaktadır. 2. bölümde de bahsedildiği gibi, santraldaki üretimin direkt olarak 4 gaz türbini ve 2 buhar türbinine bağlı olması, bu türbinlerdeki verimin temel olarak santral verimini teşkil etmesi ve santralda türbinler haricindeki sistemlerde yer alan ekipmanların genellikle türbinlerle ilişkili olması nedeniyle çalışmanın kapsamı santral genelindeki 6 türbine ait 2.525 ekipmanla sınırlandırılmıştır. Bu kadar çok sayıda ekipmana karşılık, insan kaynağının sınırlı olması temel nedeninden dolayı ve sistem veriminin artırılması, 1 m³ doğalgazdan üretilecek enerji miktarının artırılması ve santralin ülkenin enerji arz güvenliğine maksimum düzeyde hizmet etmesi için emre amadelik oranının artırılması amacıyla yapılan bakım planlamasının etkinliğini artırmak için, türbinlerdeki 2.525 ekipmandan sistem için en kritik olanlarının tespit edilmesine gereksinim duyulmuş ve bu nedenle de literatürde kabul görmüş çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan TOPSIS metodolojisi ekipmanların santral açısından önem derecelerine göre sıralanması amacıyla kullanılmıştır.

Çalışmanın başlangıcında gaz ve buhar türbinlerine ait ekipmanlar, birbirleri ile aynı yada benzer özelliklere sahip ekipmanların, aynı yada benzer bakım takvimlerine sahip olabilmesi için Tablo 1’de belirtilen başlıklar halinde gruplandırılmıştır.

Tablo 1. Ekipman grupları ve bu gruplara ait bilgiler

Ekipman Grubu	Revizyon Gereksinimi	Gruptaki Ekipman Adedi	Bakım Periyodu (Yıl)	Bakım Süresi (Dakika)	İş Gücü Gereksinimi (Kişi)
Gaz türbini 1/2-8.000 saat	Gerektirir	2	4	12.960	12
Gaz türbini 1/2-16.000 saat	Gerektirir	2	4	18.000	15
Gaz türbini 1/2-24.000 saat	Gerektirir	2	4	36.000	18
Gaz türbini 3/4-12.000 saat	Gerektirir	2	6	12.960	12
Gaz türbini 3/4-24.000 saat	Gerektirir	2	6	14.400	15
Gaz türbini 3/4-48.000 saat	Gerektirir	2	6	36.000	18
Gaz türbini starting	Gerektirmez	12	3	640	4
Buhar türbini 1/2-Minör	Gerektirir	2	10	28.800	13
Buhar türbini 1/2-Majör	Gerektirir	2	10	28.800	18
Rotor soğutma fanı	Gerektirir	16	1	600	3
Fan	Gerektirmez	8	3	240	2
Yağlama yağı soğutma fanı	Gerektirmez	12	1	480	3
Globe valf	Gerektirmez	853	6	960	3
By-pass valfi	Gerektirmez	10	3	960	3
Üç yollu valf	Gerektirmez	6	3	1.440	4
Çek valf	Gerektirmez	57	7	480	2
Emniyet valfi	Gerektirmez	18	2	480	2
Sürgülü valf	Gerektirmez	143	5	480	2
Kelebek valf	Gerektirmez	35	3	480	3
Küresel valf	Gerektirmez	82	5	240	2
Motorlu valf	Gerektirmez	4	5	480	2
Pnömatik valf	Gerektirmez	44	5	120	2
Eşanjör	Gerektirmez	12	5	480	2
Filtre	Gerektirmez	54	2	480	2
Gaz türbini filtresi	Gerektirmez	4	2	2.880	12
Santrifüj pompa	Gerektirir/Gerektirmez	2/35	1	480	2
Kondensat pompası	Gerektirmez	4	3	960	3
Soğutma suyu sirkülasyon pompası	Gerektirmez	4	2	1.920	4
Vidalı pompa	Gerektirmez	20	4	960	2
Soğutma suyu kulesi delta	Gerektirmez	286	7	1.440	4
Tank	Gerektirmez	20	10	960	3

Bu çalışmanın ardından yukarıdaki ekipman grupları için bakım periyotları, bakım süreleri ve iş gücü gereksinimi ayrı ayrı belirlenmiş ve 2.525 ekipman, bu ekipman grupları ile teker teker eşleştirilmiştir. Böylelikle hem kolay, hem de gerçekçi bir şekilde tüm ekipmanlara ait bakım periyotları, bakım süreleri ve iş gücü gereksinimi belirlenebilmiştir. Bakım ile ilgili periyot, süre ve iş gücü gereksiniminin tespitinde ise, santralın teknik dokümanları ile santralda çalışan uzmanların görüş ve tecrübelerinden faydalanılmıştır.

Bu aşamadan sonra, 2.525 ekipmandan bakım gerektirenlerin tespitine geçilmiştir. Çünkü, ekipmanların bir kısmınının bakıma ihtiyaç duymaması nedeniyle (ekipmanın maliyetinin bakım maliyetinden az olması, bakımın teknik olarak mümkün olmaması, vb. nedenlerden dolayı) ekipman, ekonomik ömrünü tamamladıktan sonra yenisi ile değiştirilmektedir. Bunlar, sistem için kritiklik seviyesi düşük olan ve daha ziyade küçük çaplı küresel, globe, sürgülü ve kelebek vanalar gibi ekipmanlardır. Bu ekipmanların sayısı ise 768'dir.

Bakıma esas olmayan ekipmanların ayıklanmasının ardından bir diğer gruplama ise revizyon bakım bağlamında yapılmıştır. Revizyon bakımlar, türbinlerin 8.000, 16.000 ve 32.000 saat yada 12.000, 24.000 ve 48.000 saat çalışmasından sonra yapılan bakımlardır. Santralın tasarlandığı verim değerinde çalışabilmesi için, bir başka deyişle santraldaki elektrik üretiminin arızalardan kaynaklı sebeplerden dolayı kesintiye uğramaksızın verimli ve ekonomik bir şekilde devam ettirilmesi için bu bakımların yapılması şarttır. Revizyonlar, ilgili türbinin çalışma saatine göre değiştiği için, revizyonların süreleri de 16 ila 60 gün arasında değişmektedir ve bu süreçte santralın ilgili ünitesi yada bloğu çalışmamaktadır. Revizyona tabi ekipmanlar belirlenirken, ekipmanların bakımı için gerekli süre (kesintisiz ve uzun süreli duruşlara revizyon dönemleri haricinde izin verilmemektedir) ile türbinlerin yada bloğun durdurulmasına bağımlı olarak bakımın gerçekleştirilebilmesi temel alınmıştır. Bu kapsamda, bakıma esas 1.757 ekipman revizyon gereksinimine göre tekrar gruplanmış ve revizyon gerektirmeyen 1.723 ekipman ile revizyon gerektiren 34 ekipman tespit edilmiştir. Revizyonlara ilişkin temel bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

4.1. Ekipmanların Kritiklik Seviyelerinin Belirlenmesi

Ekipmanlar için yukarıda anlatılan tüm bu sınıflandırmaların tamamlanmasının ardından, ekipmanların buldukları sistem için kritiklik seviyelerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. TOPSIS metodolojisine göre gerçekleştirilen bu aşamada ilk olarak, Tablo 2'de belirtilen değerlendirme kriterleri tespit edilmiştir. Değerlendirme kriterleri, santralda çalışan uzmanların görüşleri temel alınarak herbir ekipmanın sistem için kritiklik seviyesine etki eden tüm faktörler dikkate alınarak belirlenmiş ve herbir ekipman grubu ile ilişkili olacak şekilde tespit edilmiştir.

Tablo 2. TOPSIS metodolojisinde kullanılan kriterler

Kriterin Adı	Kriter Altındaki Parametreler	Parametrelerin Nümerik Karşılıkları	Hesaplanmış Kriter Öncelikleri
Ambar yedeği	Her zaman olur	1	0,0526068
	Bazen olur	2	
	Hiç olmaz	3	
Bakım öncesi şartlar	Blok duruş	7	0,2186966
	Ünite duruşu	6	
	Süreye göre duruş	5	
	Yedeksiz bakım	2	
	Duruş gerektirmez	1	
Ek iş gerekliliği	Gerekir	5	0,0397863
	Gerekmez	1	
Arıza periyodu	Ayda 1	8	0,0926496
	3 ayda 1	5	
	6 ayda 1	3	
	Yılda 1	2	
	Uzun Süreli	1	

Tablo 2 (Devamı). TOPSIS metodolojisinde kullanılan kriterler

Kriterin Adı	Kriter Altındaki Parametreler	Parametrelerin Nümerik Karşılıkları	Hesaplanmış Kriter Öncelikleri
Olası sonuçlar	Blok duruş	10	0,3978632
	Ünite duruşu	9	
	Yük Düşümü	8	
	Süreye göre duruş	8	
	Yedeksiz çalışma	7	
	Eksik görev	2	
	Güvenliğe zarar verir	2	
	İlişkili ekipmanda hasar	1	
	Start vermede problem	1	
Akışkan sarfiyatı artar	1		
Ölçüm ekipmanlarının mevcudiyeti	Var	3	0,0595513
	Yok	1	
Ekipmanın statik-dinamik-elektriksel-ölçme özelliği	Mekanik-dinamik	2	0,0459188
	Mekanik-statik	1	
	Elektriksel	1	
	Ölçüm elemanı	1	
Arıza giderme süresi	1 hafta	9	0,0397863
	1 günden fazla	3	
	Bilinmiyor	3	
	2-8 saat	2	
	2 saatten az	1	
Arıza tespit edilebilirlik	Tespiti Zor	3	0,0531410
	Tespiti Kolay	1	

Kriterler altında belirtilen parametreler kullanılarak, herbir ekipmana herbir kritere göre sözel değer ataması yapılmıştır. TOPSIS yönteminin uygulanması için gerekli olan “tüm göstergelerin nümerik olması” varsayımının gerçekleştirilmesi için, parametrelerin nümerik karşılıkları yine uzman kişilerin görüşlerinden istifade edilerek oluşturulmuştur. Parametrelerin nümerik karşılıkları belirlenirken, 0-10 arasında tam sayılardan oluşan bir skala kullanılmış ve en yüksek puan, santraldaki elektrik üretimine direkt olarak etki eden parametreye verilmiştir. Diğer parametre puanları, hem tüm kriterler arasında verilen en yüksek puanlar, hem de her bir kriter arasında verilen puanlar dikkate alınarak tespit edilmiştir. Bu aşamanın tamamlanması ile başlangıç karar matrisi (1.757 x 9 boyutlu bir matris) elde edilmiş ve TOPSIS metodolojisine başlanmıştır.

İlk olarak normalize karar matrisi, başlangıç karar matrisinin elemanlarından (x_{ij}) yararlanarak ve Eş. 1 kullanılarak hazırlanmıştır. İkinci aşamada ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması için ihtiyaç duyulan kriter ağırlıklarının (w_j) belirlenmesi için ise oranlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle ilişkin temel bilgiler aşağıdaki gibidir:

- Karar verici her bir kriter için genellikle 0-10 veya 0-100 gibi büyük bir sürekli değer aralığından bir değer belirler.
- Birden fazla kriter aynı değeri alabilir.
- “0” değeri kriterin karar verici için önem taşımadığını, en yüksek değer ise çok önemli olduğunu ifade eder.

w_{lj} , j karar vericisinin l kriteri için verdiği değerini hesapsal ağırlık değerini; ρ_{lj} , j karar vericisinin l kriteri için verdiği ağırlık değerini; n , karar verici sayısını ve m , kriter sayısını göstermek üzere Eş. 8 kullanılarak Eş. 9’da verilen nihai ağırlık değeri hesaplanır [30].

$$w_{lj} = \frac{\rho_{lj}}{\sum_{l=1}^m \rho_{lj}} \quad (8)$$

$$w_l = \frac{\sum_{j=1}^n w_{lj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m w_{lj}} \quad (9)$$

Tablo 2’de belirtilen 9 kriter, santralde çalışan ve tecrübeleri 15 yıldan fazla olan 6 teknik personel tarafından puanlanmış ve Eş. 8 ile Eş. 9’a göre kriter ağırlıkları hesaplanarak Tablo 2’nin son sütununda verilmiştir.

Yukarıdaki şekilde elde edilen kriter ağırlıkları ve Eş. 2 kullanılarak, ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulmuş ve ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri Eş. 3 ve Eş. 4 kullanılarak tespit edilmiştir. Ardından, Eş. 5 ve Eş. 6 ile sırasıyla ideal ve negatif ideal ayırım ölçüleri herbir ekipman için hesaplanarak, Eş. 7 ile herbir ekipmanın ideal çözüme göreli yakınlığı olarak tanımlanan ekipman öncelik değerleri (C^*) bulunmuştur.

TOPSIS metodolojisine göre hesaplanan ekipman öncelikleri, iş gücü açısından yetersiz olan 10 kişilik türbin bakım ekibinin, türbinlerin verimli bir şekilde çalışmasına, elektrik üretim miktarına, 1 kWh elektrik üretimi için kullanılacak doğalgaz miktarına ve santralin enerji arz güvenliğine maksimum seviyede katkı sağlamasına en yüksek derecede etki eden ekipmanlardan başlayarak planlı bir bakım gerçekleştirilmesine olanak sağlaması açısından oldukça önemlidir. Çalışmanın devamında gerçekleştirilen bakım planlaması, bu ekipman önceliklerine göre yapılmıştır.

4.2. Revizyon Bakım Gerektirmeyen Ekipmanlar için Bakım Planlaması

Bahsedildiği üzere, santralde bakıma esas olan ekipmanların sayısı 1.757’dir ve bunlardan 1.723’ü periyodik bakıma tabi iken (revizyon gerektirmeyen ekipmanlar), 34 tanesinin revizyon dönemlerinde bakıma alınması gerekmektedir. Yıllık olarak çalışılacak iş günü sayısı ise 250 dolaylarındadır. Bununla birlikte, türbin bakım ekibindeki 10 kişinin farklı zamanlarda aldıkları yıllık izinler ve bu kişilerin raporlu olma durumları yıllık iş günü kapasitesini 250 günden aşağı düşürmektedir. Bu bağlamda, 1 yıl için iş günü kapasitesi 200 gün olarak tespit edilmiş ve planlar bu kapsamda hazırlanmıştır.

Tablo 2’de verilen kriter öncelikleri incelendiğinde, “bakım öncesi şartlar” ile “olası sonuçlar” kriterlerinin toplam ağırlığın %61,7’sini teşkil ettiği görülmektedir. Bunun temel nedeni, bu iki kriterin elektrik üretimine blok duruş, ünite duruşu, süreye göre duruş, yedeksiz çalışma, vb. bağlamında direkt olarak etki etmesidir. Ayrıca, ekipman öncelikleri de, ağırlık değerlerinin diğer kriterlere göre büyüklüğünden dolayı bu iki kriterle göre değişmektedir. Buradan hareketle, 1.723 ekipmanlık büyük bir grup için yapılacak bakım planlaması çalışmasının etkinliğinin artırılması amacıyla, 4 adet alternatif senaryo söz konusu iki kriter ve bu kriterler altındaki parametrelere göre üretilerek Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Revizyon bakım gerektirmeyen ekipmanlar için üretilen senaryolar

Senaryo	Bakım Öncesi Şartlar	Olası Sonuçlar	Max. C^*	Min. C^*	Ekipman Sayısı (Adet)
Senaryo 1	Blok duruş	Blok duruş	0,862471	0,732062	753
	Ünite duruşu	Ünite duruşu			
	Süreye göre duruş	Süreye göre duruş			
		Yük düşümü			
Senaryo 2	Yedeksiz bakım	Blok duruş	0,682820	0,643462	12
	Duruş gerektirmez	Ünite duruşu			
		Süreye göre duruş			
Senaryo 3	Blok Duruş	Yedeksiz Çalışma	0,630289	0,630289	4
	Ünite Duruşu				
Senaryo 4	Yedeksiz Bakım	Yedeksiz Çalışma	0,548884	0,519561	36
	Duruş Gerektirmez				

Tablo 3’de verilen senaryolardan Senaryo 1, bakım öncesinde duruş gerektiren ekipmanlar ile arızalandığında duruşlara ve yük düşümüne (mevcut kapasitenin altında üretim) neden olan ekipmanları içermektedir. Elektrik üretiminin maksimizasyonu temel amacından hareketle, bu senaryo dahilindeki ekipmanların sistem için en önemli ekipmanlar olduğu açıktır ve “Max.C*” ve “Min.C*” sütunlarından bu durum görülmektedir. Santralda bakım öncesi bir gereklilik olması yada arıza olması durumunda üretimin durdurulması haricinde, yedeksiz bakım ve yedeksiz çalışmada önemli bir sorundur. Bu iki şartta da, sistemdeki ekipmanlar yedekleri olmasına rağmen bakım için yada arıza durumunda yedeklerini kaybetmekte, bu durumda üretim devam etmekte, ancak yedeği kalmayan ilgili ekipmanın herhangi bir arıza yaşaması durumunda üretimin durmasına neden olması ihtimali doğmaktadır. Bu da, elektrik üretim santrallerinde kaçınılan temel bir sorundur ve bu nedenle Senaryo 2-4 bu amaçla üretilmiştir.

1.757 ekipmanın öncelik değerleri revizyon bakım gerektirmeyenler için 0,862471 ile 0,063732 arasında, revizyon bakım gerektiren ekipmanlar için ise, 0,942217 ile 0,584711 arasında değişmektedir. Tablo 3’de verilen senaryolar dahilinde, direkt olarak elektrik üretimine etki eden yada yedeksiz bakım ve yedeksiz çalışma gibi durumlarla üretimi durdurma ihtimali olan ekipmanların toplam sayısı 805 adettir. Bu sayı, çalışmanın başında belirlenen 1.723 adetlik revizyon bakım gerektirmeyen ekipman grubunun %46,7’sini teşkil etmektedir. Bu grubun kalan %53,3’lük kısmının ise öncelik değerleri 0,125501 ile 0,063732 arasında değişmektedir. Bu değerler ile Tablo 3’de verilen ekipman öncelikleri arasındaki fark açıkça görülmektedir.

Yukarıdaki analizin ardından, Tablo 3’deki senaryolar dahilinde ekipmanların periyodik bakımlarının planlanması aşamasına geçilmiştir. Bu planlama yapılırken, ekipmanların bakım periyotları, yıllık çalışılan gün sayısı ve mevcut iş gücü temel alınmıştır. Santralda şu ana kadar izlenen bakım stratejisi arızı bakımdır. Yani, santralda çalışmanın yapıldığı döneme kadar herhangi bir planlı bakım yapılmamıştır. Ayrıca yukarıda da belirtildiği üzere, türbin bakım ekibi kişi olarak yetersizdir (Özellikle revizyon dönemlerinde yapılması gereken işlerin tamamlanamaması durumu temel alınarak bu yorum yapılmaktadır). Hem iş gücü eksikliği, hem de periyodik bakım kültürünün santralda yerleşmemiş olması, bütün bakımların aynı yılda yapılmasının önündeki en önemli engeller olarak tespit edilmiş ve bu nedenle, iş gücünün etkin bir şekilde kullanılmasıyla periyodik bakımlar yıllık olarak bölünerek iş günü gereksinim planlaması (Tablo 4) Tablo 3’de verilen 805 ekipman için yapılmıştır. Bu planlamaya göre de, ekipmanların bakım takvimleri oluşturulmuştur.

Tablo 4. Revizyon bakım gerektirmeyen ekipmanlar için gerekli iş günü planlaması

Senaryo	Bakım Periyodu (Yıl)	Ekipman Sayısı	Bakım İçin Gerekli Süre (Dakika)	Dağıtılacak Yıl	Gerekli Gün Sayısı	Yıllık Gerekli Olan Toplam Gün Sayısı
Senaryo 1	1	5	480	1	1,00	64,06
	2	34	3.264	2	3,40	
	3	53	12.144	3	8,43	
	4	52	65.280	4	34,00	
	5	153	12.240	5	5,10	
	6	63	1.512	6	0,53	
	7	381	36.576	7	10,89	
Senaryo 2	10	12	3.456	10	0,72	1,12
	1	4	384	1	0,80	
Senaryo 3	5	8	768	5	0,32	0,40
	2	4	384	2	0,40	
Senaryo 4	2	12	1.152	2	1,20	2,53
	3	8	768	3	0,53	
	4	8	1.536	4	0,80	
	5	8	768	5	0,32	

Santralda günlük aktif çalışma süresi 8 saattir ve bu süre 480 dakikaya karşılık gelmektedir. Gerekli gün sayısı hesaplanırken, her bir periyot için gerekli olan süre, dağıtılacak yıl sütununa ve 480 dakikaya bölünmüştür. Böylelikle, yıllık bazda her bir bakım periyodu için gerekli olan gün gereksinimi hesaplanmıştır.

Tablo 4’de belirtilen süreler haricinde, toplam 129 ekipmana yağlama, termal kamera ile sıcaklık ölçümü, gözle kontrol ve kanat yıkama yapmak için 12,37 günlük bir süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre, Tablo 4’de verilen 68,11 günlük süreye eklenince, ilgili periyodik bakım ve diğer gerekli işlemlerin yapılması için gerekli olan toplam süre 80,48 güne çıkmaktadır.

Bahsedildiği üzere, santralin yıllık aktif çalışma gün sayısı 200 gün olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yıllık olarak santral ortalama 16 ila 60 günlük revizyon dönemleri yaşamaktadır. Bu durumda, revizyon bakım gerektirmeyen ekipmanlar için mevcut olan süre maksimum 184 gündür. Yukarıda hesaplanan yaklaşık 81 günlük bakım gereksinimi ise bu süre dahilindedir.

4.3. Revizyon Bakım Gerektiren Ekipmanlar için Bakım Planlaması

Revizyon bakım gerektiren ekipmanların bakım planlaması, periyodik bakıma tabi olan ekipmanlara göre farklılık göstermektedir. Revizyon dönemlerinde ünite yada blok durumu söz konusudur. Bu nedenle, revizyon bakım gerektiren ekipmanlar için bakım senaryoları üretilmemiştir. Ayrıca yine yukarıda belirtildiği üzere türbin revizyonları, ilgili türbinin çalışma saatine göre belirlenmektedir. Çalışma saatleri baz alınmak üzere türbinlere ait bakım periyotları, bakım süreleri ve iş gücü gereksinimleri Tablo 1’de verilmiştir.

Revizyon bakım gerektiren ekipmanlar içinde, türbinler haricinde 2 adet buhar türbini ana yağ pompası (santrifüj pompa) ve 16 adet rotor soğutma fanı bulunmaktadır. Bu ekipmanların bakımları ancak türbinlerin revizyon dönemlerinde yapılabildiği için bu grupta değerlendirilmiştir. Bu ekipmanların bakımları her revizyonda yapılmaktadır ve bunlar için gerekli olan gün sayısı Bölüm 4.2’deki şekilde hesaplanarak 5,12 gün bulunmuştur.

Revizyon bakım gerektiren ekipmanların sayısı 34’dür. Türbinler haricinde yukarıda belirtilen 18 ekipman (buhar türbini ana yağ pompaları ve rotor soğutma fanları) çıkarılınca türbin sayısı 16 olarak algılanmaktadır. Oysaki bu 16 sayısı, 16 adet türbin olduğu anlamına gelmemektedir. Daha önce de bahsedildiği üzere türbinler çalışma saatlerine göre revizyona alınmaktadır. 4 adet gaz türbini, 3’er saat dilimine (8.000, 16.000, 32.000 saat ve 12.000, 24.000, 48.000 saat) göre 12 adet bakıma ihtiyaç duyarken, 2 adet buhar türbini minör ve majör bakımlar kapsamında 4 adet bakıma ihtiyaç duymaktadır. Sonuç olarak, türbinler için verilen 16 sayısı türbin sayısını değil, türbinlere yapılacak bakım sayısını göstermektedir.

Revizyon bakım gerektiren ekipmanların çalışma saatlerine göre 9 yıllık revizyon bakım planları, Tablo 1’deki veriler kullanılarak hazırlanmış ve Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Türbinlerin revizyon bakım planı

Türbin Adı	Gerekli Gün Sayıları								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Buhar Türbini 1-Minör		30							
Buhar Türbini 1-Majör							60		
Buhar Türbini 2-Minör				30					
Buhar Türbini 2-Majör								60	
Gaz Türbini 1-8.000 saat				16				16	
Gaz Türbini 1-16.000 saat	28				28				28
Gaz Türbini 1-32.000 saat			52				52		
Gaz Türbini 2-8.000 saat		16				16			
Gaz Türbini 2-16.000 saat			28				28		
Gaz Türbini 2-32.000 saat	52				52				52
Gaz Türbini 3-12.000 saat						18			
Gaz Türbini 3-24.000 saat		30						30	
Gaz Türbini 3-48.000 saat				52					
Gaz Türbini 4-12.000 saat						18			
Gaz Türbini 4-24.000 saat			30						30
Gaz Türbini 4-48.000 saat					52				
Toplam	80	76	110	98	132	52	140	106	110

Tablo 5’de verilen 9 yıllık plan neticesinde elde edilen yıllık iş günü gereksinimleri, santralin maksimum 60 günlük revizyon süresinin üzerinde çıkmıştır (2020 yılı hariç). Bunun nedeni daha önce de belirtildiği üzere, türbin çalışma saatlerine göre yapılması zorunlu olan bakımlardır. Santralin 60 günden fazla revizyona çıkamayacağı gerçeği düşünüldüğünde, sistem veriminin santralin dizayn parametrelerinde devam ettirilmesi ve bu bağlamda ekonomik, kesintisiz ve verimli elektrik üretiminin gerçekleştirilebilmesi için bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, santral yöneticilerine 2015-2023 döneminde iş gücü planlaması yapmaları açısından büyük kolaylık ve fayda sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, yapılması gereken revizyonlar malzeme eksikliğinden dolayı ertelenmeyecektir. Yani, santral yöneticileri hangi yılda hangi revizyonun yapılacağını bildiği için malzeme tedariki konusunda da

önceden tedbir alabileceklerdir. Çalışmanın malzeme planlaması açısından katkısı, revizyon bakım gerektirmeyen ekipmanlar için de geçerlidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, bakım planlamasının enerji verimliliğini artırması, elektrik üretim maliyetleri ve miktarını etkilemesi ve kesintisiz enerji arzına katkı sağlaması temelinde öneminden hareketle, Türkiye'deki enerji arz güvenliğinin sağlanması açısından büyük öneme sahip olan doğalgaz kombine çevrim santrallerinden bir tanesinde bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama yapılırken, literatürdeki çalışmaların ağırlıklı olarak bakım planlamasını, bakım yapılacak ekipmanların sistemler açısından taşıdıkları risklere göre şekillendirmesi ile bakım planlaması probleminin çok amaçlı ve çok kriterli yapısı temel alınmış ve her iki durumu da uygulamaya yansıtacak şekilde TOPSIS metodolojisi, ekipmanların 9 kriter altında santral açısından taşıdıkları riskleri hesaba katacak şekilde kullanılmıştır.

Bakım; zaman, iş gücü gereksinimi ve malzeme açısından maliyetli bir süreçtir. Sisteme direkt olarak büyük etkisi olmayan ekipmanların bakımını yapmak ise bu bağlamda etkin bir yöntem olmayacaktır. Bu kapsamda, yapılan çalışma ile periyodik bakıma esas olan 1.723 ekipmanın %46,7'sine periyodik bakım yapılarak, santral veriminin, emre amadeliliğinin ve üretim miktarının artırılması ile üretim maliyetlerinin ve üretim için kullanılan doğalgaz miktarının azaltılması sağlanmış olacaktır. 81 günlük gereksinimin haricindeki sürenin ise, santralde yaşanacak arızalara ayrılması planlanmıştır. Çünkü, ne kadar bakım yapılırsa yapılsın, elektrik üretim santralleri arızaların yaşandığı tesislerdir. Bu arızalara yeterli sürenin kalması da, bu çalışma kapsamında yapılan planlamanın gerçekçi ve etkin sonuçlar ürettiğine işaret eder.

Bu tip bir planlama, arıza analizine de olanak sağlayacaktır. Bakım yapılan ekipmanlarda ileri yıllarda yaşanacak sık arızalar, bakım periyotlarının güncellenmesine imkan vereceği gibi, ekipmanın bakım ile istenilen şartlarda çalışmayacağı sonucuna da ilgili analistleri ulaştırabilir. Bu durumda, ekipmanın değiştirilmesi gündeme gelebilir. Bunun yanı sıra, belirlenen periyotlar dahilinde yapılan bakımlarda ekipmanların bir sıkıntısının olmadığına gözlemlenmesi sonucunda da, bakım periyotları daha da uzatılabilir.

Sonuç olarak bu çalışma ile sadece arıza bakım felsefesini kullanan bir doğalgaz kombine çevrim santralına periyodik bakım kültürü yerleştirilmesi amaçlanmış ve iş gücünün yıl geneline etkin dağılımı gerçekleştirilerek, ileri yıllar için malzeme ve iş gücü planlamasına katkı sağlanmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen planların uygulanması ile daha az kaynak kullanarak, santral dizayn parametrelerinde, verimli, ekonomik ve çevreci bir üretimin gerçekleştirilmesi sonucunda ülkenin enerji arz güvenliğine katkı sağlanacağı beklenmektedir.

İleri bir çalışma olarak, santral türbinleri ile ilişkili olan diğer sistem ekipmanlarının (atık ısı kazanları, elektriksel ve ölçmeye dayalı ekipmanlar) bakımları da planlanarak literatüre katkı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Özcan, E.C., Bulut, M., "Güneş enerjisi teknolojileri ve bu teknolojilerin Türkiye'deki geleceği", *VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Kayseri, 247-262 (2011).
2. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010 - 2014 Stratejik Planı, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, 25-30 (2009).
3. Özcan, E.C., "Elektrik üretim planlamasında çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı: Türkiye örneği", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Doktora Tezi, 1 (2013).
4. Yıldız, T., "2014 yılı bütçe sunumu", *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, 1 (2014).
5. Rao, B., "Handbook of condition monitoring", *Elsevier*, Amsterdam, (1996).
6. Rausand, M., "Reliability centered maintenance", *Reliability Engineering&System Safety*, 60(2):121-132 (1998).
7. Harnly, J.A., "Risk-based prioritization of maintenance repair work", *Process Safety Progress*, 17(1):32-38 (1998).
8. Khan, F.I., Haddara, M.M., "Risk-based maintenance of ethylene oxide production facilities", *Journal of Hazardous Materials*, 108(3):147-159 (2004a).
9. Khan, F.I., Haddara, M.M., "Risk-based maintenance (RBM): A new approach for process plant inspection and maintenance", *Process Safety Progress*, 23(4):252-265 (2004b).
10. Arunraj, N.S., Maiti, J. "Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming", *Safety Science*, 48(2):238-247 (2010).
11. Apeland, S., Aven, T., "Risk based maintenance optimization: Foundational issues", *Reliability Engineering & System Safety*, 67(3):285-292 (2000).

12. Bertolini, M., Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Giacchetta, G., "Development of risk-based inspection and maintenance procedures for an oil refinery", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(2):244-253 (2009).
13. Keshavarz, G., Thodi, P., Khan, F., "Risk-based shutdown management of LNG units", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(1):159-165 (2012).
14. Kumar, U., "Maintenance strategies for mechanized and automated mining system: A reliability and risk analysis based approach", *Journal of Mines Metals and Fuels*, 46(11):343-347 (1998).
15. Farquharson, J.A., Choquette, F., "Using QRA to make maintenance trade-off decisions", *ASME Pressure Vessels and Piping Conference*, Vancouver, BC, Canada (2002).
16. Khan, F.I., Haddara, M.M., "Risk-based maintenance (RBM): A quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6):561-573 (2003).
17. Backlund, F., Hannu, J., "Can we make maintenance decisions on risk analysis?", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1):77-91 (2002).
18. Jovanovic, A., "Risk-based inspection and maintenance in power and process plants in Europe", *Nuclear Engineering and Design*, 226(2):165-182 (2003).
19. Krishnasamy, L., Khan, F., Haddara, M.M., "Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(1):69-81 (2005).
20. Carlos, S., Sanchez, A., Martorell, S., Villanueva, J.F., "Particle Swarm Optimization of safety components and systems of nuclear power plants under uncertain maintenance planning", *Advances in Engineering Software*, 50, 12-18 (2012).
21. Busacca, P.G., Marseguerra, M., Zio, E., "Multiobjective optimization by genetic algorithms: Application to safety systems", *Reliability Engineering System Safety*, 72(1):59-74 (2001).
22. Lapa, C, Pereira, C, Melo, P., "Surveillance test policy optimization through genetic algorithms using non-periodic intervention frequencies and considering seasonal constraints", *Reliability Engineering System Safety*, 81(1):103-9 (2003).
23. Marseguerra, M., Zio, M., Podofillini, L., "Condition-based maintenance optimization by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation", *Reliability Engineering System Safety*, 77(2):151-65 (2002).
24. Levitin, G., Lisnianski, A., "Joint redundancy and maintenance optimization for multistate series-parallel systems", *Reliability Engineering System Safety*, 64(1):33-42 (1999).
25. Borgonovo, E., Marseguerra, M., Zio, E., "A Monte Carlo methodological approach to plant availability modelling with maintenance, aging and obsolescence", *Reliability Engineering System Safety*, 67(1):61-73 (2000).
26. 2013 Yıllık Faaliyet Raporu, *Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü*, Basım aşamasında, (2014).
27. İnternet: Buhar enjeksiyonlu gaz türbinleri, <http://www.oocities.org/siliconvalley/platform/6647/kojenen2.htm> (2014).
28. Lootsma, F.A., "Multi-criteria decision analysis via ratio and difference judgement", *Kluwer Academic Publishers*, (1999).
29. Chen, S.J., Hwang, C.L., "Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications", *Springer-Verlag*, Berlin, (1992).
30. Tabucanon, M.T., "Multiple criteria decision making in industry", *Elsevier*, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, (1988).
31. Behzadian, M., Otaghsara, S.K., Yazdani, M., Ignatius, J., "A state-of-the-art survey of TOPSIS applications", *Expert Systems with Applications*, 39, 13051-13069 (2012).