

BİR İMALAT İŞLETMESİNDE BAKIM STRATEJİSİNİN BELİRLENMESİ

Ali Görener

Dr., Beykent Üniversitesi,
Lojistik Yönetimi Bölümü,
34500 Beylikdüzü – İstanbul
aligorener@beykent.edu.tr

ÖZET

Bakım uygulamalarının önemi; kalitenin korunması, kullanılabilirliğin sağlanması, tesis ve çalışan güvenliği, imalat maliyetlerine etkisi, ekipman verimliliği ve üretim sistemin sürdürülebilirliği konularındaki kritik rolü nedeniyle giderek artmaktadır. Günümüzün rekabetçi iş dünyasında, firmaların sahip oldukları varlıkları verimli kullanabilmeleri oldukça önemlidir. Özellikle beklenmeyen duruşlar ve arızalar, imalat maliyetlerini arttırmakta, üretime ilişkin verimliliği düşürmektedir. İşletmeye uygun bakım stratejisinin seçimi, firma için önemli kararlardan biridir. Bu seçim sorunu, karakteristik çok kriterli karar verme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulamanın gerçekleştirildiği firmada, en uygun bakım stratejisinin seçimi için, bulanık mantık destekli TOPSIS (İdeal çözüme benzerliğe dayalı sıralama tekniği) kullanılmıştır. Önleyici, düzeltici, durum tabanlı ve kestirimci bakım olmak üzere dört farklı bakım stratejisi alternatifi değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İmalat, bakım, verimlilik, TOPSIS, bulanık mantık

Maintenance Strategy Selection in a Manufacturing Organization

ABSTRACT

The importance of maintenance applications have increased owing to its crucial role keeping quality, availability, plant and employee safety, manufacturing cost, equipment efficiency and sustainability of production system. In today's competitive business world, using own assets efficiently by the companies is very important. Especially, unexpected downtime increases the maintenance costs and reduces production productivity. Selection of appropriate maintenance strategy for business is one of the crucial decisions. The selection of maintenance strategies is a typical multiple criteria decision making problem. This study presents a decision making method based on the fuzzy logic supported TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), technique to select the most appropriate maintenance strategy. Four maintenance strategy alternatives are examined for a manufacturing firm in Turkey: preventive, corrective, condition-based and predictive maintenance.

Keywords : Manufacturing, maintenance, productivity, TOPSIS, fuzzy logic.

Geliş tarihi : 07.03.2012
Kabul tarihi : 11.05.2012

1. GİRİŞ

Bakım, imalatta kullanılan araçları ve diğer varlıkları, işletmenin amaçları doğrultusunda istenen düzeyde hazır bulundurmak için tasarlanan faaliyetler bütünüdür. İşletmelerde genellikle bakımın ortaya çıkardığı maliyete odaklanıldığı görülmektedir. Oysaki bakım, işletmenin uzun dönemli varlığını etkileyen, sistemli çalışmalar dizisini içermektedir [1]. Bakım faaliyetlerinin ne şekilde yapılandırıldığı, işletmelerdeki kârlılık ve performansı etkileyen ana unsurlardan biridir. Ayrıca bakım yönetimi, işletme varlıklarına ilişkin olarak, yatırımın geri dönüşünü maksimize etmeyi hedefleyen bir anlayış temel alınarak, varlık yönetimi olarak da tanımlanmaktadır [2, 12].

İmalat sistemi büyüyerek karmaşık hâle geldiğinde veya üretilen miktar arttıkça bakım faaliyetlerinin önemi artar. Birçok tezgahtan oluşan bir üretim hattında birkaç makinenin arızalanması, zincirleme etkilerle bütün sistemi durdurabilir. Sipariş tipi üretim yapılarında arızalanan veya bakıma alınan makinelerin yokluğunu bir ölçüde giderme olanağı vardır. Fakat sürekli üretimde ve özellikle akış tipi imalatta, arızaların üretimin işleyişi üzerindeki etkisi çok büyüktür. Arıza giderildikten sonra tekrar devreye girme ve normal üretim düzeyine çıkılması için önemli bir zaman kaybı söz konusu olabilmektedir [3]. Üretim sisteminin çalışma planı dışındaki duruşlar, işletme içerisindeki birçok bölümü farklı şekilde ve kötü yönde etkileyebilmektedir [9]. İmalat departmanları için, planlama ve çizelgeleme problemleri, lojistik departmanları için depolama ve nakliye problemleri oluşabilmektedir. Bu tip problemler, ciddi ölçüde maliyete neden olduğundan, işletmenin rekabet gücünü de azaltmaktadır.

Bakım sistemi; üretimin gerçekleştirildiği tesis, imalat hattı, makine ve ekipman etkinliğinin, belirlenmiş yönetim politikaları ile teknik spesifikasyonlara uygun bir şekilde, istenen düzeyde olmasını sağlamak üzere kurulmalıdır. Bakım maliyetlerinin, tesise göre değişmekle birlikte, üretim maliyetleri içerisinde %5 ila %40 arasında oranlarda olabileceği [4], hatta bazı sektörlerde %70'lere kadar çıkabildiği ifade edilmektedir [5]. Üretim sistemi içerisinde bulunan makine ve teçhizatın istenen düzeyde çalışmadığı durumlarda oluşabilecek temel problemler şunlardır [6]:

- İmalat ve hizmetin sağlandığı yapının düzensiz hale gelmesi,
- Maliyetlerin artması,
- İstenen ürün kalitesinin sağlanamaması,
- Teslimat zamanlarının gecikmesi,
- Üretim kapasitesinin azalması,
- Güvenlik problemlerinin oluşması.

Günümüz endüstrisinde bakım fonksiyonu artık kaçınılmaz bir maliyet unsuru olarak görülmek yerine, kârlılığa katkı sağlayan, rekabete yardımcı bir öğe olarak nitelendiril-

mektedir. Önemi artmasına rağmen, akademik çalışmalar incelendiğinde ve imalat sistemleriyle ilgili diğer başlıklarla karşılaştırıldığında bakım stratejisinin belirlenmesi konusunun sınırlı sayıda çalışmada işlendiği görülmektedir [7]. Farklı endüstri kollarında çeşitli bakım türleri kullanılsa da temelde dört farklı bakım stratejisinden söz edilebilir. Önleyici bakım, düzeltici bakım, durum tabanlı bakım ve kestirimci bakım stratejileri birçok sanayi kolunda kullanılmakta olan ana stratejilerdir.

Bu çalışmada öncelikle, imalat yapan firmalarda kullanılabilir farklı bakım stratejileri açıklanmıştır. Takip eden bölümlerde, bakım stratejisi seçiminde kullanılacak bulanık mantık kavramı ve TOPSIS yönteminin detayları ifade edilmiştir. Uygulama kısmında öncelikle ilgili literatür özetlenmiş, sonrasında ise belirtilen yöntemin imalat sektöründe faaliyet gösteren bir firma için bakım stratejisi seçiminde kullanımına ilişkin hesaplamalar ifade edilmiştir.

2. BAKIM STRATEJİLERİ

Bakım yönetimi; stratejilerin belirlenmesi, planlanması, kontrolü ve denetlenmesi, işletmede ekonomik açıdan iyileştirmeleri içeren yöntemlerin tespiti gibi çalışmaları kapsamaktadır. Bakım stratejisinin oluşturulması, etkin bakım yönetiminin en önemli elemanlarından birisidir. İmalat sistemlerinin sürekliliğinin sağlanması, bakım maliyetlerinin düşürülmesi, kayıpların ve yıpranmanın azaltılması vb. hedefleri başarıyla gerçekleştirebilmek için, bakım stratejileri oluşturulmalıdır [8]. İşletmelerde kullanılan temel bakım stratejileri ve gerçekleştirilen faaliyetler, izleyen başlıklarda özetlenmektedir.

2.1 Önleyici Bakım

Üretim tesisinin ve makinelerin, belirli bir program dâhilinde, arıza oluşma koşulu aranmadan yapılan; inceleme, ayarlama, düzeltme, onarım, yenileme operasyonları gibi, ekipmanların kullanılabilirlik süresini arttırmaya yönelik çalışmaları kapsamaktadır [4]. Önleyici bakım, makine ve parçaların güvenilirlik ve emniyet değerlerine bağlı olarak kurgulanan bir bakım stratejisidir. Bu değerlerin tespiti, makinelerin imalat verileri ve uygulanan periyodik bakım programları sonuçlarıyla gerçekleştirilebilir [5]. Bu bakım stratejisi kapsamında; planlı bakımlar yapılarak, hata sıklıklarının azaltılması ve ani duruşların önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Endüstrideki uygulama alanı oldukça geniş olan önleyici bakım, karar destek sistemlerine de ihtiyaç duymaktadır. Özellikle geçmiş bakım verilerinin olmadığı ortamlarda, periyodik bakım aralıklarının tespiti zorlaşmaktadır [7]. Önleyici bakım özellikle, makinelerin aşınma ve yıpranmayla ilgili sorunlarının giderilmesi için etkili bir yöntemdir [10]. Yapılan planlı bakımlarla istenmeyen arıza ve duruşların azaltılması, makinelerin verimli ömürlerinin uzatılması hedeflenmektedir.

2.2 Düzeltici Bakım

Düzeltici bakım stratejisinin temelinde, makine veya parçanın işlevini yerine getiremediği, bir başka deyişle arızalandığı zaman bakım yapılması anlayışı yer almaktadır. Makine bozulmadan, herhangi bir tamir veya bakımın gerçekleştirilmesi söz konusu değildir [5, 10]. Bu bakım anlayışı, herhangi bir makine veya parçanın arızalanmasının, üretim sistemini önemli derecede etkilemeyeceği alanlarda kullanılabilir. Etkileşimin yoğun olduğu sistemlerde kullanılması durumunda bir anda ortaya çıkan ciddi tahribat; tesis, personel ve çevre açısından büyük problemlere neden olabilmektedir [11]. Genel amaçlı üniversal tezgâhların bulunduğu atölyelerde, yedek makine ve ekipmanın hazırda bulunabildiği sistemlerde uygulamalarına rastlanmaktadır [4].

2.3 Durum Tabanlı Bakım

Durum tabanlı bakım stratejisinde, periyodik ölçümlerle elde edilmiş veriler dikkate alınır. Verilerin analizi sonucunda, parça ya da makine istenilen veya olması gereken aralığın dışındaki koşullarda çalışıyorsa tamir edilir veya değiştirilir [11]. Verilerin elde edilmesi için, uygun durum izleme sistemleri oluşturulmalıdır. Elde edilen bilgilerin yetersiz veya yanlış olması, durum tabanlı bakım uygulamalarının istenen şekilde yapılandırılmasını engelleyecektir [13]. Durum tabanlı bakım stratejisi uygulandığında, sensör sistemleri vasıtasıyla ölçülen verilere bağlı olarak bakım kararları verilir. Titreşimin takip edilmesi, yağ seviyelerinin analizleri, ultrasonik testler vb. teknikler uygulanabilmektedir. Ekipmana ait toplanan veriler, hata oluşmadan bakım yapılarak, hasarların veya beklenmeyen duruşların oluşumunu önlemeye yönelik fırsat sağlar [7].

2.4 Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım stratejisinde, izleme sistemleri vasıtasıyla elde edilen bilgiler kullanılarak, parametrelere ilişkin trend eğrileri dikkate alınır ve arıza tahmin edilmeye çalışılır [7]. Makine ve ekipmanlarda; titreşim, gürültü ve sıcaklık ölçümü cihazları, yağ analizörü, termal izleme sistemleri, ultrasonik hava kaçak dedektörü, dinamik tabanlı makinelerin hareketinin statik olarak görünmesini sağlayan stroboskop cihazları ve online izleme sistemleri kullanılarak çalışma koşulları takip edilir. Bu sistemlerden elde edilen veriler kullanılarak, çeşitli tahmin ve optimizasyon yazılımlarıyla arıza olasılığına ilişkin durum tahminleri yapılabilmektedir. Bir makineye monte edilmiş vibrasyon ölçerden, periyodik olarak elde edilen titreşim verilerinin kayıt altına alınması ve ilişkili parametrelere bağlı olarak çeşitli tahmin metotlarıyla arıza olasılığının öngörülmesi, bir uygulama örneği olarak gösterilebilir. Proaktif anlayışı barındıran kestirimci bakım sistemleri maliyetli sistemler olup, kullanımı eğitim ve bilgi gerektirmektedir.

Açıklanan bakım stratejilerinin hangisinin bir firma için daha uygulanabilir ve gerekli olduğu, endüstri ve işletme türlerine göre farklılık arz edebilmektedir. Üretim sisteminin türü, işletmenin hedefleri, bakım sisteminin yapılandırılmasına ilişkin oluşabilecek maliyetin karşılanabilirliği, öncelikli olarak ele alınması gereken konulardır. Bu koşullar karşılandıktan sonra, işletme ihtiyaçları da dikkate alınarak ortaya konulan kriterler değerlendirilmeli, uygun bakım stratejisinin seçimi gerçekçi yöntemler kullanılarak yapılmalıdır.

3. BULANIK MANTIK

Kuruluşlarda ortaya çıkan seçim süreçlerinde, kararlara ilişkin değerlendirmeler her zaman kesin rakamlarla ifade edilemeyebilir. Karar verme problemlerinde ilgili birimlerin değerlendirilmesinde, mutlak sayısal değerler veya net yargılar kullanılamıyorsa, sözel ifadelerle başvurulmaktadır. Ayrıca bazı durumlarda, kesin değerler gerçekte karşılaşılan durumları modelleme de yetersiz kalabilmektedir. Bunun yanı sıra karar vericiler, niteliksel tahminlemelerde sayısal tahminlemelere göre daha başarılıdır [14]. Bulanık mantık ilkeleri, belirsizlikleri açıklama kabiliyeti bakımından üstünlüğüyle öne çıkmaktadır.

Bir bulanık küme, her bir elemanı 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır [15]. Zadeh [16]'e göre klasik matematiksel sistem, gerçek dünyadaki özellikle insan yargılarını içeren problemlerle uğraşırken yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliğin giderilmesi için, niteliklerin üyelik fonksiyonlarıyla ifade edildiği bulanık kümeler tanımlaması ortaya konulmuştur [17]. Bulanık küme teorisinde, her birimin değeri, 0-1 arasındadır. Başka bir ifadeyle, üyelik derecesi 0-1 arasında değerler alır. Klasik kümelerde ise bu değer ya 0'dır, ya da 1'dir.

Bulanık mantık destekli çok kriterli karar verme uygulamalarında en sık kullanılan bulanık sayı yapısı, üçgensel bulanık sayılardır. Bir üçgensel bulanık sayı,

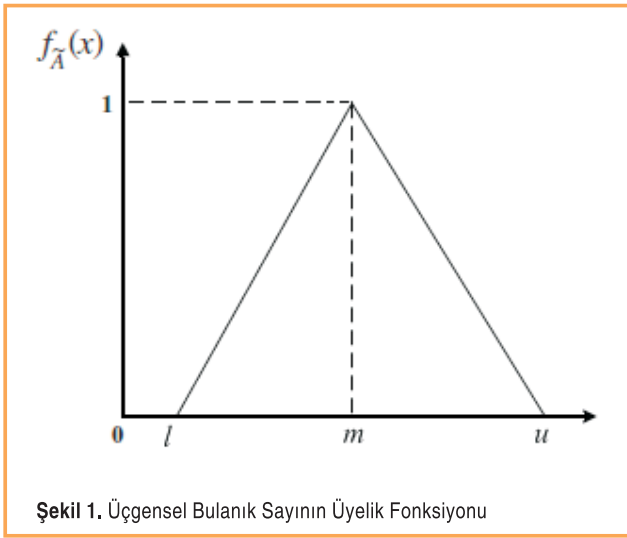
$\tilde{A}_j = (l, m, u)$ olarak ifade edilebilir. Klasik sayılar kümesinin elemanlarından olan; l, m, u değerleri arasında matematiksel olarak, $l < m < u$ ilişkisi mevcuttur. \tilde{A} bulanık sayısının üyelik fonksiyonu (1) numaralı eşitlik setinde olduğu gibi ifade edilmektedir.

$$f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ (x-l) / (m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x) / (u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (1)$$

Bakım stratejisi seçiminde kullanılacak olan değerlendirme kriterlerinin, önem derecelerinin belirlenmesi aşamasında

kullanılacak sözel ifadeler ve karşılığı olan bulanık üçgensel sayılar Tablo 1'de verilmiştir. Alternatiflerinin değerlendirilmesinde dikkate alınacak olan sözel ifadeler ve bunların karşılığı olan bulanık üçgensel sayılar ise Tablo 2'de gösterilmiştir [20, 21].

Literatür incelediğinde, bulanık mantık teorisinin farklı çok kriterli karar verme metodlarıyla birlikte, çeşitli problemlerin çözümünde kullanıldığı görülmektedir [7, 10, 13, 14, 15, 17, 22].



Şekil 1. Üçgensel Bulanık Sayının Üyelik Fonksiyonu

4. TOPSIS METODU

TOPSIS metodu, Hwang ve Yoon [18] tarafından çok kriterli karar verme tekniği olarak geliştirilmiştir. Karar alternatiflerinin ideal çözüme yakınlığı ve negatif ideal çözüme uzaklıklarını dikkate alan, sade ve kolay anlaşılır bir karar verme tekniğidir.

Çözüme başlarken, çok kriterli karar verme probleminin tanımlanmasının ardından, alternatifler ve dikkate alınacak kriterler belirlenir. Satırlarında alternatifler, sütunlarında ise değerlendirme kriterleri yer alan karar matrisi oluşturulur. A karar matrisindeki a_{ij} , i alternatifinin j kriterine göre değerini temsil etmektedir. (2) numaralı ifadede karar matrisi

görülmektedir. Matristeki m, karar noktası sayısını, n ise değerlendirme kriteri sayısını ifade etmektedir. A matrisinin elemanları kullanılarak (3) numaralı denklem yardımıyla normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur. Değerlendirme kriterlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) ile normalize edilmiş karar matrisinin elemanları çarpılarak, ağırlıklandırılmış standart karar matrisi (v) elde edilir. v matrisi (4) numaralı ifadeyle gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra, ideal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulmasına geçilir.

$$A = \begin{matrix} \text{Alternatif -1} \\ \text{Alternatif -2} \\ \text{Alternatif -} \\ \text{Alternatif -} \\ \text{Alternatif -} \\ \text{Alternatif -m} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

$$v_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

İdeal çözüm setlerinin oluşturulabilmesi için ağırlıklandırılmış standart karar matrisindeki sütun değerlerinin en

Tablo 1. Kriterlerin Ağırlıklandırılmasında Kullanılan Sözel İfadeler

Sözel İfade	Çok Düşük (CD)	Düşük (D)	Orta Derecede (OD)	Yüksek (Y)	Oldukça Yüksek (OY)
Bulanık Sayı	(0,00; 0,00; 0,25)	(0,00; 0,25; 0,50)	(0,25; 0,50; 0,75)	(0,50; 0,75; 1,00)	(0,75; 1,00; 1,00)

Tablo 2. Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel İfadeler

Sözel İfade	Çok Zayıf (CZ)	Zayıf (Z)	Normal Düzeyde (ND)	İyi (I)	Çok İyi (CI)
Bulanık Sayı	(0; 0; 2,5)	(0; 2,5; 5,0)	(2,5; 5, 0; 7,5)	(5; 7,5; 10)	(7,5; 10; 10)

büyükleri seçilir. Değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise (örneğin, maliyet vb. gibi) en küçüğü dikkate alınır. (5) ve (6) numaralı denklemlerde I' , fayda sağlayacak kriter olarak ifade edilirken, I'' ise negatif fayda sağlayacak kriter olarak ifade edilebilir. Bu aşamadan sonra, öklidyen uzaklık dikkate alınarak ayırım ölçüleri hesaplanır. Her bir alternatifin ideal çözümden ne kadar sapma gösterdiğini ifade eden D_i^* değeri (7) numaralı eşitlikle ifade edilmiştir. Negatif ideal çözüme ilişkin D_i^- değeri de (8) numaralı eşitlikle gösterilmiştir.

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_i^*\} = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \quad (5)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_i^-\} = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \quad (6)$$

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2} \quad j=1,2,3,\dots,J. \quad (7)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad j=1,2,3,\dots,J. \quad (8)$$

Yöntemin son adımında ise her bir karar alternatifinin, ideal çözüme göreceli yakınlığı hesaplanır. CC_i^* , 0 ile 1 arasında değerler alabilmektedir. En yüksek CC_i^* değerine sahip alternatif, ideal çözüme en yakın, bir başka ifadeyle karar probleminin en uygun çözümü olarak karşımıza çıkmaktadır [19].

$$CC_i^* = \frac{D_j^-}{D_j^- + D_j^*} \quad j=1,2,3,\dots,J. \quad (9)$$

TOPSIS yönteminin ilk uygulanişından itibaren, araştırmacılar tarafından farklı alanlardaki karar verme problemlerinin çözümünde kullanıldığı görölmektedir. Kullanıldığı alanlara örnek olarak; yazılım seçimi [23], performans ölçümü [24], hizmet kalitesi değerlendirmesi [25], robot seçimi [26], makine seçimi [27, 28], malzeme seçimi [29], fabrika yeri seçimi [30], tedarikçi seçimi [31], katı atık depolama sahası uygunluk analizi [32] verilebilir.

5. UYGULAMA

Bu çalışmada, imalat sektöründe faaliyet gösteren, yurt içi ve yurt dışındaki birçok marka için aspiratör ve davlumbaz üreten bir fabrikanın, bakım stratejisinin seçimi yapılmıştır. İmalat müdürü, bakım şefi ve akademisyenlerden oluşan karar verme grubu kurularak, literatürdeki bilgiler ışığında

bakım stratejisine ilişkin alternatifler ve dikkate alınacak kriterler değerlendirilmiştir. Önleyici, düzeltici, durum tabanlı bakım ve kestirimci bakım olmak üzere dört farklı bakım stratejisi alternatifi göz önünde bulundurulmuştur.

Bakım stratejisinin seçimi kapsamında, literatürde sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bevilacqua ve Braglia (2000) gerçekleştirdikleri çalışmada, önleyici, düzeltici, durum tabanlı, fırsatçı ve kestirimci bakım adı altında beş farklı bakım stratejisi alternatifini değerlendirilmişlerdir. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemini uygulayan araştırmacılar; personel, tesis, imaj ve ürün güvenliği, çevresel etki, üretim kayıpları, donanım, yazılım ve personel maliyeti, teknik güvenilirlik, yedek parça stok ihtiyacı, sigorta maliyeti, ürün kalitesi ve hata tanımlama gibi değerlendirme kriterlerini kullanmışlardır. Al-Najjar ve Alsyouf (2003) ise yapmış oldukları çalışmada, bakım tabanlı hata nedenlerini dikkate alarak bulanık mantık destekli bir çok kriterli karar verme metodu sunmuşlardır. Ele aldıkları problem kapsamında; yağlama, temizleme, analiz metotları, deneyim, verilerin doğruluğu gibi konularda oluşabilecek hataları dikkate alarak kurmuş oldukları modeli, kağıt fabrikası ve pompa istasyonu örneklerine uygulamışlardır.

Wang vd. (2007) ise çalışmalarında bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Çalışma kapsamında önleyici, düzeltici, durum tabanlı ve kestirimci bakım stratejilerini değerlendiren araştırmacılar, değerlendirme kriterlerini dört ana başlıkta toplamışlardır. Güvenlik ana kriteri kapsamında; personel, tesis ve çevre kriterlerini dikkate alan yazarlar, maliyet ana kriteri kapsamında ise; donanım, yazılım ve personel eğitimi maliyetlerini değerlendirmişlerdir. Katma değer ana kriteri altında; yedek parça stoku, üretim kayıpları, hata tanımlama kriterlerini irdelemişler, uygulanabilirlik ana kriteri altında ise; işçiler tarafından kabul edilebilirlik ve teknik güvenilirlik kriterlerini dikkate almışlardır. Jafari vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada, bakım stratejisinin seçimi için bulanık delphi metodunu kullanmışlardır. Önleyici, düzeltici ve durum tabanlı bakım alternatiflerini değerlendiren araştırmacılar, değerlendirme kriterleri olarak; maliyet, işçiler tarafından kabul edilebilirlik, güvenilirlik, rekabete katkı, ürün kalitesi ve stok ihtiyacı durumlarını dikkate almışlardır.

Bashiri vd. (2011) çalışmalarında, önleyici, düzeltici, durum tabanlı ve kestirimci bakım olmak üzere dört farklı bakım stratejisi alternatifi değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar; dört farklı sözel kriter, iki farklı sayısal kriter kullanarak, bulanık interaktif doğrusal atama metoduyla seçim işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sayısal kriterleri; toplam maliyet ve iki hata arasındaki zaman olarak ifade eden araştırmacılar, diğer değerlendirme kriterlerini açıklamamışlardır. Bulanık mantığı, sözel kriterlerin değerlendirmesinde kullanmışlardır. Momeni vd. (2011), bulanık TOPSIS yöntemini kullandık-

ları çalışmalarında önleyici, düzeltici, durum tabanlı, fırsatçı ve kestirimci bakım stratejilerini değerlendirmişlerdir. Değerlendirme kriterlerini, dört ana başlık altında toplamışlardır. Katma değer ana kriteri altında; ürün kalitesi, üretim kayıpları ve yedek parça stoku kriterleri, uygulanabilirlik ana kriteri altında; teknoloji ve teknik güvenilirlik kriterleri, güvenlik ana kriteri kapsamında; tesis, personel ve çevre güvenliği kriterleri ve maliyet ana kriteri altında; donanım, yazılım ve uzman çalışan maliyetleri kriterleri dikkate alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan değerlendirme kriterleri, ilgili literatür incelenerek ve firma ihtiyaçları dikkate alınarak yapılandırılmıştır. Oluşturulan değerlendirme kriterlerinin bir kısmının, sayısal olarak karşılaştırılması zor olduğundan, bulanık mantık destekli TOPSIS metodu kullanılmıştır.

5.1 Uygulama Adımları

Probleminin çözümünde kullanılacak olan modele ilişkin adımlar Şekil 2'de ifade edilmiştir.

5.1.1 Problemin Tanımlanması

İmalat sektöründe faaliyet gösteren bir firma için; oluşturulacak seçim kriterleri kapsamında; önleyici, düzeltici, durum tabanlı bakım ve kestirimci bakım olmak üzere dört farklı bakım stratejisi değerlendirilecek ve en uygun alternatif seçilecektir.

5.1.2 Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

İlgili literatürde ifade edilen değerlendirme kriterleri dikkate

alınarak ve uygulamanın gerçekleştirildiği firma ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tespit edilen ana kriterler ve alt kriterler Tablo 3'te ifade edilmiştir.

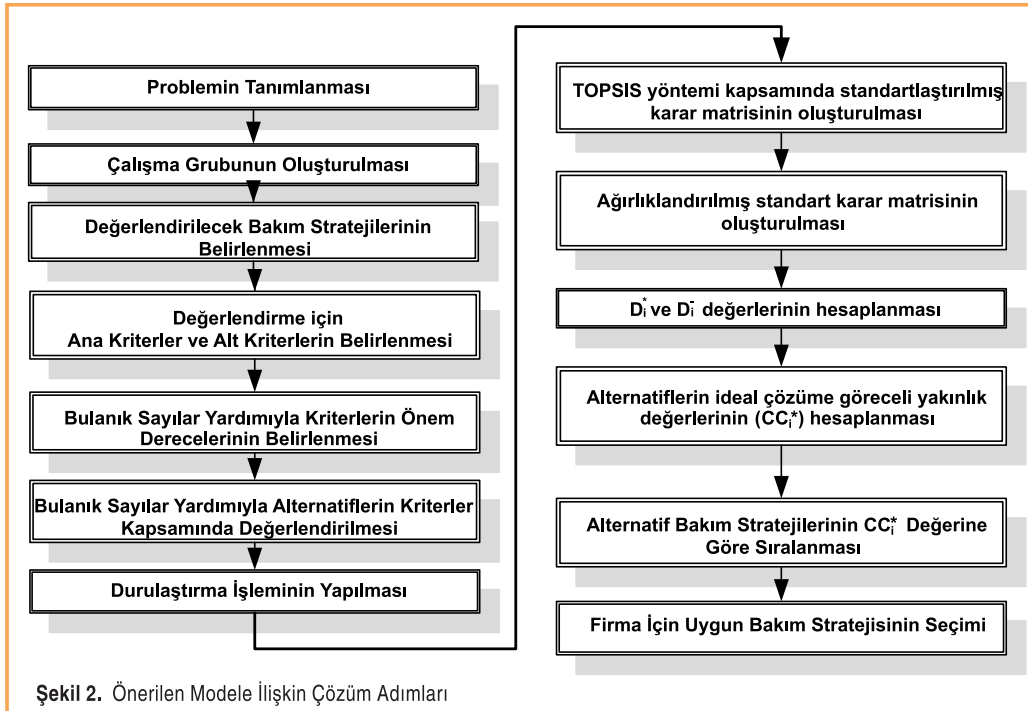
Belirlenen yirmi adet değerlendirme kriteri şu şekilde açıklanmıştır:

A. Güvenlik: Uygulanacak bakım stratejisinin; personel, tesis, ürün ve çevre güvenliği açısından durumunun sorgulanması gereklidir.

A-1. Personel Güvenliği: İşçi sağlığı ve iş güvenliği açısından bakıldığında, özellikle makinelerin ani olarak arızalanmalarının yol açabileceği ciddi hasarlar, bakımsızlık nedeniyle fark edilemeyen riskler sonucunda oluşabilecek yaralanmalar, önemli sorunlara neden olabilmektedir. Örneğin, bir döküm makinesinin pistonunda gerçekleşen arıza nedeniyle kaza oluşarak işçinin yaralanması.

A-2. Tesis Güvenliği: Birbiriyle etkileşimli parça veya makinelerin bulunduğu imalat sistemlerinde, bir parçada oluşabilecek hasar tüm makinenin arızalanmasına neden olabilmektedir. Örneğin, imalat hattında bulunan ana konveyöre ait bir rulonun korozyon sonucu hasar görmesi nedeniyle tüm sistemin arızalanması.

A-3. Ürün Güvenliği: Üretim sisteminde oluşabilecek bir arıza, imal edilen ürünlerin zarar görmesine neden olabilir. Örneğin, çimento imalatı yapan bir firmada elevatörün çökmesi, üretilen ürünlerin hasar almasına neden olabilir. Otomobil üretimi yapan bir işletmedeki üretim hattında bir



Tablo 3. Bakım Stratejisi Seçiminde Kullanılacak Değerlendirme Kriterleri

Ana Kriter	Alt Kriter
A. Güvenlik	Personel Güvenliği
	Tesis Güvenliği
	Ürün Güvenliği
	Çevresel Güvenlik
B. Katma Değer	Yedek Parça Stoku
	Üretim Kayıpları
	Ürün Kalitesi
	Hata Tanımlama
C. Maliyet	Donanım Maliyeti
	Yazılım Maliyeti
	Eğitim Maliyeti
	Sigorta Maliyeti
	Uzman Çalışan Maliyeti
D. Uygulanabilirlik	Kabul Görme
	Teknik Güvenilirlik
	Teknoloji İhtiyacı
E. Diğer	Sektörel Deneyim Durumu
	Genel Deneyim Durumu
	Arızalar Arası Süre
	Bakım Süresi

kaynak robotunun arızalanarak aşağı yönlü bir hareketi, üretilen araca zarar verebilir.

A-4. Çevresel Güvenlik: Uygulanacak bakım stratejisi çevre için en düşük oranda tehlike arz etmeli, mümkünse çevreye hiç zarar vermemelidir. Bir imalat işletmesinde elektrik kontağı nedeniyle yangın oluşumu sonucu çevreye verilen zarar ya da tekstil boyama işlemi yapan bir tesiste, biyolojik arıtma sisteminin arızalanması neticesinde tehlikeli atıkların kanalizasyona karışması, bakımsızlık nedeniyle ortaya çıkabilecek çevresel problemlere örnek olarak verilebilir.

B. Katma Değer: Bakım stratejisi ve buna bağlı olarak oluşturulacak sistemin; düşük seviyede yedek parça stokunu öngörmesi, üretim kayıplarının azlığı, ürün kalitesinin düşmemesi, hataların hızlı ve önceden tanımlanabilmesi gibi faydalar sağlaması halinde, tercih edilme oranı yüksek olacaktır.

B-1. Yedek Parça Stoku: Genellikle düzeltici bakım stratejisi, daha fazla yedek parça stokunun bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır. Bazı makinelere ait parçaların yedeğinin

tutulması, maliyet açısından negatif bir durum oluşturulabilmektedir [7].

B-2. Üretim Kayıpları: Özellikle kritik konumdaki makine ve ekipmanın bozulması, imalatın aksamasına neden olabilmektedir. Akış tipi imalat yapan firmalarda, hattın durması söz konusu olursa, kayıplar çok daha ciddi boyutlarda gerçekleşebilir.

B-3. Ürün Kalitesi: Ekipmanda oluşabilecek bir hata, imal edilen veya edilmiş ürüne zarar verebilir. Makinelerin güvenilirlik değerleri yüksek tutularak, ürün kalitesinin negatif yönde etkilenmesi önlenmelidir [10].

B-4. Hata Tanımlama: Oluşabilecek arızaların önceden tanımlanması, durum tabanlı bakım ve kestirimci bakım stratejilerinde mümkün olabilmektedir. Bu sayede, imalat sisteminin sürdürülebilirliği artırılarak, özellikle duruşlar sonucu oluşan kayıplar ciddi şekilde azaltılabilmektedir.

C. Maliyet: Bakım stratejisine ait; donanım, yazılım, eğitim, sigorta ve uzman çalışan maliyeti, karar verme aşamasında önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

C-1. Donanım Maliyeti: Uygulanacak bakım stratejisinin donanımsal maliyeti önemlidir. Kestirimci bakım ve durum tabanlı bakım stratejilerinin donanım maliyeti, diğerlerine nazaran daha yüksek olmaktadır [7].

C-2. Yazılım Maliyeti: Ölçülen parametrelere ilişkin verilerin analiz edilmesi için yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle kestirimci ve durum tabanlı bakım kullanıldığında yazılım maliyetleri ortaya çıkmaktadır [7].

C-3. Eğitim Maliyeti: Seçilen stratejinin uygulanması kapsamında, bakım sisteminin yapısına göre farklı seviyelerdeki personel, çeşitli eğitimlere tabi tutulmalıdır.

C-4. Sigorta Maliyeti: Özellikle kapsamlı donanım gerektiren bakım stratejilerinin uygulandığı durumlarda önemli bir maliyet unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Büyük tesislerde daha fazla sayıda bakım donanımı gerekeğinden, sigorta maliyeti artacaktır.

C-5. Uzman Çalışan Maliyeti: Uygulanan bakım stratejisine ve sektöre göre değişmekle birlikte, genellikle kestirimci ve durum tabanlı bakımda, uzman çalışan istihdamı söz konusu olabilmektedir.

D. Uygulanabilirlik: Teknik güvenilirlik, çalışanlar tarafından kabul görme ve teknoloji ihtiyacı, bakım stratejisinin uygulanabilirliği açısından önemli kriterlerdir.

D-1. Kabul Görme: Yöneticiler ve çalışanlar, kolay anlaşılabilir, mümkün olduğunca sorunsuz adapte edilebilen, uygulanması güç olmayan stratejileri tercih etmektedirler [7].

D-2. Teknik Güvenilirlik: Geliştirilme süreçleri devam eden,

durum bazlı ve kestirimci bakım, bazı karmaşık imalat tesisleri için uygulamada zorluklar ortaya çıkarabilir [7].

D-3. Teknoloji İhtiyacı: Seçilen stratejinin uygulanması esnasında, strateji türü ve imalat yapısına bağlı olarak, teknoloji ve know-how gereksinimi önemli bir değerlendirme kriteridir.

E. Diğer: Sektörel ve genel deneyim durumu, arızalar arasındaki ortalama süre, bakım esnasındaki ortalama süre gibi faktörler, bakım stratejisinin seçiminde dikkate alınmalıdır.

E-1. Sektörel Deneyim Durumu: Seçilen bakım stratejisinin aynı veya benzeri sektörlerde olumlu sonuçlar vermiş olması önemlidir.

E-2. Genel Deneyim Durumu: Uygulanacak stratejinin farklı sektörlerdeki durumu da göz önünde bulundurularak, genel olarak nasıl bir konumda olduğu dikkate alınmalıdır.

E-3. Arızalar Arası Süre: Seçilen strateji kapsamında geçmiş tecrübelerle, örnek olaylarla ve literatürdeki bilgilerle edinilmiş, iki arıza arasında geçen ortalama süre dikkate alınmalıdır.

E-4. Bakım Süresi: Arıza gerçekleştiğinde veya daha öncesinde yapılan bakım faaliyetlerine ilişkin süre önemlidir. Arızanın tahmin edilebildiği bakım stratejilerinde, bu süre genellikle daha düşük olmaktadır.

5.1.3 Bulanık Sayılar Yardımıyla Kriterlerin Önem Derecelerinin Belirlenmesi ve Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Değerlendirme kriterlerinin bulanık ortamda ağırlıklandırılmasının ve alternatiflerin bulanık değerlendirilmelerinin gerçekleştirildiği aşamadır. Kriterlerin bulanık ortamda ağırlıklandırılması ve alternatiflerin belirtilen kriterler kapsamındaki değerlendirmeleri için Tablo 1 ve 2'deki sözel ifadeler ile buna karşılık gelen üçgensel sayılar kullanılmıştır. Karar verici grup içerisindeki her bir uzmanın kriterler kapsamındaki bulanık değerlendirmeleri alınarak, alternatiflerin genel bulanık değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. Her bir uzmanın değerlendirmelerine ilişkin üçgensel bulanık sayılar, (10) ve (11) numaralı eşitliklerle grup kararına dönüştürülmüştür.

$$\tilde{w}_{ij} = 1/t \left[\sum_{u=1}^t \tilde{w}_{ij}^u \right] \quad (10)$$

$$\tilde{x}_{ij} = 1/t \left[\sum_{u=1}^t \tilde{x}_{ij}^u \right] \quad (11)$$

Tablo 4. Değerlendirme Kriterlerinin Bulanık Ağırlıkları

Değerlendirme Kriteri	Üçgensel Bulanık Sayı ile İfade Edilen Kriter Ağırlığı		
Personel Güvenliği	0,500	0,750	1,000
Tesis Güvenliği	0,417	0,667	0,917
Ürün Güvenliği	0,333	0,583	0,833
Çevresel Güvenlik	0,333	0,583	0,833
Yedek Parça Stoku	0,167	0,417	0,667
Üretim Kayıpları	0,500	0,750	1,000
Ürün Kalitesi	0,500	0,750	1,000
Hata Tanımlama	0,083	0,250	0,500
Donanım Maliyeti	0,333	0,583	0,833
Yazılım Maliyeti	0,417	0,667	0,917
Eğitim Maliyeti	0,333	0,583	0,833
Sigorta Maliyeti	0,083	0,250	0,500
Uzman Çalışan Maliyeti	0,333	0,583	0,833
Kabul Görme	0,167	0,417	0,667
Teknik Güvenilirlik	0,250	0,500	0,750
Teknoloji İhtiyacı	0,333	0,583	0,833
Sektörel Deneyim Durumu	0,417	0,667	0,917
Genel Deneyim Durumu	0,500	0,750	0,917
Arızalar Arası Süre	0,500	0,750	0,917
Bakım Süresi	0,333	0,583	0,833

Tablo 4'te kriterlerin bulanık ağırlıkları, Tablo 5'te ise alternatifler için bulanık değerlendirme matrisi gösterilmiştir. Tablo 5'te görüldüğü üzere, maliyet ana kriterinin kapsadığı alt kriterlerin sözel olarak değerlendirilmesine gerek olmadığından, bir başka deyişle maliyet değerleri sayısal olarak ifade edilebildiğinden bulanık sayılarla değerlendirme yapılmamıştır. Maliyet ana kriteri altındaki değerlendirme kriterlerinin, her bir bakım stratejisi alternatifi için hesaplanan sayısal değerleri, izleyen adımlarda kullanılacak TOPSIS yönteminde veri olarak kullanılmıştır.

5.1.4 Durulaştırma İşleminin Yapılması

Bulanık mantık ile çözüm süreçlerindeki temel aşamalardan biri de durulaştırmadır [38]. Yapılan çalışmada durulaştırma işlemi için, ilgili literatürde sıklıkla rastlanan, ağırlıklı ortalama değeri kullanılmıştır [35, 36, 37]. $\tilde{A} = (l, m, u)$ olarak ifade edilen bulanık üçgensel sayının, ağırlıklı ortalama ile durulaştırma işlemi için (12) nolu eşitlikte verilen denklem uygulanmıştır. Durulaştırma işlemiyle, bulanık üçgensel sayılarla alınan uzman görüşleri, TOPSIS yönteminde kullanılmak üzere tek bir sayıyla ifade edilen klasik hâle çevrilmiştir.

Tablo 5. Bakım Stratejilerine Ait Bulanık Değerlendirme Matrisi

	Önleyici Bakım			Düzeltilici Bakım			Durum Tabanlı Bakım			Kestirimci Bakım		
Personel Güvenliği	2,50	5,00	7,50	0,00	0,83	3,33	6,67	9,17	10,00	7,50	10,00	10,00
Tesis Güvenliği	2,50	4,17	6,67	0,00	1,67	4,17	5,83	8,33	10,00	5,83	8,33	10,00
Ürün Güvenliği	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00
Çevresel Güvenlik	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00
Yedek Parça Stoku	2,50	5,00	7,50	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
Üretim Kayıpları	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
Ürün Kalitesi	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00
Hata Tanımlama	0,83	3,33	5,83	0,00	1,67	4,17	5,83	8,33	10,00	7,50	10,00	10,00
Kabul Görme	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	0,00	1,67	4,17
Teknik Güvenilirlik	4,17	6,67	9,17	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
Teknoloji İhtiyacı	5,00	7,50	10,00	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	0,00	1,67	4,17
Sektörel Deneyim Durumu	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
Genel Deneyim Durumu	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	1,67	4,17	6,67	1,67	4,17	6,67
Arızalar Arası Süre	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	7,50	10,00	10,00
Bakım Süresi	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00

Tablo 6. Bakım Stratejilerinin Değerlendirilmesine İlişkin Önem Ağırlıkları

Değerlendirme Kriterleri	Kriterin Önem Ağırlığı	Değerlendirme Kriterleri	Kriterin Önem Ağırlığı
Personel Güvenliği	0,064	Eğitim Maliyeti	0,050
Tesis Güvenliği	0,057	Sigorta Maliyeti	0,023
Ürün Güvenliği	0,050	Uzman Çalışan Maliyeti	0,050
Çevresel Güvenlik	0,050	Kabul Görme	0,036
Yedek Parça Stoku	0,036	Teknik Güvenilirlik	0,043
Üretim Kayıpları	0,064	Teknoloji İhtiyacı	0,050
Ürün Kalitesi	0,064	Sektörel Deneyim Durumu	0,057
Hata Tanımlama	0,023	Genel Deneyim Durumu	0,063
Donanım Maliyeti	0,050	Arızalar Arası Süre	0,063
Yazılım Maliyeti	0,057	Bakım Süresi	0,050

$$P(\tilde{A}) = A = (l + 4m + u)/6 \quad (12)$$

5.1.5 Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının İfade Edilmesi

Bakım stratejilerinin değerlendirmesinde kullanılacak

kriterlerin, toplam ağırlıklar 1'e eşit olacak şekilde normalize edilmiş önem ağırlıkları, Tablo 6'da ifade edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, TOPSIS yöntemiyle uygun bakım stratejisinin seçimi gerçekleştirilecektir.

5.1.6 Bakım Stratejilerinin Değerlendirilmesi

Bakım stratejilerine ilişkin alternatiflerin kriterler

Tablo 7. Farklı Bakım Stratejileri İçin Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Sapma Değerleri

Strateji Seçenekleri	Değerlendirme Kriterleri										
	Personel Güvenliği	Tesis Güvenliği	Ürün Güvenliği	Çevresel Güvenlik	Yedek Parça Stoku	Üretim Kayıpları	Ürün Kalitesi	Hata Tanımlama	Donanım Maliyeti	Yazılım Maliyeti	Eğitim Maliyeti
Önleyici Bakım	0,023	0,020	0,020	0,023	0,011	0,031	0,030	0,006	0,034	0,031	0,026
Düzeltilici Bakım	0,005	0,008	0,007	0,007	0,025	0,009	0,009	0,003	0,034	0,046	0,039
Durum Tabanlı Bakım	0,041	0,037	0,030	0,030	0,016	0,039	0,038	0,014	0,012	0,011	0,013
Kestirimci Bakım	0,044	0,037	0,033	0,032	0,016	0,039	0,042	0,016	0,008	0,007	0,013
Kriter Ağırlıkları	0,064	0,057	0,050	0,050	0,036	0,064	0,064	0,023	0,050	0,057	0,050

Tablo 7 (Devamı). Farklı Bakım Stratejileri İçin Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Sapma Değerleri

Strateji Seçenekleri	Değerlendirme Kriterleri									Sapma Değerleri	
	Sigorta Maliyeti	Uzman Çalışan Maliyeti	Kabul Görme	Teknik Güvenilirlik	Teknoloji İhtiyacı	Sektörel Deneyim Durumu	Genel Deneyim Durumu	Arızalar Arası Süre	Bakım Süresi	D_i^+	D_i^-
Önleyici Bakım	0,013	0,035	0,024	0,023	0,038	0,032	0,040	0,024	0,020	0,050	0,085
Düzeltilici Bakım	0,013	0,035	0,024	0,006	0,030	0,012	0,014	0,009	0,007	0,097	0,070
Durum Tabanlı Bakım	0,009	0,002	0,008	0,025	0,009	0,032	0,033	0,036	0,030	0,070	0,086
Kestirimci Bakım	0,009	0,002	0,006	0,025	0,009	0,032	0,033	0,046	0,033	0,073	0,095
Kriter Ağırlıkları	0,023	0,050	0,036	0,043	0,050	0,057	0,063	0,063	0,050		

Tablo 8. İdeal Çözüme Yakınlık Değerlerine Göre Alternatiflerin Sıralanması

Tercih Sırası	1	2	3	4
Bakım Stratejisi	Önleyici Bakım	Kestirimci Bakım	Durum Tabanlı Bakım	Düzeltilici Bakım
CC_i	0,625	0,565	0,554	0,422

kapsamındaki değerleri dikkate alınarak, tüm seçenekler için ağırlıklandırılmış standart karar matrisleri oluşturulmuştur (Tablo 7). Seçim kriterlerinden maliyetli tabanlı olanların dışındakiler fayda esaslı düşünülerek değerlendirilmiş pozitif yönde kriterler olmakla birlikte, maliyet kriterleri gibi negatif yönde kriterlerin de tersleri alınarak, karar matrisi pozitif yönlü oluşturulmuştur.

Dördüncü bölümde açıklanan TOPSIS yönteminin adımları uygulanarak, bakım stratejisi alternatiflerinin ideal

çözümlerden sapma değerleri ve ideal çözüme göreceli yakınlıkları hesaplanmıştır. Göreceli yakınlık değerleri en yüksek olan alternatifler, en uygun çözümler olarak nitelendirilmiştir.

5.1.7 Seçilen Bakım Stratejisinin İfade Edilmesi

Yapılan analizler sonucunda, ideal çözüme yakınlık değeri en yüksek olan bakım stratejisi alternatifi, “önleyici bakım” olmuştur. Değerlendirilen bakım stratejilerine ilişkin tercih sıralaması, Tablo 8’de ifade edilmiştir.

6. SONUÇ

İmalat endüstrisinde rekabetin giderek artması neticesinde işletmeler, tesis, makine ve ekipmanlarını, bir başka ifadeyle varlıklarını korumaya daha fazla önem vermeye başlamışlardır. İşletme için uygun bakım stratejisinin seçimi, klasik bir çok kriterli karar verme problemidir. Yapılan çalışmada, seçim sürecinde maliyetler gibi sayısal değerlerin dikkate alınmasının yanı sıra; ürün kalitesine etki, güvenlik, kabul görme, güvenilirlik gibi sayısal olarak net biçimde ifade edilmesi zor olan kriterlerin değerlendirilmesinde bulanık mantığa başvurulmuştur. Ele alınan kriterler kapsamında, TOPSIS yöntemiyle bakım stratejisi seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın yapıldığı firma için en uygun bakım stratejisi alternatifinin, önleyici bakım stratejisi olduğu görülmektedir. Değerlendirme aşamasında, durum tabanlı bakım ve kestirimci bakım alternatifleri, özellikle güvenlik tabanlı kriterler açısından iyi puanlar elde etmiş olsalar da bu sistemlerin maliyetlerinin şu an için firma tarafından fazla olarak nitelendirildiği görülmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, farklı değerlendirme kriterleri seçim sürecine katılabileceği gibi, bakım stratejilerine ilişkin alternatifler de arttırılabilir. Ayrıca TOPSIS yöntemi dışında farklı karar verme metodları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

SEMBOLLER

A	Karar matrisi
\tilde{A}	Bulanık sayı
A^*	İdeal çözüm seti
A^-	Negatif ideal çözüm seti
CC_i^*	İdeal çözüme göreceli yakınlık değeri
D_i^*	İdeal ayırım ölçüsü
D_i^-	Negatif ideal ayırım ölçüsü
I'	Fayda sağlayacak kriter
I''	Negatif fayda sağlayacak kriter
l	Üçgensel bulanık sayısının alt değeri
m	Üçgensel bulanık sayısının orta değeri
$P(\tilde{A})$	Bulanık sayının durulaştırılması
r_{ij}	Standart karar matrisi elemanının değeri
u	Üçgensel bulanık sayısının orta değeri
v	Ağırlıklandırılmış standart karar matrisi
w_i	Değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları
\tilde{W}_{ij}	Kriter ağırlıklarına ilişkin grup kararı
\tilde{x}_{ij}	Alternatiflerin değerlendirilmesine ilişkin grup kararı

KAYNAKÇA

1. **Monks, J. G.** 1996. İşlemler Yönetimi, Schaum's Outline Series, (İkinci Basımdan Çeviren: Sevinç Üreten), Nobel Yayıncılık, Ankara.
2. **HajShirmohammadi, A., Wedley, W.C.** 2005. "Maintenance Management - An AHP Application for Centralization/ Decentralization," Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 10, no.1, p. 16-25.
3. **Kobu, B.** 2003. Üretim Yönetimi, 11.Baskı, Avcıol Basım Yayın, İstanbul.
4. **Köksal, M.** 2007. Bakım Planlaması, Seçkin Yayıncılık, İstanbul.
5. **Bevilacqua, M., Braglia, M.** 2000. "The Analytic Hierarchy Process Applied to Maintenance Strategy Selection," Reliability Engineering and System Safety, vol. 70, no. 2, p.71-83.
6. **Stevenson, W. J.** 2009. Operations Management, 10th Edition. McGraw-Hill, USA.
7. **Wang, L., Chu, J., Wu, J.** 2007. "Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process," International Journal of Production Economics, vol. 107, p. 151-163.
8. **Orhan, İ., Karakoç, H.** 2010. "Bakım Yönetim Süreçleri ve Etkinliğinin Değerlendirilmesi," MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt. 51, sayı. 607, s. 33-38.
9. **Çağlar, E.** 2009. "Bakım Yönetim Teknikleri ve Otomasyon Sistemleri ile Etkileşimleri," MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt. 50, sayı. 598, s. 72-75.
10. **Momeni, M., Fathi, M. R., Zarchi, M. K, Azizollahi, S.** 2011. "A Fuzzy TOPSIS-Based Approach to Maintenance Strategy Selection: A Case Study," Middle-East Journal of Scientific Research, col. 8, no. 3, p. 699-706.
11. **Gandhare, B. S, Akarte, M.** 2012. "Maintenance Strategy Selection," 9th AIMS International Conference on Management Proceedings, p. 1330-1336.
12. **Marquea, A. C.** 2007. The Maintenance Management Framework- Models and Methods for Complex Systems Maintenance, Springer, London.
13. **Al-Najjar, B., Alsayouf, I.** 2003. "Selecting the Most Efficient Maintenance Approach Using Fuzzy Multiple Criteria Decision Making," International Journal of Production Economics, vol. 84, p. 85-100.
14. **Kulak, O., Kahraman, C.** 2005. "Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and AHP," Information Sciences, cilt. 170, no. 2-4, p. 191-210.
15. **Akman, G., Alkan, A.** 2006. "Tedarik Zinciri Yönetiminde

- Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama,” İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, cilt 5, no 9, s. 23-46.
16. **Zadeh, L. A.** 1965. “Fuzzy Sets,” *Information and Control*, vol. 8, p. 338-353.
 17. **Öztürk A., Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N.** 2008. “Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması,” *Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi*, cilt. 15, No. 2, s.785-824.
 18. **Hwang, C.L., Yoon, K.** 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*, Springer Publications, Berlin.
 19. **Opricovic, S., Tzeng, G.** 2004. “Compromise solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS,” *European Journal of Operational Research*, vol. 156, p. 445-455.
 20. **Chen, L.Y., Wang T.** 2009. “Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Process: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR,” *Int. Journal of Production Economics*, vol. 120, No 1, p. 233-242.
 21. **Chen, S.J., Huang, G.H.** 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. Springer, New York.
 22. **Karadoğan, A., Başçetin, A., Kahriman, A., Görgün, S.** 2001. “Bulanık Küme Teorisinin Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Kullanılabilirliği,” 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s. 95-102.
 23. **Başlıgil, H.** 2005. “The Fuzzy Analytic Hierarchy Process For Software Selection Problems,” *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, sayı. 2005-3, s. 24-33.
 24. **Yurdakul, M., İç, Y.T.** 2003. “Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik TOPSIS Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 18, sayı 1, s. 1-18.
 25. **Ustasüleyman, T.** 2009. “Bankacılık Sektöründe Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi: AHS-TOPSIS Yöntemi,” *Bankacılar Dergisi*, sayı. 69, s. 33-43.
 26. **Chu, T. C., Lin, Y. C.** 2003. “A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 21, p. 284-290.
 27. **Yurdakul, M., İç, Y.T.** 2009. “Analysis of The Benefit Generated By Using Fuzzy Numbers in a TOPSIS Model Developed for Machine Tool Selection Problems,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, p. 310-317.
 28. **Athawale, V.M., Chakraborty, S.** 2010. “A TOPSIS Method-based Approach to Machine Tool Selection,” *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (www.iiom.org/paper/124%20Chakraborty.pdf, Erişim Tarihi: 13.06.2011)
 29. **Shanian, A., Savadogo, O.** 2006. “TOPSIS Multiple-Criteria Decision Support Analysis for Material Selection of Metallic Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Fuel Cell,” *Journal of Power Sources*, vol.159, p. 1095-1104.
 30. **Chu, T. C.** 2002. “Facility Location Selection Using Fuzzy TOPSIS Under Group Decisions,” *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 10, p. 687-701.
 31. **Shahanaghi, K., Yazdian, S.A.** 2009. “Vendor Selection Using a New Fuzzy Group TOPSIS Approach,” *Journal of Uncertain Systems*, vol. 3, no. 3, p. 221-231.
 32. **Baysal, G., Tecim, V.,** 2006. “Katı Atık Depolama Sahası Uygunluk Analizinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Yöntemleriyle Uygulanması,” 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 1-8.
 33. **Jafari, A., Jafarian, M., Zareei, A., Zaerpour, F.** 2008. “Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem,” *Journal of Uncertain Systems* vol. 2, no. 4, p. 289-298.
 34. **Bashiri, M., Badri, H., Hejazi, T. H.** 2011. “Selecting Optimum Maintenance Strategy by Fuzzy Interactive Linearassignment Method,” *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 35, p. 152-164.
 35. **İnce, Ö.** 2007. “Selection of an ERP Software System by Using Fuzzy VIKOR,” *Information Sciences 2007- Proceedings of the 10th Joint Conference*, Salt Lake City, Utah, USA.
 36. **Chen, L.Y., Wang, T.** 2009. “Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Process: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR”, *Int. Journal of Production Economics*, Cilt 120, No 1, p. 233-242.
 37. **Yavuz, M.** 2010. “Fuzzy Inventory Management”, *Production Engineering and Management under Fuzziness Book*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 25-38.
 38. **Zadeh, N. H., Kalan A.** 2002. “Performance of a Self-Tuned Fuzzy-Logic Power System Stabiliser in a Multimachine System,” *Australasian Universities Power Engineering Conference*, Melbourne, Australia.