



Research Article / Araştırma Makalesi
MAINTENANCE STRATEGY SELECTION BY USING WSA AND TOPSIS
METHODS UNDER FUZZY DECISION ENVIRONMENT

Ali GÖRENER*

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Lojistik Böl., Üsküdar- İSTANBUL

Received/Geliş: 13.03.2012 Revised/Düzeltilme: 27.04.2012 Accepted/Kabul: 07.05.2012

ABSTRACT

The determination of the most suitable maintenance strategies for facilities is an important multicriteria decision making problem. In this paper, fuzzy logic supported WSA (Weighted Sum Approach) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) methodologies are proposed to make a selection among the alternative maintenance strategies. Preventive, corrective, condition-based and predictive maintenance alternatives are evaluated for a manufacturing plant. The results show that preventive maintenance strategy is preferred for this facility. The main framework of the proposed approach can be performed to any plant for selecting maintenance strategy. But, every organization has different characteristics in terms of management approach, products and operations. For this reason, in the application, specific attributes of firm should be considered attentively by implementers or managers.

Keywords: Maintenance strategies, decision making, fuzzy logic, WSA, TOPSIS.

MSC numbers/numaraları: 90B50.

BAKIM STRATEJİLERİNİN BULANIK KARAR ORTAMINDA SEÇİMİ İÇİN WSA VE TOPSIS YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

ÖZET

Tesisler için en uygun bakım stratejisinin seçimi, önemli bir çok kriterli karar verme problemidir. Bu çalışmada, alternatif bakım stratejilerinin değerlendirilmesi amacıyla bulanık mantık destekli WSA (Ağırlıklı hesaplama yaklaşımı) ve TOPSIS (İdeal çözüme benzerliğe dayalı sıralama tekniği) yöntemleri kullanılmıştır. Bir imalat tesisi için; önleyici, düzeltici, durum tabanlı ve kestirimci bakım stratejileri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, önleyici bakım stratejisinin tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Önerilen yaklaşım, herhangi bir tesis için bakım stratejisinin seçiminde uygulanabilir. Fakat, firmada gerçekleştirilen işlemler, ürünler ve yönetim yaklaşımı açısından her organizasyonun farklı karakteristiklerinin olması dolayısıyla, uygulayıcılar veya firma yöneticileri tarafından işletmeye özel kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler: Bakım stratejileri, karar verme, bulanık mantık, WSA, TOPSIS.

1. GİRİŞ

Bakım yönetimi geçmişte; “arıza oluştuğunda yapılması gereken tamirat ve yenileme işlemlerinin koordinasyonunu içeren, kaçınılması mümkün olmayan bir maliyet odağı” olarak ifade edilirken, günümüzde “tesis ve ekipmanların faydalı ömürlerinin uzatılmasını hedefleyen varlık yönetimi

* agorener@ticaret.edu.tr, tel: (216) 553 94 22 / 22 80

faaliyetlerinin planlanması ve yürütülmesi” olarak tanımlanmaktadır. Otomasyonun, makinelerin ve tesislerin karmaşıklığının artması, yapılan yatırımlara ilişkin maliyetlerin büyüklüğü göz önüne alındığında işletmeler ellerinde bulunan, üretim için kullandıkları varlıkları daha verimli kullanma yollarını aramaya başlamışlardır. Makine ve ekipmanların arızalanması ya da istenen hızda kullanılmaması; firmalar için önemli maliyet problemlerini ortaya çıkarmakta, imalat sistemindeki duruşlardan, ürünlerin teslimatının gecikmesi nedeniyle müşteri kaybına kadar bir dizi problemin oluşmasını tetikleyebilmektedir. İmalat sistemi büyüyerek karmaşık hale geldiğinde veya üretilen miktar arttıkça, bakım faaliyetlerinin önemi artmaktadır. Birden fazla sayıda işleme merkezinden 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 büyüktür. Arıza giderildikten sonra tekrar devreye girme ve normal üretim düzeyine çıkılması için önemli bir zaman kaybı söz konusu olabilmektedir [1]. Sistemin çalışma planı dışındaki duruşlar, işletme içerisindeki birçok bölümü farklı şekilde ve kötü yönde etkileyebilmektedir [2]. İmalat departmanları için, planlama ve çizelgeleme problemleri, lojistik departmanları için depolama ve nakliye problemleri oluşabilmektedir.

Günümüz endüstrisinde bakım fonksiyonu artık kaçınılmaz bir maliyet unsuru olarak görülmek yerine, karlılığa katkı sağlayan, rekabete yardımcı bir öge olarak nitelendirilmektedir. Önemi artmasına rağmen, akademik çalışmalar incelendiğinde ve üretim-işlemler yönetimi konusu ile ilgili diğer başlıklarla karşılaştırıldığında bakım stratejisinin belirlenmesi konusunun sınırlı sayıda çalışmada işlendiği görülmektedir [3]. 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 konu ilgili literatür taraması sunulmuştur. Sonrasında, imalat yapan firmalarda kullanılabilir farklı bakım stratejileri açıklanmıştır. Takip eden bölümlerde, bakım stratejisi seçiminde kullanılacak yöntemler ifade edilmiştir. Bulanık mantık kavramı, WSA ve TOPSIS yönteminin detayları sunulmuştur. Uygulama kısmında ise belirtilen yöntemlerin imalat sektöründe faaliyet gösteren bir firma için bakım stratejisi seçiminde kullanımına ilişkin hesaplamalar ve sonuç değerleri ifade edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde, bakım stratejisinin seçimi kapsamında yapılan çalışmaların göreceli olarak az sayıda olduğu ifade edilebilir. Azadivar ve Shu [4], bakım stratejisi seçimini ele aldıkları çalışmalarında; kestirimci bakım, düzeltici bakım, fırsatçı bakım, durum tabanlı bakım ve arızalar arası ortalama zamanı dikkate alan önleyici bakım stratejilerini değerlendirmişlerdir. Tam zamanında üretim sistemini kullanan bir firma düşünülerek, benzetim yöntemiyle gerçekleştirilen çalışmada değerlendirme kriterleri olarak; ürün çeşitliliği, üretim miktarı, işlemlerin karmaşıklığı, iki arıza arası ortalama zaman, kaynakların uygunluğu, bakım anında gelen talep, üretim yoğunluğu, hatalara ilişkin olasılık dağılımı, performans kısıtları, hatalar arası sürenin ve bakım sürelerinin değişkenliği, onarım araçları, talep aciliyeti, izin verilen stok büyüklüğü, önleyici-düzeltilici bakım oranı, kestirimci bakım doğruluğu gibi kriterleri kullanılmıştır. Bevilacqua ve Braglia [5] gerçekleştirdikleri çalışmada; önleyici, düzeltici, durum tabanlı, fırsatçı ve kestirimci bakım stratejisi alternatiflerini değerlendirmişlerdir. 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 stoku ihtiyacı, sigorta maliyeti, ürün kalitesi ve hata tanımlama gibi değerlendirme kriterlerini kullanmışlardır. Al-Najjar ve Alsyouf [6] ise yapmış oldukları çalışmada, bakım tabanlı hata nedenlerini dikkate alarak bulanık mantık destekli bir çok kriterli

karar verme metodu önerisi 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.

Zaeri vd. [7] çalışmalarında, bakım stratejisi seçimi için AHP ve kaba küme teorisi yöntemlerini kullanmışlardır. Önleyici, düzeltici, durum tabanlı, fırsatçı ve kestirimci bakım stratejisi alternatiflerini değerlendiren araştırmacılar, kriterleri dört ana başlık altında toplamışlardır. Katma değer ana kriteri altında; ürün kalitesi, ekipman ve personel verimliliği kriterlerini, maliyet ana kriteri altında; personel eğitimi, donanım ve yazılım maliyetleri kriterlerini, güvenlik ana kriteri altında; ekipman, personel ve çevresel güvenlik kriterlerini, uygulama yeterliliği ana kriteri altında; insan kaynakları, ekipman ve teknoloji kriterlerini değerlendirmişlerdir. Wang vd. [3] ise çalışmalarında bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Çalışma kapsamında, önleyici, düzeltici, durum tabanlı ve kestirimci bakım stratejilerini değerlendiren araştırmacılar, seçim 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. [8] 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. Dong vd. [9], düzeltici, durum tabanlı ve planlı bakım stratejilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, karar ağaçları tabanlı kanıt değerlendirme ile hata türü ve etkileri analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Dört ana başlık altında, on adet kriteri dikkate alan araştırmacılar; personel, sistem ve çevresel güvenlik, hatalar arası zaman, sistem güvenilirliği, üretim kayıpları, bakım maliyetleri, bakım zamanı, bakım zorluğu, yedek parça stoku bulundurma kriterlerini kullanmışlardır. Önerdikleri metodu, enerji tesisleri ekipmanları için uygun bakım stratejisinin seçiminde uygulamışlardır.

Bashiri vd. [10] çalışmalarında, önleyici, düzeltici, durum tabanlı ve kestirimci bakım olmak üzere dört farklı bakım stratejisi alternatifi değerlendirilmişlerdir. Araştırmacılar dört farklı sözel kriter, iki farklı sayısal kriter kullanarak, bulanık interaktif doğrusal atama metodu ile 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. [11], bulanık TOPSIS yöntemini kullandıkları 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 kriterlerini, uygulanabilirlik ana kriteri altında; teknoloji ve teknik güvenilirlik kriterlerini, güvenlik ana kriteri kapsamında; tesis, personel ve çevre güvenliği kriterlerini ve maliyet ana kriteri altında; donanım, yazılım ve uzman çalışan maliyetleri kriterlerini dikkate alınmıştır. Peng ve Wang [12]; bakım stratejisinin seçiminde, göreceli üyelik derecesi tabanlı bulanık mantık tekniği ile TOPSIS metodunu karşılaştırmışlardır. Düzeltici bakım, planlı bakım, durum tabanlı bakım stratejisi alternatiflerini değerlendiren araştırmacılar; rekabete katkı, ürün kalitesi, bakım maliyeti, uzmanlık, güvenilirlik, stok durumu, yatırımın geri dönüşü, işçilerin kabullenmesi ve teknolojik liderlik olmak üzere dokuz farklı kriteri dikkate almışlardır. Chan ve Prakash [13], imalat işletmeleri için uygun bakım stratejisinin seçimi kapsamında, bulanık mantık destekli çok kriterli karar verme metodu önermişlerdir. Hata tabanlı bakım, önleyici bakım, durum tabanlı bakım, toplam verimli bakım ve toplam kalite bakım stratejilerini değerlendiren araştırmacılar, onbir adet değerlendirme kriterini dikkate almışlardır. Yatırım maliyeti, işletme maliyeti, bakım zamanı, güvenilirlik, yeterlilik, onarım araçları, operatör yetenekleri, esneklik, verimlilik, tesis kullanımı ve kaynakların uygunluğu kriterlerini kullanmışlardır.

3. BAKIM STRATEJİLERİ

Bakım stratejisinin oluşturulması, etkin bakım yönetiminin en önemli elemanlarından birisidir. İmalat sistemlerinin sürekliliğinin sağlanması, bakım maliyetlerinin düşürülmesi, kayıpların ve yıpranmanın azaltılması vb. gibi hedefleri başarıyla gerçekleştirebilmek için, uygun bakım stratejisi belirlenmeli ve bu kapsamda öngörülen faaliyetler gerçekleştirilmelidir [14]. İşletmelerde kullanılan temel bakım stratejileri ve gerçekleştirilen faaliyetler, izleyen başlıklarda açıklanmıştır.

3.1. Önleyici Bakım

Makine ve ekipmanların, belirli bir program dahilinde, arıza oluşma şartı aranmadan yapılan inceleme, ayarlama, düzeltme, onarım, yenileme operasyonları gibi, ekipmanların kullanılabilirlik süresini arttırmaya yönelik çalışmaları kapsamaktadır [15]. Önleyici bakım, makine ve parçaların güvenilirlik ve emniyet değerlerine bağlı olarak oluşturulan bir bakım stratejisidir. Bu değerlerin tespiti, makinelerin imalat verileri ve uygulanan periyodik bakım programları sonuçları ile gerçekleştirilebilir [5]. Bu bakım stratejisi kapsamında; planlı bakımlar yapılarak, hata sıklıklarının azaltılması ve ani duruşların önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Önleyici bakım uygulaması, gelecekte ortaya çıkabilecek arızaların en aza indirilmesi için periyodik faaliyetlerin gerçekleştirilmesi esasına dayanır [16]. 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 [3].

3.2. Düzeltici Bakım

Düzeltici bakım stratejisinin temelinde, makine veya parçanın işlevini yerine getiremediği, bir başka deyişle arızalandığı zaman bakım yapılması anlayışı yer almaktadır. Makine bozulmadan, sisteme müdahale edilmez [5, 11]. 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 [17]. Genel amaçlı universal tezgahların bulunduğu atölyelerde, yedek makine ve ekipmanın hazırda bulunabildiği sistemlerde uygulamalarına rastlanmaktadır [15]. Akış tipi imalatın gerçekleştirildiği işletmelerde veya muadili olmayan ekipmanların yer aldığı ya da aynı tip makinelerin sınırlı sayıda bulunduğu imalat yapılarında bu tip bir bakım stratejisinin uygulanmasının riski oldukça fazladır.

3.3. Durum Tabanlı Bakım

Durum tabanlı bakım stratejisinde, periyodik ölçümlerle elde edilen veriler dikkate alınır. Verilerin analizi sonucunda, parça ya da makine istenilen veya olması gereken aralığın dışındaki koşullarda çalışıyorsa sisteme müdahale edilir [17]. Verilerin elde edilmesi için, uygun durum izleme sistemleri oluşturulmalıdır. Elde edilen bilgilerin yetersiz veya yanlış olması, durum tabanlı bakım uygulamalarının istenen şekilde yapılandırılmasını engelleyecektir [6]. 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 [3]. Ekipman durumunun takibini öngören bu stratejinin uygulanmasında kullanılacak sistemlerin ilk yatırım maliyeti genellikle yüksektir. Fakat etkili ve doğru bir şekilde uygulanırsa, hasar ve özellikle ani duruşlar nedeniyle ortaya çıkabilecek maliyetler oldukça azalmaktadır.

3.4. Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım stratejisinde, izleme sistemleri vasıtasıyla elde edilen bilgiler kullanılarak, parametrelere ilişkin trend eğrileri dikkate alınır ve arıza tahmin edilmeye çalışılır [3]. 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, farklı firmaların hazırladığı 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 metotları ile arıza olasılığının öngörülmesi, bir uygulama örneği olarak gösterilebilir. Proaktif anlayışı barındıran kestirimci bakım sistemleri maliyetli sistemler olup, kullanımı eğitim ve bilgi gerektirmektedir. Herhangi bir imalat sisteminin tamamı için kestirimci bakım stratejisinin uygulanmasını, maliyetin yüksekliği nedeniyle tercih etmeyen firmalar, kritik süreçlerdeki makineleri için bu stratejiyi lokal olarak uygulayabilmektedirler.

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 maliyetlerin 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.

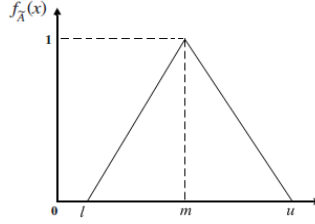
4. BULANIK MANTIK

İşletmelerde ortaya çıkan seçim süreçlerinde, kararlara ilişkin değerlendirmeler her zaman kesin rakamlarla ifade edilemeyebilir. Karar verme problemlerinde ilgili birimlerin değerlendirilmesinde, mutlak sayısal değerler kullanılamıyorsa, sözel ifadelere başvurulmaktadır. Bazı durumlarda kesin değerler, gerçekte karşılaşılan durumları modelleme de yetersiz kalabilmektedir. Ayrıca karar vericiler, niteliksel tahminlemelerde sayısal tahminlemelere göre daha başarılıdırlar [18]. Bulanık mantık ilkeleri, belirsizlikleri açıklama kabiliyeti bakımından üstünlüğü ile öne çıkmaktadır.

Bir bulanık küme, her bir elemanı 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonları ile tanımlanır [19]. Zadeh'e [20] 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 tanımlanmasını ortaya konulmuştur [21]. Klasik kümelerin aksine, üyelik derecesi 0 ya da 1 değil, 0-1 arasındadır.

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.

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



Şekil 1. Üçgensel Bulanık Sayının Üyelik Fonksiyonu

Bakım stratejisi seçiminde kullanılacak olan değerlendirme kriterlerinin, önem derecelerinin belirlenmesi aşamasında kullanılacak sözel ifadeler ve karşılığı olan bulanık üçgensel sayılar Çizelge 1’de verilmiştir. Alternatiflerinin değerlendirilmesinde dikkate alınacak olan sözel ifadeler ve bunların karşılığı olan bulanık üçgensel sayılar ise Çizelge 2’de gösterilmiştir [22, 23].

Çizelge 1. Kriterlerin Ağırlıklandırılmasında Kullanılan Sözel İfadeler

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

Çizelge 2. Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sözel İfadeler

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

Literatür incelediğinde, bulanık mantık teorisinin farklı çok kriterli karar verme metotları ile birlikte, çeşitli problemlerin çözümünde kullanıldığı görülmektedir [3, 6, 11, 18, 19, 21, 22].

5. WSA YÖNTEMİ

WSA; alternatifler kümesi içerisinde, maksimum faydayı sağlayan seçeneğin belirlenmesini hedef alan bir yöntemdir. Yöntem; normalize edilmiş kriter ağırlıkları dikkate alınarak, alternatiflerin global fayda değerinin hesaplanması esasına dayanmaktadır [24]. Uygulama şeklinin basitliği nedeniyle farklı alanlarda kullanılmış bir çok kriterli karar verme yöntemidir [25].

5.1. WSA Uygulama Adımları

1. Adım: Öncelikle karar verme problemi tanımlanır. Alternatifler ve seçim kriterleri ifade edilir.

2. Adım: Alternatiflerin, seçim kriterleri kapsamında farklı birimlerle ifade edilmiş değerleri normalize edilir. Bu işlem için, (2) numaralı denklem kullanılır.

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (2)$$

Denklemden, r_{ij} ; i alternatifinin j kriteri için normalize edilmiş değerini ifade etmektedir. D_j , kriter için taban değerini ifade ederken, H_j , ideal değeri ifade etmektedir. y_{ij} ise, normalize değerinin bulunmak istendiği, alternatif-kriter çiftini ifade etmektedir. Taban değeri, değerlendirilen kriter kapsamında alternatifler içerisindeki en kötü değerdir. İdeal değer ise, alternatifler içerisindeki en iyi değer olarak ifade edilmektedir.

3. Adım: Bu adımda her bir alternatife ilişkin fayda değeri tespit edilir. Her bir alternatife ilişkin fayda değeri; normalize edilmiş değerlerin, belirlenmiş kriter ağırlıkları ile çarpılması neticesinde bulunur. Alternatifler için fayda değeri, $u(a_i)$ olarak ifade edilmiş olup, eşitlik (3)'teki gibi hesaplanmaktadır. Eşitlikte yer alan v_j ifadesi, kriter ağırlığını simgelemektedir [24].

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j r_{ij} \quad (3)$$

4. Adım: Alternatifler fayda değerlerine göre sıralanır. En yüksek fayda değerine sahip alternatif, karar verme probleminin en uygun çözümü olarak ifade edilir [24, 26]. Belirtilen adımlar, pozitif yönlü değerlendirmeler yapıldığında, ifade edilen şekilde kullanılabilir. Negatif yönlü değerlendirmelerin yapıldığı; örneğin maliyet kriteri açısından en iyi olan alternatifin diğerlerine göre düşük rakamla ifade edildiği durumlarda, normalizasyon ve fayda değeri hesaplarında ters yönlü işlemler gerçekleştirilmelidir [27]. Bu yöntemde, çok ölçütlü değerlendirmelerin yapılabilmesi için tüm kriterlerin benzeri birimlere sahip olması veya puanlama ile değerlendirilmesi gereklidir [28].

Literatürde WSA yönteminin kullanıldığı alanlara örnek olarak; Avrupa Birliği üye ve aday ülkelerinin ekonomik aktivitelerinin değerlendirilmesi [24], elektriksel ağ sistemlerinde güvenilirlik değerlendirmesi [26], sağlık sektöründe ürün alternatiflerinin değerlendirilmesi [28] ve robot seçimi [29] verilebilir.

6. TOPSIS YÖNTEMİ

TOPSIS yöntemi, karar alternatiflerinin ideal çözüme yakınlığı ve negatif ideal çözüme uzaklıklarını dikkate alan bir karar verme tekniğidir [30].

6.1. TOPSIS Uygulama Adımları

1. Adım: Problem tanımlanır. Alternatifler ve dikkate alınacak kriterler belirlenir.

2. Adım: Satırlarında alternatifler, sütunlarında ise değerlendirme kriterleri yer alan karar matrisi oluşturulur. A karar matrisindeki a_{ij} , i alternatifinin j kriterine göre değerini temsil etmektedir. (4) numaralı ifadede karar matrisi görülmektedir. Matristeki m , karar noktası sayısını, n ise değerlendirme kriteri sayısını ifade etmektedir.

3. Adım: A matrisinin elemanları kullanılarak (5) 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 (6) numaralı ifade ile gösterilmiştir.

$$A = \begin{matrix} \text{Alternatif-1} \\ \text{Alternatif-2} \\ \text{Alternatif-} \\ \text{Alternatif-} \\ \text{Alternatif-} \\ \text{Alternatif-m} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$v_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

4. Adım: İdeal ve negatif ideal çözümler oluşturulur. İdeal çözüm setlerinin oluşturulabilmesi için ağırlıklandırılmış standart karar matrisindeki sütun değerlerinin en büyükleri seçilir. Değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise (örneğin, maliyet vb. gibi) en küçükü dikkate alınır. (7) ve (8) 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 (9) numaralı eşitlikle ifade edilmiştir. Negatif ideal çözüme ilişkin D_i^- değeri (10) numaralı eşitlikle gösterilmiştir.

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_i^*\} = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \quad (7)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_i^-\} = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \quad (8)$$

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2} \quad j=1,2,3,\dots,J. \quad (9)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad j=1,2,3,\dots,J. \quad (10)$$

5. Adım: 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 ifade ile karar probleminin en uygun çözümü olarak karşımıza çıkmaktadır [31].

$$CC_i^* = \frac{D_j^-}{D_j^- + D_j^*} \quad j=1,2,3,\dots,J. \quad (11)$$

Yöntemin kullanıldığı alanlara örnek olarak; performans ölçümü [32], hizmet kalitesi değerlendirilmesi [33], robot seçimi [34], makine seçimi [35], malzeme seçimi [36], fabrika yeri seçimi [37] ve tedarikçi seçimi [38] verilebilir.

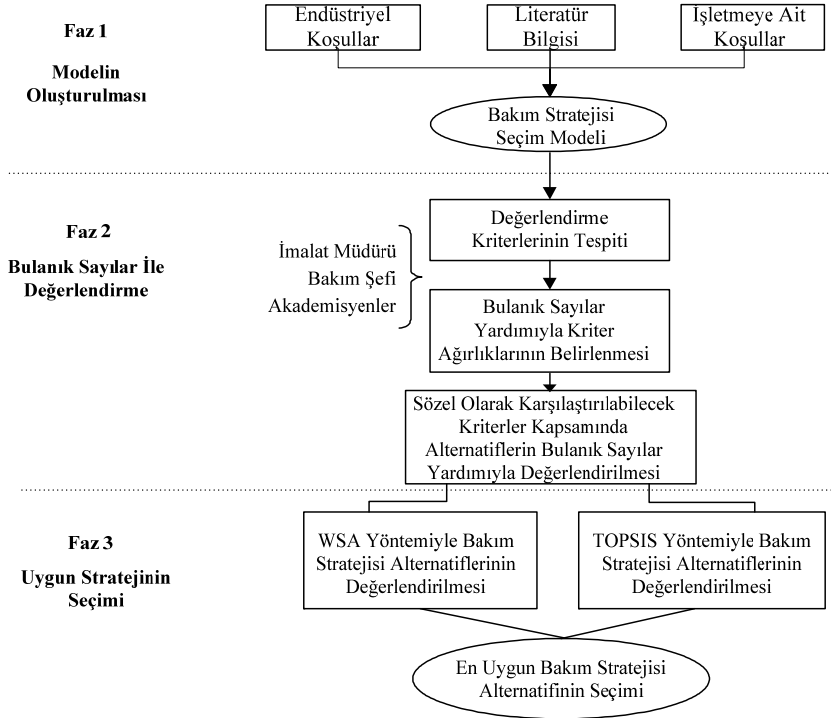
7. BAKIM STRATEJİSİ SEÇİMİ

7.1. Uygulamannın Çerçevesi

Çalışmada kapsamında, imalat sektöründe faaliyet gösteren, kendi markasının yanı sıra yurt içi ve yurt dışındaki farklı markalar için de aspiratör ve davlumbaz üreten bir imalat tesisi için, bakım stratejisinin seçimi yapılmıştır. İmalat müdürü, bakım şefi ve akademisyenlerden oluşan karar verme grubu kurularak, literatürdeki bilgiler ışığında bakım stratejisine ilişkin alternatifler ve seçim işleminde dikkate alınacak kriterler değerlendirilmiştir. Önleyici, düzeltici, durum tabanlı bakım ve kestirimci bakım olmak üzere dört farklı bakım stratejisi alternatifini göz önünde bulundurulmuştur.

7.2. Uygulama Adımları

Problemin çözümünde kullanılacak olan modele ilişkin adımlar Şekil 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Bakım Stratejisi Seçim Modeli

7.2.1. Problemin Tanımlanması

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

7.2.2. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Literatürde ifade edilen değerlendirme kriterleri dikkate alınarak ve uygulamanın gerçekleştirildiği firma ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tespit edilen ana kriterler ve alt kriterler Çizelge 3'te ifade edilmiştir.

Çizelge 3. Bakım Stratejisi Seçiminde Kullanılacak Değerlendirme Kriterleri

Ana Kriter	Alt Kriter
A. Güvenlik	A-1. Personel Güvenliği
	A-2. Tesis Güvenliği
	A-3. Ürün Güvenliği
	A-4. Çevresel Güvenlik
B. Katma Değer	B-1. Yedek Parça Stoğu
	B-2. Üretim Kayıpları
	B-3. Ürün Kalitesi
	B-4. Hata Tanımlama
C. Maliyet	C-1. Donanım Maliyeti
	C-2. Yazılım Maliyeti
	C-3. Eğitim Maliyeti
	C-4. Sigorta Maliyeti
	C-5. Uzman Çalışan Maliyeti
D. Uygulanabilirlik	D-1. Kabul Görme
	D-2. Teknik Güvenilirlik
	D-3. Teknoloji İhtiyacı
E. Diğer	E-1. Sektörel Deneyim Durumu
	E-2. Genel Deneyim Durumu
	E-3. Arızalar Arası Süre
	E-4. Bakım Süresi

7.2.3. Değerlendirme Kriterlerinin Tanımlanması

İfade edilen kriterlerin açıklanması aşamasıdır.

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 değerlendirildiğinde, 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 elemanda oluşabilecek hasar tüm sistemin 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 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 Stoğu: Genellikle düzeltici bakım stratejisi, daha fazla yedek parça stokunun bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır. Bazı makinelere ait parçaların yedeğinin tutulması, maliyet açısından negatif bir durum oluşturulabilmektedir [3].

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 ürünün uygunluk kalitesini etkileyebilir. Makinelerin güvenilirlik değerleri yüksek tutularak, kalitenin negatif yönde etkilenmesi önlenmelidir [11].

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 [3].

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 [3].

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 gerekeceğinden, 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 edilebilir, uygulanması güç olmayan stratejileri tercih etmektedirler [3].

D-2. Teknik Güvenilirlik: Geliştirilme süreçleri devam eden, durum bazlı ve kestirimci bakım, bazı karmaşık imalat tesisleri için uygulamada zorluklar ortaya çıkarabilmektedir [3].

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 göz önünde bulundurulmalıdır.

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

7.2.4. Bulanık Sayılarla Değerlendirme

Değerlendirme kriterlerinin bulanık ortamda ağırlıklandırılmasının ve alternatiflerin bulanık değerlendirmelerinin gerçekleştirildiği aşamadır. Kriterlerin bulanık ortamda ağırlıklandırılması ve alternatiflerin belirtilen kriterler kapsamındaki değerlendirmeleri için, Çizelge 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, (12) ve (13) numaralı eşitliklerle grup kararına dönüştürülmüştür.

$$\tilde{w}_{ij} = 1/t \left[\sum_{u=1}^t \tilde{w}_{ij}^u \right] \quad (12)$$

$$\tilde{x}_{ij} = 1/t \left[\sum_{u=1}^t \tilde{x}_{ij}^u \right] \quad (13)$$

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

Çizelge 4. Değerlendirme Kriterlerinin Bulanık Ağırlıkları

Değerlendirme Kriteri	Üçgensel Bulanık Sayı ile İfade Edilen Kriter Ağırlığı		
A-1	0,500	0,750	1,000
A-2	0,417	0,667	0,917
A-3	0,333	0,583	0,833
A-4	0,333	0,583	0,833
B-1	0,167	0,417	0,667
B-2	0,500	0,750	1,000
B-3	0,500	0,750	1,000
B-4	0,083	0,250	0,500
C-1	0,333	0,583	0,833
C-2	0,417	0,667	0,917
C-3	0,333	0,583	0,833
C-4	0,083	0,250	0,500
C-5	0,333	0,583	0,833
D-1	0,167	0,417	0,667
D-2	0,250	0,500	0,750
D-3	0,333	0,583	0,833
E-1	0,417	0,667	0,917
E-2	0,500	0,750	0,917
E-3	0,500	0,750	0,917
E-4	0,333	0,583	0,833

7.2.5. Durulaştırma İşleminin Yapılması

Durulaştırma işlemi için, ilgili literatürde sıklıkla rastlanan, ağırlıklı ortalama değeri kullanılmıştır [39, 40, 41]. $\tilde{A} = (l, m, u)$ olarak ifade edilen bulanık üçgensel sayının, ağırlıklı ortalama ile durulaştırma işlemi için (14) nolu eşitlikte verilen denklem uygulanmıştır. Durulaştırma işlemiyle, bulanık üçgensel sayılarla alınan uzman görüşleri, WSA ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılmak üzere tek bir sayı ile ifade edilen klasik hale çevrilmiştir.

$$P(\tilde{A}) = A = (l + 4m + u)/6 \quad (14)$$

Çizelge 5. Bakım Stratejilerine Ait Bulanık Değerlendirme Matrisi

	Önleyici Bakım			Düzeltilici Bakım			Durum Tabanlı Bakım			Kestirimci Bakım		
A-1	2,50	5,00	7,50	0,00	0,83	3,33	6,67	9,17	10,00	7,50	10,00	10,00
A-2	2,50	4,17	6,67	0,00	1,67	4,17	5,83	8,33	10,00	5,83	8,33	10,00
A-3	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00
A-4	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00
B-1	2,50	5,00	7,50	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
B-2	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
B-3	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00
B-4	0,83	3,33	5,83	0,00	1,67	4,17	5,83	8,33	10,00	7,50	10,00	10,00
D-1	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	0,00	1,67	4,17
D-2	4,17	6,67	9,17	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,00	7,50	10,00
D-3	5,00	7,50	10,00	3,33	5,83	8,33	0,00	1,67	4,17	0,00	1,67	4,17
E-1	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
E-2	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	1,67	4,17	6,67	1,67	4,17	6,67
E-3	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	7,50	10,00	10,00
E-4	2,50	5,00	7,50	0,00	1,67	4,17	5,00	7,50	10,00	5,83	8,33	10,00

7.2.6. Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının İfade Edilmesi

Bakım stratejilerinin değerlendirmesinde kullanılacak kriterlerin, toplam ağırlıklar 1'e eşit olacak şekilde normalize edilmiş önem ağırlıkları, Çizelge 6'da ifade edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, WSA ve TOPSIS yöntemleriyle uygun bakım stratejisinin seçimi gerçekleştirilecektir.

Çizelge 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

7.2.7. Alternatif Bakım Stratejilerinin Değerlendirmesi

Tespit edilen kriter ağırlıkları kullanılarak WSA ve TOPSIS yöntemleriyle alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasına geçilmiştir.

7.2.8. WSA Yöntemiyle Alternatiflerin Değerlendirmesi

Öncelikle, seçim kriterleri karşısında, alternatiflerin almış olduğu değerler normalize edilmiştir. Dört farklı bakım stratejisine ait normalize edilmiş değerler (r_{ij}), Çizelge 7'de ifade edilmiştir. Örneğin; önleyici bakım alternatifinin tesis güvenliği kriteri kapsamında, (2) numaralı denklem kullanılarak, normalize edilmiş değeri bulunmak istendiğinde, $r_{12} = (4,306 - 1,806) / (8,194 - 1,806)$ işlemi yapılarak, $r_{12} = 0,391$ değeri bulunmaktadır. Alternatifler-kriterler matrisindeki bütün hücreler için normalize değerler hesaplanmıştır.

Çizelge 7. Farklı Bakım Stratejileri için Normalize Edilmiş Kriter Değerleri

Strateji Seçenekleri	Değerlendirme Kriterleri									
	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2
Önleyici Bakım	0,459	0,391	0,500	0,630	0	0,707	0,630	0,196	1	0,609
Düzeltilici Bakım	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Durum Tabanlı Bakım	0,918	1	0,891	0,891	0,400	1	0,891	0,821	0,179	0,109
Kestirimci Bakım	1	1	1	1	0,400	1	1	1	0	0
Kriter Ağırlıkları	0,064	0,057	0,050	0,050	0,036	0,064	0,064	0,023	0,050	0,057

Çizelge 7 (Devamı). Farklı Bakım Stratejileri için Normalize Edilmiş Kriter Değerleri

Strateji Seçenekleri	Değerlendirme Kriterleri									
	C-3	C-4	C-5	D-1	D-2	D-3	E-1	E-2	E-3	E-4
Önleyici Bakım	0,5	1	1	1	0,854	1	1	1	0,411	0,500
Düzeltilici Bakım	1	1	1	1	0	0,707	0	0	0	0
Durum Tabanlı Bakım	0	0	0	0,122	1	0	1	0,739	0,732	0,891
Kestirimci Bakım	0	0	0	0	1	0	1	0,739	1	1
Kriter Ağırlıkları	0,050	0,023	0,050	0,036	0,043	0,050	0,057	0,063	0,063	0,050

(3) numara ile ifade edilen eşitlik kullanılarak her bir karar alternatifine ilişkin fayda değerleri ($u(a_i)$) hesaplanmıştır. Elde edilen değerlere göre alternatiflerin tercih sıralaması oluşturulmuştur (Çizelge 8).

Çizelge 8. Fayda Değerlerine Göre Alternatiflerin Sıralanması

Tercih Sırası	1	2	3	4
Bakım Stratejisi	Önleyici Bakım	Kestirimci Bakım	Durum Tabanlı Bakım	Düzeltilici Bakım
$u(a_i)$	0,675	0,647	0,617	0,337

7.2.9. TOPSIS Yöntemiyle Alternatiflerin Değerlendirmesi

Bakım stratejilerine ilişkin alternatiflerin kriterler kapsamındaki değerleri dikkate alınarak, tüm seçenekler için ağırlıklandırılmış standart karar matrisleri oluşturulmuştur (Çizelge 9). Seçim kriterlerinden maliyetli tabanlı olanların dışındaki kriterler fayda esaslı düşünülerek değerlendirilmiş pozitif yönde kriterler olmakla birlikte, maliyet kriterleri gibi negatif yönde kriterlerinde tersleri alınarak, karar matrisi pozitif yönlü oluşturulmuştur. Altıncı 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 (Çizelge 10).

Çizelge 9. Farklı Bakım Stratejileri için Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Sapma Değerleri

Strateji Seçenekleri	Değerlendirme Kriterleri										
	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3
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

Çizelge 9 (Devamı). Farklı Bakım Stratejileri için Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi ve Sapma Değerleri

Strateji Seçenekleri	Değerlendirme Kriterleri									Sapma Değerleri	
	C-4	C-5	D-1	D-2	D-3	E-1	E-2	E-3	E-4	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		

Çizelge 10. 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

7.2.10. Seçilen Bakım Stratejisinin İfade Edilmesi

WSA ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda, fayda değeri ve ideal çözüme yakınlık değeri en yüksek olan bakım stratejisi alternatifi, “önleyici bakım” olmuştur. Her iki yöntemde de aynı alternatif sıralamasına ulaşılmıştır.

8. SONUÇ

Endüstrideki rekabetin giderek artmasına bağlı olarak işletmeler, tesis, makine ve ekipmanlarını, bir başka ifadeyle varlıklarını korumaya daha fazla önem vermeye başlamışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada, alternatiflerin değerlendirilmesi sürecinde, maliyet vb. gibi sayısal değerlerin dikkate alınmasının yanı sıra; ürün kalitesine etki, güvenlik, kabul görme, güvenilirlik gibi sayısal olarak net biçimde ifade edilmesi zor olan kriterlerin değerlendirmesinde bulanık mantığa başvurulmuştur. Ele alınan kriterler kapsamında, WSA ve TOPSIS yöntemleriyle bakım stratejisi seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın gerçekleştirildiği tesis için en uygun bakım stratejisi alternatifinin, önleyici bakım stratejisi olduğu tespit edilmiştir. 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, uygulamanın gerçekleştirildiği firma tarafından yüksek olarak nitelendirildiği görülmektedir.

Önerilen yaklaşım, farklı imalat tesisleri için bakım stratejisinin seçimi kapsamında uygulanabilir. Dikkat edilmesi gereken husus; işletmenin ürettiği ürünler, gerçekleştirilen operasyonlar ve yönetim yaklaşımı açısından kuruluşların farklı karakteristiklerinin olması dolayısıyla, uygulayıcılar tarafından, literatürde yer alan değerlendirme kriterlerinin yanı sıra işletmeye özel kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekliliğidir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, farklı değerlendirme kriterleri seçim sürecine katılabileceği gibi, bakım stratejilerine ilişkin alternatifler de artırılabilir. Ayrıca, farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Kobu, B., “Üretim Yönetimi”, 11.Baskı, Avcıol Basım Yayın, İstanbul, 2003.
- [2] Çağlar, E., “Bakım Yönetim Teknikleri ve Otomasyon Sistemleri ile Etkileşimleri”, Mühendis ve Makine, 50 (598), 72-75, 2009.
- [3] Wang, L., Chu, J. & Wu, J., “Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process”, International Journal of Production Economics, 107, 151-163, 2007.
- [4] Azadivar, F. & Shu, V., “Maintenance Policy Selection for JIT Production Systems”, International Journal of Production Research, 37 (16), 3725- 3738, 1999.
- [5] Bevilacqua, M. & Braglia, M., “The Analytic Hierarchy Process Applied to Maintenance Strategy Selection”, Reliability Engineering and System Safety, 70 (2), 71-83, 2000.
- [6] Al-Najjar, B. & Alsyouf, I., “Selecting the Most Efficient Maintenance Approach Using Fuzzy Multiple Criteria Decision Making”. International Journal of Production Economics, 84, 85-100, 2003.
- [7] Zaeri, M. S., Shahrabi, J., Pariazar, M. & Morabbi, A., “A Combined Multivariate Technique and Multi Criteria Decision Making to Maintenance Strategy Selection, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management Proceedings, 621-625, 2007.
- [8] Jafari, A., Jafarian, M., Zareei, A. & Zaerpour, F., “Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem”, Journal of Uncertain Systems, 2 (4), 289-298, 2008.

- [9] Dong, Y. L., Gu, Y. J. & Dong, X. F., "Selection of Optimum Maintenance Strategy for Power Plant Equipment Based on Evidential Reasoning and FMEA", IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management Proceedings, 862-866, 2008.
- [10] Bashiri, M., Badri, H. & Hejazi, T. H., "Selecting Optimum Maintenance Strategy by Fuzzy Interactive Linear Assignment Method", Applied Mathematical Modelling, 35, 152-164, 2011.
- [11] Momeni, M., Fathi, M. R. , Zarchi, M. K. & Azizollahi, S., "A Fuzzy TOPSIS-Based Approach to Maintenance Strategy Selection: A Case Study", Middle-East Journal of Scientific Research, 8 (3), 699-706, 2011.
- [12] Peng, A. & Wang, Z., "Selecting Optimum Maintenance Approach Based on Relative Membership Grade Under Fuzzy Environment", Control and Decision Conference Proceedings, 1748-1752, 2011.
- [13] Chan, F. T. S. & Prakash, A., "Maintenance Policy Selection in Manufacturing Firms Using the Fuzzy MCDM Approach", International Journal of Production Research, iFirst (DOI:10.1080/00207543.2011.653451), 1-13, 2012.
- [14] Orhan, İ. & Karakoç, H., "Bakım Yönetim Süreçleri ve Etkinliğinin Değerlendirilmesi", Mühendis ve Makine, 51 (607), 33-38, 2010.
- [15] Köksal, M., "Bakım Planlaması", Seçkin Yayıncılık, İstanbul, 2007.
- [16] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. & Tanchoco, J. M. A., "Facilities Planning", Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc., USA, 2010.
- [17] Gandhare, B. S. & Akarte, M., "Maintenance Strategy Selection", Ninth AIMS International Conference on Management Proceedings, 1330-1336, 2012.
- [18] Kulak, O. & Kahraman, C., "Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and AHP", Information Sciences, 170 (2-4), 191-210, 2005.
- [19] Akman, G. & Alkan, A., "Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (9), 23-46, 2006.
- [20] Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets", Information and Control, 8, 338-353, 1965.
- [21] Öztürk A., Ertuğrul, İ. & Karakaşoğlu, N., "Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi, 15 (2), 785-824, 2008.
- [22] Chen, L. Y. & Wang T., "Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Process: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR", International Journal of Production Economics, 120 (1), 233-242, 2009.
- [23] Chen, S. J. & Huang, G. H., "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making", Springer, New York, 1992.
- [24] Dinçer, S. E., "Multi-criteria Analysis of Economic Activity for European Union Member States and Candidate Countries: TOPSIS and WSA Applications", European Journal of Social Sciences, 21 (4), 2011.
- [25] Triantaphyllou, E., Koverlerchuk, B., Mann-Jr., L. & Knapp, G. M., "Determining the Most Important Criteria in Maintenance Decision Making", Journal of Quality in Maintenance Engineering, 3 (1), 16-28, 1997.
- [26] Dvorsky, J., Krejci, P. & Moldrik, P., "Software MCA8 for Computation of MCA Methods", Electrical Networks Workshop Proceedings, 66-77, 2006.
- [27] Triantaphyllou, E. & Lin, C., "Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods", International Journal of Approximate Reasoning, 14, 281-310, 1996.
- [28] Thokala, P., "Multiple Criteria Decision Analysis for Health Technology", Assessment Report by the Decision Support Unit of University of Sheffield, 1-27, 2011.

- [29] Goh, C., Tung, Y. A. & Cheng, C., “A Revised Weighted Sum Decision Model For Robot Selection”, *Computers & Industrial Engineering*, 30 (2), 193-199, 1996.
- [30] Hwang, C. L. & Yoon, K., “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application”, Springer Publications, Berlin, 1981.
- [31] Opricovic, S. & Tzeng, G., “Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS”, *European Journal of Operational Research*, 156, 445-455, 2004.
- [32] Yurdakul, M. & İç, Y.T., “Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik TOPSIS Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 1-18, 2003.
- [33] Ustasüleyman, T, “Bankacılık Sektöründe Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi: AHS-TOPSIS Yöntemi”, *Bankacılar Dergisi*, 69, 33-43, 2009.
- [34] Chu, T. C. & Lin, Y. C., “A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, 284-290, 2003.
- [35] Yurdakul, M. & İç, Y.T., “Analysis of The Benefit Generated By Using Fuzzy Numbers in a TOPSIS Model Developed for Machine Tool Selection Problems”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 310-317, 2009.
- [36] Shanian, A. & Savadogo, O., “TOPSIS Multiple-Criteria Decision Support Analysis for Material Selection of Metallic Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Fuel Cell”, *Journal of Power Sources*, 159, 1095-1104, 2006.
- [37] Chu, T. C., “Facility Location Selection Using Fuzzy TOPSIS Under Group Decisions”, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10, 687-701, 2002.
- [38] Shahanaghi, K. & Yazdian, S. A., “Vendor Selection Using a New Fuzzy Group TOPSIS Approach”, *Journal of Uncertain Systems*, 3 (3), 221-231, 2009.
- [39] İnce, Ö., “Selection of an ERP Software System by Using Fuzzy VIKOR”, *Information Sciences 2007- Proceedings of the 10th Joint Conference, USA*, 2007.
- [40] Chen, L. Y. & Wang T., “Optimizing Partners’ Choice in IS/IT Outsourcing Process: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR”, *International Journal of Production Economics*, 120 (1), 233-242, 2009.
- [41] Yavuz, M., “Fuzzy Inventory Management”, *Production Engineering and Management under Fuzziness Book*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 25-38, 2010.