



Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP Yaklaşımlarıyla En Uygun Bakım Stratejisinin Belirlenmesi: Bir Gıda İşletmesinde Uygulama

Tolga Gedikli¹, Beyzanur Çayır Ervural^{2*}, Durmuş Tayyar Şen³

¹ Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Müh. – Mim. Fak., Endüstri Müh. Böl., Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0558-2439), tolga.gedikli@gidatarim.edu.tr

^{2*} Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Müh. – Mim. Fak., Endüstri Müh. Böl., Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0861-052X), beyzanur.ervural@gidatarim.edu.tr

³ Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Müh. – Mim. Fak., Endüstri Müh. Böl., Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9632-0102), tayyar.sen@gidatarim.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi Aralık 2020 ve Kabul Tarihi Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.838168)

ATIF/REFERENCE: Gedikli, T., Çayır Ervural, B., & Şen, D.T. (2021). Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP Yaklaşımlarıyla En Uygun Bakım Stratejisinin Belirlenmesi: Bir Gıda İşletmesinde Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 212-225.

Öz

Uygun bakım yönetim stratejisinin belirlenmesi, işletmelerin verimliliğini ve güvenilirliğini artırırken, uygun olmayan bakım faaliyetleri şirketlerin kazancını ve etkinliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Rekabet şartlarının kızıştığı günümüzde bakım planlama çalışmaları işletme giderlerinde önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle işletmelerin ayakta kalmalarında uygun bakım stratejisi politikalarının doğru biçimde belirlenmesi ciddi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de bir gıda işletmesi için bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) ve bulanık analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemleri kullanılarak en uygun bakım stratejisinin seçilmesi amaçlanmaktadır. En uygun bakım stratejisini belirlemek için dört ana kriter (güvenlik, maliyet, güvenilirlik ve katma değer), on iki alt kriter ve beş alternatif (düzeltici bakım, periyodik bakım, fırsatçı bakım, duruma dayalı bakım ve kestirimci bakım) tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve işletme için en uygun bakım stratejisi seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakım stratejisi seçimi, Çok kriterli karar verme, Bulanık TOPSIS, Bulanık AHP.

Selection of Optimum Maintenance Strategy Based on Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP: An Application in A Food Company

Abstract

Determining the appropriate maintenance management strategy increases the efficiency and reliability of companies, while incorrect maintenance activities significantly reduce the profits and productivity of companies. In today's challenging competition conditions, maintenance planning activities have an important share of operating expenses. Therefore, it is important to correctly determine the ideal proper maintenance strategy for the survival of the businesses. In this study, it is aimed to select the most appropriate maintenance strategy utilizing fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) and fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process) methods for a food company in Turkey. Four main criteria (safety, cost, reliability, and added value), twelve sub-criteria and five alternatives (corrective maintenance, time-based preventive maintenance, opportunistic maintenance, condition-based maintenance, and predictive maintenance) were defined to determine the most appropriate maintenance strategy. The obtained results were compared to each other and then the most appropriate maintenance alternative was selected for the company.

Keywords: Maintenance strategy selection, Multi criteria decision making, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy AHP.

* Sorumlu Yazar: beyzanur.ervural@gidatarim.edu.tr

1. Giriş

Küresel rekabet koşulları işletmeleri, üretim maliyetlerini düşürmeleri için sürekli baskı altına almaktadır. İşletmelerin bakım maliyetleri, işletme maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Bevilacqua ve Braglia, 2000; Özcan vd., 2017). Bakım yönetimi faaliyetleri, kullanılabilirlik ve güvenilirlik seviyelerinin korunmasında, ürün kalitesinin ve güvenlik gereksinimlerinin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Üretim tesisleri, farklı özelliklerde güvenilirlik ihtiyacı, güvenlik seviyesi ve arıza etkisine sahip makinelerle donatılmıştır. Bu nedenle her işletme kendi karakteristiğine uygun bir bakım stratejisi seçmelidir. Uygun bakım stratejisi seçimi, çok sayıda kriter ve alternatifi barındırmasının yanı sıra çeşitli bileşen ve fonksiyonları içermesi ve karar vericilerin subjektif değerlendirmelerini kapsaması nedeniyle karmaşık ve çok boyutlu bir karar verme problemi özelliği sergilemektedir (Cayir Ervural, Evren vd., 2018). Bu nedenle, bakım stratejisi seçim problemi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak değerlendirilmektedir (Bevilacqua ve Braglia, 2000).

Son otuz yıldır, çeşitli uygulama sahalarında en uygun bakım stratejisi seçim problemine yönelik ÇKKV yöntemleri uygulanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu çalışmalarda en sık kullanılan yöntemler Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) (Bevilacqua ve Braglia, 2000; Gedikli ve Cayir Ervural, 2020; Wang vd., 2007), İdeal Çözüme En Yakın Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS) (Asuquo vd., 2019; Kirubakaran ve Ilangkumaran, 2016), Analitik Ağ Prosesi (ANP) (Aghae ve Fazli, 2012), Basit Toplam Ağırlıklandırma (SAW) (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003), Çoklu Ölçüt Optimizasyonu ve Uzlaşma Çözümü (VIKOR) (Nezami ve Yıldırım, 2013), Eliminasyon ve Seçim Dönüştürme Gerçeği (ELECTRE) (Li vd., 2007), Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) (Aghae ve Fazli, 2012), Zenginleştirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi (PROMETHEE) (Emovon vd., 2018), Ağırlıklı Çarpım (WP) (Gedikli ve Cayir Ervural, 2020) yöntemleridir. Bu çalışmalarda en sık olarak kullanılan alternatifler Periyodik Bakım (PB), Düzeltici Bakım (DB), Duruma Dayalı Bakım (DDB), Kestirimci Bakım (KB), Toplam Üretken Bakım (TÜB), Fırsatçı Bakım (FB), Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, bakım stratejisi seçim problemi, başta imalat sanayi (Li vd., 2007; Odeyale vd., 2013) ve enerji sektörü (Özcan vd., 2019; Özcan vd., 2017; Wang vd., 2007) olmakla birlikte taşımacılık (Emovon vd., 2018), kimyasal üretim (Kumar ve Maiti, 2012), madencilik (Pourjavad vd., 2013), kağıt endüstrisi (Kirubakaran ve Ilangkumaran, 2016), otomotiv (Aghae ve Fazli, 2012), tekstil (Ilangkumaran ve Kumanan, 2009), eğitim (Fazlollahtabar ve Yousefpoor, 2008), havacılık (Ahmadi vd., 2010), inşaat (Bertolini vd., 2004) ve tıbbi malzeme (Elseddawy ve Kandil, 2018) alanlarında uygulanmaktadır. Yapılan bakım stratejisi seçim çalışmaları değerlendirildiğinde, bakım stratejilerinin işletmenin niteliğine/özelliğine bağlı olarak kriter ve alternatiflerdeki çeşitlilikten dolayı farklılık gösterdiği görülmüştür.

Günümüzde gıda işletmelerinde fiyatların belirlenmesi ve tüketiciye uygun fiyatlı ürünlerin sunulmasındaki en büyük faktörlerden biri işletme maliyetleridir. Gıda üretiminin başarılı olabilmesi, üretim esnasında ürünlerin bozulmamasına bağlıdır. Makine/ekipmanlarda ortaya çıkan beklenmedik arızalar ürünlerin hatlarda beklemesine ve bozulmasına yol açabilir. Bu

nedenle, uygun bakım planlaması ile gıda üretim tesislerinde üretilen ürünlerin bekleme sürelerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Birden fazla karar vericinin olduğu, subjektif değerlendirmelere açık olan karmaşık ve çok boyutlu karar problemlerinde bulanık yaklaşımlar başarılı sonuçlar vermektedir (Cayir Ervural, Zaim vd., 2018).

Bu çalışmada, iki farklı, başarılı bulanık yaklaşım yöntemi (Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP) kullanılarak tutarlı ve karşılaştırılabilir bir seçim politikasının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın bir gıda işletmesinde gerçek bir hayat problemi üzerinden desteklenerek bulanık koşullar altında bakım planlama faaliyetlerinin araştırılması açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde olası alternatif bakım stratejileri açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde bulanık küme teorisi, Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP yöntemleri açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde bir gıda işletmesinde en uygun bakım stratejisi seçmek için Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP yöntemlerinin uygulaması yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Son bölümde sonuçlar ve öneriler paylaşılmıştır.

2. Alternatif Bakım Stratejileri

Bakım stratejisi seçimi, bakım yönetiminin en önemli aşamalarından biridir. Literatürde çok sayıda bakım stratejisi önerilmiştir (Bal ve Satoglu, 2014). Bu çalışmada, literatürde yapılan çalışmalar incelenerek uygulama yapılan işletme için kullanılacak beş bakım stratejisi karar vericilerle belirlenmiştir.

Bu bölümde, bu çalışmada ele alınan bakım stratejileri özetlenmektedir.

2.1. Düzeltici Bakım

Düzeltici bakım, bakım işlemlerinin yalnızca bir makine veya ekipmanın arızalandığında gerçekleştirilmesidir (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Kar marjlarının yüksek olduğu durumlarda uygulanabilir bir strateji olarak kabul edilir. Ancak, böyle bir bakım yöntemi genellikle ilgili tesislere, personele ve çevreye ciddi zararlar verir. Ayrıca, artan rekabet ortamı şirketleri etkili ve güvenilir bakım stratejilerini uygulamaya zorlamaktadır (Wang vd., 2007).

2.2. Periyodik Bakım

Endüstride yaygın olarak kullanılan periyodik bakım, makine veya ekipmanların, belirli bir program dahilinde, arıza oluşma şartı aranmadan planlı ve koordineli olarak ekipmanların kullanılabilirlik süresini arttırmaya yönelik çalışmaları kapsamaktadır (Görener, 2013). Bu bakım stratejisinin temel amaçlarından biri, arıza oluşmadan önce makinenin arızalanmasına sebep olabilecek bileşenlerinin bakımının yapılmasıdır (Shyjith vd., 2008).

Bu bakım stratejisinde makine veya ekipmanın beklenmedik arızalarını azaltmak için bakım periyodik olarak planlanır ve gerçekleştirilir. Periyodik bakım, ekipmanların kullanım süresine bağlı ortaya çıkan sorunların üstesinden gelme konusunda etkilidir. Ancak, periyodik bakım stratejilerinin kullanıldığı birçok durumda, makineler arıza sınırında olmadığı halde bakımı yapılmış olur (Wang vd., 2007).

Tablo 1: Literatürde Yapılan Çalışmalar

Yazarlar	Alternatif Bakım Stratejileri	Uygulama Alanları	Kullanılan Yöntemler	Elde Edilen Sonuçlar
Bevilacqua ve Braglia (2000)	PB, DB, DDB, KB, FB	Petrol, gaz ve petrokimya	AHP	Her ekipman için farklı
Bertolini vd. (2004)	PB, DB, DDB, KB, FB	İnşaat sektörü	AHP	KB
Li vd. (2007)	PB, DB, DDB, KB	İmalat	Bulanık ELECTRE III	KB, DDB, PB, DB
Wang vd. (2007)	PB, DB, DDB, KB	Enerji Santrali	Bulanık AHP	KB, DDB, PB, DB
Pariazar vd. (2008)	PB, DB, DDB, FB	İmalat	AHP	DDB, FB, PB, DB
Shyith vd. (2008)	PB, DDB, KB, GMB	Tekstil	AHP ve TOPSIS	KB, DDB, GMB, PB
Ilangkumaran ve Kumanan (2009)	PB, DDB, KB, GMB	Tekstil	AHP ve TOPSIS	KB, PB, GMB, DDB
Fathi vd. (2011)	PB, DB, DDB, KB, FB	Petrol, gaz ve petrokimya	Bulanık TOPSIS	PB, DB, KB, FB, DDB
Aghae ve Fazli (2012)	PB, DB, DDB, KB, TÜB, GMB	Otomotiv	ANP ve DEMATEL	TÜB, GMB, PB, KB, DDB, DB
Chan ve Prakash (2012)	PB, DB, DDB, TÜB, TKB	İmalat	Bulanık TOPSIS ve SAW	TÜB, TKB, DDB, PB, DB
Görener (2013)	PB, DB, DDB, KB	İmalat	Bulanık TOPSIS ve WSA	PB, KB, DDB, DB
Jayaswal vd. (2013)	PB, DB, DDB, KB, FB	Taşımacılık	Bulanık TOPSIS	DB, DDB, FB, PB, KB
Kumar Sagar vd. (2013)	PB, DB, DDB, KB, FB, Arıza bakım	Taşımacılık	Bulanık SAW	Arıza bakım, DB, DDB, FB, PB, KB
Nezami ve Yildirim (2013)	PB, DB, DDB, TÜB, GMB	Otomotiv	Bulanık VIKOR	DDB, TÜB, PB
Odeyale vd. (2013)	PB, DB, KB	İmalat	AHP	KB, PB, DB
Xie vd. (2013)	PB, DB, DDB, KB	Madencilik	Bulanık AHP ve Hedef Programlama (HP)	DDB, KB, PB, DB
Azizi ve Fathi (2014)	PB, DB, KB	Petrol, gaz ve petrokimya	Bulanık AHP	PB, KB, DB
Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016)	PB, DB, DDB, KB	Kâğıt endüstrisi	Bulanık AHP ve GRA-TOPSIS	KB, DDB, PB, DB
Mey (2016)	PB, DB, DDB	Petrol, gaz ve petrokimya	AHP ve Bulanık AHP	PB, DDB, DB
Özcan vd. (2017)	PB, DB, KB, RB	Enerji Santrali	AHP, TOPSIS ve HP	Her ekipman için farklı
Pun vd. (2017)	PB, DB, KB	Katlı Otopark	Bulanık AHP	PB, KB, DB
Elseddawy ve Kandil (2018)	PB, DB, DDB	Tıbbi malzeme	AHP	PB, DDB, DB
Emovon, vd. (2018)	PB, DB, DDB	Taşımacılık	Delphi-AHP ve Delphi-AHP-PROMETHEE	DDB, PB, DB
Özcan vd. (2019)	PB, DB, KB, RB	Hidroelektrik Santrali	AHP, TOPSIS ve Tam Sayılı Programlama	Her ekipman için farklı
Asuquo vd. (2019)	PB, DB, DDB, GMB	Taşımacılık	Bulanık TOPSIS	DDB, PB, GMB, DB
Kundakcı (2019)	PB, DB, DDB, KB	İmalat	Bulanık MOORA	KB, PB, DDB, DB
Gedikli ve Cayir Ervural (2020)	PB, DB, DDB, KB, FB	Gıda	AHP, TOPSIS, SAW, WP	KB, PB, DDB, FB, DB; KB, DDB, PB, DB, FB
Gedikli, Ervural ve Sen (2021)	PB, DB, DDB, KB, FB, GMB	Gıda	Pisagor Bulanık TOPSIS	GMB, KB, PB, DDB, FB, DB

DB: Düzeltici Bakım, DDB: Duruma Dayalı Bakım, FB: Fırsatçı Bakım, GMB: Güvenilirlik Merkezli Bakım, KB: Kestirimci Bakım, PB: Periyodik Bakım, RB: Revizyon Bakım, TKB: Toplam Kalite Bakımı, TÜB: Toplam Üretken Bakım

2.3. Fırsatçı Bakım

Fırsatçı Bakım, işletmede bir makine veya ekipmanın bakımı yapılırken, diğer yandan bakım zamanı yaklaşan makine veya ekipman bakımlarının yapıldığı bakım stratejisidir. İlgili tüm bakım müdahalelerini aynı anda yapmak, üretim tesisin belirli bir

süre kapalı kalmasına neden olabilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000).

2.4. Duruma Dayalı Bakım

Duruma dayalı bakım stratejisi kullanılırken makine performansını gerçek zamanlı izlemek için bir dizi ölçüm ve veri

toplama sistemi kullanılır ve bakım kararı verilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Çalışma koşullarının sürekli olarak incelenmesi, geçmiş verilere ve ekipmanın mevcut durumuna göre bakım kararları alınmasını sağlar. Böylece gereksiz bakımdan kaçınarak makinelerin arızadan hemen öncesine kadar çalışması sağlanır. Ancak elde edilen bilgilerin yetersiz ve yanlış olması, duruma dayalı bakım stratejisinin etkinliğini azaltır (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003). Makine ve ekipmanların izlenmesi ve verilerin toplanmasını amaçlayan bu bakım stratejisinin ilk yatırım maliyeti genellikle yüksektir. Ancak etkili ve verimli bir şekilde kullanılırsa, makine ve ekipman kaybı ve ani duruşlar sebebi ile ortaya çıkabilecek maliyetler azalmaktadır (Görener, 2013). Duruma dayalı bakım stratejisi, yüksek maliyetli, karmaşık ve uzun süreli kullanımı olan ekipmanlar için oldukça uygundur (Shyjith vd., 2008).

2.5. Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım, izlenen parametrelerin verilerini analiz ederek performans düşüşünü ve makinelerin arızalanma zamanlarını tahmin edebilen bir bakım stratejisidir (Wang vd., 2007). Duruma dayalı bakım stratejisinin aksine, kestirimci bakımda elde edilen veriler makine ve ekipmanlar üzerinde olası bir arıza eğilimi bulmak için analiz yapılır ve böylece kontrol edilen parametre değerlerinin eşik değerlere ne zaman ulaşacağı veya aşacağı tahmin edilebilir. Böylece bakım personeli çalışma koşullarına bağlı kalarak, bakımın gerekli olduğu bir anda bakım planlaması yapabilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Arızalanma zamanını doğru tahmin etmek yüksek maliyetlere ve güvenlik tehlikelerine neden olabilecek durumlarla karşı karşıya gelmeyi engeller (Shyjith vd., 2008).

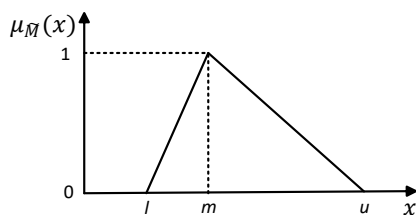
3. Materyal ve Yöntem

3.1 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi, insan düşüncelerindeki belirsizlikle başa çıkmak için Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır. Genel olarak bakıldığında bulanık mantık, klasik mantığın kesin yargılarını ara kavramlarla ifade edebilmektedir. Böylece insan düşüncelerindeki belirsizlik daha iyi ifade edilebilmektedir. Bulanık küme teorisinde üyelik fonksiyonları olarak genelde üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır (Chen, 2000).

Bir üçgensel bulanık sayı, Şekil 1'deki gibi bir üçlü (l, m, u) ile gösterilmektedir. Üyelik fonksiyonu ise Denklem 1'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m, \\ \frac{x-u}{m-u}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u. \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 1: \tilde{M} Üçgensel Bulanık Sayısı

$\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde iki üçgensel sayı ve p 'de pozitif bir doğal sayı olsun. İki pozitif üçgen bulanık sayılar için ana aritmetik işlemler aşağıdaki gibidir (Seçme vd., 2009):

$$\tilde{M}_1 + \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

$$\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (3)$$

$$p \otimes \tilde{M}_1 = (p l_1, p m_1, p u_1), \quad p > 0, p \in R \quad (4)$$

$$\tilde{M}_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right) \quad (5)$$

İki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklık Denklem 6 ile hesaplanır (Chen, 2000):

$$d(\tilde{M}_1, \tilde{M}_2) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \quad (6)$$

Bu çalışmada, karar vericilerin, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2: Kriterlerin Ağırlığını Belirlemede Kullanılan Dilsel İfadeler (Chen, 2000)

Dilsel ifadeler	Üçgensel bulanık ölççek
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)
Biraz Yüksek (BY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Biraz Düşük (BD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)

Tablo 3: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel İfadeler (Chen, 2000)

Dilsel ifadeler	Üçgensel bulanık ölççek
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Biraz İyi (BI)	(5, 7, 9)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)

3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemin temel mantığı, seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme (PIS) en kısa mesafeye, negatif ideal çözüme (NIS) en uzak mesafeye sahip olması gerektiğidir (Opricovic ve Tzeng, 2004).

k tane karar verici, n adet kriter ve m adet alternatiften oluşan bir problem için Bulanık TOPSIS yöntemi aşağıdaki gibi hesaplanır (Chen, 2000; Kaya ve Kahraman, 2011):

Adım 1: Karar vericilerin, değerlendirme kriterlerinin ve alternatiflerin belirlenmesi.

Adım 2: Karar vericilerin değerlendirme kriterlerini ve alternatifleri dilsel değişkenlere göre değerlendirmesi.

Adım 3: Değerlendirme kriterleri (\tilde{w}_j) önemi ve her bir değerlendirme kriterine göre alternatiflerin (\tilde{x}_{ij}) ağırlıklarının Denklem 7 ve 8'deki gibi birleştirilmesi.

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [w_j^1(+) w_j^2(+) \dots (+) w_j^K] \quad (7)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [x_{ij}^1(+) x_{ij}^2(+) \dots (+) x_{ij}^K] \quad (8)$$

burada \tilde{w}_j^K ve \tilde{x}_{ij}^K , karar verici K tarafından yapılan derecelendirme ve önem ağırlığıdır.

Adım 4: Bulanık karar matrisinin oluşturulması.

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_1]$$

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

burada, \tilde{x}_{ij} ve $\tilde{w}_j, \forall i, j, i = 1, 2, \dots, n$ ve $j = 1, 2, \dots, m$ dilsel değişkenlerdir. Bu dilsel değişkenler üçgensel bulanık sayılarla $\tilde{x}_{ij} = (x_{ij1}, x_{ij2}, x_{ij3})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ olarak tanımlanabilir.

Adım 5: Normalize edilmiş bulanık karar matrisinin oluşturulması (\tilde{R}).

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{n \times m} \quad (9)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), j \in F$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), j \in M$$

burada, $c_j^* = \max_i c_{ij}, j \in \text{Fayda kriteri}$ ve $a_j^- = \min_i a_{ij}, j \in \text{Maliyet kriteri}$ olarak tanımlanır.

Adım 6: Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinin oluşturulması. Her kriterin farklı önem derecesi göz önüne alınarak, ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi Denklem 10 ile oluşturulur.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{n \times m}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

burada $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{w}_j$ ile hesaplanır.

Adım 7: Bulanık pozitif ideal A^* ve negatif ideal A^- çözümlerin Denklem 11 ve 12 kullanılarak belirlenmesi.

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (11)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (12)$$

burada $j = 1, 2, \dots, m$ için $\tilde{v}_j^* = (1, 1, 1)$ ve $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$ 'dir (Chen, 2000).

Adım 8: Bulanık ideal çözümden uzaklık değerinin Denklem 13 ve 14 kullanılarak hesaplanması.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

Adım 9: Yakınlık katsayılarının Denklem 15 kullanılarak hesaplanması.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Adım 10: Alternatiflerin sıralanması. En yüksek yakınlık katsayısına sahip alternatiften en düşüğe doğru alternatifler sıralanır. İlk sıradaki alternatif en iyi alternatif olarak seçilir.

3.3. Bulanık AHP Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ilk olarak Saaty (1980) tarafından önerilen ÇKKV yöntemlerinden biridir. Klasik AHP yöntemi, karar vericilerin görüşlerini içermesine ve çok kriterli bir değerlendirme yapmasına rağmen, insan düşüncesindeki belirsizliği tam olarak yansıtamaz. Bu sorunun üstesinden gelebilmek amacıyla AHP'nin bulanıklaştırılması için literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir (Tolga vd., 2005). Bulanık AHP yöntemi ile karar vericiler, belirli kararlar yerine ara kararları tercih edebilir. Böylece karar verici görüşleri daha esnek olarak açıklanabilir hale getirilir (Kahraman vd., 2003; Seçme vd., 2009). Chang (1996) genişletilmiş analiz yöntemine dayanan Bulanık AHP yaklaşımını önermiştir (Lima Junior vd., 2014). Bu yöntem karar vericiler tarafından verilen karşılaştırmalı kararları ifade etmek için dilsel değişkenleri kullanır.

Bu çalışmada Chang (Chang, 1996) tarafından önerilen Bulanık AHP yaklaşımını kullanılmıştır. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ölçütler kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ hedef kümesi olsun. Chang'ın derece analizi (Chang, 1996), her bir hedef için her bir ölçüt dikkate alınarak uygulanır. Böylece, her bir ölçüt için m derece analizi değerleri aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, i = 1, 2, \dots, n, \quad (16)$$

burada, tüm $M_{g_i}^j (j=1, 2, \dots, m)$ değerleri üçgensel bulanık sayılardır.

Chang'ın (1996) yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Adım 1: Bulanık sentetik derece değeri, i . ölçüte göre Denklem 17 ile hesaplanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (17)$$

burada, $M_{g_i}^j$ ifadesini elde etmek için, Denklem 18 kullanılır.

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (18)$$

$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$ ifadesi ise Denklem 19 ile hesaplanır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_i} \right) \quad (19)$$

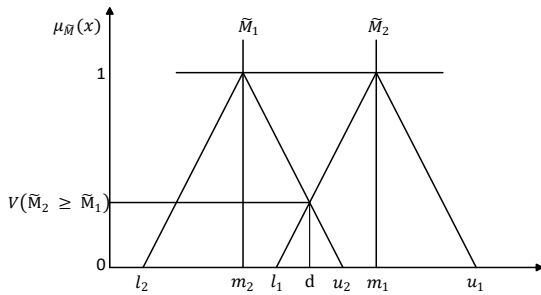
Adım 2: \tilde{M}_2 ve \tilde{M}_1 iki üçgensel bulanık sayısı olsun. $\tilde{M}_2(l_2, m_2, u_2) \geq \tilde{M}_1(l_1, m_1, u_1)$ olasılık derecesi Denklem 20, 21 ve 22 ile tanımlanır.

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))], \quad (20)$$

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = hgt(\tilde{M}_2 \cap \tilde{M}_1) = \mu(d) \quad (21)$$

$$\mu(d) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (22)$$

Şekil 2’de gösterildiği gibi d , μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası olan D ’nin ordinatıdır. \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 ’yi karşılaştırmak için $V(\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2)$ ve $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$ değerlerinin her ikisine de ihtiyaç duyulur.



Şekil 2: \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 Arasındaki Kesişme

Adım 3: Konveks bir bulanık sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayıdan \tilde{M}_i ($i = 1, 2, \dots, k$) daha büyük olması şu şekilde tanımlanabilir.

$$V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_k) = V[(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1) \text{ ve } (\tilde{M} \geq \tilde{M}_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (\tilde{M} \geq \tilde{M}_k)] \quad (23)$$

$$= \min V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_i), i = 1, 2, \dots, k.$$

burada, $k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq i$ için $d'(A_i) = \min V(\tilde{M}_i \geq \tilde{M}_k)$ olduğu varsayılırsa ağırlık vektörü Denklem 24 ile bulunur.

$$W' = (d'(A_1), (d'(A_2), \dots, (d'(A_n))^T, \quad (24)$$

burada, A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n elemandan oluşur.

Adım 4: Ağırlık vektörü (W') Denklem 25 kullanılarak normalize edilir.

$$W = (d(A_1), (d(A_2), \dots, (d(A_n))^T, \quad (25)$$

burada W , her karşılaştırma matrisi için hesaplanan bulanık olmayan bir sayıdır.

Bulanık AHP’de karşılaştırma matrislerinin tutarlılık tespiti, göz önüne alınması gereken diğer önemli bir konudur. Klasik AHP’de bir karşılaştırma matrisinin tutarlılığı, tutarlılık oranı ile ölçülür. Ancak bulanık sentetik kararın (fuzzy synthetic decision) sonuçları, bulanık dilsel yargılama sayılarıdır. Bu nedenle, durulaştırma (defuzzification) yönteminin kullanılması gerekmektedir. Durulaştırma, bulanık sayıları net gerçek sayılara dönüştürebilen bir tekniktir. Bu amaç için kullanılan çeşitli yaklaşımlar vardır. En yaygın yaklaşımlar maksimum ortalama, alan merkezi ve α -cut yöntemidir (Seçme vd., 2009). Bu çalışmada uygulama pratikliği nedeniyle alan merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada, bulanık AHP modelindeki ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması için Tablo 4’te sunulan dilsel ölçek kullanılmıştır (Kahraman vd., 2004).

Tablo 4: Üçgensel Bulanık Dönüşüm Ölçeği (Kahraman vd., 2004)

Dilsel ifadeler	Üçgensel bulanık ölçek	Üçgensel bulanık ölçek tersi
Eşit önemli (EÖ)	(1,1,1)	(1,1,1)
Zayıf derecede önemli (ZDÖ)	(2/3,1,3/2)	(2/3,1,3/2)
Kuvvetli derecede önemli (KDÖ)	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
Çok önemli (ÇÖ)	(5/2,3,7/2)	(2/7,1/3,2/5)
Mutlak önemli (MÖ)	(7/2,4,9/2)	(2/9,1/4,2/7)

4. Uygulama

Bu çalışma, akış tipi üretim yapan Türkiye’nin önemli gıda işletmelerinden birinde, en uygun bakım stratejisi politikasının belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı işletme aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Akış tipi üretim sistemine sahiptir.
- Üretim kayıplarına yol açabilecek makinelerle sahiptir. Bu makinelerin tamir süresi uzun olabilmektedir.
- Yapılan üretimin, en az fire ile gerçekleşmesi beklenmektedir.

Çalışmada ele alınan problem dört karar verici (iki bakım müdürü, bir bakım mühendisi ve bir ustabaşı), dört ana kriter (güvenlik, maliyet, güvenilirlik ve katma değer), on iki alt kriter ve beş alternatiften (DB, PB, FB, DDB ve KB) oluşmaktadır. Çalışma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Karar verici grubunun oluşturulması.
- Karar verici görüşleri ve literatür araştırması sonucunda kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenmiş ardından karar vericiler ile iki farklı anket çalışmasının (ikili karşılaştırma ve derecelendirme) yapılması.

- Bulanık TOPSIS, bulanık AHP yöntemlerinin uygulanması.
- Elde edilen sonuçlar ile en uygun alternatif bakım stratejisinin seçilmesi.

4.1. Kriterlerin Belirlenmesi

İşletmelerde en uygun bakım stratejisinin seçilebilmesi için değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kriterler, literatürde yapılan benzer çalışmalar ve uygulama yapılan işletmedeki karar verici ekibinin belirttiği görüşler dikkate alınarak seçilmiştir. Problem çözümü için tanımlanan değerlendirme kriterleri aşağıda açıklanmıştır.

Emniyet (E): Emniyet kriteri, personel, tesis ve çevre için oluşabilecek istenmeyen durumları ifade eder.

- **Personel Güvenliği (E₁):** Bir üretim tesisinde makine veya ekipmanın arızası personelin yaralanmasına veya ölmesine neden olabilir (Wang vd., 2007).
- **Tesis ve Makine Güvenliği (E₂):** Bir makinenin veya ekipmanın arızasının tesiste bulunan makine veya ekipmanlara vereceği zararı ifade eder.
- **Çevre Güvenliği (E₃):** Zehirli sıvı ve gaz gibi tehlikeli madde içeren makine veya ekipmanların çevreye vereceği zararı ifade eder (Wang vd., 2007).

Maliyet (M): Bir bakım stratejisini uygulayabilmek için gerekli olan tüm masrafları ifade eder. Maliyet kriteri; donanım, yazılım, personel eğitimi ve bakım maliyetlerini içermektedir.

- **Donanım Maliyeti (M₁):** Bakım stratejisini uygulayabilmek için gerekli olan donanımsal maliyetleri (Örneğin sensörler ve bilgisayarlar) kapsamaktadır.
- **Yazılım Maliyeti (M₂):** Bakım stratejisini uygulayabilmek için gerekli olan yazılımsal maliyetleri kapsamaktadır. Örneğin; makine veya ekipmanlardan alınan verileri analiz etmek için yazılım gerekli olabilir.
- **Personel Eğitimi Maliyeti (M₃):** Bakım stratejisinin uygulanabilmesi için gerekli olan eğitim maliyetlerini kapsamaktadır.

Güvenilirlik (G): Bir makine veya ekipmanın, belirli süre zarfında ve limitlerde arıza yapmadan kendisinden beklenen işleri yerine getirebilme olasılığını ifade eder (Bevilacqua ve Braglia, 2000).

- **Arıza Sıklığı (G₁):** Bir makine veya ekipmanın arızalar arası ortalama zamanı ifade eder (Bevilacqua ve Braglia, 2000).
- **Ortalama Tamir Süresi (G₂):** Bir makine veya ekipmanın onarım süresini ifade eder (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Bu süre arızanın oluşumundan makine veya ekipmanın çalışmaya hazır olana kadarki süreyi kapsamaktadır.
- **Teknik Güvenilirlik (G₃):** Bakım stratejisinin uygulanabilmesi için gerekli olan teknik ve teknolojik alt yapıyı ifade eder.

Katma Değer (K): Bakım faaliyetlerinin faydalarını ifade eder. Genellikle, katma değer ne kadar fazlaysa, daha düşük girdi ile daha yüksek bakım etkinliği elde edilir (Ge vd., 2017).

- **Üretim Kaybı (K₁):** Makine veya ekipmanların arızalanması sonucunda üretimin durmasını ifade eder. Akış tipi üretim sistemine sahip işletmelerde üretimin durması ciddi üretim kayıplarına neden olur (Görener, 2013).
- **Arıza Tanımlama (K₂):** Bir makine veya ekipmanda arızanın nerede ve ne zaman oluşabileceğini tahmin edebilmeyi ifade eder (Wang vd., 2007).
- **Üretim Kalitesi (K₃):** Bir makinenin/ekipmanın arızasının üretilen ürünün kalitesini etkilemesini ifade eder.

4.2. Alternatiflerin Belirlenmesi

Literatürde yapılan çalışmalar ve uygulamanın yapıldığı işletmedeki gereksinimler göz önüne alınarak DB, PB, FB, DDB ve KB alternatif bakım stratejileri seçilmiştir.

4.3. Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Kriter ağırlıkları ve alternatifler, Tablo 2 ve Tablo 3'te yer alan dilsel terimlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilir. Seçim sürecine katılan dört karar vericinin kriter ağırlıklarına ve alternatif değerlendirilmesine verdikleri dilsel dereceler Tablo 2 ve Tablo 3'teki üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Denklem 7 kullanılarak her bir kriterin ağırlığı ve Denklem 8 kullanılarak alternatif bakım stratejilerinin birleştirilmiş bulanık değerlendirme karşılıkları hesaplanmış ve Tablo 5'te gösterilmiştir. Tablo 6'da Denklem 9 kullanılarak yapılan normalizasyon sonucu gösterilmektedir. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi Denklem 10 kullanılarak Tablo 7'deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 5: Alternatif Bakım Stratejilerinin Birleştirilmiş Bulanık Sayıları

	E ₁	E ₂	E ₃	M ₁	M ₂	M ₃	G ₁	G ₂	G ₃	K ₁	K ₂	K ₃
DB	(0,0.2,1.2)	(0,0.2,1.2)	(0,0.2,1.2)	(6.8,7.8,8)	(6.8,7.8,8)	(6,7.4,8)	(0,0.2,1.2)	(0,0.6,2)	(1.2,2.4,4)	(0,0.4,1.6)	(0,0.2,1.2)	(0,0.4,1.6)
PB	(3.2,4.8,6.4)	(3.2,4.8,6.2)	(3.2,4.8,6.2)	(2.3,6.5,2)	(2.4,4.5,6)	(3.6,5.2,6.6)	(2.2,3.6,5.2)	(4.5,6,7)	(3.6,5.2,6.8)	(3.2,4.8,6.4)	(2.2,3.6,5.2)	(4.5,6,7)
FB	(0,0.4,1.6)	(0,0.4,1.6)	(0,0.4,1.6)	(6.4,7.6,8)	(7.2,8,8)	(5.6,7,7.8)	(0.2,0.6,1.6)	(0.4,1.2,2.4)	(1.4,2.8,4.4)	(0.2,0.6,1.6)	(0,0.2,1.2)	(0.2,0.6,1.6)
DB	(2.8,4.4,6)	(2.8,4.4,6)	(3.6,5.2,6.6)	(2.3,6.5)	(3.2,4.6,5.8)	(3.6,5.2,6.6)	(2.4,4.5,6)	(3.6,5.2,6.6)	(4.5,6,7)	(2.3,6.5,2)	(2.4,4.5,6)	(3.2,4.8,6.2)
KB	(5.2,6.8,7.8)	(4.8,6.4,7.6)	(5.2,6.8,7.8)	(1.8,2.2,3)	(1.8,2.2,3)	(2.3,6.5,2)	(5.2,6.8,7.8)	(5.6,7,7.8)	(5.6,7.2,8)	(5.2,6.8,7.8)	(6.8,7.8,8)	(4.8,6.4,7.6)
Kriter ağırlıkları	(0.72,0.8,0.8)	(0.52,0.66,0.76)	(0.34,0.48,0.62)	(0.52,0.68,0.78)	(0.24,0.4,0.56)	(0.44,0.6,0.74)	(0.52,0.66,0.76)	(0.48,0.64,0.76)	(0.48,0.64,0.76)	(0.6,0.72,0.78)	(0.44,0.6,0.74)	(0.48,0.64,0.76)

Tablo 6: Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	E ₁	E ₂	E ₃	M ₁	M ₂	M ₃	G ₁	G ₂	G ₃	K ₁	K ₂	K ₃
DB	(0,0.03,0.15)	(0,0.03,0.16)	(0,0.03,0.15)	(0.85,0.98,1)	(0.85,0.98,1)	(0.75,0.93,1)	(0,0.03,0.15)	(0,0.08,0.26)	(0.15,0.3,0.5)	(0,0.05,0.21)	(0,0.03,0.15)	(0,0.05,0.21)
PB	(0.41,0.62,0.82)	(0.42,0.63,0.82)	(0.41,0.62,0.79)	(0.25,0.45,0.65)	(0.3,0.5,0.7)	(0.45,0.65,0.83)	(0.28,0.46,0.67)	(0.51,0.72,0.9)	(0.45,0.65,0.85)	(0.41,0.62,0.82)	(0.28,0.45,0.65)	(0.53,0.74,0.92)
FB	(0,0.05,0.21)	(0,0.05,0.21)	(0,0.05,0.21)	(0.8,0.95,1)	(0.9,1,1)	(0.7,0.88,0.98)	(0.03,0.08,0.21)	(0.05,0.15,0.31)	(0.18,0.35,0.55)	(0.03,0.08,0.21)	(0,0.03,0.15)	(0.03,0.08,0.21)
DD	(0.36,0.56,0.77)	(0.37,0.58,0.79)	(0.46,0.67,0.85)	(0.25,0.45,0.63)	(0.4,0.58,0.73)	(0.45,0.65,0.83)	(0.31,0.51,0.72)	(0.46,0.67,0.85)	(0.5,0.7,0.88)	(0.26,0.46,0.67)	(0.3,0.5,0.7)	(0.42,0.63,0.82)
KB	(0.67,0.87,1)	(0.63,0.84,1)	(0.67,0.87,1)	(0.23,0.28,0.38)	(0.23,0.28,0.38)	(0.25,0.45,0.65)	(0.67,0.87,1)	(0.72,0.9,1)	(0.7,0.9,1)	(0.67,0.87,1)	(0.85,0.98,1)	(0.63,0.84,1)

Tablo 7: Ağırlıklı Normalize Bulanık Karar Matrisi

	E ₁	E ₂	E ₃	M ₁	M ₂	M ₃	G ₁	G ₂	G ₃	K ₁	K ₂	K ₃
DB	(0,0.02,0.12)	(0,0.02,0.12)	(0,0.01,0.1)	(0.44,0.66,0.78)	(0.2,0.39,0.56)	(0.33,0.56,0.74)	(0,0.02,0.12)	(0,0.05,0.19)	(0.07,0.19,0.38)	(0,0.04,0.16)	(0,0.02,0.11)	(0,0.03,0.16)
PB	(0.3,0.49,0.66)	(0.22,0.42,0.62)	(0.14,0.3,0.49)	(0.13,0.31,0.51)	(0.07,0.2,0.39)	(0.2,0.39,0.61)	(0.15,0.3,0.51)	(0.25,0.46,0.68)	(0.22,0.42,0.65)	(0.25,0.44,0.64)	(0.12,0.27,0.48)	(0.25,0.47,0.7)
FB	(0,0.04,0.16)	(0,0.03,0.16)	(0,0.02,0.13)	(0.42,0.65,0.78)	(0.22,0.4,0.56)	(0.31,0.53,0.72)	(0.01,0.05,0.16)	(0.02,0.1,0.23)	(0.08,0.22,0.42)	(0.02,0.06,0.16)	(0,0.02,0.11)	(0.01,0.05,0.16)
DD	(0.26,0.45,0.62)	(0.19,0.38,0.6)	(0.16,0.32,0.52)	(0.13,0.31,0.49)	(0.1,0.23,0.41)	(0.2,0.39,0.61)	(0.16,0.34,0.55)	(0.22,0.43,0.64)	(0.24,0.45,0.67)	(0.15,0.33,0.52)	(0.13,0.3,0.52)	(0.2,0.4,0.62)
KB	(0.48,0.7,0.8)	(0.33,0.56,0.76)	(0.23,0.42,0.62)	(0.12,0.19,0.29)	(0.05,0.11,0.21)	(0.11,0.27,0.48)	(0.35,0.58,0.76)	(0.34,0.57,0.76)	(0.34,0.58,0.76)	(0.4,0.63,0.78)	(0.37,0.59,0.74)	(0.3,0.54,0.76)

Tablo 8: Her Kriteria Göre Her Alternatifin Pozitif İdealden Uzaklıkları

	E ₁	E ₂	E ₃	M ₁	M ₂	M ₃	G ₁	G ₂	G ₃	K ₁	K ₂	K ₃	d _i ⁺
DB	0.95	0.96	0.97	0.40	0.63	0.49	0.96	0.92	0.80	0.94	0.96	0.94	9.90
PB	0.54	0.60	0.71	0.70	0.79	0.62	0.70	0.57	0.60	0.58	0.72	0.56	7.69
FB	0.93	0.94	0.95	0.41	0.62	0.51	0.93	0.89	0.77	0.93	0.96	0.93	9.77
DD	0.58	0.63	0.68	0.71	0.77	0.62	0.67	0.60	0.58	0.68	0.70	0.62	7.83
KB	0.37	0.49	0.60	0.80	0.88	0.73	0.47	0.47	0.48	0.43	0.46	0.50	6.67

Tablo 9: Her Kriteria Göre Her Alternatifin Negatif İdealden Uzaklıkları

	E ₁	E ₂	E ₃	M ₁	M ₂	M ₃	G ₁	G ₂	G ₃	K ₁	K ₂	K ₃	d _i ⁻
DB	0.07	0.07	0.06	0.64	0.41	0.57	0.07	0.12	0.25	0.09	0.06	0.09	2.51
PB	0.50	0.45	0.34	0.35	0.26	0.43	0.35	0.50	0.46	0.47	0.33	0.51	4.95
FB	0.10	0.09	0.07	0.63	0.42	0.54	0.09	0.15	0.28	0.10	0.06	0.10	2.64
DD	0.47	0.43	0.37	0.34	0.28	0.43	0.38	0.46	0.48	0.37	0.35	0.44	4.80
KB	0.67	0.58	0.45	0.21	0.14	0.32	0.59	0.58	0.58	0.62	0.59	0.57	5.90

Chen (2000)'e göre FPIS ve FNIS aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$A^* = [(1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1)]$$

$$A^- = [(0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0), (0,0,0)]$$

Pozitif ideal çözümden uzaklık (d_i⁺) ve negatif ideal çözümden uzaklık (d_i⁻) Denklem 13 ve 14'e göre hesaplanmakta ve Tablo 8 ve Tablo 9'daki gibi gösterilmektedir.

Her bir alternatif bakım stratejisinin yakınlık katsayıları (CC_i) Denklem 15 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 10'da sunulmuştur. Bu sonuçlara göre Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılan hesaplamada KB birinci, PB ikinci, DDB üçüncü, FB dördüncü ve DB beşinci sırada yer almıştır.

Tablo 10: Bulanık TOPSIS Yöntemine Göre Alternatif Bakım Stratejilerinin Sıralanması

Alternatifler	CC _i	Sıra
DB	0.202	5
PB	0.392	2
FB	0.213	4
DD	0.380	3
KB	0.470	1

4.4. Bulanık AHP Yönteminin Uygulanması

Karar vericiler, kriter ağırlıkları ve alternatifleri değerlendirmek için Tablo 4'teki dilsel terimleri kullanmışlardır, ardından değerlendirmeler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Geometrik ortalama yardımıyla karar vericilerin değerlendirmeleri birleştirilmiştir. Tablo 11'de ana kriterlerin birleştirilmiş bulanık ikili karşılaştırma matrisi, Tablo 12'de güvenlik kriterinin, Tablo 13'te maliyet kriterinin, Tablo

14'te güvenilirlik kriterinin ve Tablo 15'te katma değer kriterinin alt kriterlerinin birleştirilmiş bulanık ikili karşılaştırma matrisleri gösterilmektedir.

Tablo 11: Ana Kriterlerin Birleştirilmiş Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

Amaç	E	M	G	K
E	(1,1,1)	(1.7,2.21,2.72)	(0.82,1,1.22)	(0.82,1.19,1.7)
M	(0.37,0.45,0.59)	(1,1,1)	(0.38,0.49,0.63)	(0.65,0.84,1.11)
G	(0.82,1,1.22)	(1.58,2.06,2.6)	(1,1,1)	(0.97,1.19,1.43)
K	(0.59,0.84,1.22)	(0.9,1.19,1.54)	(0.7,0.84,1.03)	(1,1,1)

Her kriter için bulanık sentetik derece değeri, Denklem 17 ile hesaplanır:

$$s_E = (4.34,5.4,6.65) \otimes (1/21.02, 1/17.30, 1/14.30) = (0.21,0.31,0.46)$$

$$s_M = (2.4,2.78,3.33) \otimes (1/21.02, 1/17.30, 1/14.30) = (0.11,0.16,0.23)$$

$$s_G = (4.37,5.25,6.26) \otimes (1/21.02, 1/17.30, 1/14.30) = (0.21,0.3,0.44)$$

$$s_K = (3.19,3.87,4.79) \otimes (1/21.02, 1/17.30, 1/14.30) = (0.15,0.22,0.34)$$

Bu bulanık değerlerin olasılık dereceleri, Denklem 22 ile hesaplanır.

$$V(s_E \geq s_M) = 1, V(s_E \geq s_G) = 1, V(s_E \geq s_K) = 1$$

$$V(s_M \geq s_E) = 0.15, V(s_M \geq s_G) = 0.15, V(s_M \geq s_K) = 0.56$$

$$V(s_G \geq s_E) = 0.96, V(s_G \geq s_M) = 1, V(s_G \geq s_K) = 1$$

$$V(s_K \geq s_E) = 0.59, V(s_K \geq s_M) = 1, V(s_K \geq s_G) = 0.62$$

Daha sonra, öncelik ağırlıkları Denklem 23 ile ağırlık vektörü Denklem 24 ile hesaplanır.

$$d'(s_E) = \min V(s_E \geq s_M, s_G, s_K) = \min(1,1,1) = 1$$

$$d'(s_M) = \min V(s_M \geq s_E, s_G, s_K) = \min(0.15,0.15,0.56) = 0.15$$

$$d'(s_G) = \min V(s_G \geq s_E, s_M, s_K) = \min(0.96,1,1) = 0.96$$

$$d'(s_K) = \min V(s_K \geq s_E, s_M, s_G) = \min(0.59,1,0.62) = 0.59$$

Bu değerler aşağıdaki ağırlık vektörünü verir:

$$W' = (1,0.15,0.96,0.59)^T$$

Denklem 25 kullanılarak, ana kriterlerin önem ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$W = (0.37,0.05,0.96,0.59)^T$$

Benzer şekilde alt kriterlerin ve alternatiflerin önem ağırlıkları hesaplanır.

Tablo 16: E₁ Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

E ₁	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.39,0.5,0.66)	(0.82,1,1.22)	(0.34,0.42,0.53)	(0.27,0.32,0.38)
PB	(1.51,2,2.55)	(1,1,1)	(1.58,2.06,2.6)	(0.82,1,1.22)	(0.39,0.5,0.66)
FB	(0.82,1,1.22)	(0.38,0.49,0.63)	(1,1,1)	(0.34,0.41,0.52)	(0.22,0.25,0.29)
DDB	(1.87,2.38,2.95)	(0.82,1,1.22)	(1.94,2.45,2.96)	(1,1,1)	(0.45,0.59,0.82)
KB	(2.6,3.13,3.65)	(1.51,2,2.55)	(3.5,4,4.5)	(1.22,1.68,2.2)	(1,1,1)

Tablo 12: Emniyet Kriterinin Alt Kriterlerinin Birleştirilmiş Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

E	E ₁	E ₂	E ₃
E ₁	(1,1,1)	(1.94,2.45,2.96)	(3.22,3.72,4.23)
E ₂	(0.34,0.41,0.52)	(1,1,1)	(0.67,1,1.5)
E ₃	(0.24,0.27,0.31)	(0.67,1,1.5)	(1,1,1)

Tablo 12'de ağırlık vektörü $W_E = (1,0,0)^T$ olarak hesaplanır.

Tablo 13: Maliyet Kriterinin Alt Kriterlerinin Birleştirilmiş Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

M	M ₁	M ₂	M ₃
M ₁	(1,1,1)	(1.22,1.68,2.2)	(0.82,1.19,1.7)
M ₂	(0.45,0.59,0.82)	(1,1,1)	(0.82,1.19,1.7)
M ₃	(0.59,0.84,1.22)	(0.59,0.84,1.22)	(1,1,1)

Tablo 13'te ağırlık vektörü $W_M = (0.44,0.29,0.27)^T$ olarak hesaplanır.

Tablo 14: Güvenilirlik Kriterinin Alt Kriterlerinin Birleştirilmiş Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

G	G ₁	G ₂	G ₃
G ₁	(1,1,1)	(0.74,1,1.36)	(1,1.41,1.94)
G ₂	(0.74,1,1.36)	(1,1,1)	(0.88,1,1.14)
G ₃	(0.52,0.71,1)	(0.88,1,1.14)	(1,1,1)

Tablo 14'te ağırlık vektörü $W_G = (0.4,0.33,0.27)^T$ olarak hesaplanır.

Tablo 15: Katma Değer Kriterinin Alt Kriterlerinin Birleştirilmiş Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

K	K ₁	K ₂	K ₃
K ₁	(1,1,1)	(0.82,1.19,1.7)	(1,1.41,1.94)
K ₂	(0.59,0.84,1.22)	(1,1,1)	(0.59,0.84,1.22)
K ₃	(0.52,0.71,1)	(0.82,1.19,1.7)	(1,1,1)

Tablo 15'te ağırlık vektörü $W_K = (0.4,0.28,0.31)^T$ olarak hesaplanır.

Tablo 17: E_2 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

E_2	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.42,0.54,0.72)	(0.82,1,1.22)	(0.32,0.38,0.47)	(0.24,0.27,0.31)
PB	(1.39,1.86,2.39)	(1,1,1)	(1.58,2.06,2.6)	(0.65,0.84,1.11)	(0.32,0.38,0.47)
FB	(0.82,1,1.22)	(0.38,0.49,0.63)	(1,1,1)	(0.37,0.45,0.59)	(0.25,0.29,0.34)
DDB	(2.11,2.63,3.15)	(0.9,1.19,1.54)	(1.7,2.21,2.72)	(1,1,1)	(0.5,0.59,0.74)
KB	(3.22,3.72,4.23)	(2.11,2.63,3.15)	(2.96,3.46,3.97)	(1.36,1.68,1.99)	(1,1,1)

Tablo 18: E_3 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

E_3	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.42,0.54,0.72)	(0.82,1,1.22)	(0.3,0.35,0.44)	(0.26,0.3,0.35)
PB	(1.39,1.86,2.39)	(1,1,1)	(1.39,1.86,2.39)	(0.74,1,1.36)	(0.39,0.5,0.66)
FB	(0.82,1,1.22)	(0.42,0.54,0.72)	(1,1,1)	(0.34,0.41,0.52)	(0.25,0.29,0.34)
DDB	(2.29,2.83,3.35)	(0.74,1,1.36)	(1.94,2.45,2.96)	(1,1,1)	(0.46,0.54,0.65)
KB	(2.83,3.36,3.89)	(1.51,2,2.55)	(2.96,3.46,3.97)	(1.54,1.86,2.16)	(1,1,1)

Tablo 19: M_1 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

M_1	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(1.14,1.57,2.11)	(0.82,1,1.22)	(1.7,2.21,2.72)	(2.6,3.13,3.65)
PB	(0.47,0.64,0.88)	(1,1,1)	(0.45,0.59,0.81)	(0.66,0.76,0.88)	(1,1.41,1.94)
FB	(0.82,1,1.22)	(1.24,1.68,2.24)	(1,1,1)	(1.7,2.21,2.72)	(2.72,3.22,3.73)
DDB	(0.37,0.45,0.59)	(1.14,1.32,1.51)	(0.37,0.45,0.59)	(1,1,1)	(0.93,1.32,1.85)
KB	(0.27,0.32,0.38)	(0.52,0.71,1)	(0.27,0.31,0.37)	(0.54,0.76,1.08)	(1,1,1)

Tablo 20: M_2 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

M_2	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(1.51,2,2.55)	(1,1.19,1.39)	(1.7,2.21,2.72)	(3.22,3.72,4.23)
PB	(0.39,0.5,0.66)	(1,1,1)	(0.36,0.45,0.58)	(0.54,0.76,1.08)	(1,1.32,1.72)
FB	(0.72,0.84,1)	(1.72,2.21,2.77)	(1,1,1)	(0.93,1.32,1.85)	(2.39,2.91,3.43)
DDB	(0.37,0.45,0.59)	(0.93,1.32,1.85)	(0.54,0.76,1.08)	(1,1,1)	(1,1.41,1.94)
KB	(0.24,0.27,0.31)	(0.58,0.76,1)	(0.29,0.34,0.42)	(0.52,0.71,1)	(1,1,1)

Tablo 21: M_3 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

M_3	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(1.11,1.41,1.75)	(0.9,1,1.11)	(1.39,1.86,2.39)	(2.6,3.13,3.65)
PB	(0.57,0.71,0.9)	(1,1,1)	(0.57,0.71,0.9)	(0.67,1,1.5)	(1.9,2.21,2.5)
FB	(0.9,1,1.11)	(1.11,1.41,1.75)	(1,1,1)	(1.26,1.57,1.9)	(1.53,2,2.6)
DDB	(0.42,0.54,0.72)	(0.67,1,1.5)	(0.53,0.64,0.8)	(1,1,1)	(1.24,1.57,1.99)
KB	(0.27,0.32,0.38)	(0.4,0.45,0.53)	(0.38,0.5,0.65)	(0.5,0.64,0.81)	(1,1,1)

Tablo 22: G_1 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

G_1	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.29,0.34,0.42)	(0.74,1,1.36)	(0.34,0.41,0.52)	(0.24,0.27,0.31)
PB	(2.39,2.91,3.43)	(1,1,1)	(1.14,1.57,2.11)	(0.74,1,1.36)	(0.52,0.71,1)
FB	(0.74,1,1.36)	(0.47,0.64,0.88)	(1,1,1)	(0.52,0.71,1)	(0.29,0.34,0.42)
DDB	(1.94,2.45,2.96)	(0.74,1,1.36)	(1,1.41,1.94)	(1,1,1)	(0.42,0.54,0.72)
KB	(3.22,3.72,4.23)	(1,1.41,1.94)	(2.39,2.91,3.43)	(1.39,1.86,2.39)	(1,1,1)

Tablo 23: G_2 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

G_2	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.29,0.34,0.42)	(0.67,1,1.5)	(0.34,0.41,0.52)	(0.24,0.27,0.31)
PB	(2.39,2.91,3.43)	(1,1,1)	(1.51,2,2.55)	(0.9,1.19,1.54)	(0.57,0.71,0.9)
FB	(0.67,1,1.5)	(0.39,0.5,0.66)	(1,1,1)	(0.45,0.59,0.81)	(0.29,0.34,0.42)
DDB	(1.94,2.45,2.96)	(0.65,0.84,1.11)	(1.24,1.68,2.24)	(1,1,1)	(0.37,0.42,0.48)
KB	(3.22,3.72,4.23)	(1.11,1.41,1.75)	(2.39,2.91,3.43)	(2.07,2.38,2.67)	(1,1,1)

Tablo 24: G_3 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

G_3	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.53,0.64,0.8)	(0.74,1,1.36)	(0.69,0.78,0.9)	(0.58,0.71,0.86)
PB	(1.26,1.57,1.9)	(1,1,1)	(0.88,1.19,1.58)	(1.12,1.41,1.78)	(0.89,1.19,1.61)
FB	(0.74,1,1.36)	(0.63,0.84,1.14)	(1,1,1)	(0.55,0.71,0.92)	(0.46,0.54,0.63)
DDB	(1.11,1.28,1.46)	(0.56,0.71,0.9)	(1.09,1.41,1.83)	(1,1,1)	(0.59,0.84,1.22)
KB	(1.16,1.41,1.72)	(0.62,0.84,1.13)	(1.58,1.86,2.17)	(0.82,1.19,1.7)	(1,1,1)

Tablo 25: K_1 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

K_1	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.36,0.45,0.58)	(0.74,1,1.36)	(0.52,0.71,1)	(0.29,0.34,0.42)
PB	(1.72,2.21,2.77)	(1,1,1)	(1.85,2.38,2.9)	(1.26,1.57,1.9)	(0.8,1,1.26)
FB	(0.74,1,1.36)	(0.35,0.42,0.54)	(1,1,1)	(0.59,0.84,1.22)	(0.27,0.32,0.38)
DDB	(1,1.41,1.94)	(0.53,0.64,0.8)	(0.82,1.19,1.7)	(1,1,1)	(0.35,0.44,0.56)
KB	(2.39,2.91,3.43)	(0.8,1,1.26)	(2.6,3.13,3.65)	(1.8,2.28,2.83)	(1,1,1)

Tablo 26: K_2 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

K_2	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.34,0.41,0.52)	(1,1,1)	(0.32,0.38,0.47)	(0.22,0.25,0.29)
PB	(1.94,2.45,2.96)	(1,1,1)	(1.94,2.45,2.96)	(0.9,1,1.11)	(0.38,0.49,0.63)
FB	(1,1,1)	(0.34,0.41,0.52)	(1,1,1)	(0.32,0.38,0.47)	(0.22,0.25,0.29)
DDB	(2.11,2.63,3.15)	(0.9,1,1.11)	(2.11,2.63,3.15)	(1,1,1)	(0.45,0.59,0.82)
KB	(3.5,4,4.5)	(1.58,2.06,2.6)	(3.5,4,4.5)	(1.22,1.68,2.2)	(1,1,1)

Tablo 27: K_3 Kriterine Göre Alternatiflerin İkili Karşılaştırılması

K_3	DB	PB	FB	DDB	KB
DB	(1,1,1)	(0.31,0.37,0.45)	(0.82,1,1.22)	(0.37,0.45,0.59)	(0.22,0.25,0.29)
PB	(2.2,2.71,3.22)	(1,1,1)	(1.58,2.06,2.6)	(0.82,1,1.22)	(0.35,0.44,0.56)
FB	(0.82,1,1.22)	(0.38,0.49,0.63)	(1,1,1)	(0.47,0.64,0.88)	(0.22,0.25,0.29)
DDB	(1.7,2.21,2.72)	(0.82,1,1.22)	(1.14,1.57,2.11)	(1,1,1)	(0.42,0.54,0.72)
KB	(3.5,4,4.5)	(1.8,2.28,2.83)	(3.5,4,4.5)	(1.39,1.86,2.39)	(1,1,1)

Tablo 28: Kriterler ve Alternatiflerin Vektör Ağırlıkları

	E_1	E_2	E_3	M_1	M_2	M_3	G_1	G_2	G_3	K_1	K_2	K_3
DB	0.000	0.000	0.000	0.444	0.526	0.404	0.000	0.000	0.121	0.000	0.000	0.000
PB	0.133	0.003	0.104	0.047	0.000	0.185	0.265	0.281	0.274	0.400	0.085	0.104
FB	0.000	0.000	0.000	0.458	0.391	0.301	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000
DDB	0.230	0.218	0.269	0.051	0.083	0.110	0.189	0.115	0.209	0.026	0.162	0.000
KB	0.637	0.779	0.628	0.000	0.000	0.000	0.547	0.604	0.271	0.574	0.753	0.896

Kriter ağırlıkları	0.370	0.000	0.000	0.024	0.016	0.015	0.144	0.117	0.096	0.089	0.062	0.069
--------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

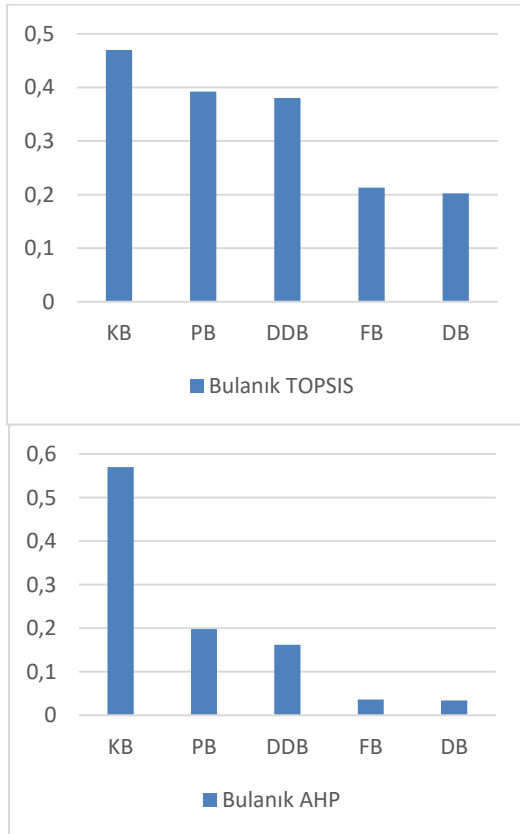
Kriter ve alternatiflerin vektör ağırlıkları Tablo 28’de verilmiştir (ondalıktan sonra üç haneye kadar yuvarlanmıştır). Tablo 29’da Bulanık AHP yöntemi ile yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre KB en uygun bakım stratejisi olarak seçilmiştir. Alternatif bakım stratejileri KB, PB, DDB, DB ve FB olarak sıralanmaktadır.

Tablo 29: Alternatiflerin Global Puanı ve Sıralaması

Alternatifler	Global skor	Sıra
DB	0.036	4
PB	0.198	2
FB	0.034	5
DDB	0.162	3
KB	0.570	1

4.5. Bulgular

Bu çalışmada, en uygun bakım stratejisi seçim problemi için değer temelli yöntemlerden bulanık TOPSIS ve hiyerarşi temelli yöntemlerden bulanık AHP yaklaşımları kullanılarak iki farklı ÇKKV metoduyla değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 3’te Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP yöntemlerinin sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre iki farklı yaklaşımda da kestirimci bakım stratejisi en uygun bakım stratejisi olarak (ilk sırada) ortaya çıkmıştır. Geri kalan sıralamaya baktığımızda DB ve FB alternatiflerinin yer değiştirmesi dışında iki yöntemin de benzer sıralamayı verdiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, iki farklı yöntem ile ele alınan problemin tutarlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirildiğini göstermektedir.



Şekil 3: Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP Sonuçları

5. Sonuçlar

Bakım planlama faaliyetleri özellikle gıda sektörü gibi sürekli ihtiyaç duyulan alanlarda önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü zamanında yapılmayan bakım planlama çalışmaları şirketler için mali kayıpların yanısıra müşteri ve prestij kayıplarına da yola açmaktadır. Günümüzde, gıda işletmelerinin başarılı olabilmesi, gıda üretimi esnasında ürünlerin prosedüre uygun biçimde işletilmesine bağlıdır. Makine/ekipmanlardaki beklenmedik arızalar ürünlerin hatlarda beklemesine ve ürünlerin kalitesinin düşmesine zaman zaman ürünlerin bozulmasına yol açmaktadır (Cayir Ervural, 2020). Gıda üretim tesislerinde üretilen ürünlerin bekleme sürelerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Uygun bakım planlama faaliyetleri ile makine/ekipmanlarda ortaya çıkabilecek ani bozulmaların önüne geçilerek ürünlerin sağlam biçimde paketlenerek sevk edilmesi sağlanmaktadır. Bu yüzden uygun bakım planlama faaliyetleri kritik rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye’de bir gıda işletmesi için bulanık TOPSIS ve bulanık AHP yöntemleri kullanılarak çok sayıda kriter ve alternatif değerlendirilerek, farklı karar verici görüşleri altında en uygun bakım planlama stratejisinin belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Doğru planlanmış bir bakım yönetimi, tesis ekipmanlarının kullanılabilirliğini, güvenlik seviyelerini ve üretim kalitesini artırırken bakım için gereksiz yatırımları ve üretim kayıplarını azaltmaktadır. Uygun bakım stratejisinin seçimi veri toplamadaki zorluklar, dikkate alınması gereken kriterler ve kriterlerin her birinin kendi içindeki önelliği, ayrıca çok sayıda bakım alternatifinin yer alması nedeniyle karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu nedenle bakım stratejilerinin değerlendirilmesi, çok boyutlu karar problemi olarak değerlendirilmektedir (Bevilacqua ve Braglia, 2000; Wang vd., 2007). Kesin olmayan karar verici yargıları dikkate alındığında, ÇKKV yöntemlerine bulanık yaklaşımların entegre edilmesi büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada, insan düşüncelerindeki belirsizliği modelleyebilmek amacıyla literatürde sıkça kullanılan ve karar vericiler tarafından kolayca anlaşılabilen bulanık TOPSIS ve bulanık AHP yöntemleri kullanılarak bir işletme için en uygun bakım stratejisinin seçimi yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda, uygulamanın yapıldığı işletme için en uygun bakım stratejisi KB olarak seçilmiştir. KB, izlenen makine/ekipmanların arıza eğilimini tahmin etmeye yarayan bir bakım stratejisi olduğundan işletmelerde arıza sıklığı, ortalama tamir süresi ve üretim kaybını azaltırken teknik güvenilirlik, arıza teşhisi ve üretim kalitesini de artırmaktadır. Ayrıca, beklenmedik arızaların ortaya çıkması sonucunda etkilenebilecek personel, tesis ve çevre güvenliği de kontrol altına alınabilir. Bir işletmede, emniyet, güvenilirlik ve katma değer ana kriterlerinin önemi arttığında kestirimci bakım stratejisi en uygun bakım stratejisi olarak seçilmektedir. Maliyet ana kriterinin önemi arttığında ise DB ve FB bakım stratejileri en uygun bakım stratejisi konumuna gelmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde en uygun bakım stratejisi, işletmelerin sahip olduğu farklı özelliklerden ve ele alınan alternatiflerin çeşitliliğinden dolayı farklılık göstermektedir. Bu yüzden bir işletme için seçilen bakım stratejisinin en iyi bakım stratejisi olduğunu söylemek doğru bir yaklaşım değildir. İşletmelerin bulunduğu sektör, sahip olduğu üretim sistemi, farklı kriterlerin varlığı ve karar vericilerin görüşleri işletmeler için belirlenecek en uygun bakım stratejisini

değiştirebilir. Bu yüzden her işletme için uygun kriter ve alternatifler dikkate alınarak en uygun bakım strateji seçimi yapılmalıdır.

Gelecek araştırmalar için bakım stratejisi seçim problemi yeni kriter ve alternatifler de değerlendirilerek farklı uygulama alanlarına adapte edilebilir. Ayrıca, bakım stratejisi seçim problemi yapısı gereği içerdiği belirsiz ve karmaşıklıktan dolayı farklı bulanık yaklaşımlar ile modellenebilir. İşletmelerde maliyet ve zaman açısından avantaj sağlayabilmek için üretim planlama ve bakım planlama çalışmaları birleştirilerek simülasyon modeli oluşturulabilir.

Kaynakça

- Aghaee, M. ve Fazli, S. (2012). An improved MCDM method for maintenance approach selection: A case study of auto industry. *Management Science Letters*, 2, 137–146. doi:10.5267/j.msl.2011.09.012
- Ahmadi, A., Gupta, S., Karim, R. ve Kumar, U. (2010). Selection of maintenance strategy for aircraft systems using multi-criteria decision making methodologies. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 17(03), 223–243. doi:10.1142/S0218539310003779
- Al-Najjar, B. ve Alsyouf, I. (2003). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Production Economics*, 84(1), 85–100. doi:10.1016/S0925-5273(02)00380-8
- Asuquo, M. P., Wang, J., Zhang, L. ve Phylip-Jones, G. (2019). Application of a multiple attribute group decision making (MAGDM) model for selecting appropriate maintenance strategy for marine and offshore machinery operations. *Ocean Engineering*, 179, 246–260. doi:10.1016/J.OCEANENG.2019.02.065
- Azizi, A. ve Fathi, K. (2014). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *Management Science Letters*, 4(5), 893–898. doi:10.5267/j.msl.2014.3.028
- Bal, A. ve Satoglu, S. I. (2014). Maintenance Management of Production Systems with Sensors and RFID: A Case Study System Level Production Modelling in Coal Mining Industry View project Sustainable Supply Chain Management View project Maintenance Management of Production Systems with Sens.
- Bertolini, M., Bevilacqua, M., Braglia, M. ve Frosolini, M. (2004). An analytical method for maintenance outsourcing service selection. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(7), 772–788. doi:10.1108/02656710410549118
- Bevilacqua, M. ve Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71–83. doi:10.1016/S0951-8320(00)00047-8
- Cayir Ervural, B. (2020). Varyans Analizi (ANOVA) ve Kovaryans Analizi (ANCOVA) İle Deney Tasarımı: Bir Gıda İşletmesinin Tedarik Süresine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 923–941. doi:10.35193/bseufbd.719341
- Cayir Ervural, B., Evren, R. ve Delen, D. (2018). A multi-objective decision-making approach for sustainable energy investment planning. *Renewable Energy*, 126, 387–402. doi:10.1016/J.RENENE.2018.03.051
- Cayir Ervural, B., Zaim, S., Demirel, O. F., Aydın, Z. ve Delen, D. (2018). An ANP and fuzzy TOPSIS-based SWOT analysis

- for Turkey's energy planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1538–1550. doi:10.1016/J.RSER.2017.06.095
- Chan, F. T. S. ve Prakash, A. (2012). Maintenance policy selection in manufacturing firms using the fuzzy MCDM approach. *International Journal of Production Research*, 50(23), 7044–7056. doi:10.1080/00207543.2011.653451
- Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649–655. doi:10.1016/0377-2217(95)00300-2
- Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9. doi:10.1016/S0165-0114(97)00377-1
- Elseddawy, A. Z. ve Kandil, A. H. (2018). Selection of Appropriate Maintenance Strategy for Medical Equipment. 2018 9th Cairo International Biomedical Engineering Conference (CIBEC) içinde (ss. 73–77). IEEE. doi:10.1109/CIBEC.2018.8641811
- Emovon, I., Norman, R. A. ve Murphy, A. J. (2018). Hybrid MCDM based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(3), 519–531. doi:10.1007/s10845-015-1133-6
- Fathi, M. R., Momeni, M., Zarchi, M. K. ve Azizollahi, S. (2011). A Fuzzy TOPSIS-Based Approach to Maintenance Strategy Selection: A Case Study. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 8(3), 699–706.
- Fazlollahtabar, H. ve Yousefpoor, N. (2008). Selection of Optimum Maintenance Strategies in a Virtual Learning Environment based on Analytic Hierarchy Process.
- Ge, Y., Xiao, M., Yang, Z., Zhang, L., Hu, Z. ve Feng, D. (2017). An integrated logarithmic fuzzy preference programming based methodology for optimum maintenance strategies selection. *Applied Soft Computing*, 60, 591–601. doi:10.1016/J.ASOC.2017.07.021
- Gedikli, T. ve Cayir Ervural, B. (2020). Selection of Optimum Maintenance Strategy Using Multi-criteria Decision Making Approaches. *Industrial Engineering in the Digital Disruption Era* içinde (ss. 156–170). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-42416-9_15
- Gedikli, T., Ervural, B. C. ve Sen, D. T. (2021). Evaluation of Maintenance Strategies Using Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method. *Advances in Intelligent Systems and Computing* içinde (C. 1197 AISC, ss. 512–521). Springer. doi:10.1007/978-3-030-51156-2_59
- Görener, A. (2013). Bakım stratejilerinin bulanık karar ortamında seçimi için WSA ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, (216), 159–177.
- Hwang, C. C.-L. ve Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* (C. 186). New York: Springer.
- Ilangkumaran, M. ve Kumanan, S. (2009). Selection of maintenance policy for textile industry using hybrid multi-criteria decision making approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(7), 1009–1022. doi:10.1108/17410380910984258
- Jayaswal, P., Sagar, M. K. ve Kushwah, K. (2013). Maintenance Strategy Selection by Fuzzy TOPSIS Method of Material Handling Equipment. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, 2(3), 126–135.
- Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International Journal of Production*

- Economics, 87(2), 171–184. doi:10.1016/S0925-5273(03)00099-9
- Kahraman, C., Ruan, D. ve Doğan, I. (2003). Fuzzy group decision-making for facility location selection. *Information Sciences*, 157, 135–153. doi:10.1016/S0020-0255(03)00183-X
- Kaya, T. ve Kahraman, C. (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577–6585. doi:10.1016/J.ESWA.2010.11.081
- Kirubakaran, B. ve Ilangkumaran, M. (2016). Selection of optimum maintenance strategy based on FAHP integrated with GRA–TOPSIS. *Annals of Operations Research*, 245(1–2), 285–313. doi:10.1007/s10479-014-1775-3
- Kumar, G. ve Maiti, J. (2012). Modeling risk based maintenance using fuzzy analytic network process. *Expert Systems with Applications*, 39(11), 9946–9954. doi:10.1016/J.ESWA.2012.01.004
- Kumar Sagar, M., Jayaswal, P. ve Kushwah, K. (2013). Exploring Fuzzy SAW Method for Maintenance Strategy Selection Problem of Material Handling Equipment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(2), 600–605. <http://inpressco.com/category/ijcet> adresinden erişildi.
- Kundakcı, N. (2019). Selection of Maintenance Strategy For a Manufacturing Company with Fuzzy Moora Method. <https://www.dpublication.com/wp-content/uploads/2019/07/49-959-ICBME.pdf> adresinden erişildi.
- Li, C., Xu, M. ve Guo, S. (2007). ELECTRE III based on ranking fuzzy numbers for deterministic and fuzzy maintenance strategy decision problems. *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2007* içinde (ss. 309–312). IEEE. doi:10.1109/ICAL.2007.4338577
- Lima Junior, F. R., Osiro, L. ve Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194–209. doi:10.1016/J.ASOC.2014.03.014
- Mey, Y. (2016). Fuzzy analytical hierarchy process for the selection of maintenance policies within petroleum industry, (3), 529–534.
- Nezami, F. G. ve Yildirim, M. B. (2013). A sustainability approach for selecting maintenance strategy. *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(4), 332–343. doi:10.1080/19397038.2013.765928
- Odeyale, S. O., Alamu, O. J. ve Odeyale, E. O. (2013). The Analytical Hierarchy Process Concept for Maintenance Strategy Selection in Manufacturing Industries. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 14(1), 223–233.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. doi:10.1016/S0377-2217(03)00020-1
- Özcan, E., Danışan, T. ve Eren, T. (2019). Hidroelektrik Santrallerin En Kritik Elektriksel Ekipman Gruplarının Bakım Stratejilerinin Optimizasyonu İçin Matematiksel Bir Model Önerisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 498–506. doi:10.5505/pajes.2018.38455
- Özcan, E., Ünlüsoy, S. ve Eren, T. (2017). A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1410–1423. doi:10.1016/J.RSER.2017.04.039
- Pariazar, M., Shahrabi, J., Zaeri, M. S. ve Parhizi, S. (2008). A combined approach for maintenance strategy selection. *Journal of Applied Sciences*. doi:10.3923/jas.2008.4321.4329
- Pourjavad, E., Shirouyehzad, H. ve Shahin, A. (2013). Selecting maintenance strategy in mining industry by analytic network process and TOPSIS. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 15(2), 171. doi:10.1504/ijise.2013.056095
- Pun, K. P., Tsang, Y. P., Choy, K. L., Tang, V. ve Lam, H. Y. (2017). A Fuzzy-AHP-Based Decision Support System for Maintenance Strategy Selection in Facility Management. *2017 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)* içinde (ss. 1–7). IEEE. doi:10.23919/PICMET.2017.8125300
- Saaty, T. L. (1980). What is the Analytic Hierarchy Process? *Mathematical Models for Decision Support* içinde (ss. 109–121). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-83555-1_5
- Seçme, N. Y., Bayrakdaroğlu, A. ve Kahraman, C. (2009). Fuzzy performance evaluation in Turkish Banking Sector using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 36(9), 11699–11709. doi:10.1016/J.ESWA.2009.03.013
- Shyjith, K., Ilangkumaran, M. ve Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(4), 375–386. doi:10.1108/13552510810909975
- Tolga, E., Demircan, M. L. ve Kahraman, C. (2005). Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 97(1), 89–117. doi:10.1016/J.IJPE.2004.07.001
- Wang, L., Chu, J. ve Wu, J. (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 151–163. doi:10.1016/j.ijpe.2006.08.005
- Xie, H., Shi, L. ve Xu, H. (2013). Transformer Maintenance Policies Selection Based on an Improved Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Journal of Computers*, 8(5), 1343–1350. doi:10.4304/jcp.8.5.1343-1350