

KONYA GIDA VE TARIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PİSAGOR BULANIK TOPSIS VE BULANIK TOPSIS
YÖNTEMLERİ İLE EN UYGUN BAKIM STRATEJİSİNİN
SEÇİLMESİ: BİR GIDA İŞLETMESİNDE UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga GEDİKLİ

KONYA
ARALIK, 2019

**KONYA GIDA VE TARIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PİSAGOR BULANIK TOPSIS VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE EN
UYGUN BAKIM STRATEJİSİNİN SEÇİLMESİ:
BİR GIDA İŞLETMESİNDE UYGULAMA**

Tolga GEDİKLİ

Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Beyzanur ÇAYIR ERVURAL

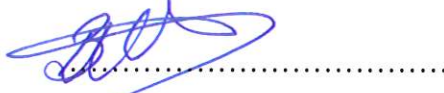
Eş Danışman : Prof. Dr. Durmuş Tayyar ŞEN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Meram-KONYA

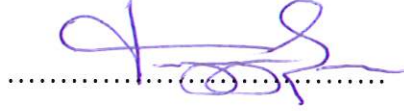
ARALIK, 2019

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans derecesi için yeterli, alanına uygun ve istenilen niteliklere sahip olduğuna kanaat getirdiğimi onaylarım.



Dr. Öğr. Üyesi Beyzanur ÇAYIR ERVURAL (Danışman)

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans derecesi için yeterli, alanına uygun ve istenilen niteliklere sahip olduğuna kanaat getirdiğimi onaylarım.



Prof. Dr. Durmuş Tayyar ŞEN (Eş Danışman)

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans derecesi için yeterli, alanına uygun ve istenilen niteliklere sahip olduğuna kanaat getirdiğimi onaylarım.



Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans derecesi için yeterli, alanına uygun ve istenilen niteliklere sahip olduğuna kanaat getirdiğimi onaylarım.



Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans derecesi için yeterli, alanına uygun ve istenilen niteliklere sahip olduğuna kanaat getirdiğimi onaylarım.



Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Ali SARIKAYA

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans derecesi için yeterli, alanına uygun ve istenilen niteliklere sahip olduğuna kanaat getirdiğimi onaylarım.



Prof. Dr. Sencer BUZRUL

Fen Bilimler Enstitüsü Müdürü

KABUL VE ONAY SAYFASI

Tolga GEDİKLİ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Pisagor Bulanık TOPSIS ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile En Uygun Bakım Stratejisinin Seçilmesi: Bir Gıda İşletmesinde Uygulama” başlıklı bu çalışma KGTÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile KGTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 11.12.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza:

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Mehmet AKTAN




Raportör Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Ali SARIKAYA



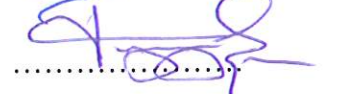
Üye : Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN



Üye (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi. Beyzanur ÇAYIR ERVURAL



Üye (Eş Danışman) : Prof. Dr. Durmuş Tayyar ŞEN



ÖZET**PİSAGOR BULANIK TOPSIS VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE EN UYGUN BAKIM STRATEJİSİNİN SEÇİLMESİ: BİR GIDA İŞLETMESİNDE UYGULAMA**

GEDİKLİ, Tolga

Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Beyzanur ÇAYIR ERVURAL

Eş Danışman: Prof. Dr. Durmuş Tayyar ŞEN

Aralık 2019, 94 sayfa

Uygun bakım planlama çalışmaları, işletmelerin güvenilirliğini ve verimliliğini artırırken, uygun olmayan bakım planlama çalışmaları, işletmelerin etkinliğini ve kazancını önemli ölçüde azaltmaktadır. Rekabet ortamının ağırlaştığı günümüz koşullarında bakım planlama çalışmaları işletme maliyetleri içerisinde önemli bir paya sahiptir. İşletmelerin ayakta kalabilmeleri için uygun bakım yönetim faaliyetlerinin doğru biçimde belirlenerek uygulanması ciddi önem taşımaktadır. Birden fazla karar verici, kriter ve alternatifin varlığı uygun strateji seçimini güçleştirdiği için bakım yönetim planlama çalışmaları çok boyutlu ve karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu çalışmada, Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak Türkiye’de gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için uygun bakım stratejisinin seçilmesi amaçlanmıştır. Uygun bakım stratejisini belirlemek için beş ana kriter (emniyet, maliyet, güvenilirlik, uygulanabilirlik ve katma değer), yirmi altı kriter ve altı alternatif bakım stratejisi (düzeltici bakım, periyodik bakım, fırsatçı bakım, duruma dayalı bakım, kestirimci bakım ve güvenilirlik merkezli bakım) tanımlanarak çok kriterli karar verme modeli ortaya çıkartılmıştır. Oluşturulan model için en uygun alternatif, Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi ile araştırılmıştır. Ardından bulanık TOPSIS yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra kriter ağırlıkları ve karar verici ağırlıklarının sağlamlığını test edebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Son olarak senaryo analizi ile işletmenin karşılaşılabileceği farklı koşullar için değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: bakım stratejisi seçimi, çok kriterli karar verme, bulanık TOPSIS, Pisagor bulanık kümeler, Pisagor bulanık TOPSIS

ABSTRACT**SELECTION OF OPTIMUM MAINTENANCE STRATEGIES WITH
PYTHAGOREAN FUZZY TOPSIS AND FUZZY TOPSIS METHODS: AN
APPLICATION IN A FOOD COMPANY**

GEDİKLİ, Tolga

Master's Thesis, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Beyzanur ÇAYIR ERVURAL

Co-Supervisor: Prof. Dr. Durmuş Tayyar ŞEN

December 2019, 94 pages

Appropriate maintenance planning improves the reliability and efficiency of enterprises, while inappropriate maintenance planning significantly reduces the efficiency and profit of enterprises. In today's conditions where competition is getting more severe, maintenance planning works have an important share in operating costs. Therefore, it is important to correctly identify and implement appropriate maintenance management planning in order to survive. Since the existence of multiple decision-makers, criteria, and alternatives make it difficult to choose the appropriate strategy, maintenance management planning studies are multidimensional and complex. In this study, using the Pythagorean fuzzy TOPSIS method in Turkey for a company operating in the food sector is aimed to select the most appropriate maintenance strategy. Five main criteria (safety, cost, reliability, feasibility, and added-value), twenty sub-criteria, and six alternative maintenance strategies (corrective maintenance, periodic maintenance, opportunistic maintenance, condition-based maintenance, predictive maintenance, and reliability-centered maintenance) to determine the appropriate maintenance strategy multi-criteria decision-making model are defined. Pythagorean fuzzy TOPSIS method is used to find the best alternative for the model. Then, the results obtained by applying fuzzy TOPSIS method are compared with each other. Afterwards, sensitivity analysis is conducted to test the robustness of criteria weights and decision-maker weights. Finally, scenario analysis and evaluation are made for different conditions that the enterprise may encounter.

Keywords: maintenance strategy selection, multi-criteria decision making, fuzzy TOPSIS, Pythagorean fuzzy sets, Pythagorean fuzzy TOPSIS

TEŐEKKÜR

Bu alıŐma sűresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilimsel katkıları ile bana her zaman yardımcı olan ve yol gűsteren tez danıŐman hocam Sayın Dr. ŐĐr. Őyesi Beyzanur ÇAYIR ERVURAL'a ve eŐ danıŐman hocam Sayın Prof. Dr. D. Tayyar ŐEN'e içtenlikle teŐekkűr ederim.

Son olarak, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen her zaman ve her konuda hep yanımda olan sevgili eŐim Pınar GEDİKLİ'ye ve bugűnlere gelmemi saĐlayan kıymetli aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunuyorum.



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Pisagor Bulanık TOPSIS ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile En Uygun Bakım Stratejisinin Seçilmesi: Bir Gıda İşletmesinde Uygulama” adlı çalışmanın tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

11/12/2019

Tolga GEDİKLİ



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİL DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1 GİRİŞ	1
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Klasik Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Çalışmalar	5
2.2 Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Çalışmalar	9
3 BAKIM YÖNETİMİ.....	18
3.1 Bakım Yönetimine Genel Bir Bakış.....	18
3.2 Alternatif Bakım Stratejileri	21
3.2.1 Düzeltici bakım (Corrective maintenance)	22
3.2.2 Periyodik bakım (Periodic maintenance).....	23
3.2.3 Fırsatçı bakım (Opportunistic maintenance).....	24
3.2.4 Duruma dayalı bakım (Condition-based maintenance).....	24
3.2.5 Kestirimci bakım (Predictive maintenance).....	26
3.2.6 Güvenilirlik merkezli bakım (Reliability-centered maintenance).....	27
3.2.7 Toplam üretken bakım (Total productive maintenance).....	29
3.2.8 Revizyon bakım (Revision maintenance)	30
3.2.9 Otonom bakım (Autonomous maintenance)	30
4 BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	31
4.1 Bulanık Kümeler	31
4.1.1 Sezgisel bulanık kümeler (Intuitionistic fuzzy sets)	32
4.1.2 Pisagor bulanık kümeler (Pythagorean fuzzy sets)	33
4.2 Pisagor Bulanık TOPSIS	36
4.3 Bulanık TOPSIS	39
5 UYGULAMA	43
5.1 Karar Probleminin Tanımlanması	44
5.2 Karar Vericilerin Belirlenmesi	45

5.3	Kriterlerin Belirlenmesi.....	45
5.3.1	Emniyet (Safety)	47
5.3.2	Maliyet (Cost)	48
5.3.3	Güvenilirlik (Reliability).....	49
5.3.4	Uygulanabilirlik (Feasibility).....	50
5.3.5	Katma değer (Added-value).....	51
5.4	Alternatiflerin Belirlenmesi.....	52
5.5	Pisagor Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması.....	54
5.6	Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Karşılaştırma	59
5.7	Duyarlılık Analizi.....	63
5.7.1	Kriter ağırlıklarına göre duyarlılık analizi	64
5.7.2	Karar verici ağırlıklarına göre duyarlılık analizi.....	67
5.8	Senaryo Analizi	69
6	TARTIŞMA VE SONUÇ	72
7	KAYNAKÇA.....	75
	ÖZGEÇMİŞ	82
	EKLER.....	83

ŞEKİL DİZİNİ

<u>Şekiller</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1: Bakım ve arıza maliyetleri (Özdoğan, 2011).....	19
Şekil 3.2: Arıza sayısının sonralarda arttığı durum.....	19
Şekil 3.3: Arıza sayısının Banyo Küveti Eğrisi şeklinde olduğu durum.....	20
Şekil 3.4: Arıza sayısının yavaşça arttığı durum.....	20
Şekil 3.5: Başlangıçta arıza sayısının en az olduğu durum.....	20
Şekil 3.6: Arıza sayısının sabit olduğu durum	21
Şekil 3.7: Başlangıçta arıza sayısının en fazla olduğu durum.....	21
Şekil 3.8: Düzeltici bakım stratejisi (Özdoğan, 2011)	22
Şekil 3.9: Periyodik bakım stratejisi (Özdoğan, 2011)	23
Şekil 3.10: Fırsatçı bakım stratejisi.....	24
Şekil 3.11: Duruma dayalı bakım stratejisinin çalışma prensibi (Ahmad ve Kamaruddin, 2012)	25
Şekil 3.12: Duruma dayalı bakım stratejisi	25
Şekil 3.13: Kestirimci bakım stratejisi (Ahmad ve Kamaruddin, 2012).....	26
Şekil 3.14: Kestirimci bakım stratejisi	27
Şekil 4.1: Pisagor bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayıların karşılaştırması	34
Şekil 4.2: n üçgensel bulanık sayısı	39
Şekil 5.1: Uygulama adımları	44
Şekil 5.2: Bakım stratejisi seçimi için ele alınan kriter ve alternatifler	54
Şekil 5.3: Kriter ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları	66
Şekil 5.4: Karar verici ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelgeler</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Literatürde yapılan çalışmalar	15
Çizelge 4.1: Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki farklar	32
Çizelge 4.2: SBK ve PBK karşılaştırma (Onar vd., 2018).....	36
Çizelge 4.3: Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel ifadeler (Chen, 2000)	40
Çizelge 5.1: Ana kriterler ve alt kriterler	45
Çizelge 5.2: Kriterlerin ağırlıkları.....	53
Çizelge 5.3: Birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi	55
Çizelge 5.4: Kriterlere göre alternatif fonksiyon skorları	56
Çizelge 5.5: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm.....	57
Çizelge 5.6: Alternatiflerin pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıkları	58
Çizelge 5.7: Alternatiflerin sıralaması	58
Çizelge 5.8: Birleştirilmiş bulanık karar matrisi	59
Çizelge 5.9: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi	60
Çizelge 5.10: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi	61
Çizelge 5.11: Pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklar.....	62
Çizelge 5.12: Alternatiflerin sıralaması	62
Çizelge 5.13: Ana kriterlerin duyarlılık analizi.....	64
Çizelge 5.14: Alt kriterlerin duyarlılık analizi	65
Çizelge 5.15: Kriter ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları	66
Çizelge 5.16: Karar vericiler için duyarlılık analizi.....	67
Çizelge 5.17: Karar verici ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları.....	68
Çizelge 5.18: Üretilen farklı senaryolar	69
Çizelge 5.19: Senaryo analizi için kriter ağırlıkları	69
Çizelge 5.20: Senaryo analizi sonucunda alternatiflerin sıralanması.....	70
Çizelge A.1: Karar verici 1'in değerlendirmesi	86
Çizelge A.2: Karar verici 2'nin değerlendirmesi	86
Çizelge A.3: Karar verici 3'ün değerlendirmesi	87
Çizelge A.4: Karar verici 4'ün değerlendirmesi	87

Çizelge A.5: Karar verici 5'in değerlendirmesi	88
Çizelge A.6: Karar verici 6'nın değerlendirmesi	88
Çizelge A.7: Karar verici 7'nin değerlendirmesi	89
Çizelge B.1: Karar verici 1'in dilsel değerlendirmesi.....	91
Çizelge B.2: Karar verici 2'nin dilsel değerlendirmesi.....	91
Çizelge B.3: Karar verici 3'ün dilsel değerlendirmesi.....	92
Çizelge B.4: Karar verici 4'ün dilsel değerlendirmesi.....	92
Çizelge B.5: Karar verici 5'in dilsel değerlendirmesi.....	93
Çizelge B.6: Karar verici 6'nın dilsel değerlendirmesi.....	93
Çizelge B.7: Karar verici 7'nin dilsel değerlendirmesi.....	94



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

$\mu(x)$: Üyelik derecesi
$\nu(x)$: Üye olmama derecesi
$\pi(x)$: Tereddüt derecesi (Degree of indeterminacy)

Kısaltmalar

Açıklama

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AAP	: Analitik Ağ Prosesi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DB	: Düzeltici Bakım
DDB	: Duruma Dayalı Bakım
DEMATEL	: Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
ELECTRE	: Elimination and Choice Translating Reality English
FA	: Faktör Analizi
FB	: Fırsatçı Bakım
HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
GMB	: Güvenilirlik Merkezli Bakım
HP	: Hedef Programlama
GİA	: Gri İlişkiler Analizi
SBK	: Sezgisel Bulanık Küme
KB	: Kestirimci Bakım
MOORA	: Multi-Objective Optimization on The Basis of Ratio Analysis
OB	: Otonom Bakım
PB	: Periyodik Bakım
PBK	: Pisagor Bulanık Küme
PFWA	: Pisagor Bulanık Ağırlıklı Ortalama
PROMETHEE	: Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation

RB	: Revizyon Bakım
SAW	: Simple Additive Weighting
SM	: Shutdown Maintenance
TB	: Tasarım Bakım (Design out maintenance)
TKB	: Toplam Kalite Bakımı
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TÜB	: Toplam Üretken Bakım
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje
WP	: Weighted Product



1 GİRİŞ

Küresel rekabet ortamı işletmeleri, üretim maliyetlerini sürekli olarak düşürmek için büyük bir baskı altına almaktadır. İşletmelerin üretim maliyetlerini düşürebilmek için toplam işletme maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturan bakım yönetim planlama çalışmalarına odaklanmaları gerekmektedir (Bevilacqua ve Braglia, 2000; Shafiee, 2015; Wang vd., 2007). Toplam üretim maliyetleri üzerindeki bu ciddi yük uygun bakım strateji seçim probleminin önemini göstermektedir. İşletmelerde kullanılacak uygun bakım stratejisi sadece ekipman arızası olasılığını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda ekipmanların çalışma koşullarını iyileştirir ve daha yüksek ürün kalitesine ulaşmayı sağlar. Uygun olmayan bir strateji kullanımı ise bakım bütçesini olumsuz etkiler ve böylece verimliliği düşürür. Bu nedenle işletmeler bakım maliyetlerini ve üretim kayıplarını azaltmak, emniyet düzeyini artırmak ve makineleri verimli bir şekilde kullanmaya devam edebilmek için uygun bir bakım stratejisi seçmelidirler.

Geçmiş yıllarda, birçok işletme için bakım işlemleri düzeltici bir işleve sahipti. Bu yüzden bakım işletmeler tarafından sadece acil durumlarda yapılan ve kaçınılmaz bir maliyet kaynağı olarak görülmüştür. İşletmeler bakım stratejilerini seçerken, emniyet, güvenilirlik, uygulanabilirlik ve katma değer gibi önemli faktörleri göz önüne almadan sadece bakım maliyetini düşürmeye odaklanıyorlardı. Ancak, bakım maliyetini en aza indirmek için gereğinden az bakım yapılması, güvenilirlik seviyesini kabul edilebilir bir düzeye getirmez. Çok sık bakım yapılması durumunda ise, güvenilirlik seviyesi artar ancak bu durum bakım maliyetlerinin de keskin bir şekilde artmasına neden olur. Avrupa Komisyonu tarafından yapılan bir araştırmaya göre, tüm bakım maliyetlerinin üçte biri gereksiz veya yetersiz bakım faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Shafiee, 2015; Wang vd., 2007). Bu nedenle, bakım stratejisi seçiminde en iyi performans elde etmek için bakım maliyetleri, emniyet, güvenilirlik, uygulanabilirlik ve diğer faktörler birlikte düşünülmelidir (Ding ve Kamaruddin, 2014).

Çoğu işletme, farklı arıza etkisi ve güvenilirlik gereksinimlerine sahip çeşitli makine/ekipmanlar ile donatılmıştır. Bu nedenle her işletme kendine özgü faktörlere göre uygun bir bakım stratejisi seçmelidir. Örneğin, kesikli üretim sistemine sahip olan tesislerde, üretimdeki aksamalar telafi edilebilir. Ancak sürekli üretim sistemine sahip olan tesislerde, üretimde meydana gelen aksamalar tesis için büyük kayıplara yol açar

(Görener, 2013). Bu yüzden farklı üretim sistemlerine sahip olan işletmeler için aynı bakım stratejisi kullanmak verimli olmayabilir.

Bakım stratejisi seçim problemi, çok sayıda kriter ve alternatifi barındırması, veri toplama aşamasında karar vericilerin belirsiz görüşleri ve çeşitli bileşen ve fonksiyonları içermesi nedeniyle çok boyutlu ve karmaşık bir karar verme problemidir (Cayir Ervural, Evren vd., 2018). Bu yüzden, bakım stratejisi seçim problemi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak kabul edilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000; Wang vd., 2007). İnsan faktörünü içeren sistemlerde belirsizlik söz konusu olduğu için bulanık mantık ile birleştirilen bulanık karar verme yöntemlerini kullanmak daha uygun olacaktır. Literatürde, bulanık koşullar altında karar vericinin değerlendirmelerinin kesin olmadığı sözel tanımlamaların üstesinden gelebilmek için birçok bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır (Cayir Ervural, Zaim vd., 2018). Bu yöntemler çeşitli bulanık küme uzantılarından birini temel almaktadır. Bu çalışma için bulanık küme uzantılarından oldukça yeni olan Pisagor bulanık kümeleri temel alan TOPSIS yöntemi seçilmiş ve uygulanmıştır. Seçilen bu yöntem bakım stratejisi seçim probleminde ilk kez kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Türkiye’de gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için Pisagor bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi kullanılarak emniyet, maliyet, güvenilirlik, uygulanabilirlik ve katma değer kriterleri altında; düzeltici bakım, periyodik bakım, fırsatçı bakım, duruma dayalı bakım, kestirimci bakım ve güvenilirlik merkezli bakım alternatif bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisi seçimi yapılmıştır. Seçilen bakım stratejisi sayesinde işletmenin üretim giderlerinin azaltılması ve verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Bu çalışma kapsamında literatür araştırması, saha araştırması (anket çalışması- odak grup toplantılarıyla uzman görüşlerinin alınması), elde edilen verilerin değerlendirilerek analiz edilmesi, gerekçeleriyle uygun metodun seçilmesi (Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi), yöntemin çalışmaya uygulanması, bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılması, duyarlılık analizi ve senaryo analizleriyle önerilen yaklaşımın sınanması aşamaları yer almaktadır.

Bu çalışmanın önemi şu şekilde sıralanabilir:

- i. Literatür araştırmalarına göre Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi en uygun bakım strateji seçimi probleminde ilk kez kullanılmıştır. Bu açıdan uygulama yöntemi olarak literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- ii. Problem gerçek bir sistem üzerinden tasarlanmış, gerçek veriler toplanarak saha çalışmaları (Anket çalışmaları, odak grup toplantıları vs.) uygulanmıştır. Modelin gerçek bir hayat problemi üzerinde uygulanması diğer bir önemini göstermektedir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup bakım stratejisi seçiminin neden önemli olduğunu, çalışmanın yapılma amacını, kullanılacak yöntemin ne olduğunu ve çalışmanın özgün taraflarını sunmaktadır.

İkinci bölümde, literatürde yapılan çalışmalara değinilmiştir. Bu çalışmalar klasik ÇKKV ve bulanık ÇKKV yöntemleri olarak iki ayrı bölümde açıklanmış ve daha sonra bu konuda yapılan çalışmalar genel olarak tablo halinde verilmiştir.

Üçüncü bölümde, bakım yönetimine genel olarak değinilmiş ve literatürde en sık kullanılan dokuz bakım stratejisi (düzeltici bakım, periyodik bakım, fırsatçı bakım, duruma dayalı bakım, kestirimci bakım, güvenilirlik merkezli bakım, toplam üretken bakım, revizyon bakım ve otonom bakım) açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, bulanık küme teorisi, sezgisel bulanık kümeler, Pisagor bulanık kümeler, Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi ve bulanık TOPSIS yöntemi tüm adımları ile açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, Türkiye’de faaliyet gösteren bir gıda işletmesinde en uygun bakım yöntemi seçimi için Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi uygulaması yapılmıştır. Yapılan uygulama bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Ardından hem kriter ağırlıkları hem de karar vericilerin ağırlıklarının etkinliği ve sağlamlığı ölçülmüştür. Daha sonra senaryo analiz ile işletmenin karşılaşılabileceği farklı durumlar için değerlendirme yapılmıştır.

Altıncı bölümde, elde edilen sonuçlar yorumlanmış, çalışmanın literatüre katkısından bahsedilmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalar tartışılmıştır.



2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geçmiş yıllarda, üretim sorunları araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından büyük ilgi görmüştür. Uygun bakım stratejisinin seçimi üretim sistemleri için çok önemli olmasına rağmen, bu konudaki çalışmalar sınırlı kalmıştır (Wang vd., 2007). Bu durum, şu anda sanayide bakım planlama verimliliğinin düşük olmasına neden olmuştur (Wang vd., 2007).

2000’li yıllardan itibaren, ÇKKV yaklaşımı bakım stratejisi seçim problemi çalışmalarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Enerji, otomotiv, madencilik, tekstil vb. çeşitli endüstrilerden birçok uygulayıcı, tesisler için en uygun bakım stratejisini seçmek için ÇKKV metodolojisini kullanmıştır (Shafiee, 2015).

Literatürde bakım stratejisi seçim problemi ile ilgili yapılan çalışmalar klasik ÇKKV yöntemleri ve bulanık ÇKKV yöntemleri olarak iki bölümde açıklanmıştır.

2.1 Klasik Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde bakım stratejisi seçiminde klasik ÇKKV yöntemleri kullanan çalışmalara değinilecektir.

Bevilacqua ve Braglia (2000) tarafından ele alınan çalışmada, bir İtalyan petrol şirketinde en uygun bakım stratejisi seçimi yapılmıştır. Yazarlar en iyi bakım stratejisinin her makine için ayrı olacağını düşündükleri için makineleri 3 sınıfa ayırmışlardır. Daha sonra emniyet, süreç için makine önemi, bakım maliyetleri, arıza sıklığı, tamir süresi ve çalışma koşulları olmak üzere 6 kriter ile Düzeltici Bakım (DB), Periyodik Bakım (PB), Duruma Dayalı Bakım (DDB), Kestirimci Bakım (KB) ve Fırsatçı Bakım (FB) olmak üzere 5 alternatif bakım yöntemini seçmek için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra AHP’nin etkinliğini sınamak için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Bertolini vd. (2004) tarafından yapılan çalışma, bir İtalyan inşaat şirketinde uygulanmıştır. Daha sonra bakım ve üretimden sorumlu uzmanların bulunduğu bir grup oluşturulmuş ve Delphi yöntemi ile kararlar değerlendirilmiştir. Çalışmada AHP yöntemi

kullanılarak DB, PB, DDB, KB ve FB olmak üzere 5 alternatif arasından en iyi bakım stratejisi seçilmiştir.

Zaeri vd. (2007) tarafından yapılan çalışma; torna, freze, pres ve CNC makinelerinin bulunduğu bir imalat fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kriterleri belirlemek için Faktör Analizi (FA) kullanılmıştır. Seçilen 19 kriter FA yöntemi ile katma değer, maliyet, emniyet ve uygulanabilirlik ana kriterleri altında 10 değerlendirme kriterine indirilmiştir. Değerlendirme kriterleri ile DB, PB, DDB, KB ve FB alternatif bakım stratejileri arasından AHP yöntemini kullanarak fabrika için en uygun bakım stratejisi seçilmiştir.

Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008) tarafından ele alınan çalışma, bakım stratejisi seçimi için sanal öğrenme kurumlarında gerçekleştirilmiştir. Emniyet, katma değer, maliyet ve uygulanabilirlik ana kriterleri altında 11 alt kriter ile DB, PB, DDB ve KB alternatif bakım stratejileri AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Pariazar vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, DB, PB, DDB, KB ve FB alternatif bakım stratejileri ve katma değer, maliyet, emniyet ve uygulanabilirlik değerlendirme kriterleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada AHP yöntemi kullanılarak en iyi bakım stratejisi seçilmiştir. Uygulama bir imalat endüstrisinde yapılmıştır.

Shyjith vd. (2008) ve Ilangkumaran ve Kumanan (2009) tekstil endüstrisinde yaptıkları çalışmalarında PB, Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB), DDB ve KB stratejileri arasından en uygun bakım stratejisini seçmek için çevresel koşullar, ekipman arızaları, gerekli eğitim ve uygulanabilirlik ana kriterleri kullanmışlardır. Kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için AHP, alternatifleri sıralamak için TOPSIS yöntemini kullanmışlardır.

Ahmadi vd. (2010) tarafından ele alınan çalışma, uçak sistemleri için en uygun bakım yönteminin seçimi ile ilgilidir. Çalışmada DB, DDB ve revizyon bakım (RB) stratejileri arasından en uygun bakım stratejisi seçilmiştir. Bir bakım stratejisinin etkinlik değerlendirme kriterlerinin önemi AHP kullanımı ile alternatiflerin sıralanması ise TOPSIS ve VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje) ile yapıldığı bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur.

Arunraj ve Maiti (2010) tarafından bir kimyasal tesiste yapılan çalışmada, DB, PB, DDB ve RBM bakım stratejileri arasından tesis için en uygun bakım stratejisini seçmek için AHP yöntemi ve Hedef Programlama (HP) kullanılmıştır.

Chandima Ratnayake ve Markeset (2010) tarafından ele alınan çalışma, Norveç petrol ve gaz endüstrisinde yapılmıştır. En uygun bakım stratejisini seçmek için makineler; makinelerinin arızası, işçilerin güvenliği, tesis ve çevre hasarı, üretim kayıpları, vs. açısından ciddi, orta düzey ve ciddi olmayan olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Değerlendirme AHP yöntemi kullanılarak, DB, PB, DDB ve FB alternatif bakım stratejileri arasından yapılmıştır.

Tan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Fujian Oil Rafinerisi ISOMAX ünitesinin birimlerinde oluşturulan endüstriyel işlemdaki bakım stratejisini değerlendirmek için risk bazlı denetim metodolojisi önerilmiştir. Klasik risk tanımı kullanılarak hem arıza hem de arıza olasılığı ve bu arızaların sonuçları araştırılmıştır. Birimlerdeki tüm ekipmanlar değerlendirilmiş ve risk bazlı denetim sonucuna dayanarak beş risk bölgesi oluşturulmuştur. Daha sonra her bir risk bölgesinde bulunan ekipmanlar için emniyet, maliyet, katma değer ve uygulanabilirlik olmak üzere dört ana kriter ile DB, PB, GMB, DDB ve Toplam Üretken Bakım (TÜB) alternatif stratejileri arasında AHP yöntemi kullanılarak işletme için en uygun bakım stratejisi seçilmiştir.

Aghaee ve Fazli (2012) çalışmalarında, emniyet, maliyet, stratejik ve teknik yeterlilik kriterleri ile DB, PB, DDB, KB, TÜB ve GMB alternatifleri değerlendirmişlerdir. Bu çalışma bakım stratejilerini değerlendirmek ve seçmek için birleşik Analitik Ağ Prosesi (AAP) ve DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) yaklaşımına dayanan bir çözüm önermektedir.

Shahin vd. (2012) tarafından ele alınan çalışma, madencilik sektöründe bulunan bir işletmede yapılmıştır. Çalışmada DB, PB, DDB, Tasarım Bakım (TB) ve TÜB alternatif bakım stratejileri arasından en uygun olanını seçmek için AAP yöntemi kullanılmıştır.

Odeyale vd. (2013) tarafından ele alınan çalışmada, imalat endüstrisinde en uygun bakım stratejisi seçimi AHP yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirme düşük bakım maliyeti, iyileştirilmiş güvenilirlik, iyileştirilmiş güvenlik, yüksek ürün kalitesi,

düşük stok, yatırımın geri dönüşü süresi, çalışanlar tarafından benimsenme ve artan rekabet değerlendirme kriterleri ile DB, PB ve KB olmak üzere üç alternatif arasından yapılmıştır.

Pourjavad vd. (2013) tarafından ele alınan çalışma, madencilik sektöründe bulunan bir şirkette (Chadormalu Mining Industrial Company) yapılmıştır. Bu tesiste maliyet, bakım-onarım kolaylığı, uygulanabilirlik ve güvenilirlik adı verilen dört kritere göre TB, TÜB, DDB, TBM ve DB olarak adlandırılan beş bakım stratejisi arasından en uygun bakım stratejisini seçmek için AAP ve TOPSIS yöntemleri birleştirilerek kullanılmıştır.

Thor vd. (2013) tarafından ele alınan çalışmada, en uygun bakım stratejisi seçimini DB, PM, KB, Otonom Bakım (OB) ve TB alternatifleri arasından AHP, ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English), SAW (Basit Toplamlı Ağırlıklandırma) ve TOPSIS yöntemleri kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu dört ÇKKV yöntemi arasından bakım kararı analizinde en yüksek potansiyeli TOPSIS yöntemi göstermiştir.

Mishra ve Mahapatra (2015) tarafından yapılan çalışmada, maliyet, emniyet, katma değer ve ekipman ve teknoloji kriterleri ile DB, PB ve DDB alternatifleri arasından en uygun bakım stratejisi AHP yöntemi kullanılarak seçilmiştir.

Dinç (2016) beyaz eşya soğutucu bileşenleri üreten bir işletmede en uygun bakım stratejisi seçimini AHP yöntemi ile yapmıştır. Maliyet, emniyet, uygulanabilirlik ve rekabet avantajı değerlendirme kriterleri ve DB, PB, DDB, TÜB ve GMB alternatif bakım yöntemlerinin ele alındığı çalışmada en uygun bakım yöntemi TÜB olarak seçilmiştir. Diğer alternatifler GMB, DDB, PB ve DB olarak sıralanmıştır.

Özcan vd. (2017) tarafından bir hidroelektrik santralinde yapılan çalışmada, DB, PB, KB ve RB bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisinin seçimi amaçlanmıştır. Çalışmada, en kritik ekipman seçiminde birleştirilmiş bir AHP-TOPSIS metodolojisi kullanılmış ve hidroelektrik santrali için en uygun bakım stratejisini seçmek amacıyla birleştirilmiş bir AHP-HP modeli önerilmiştir.

Elseddawy ve Kandil (2018) tarafından ele alınan çalışmada, DB, PB ve DDB stratejilerinden hangisinin bir hastane için daha uygun olduğu AHP yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Bu çalışmada PB en iyi bakım stratejisi olarak seçilmiştir.

Emovon vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, tecrübeli 10 uzman ile değerlendirme kriterlerini seçmek için iki türlü Delphi tekniği kullanılmıştır. Karar verme sürecinde; maliyet, emniyet, katma değer ve uygulanabilirlik ana kriterleri ile DB, PM ve DDB bakım alternatifleri arasından optimum bakım stratejisinin seçilmesinde Delphi-AHP ve Delphi-AHP-PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation) olmak üzere iki ÇKKV yöntemi kullanılmıştır.

Gedikli ve Cayir Ervural (2019) tarafından yapılan çalışmada, en uygun bakım stratejisi seçimi için PB, DB, DDB, KB ve FB alternatif bakım stratejileri ele alınmıştır. Bu çalışmada, AHP, TOPSIS, SAW ve WP yöntemleri kullanılmıştır. AHP, SAW ve WP yöntemlerinde sonuçlar KB, PB, DDB, FB ve DB şeklinde sıralanmış, TOPSIS yönteminde ise KB, DDB, PB, DB ve FB şeklinde sıralanmıştır.

2.2 Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde bakım stratejisi seçiminde bulanık ÇKKV yöntemleri kullanan çalışmalara değinilecektir.

Al-Najjar ve Alsyouf (2003) tarafından yapılan çalışmada, DB, PB, ABPM, GMB, DDB, TÜB ve Toplam Kalite Bakımı (TKB) olmak üzere 7 bakım stratejisini ele almıştır. Bu bakım stratejilerinden en uygun olanını seçmek için bulanık mantık tabanlı SAW yöntemi kullanılmıştır.

Li vd. (2007) tarafından fakrilonitril üreten bir tesiste yapılan çalışmada, emniyet, maliyet, katma değer, uygulanabilirlik ve bilgi kriterleri ile DB, ABPM, DDB ve KB alternatif bakım stratejileri arasından en uygun olanını seçimi problemi için bulanık ELECTRE III yöntemi ile modellenmiştir.

Metem (2007) tarafından mevcut durumda DB ve PB stratejileri uygulanan İstanbul Metrosunda ele alınan çalışmada, en uygun bakım stratejisi seçimi yapılmıştır. Çalışmada maliyet, emniyet, uygulanabilirlik, rekabet avantajı ve çalışma morali ana kriterleri ile

DB, PB, DDB, KB, GMB ve TÜB alternatif bakım stratejileri ele alınmıştır. Model AHP-TOPSIS ve bulanık AHP-TOPSIS yöntemleri ile modellenmiştir. En uygun bakım stratejileri sırası ile GMB, TÜB, KB, DDB, PB ve DB olarak belirlenmiştir.

Wang vd. (2007), tarafından yapılan çalışma, farklı ekipmanlar için farklı bakım stratejilerini (DB, PB, DDB ve KB) değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Geleneksel bulanık AHP yöntemlerinde bulanık öncelikli hesaplama ve bulanık sıralama prosedürlerinden kaçınmak için yeni bir bulanık önceliklendirme yöntemi önerilmiştir. Bu bulanık önceliklendirme yöntemi doğrusal olmayan kısıtlamalarla bir optimizasyon problemini çözerek tutarlı veya tutarsız bir bulanık yargı matrisinden net öncelikleri türetebilir. Önerilen bulanık AHP yönteminin uygulaması bir elektrik santralinde yapılmıştır.

Jafari vd. (2008) tarafından ele alınan çalışmada, DB, PB ve DDB bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisi seçimi için bulanık Delphi yöntemi ile SAW yöntemi birleştirilmiştir.

Mousavi vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, bakım stratejisi seçim problemi için iki aşamalı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin ilk aşamasında, çok sayıda bulunan kriterleri ayıklama ve kümeleme yolu ile daha az kritere indirgemek için FA tekniği kullanılmıştır. İkinci aşamada, DB, PB, DDB, KB ve FB bakım stratejileri arasından en uygun olanı bulanık TOPSIS yöntemi ile seçilmiştir.

Ghosh ve Roy (2010) tarafından yapılan çalışmada, DB, PB ve DDB alternatif bakım yöntemlerini ele alınmıştır. Modelleme yapılırken, çoklu hedefleri optimize etmek için HP ve bulanık AHP yöntemleri birleştirilmiştir.

Vahdani vd. (2010) tarafından ele alınan çalışmada, DB, PB ve DDB bakım alternatifleri değerlendirilmiştir. En iyi bakım stratejisi, aralık-değerli bulanık VIKOR yöntemi ile seçilmiştir.

Fathi vd. (2011) tarafından gaz ve petrokimyasal sektöründe faaliyet gösteren bir tesiste ele alınan çalışmada, DB, PB, DDB, KB ve FB alternatifleri arasından en uygun bakım stratejisini seçmek için bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Tajadod vd. (2011) tarafından ele alınan çalışmada, optimum bakım stratejisi seçimi için bulanık AAP ve bulanık veri zarflama analizine dayanan bir model önerilmiştir. Önerilen yöntemde, değerlendirme kriterleri fayda, maliyet ve risk olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Söz konusu gruplardaki kriterler ile alt kriterler arasındaki ağırlar genişletilmiştir. Bulanık AAP kullanılarak, söz konusu kümelerdeki kriterlerin ve alt kriterlerin öncelikleri bulunmuştur. Daha sonra, bakım stratejilerini sıralamak için bulanık veri zarflama analizi yöntemi kullanılmıştır.

Kamaruddin (2012) tarafından yapılan çalışmada emniyet, maliyet, güvenilirlik ve uygulanabilirlik ana kriterleri ile DB, PB ve KB, OB alternatifleri arasından işletme için en uygun bakım stratejisini seçmek için üçgensel sayılara dayalı bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Kumar ve Maiti (2012) tarafından bir kimyasal tesis ünitesinde uygulaması yapılan çalışmada, DB, PB, DDB ve SM (Shutdown Maintenance) bakım politikaları ele alınmıştır. Modelleme için bulanık AAP kullanılmıştır.

Sadeghi ve Manesh (2012) tarafından Mobarakeh çelik şirketinde yapılan çalışmada, DB, PB, DDB, TÜB ve Dünya standartlarında bakım alternatif bakım stratejileri arasından en uygun olanını seçmek için bulanık AAP yöntemi kullanılmıştır.

Görener (2013) tarafından bir imalat tesisi için ele alınan çalışmada, en uygun bakım stratejisini seçebilmek için emniyet, katma değer, maliyet, uygulanabilirlik ve diğer kriteri olmak üzere beş değerlendirme kriteri ve DB, PM, DDB ve KB olmak üzere dört bakım alternatifini göz önüne alınmıştır. Çalışmada, en uygun alternatif bakım stratejisini seçmek için bulanık mantık tabanlı WSA (Ağırlıklı hesaplama yaklaşımı) ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda uygulamanın yapıldığı işletme için periyodik bakım stratejisinin en uygun bakım stratejisi olacağı ortaya çıkmıştır.

Jayaswal vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, Punj Lloyd fabrikası Gwalior'daki (Hindistan) malzeme taşıma ekipmanlarının bakım stratejilerinin seçimi ele alınmıştır. DB, PB, DDB, KB ve FB stratejileri arasından en uygun bakım stratejisini seçmek için bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Kumar Sagar vd. (2013) tarafından ele alınan çalışmada, Hindistan'daki bir fabrikada malzeme işleme ekipmanları için uygun bir bakım stratejisi seçimi amaçlanmıştır. Bakım stratejileri olarak DB, PB, DDB, KB ve FB ele alınmıştır. Bakım stratejilerinin değerlendirilmesinde bulanık SAW kullanılmıştır.

Nezami ve Yıldırım (2013) tarafından otomotiv sektöründe uygulaması yapılan çalışmada, DB, PB, GMB, DDB ve TB stratejileri ele alınmıştır. Bu alternatifleri değerlendirmek için sosyal, çevresel ve ekonomik ana kriterler altında 52 kriter kullanılmıştır. Seçilen bu alternatif ve kriterler bulanık VIKOR ile modellenmiştir. Çalışma sonucunda en iyi bakım stratejisi olarak DDB bulunmuştur.

Xie vd. (2013) tarafından Jiangzhuang kömür madeninde yapılan çalışmada, emniyet, maliyet, katma değer, üretim kaybı ve uygulanabilirlik ana kriterleri ile DB, PB, DDB ve KB olmak üzere 4 bakım stratejisi ele alınmıştır. En iyi bakım stratejisini seçmek için kurulan modelde bulanık AHP ve HP birleştirilerek bulanık AHP yönteminin bazı dezavantajları azaltılmak istenmiştir.

Azizi ve Fathi (2014) çalışmalarında, İran petrol terminallerinde bakım stratejilerini etkileyen farklı faktörleri sıralamışlardır. Çalışmada üretim kalitesi, güvenilirlik, maliyet ve emniyet olmak üzere dört ana kriter belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler ile DB, PM ve KB alternatifleri arasından en uygun bakım yöntemini bulanık AHP yöntemi kullanılarak bulunmuştur.

Kirubakaran ve Ilankumaran (2016) tarafından kağıt endüstrisinde yapılan çalışma, bulanık AHP, Gri İlişkiler Analizi (GİA) ve TOPSIS tekniğini içeren bir melez ÇKKV modeli sunmaktadır. Bulanık AHP kriter ağırlıklarını hesaplamak için kullanılırken, alternatiflerin sıralamasını belirlemek için GİA-TOPSIS kullanılmıştır. Çalışmada DB, PB, DDB ve KB olmak üzere dört bakım stratejisi ile emniyet, maliyet, katma değer ve uygulanabilirlik olmak üzere dört ana kriter ele alınmıştır.

Mey (2016) tarafından yapılan çalışmada, petrol endüstrisi için bakım politikalarının seçimi tartışılmış ve petrol endüstrisindeki makine ve ekipmanlar için en uygun bakım stratejisini seçmek üzere bir hiyerarşi yapısı önerilmiştir. Çalışma emniyet,

maliyet, güvenilirlik ve uygulanabilirlik ana kriterleri ve DB, DDB ve PB alternatifleri dikkate alınarak hem klasik hem de bulanık AHP ile modellenmiştir.

Ge vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, emniyet, maliyet, katma değer ve uygulanabilirlik ana kriterleri ile DB, PB, DDB ve KB alternatifleri ele alınmıştır. Çalışma, optimum bakım stratejileri seçim problemini çözmek için AHP ile bütünleştirilmiş Logaritmik Bulanık Tercih Programlama tabanlı bir metodoloji önermektedir.

Panchal vd. (2017) tarafından en uygun bakım stratejisinin seçimi için ele alınan çalışma, Hindistan'daki bir gübre endüstrisi tesisinde yapılmıştır. DB, PB, DDB, KB ve GMB alternatifleri arasından en uygun alternatifi seçmek için bulanık AHP ve bulanık Kombine Mesafe Tabanlı Değerlendirme (CODAS) yöntemleri birleştirilmiştir. Bulanık AHP ile değerlendirme kriterlerine ilişkin bir hiyerarşi yapısı geliştirilmiş ve geometrik ortalama yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu ağırlıklar, ele alınan alternatif bakım stratejilerinin nihai sıralamasını elde etmek için bulanık CODAS yaklaşımına dahil edilmiştir. Daha sonra, önerilen yöntem için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda periyodik bakım en uygun bakım stratejisi olarak seçilmiştir.

Pun vd. (2017) tarafından katlı bir otoparkta yapılan çalışmada, DB, PM, KB bakım yöntemleri ele alınmıştır. En uygun maliyetli ve verimli bakım stratejisini belirlemek amacıyla ÇKKV sürecine yardımcı olmak için bulanık AHP tabanlı karar destek sistemi önerilmiştir.

Seiti vd. (2017) tarafından ele alınan çalışmada, uygun bir bakım stratejisi seçmek, arıza kayıtlarının olmaması ve makine koşullarındaki sürekli değişikliklerin olması gibi nedenlerden dolayı karmaşık bir süreç olduğu vurgulanmıştır. Çalışmanın amacı, bakım ihtiyacını karşılamak için AHP'ye dayanan risk temelli bir model geliştirmektir. Katma değer, zaman, emniyet, güvenilirlik, maliyet, verimlilik, uygulanabilirlik ve üretim kaybı gibi kriterleri ve DB, PB, DDB, KB ve TÛB alternatifleri ele alan bu modelin etkinliğini değerlendirmek için bir çelik haddeleme şirketinde bir vaka çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda toplam üretken bakım en uygun bakım yöntemi olarak seçilmiştir.

Abdulgader vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, DB, PB, KB, OB, TB alternatif bakım stratejileri arasından bulanık mantık tabanlı DEMATEL, AHP ve TOPSIS yöntemleri birleştirilerek en uygun bakım stratejisi seçimi yapılmıştır.

Hemmati vd. (2018) tarafından bir asit üretim tesisinde yapılan çalışmada, maliyet, risk ve katma değer etkisinin yanı sıra, bir asit imalat şirketinin farklı ekipmanlara uygun bakım stratejisi seçmek için uygulanabilir bir model oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmada DB, PB, DDB ve SM bakım stratejilerini ele almıştır. Tesis için en uygun bakım stratejisini seçmek için bulanık AAP yöntemi kullanılmıştır.

Özcan vd. (2019) tarafından bir hidroelektrik santralinde yapılan çalışma, DB, PB, KB ve RB bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisini seçmeyi amaçlamıştır. Yedi elektriksel ekipman grubu üzerinde yapılan çalışmada, birleştirilmiş bir AHP, TOPSIS ve Tam Sayılı Programlama metodolojisi kullanılmış ve her ekipman için farklı bir bakım stratejisi seçilmiştir.

Asuquo vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, PB, DB, DDB ve GMB bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisini seçmek için bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda DDB uygun bakım stratejisi seçilmiştir.

İşletmeler için stratejik öneme sahip olan bakım stratejisi seçimi hem nicel hem de nitel kriterleri içeren ÇKKV modelidir (Wang vd., 2007). Literatür araştırması sonucunda çok sayıda bakım stratejisi seçim modeli kurulduğu ve farklı alanda etkin bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Ancak, en uygun bakım stratejisi seçimi gerek sayısız alternatif ve kriter içermesi gerekse barındırdığı kesin olmayan ve belirsizlik içeren durumlardan dolayı hâlâ çözümü kolay olmayan problemlerden biridir. Ayrıca her işletmenin kendine has özellikleri olduğundan ÇKKV modeli kurulurken farklı değerlendirme kriterleri ve alternatifleri kullanılmaktadır. Bu da bulunan sonucun her işletme için geçerli olmadığını göstermektedir.

Çizelge 2.1: Literatürde yapılan çalışmalar

Yazar	Alternatif Bakım Stratejileri	Uygulama Alanları	Kullanılan Yöntemler	Sonuç
Bevilacqua ve Braglia (2000)	PB, DB, DDB, KB, FB	Petrol, gaz ve petrokimya	AHP	Her ekipman için farklı
Al-Najjar ve Alsayouf (2003)	PB, DB, DDB, TUB, GMB, TKB	Enerji Santrali, Kâğıt endüstrisi	Bulanık SAW	Enerji santrali; KB, DDB, TUB, GMB, PB, DB Kâğıt endüstrisi; TKB, PB, DDB, TUB, GMB, DB
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
Mete (2007)	PB, DB, DDB, KB, TUB, GMB	İstanbul metrosu	AHP ve TOPSIS, Bulanık AHP ve TOPSIS	GMB, TUB, KB, DDB, PB, DB
Wang vd. (2007)	PB, DB, DDB, KB	Enerji Santrali	Bulanık AHP	KB, DDB, PB, DB
Jafari vd. (2008)	PB, DB, DDB	İmalat	Bulanık Delphi	PB, DDB, DB
Pariazar vd. (2008)	PB, DB, DDB, FB	İmalat	AHP	DDB, FB, PB, DB
Shyjith 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
Mousavi vd. (2009)	PB, DB, DDB, KB, FB	Sayısal Örnek	Bulanık TOPSIS	KB, DDB, FB, PB, DB
Vahdani vd. (2010)	PB, DB, DDB	Sayısal Örnek	Bulanık VIKOR	DDB, PB, DB
Fathi vd. (2011)	PB, DB, DDB, KB, FB	Petrol, gaz ve petrokimya	Bulanık TOPSIS	PB, DB, KB, FB, DDB
Peng ve Wang (2011)	PB, DB, DDB	Enerji Santrali	Bulanık TOPSIS	DDB, PB, DB
Tajadod vd. (2011)	PB, DB, DDB, KB	Gıda	Bulanık AAP	KB, PB, DDB, DB
Tan vd. (2011)	PB, DB, DDB, TUB, GMB	Petrol, gaz ve petrokimya	AHP	İstenmeyen durumlarda GMB, Kritik durumlarda PB, Diğer durumlarda DB
Vahdani ve Hadipour (2011)	PB, DB, DDB	Sayısal Örnek	ELECTRE	PB, DB, DDB
Aghaee ve Fazli (2012)	PB, DB, DDB, KB, TUB, GMB,	Otomotiv	AAP ve DEMATEL	TUB, GMB, PB, KB, DDB, DB
Chan ve Prakash (2012)	PB, DB, DDB, TUB, TKB	İmalat	Bulanık TOPSIS ve SAW	TUB, TKB, DDB, PB, DB

Kumar ve Maiti (2012)	PB, DB, DDB, SM	Kimyasal	Bulanık AAP	DDB, PB, SM, DB
Sadeghi ve Manesh (2012)	Geleneksel Yöntemler (DB, DDB, KB), TÜB, Dünya klasmanında bakım	İmalat	Bulanık AAP	Dünya klasmanında bakım, TÜB, Geleneksel yöntemler
Shahin vd. (2012)	PB, DB, DDB, TÜB, TB	Madencilik	AAP	TÜB, DDB, TB, PB, DB
Zaim vd. (2012)	PB, DB, KB	Kâğıt endüstrisi	AAP ve AHP	KB, 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
Pourjavad vd. (2013)	PB, DB, DDB, TÜB, TB	Madencilik	AAP ve TOPSIS	TÜB, DDB, PB, TB, DB
Thor vd. (2013)	PB, DDB, KB, TB	İmalat	AHP, ELECTRE, SAW ve TOPSIS	Yöntemlerin etkinliği karşılaştırılmış
Xie vd. (2013)	PB, DB, DDB, KB	Madencilik	Bulanık AHP ve HP	DDB, KB, PB, DB
Azizi ve Fathi (2014)	PB, DB, KB	Petrol, gaz ve petrokimya	Bulanık AHP	PB, KB, DB
Dinç (2016)	PB, DB, DDB, TÜB, GMB	İmalat	AHP	TÜB, GMB, DDB, PB, DB
Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016)	PB, DB, DDB, KB	Kâğıt endüstrisi	Bulanık AHP ile GİA ve TOPSIS	KB, DDB, PB, DB
Mey (2016)	PB, DB, DDB	Petrol, gaz ve petrokimya	AHP ve Bulanık AHP	PB, DDB, DB
Ge vd. (2017)	PB, DB, DDB, KB	Wang vd. (2007) çalışması kullanılmıştır.	AHP ve LFPP	KB, DDB, PB, DB
Özcan vd. (2017)	PB, DB, KB, RB	Enerji Santrali	AHP, TOPSIS ve HP kombinasyonu	Her ekipman için farklı
Panchal vd. (2017)	PB, DB, DDB, KB, GMB	İmalat	Bulanık AHP ve Bulanık CODAS kombinasyonu	PB, DDB, KB, GMB, DB
Pun vd. (2017)	PB, DB, KB	Katlı Otopark	Bulanık AHP	PB, KB, DB

Seiti vd. (2017)	PB, DB, DDB, TB, Arızı bakım	İmalat	Risk tabanlı AHP ve AHP	TB, DDB, Arızı bakım, DB, PB; TB, Arızı bakım, DB, PB, DDB
Abdulgader vd. (2018)	PB, DB, KB, TB, OB	İmalat	Bulanık AHP, DEMATEL ve TOPSIS kombinasyonu	TB, KB, OB, PB, DB; OB, TB, DB, PB, KB
Elseddawy ve Kandil (2018)	PB, DB, DDB	Tıbbi malzeme	AHP	PB, DDB, DB
Emovon, vd. (2018)	PB, DB, DDB	Taşımacılık	Delphi ve AHP; Delphi, AHP ve PROMETHEE kombinasyonları	DDB, PB, DB
Hemmati vd. (2018)	PB, DB, DDB, SM	Kimyasal	Bulanık AAP	Her ekipman için farklı
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 (2019)	PB, DB, DDB, KB, FB	Gıda	AHP, TOPSIS, SAW ve WP	KB, PB, DDB, FB, DB; KB, DDB, PB, DB, FB

Çizelge 2.1’den de görülebileceği gibi literatürde bakım strateji seçim problemi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalara bakıldığında en sık olarak kullanılan alternatifler PB, DB, DDB, KB, TB, FB, GMB, TB, SM, RB, TKB, arızı bakım, OB ve dünya klasmanında bakım stratejileri olarak sıralanmaktadır. Bu çalışmalar, başta imalat sanayi ve enerji sektörü olmak üzere kâğıt endüstrisi, madencilik, kimyasal üretim, taşımacılık, otomotiv, tekstil, eğitim, havacılık, inşaat ve tıbbi malzeme sektörleri gibi çok sayıda sektörde uygulandığı görülmektedir. Bu çalışmalarda en sık kullanılan ÇKKV yöntemleri sırası ile AHP, TOPSIS, AAP, SAW, VIKOR, ELECTRE, DEMATEL, CODAS, WSA, PROMETHEE yöntemleridir. Yapılan çalışmaların sonuçlarına bakıldığında ise en uygun bakım stratejisi olarak farklı bakım stratejilerinin seçildiği görülmektedir. Bu durumun en büyük nedeni her işletmenin karakteristik özelliklerinden dolayı ele alınan kriterlerin, alternatiflerin ve karar vericilerin farklı olmasıdır.

3 BAKIM YÖNETİMİ

3.1 Bakım Yönetimine Genel Bir Bakış

Bakım, bir makine veya ekipmanın üretim esnasında istenen ve öngörülen performansta çalışabilmesi için yapılması gereken faaliyetler bütünüdür. Bakım faaliyetleri, üretim sistemlerinin belirlenen programda çalışmasını sağlayan önemli bir teknik fonksiyondur (Özdoğan, 2011).

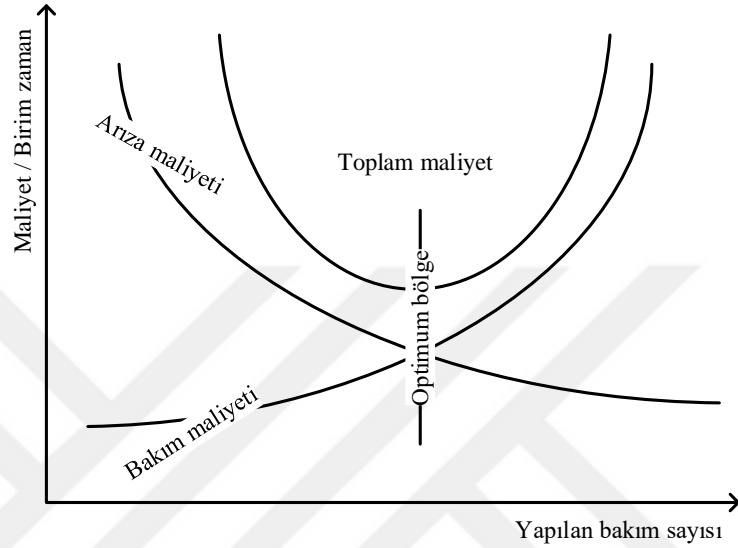
Küresel rekabet ortamında yaşanan gelişmeler ile işletmeler, üretim maliyetlerinin, bakım maliyetlerinin ve üretim kayıplarının azaltılması, rekabet gücünün ve üretim kalitesinin artırılması gibi amaçları gerçekleştirebilmek için üretim ve bakım kararlarını birlikte optimize etmeleri gerekmektedir. İşletmeler için bakımın amacı bakım maliyetlerinin ve üretim kayıplarının azaltılması, üretim kalitesinin artması gibi bakımı etkileyen tüm kriterler altında etkili ve verimli bakım stratejisi geliştirmektir.

Benzer ekipmanların kullanıldığı iki üretim tesisini birbirinden ayıran temel faktör makine/ekipmanların ne derece etkili ve verimli kullanıldığıdır. Uygun bir bakım stratejisi ekipmanların ekonomik ömrünü uzatabildiği gibi uygun olmayan bakım ekipmanların kullanım ömrünü kısaltır, plansız duruşları ve bakım maliyetlerini artırır.

Günümüzde gıda işletmelerinde fiyatların belirlenmesi, maliyetlerin optimize edilmesi ve tüketiciye uygun fiyatlı ürünlerin sunulmasındaki en büyük etmenlerden biri işletme maliyetleridir. Gıda üretiminin başarılı olabilmesi, üretim esnasında ürünlerin bozulmamasına bağlıdır. Makine/ekipmanlardaki beklenmedik arızalar ürünlerin hatlarda beklemesine ve bozulmasına neden olur. Bu yüzden, gıda üretim tesislerinde üretilen ürünlerin bekleme sürelerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Uygun bakım planlaması ile makine/ekipmanların ani bozulmaları engellenip ürünlerin sağlam bir şekilde paketlenmeye geçmesi gerekmektedir.

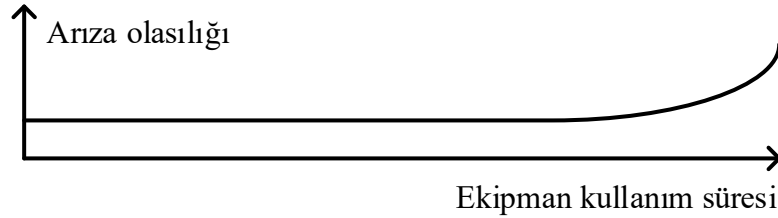
Üretim tesisi için büyük bakım faaliyetleri gerekiyorsa bu bakım çalışmaları üretimin azaldığı dönemlerde yapılmalıdır. Bu büyük bakımda fabrikadaki tüm kritik makinelerin/ekipmanların yenilenmesi için fabrika uzun süre durabilir.

Şekil 3.1’de bakım maliyeti ve arıza maliyetinin optimum noktası gösterilmektedir. Bu şekle göre, bakım sayısı artırıldığında arıza sayısı ve maliyeti azalmakta ancak bakım maliyeti artmaktadır. Bakım sayısı azaltıldığında ise bakım maliyeti azalmakta ancak arıza maliyeti artmaktadır. Bu durum maliyet açısından, seçilen bakım stratejisinin önemini göstermektedir.



Şekil 3.1: Bakım ve arıza maliyetleri (Özdoğan, 2011)

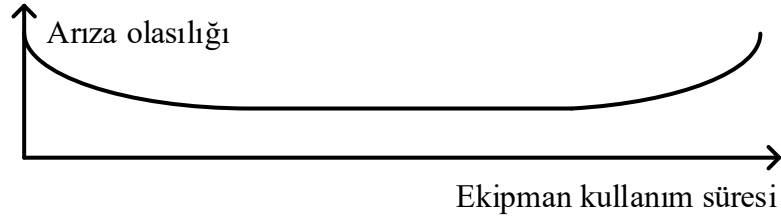
Ekipman kullanım süresi ile ilgili arızalar genellikle yorulma, paslanma, aşınma ve buharlaşma yolu ile gerçekleşmektedir (Dinç 2016). Ancak ekipmanların karakteristik özelliklerinden dolayı kullanım süresi boyunca arıza olasılığının değişimi aynı olmamaktadır. Arıza olasılığının ekipman kullanım süresine göre değişimi altı farklı durumda ifade edilebilir (Mete, 2007). Bu durumlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.2: Arıza sayısının sonralarda arttığı durum

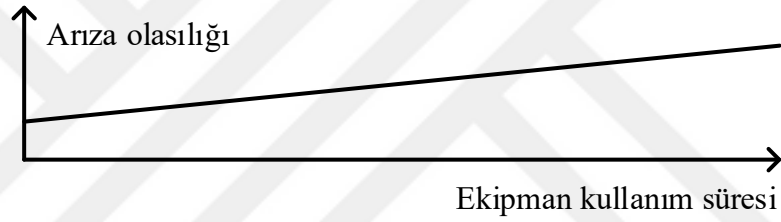
Şekil 3.2 incelendiğinde, ekipman kullanım süresi arttığında önce sabit arıza sayısı ile devam etmekte, sonra ise kullanıma bağlı yıpranmalardan dolayı üstel bir şekilde

artmakta olduğu gör÷lmektedir. Bu arıza tipleri daha sık zincir ve çarklarda gör÷lmekte olup, üstesinden gelebilmek için PB stratejisi kullanmak gerekir.



Şekil 3.3: Arıza sayısının Banyo Küveti Eğrisi şeklinde olduğu durum

Şekil 3.3'teki arıza eğrisi, yüksek arıza sayısı ile başlar, daha sonra sabit bir şekilde devam eder ve ekipman yıpranma dönemine geldiğinde hızlı bir şekilde artmaya başlar. Bu arıza tipleri elektromekanik bileşenler ve motorlarda daha sık gör÷lebilir.



Şekil 3.4: Arıza sayısının yavaşça arttığı durum

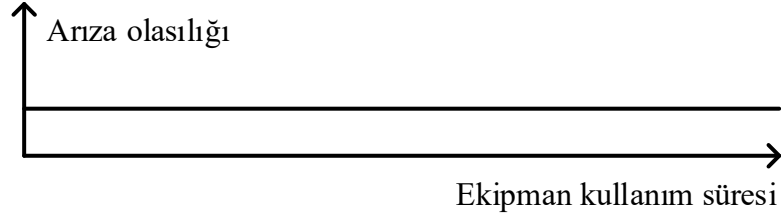
Şekil 3.4'te bulunan arıza eğrisi, genellikle türbin, motorlar, kompresörler, tekerlekler ve borular gibi ekipmanlarda gör÷lmekte olup, ekipman kullanım süresi arttıkça arıza sayısının yavaşça arttığı durumları göstermektedir. Bakım yapılarak ekipmanlar eski haline getirilebilir.



Şekil 3.5: Başlangıçta arıza sayısının en az olduğu durum

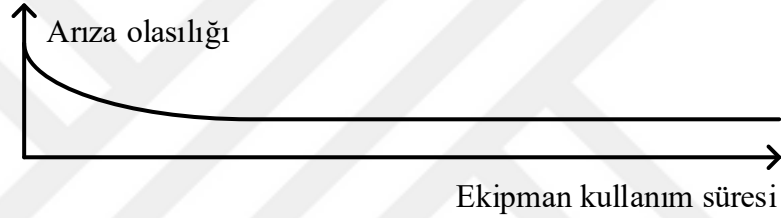
Şekil 3.5'teki arıza tipi, ekipman yeni iken çok düşük arıza sayısı ile başlar, sonra hızlı bir şekilde arıza sayısı arttıktan sonra sabit bir şekilde devam eder. Başlangıç dönemi

dışında kullanım süresinin etkisi yoktur. Bu arıza tipi hidrolik ve pnömatik ekipmanlarda görülür.



Şekil 3.6: Arıza sayısının sabit olduğu durum

Şekil 3.6’da ekipman kullanım süresinin arıza miktarına etkisi yoktur. Bu arıza tipi kompleks ekipmanlarda sıklıkla görülür.



Şekil 3.7: Başlangıçta arıza sayısının en fazla olduğu durum

Şekil 3.7’de ekipman kullanıldıkça arıza sayısı azalmaktadır. Elektronik ekipman ve bileşenlerde rastlanan bu arıza tipinde başlangıç döneminde karşılaşılan problemler çözüldüğünden periyodik bakım etkili olamamaktadır.

ABD sivil havacılık endüstrisi tarafından yapılan çalışmada, ekipmanların %2’sinin Şekil 3.2, %4’ünün Şekil 3.3, %5’inin Şekil 3.4, %7’sinin Şekil 3.5, %14’ünün Şekil 3.6 ve %68’inin Şekil 3.7’de gösterilen grafiğe uyduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan çıkarılacak sonuç ise havacılık endüstrisinde meydana gelen arızaların, diğer endüstrilerdeki arıza tiplerine uymadığıdır. Ancak, ekipmanın yapısı karmaşıklaştıkça Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’deki grafiğin yaygınlaştığı söylenebilir (Dinç, 2016; Mete, 2007).

3.2 Alternatif Bakım Stratejileri

Bakım stratejisi seçimi, etkin bakım yönetiminin en önemli elemanlarından. Üretim faaliyetinin kesintisiz yapılması, personel ve tesis emniyetinin sağlanması, bakım

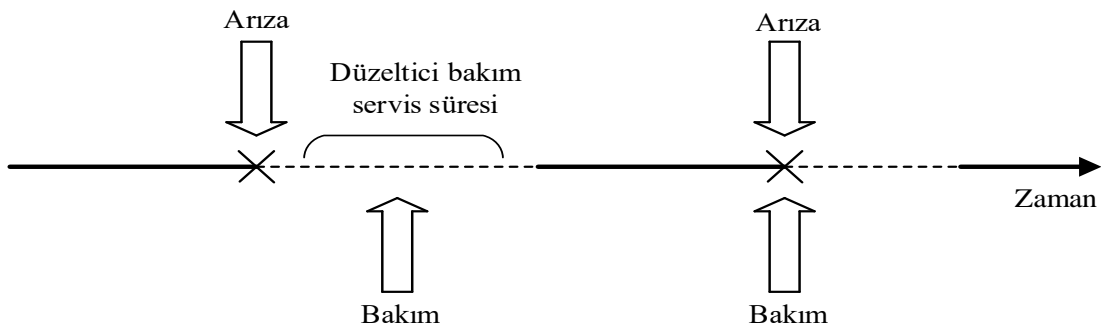
maliyetlerinin düşürülmesi gibi hedeflere ulaşabilmek için, şirket için uygun bakım stratejisi seçilmelidir (Görener, 2013).

Literatürde çok sayıda bakım stratejisi önerilmiştir. Bu bölümde bakım stratejisi seçim problemlerinde en yaygın kullanılan bakım stratejileri açıklanmaktadır. Bu alternatif bakım stratejileri düzeltici bakım, periyodik bakım, fırsatçı bakım, duruma dayalı bakım, kestirimci bakım ve güvenilirlik merkezli bakım, toplam üretken bakım, revizyon bakım, otonom bakım ve dünya klasmanında bakım stratejileridir.

3.2.1 Düzeltici bakım (Corrective maintenance)

Düzeltici bakımın temel özelliği, işlemlerin yalnızca bir makine bozulduğunda gerçekleştirilmesidir. Bu yöntemde bozulma oluşana kadar herhangi bir bakım yapılmaz (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Düzeltici bakım, sanayide en yaygın kullanılan bakım stratejisidir. 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 küresel rekabet ve elde edilen küçük kar marjları, bakım yöneticilerini daha etkili ve güvenilir bakım stratejileri uygulamaya yöneltir (Wang vd., 2007).

DB anlayışı, herhangi bir makine veya ekipmanın arızalanmasının, üretim sistemini etkilemeyeceği durumlarda kullanılabilir. Şekil 3.8’de düzeltici bakım yaklaşımı gösterilmiştir. Bu bakım yaklaşımında yüksek işletme maliyeti ve kolay bakım söz konusudur. Akış tipi ve seri üretimin yapıldığı işletmelerde, yedeği olmayan ekipman ve makinelerin kullanıldığı işletmelerde ve aynı tip makinelerin sınırlı sayıda bulunduğu işletmelerde DB stratejisi kullanılmamalıdır (Görener, 2013).

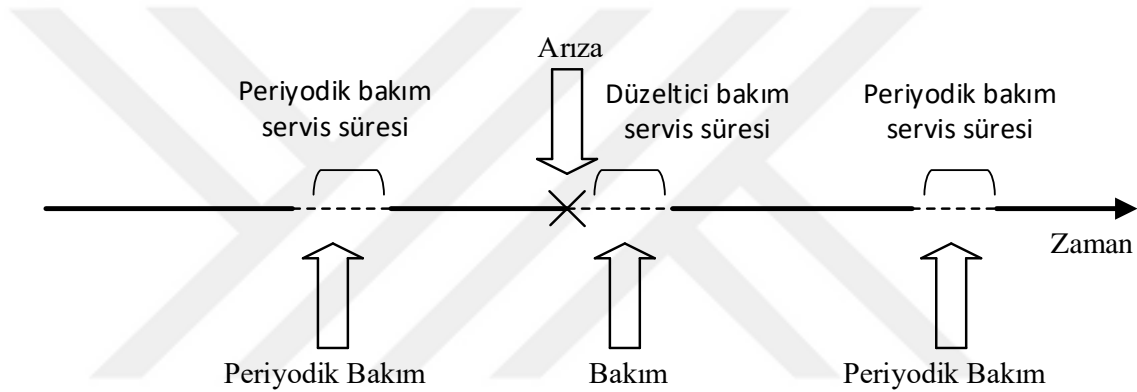


Şekil 3.8: Düzeltici bakım stratejisi (Özdoğan, 2011)

3.2.2 Periyodik bakım (Periodic maintenance)

Zamana dayalı koruyucu bakım olarak da adlandırılan periyodik bakım, makine ve ekipmanların, belirli bir program dahilinde, arıza oluşma şartı aranmadan planlı ve koordineli denetimler, ayarlamalar, onarımlar ve yenileme operasyonları gibi ekipmanların kullanılabilirlik süresini arttırmaya yönelik çalışmaları kapsamaktadır (Görener, 2013).

Şekil 3.9’da periyodik bakım stratejisinin çalışma prensibi gösterilmektedir. Şekil 3.9’da görüldüğü gibi periyodik bakım yapmak makinenin veya ekipmanın bu süre içerisinde arıza yapmayacağı anlamına gelmez.

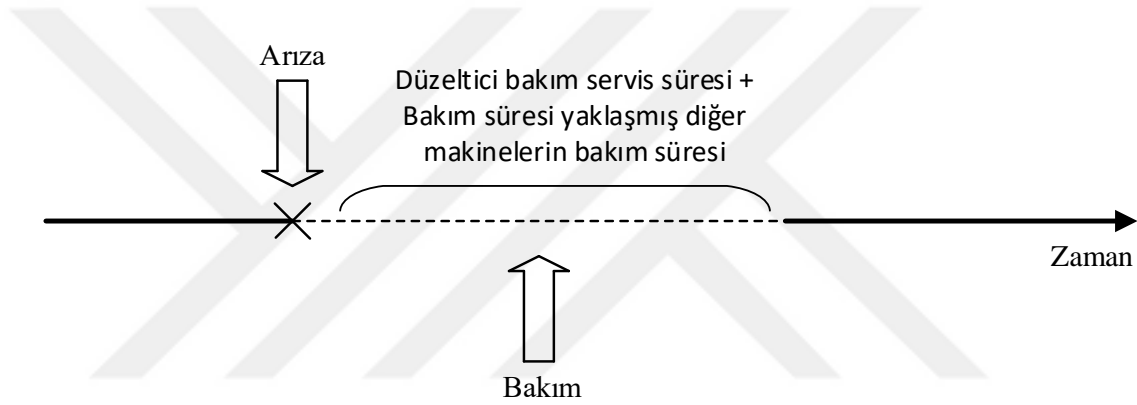


Şekil 3.9: Periyodik bakım stratejisi (Özdoğan, 2011)

Endüstride periyodik bakım yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekipmanın ve makinenin güvenilirlik özelliklerine göre, beklenmedik arızaları azaltmak için bakım belli aralıklarla planlanır ve gerçekleştirilir. Periyodik bakım, makine/ekipmanların kullanım süresine bağlı olarak ortaya çıkan sorunların üstesinden gelmede etkilidir (bakınız Şekil 3.2 ve Şekil 3.4). Ancak, periyodik bakımın yapılması için bir karar destek sistemine ihtiyaç duyulur. Bu karar destek sistemi için yeterli veriye sahip olunmadığı takdirde bakım aralıklarını planlamak zorlaşmaktadır. Ayrıca, periyodik bakım stratejilerinin kullanıldığı birçok durumda, çoğu makinenin bozulmasına uzun bir süre kalmasına rağmen bakımı yapılmış olur. İhtiyaç olmadan yapılan bakımlar makinelerin bozulmasına yol açar (Wang vd., 2007).

3.2.3 Fırsatçı bakım (Opportunistic maintenance)

Fırsatçı Bakım, sistemde bir makine veya ekipmanın arızalandığında bakımı yapılırken, diğer taraftan bakım zamanı yaklaşmış ya da aşınmış olan makine veya ekipmanların bakımının yapılmasıdır. Bu bakımı kullanma olasılığı, üretim sisteminde bulunan farklı bileşenler için kontrol veya değiştirme sürelerinin yakınlığı veya uyumu ile belirlenir. İlgili tüm bakım çalışmalarının aynı anda yapılması, üretim tesisin belirlenen zamanlarda kapanmasına neden olabilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Fırsatçı bakım stratejisinin çalışma prensibi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Düzeltici bakım stratejisinden farklı olarak bakım süresine bakım zamanı yaklaşmış diğer makinelerin bakım süreleri eklenmektedir.

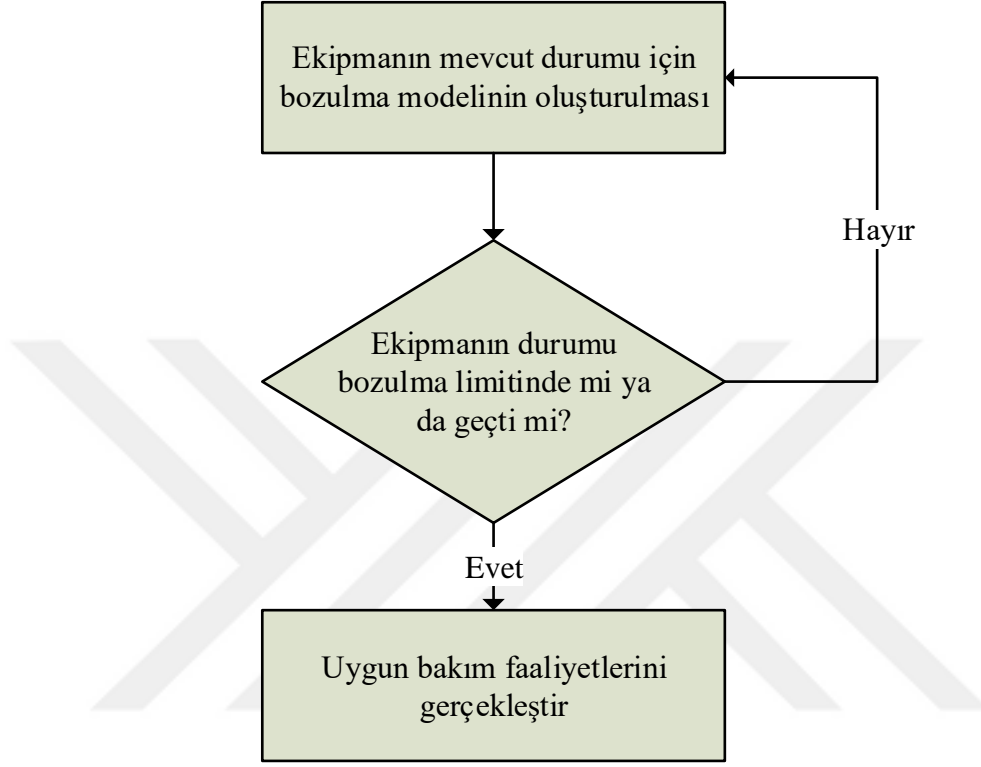


Şekil 3.10: Fırsatçı bakım stratejisi

3.2.4 Duruma dayalı bakım (Condition-based maintenance)

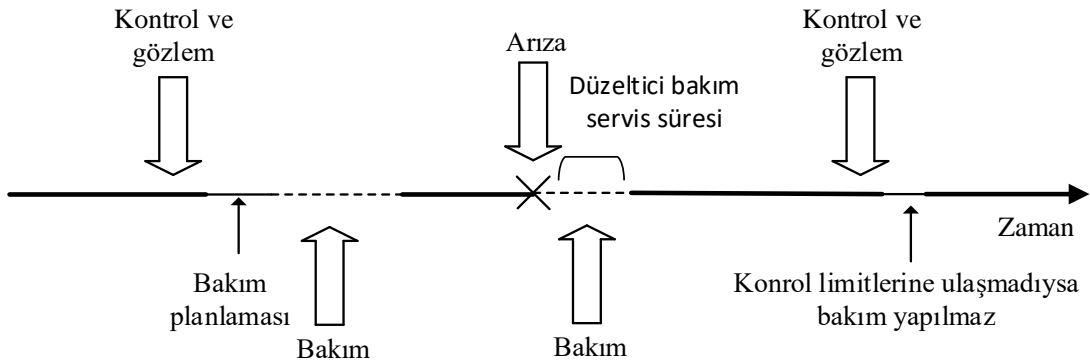
Duruma dayalı bakım stratejisinde bir dizi ölçüm ve veri toplama sistemi ile makine performansları gerçek zamanlı izlenir ve bakım kararı verilir. (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Çalışma koşullarının sürekli izlenmesi, makine/ekipmanların mevcut durumlarına göre bakım kararları alınmasını sağlar. Böylece bu bakım stratejisinde gereksiz bakımdan kaçınarak makine/ekipmanın arızadan hemen öncesine kadar çalışması sağlanmış olur. Ancak elde edilen bilgilerin yanlış veya yetersiz olması, bakım stratejisinin etkinliğini azaltır. (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003). DDB stratejisinde ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın bu bakım stratejisinin etkili bir şekilde kullanılması, ani duruşlar sebebi ile ortaya çıkabilecek maliyetleri azaltmaktadır (Görener, 2013). Şekil 3.11'de DDB stratejisinin çalışma prensibi gösterilmektedir.

Duruma dayalı bakım, bakım personelinin yalnızca doğru şeyleri yapmasını sağlar. Böylece yedek parça maliyetini, sistemin çalışmama süresini ve bakım için harcanan zamanı en aza indirir (Kirubakaran ve Ilangkumaran, 2016). Duruma dayalı bakım stratejisinin prensibi Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11: Duruma dayalı bakım stratejisinin çalışma prensibi (Ahmad ve Kamaruddin, 2012)

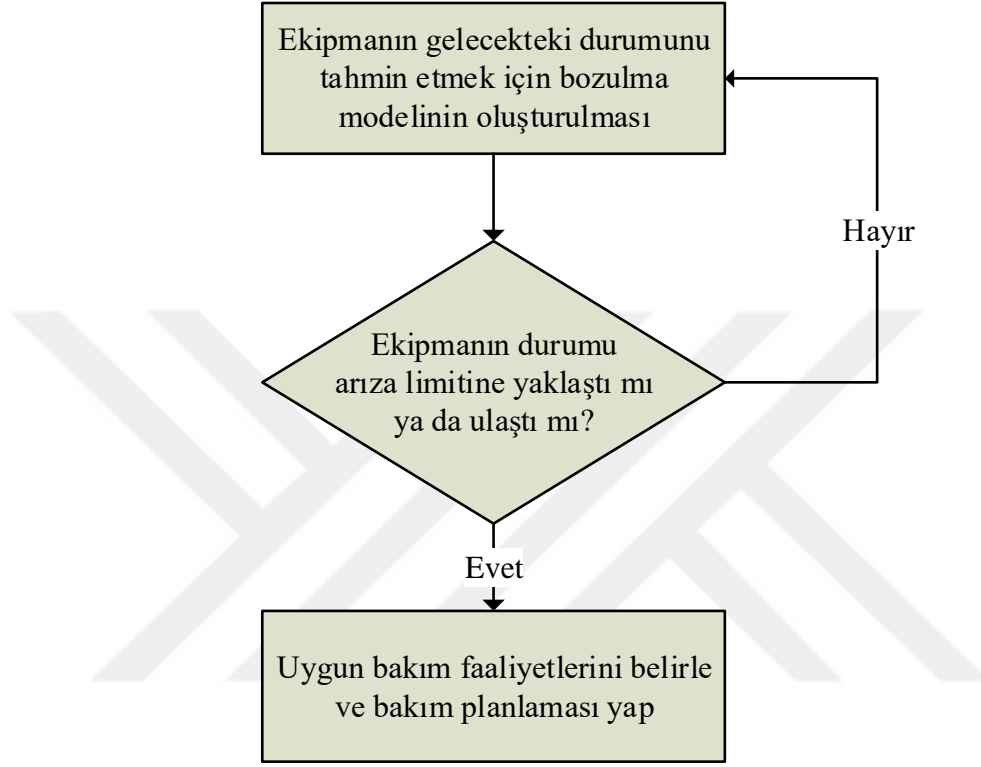
Duruma dayalı bakım stratejisi, karmaşık, yüksek maliyetli ve uzun süreli kullanımı olan makine/ekipmanlar için oldukça uygundur (Shyjith vd., 2008). Bu bakım stratejisi genellikle türbinler, santrifüj pompalar, kompresörler gibi dönen ve pistonlu makineler için tasarlanmıştır (Wang vd., 2007).



Şekil 3.12: Duruma dayalı bakım stratejisi

3.2.5 Kestirimci bakım (Predictive maintenance)

Kestirimci bakım, izlenen makine/ekipmanlardan alınan verileri analiz ederek makine/ekipmanların arızalanma zamanlarını tahmin edebilen bakım stratejisidir (Wang vd., 2007). KB stratejisinin çalışma prensibi Şekil 3.13'teki gibi özetlenebilir.

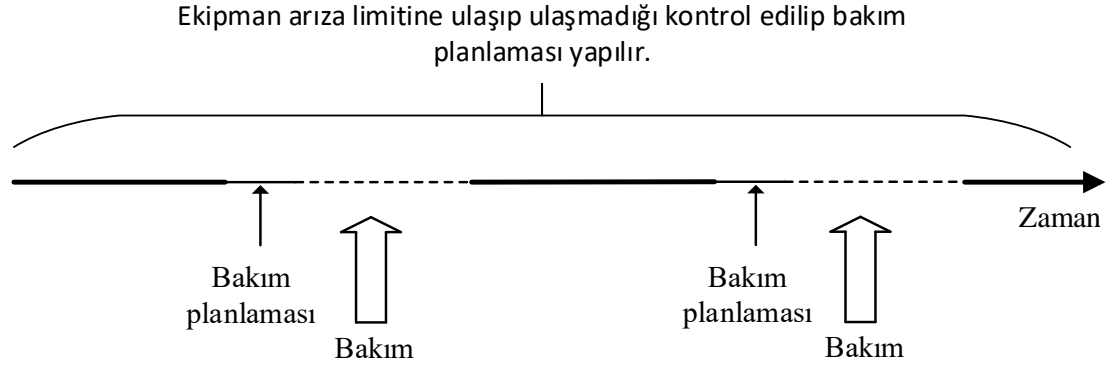


Şekil 3.13: Kestirimci bakım stratejisi (Ahmad ve Kamaruddin, 2012)

Kestirimci bakım stratejisinde, duruma dayalı bakım stratejisinden farklı olarak, elde edilen veriler makine/ekipmanlar üzerinde olası bir arıza eğilimini bulmak için analiz edilir. Bu analiz ile, incelenen parametre değerleri eşik değerlere ne zaman ulaşacağı veya aşacağı tahmin edilebilir. Böylece çalışma koşullarına bağlı kalarak makine/ekipman için bakım ihtiyacı olduğu bir zamanda bakım planlaması yapılabilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Arızanın meydana geleceği yeri ve zamanı doğru tahmin etmek yüksek maliyetler ve güvenlik tehlikeleri ile karşılaşmayı engeller (Shyjith vd., 2008).

Kestirimci bakım stratejisi, ne zaman bakımın yapılması gerektiğini belirlemeye yardımcı olur. Bu yaklaşımda bakım yalnızca gerekli olduğunda yapıldığı için periyodik bakıma göre maliyet tasarrufu sağlar. Kestirimci bakımın temel özelliği bakımın uygun şekilde planlanmasını sağlamak ve beklenmeyen arızaları engellemektir. KB, periyodik

veya sürekli olarak ekipman ve makinelerin durumunu izleyerek değerlendirir. KB ekipmanın sıfıra yakın duruş sürelerini yakalamayı hedefler (Kirubakaran ve Ilangkumaran, 2016). Şekil 3.14'te kestirimci bakım stratejisi gösterilmektedir.



Şekil 3.14: Kestirimci bakım stratejisi

3.2.6 Güvenilirlik merkezli bakım (Reliability-centered maintenance)

GMB, 1960'lı yıllarda bakım maliyetlerinin sürekli artması, verimliliğin düşmesi ve geleneksel PB stratejisinin etkinliğini kaybetmesi nedeni ile ABD sivil havacılık endüstrisi tarafından ortaya atılmıştır (Dinç, 2016; Mete, 2007). ABD sivil havacılık endüstrisi tarafından karmaşık ekipmanlarda yapılan periyodik bakımların etkinliği ile ilgili yapılan bir araştırmasında, periyodik bakımlarla arızalar arasındaki ilişkiler incelenmiş ve doğrudan ilişki görülmemiştir. Bu çalışmada arızaların enerji kesintisi, yanlış kullanım gibi beklenmeyen durumlarda ortaya çıktığı görülmüştür (Mete, 2007). Bölüm 3.1'de açıklanan 6 ana arıza modelinin her biri için farklı uygulama olabileceğini göstermektedir.

GMB, bakım maliyetini en aza indirmeyi hedeflerken ekipman verimliliğini (çalışma süresi, performans ve kalite) artırmak için periyodik ve kestirimci bakım programlarını optimize etmek için kullanılan sistematik bir yaklaşım olarak tanımlanmıştır. GMB stratejisi, ekipmanları ideal bir duruma getirmek yerine, sistem fonksiyonunu korumayı amaçlamaktadır (Sharma vd., 2005).

GMB; DB, PB, DDB, KB stratejilerinin optimum karışımıdır. Bu temel bakım stratejilerini, bağımsız olarak uygulanmak yerine, bakım maliyetlerini en aza indirmek ve tesis ve ekipmanın güvenliğinin en üst düzeye çıkarmak için birleştirilmişlerdir (Vishnu ve Regikumar, 2016).

GMB'nin temel adımları aşağıdaki gibidir (Kennedy, 2006; Mete, 2007; Ünal, 2009):

1. Sistemlerin/ekipmanların seçilmesi ve tanımlanması
2. Sistemlerden/ekipmanlardan beklenen performansın tanımlanması (İşlevlerin ve performans standartlarının tanımlanması)
3. Fonksiyonel arızaların belirlenmesi,
4. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ile arıza nedenlerinin, etkilerinin ve sonuçlarının belirlenmesi
5. Arızayı gidermek için en etkili ve uygulanabilir bakım programının seçilmesi,
6. Bakım programının planlanması ve uygulanması,
7. Bakım programının optimize edilmesi,
8. Herhangi bir önleyici faaliyet uygun değilse:
 - Arızalanıncaya kadar çalıştırma,
 - Yeniden tasarım ihtiyacı,
 - Arızayı değerlendirmek için test yapılması kararlarından birinin verilmesi.

Adım 1, 2 ve 3'te, uygulayıcı, sistem ve işlevleri hakkında ayrıntılı bilgi toplar; böylece amaçlanan sistem uygulamasında hangi arızaların en çok endişe verici olacağı konusunda en uygun kararları alabilir. Adım 4 ve 5'te, uygulayıcı, sistem işlevi kaybıyla sonuçlanabilecek tüm arıza türleri göz önünde bulundurur ve hangi arıza türlerinin en büyük risk olduğunu belirler. Bu adımlar GMB sürecinin en kritik kısmıdır. Adım 6 ve 7'de bakımın planlanması ve uygulanması için gerekli görev tanımları, çalışma prosedürleri belirlenir ve bakım prosedürü uygulandıkça optimizasyon yapılır. Mümkün olan en iyi prosedürü elde etmek ve prosedürü gerçekleştirebilmek ve uygun bakım seviyesini belirlemek için insan gücüne, gerekli ekipmanlara, personel eğitimine ve adımların mantıksal sıralanmasına dikkat edilir (Vishnu ve Regikumar, 2016).

GMB yönteminin amaçlarına ulaşabilmek için, fonksiyonel arızaya neden olan çeşitli arıza tipleri tanımlanır ve ardından sistem işlevindeki önemlerini belirlemek için önceliklendirilir (Sharma vd., 2005). HTEA, Ön Tehlike Analizi ve hata ağacı analizi gibi araçlar GMB analizinde kullanılır (Ahuja ve Khamba, 2008; Sharma vd., 2005).

Bakım gereğinden fazla yapılırsa arıza oluşmaz ancak bakım maliyeti ve ekipman aşınımı artar; az yapılırsa arıza oluşumu arttığı için üretim kaybı artarken bakım maliyeti azalır. GMB, gereksiz bakımdan kaynaklanan maliyet ile zamanında yapılmayan bakımdan kaynaklanan arıza durumlarını dengelemeye çalışır (Mete, 2007).

Ekonomik kayıpların yüksek olacağı, personel ve tesis güvenliğinin riske gireceği arıza tipleri için GMB oldukça uygundur (Mete, 2007). Öte yandan, kurulum maliyetinin yüksek olması ve karmaşık bir yapıya sahip olması GMB'nin olumsuz yanındır (Dinç, 2016).

3.2.7 Toplam üretken bakım (Total productive maintenance)

TÜB, arıza kayıpları; ölçüm, değişim ve ayar kayıpları; aylak zaman ve küçük duruşlar; düşük hız; üretim hataları; devreye alma ve hazırlık süresi kayıpları gibi altı büyük kaybı ortadan kaldırarak ekipman verimliliğini artırmak için üst yönetimden en alt çalışanlara kadar aktif katılımı sağlayan, tesis, ekipman veya varlıkları korumayı amaçlayan şirket çapında bir yaklaşımdır (Sharma vd., 2005). TÜB, ekipman verimliliğini optimize etmek, arızaları ortadan kaldırmak için günlük faaliyetler sırasında operatörler tarafından özerk bakım yapılmasını sağlar (Ahuja ve Khamba, 2008).

TÜB'yi ölçmek için kullanılan, kullanılabilir zaman, verimlilik ve kalitenin çarpımı ile hesaplanan genel ekipman etkinliğini (OEE) iyileştirmeyi amaçlar. Uluslararası üretim standartlarına göre OEE'nin %85'in üstünde olması en iyi sınıf kategorisine girmektedir (Sharma vd., 2005). OEE aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{OEE} = \text{Kullanılabilir Zaman} \times \text{Verimlilik} \times \text{Kalite} \quad (3.1)$$

TÜB'de bakım çalışma süreci ve bazı durumlarda üretim sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak planlanmıştır. Amaç beklenmedik bir durumu ve planlanmamış bakımı en aza indirmektir (Pourjavad vd., 2013).

3.2.8 Revizyon bakım (Revision maintenance)

Revizyon bakım bir üretim tesisinin önemli tüm ekipmanları için periyodik olarak (örneğin 8000 saat veya 5 yıl) uygulanan bakım yöntemidir. Bu bakım yöntemi uygulanırken üretim tesisi uzun süre (örneğin 3 ay) kapatılması gerekir (Özcan vd., 2017).

3.2.9 Otonom bakım (Autonomous maintenance)

Otonom bakım stratejisi, bakım ve üretim departmanının bakım faaliyetlerini yürütmek için birlikte çalıştığı bir bakım stratejisidir (Kamaruddin, 2012). Bu bakım stratejisinde ekipmanlarda meydana gelen küçük çaplı arızalar operatörler tarafından yapılırken büyük çaplı arızalar bakım ekibi tarafından yapılır. Böylece makinelerin gereksiz duruşları azaltılarak üretim kaybının önüne geçilebilir.

4 BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Bu bölümde bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler (SBK), Pisagor bulanık kümeler (PBK), Pisagor bulanık TOPSIS ve bulanık TOPSIS yöntemleri açıklanmıştır.

4.1 Bulanık Kümeler

Bulanık küme teorisi insan düşüncesindeki belirsizlik ile başa çıkmak için, Lotfi A. Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık küme teorisinin ana amacı, belirsiz verileri temsil etme kabiliyeti ve matematiksel operatörlerin ve programlamanın bulanık alana uygulanmasına izin vermesidir. Bulanık kümede, her bir nesne sıfır ile bir arasında değişen üyelik derecesi ile karakterize edilir (Kahraman vd., 2003). Bu dereceler, bulanık bir kümeye ait özel elemanın kararlılık düzeyini gösterir (Önkoyun, 2018). Bulanık kümeleri matematiksel olarak ifade etmek için bir X kümesi düşünüldüğünde, bu küme aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Amindoust vd., 2012):

$$X = x_1, x_2, \dots, x_n \quad (x_i \in X) \quad (4.1)$$

A, X 'de bulunan bir bulanık küme olsun. A bulanık küme, X kümesindeki her elemanın $[0,1]$ aralığında değer aldığı üyelik derecesi $(\mu(x))$ fonksiyonu ile ifade edilir. $\mu(x)$, bire ne kadar yakınsa A 'daki üyelik derecesi o kadar yüksektir. Üyelik derecesi $(\mu(x))$, bulanık kümede bulunan her x_i elemanına ait üyelik düzeyini ifade eder (Amindoust vd., 2012; Zadeh, 1965).

Bulanık A 'daki her bir x_i elemanı ilgili üyelik dereceleri Eşitlik 4.2 ile aşağıdaki gibi ifade edilir (Amindoust vd., 2012):

$$A = \mu_1(x_1), \mu_2(x_2), \dots, \mu_n(x_n) \quad (4.2)$$

A , klasik bir küme olduğunda, üyelik derecesi 0 ve 1 olmak üzere bu iki değerden birini alır. $\mu(x) = 1$ olduğunda x , A kümesinin elemanıdır ve $\mu(x) = 0$ olduğunda ise x , A kümesinin elemanı değildir. Yani bir nesne ya bir kümenin elemanıdır ya da hiçbir kümenin elemanı değildir. Bulanık küme teorisinde ise bir x elemanının bir kümeye aitlik

derecesi 0 ile 1 arasındadır. Bu sayede x elemanı bir kümeyle 0,7 oranında ait olabileceği gösterilebilmektedir (Zadeh, 1965).

$$\mu(x) \in [0,1] \quad (4.3)$$

Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel farklar Çizelge 4.1'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Genel olarak bakıldığında bulanık mantık, klasik mantığın kesin yargılarını ara kavramlarla ifade edebilmektedir.

Çizelge 4.1: Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki farklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A değil	A ve A değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya hiçbiri	Belirli derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 arasında süreklilik
İkili birimler	Bulanık birimler

Günümüzde bulanık mantık, özellikle yapay zekâ alanında olmak üzere, verilerin analizi, tahmini ve sınıflandırılması gibi amaçlarla birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, karar vericilerin karmaşık olan, yetersiz kalan veya belirsizlik içeren düşüncelerini daha iyi modelleyebilmek için ÇKKV yöntemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu bölümde, Sezgisel bulanık kümeler ve Pisagor bulanık kümelerin temel kavramlarından bahsedilecektir.

4.1.1 Sezgisel bulanık kümeler (Intuitionistic fuzzy sets)

SBK teorisi, klasik bulanık küme teorisinin belirsizliği ile başa çıkabilmek için Atanassov (1986) tarafından ortaya atılmıştır. SBK'ler, üyelik derecesi ($\mu(x)$), üye olmama derecesi ($\nu(x)$) ve tereddüt derecesinden (hesitation degree) ($\pi(x)$) oluşan üç parametre ile karakterize edilir. Böylece, verilerin bulanık karakterlerinin daha ayrıntılı ve kapsamlı olarak açıklanabildiği öne sürülmektedir (Önkoyun, 2018).

SBK A , sonlu küme X olarak şöyle yazılabilir (Boran vd., 2009; Zhang ve Xu, 2014):

$$A = \{ \langle x, A (\mu_A(x), v_A(x)) \rangle | x \in X \} \quad (4.4)$$

Burada $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ üyelik derecesini ve $v_A(x): X \rightarrow [0,1]$ üye olmama derecesini tanımlamaktadır. Her $x \in X$ için $\mu_A(x)$ ve $v_A(x)$ aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1 \quad (4.5)$$

SBK'lerin üçüncü parametresi tereddüt derecesi $\pi_A(x)$ aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - v_A(x) \quad (4.6)$$

Her $x \in X$ için; $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$ aralığındadır.

Eğer $\pi_A(x)$ küçükse, x hakkında bilgi daha kesindir. Eğer $\pi_A(x)$ büyükse, x hakkında bilgi daha belirsizdir. Evrenin tüm elemanları için $\mu_A(x) = 1 - v_A(x)$ olduğunda, klasik bulanık küme şekline dönüşmektedir (Shu vd., 2006).

ÇKKV problemlerinde karar vericiler, Kriter C_j 'ye göre alternatif X 'in derecesiyle ilgili tercihlerini belirtebilirler. Ancak, birçok gerçek dünya ÇKKV problemlerinde, SBK'ler için üyelik derecesi ve üye olmama dereceleri 1'den büyük olabilmektedir. Bu durum SBK'ler kullanılarak açıklanamaz. Yager (2013) bu zorluğun üstesinden gelebilmek için karar vericilerin SBK'lerin kısıtlarına uyacak şekilde tercihlerini değiştirmelerini istemek yerine, PBK kavramını ortaya atmıştır.

4.1.2 Pisagor bulanık kümeler (Pythagorean fuzzy sets)

PBK P , sonlu küme X olarak şöyle yazılabilir (Zhang ve Xu, 2014):

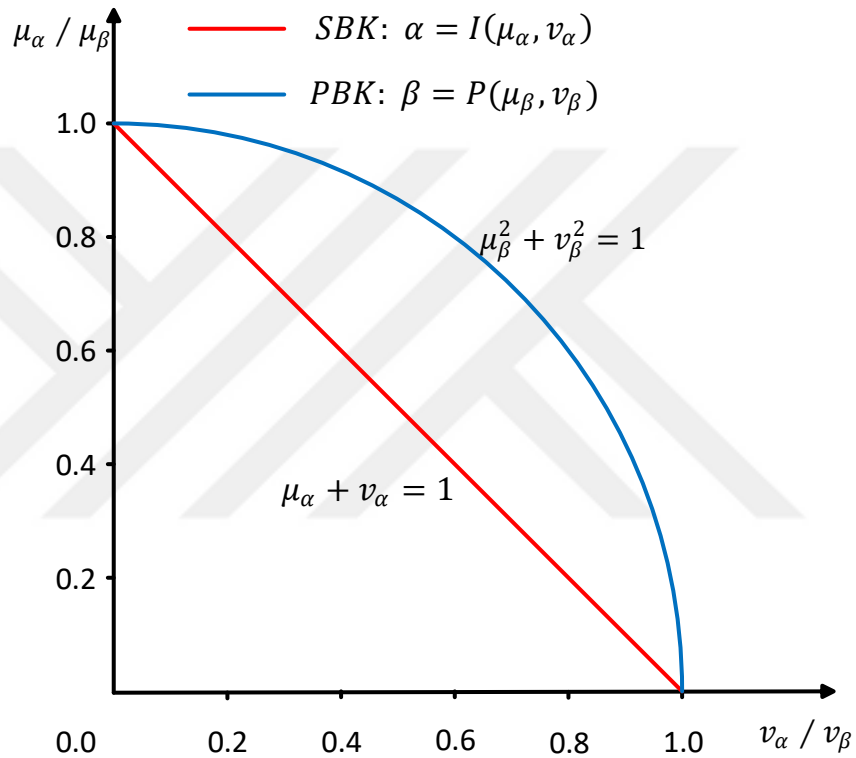
$$P = \{ \langle x, P (\mu_P(x), v_P(x)) \rangle | x \in X \} \quad (4.7)$$

Burada $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ üyelik derecesini ve $v_A(x): X \rightarrow [0,1]$ üye olmama derecesini tanımlamaktadır. Her $x \in X$ için $\mu_A(x)$ ve $v_A(x)$ aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$(\mu_P(x))^2 + (v_P(x))^2 \leq 1 \quad (4.8)$$

PBK'lerin üçüncü parametresi tereddüt derecesi $\pi_A(x)$ 'dir. Herhangi bir PBK P ve $x \in X$ için $\pi_A(x)$ Eşitlik 4.9 ile hesaplanmaktadır.

$$\pi_P(x) = \sqrt{1 - \mu_P^2(x) - v_P^2(x)} \quad (4.9)$$



Şekil 4.1: Pisagor bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayıların karşılaştırması

Hem SBK'ler hem de PBK'ler üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt derecesi cinsinden ifade edilebilir. Şekil 4.1'de SBK ve PBK karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu şekle göre PBK'nin SBK'yi kapsadığı görülmektedir.

Yager (2013) tarafından önerilen PBK, SBK üzerinden geliştirilmiş bir yöntemdir (Onar vd., 2018). Bu kümeler, SBK'lerin belirsizliği ele alamayacağı durumlarda kullanılabilmesi nedeni ile belirsizlik içeren problemleri çözmek için SBK'den daha güçlü ve esnektir (Ak ve Gul, 2018; Ilbahar vd., 2018). PBK, SBK gibi üyelik derecesi ve üye olmama derecesi ile karakterize edilir. Ancak, üyelik derecesi ile üye olmama

derecesinin karelerinin toplamının bir veya birin altında olması şartına dayanmaktadır (Önkoyun, 2018). Böylece SBK'leri kullanamadığımız durumlarda, PBK'leri kullanabiliriz. Yager (2014) çalışmasında buna şöyle değinmiştir: Karar verici, bir alternatifin üyelik derecesini $\frac{\sqrt{3}}{2}$, üye olmama derecesini $\frac{1}{2}$ olarak takdir edebilir. Bu durumda, üyelik derecesi ve üye olmama derecesi toplamı 1'den büyük olduğu için SBK kullanımını uygun olmamaktadır. Ancak, $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \leq 1$ koşulunu sağladığı için PBK kullanılabilir. Böylece, karar vericilerin SBK sınırlarına uyacak şekilde kararlarını değiştirmelerini istemek yerine, PBK kullanılabilir. Böylece PBK'nin, ÇKKV problemlerindeki belirsizliği modellemek için SBK'den daha fazla yeteneğe sahip olduğu öne sürülmektedir (Önkoyun, 2018).

$P_1 = P(\mu_{P_1}, v_{P_1})$ ve $P_2 = P(\mu_{P_2}, v_{P_2})$ Pisagor bulanık sayılar ve $\lambda > 0$ olsun. Bu iki bulanık sayı arasındaki işlemler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (İlbarhar vd., 2018; Onar vd., 2018; Zhang ve Xu, 2014):

$$\begin{aligned}
P_1 \oplus P_2 &= P\left(\sqrt{\mu_{P_1}^2 + \mu_{P_2}^2 - \mu_{P_1}^2 \mu_{P_2}^2}, v_{P_1} v_{P_2}\right) \\
P_1 \otimes P_2 &= P\left(\mu_{P_1} \mu_{P_2}, \sqrt{v_{P_1}^2 + v_{P_2}^2 - v_{P_1}^2 v_{P_2}^2}\right) \\
\lambda P_1 &= P\left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{P_1}^2)^\lambda}, (v_{P_1})^\lambda\right), \quad \lambda > 0 \\
P_1^\lambda &= P\left((\mu_{P_1})^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{P_1}^2)^\lambda}\right), \quad \lambda > 0
\end{aligned} \tag{4.10}$$

İki PBK arasındaki uzaklık Eşitlik 4.11 ile tanımlanır (Zhang ve Xu, 2014):

$$d(P_1, P_2) = \frac{1}{2} (|\mu_{P_1}^2 - \mu_{P_2}^2| + |v_{P_1}^2 - v_{P_2}^2| + |\pi_{P_1}^2 - \pi_{P_2}^2|) \tag{4.11}$$

SBK ve PBK üye olma ve üye olmama derecelerinin alabileceği değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir. SBK 0,10 üyelik derecesine sahip olduğunda üye olmama derecesi en fazla 0,90 olabilmektedir. Ancak PBK'ye baktığımızda 0,99 olabilmektedir.

Çizelge 4.2: SBK ve PBK karşılaştırma (Onar vd., 2018)

SBK		PBK	
μ	ν	μ	ν
0,00	1,00	0,00	1,00
0,05	0,95	0,05	1,00
0,10	0,90	0,10	0,99
0,15	0,85	0,15	0,99
0,20	0,80	0,20	0,98
0,25	0,75	0,25	0,97
0,30	0,70	0,30	0,95
0,35	0,65	0,35	0,94
0,40	0,60	0,40	0,92
0,45	0,55	0,45	0,89
0,50	0,50	0,50	0,87
0,55	0,45	0,55	0,84
0,60	0,40	0,60	0,80
0,65	0,35	0,65	0,76
0,70	0,30	0,70	0,71
0,75	0,25	0,75	0,66
0,80	0,20	0,80	0,60
0,85	0,15	0,85	0,53
0,90	0,10	0,90	0,44
0,95	0,05	0,95	0,31
1,00	0,00	1,00	0,00

4.2 Pisagor Bulanık TOPSIS

Pisagor bulanık TOPSIS, Pisagor bulanık kümeler kavramını göz önünde bulundurarak pozitif ideal çözümden en kısa mesafeli ve negatif ideal çözümden en uzak mesafeli olan çözümleri seçme kavramına dayanan ÇKKV tekniğidir.

Bir ÇKKV problemi, her kriter için tüm alternatiflerin değerlendirme değerlerini gösteren elemanlardan oluşan bir karar matrisi olarak ifade edilebilir. Pisagor bulanık ortamdaki bir ÇKKV probleminde, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ($m \geq 2$) m adet uygulanabilir alternatif, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ $0 \leq w_j \leq 1$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ koşullarını sağlayan n

adet kriteri $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, $w = (w_1, w_2, \dots, w_k)^T$ $0 \leq w_j \leq 1$ ve $\sum_{j=1}^k w_j = 1$ koşullarını sağlayan k adet karar verici $KV = \{KV_1, KV_2, \dots, KV_k\}$ olarak tanımlansın.

Yukarıdaki tanımlamalara göre bir ÇKKV problemi için Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Chen, 2000; Zhang ve Xu, 2014).

Adım 1: Karar vericilerin, kriterlerinin ve alternatiflerin belirlenmesi.

Adım 2: Karar vericiler tarafından, değerlendirme kriterlerinin ve alternatiflerin PBK'ye göre değerlendirmesi.

Adım 3: Kriter ve alternatifler için karar vericilerden alınan görüşlerin Pisagor Bulanık Ağırlıklı Ortalama (PFWA) operatörü yardımıyla birleştirilmesi (Zhang, 2016).

$$\begin{aligned} \text{PFWA}(P_1, P_2, \dots, P_n) &= w_1 P_1 \oplus w_2 P_2 \oplus \dots \oplus w_n P_n \\ &= P \left(\sqrt{1 - \prod_{j=1}^n (1 - (u_{P_j})^2)^{w_j}}, \prod_{j=1}^n (v_{P_j})^{w_j} \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

Burada w_j , $w_j \geq 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$) ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olmak üzere P_j 'nin önem derecesini göstermektedir.

Adım 4: Karar matrisinin oluşturulması: Belirlenmiş karar verici görüşleri doğrultusunda Pisagor bulanık sayılar temelli karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{matrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{matrix} \begin{pmatrix} P(u_{11}, v_{11}) & \cdots & P(u_{1n}, v_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P(u_{m1}, v_{m1}) & \cdots & P(u_{mn}, v_{mn}) \end{pmatrix}$$

Burada her $C_j(x_i) = P(u_{ij}, v_{ij})$ elemanı Pisagor bulanık sayılarıdır. x_i alternatifinin C_j kriterine göre üyelik derecesi u_{ij} , üye olmama derecesi v_{ij} olarak tanımlanmaktadır.

Adım 5: Pisagor bulanık pozitif ideal çözüm Eşitlik 4.13 ile negatif ideal çözüm ise Eşitlik 4.14 ile tanımlanması.

$$\begin{aligned} x^+ &= \{C_j, \max_i \left\{ s \left(C_j(x_i) \right) \right\} \mid j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{\langle C_1, P(u_1^+, v_1^+) \rangle, \langle C_2, P(u_2^+, v_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^+, v_n^+) \rangle\} \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} x^- &= \{C_j, \min_i \left\{ s \left(C_j(x_i) \right) \right\} \mid j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{\langle C_1, P(u_1^-, v_1^-) \rangle, \langle C_2, P(u_2^-, v_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^-, v_n^-) \rangle\} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Burada $s \left(C_j(x_i) \right) = (u_{ij})^2 - (v_{ij})^2$ olarak tanımlanmaktadır.

Adım 6: Her alternatifin Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıklarının Eşitlik 4.15 ve 4.16 ile hesaplanması.

$$\begin{aligned} D(x_i, x^+) &= \sum_{j=1}^n w_j d \left(C_j(x_i), C_j(x^+) \right) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(\left| (u_{ij})^2 - (u^+)^2 \right| + \left| (v_{ij})^2 - (v^+)^2 \right| + \left| (\pi_{ij})^2 - (\pi^+)^2 \right| \right), \\ & \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} D(x_i, x^-) &= \sum_{j=1}^n w_j d \left(C_j(x_i), C_j(x^-) \right) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(\left| (u_{ij})^2 - (u^-)^2 \right| + \left| (v_{ij})^2 - (v^-)^2 \right| + \left| (\pi_{ij})^2 - (\pi^-)^2 \right| \right), \\ & \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (4.16)$$

Adım 7: Her alternatifin göreceli yakınlık indekslerinin Eşitlik 4.17 ile hesaplanması.

$$\zeta(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D_{maks}(x_i, x^-)} - \frac{D(x_i, x^+)}{D_{maks}(x_i, x^+)} \quad (4.17)$$

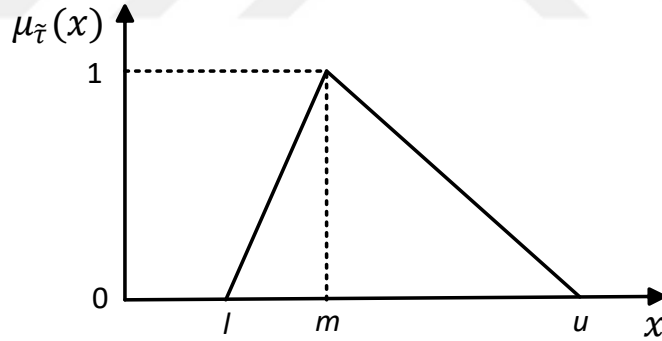
Adım 8: Alternatiflerin göreceli yakınlık indeksine göre sıralanması. En büyük göreceli yakınlık indeksine sahip alternatif en iyi alternatif seçilir.

4.3 Bulanık TOPSIS

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yönteminin temel mantığı, seçilen alternatifin negatif ideal çözüme en uzak mesafeye ve pozitif ideal çözüme en kısa mesafeye, sahip olması gerektiğidir (Opricovic ve Tzeng, 2004).

Bulanık küme teorisinde genelde üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır (Chen, 2000). Bir üçgensel bulanık sayılar, Şekil 4.2'deki gibi üçlü bir terim (l, m, u) ile gösterilmektedir. Üyelik fonksiyonu ise Eşitlik 4.18'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m, \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u. \end{cases} \quad (4.18)$$



Şekil 4.2: \tilde{n} üçgensel bulanık sayısı

$\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3)$ ve $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$ iki üçgensel bulanık sayı ve p de pozitif bir doğal sayı olsun. İki pozitif üçgensel bulanık sayı için temel aritmetik işlemler aşağıdaki gibi yapılmaktadır (Seçme vd., 2009):

$$\tilde{m} + \tilde{n} = (m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3) \quad (4.19)$$

$$\tilde{m} - \tilde{n} = (m_1 - n_1, m_2 - n_2, m_3 - n_3) \quad (4.20)$$

$$\tilde{m} \otimes \tilde{n} = (m_1 n_1, m_2 n_2, m_3 n_3) \quad (4.21)$$

$$p \otimes \tilde{n} = (pn_1, pn_2, pn_3) \quad (4.22)$$

$$\tilde{m}^{-1} = \left(\frac{1}{m_3}, \frac{1}{m_2}, \frac{1}{m_1} \right) \quad (4.23)$$

İki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklık Eşitlik 4.24 ile hesaplanır (Chen, 2000):

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (4.24)$$

Çizelge 4.3: Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel ifadeler (Chen, 2000)

Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Biraz İyi (Bİ)	(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)

Bu çalışmada kullanılan dilsel değişkenler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Karar vericiler her bir kritere göre alternatiflerin değerlendirilmesi için bu dilsel değişkenler kullanılmıştır.

Bulanık TOPSIS yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşur (Chen, 2000):

Adım 1: Karar modelini oluşturmak için karar vericilerin, kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi.

Adım 2: Karar vericilerin kriterleri ve alternatifleri Çizelge 4.3'te verilen dilsel değişkenlere göre değerlendirmesi.

Adım 3: Kriterler (\tilde{w}_j) ve alternatifler (\tilde{x}_{ij}) için karar vericilerden alınan görüşlerin Eşitlik 4.25 ve 4.26 ile birleştirilmesi.

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [w_j^1(+) w_j^2(+) \dots (+) w_j^K] \quad (4.25)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [x_{ij}^1(+) x_{ij}^2(+) \dots (+) x_{ij}^K] \quad (4.26)$$

burada w_j^K ve x_{ij}^K , K ' nıncı karar vericisinin derecelendirme ve önem ağırlığıdır.

Adım 4: Bulanık karar matrisinin oluşturulması.

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

$$\tilde{D} = \left[\begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix} \right]$$

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

Adım 5: Normalize edilmiş bulanık karar matrisinin Eşitlik 4.27 ile oluşturulması.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (4.27)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^*}, \frac{m_{ij}}{u_j^*}, \frac{u_{ij}}{u_j^*} \right), j \in F$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right), j \in M$$

$$u_j^* = \max_i u_{ij}, j \in F$$

$$l_j^- = \min_i l_{ij}, j \in M$$

Adım 6: Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinin Eşitlik 4.28 ile oluşturulması.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.28)$$

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

Adım 7: Bulanık pozitif ideal çözümün (A^*) ve negatif ideal çözümün (A^-) sırasıyla Eşitlik 4.29 ve 4.30 kullanılarak belirlenmesi.

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (4.29)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (4.30)$$

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

Adım 8: Bulanık pozitif ideal çözümden ve negatif ideal çözümden uzaklıkların Eşitlik 4.31 ve 4.32 ile hesaplanması.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4.31)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4.32)$$

Adım 9: Yakınlık katsayılarının Eşitlik 4.33 kullanılarak hesaplanması

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, m \quad (4.33)$$

Adım 10: Alternatiflerin sıralanması. En yüksek yakınlık katsayısına sahip alternatif en iyi alternatif olarak seçilir.

5 UYGULAMA

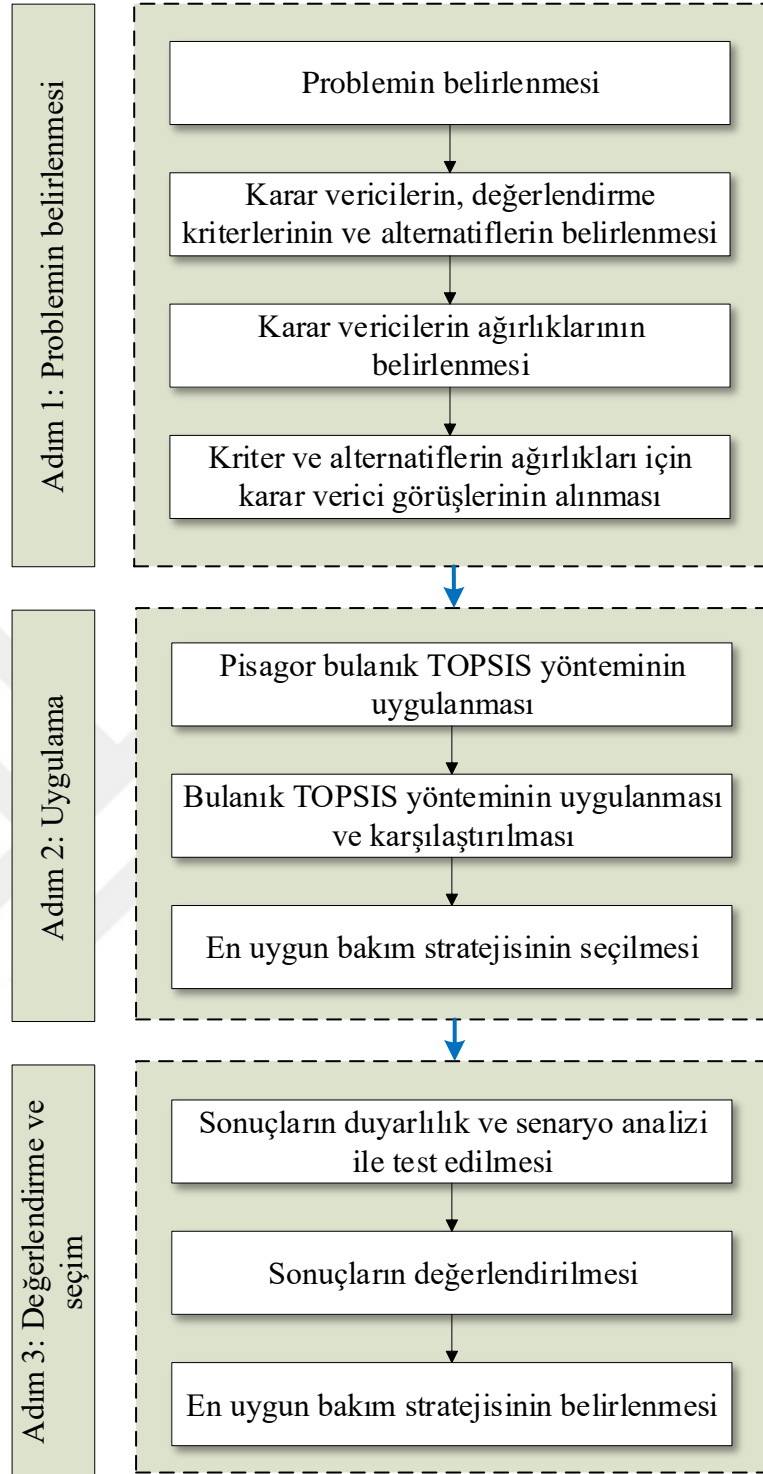
Bu çalışma, akış tipi üretim yapan Türkiye'nin önemli gıda üretim tesislerinden birinde en uygun bakım stratejisi seçimi amacıyla yapılmıştır. Mevcut durumda üretim tesisinde düzeltici bakım ve periyodik bakım stratejileri uygulanmaktadır.

İşletmenin gereksinimlerini karşılayan uygun ve doğru bir karar almak için kriter ve alternatiflerin doğru seçilmesi çok önemlidir.

Bakım stratejisi seçimi ile ilgili yapılan bu çalışma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır. Uygulama adımları ayrıca Şekil 5.1'de verilmiştir.

- Bakım yöneticileri, bakım mühendisleri ve bakım personelinden oluşan yedi kişilik bir uzman grubu oluşturulmuştur.
- Karar verici grubunun görüşleri ve literatür araştırması sonucunda kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenmiştir.
- Bakım stratejisi seçimi ile ilgili hiyerarşik bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hiyerarşik model Şekil 5.2'de gösterilmiştir.
- En uygun bakım stratejisini seçmek için Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.
- Duyarlılık analizi ile kriter ağırlıkları ve karar verici ağırlıklarının sağlamlığı test edilmiştir.
- Senaryo analiz ile işletmenin karşılaşılabileceği farklı durumlar için değerlendirme yapılmıştır.

Bu bölüm, karar probleminin tanımlanması, karar vericilerin belirlenmesi, kriterlerin belirlenmesi, alternatiflerin belirlenmesi, Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin uygulanması, bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırma, duyarlılık analizi ve senaryo analizi alt başlıklarını içermektedir.



Şekil 5.1: Uygulama adımları

5.1 Karar Probleminin Tanımlanması

Bir işletmede kullanılan makine veya ekipmanlara uygulanacak bakım stratejisinin seçimi bakım stratejisi seçim problemi olarak adlandırılır. Çalışmanın yapıldığı işletmenin özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Akış tipi üretim sistemine sahiptir.
- Bakım stratejisi seçimi yapılan hatta üretim kayıplarına neden olabilecek makineler vardır.
- Üretimin, en az fire ve en az duruş ile gerçekleşmesi beklenmektedir.

5.2 Karar Vericilerin Belirlenmesi

Uygulama, üretim tesisinin bakım bölümünde çalışmakta olan bakım müdürleri, bakım mühendisleri ve ustabaşlarından oluşan on iki karar verici ile gerçekleştirilmiştir. Yüz yüze görüşme ile karar vericilerle anket çalışması yapılmıştır. Bu anket çalışması EK A ve EK B’de gösterildiği gibidir. Karar verici değerlendirmeleri kontrol edilmiş ve tutarlı olan yedi karar verici seçilmiştir. Bu karar vericilerin üçü bakım müdürü, üçü bakım mühendisi ve biri ustabaşı olarak üretim tesisinde çalışmaktadır. Yapılan değerlendirme sonucunda karar verici ağırlıkları müdür, mühendis ve ustabaşı; 3, 2 ve 1 ile orantılı olacak şekilde belirlenmiştir. Karar verici 1, 3 ve 6 müdür; karar verici 2 ve 4 mühendis; karar verici 5 ustabaşıdır. Her bir karar vericinin yaptıkları değerlendirme sonuçları EK A ve EK B’de verilmiştir.

5.3 Kriterlerin Belirlenmesi

En uygun bakım stratejisi seçim problemini gerçekleştirebilmek için öncelikle ele alınacak kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, kriterler literatürde yapılan benzer çalışmalar ve uygulamanın yapıldığı tesisteki karar verici ekibin görüşleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterler Çizelge 5.1’deki gibidir.

Çizelge 5.1: Ana kriterler ve alt kriterler

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Referans
E: Emniyet	E1: Personel güvenliği	Abdulgader vd. (2018); Akhshabi (2011); Azizi ve Fathi (2014); Bevilacqua ve Braglia (2000); Dinç (2016); Dong vd. (2008); Emovon vd. (2018); Fathi vd. (2011); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Fouladgar vd. (2012); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Jayaswal, Sagar, ve Kushwah (2013); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mete (2007); Mey (2016); Mousavi vd. (2009); Panchal vd. (2017); Sadeghi ve Manesh (2012); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013); Zaim vd. (2012)
	E2: Tesis güvenliği	
	E3: Çevre Güvenliği	
M: Maliyet	M1: Donanım Maliyeti	Abdulgader vd. (2018); Akhshabi (2011); Azizi ve Fathi (2014); Dinç (2016); Fathi vd. (2011); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mete (2007);

		Mousavi vd. (2009); Panchal vd. (2017); Sadeghi ve Manesh (2012); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013); Zaim vd. (2012)
	M2: Yazılım Maliyeti	Abdulgader vd. (2018); Akhshabi (2011); Azizi ve Fathi (2014); Fathi vd. (2011); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Jayaswal vd. (2013); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mete (2007); Mousavi vd. (2009); Panchal vd. (2017); Sadeghi ve Manesh (2012); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013); Zaim vd. (2012)
	M3: Personel Eğitim Maliyeti	Abdulgader vd. (2018); Akhshabi (2011); Azizi ve Fathi (2014); Emovon vd. (2018); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mete (2007); Panchal vd. (2017); Sadeghi ve Manesh (2012); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013); Zaim vd. (2012)
	M4: Bakım Maliyeti	Bevilacqua ve Braglia (2000); Dinç (2016); Dong vd. (2008); Emovon vd. (2018); Gaonkar vd. (2008); Jayaswal vd. (2013); Mete (2007); Vahdani vd. (2010); Verma vd. (2007)
G: Güvenilirlik	G1: Arıza Sıklığı	Abdulgader vd. (2018); Azizi ve Fathi (2014); Bevilacqua ve Braglia (2000); Dong vd. (2008); Fouladgar vd. (2012); Görener (2013); Mete (2007); Mey (2016); Xie vd. (2013)
	G2: Ortalama Tamir Süresi	Abdulgader vd. (2018); Azizi ve Fathi (2014); Bevilacqua ve Braglia (2000); Dong vd. (2008); Fouladgar vd. (2012); Görener (2013); Jayaswal vd. (2013); Mete (2007); Mey (2016); Xie vd. (2013);
	G3: İşlem İçin Makine Önemi	Bevilacqua ve Braglia (2000)
	G4: Teknik Güvenilirlik	Abdulgader vd. (2018); Dinç (2016); Fathi vd. (2011); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mete (2007); Panchal vd. (2017); Sadeghi ve Manesh (2012); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013); Zaim vd. (2012)
U: Uygulanabilirlik	U1: Çalışan ve Yönetim Tarafından Benimsenme	Abdulgader vd. (2018); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Gaonkar vd. (2008); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mete (2007); Panchal vd. (2017); Sadeghi ve Manesh (2012); Zaim vd. (2012); Vahdani vd. (2010); Verma vd. (2007); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013)
	U2: Kullanılabilir Finansal Kaynak	Emovon vd. (2018)
	U3: Bakım-Onarım Kolaylığı	Pourjavad vd. (2013)
	U4: Erişim Zorluğu	Bevilacqua ve Braglia (2000)
K: Katma Değer	K1: Üretim Kaybı	Abdulgader vd. (2018); Akhshabi (2011); Azizi ve Fathi (2014); Emovon vd. (2018); Fathi vd. (2011); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Fouladgar vd. (2012); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Kirubakaran ve

		Ilangkumaran (2016); Mousavi vd. (2009); Panchal vd. (2017); Sadeghi ve Manesh (2012); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013)
	K2: Yedek Parça Stoku	Abdulgader vd. (2018); Azizi ve Fathi (2014); Dong vd. (2008); Emovon vd. (2018); Fathi vd. (2011); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Fouladgar vd. (2012); Gaonkar vd. (2008); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Jayaswal vd. (2013); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mey (2016); Vahdani vd. (2010); Verma vd. (2007); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013); Zaim vd. (2012)
	K3: Arıza Tespiti	Dinç (2016); Fazlollahtabar ve Yousefpoor (2008); Ge vd. (2017); Görener (2013); Jafari vd. (2008); Kirubakaran ve Ilangkumaran (2016); Mete (2007); Panchal vd. (2017); Wang vd. (2007); Xie vd. (2013)
	K4: Üretim Kalitesi	Abdulgader vd. (2018); Azizi ve Fathi (2014); Dinç (2016); Fathi vd. (2011); Gaonkar vd. (2008); Görener (2013); Jayaswal vd. (2013); Fouladgar vd. (2012); Mete (2007); Mousavi vd. (2009); Sadeghi ve Manesh (2012); Vahdani vd. (2010); Verma vd. (2007); Zaim vd. (2012);
	K5: Rekabet Gücü	Gaonkar vd. (2008); Verma vd. (2007)

5.3.1 Emniyet (Safety)

Emniyet kriteri, bakım stratejisi seçim probleminde, hatalar, kazalar veya diğer istenmeyen durumlardan uzak durma koşullarını temsil eder. Ayrıca bilinen güvenlik tehditlerinin kabul edilebilir bir seviyeye düşürmeyi de ifade eder (Ge vd., 2017). Emniyet kriteri; personel güvenliği, tesis güvenliği ve çevre güvenliği olmak üzere 3 alt kriteri içermektedir.

5.3.1.1 Personel güvenliği (Personnel safety)

Birçok makinenin ve ekipmanın arızası tesiste çalışmakta olan personelin ciddi şekilde yaralamasına veya ölmesine neden olabilir (Wang vd., 2007). Bu durumlardan kaçınmak için personel güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Personel için hayati önem taşıyan durumlarda, maliyetten bağımsız olarak en etkili bakım stratejisi uygulanmalıdır. (Emovon vd., 2018)

5.3.1.2 Tesis güvenliği (Facility safety)

Herhangi bir makinenin veya ekipmanın arızası yanında bulunan makineye, üretilen ürünlere ve tesise ciddi zararlar verebilir. Tesiste ciddi hasarlara neden olabilecek makine

ve ekipmanlara daha fazla önem gösterip arıza sıklığını en aza indirecek bakım stratejisi seçilmelidir (Emovon vd., 2018).

5.3.1.3 Çevre güvenliği (Environment safety)

Zehirli sıvı veya gaz bulunan ekipmanların arızalanmasının çevreye vereceği zararları içerir (Wang vd., 2007). Çevreye zarar verebilecek bir makinenin veya ekipmanın arızalanmasını en düşük seviyeye düşürecek bakım stratejisi seçilmelidir (Emovon vd., 2018).

5.3.2 Maliyet (Cost)

Maliyet, bir bakım stratejisinin uygulanması için gerekli her türlü masrafları ifade eder. Farklı bakım stratejileri farklı maliyetlere neden olur. Bakım stratejileri için değişiklik gösterebilecek çeşitli maliyet bileşenleri; donanım maliyeti, yazılım maliyeti, personel eğitim maliyet ve bakım maliyetleridir (Emovon vd., 2018).

5.3.2.1 Donanım maliyeti (Hardware cost)

Seçilen bakım stratejisini uygulayabilmek için gerekli olan tüm donanımsal maliyetleri kapsamaktadır. KB ve DDB stratejilerinde, makineleri veya ekipmanların durumlarını izlemek bir dizi sensor ve bilgisayar gerekmektedir. Bu yüzden bu bakım stratejilerinde donanım maliyeti diğerlerine göre daha yüksek olmaktadır (Wang vd., 2007).

5.3.2.2 Yazılım maliyeti (Software cost)

Seçilen bakım stratejisini uygulayabilmek için gerekli tüm yazılım maliyetlerini kapsamaktadır. Genellikle KB ve DDB stratejilerinde, makineler veya ekipmanlardan alınan verileri organize etmek ve verileri analiz etmek için yazılım gereklidir (Wang vd., 2007).

5.3.2.3 Personel eğitim maliyeti (Personnel training cost)

Bakım personeline, seçilen bakım stratejisini uygulayabilmesi için verilmesi gereken eğitimlerin tümünü kapsamaktadır. Düzeltici bakım, fırsatçı bakım ve periyodik bakım stratejilerinde bu maliyet faktörü diğer stratejilere göre daha önemsizdir. Ancak

DDB, KB ve GMB stratejileri için bakım personelinin ekipman ve yazılımları etkin kullanabilmek için özel eğitim almaları gerekmektedir (Zaim vd., 2012).

5.3.2.4 Bakım maliyeti (Maintenance cost)

Bakım yapabilmek için gerekli olan danışmanlık hizmetleri, yedek parça stokları, malzeme maliyeti gibi faktörleri içerir.

5.3.3 Güvenilirlik (Reliability)

Bir ekipmanın, belirli bir süre periyodunda ve belirli limitler dahilinde kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilme ihtimalidir. Diğer bir tanımla arıza yapmadan kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirme yeteneğidir (Köksal, 2007). Güvenilirlik kriteri; arızalar arası ortalama süre, ortalama tamir süresi, işlem için makine önemi ve teknik güvenilirlik alt kriterlerini içermektedir.

5.3.3.1 Arıza sıklığı (Failure frequency)

Bu parametre, makinelerin veya ekipmanların arızaları arasında geçen ortalama süreyi ifade eder (Bevilacqua ve Braglia, 2000).

5.3.3.2 Ortalama tamir süresi (Average time for repair)

Bu parametre, makinenin ortalama onarım süresini ifade eder (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Arızanın oluşma zamanının tahmin edilebildiği bakım stratejilerinde, ortalama tamir süresi genellikle daha düşük olmaktadır (Görener, 2013).

5.3.3.3 İşlem için makine önemi (Machine importance for the process)

Tesisin üretim yapabilmesi için makinenin çalışmasının ne derece önemli olduğunu belirtmektedir. Örneğin, stoklu çalışan sistemlerde makinenin arıza yapması stoksuz sistemlere göre çok daha önemsizdir. Stoklu sistemlerde makine bakımı üretimi minimum derecede etkiler. Yedekleri bulunmayan makineler en kritik makinelerdir (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Bu tip çok yüksek riskli makineler ve ekipmanlar için, DDB, KB ve GMB bakım stratejileri seçilir (Emovon vd., 2018). Ayrıca, daha karmaşık yapıdaki makineler daha yüksek öneme sahip olmalıdır. Bu makineler aynı zamanda daha yüksek bakım

maliyetleri (malzeme ve iş gücü) ve daha uzun tamir süresine sahiptir (Bevilacqua ve Braglia, 2000).

5.3.3.4 Teknik güvenilirlik (Technique reliability)

Bakım stratejisinin uygulanabilmesi için gerekli olan teknik ve teknolojik alt yapının olmasını ifade eder. Bu kriter duruma dayalı bakım, kestirimci bakım ve GMB stratejileri için önemli olmasına karşın DB, FB ve PB gibi bakım stratejileri için çok önemli değildir (Kirubakaran ve Ilangkumaran, 2016; Wang vd., 2007).

5.3.4 Uygulanabilirlik (Feasibility)

Uygulanması zor bir bakım stratejisi maliyetleri olumsuz yönde etkileyeceği için seçilen bakım stratejisi uygulanabilir olmalıdır (Dinç, 2016; Mete, 2007). Uygulanabilirlik kriteri; personel ve yönetimin kabullenmesi, kullanılabilir parasal kaynak, bakım-onarım kolaylığı ve erişim zorluğu alt kriterlerini içermektedir.

5.3.4.1 Bakım stratejisinin çalışan ve yönetim tarafından kabul edilmesi / benimsenmesi (Acceptance by personnel/labor)

Yöneticiler ve çalışanlar, anlaşılması ve uygulanması kolay olan bakım stratejilerini tercih etmektedirler (Wang vd., 2007). Ayrıca yöneticiler maliyeti artıran bakım stratejilerini istemezler (Zaim vd., 2012).

5.3.4.2 Finansal kaynak (Monetary resource)

Seçilen bakım stratejisini uygulamak için gerekli parasal kaynakları ifade etmektedir. Parasal kaynaklar yeterli değil ise seçilen bakım stratejisi uygulanamaz (Emovon vd., 2018).

5.3.4.3 Bakım-onarım kolaylığı (Maintainability)

Makine ve ekipmanların bakımının yapılıp yapılamaması, eldeki imkanların yeterli olup olmaması ve dışarıdan hizmet alma gereksiniminin olup olmaması gibi faktörleri içermektedir.

5.3.4.4 Erişim zorluğu (Access difficulty)

Makine ve ekipmanların tehlikeli olmaları sebebi ile kısıtlı alanlara yerleştirilmesi veya yüksek yerlerde bulunmaları nedeni ile bakım müdahalesinin zorluğunu kapsamaktadır. Örnek olarak bazı karıştırıcıların elektrik motorları, hava soğutucu üniteleri vb. verilebilir. Makineye ve ekipmana erişim zorluğu arıza süresinin uzunluğunu arttırmakta ve ayrıca bakım ekiplerinin yeni oluşabilecek arızaları kolayca tespit edememeleri nedeni ile yeni bir arıza olasılığını artırmaktadır (Bevilacqua ve Braglia, 2000).

5.3.5 Katma değer (Added-value)

Katma değer, bakım faaliyetlerinin sağladığı faydaları ifade eder (Ge vd., 2017). Düşük yedek parça stokları, düşük üretim kaybı ve hızlı arıza tespiti gibi özellikleri taşıyan iyi bir bakım stratejisi, katma değer oluşturabilir (Wang vd., 2007). Katma değer kriteri; üretim kaybı, yedek parça stoku, arıza tespiti, üretim kalitesi ve rekabet gücü olmak üzere 5 alt kriter içermektedir.

5.3.5.1 Üretim kaybı (Production loss)

Önem derecesi yüksek makine ve ekipmanın arızalanması genellikle daha yüksek üretim kaybı maliyetine yol açar. Üretim kaybını azaltmak için, uygun bakım stratejisi seçmek önemlidir (Wang vd., 2007). Akış tipi imalat sistemine sahip fabrikalarda olası bir makinenin duruşu, üretim kaybını ciddi derecede artırabilir (Görener, 2013).

5.3.5.2 Yedek parça stoku (Spare parts inventory)

Arızalı parçaların onarılması veya değiştirilmesi için kullanılan parçalardır (Kirubakaran ve Ilangkumaran, 2016). Genel olarak bakıldığında DB ve FB stratejileri, diğer bakım stratejilerinden daha fazla yedek parçaya ihtiyaç duyar. Bazı makinelerin yedek parçaları pahalı olduğu için gereğinden fazla yedek parça tutulması işletmeye ek maliyet getirir (Wang vd., 2007). Diğer taraftan, yedek parça stokunun yeterli olmaması makine kritikliğini artırmaktadır (Bevilacqua ve Braglia, 2000).

5.3.5.3 Arıza tespiti (Fault identification)

Arıza tespiti, bakım ekibinin arızanın ne zaman ve nerede oluşabileceğini tahmin edebilmesini ifade etmektedir. Arıza, tespit edilebildiği durumlarda bakım süresi azaltılabilir, üretim sistemlerinin kullanılabilirliği iyileştirilebilir ve duruşlar sonucu oluşacak kayıplar azaltılabilir (Wang vd., 2007).

5.3.5.4 Üretim kalitesi (Production quality)

Bazı makine ve ekipman arızaları, tesiste üretilen ürünün kalitesini etkileyebilir. Ürün gramajının tutturulamaması, ambalajının sağlam yapılamaması gibi hatalar ürün kalitesine etki eder.

5.3.5.5 Rekabet gücü (Enhanced competitiveness)

Gelişen dünya şartlarında daha az maliyetli, yüksek kaliteli, yüksek müşteri memnuniyetini sağlamak ve doğru ürünü doğru zamanda üretebilmek işletmelerin rekabet edebilirliğini artırmaktadır. Rekabet gücü kriteri bakım stratejisi ile bu hedefleri gerçekleştirebilmesini ifade etmektedir.

Bu çalışmada, yapılan değerlendirme sonucunda kriter ağırlıkları eşit önem seviyesinde alınmıştır ve Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

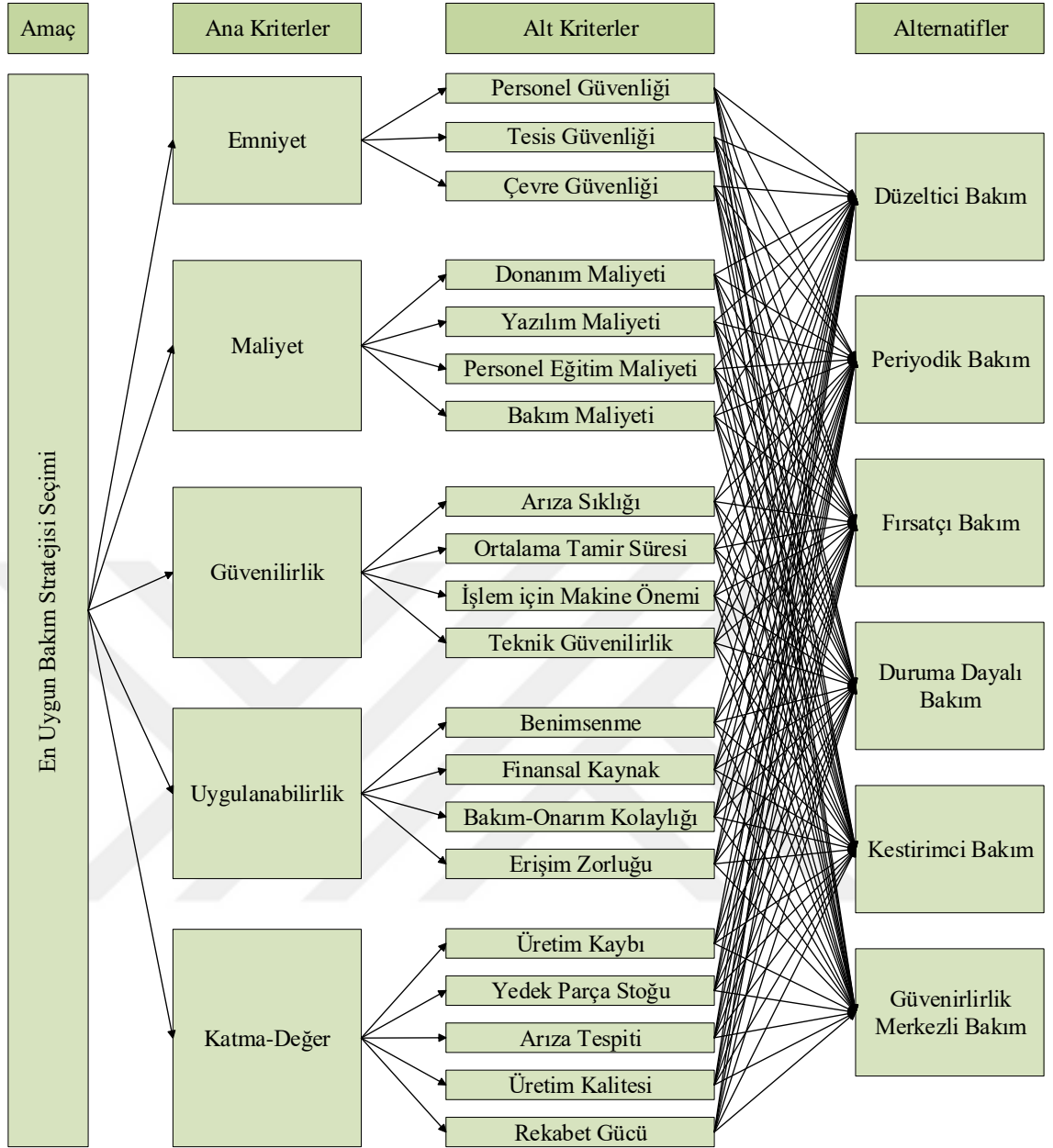
5.4 Alternatiflerin Belirlenmesi

İşletmenin genel durumu göz önüne alınarak bu çalışmada, alternatif bakım stratejileri olarak Bölüm 3.2’de ele alınan düzeltici bakım, periyodik bakım, fırsatçı bakım, duruma dayalı bakım, kestirimci bakım ve güvenilirlik merkezli bakım değerlendirilecektir.

Karar problemi, değerlendirme kriterleri ve alternatif bakım stratejileri belirlendikten sonra problem çözümü için model oluşturulmuştur. Problem seçimi için oluşturulan model Şekil 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Kriterlerin ağırlıkları

Ana Kriterler	Ana Kriterlerin Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriterlerin Ağırlıkları
Emniyet	0,20	E1	0,067
		E2	0,067
		E3	0,067
Maliyet	0,20	M1	0,05
		M2	0,05
		M3	0,05
		M4	0,05
Güvenilirlik	0,20	G1	0,05
		G2	0,05
		G3	0,05
		G4	0,05
Uygulanabilirlik	0,20	U1	0,05
		U2	0,05
		U3	0,05
		U4	0,05
Katma Değer	0,20	K1	0,04
		K2	0,04
		K3	0,04
		K4	0,04
		K5	0,04



Şekil 5.2: Bakım stratejisi seçimi için ele alınan kriter ve alternatifler

5.5 Pisagor Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Bu bölümde, elde edilen veriler ile Bölüm 4.2’de açıklanan Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin probleme uygulanışı gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: Birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi

Kriterler	DB			PB			FB			DDB			KB			GMB		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
E1	0,16	0,87	0,47	0,52	0,47	0,71	0,21	0,84	0,50	0,54	0,46	0,71	0,71	0,25	0,66	0,85	0,10	0,52
E2	0,16	0,87	0,46	0,48	0,42	0,77	0,20	0,81	0,56	0,52	0,50	0,69	0,66	0,29	0,69	0,85	0,13	0,52
E3	0,15	0,84	0,52	0,50	0,46	0,73	0,18	0,83	0,52	0,52	0,44	0,73	0,67	0,27	0,69	0,82	0,13	0,55
M1	0,83	0,09	0,55	0,54	0,44	0,72	0,89	0,09	0,44	0,47	0,49	0,74	0,47	0,57	0,67	0,30	0,70	0,65
M2	0,84	0,09	0,54	0,54	0,45	0,71	0,84	0,07	0,54	0,55	0,42	0,72	0,38	0,67	0,64	0,48	0,64	0,59
M3	0,79	0,15	0,60	0,64	0,32	0,70	0,81	0,16	0,56	0,60	0,36	0,71	0,41	0,61	0,67	0,49	0,48	0,73
M4	0,24	0,81	0,53	0,50	0,49	0,72	0,30	0,78	0,55	0,52	0,42	0,74	0,68	0,24	0,69	0,85	0,17	0,51
G1	0,18	0,82	0,54	0,52	0,50	0,70	0,27	0,80	0,53	0,49	0,47	0,73	0,70	0,23	0,68	0,84	0,15	0,53
G2	0,23	0,78	0,58	0,62	0,35	0,70	0,24	0,75	0,62	0,56	0,40	0,73	0,79	0,20	0,58	0,87	0,12	0,47
G3	0,22	0,81	0,54	0,54	0,49	0,69	0,22	0,79	0,57	0,56	0,45	0,70	0,71	0,25	0,66	0,86	0,10	0,49
G4	0,48	0,49	0,73	0,67	0,36	0,64	0,43	0,57	0,70	0,58	0,38	0,72	0,67	0,27	0,70	0,85	0,14	0,50
U1	0,85	0,14	0,50	0,72	0,23	0,66	0,80	0,17	0,57	0,59	0,39	0,70	0,52	0,50	0,69	0,24	0,77	0,59
U2	0,84	0,16	0,51	0,49	0,49	0,72	0,75	0,21	0,62	0,50	0,51	0,70	0,30	0,66	0,69	0,15	0,82	0,55
U3	0,89	0,10	0,45	0,66	0,32	0,68	0,75	0,22	0,62	0,54	0,41	0,73	0,33	0,65	0,68	0,25	0,76	0,59
U4	0,14	0,80	0,58	0,55	0,44	0,71	0,20	0,80	0,56	0,40	0,58	0,71	0,67	0,29	0,68	0,82	0,20	0,53
K1	0,17	0,80	0,57	0,57	0,41	0,71	0,21	0,78	0,59	0,46	0,54	0,70	0,63	0,33	0,70	0,71	0,29	0,64
K2	0,07	0,85	0,53	0,63	0,36	0,69	0,22	0,80	0,55	0,55	0,50	0,67	0,64	0,35	0,69	0,80	0,23	0,56
K3	0,22	0,81	0,55	0,61	0,36	0,71	0,19	0,82	0,54	0,63	0,37	0,68	0,86	0,10	0,50	0,86	0,10	0,50
K4	0,18	0,81	0,56	0,55	0,41	0,72	0,23	0,81	0,54	0,49	0,43	0,75	0,66	0,30	0,69	0,80	0,15	0,59
K5	0,17	0,83	0,53	0,56	0,36	0,75	0,21	0,79	0,57	0,54	0,44	0,71	0,62	0,25	0,75	0,81	0,18	0,55

EK A'da verilen karar verici görüşleri PFWA birleştirme operatörü ile birleştirilmiştir. Çizelge 5.3'te kriterlere göre alternatiflerin üye olma, üye olmama ve tereddüt derecesi gösterilmektedir. Örneğin, DB alternatifinin E1 kriterine göre üyelik derecesi 0,16 iken üye olmama derecesi 0,87 ve tereddüt derecesi 0,47'dir. Her bir karar vericinin değerlendirmeleri PFWA operatörü kullanılarak birleştirilmiş karar matrisinde üye olma ve üye olmama dereceleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mu_P(DB_{E1})$$

$$= \sqrt[1]{\frac{1 - ((1 - (0,05)^2)^{0,188}) \cdot ((1 - (0,20)^2)^{0,125}) \cdot ((1 - (0,15)^2)^{0,188})}{((1 - (0,15)^2)^{0,125}) \cdot ((1 - (0,10)^2)^{0,063}) \cdot ((1 - (0,10)^2)^{0,188}) \cdot ((1 - (0,30)^2)^{0,125})}}$$

$$= 0,16$$

$$\begin{aligned}
v_P(DB_{E1}) &= (0,90^{0,188}).(0,80^{0,125}).(0,85^{0,188}).(0,85^{0,125}).(0,90^{0,065}).(0,95^{0,188}).(0,80^{0,125}) \\
&= 0,87
\end{aligned}$$

Buradaki tereddüt derecesi Eşitlik 4.9 ile aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\pi_P(DB_{E1}) = \sqrt{1 - (0,16)^2 - (0,87)^2} = 0,47$$

Çizelge 5.4: Kriterlere göre alternatif fonksiyon skorları

Alt Kriterler	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	-0,73	0,05	-0,66	0,08	0,44	0,71
E2	-0,74	0,06	-0,61	0,01	0,35	0,70
E3	-0,68	0,04	-0,66	0,08	0,37	0,66
M1	0,68	0,09	0,79	-0,02	-0,10	-0,39
M2	0,70	0,09	0,70	0,13	-0,30	-0,18
M3	0,60	0,30	0,63	0,24	-0,21	0,00
M4	-0,60	0,01	-0,52	0,09	0,40	0,69
G1	-0,64	0,02	-0,56	0,02	0,44	0,68
G2	-0,56	0,26	-0,50	0,15	0,58	0,75
G3	-0,62	0,06	-0,57	0,10	0,44	0,73
G4	0,00	0,32	-0,15	0,20	0,37	0,71
U1	0,71	0,46	0,62	0,19	0,03	-0,53
U2	0,68	-0,01	0,52	-0,01	-0,35	-0,65
U3	0,77	0,34	0,52	0,13	-0,31	-0,52
U4	-0,63	0,10	-0,61	-0,18	0,37	0,63
K1	-0,61	0,16	-0,57	-0,08	0,30	0,42
K2	-0,71	0,26	-0,60	0,05	0,28	0,58
K3	-0,60	0,24	-0,63	0,27	0,73	0,73
K4	-0,63	0,13	-0,61	0,06	0,34	0,61
K5	-0,66	0,18	-0,59	0,09	0,32	0,63

Çizelge 5.4'te kriterlerin alternatiflere göre alternatif fonksiyon (s) değerleri gösterilmektedir. Bu tabloda DB alternatifinin E2 ye göre s skoru aşağıdaki gibi gösterilir.

$$s(DB_{E2}) = (0,16)^2 - (0,87)^2 = -0,74$$

Çizelge 5.5: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm

	Pozitif İdeal Çözüm			Negatif İdeal Çözüm		
	μ	ν	π	μ	ν	π
E1	0,85	0,10	0,52	0,16	0,87	0,47
E2	0,85	0,13	0,52	0,16	0,88	0,46
E3	0,82	0,13	0,55	0,15	0,84	0,52
M1	0,89	0,09	0,44	0,30	0,70	0,65
M2	0,84	0,07	0,54	0,38	0,67	0,64
M3	0,81	0,16	0,56	0,41	0,61	0,67
M4	0,85	0,17	0,51	0,24	0,81	0,53
G1	0,84	0,15	0,53	0,18	0,82	0,54
G2	0,87	0,12	0,47	0,23	0,78	0,58
G3	0,86	0,10	0,50	0,22	0,82	0,54
G4	0,85	0,14	0,50	0,43	0,57	0,70
U1	0,85	0,14	0,50	0,24	0,77	0,59
U2	0,84	0,17	0,51	0,15	0,82	0,55
U3	0,89	0,10	0,45	0,25	0,77	0,59
U4	0,82	0,20	0,53	0,14	0,81	0,58
K1	0,71	0,29	0,64	0,18	0,80	0,57
K2	0,80	0,23	0,56	0,07	0,85	0,53
K3	0,86	0,10	0,50	0,19	0,82	0,54
K4	0,80	0,16	0,59	0,18	0,81	0,56
K5	0,81	0,18	0,55	0,17	0,83	0,53

Çizelge 5.4'teki değerler pozitif ideal ve negatif ideal çözümü bulmak için kullanılır. Çizelge 5.5'teki pozitif ideal ve negatif ideal çözüm Eşitlik 4.13 ve 4.14 kullanılarak hesaplanır. Çizelge 5.4'teki değerlerden her bir kriter için en büyük değer pozitif ideal çözümü, en küçük değer ise negatif ideal çözümü vermektedir. Örneğin E1 kriteri için en büyük değere sahip olan GMB alternatifinin değeri bu kriter için pozitif ideal çözümü oluşturmaktadır. Aynı şekilde E1 için en küçük değere sahip DB alternatifinin değeri negatif ideal çözüm olmaktadır.

Çizelge 5.6: Alternatiflerin pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıkları

Alternatifler	D^*	D^-
DB	0,48	0,19
PB	0,38	0,45
FB	0,47	0,21
DDB	0,42	0,42
KB	0,32	0,46
GMB	0,18	0,48

Çizelge 5.6'da Eşitlik 4.15 ve 4.16 kullanılarak hesaplanan pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıklar gösterilmektedir. Kriter ağırlıkları bu aşamada hesaplama dahil olmaktadır.

Çizelge 5.7: Alternatiflerin sıralaması

Alternatifler	ζ	Sıralama
DB	-2,20	6
PB	-1,12	3
FB	-2,15	5
DDB	-1,42	4
KB	-0,77	2
GMB	0,00	1

Alternatiflerin göreceli yakınlık indeksleri Eşitlik 4.17 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.7'de gösterilmiştir. $\zeta(DB)$ değerleri Eşitlik 4.17 ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\zeta(DB) = \frac{0,19}{0,48} - \frac{0,47}{0,18} = -2,20$$

Çizelge 5.7'deki sonuçlara bakıldığında uygulamanın yapıldığı işletme için en uygun bakım stratejisi GMB olarak bulunmuştur. Diğer alternatifler KB, PB, DDB, FB ve DB olarak sıralanmaktadır.

5.6 Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Karşılaştırma

Bu bölümde, Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen sonuçlar bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada kriter ağırlıkları ve karar vericilerin ağırlıkları Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi ile aynı alınmıştır. Bulanık TOPSIS'i uygulamak için ilk olarak EK B'de verilen karar verici değerlendirmeleri Eşitlik 4.26 yardımıyla birleştirilmiş ve birleştirilmiş bulanık karar matrisi Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Birleştirilmiş bulanık karar matrisi

	DB			PB			FB			DDB			KB			GMB		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
E1	0,00	0,29	1,57	3,00	5,00	7,00	0,00	0,29	1,57	3,00	5,00	7,00	5,86	7,86	9,43	8,14	9,43	9,86
E2	0,00	0,14	1,29	3,00	5,00	6,86	0,00	0,43	1,86	3,00	5,00	7,00	5,57	7,57	9,29	7,86	9,29	9,86
E3	0,00	0,14	1,29	3,00	5,00	6,86	0,00	0,43	1,86	3,57	5,57	7,43	5,86	7,86	9,43	7,29	8,86	9,71
M1	8,43	9,71	10,00	3,14	4,86	6,57	8,14	9,57	10,00	3,00	5,00	6,86	2,14	3,14	4,57	0,71	2,00	3,86
M2	8,43	9,71	10,00	3,14	4,86	6,57	8,43	9,57	9,86	3,57	5,43	7,14	1,86	2,71	4,00	2,00	3,29	4,86
M3	7,57	9,14	9,86	5,00	7,00	8,71	7,29	8,86	9,71	4,14	6,14	8,00	2,00	3,71	5,57	2,57	4,43	6,29
M4	0,14	0,71	2,14	2,57	4,43	6,29	0,29	1,29	3,00	3,00	5,00	7,00	5,57	7,57	9,14	7,57	9,00	9,71
G1	0,00	0,29	1,57	2,57	4,43	6,43	0,29	1,00	2,43	3,29	5,29	7,29	6,14	8,14	9,57	7,29	8,86	9,57
G2	0,00	0,57	2,14	4,14	6,14	7,86	0,43	1,43	3,00	3,86	5,86	7,71	6,43	8,14	9,29	7,86	9,43	10,00
G3	0,00	0,57	2,14	3,00	5,00	7,00	0,14	1,00	2,71	3,00	5,00	7,00	6,14	8,00	9,29	8,14	9,43	9,86
G4	2,29	3,71	5,43	4,43	6,29	8,00	1,71	3,14	5,00	3,86	5,86	7,71	5,43	7,29	8,71	7,57	8,86	9,43
U1	7,14	8,29	8,86	5,29	7,14	8,57	6,86	8,29	9,00	3,86	5,86	7,86	2,43	4,43	6,43	0,29	1,29	3,00
U2	0,14	0,71	2,14	3,00	5,00	7,00	0,29	1,14	2,71	3,00	5,00	7,00	5,86	7,86	9,29	8,43	9,71	10,00
U3	7,86	9,29	9,86	3,71	5,43	7,14	7,00	8,57	9,57	3,29	5,29	7,29	0,86	2,57	4,43	0,29	1,14	2,71
U4	0,14	0,43	1,57	3,57	5,57	7,43	0,14	0,71	2,14	2,29	4,00	5,71	5,00	6,86	8,43	7,00	8,43	9,14
K1	8,14	9,57	10,00	1,71	3,57	5,57	7,86	9,29	9,86	3,86	5,86	7,86	0,86	2,43	4,43	1,00	2,29	4,14
K2	9,00	10,00	10,00	3,00	4,57	6,43	7,86	9,29	9,86	4,29	5,86	7,43	1,86	3,43	5,29	1,86	2,86	4,43
K3	0,00	0,43	1,86	4,00	5,71	7,43	0,00	0,43	1,86	4,43	6,29	7,86	8,14	9,43	9,86	7,86	9,14	9,71
K4	0,00	0,43	1,86	4,14	6,14	8,00	0,14	0,71	2,14	3,29	5,29	7,14	5,29	7,29	9,00	7,57	9,14	9,86
K5	0,00	0,29	1,57	4,14	6,14	8,14	0,14	0,71	2,14	3,57	5,57	7,57	5,57	7,57	9,14	7,00	8,71	9,71

Bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra Eşitlik 4.27 ile normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuş ve Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

	DB			PB			FB			DDB			KB			GMB		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
E1	0,00	0,03	0,16	0,30	0,51	0,71	0,00	0,03	0,16	0,30	0,51	0,71	0,59	0,80	0,96	0,83	0,96	1,00
E2	0,00	0,01	0,13	0,30	0,51	0,70	0,00	0,04	0,19	0,30	0,51	0,71	0,57	0,77	0,94	0,80	0,94	1,00
E3	0,00	0,01	0,13	0,31	0,51	0,71	0,00	0,04	0,19	0,37	0,57	0,76	0,60	0,81	0,97	0,75	0,91	1,00
M1	0,84	0,97	1,00	0,31	0,49	0,66	0,81	0,96	1,00	0,30	0,50	0,69	0,21	0,31	0,46	0,07	0,20	0,39
M2	0,84	0,97	1,00	0,31	0,49	0,66	0,84	0,96	0,99	0,36	0,54	0,71	0,19	0,27	0,40	0,20	0,33	0,49
M3	0,77	0,93	1,00	0,51	0,71	0,88	0,74	0,90	0,99	0,42	0,62	0,81	0,20	0,38	0,57	0,26	0,45	0,64
M4	0,01	0,07	0,22	0,26	0,46	0,65	0,03	0,13	0,31	0,31	0,51	0,72	0,57	0,78	0,94	0,78	0,93	1,00
G1	0,00	0,03	0,16	0,27	0,46	0,67	0,03	0,10	0,25	0,34	0,55	0,76	0,64	0,85	1,00	0,76	0,93	1,00
G2	0,00	0,06	0,21	0,41	0,61	0,79	0,04	0,14	0,30	0,39	0,59	0,77	0,64	0,81	0,93	0,79	0,94	1,00
G3	0,00	0,06	0,22	0,30	0,51	0,71	0,01	0,10	0,28	0,30	0,51	0,71	0,62	0,81	0,94	0,83	0,96	1,00
G4	0,24	0,39	0,58	0,47	0,67	0,85	0,18	0,33	0,53	0,41	0,62	0,82	0,58	0,77	0,92	0,80	0,94	1,00
U1	0,79	0,92	0,98	0,59	0,79	0,95	0,76	0,92	1,00	0,43	0,65	0,87	0,27	0,49	0,71	0,03	0,14	0,33
U2	0,01	0,07	0,21	0,30	0,50	0,70	0,03	0,11	0,27	0,30	0,50	0,70	0,59	0,79	0,93	0,84	0,97	1,00
U3	0,80	0,94	1,00	0,38	0,55	0,72	0,71	0,87	0,97	0,33	0,54	0,74	0,09	0,26	0,45	0,03	0,12	0,28
U4	0,02	0,05	0,17	0,39	0,61	0,81	0,02	0,08	0,23	0,25	0,44	0,63	0,55	0,75	0,92	0,77	0,92	1,00
K1	0,81	0,96	1,00	0,17	0,36	0,56	0,79	0,93	0,99	0,39	0,59	0,79	0,09	0,24	0,44	0,10	0,23	0,41
K2	0,90	1,00	1,00	0,30	0,46	0,64	0,79	0,93	0,99	0,43	0,59	0,74	0,19	0,34	0,53	0,19	0,29	0,44
K3	0,00	0,04	0,19	0,41	0,58	0,75	0,00	0,04	0,19	0,45	0,64	0,80	0,83	0,96	1,00	0,80	0,93	0,99
K4	0,00	0,04	0,19	0,42	0,62	0,81	0,01	0,07	0,22	0,33	0,54	0,72	0,54	0,74	0,91	0,77	0,93	1,00
K5	0,00	0,03	0,16	0,43	0,63	0,84	0,01	0,07	0,22	0,37	0,57	0,78	0,57	0,78	0,94	0,72	0,90	1,00

Pozitif ideal çözümden uzaklık Eşitlik 4.31 kullanılarak ve negatif ideal çözümden uzaklık Eşitlik 4.32 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.11’de gösterilmiştir. Her alternatif için pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıkların toplamı Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.11: Pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklar

Kriterler	Pozitif ideal çözümden uzaklık						Negatif ideal çözümden uzaklık					
	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	1,00	0,97	1,00	0,97	0,95	0,94	0,01	0,04	0,01	0,04	0,05	0,06
E2	1,00	0,97	0,99	0,97	0,95	0,94	0,01	0,04	0,01	0,04	0,05	0,06
E3	1,00	0,97	1,00	0,97	0,96	0,96	0,00	0,03	0,01	0,03	0,04	0,04
M1	0,95	0,98	0,95	0,98	0,98	0,99	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02	0,01
M2	0,95	0,98	0,95	0,97	0,99	0,98	0,05	0,03	0,05	0,03	0,01	0,02
M3	0,96	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
M4	0,99	0,98	0,99	0,97	0,96	0,95	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,05
G1	1,00	0,98	0,99	0,97	0,96	0,96	0,00	0,02	0,01	0,03	0,04	0,05
G2	1,00	0,97	0,99	0,97	0,96	0,95	0,01	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05
G3	1,00	0,97	0,99	0,97	0,96	0,95	0,01	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05
G4	0,98	0,97	0,98	0,97	0,96	0,95	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05
U1	0,96	0,96	0,96	0,97	0,98	0,99	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01
U2	1,00	0,98	0,99	0,98	0,96	0,95	0,01	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05
U3	0,95	0,97	0,96	0,97	0,99	0,99	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01
U4	1,00	0,97	0,99	0,98	0,96	0,96	0,01	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05
K1	0,96	0,99	0,96	0,98	0,99	0,99	0,04	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01
K2	0,96	0,98	0,96	0,98	0,99	0,99	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01
K3	1,00	0,98	1,00	0,97	0,96	0,96	0,00	0,02	0,00	0,03	0,04	0,04
K4	1,00	0,98	1,00	0,98	0,97	0,96	0,00	0,03	0,01	0,02	0,03	0,04
K5	1,00	0,97	1,00	0,98	0,97	0,97	0,00	0,03	0,01	0,02	0,03	0,04

Çizelge 5.12: Alternatiflerin sıralaması

Alternatifler	D^*	D^-	C	Sıralama
DB	19,63	0,39	0,020	6
PB	19,46	0,56	0,028	4
FB	19,62	0,40	0,020	5
DDB	19,46	0,56	0,028	3
KB	19,38	0,64	0,032	2
GMB	19,32	0,69	0,035	1

Her alternatifin yakınlık katsayısı (C) Eşitlik 4.33 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.12’de gösterilmiştir. Yakınlık katsayısı yüksek olan alternatif en iyi alternatif olarak seçilmektedir.

Bulanık TOPSIS uygulaması sonrasında yakınlık katsayıları küçükten büyüğe doğru sıralandığında en uygun bakım stratejisi GMB stratejisi çıkmıştır. Uygulama sonucunda ise tüm alternatifler GMB, KB, DDB, PB, FB ve DB olarak sıralanmaktadır.

Pisagor bulanık TOPSIS ve bulanık TOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında, iki yöntemde de GMB stratejisi en uygun bakım stratejisi olarak seçilmiştir. Genel sıralamada ise GMB, KB, FB ve DB aynı sırada yer almış, PB ve DDB ise yer değiştirmiştir.

Pisagor bulanık TOPSIS ve bulanık TOPSIS temelde benzese de çalışma prensipleri farklıdır. Bu farklılıklardan biri, Pisagor bulanık TOPSIS daha geniş tercih alanına sahipken bulanık TOPSIS daha dar bir tercih alanına sahiptir. Diğer farklılık ise Pisagor bulanık TOPSIS’in üyelik fonksiyonuna bağımlılığı daha azken, bulanık TOPSIS’in üyelik fonksiyonuna bağımlılığı daha çoktur. Kullanılan iki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında, iki yöntemde de GMB stratejisi en uygun bakım stratejisi olarak seçilmiştir. Nihai sıralamada ise GMB, KB, FB ve DB aynı sırada yer almış, PB ve DDB ise yer değiştirmiştir. Genel olarak bakıldığında iki yöntemin nihai sonuçları arasında üçüncü ve dördüncü sıra değişikliği dışında fark görülmemiştir.

5.7 Duyarlılık Analizi

Alternatiflerin nihai sıralaması, kriter ağırlıklarına bağlı olarak değişebilir. Göreli önem seviyelerindeki küçük değişiklikler alternatiflerin sıralamasında büyük değişikliklere neden olabilir. Karar vericilerin düşünceleri kriter ağırlıkları ve alternatif derecelerini büyük ölçüde etkilediği için, kriter ağırlıkları ve karar verici ağırlıkları değiştirilerek son sıralamanın sağlamlığı kontrol edilmelidir (Cayir Ervural, 2018). Sıralamanın ölçüt ağırlığındaki küçük değişikliklere karşı çok hassas olması durumunda, ağırlıkların dikkatli bir şekilde gözden geçirilmesi önerilir (Büyüközkan ve Çifçi, 2012; Chang vd., 2007; Wu vd., 2007).

Önerilen modelin sağlamlığını test edebilmek için, modelin girdilerini değiştirerek modelin çıktısındaki değişimleri incelemek gerekir. Modelde, alternatiflerin sıralaması hem kriterlerin hem de karar vericilerin ağırlıklarına bağlı olarak değişebilir (Cayir Ervural vd., 2019). Bu nedenle, kriterler ve karar vericilerin ağırlıkları ayrı ayrı değiştirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır.

5.7.1 Kriter ağırlıklarına göre duyarlılık analizi

Bir işletme için en uygun bakım stratejisi seçiminde değerlendirme kriterleri, firma stratejisi, firma finansal durumu, ürünün teslim süresi, rekabetçi piyasa ortamı gibi çeşitli faktörlere göre değiştiği için modelin doğruluğunu artırabilmek için duyarlılık analizi gereklidir. Ele alınan kriterler ile ilk çözüm elde edildikten sonra, alternatiflerin genel önceliğinin, her bir kriterin önem derecesindeki değişikliklere tepkisini ölçmek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Çizelge 5.13: Ana kriterlerin duyarlılık analizi

	Durum	E	M	G	U	K
Durum 0	Mevcut durum	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Durum 1	E, 0,20 azaltıldı	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25
Durum 2	E, 0,20 artırıldı	0,40	0,15	0,15	0,15	0,15
Durum 3	M, 0,20 azaltıldı	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25
Durum 4	M, 0,20 artırıldı	0,15	0,40	0,15	0,15	0,15
Durum 5	G, 0,20 azaltıldı	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25
Durum 6	G, 0,20 artırıldı	0,15	0,15	0,40	0,15	0,15
Durum 7	U, 0,20 azaltıldı	0,25	0,25	0,25	0,00	0,25
Durum 8	U, 0,20 artırıldı	0,15	0,15	0,15	0,40	0,15
Durum 9	K, 0,20 azaltıldı	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00
Durum 10	K, 0,20 artırıldı	0,15	0,15	0,15	0,15	0,40

Çizelge 5.14: Alt kriterlerin duyarlılık analizi

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
E1	0,07	0,00	0,13	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05
E2	0,07	0,00	0,13	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05
E3	0,07	0,00	0,13	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05
M1	0,05	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04
M2	0,05	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04
M3	0,05	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04
M4	0,05	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04
G1	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04
G2	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04
G3	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04
G4	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04
U1	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04
U2	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04
U3	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04
U4	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,00	0,10	0,06	0,04
K1	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,00	0,08
K2	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,00	0,08
K3	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,00	0,08
K4	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,00	0,08
K5	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,00	0,08
Toplam	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

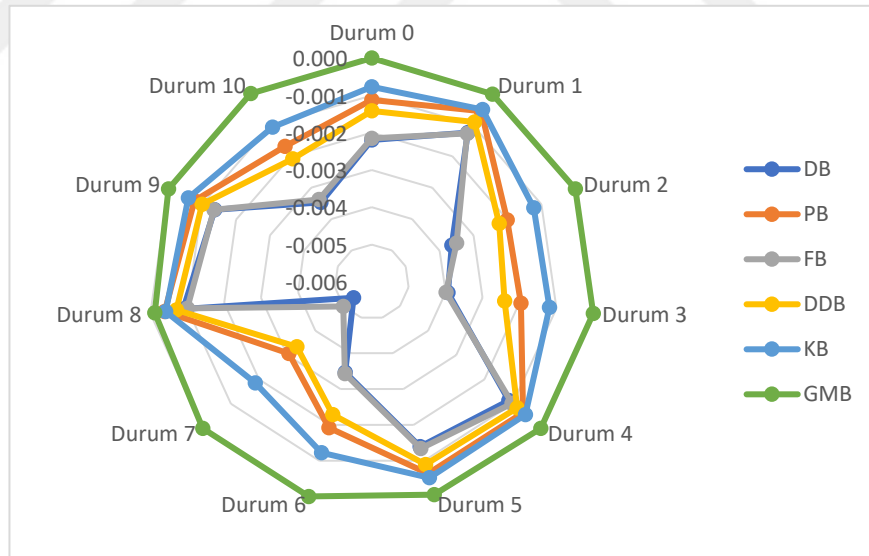
Çizelge 5.14'te D0, ilk durumu; D1, durum 1'i; D2, durum 2'yi; D3, durum 3'ü; D4, durum 4'ü; D5, durum 5'i; D6, durum 6'yı; D7, durum 7'yi; D8, durum 8'i; D9, durum 9'u; D10, durum 10'u belirtmektedir.

Ana kriterler üzerinden yapılan ve on durumdan oluşan duyarlılık analizi için kriter ağırlıkları Çizelge 5.13'te görülmektedir. Çizelge 5.13'te ana kriterlerin aldığı ağırlıklar Çizelge 5.14'teki gibi alt kriterlere eşit olarak dağıtılmıştır. Bu analizde, Durum 0 mevcut durumu ifade eder. Diğer durumlarda bir ana kriterin ağırlığı 0,2 oranında ağırlığı artırılır veya azaltılır ve diğer kriterlerin ağırlıkları orantılı olarak güncellenir. Örneğin, Durum 1'de E'nin ağırlığı 0,20 (0,20'den 0'a) düşürüldü ve 0,20 ağırlık aranı diğer kriterlere

orantılı olarak dağıtıldı. Aynı şekilde Durum 2’de E’nin ağırlığı 0,20 (0,20’den 0,40’a) çıkarıldı ve 0,20 ağırlık oranı diğer kriterlerden orantılı olarak eksiltildi.

Çizelge 5.15: Kriter ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları

	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
Durum 0	6	3	5	4	2	1
Durum 1	5	3	6	4	2	1
Durum 2	6	3	5	4	2	1
Durum 3	5	3	6	4	2	1
Durum 4	6	3	5	4	2	1
Durum 5	6	3	5	4	2	1
Durum 6	6	3	5	4	2	1
Durum 7	6	3	5	4	2	1
Durum 8	5	2	6	4	3	1
Durum 9	6	3	5	4	2	1
Durum 10	6	3	5	4	2	1



Şekil 5.3: Kriter ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları

Kriter ağırlıkları için yapılan duyarlılık analizinde on durum kullanılmış ve alternatiflerin sıralaması yeniden hesaplanmış ve sonuçları Çizelge 5.15 ve Şekil 5.3’te verilmiştir. Bu sonuçlara göre, Durum 2, Durum 4, Durum 5, Durum 6, Durum 7, Durum 9 ve Durum 10’da alternatiflerin puanlarında küçük değişimler olmasına rağmen sıralama değişmemiştir. Durum 1 ve Durum 3’te düzeltici bakım ve fırsatçı bakım yer

değiştirmiştir. Durum 8’de ise düzeltici bakım ve fırsatçı bakımın yer değiştirmesinin yanı sıra periyodik bakım ve kestirimci bakım da yer değiştirmiştir. Farklı durumlar için uygulanan duyarlılık analizi ile elde edilen bulgulara bakıldığında, model kriter ağırlıklarında yapılan büyük değişikliklere karşı sağlam olduğu görülmektedir.

5.7.2 Karar verici ağırlıklarına göre duyarlılık analizi

Duyarlılık analizi, alternatifler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla karar vericilerin ağırlıklarına da uygulanmıştır.

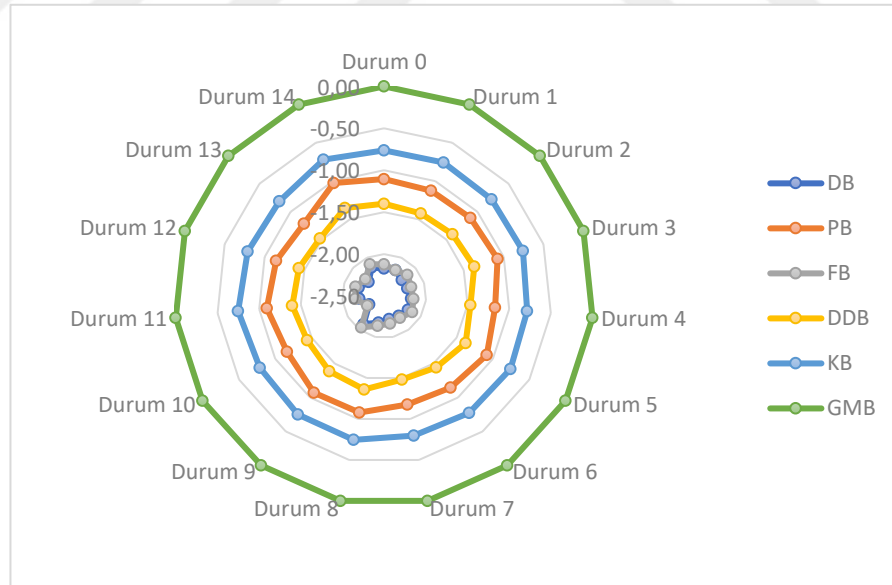
Çizelge 5.16: Karar vericiler için duyarlılık analizi

	Durum	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7
Durum 0	Mevcut durum	0,19	0,13	0,19	0,13	0,06	0,19	0,13
Durum 1	KV1, 0,06 azaltıldı	0,13	0,14	0,20	0,14	0,07	0,20	0,14
Durum 2	KV1, 0,06 artırıldı	0,25	0,12	0,17	0,12	0,06	0,17	0,12
Durum 3	KV2, 0,06 azaltıldı	0,20	0,06	0,20	0,13	0,07	0,20	0,13
Durum 4	KV2, 0,06 artırıldı	0,17	0,19	0,17	0,12	0,06	0,17	0,12
Durum 5	KV3, 0,06 azaltıldı	0,20	0,14	0,13	0,14	0,07	0,20	0,14
Durum 6	KV3, 0,06 artırıldı	0,17	0,12	0,25	0,12	0,06	0,17	0,12
Durum 7	KV4, 0,06 azaltıldı	0,20	0,13	0,20	0,06	0,07	0,20	0,13
Durum 8	KV4, 0,06 artırıldı	0,17	0,12	0,17	0,19	0,06	0,17	0,12
Durum 9	KV5, 0,06 azaltıldı	0,20	0,13	0,20	0,13	0,00	0,20	0,13
Durum 10	KV5, 0,06 artırıldı	0,18	0,12	0,18	0,12	0,13	0,18	0,12
Durum 11	KV6, 0,06 azaltıldı	0,20	0,14	0,20	0,14	0,07	0,13	0,14
Durum 12	KV6, 0,06 artırıldı	0,17	0,12	0,17	0,12	0,06	0,25	0,12
Durum 13	KV7, 0,06 azaltıldı	0,20	0,13	0,20	0,13	0,07	0,20	0,06
Durum 14	KV7, 0,06 artırıldı	0,17	0,12	0,17	0,12	0,06	0,17	0,19

Karar vericiler üzerinden yapılan ve on dört durumdan oluşan duyarlılık analizi için karar verici ağırlıkları Çizelge 5.16’da görülmektedir. Mevcut duruma bakıldığında en düşük ağırlığa sahip olan karar verici 5’in ağırlığı 0,06’tır. Analizde, bir karar vericinin ağırlığı en düşük 0 olabileceği için her bir karar vericinin ağırlığı 0,06 oranında artırılmış veya azaltılmıştır.

Çizelge 5.17: Karar verici ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları

Alternatifler	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
Durum 0	6	3	5	4	2	1
Durum 1	5	3	6	4	2	1
Durum 2	6	3	5	4	2	1
Durum 3	6	3	5	4	2	1
Durum 4	6	3	5	4	2	1
Durum 5	6	3	5	4	2	1
Durum 6	6	3	5	4	2	1
Durum 7	6	3	5	4	2	1
Durum 8	6	3	5	4	2	1
Durum 9	6	3	5	4	2	1
Durum 10	6	3	5	4	2	1
Durum 11	6	3	5	4	2	1
Durum 12	6	3	5	4	2	1
Durum 13	6	3	5	4	2	1
Durum 14	6	3	5	4	2	1



Şekil 5.4: Karar verici ağırlıkları için duyarlılık analizi sonuçları

Karar verici ağırlıkları için yapılan duyarlılık analizi sonuçları Çizelge 5.17 ve Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre Durum 1'de DB ve FB yer değiştirmiştir. Geri kalan durumlara bakıldığında, alternatiflerin puanlarında küçük değişiklikler olmasına rağmen,

sıralama değişmemiştir. Bu da modelin karar verici ağırlıklarındaki değişikliklere karşı sağlam olduğunu göstermektedir.

5.8 Senaryo Analizi

Bu bölümde işletme için olası durumlar senaryo analizi ile değerlendirilecektir. Senaryo analizi ile kriterlerin zaman içinde değişeceği durumlarda alternatiflerin nasıl etkileneceği araştırılmıştır. Örneğin işletme politikası gereği maliyetin önemi zaman içinde artacaksa bakım stratejisi seçiminde maliyet kriteri önem derecesi yükselecektir.

Çizelge 5.18: Üretilen farklı senaryolar

Senaryolar	Senaryo Açıklaması	Kullanılan Kriterler
Senaryo 1	İşletme bütçesinde kesintiye giderse.	M1, M2, M3, M4, U2
Senaryo 2	İşletmenin siparişleri yetiştirmek için kesintisiz üretim yapması gerekiyorsa.	G1, G2, G3, G4, U3, U4, K1, K2, K3

Çizelge 5.19: Senaryo analizi için kriter ağırlıkları

Kriterler	Mevcut durum	Senaryo 1	Senaryo 2
E1	0,07	0,00	0,00
E2	0,07	0,00	0,00
E3	0,07	0,00	0,00
M1	0,05	0,20	0,00
M2	0,05	0,20	0,00
M3	0,05	0,20	0,00
M4	0,05	0,20	0,00
G1	0,05	0,00	0,11
G2	0,05	0,00	0,11
G3	0,05	0,00	0,11
G4	0,05	0,00	0,11
U1	0,05	0,00	0,00
U2	0,05	0,20	0,00
U3	0,05	0,00	0,11
U4	0,05	0,00	0,11
K1	0,04	0,00	0,11
K2	0,04	0,00	0,11
K3	0,04	0,00	0,11
K4	0,04	0,00	0,00
K5	0,04	0,00	0,00
Toplam	1,00	1,00	1,00

Senaryo analizi için üretilen senaryolar ve bu senaryolar için kullanılacak kriterler Çizelge 5.18’de verilmiştir. Her senaryo için kriterlerin ağırlıkları Çizelge 5.19’da verilmiştir. Senaryoların sonucunda alternatif bakım stratejilerinin sıralaması Çizelge 5.20’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.20: Senaryo analizi sonucunda alternatiflerin sıralanması

Alternatifler	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
Mevcut durum	6	3	5	4	2	1
Senaryo 1	2	3	1	4	6	5
Senaryo 2	5	3	6	4	2	1

Mevcut durumda yapılan hesaplamalara göre alternatifler GMB, KB, PB, DDB, FB ve DB şeklinde sıralanmaktadır.

Senaryo 1, işletmenin gelecekte bütçesinde kesintiye gitmesi senaryosunu içermektedir. Bu senaryoda, alternatifler FB, DB, PB, DDB, GMB ve KB olarak sıralanmıştır. Bu durum, bakım stratejisi uygulamak için bütçe kısıtlı ise en uygun bakım stratejisinin FB olduğunu göstermektedir.

Senaryo 2, işletmenin kesintisiz üretim yapması gerektiği durumu ifade etmektedir. Bu senaryoda, arızalar arası ortalama süre, ortalama tamir süresi, işlem için makine önemi, teknik güvenilirlik, bakım-onarım kolaylığı, erişim zorluğu, üretim kaybı, yedek parça stoku, arıza tespit kriterleri ele alınır. Senaryo 2 sonucunda alternatifler GMB, KB, PB, DDB, DB, FB şeklinde sıralanmaktadır. Mevcut duruma göre karşılaştırılma yapıldığında sadece FB ile DB stratejilerinin yer değiştirdiği görülmektedir. Bu durum, işletmede üretimin aksamaması için en uygun bakım stratejisinin GMB olduğunu göstermektedir.

Son olarak, en uygun bakım stratejisi seçimi için oluşturulan modelde beş ana kriter (emniyet, maliyet, güvenilirlik, uygulanabilirlik ve katma-değer) ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucuna bakıldığında genel olarak aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

- Maliyet ve uygulanabilirlik ana kriterlerinin ağırlıklarının artması FB ve DB bakım stratejileri en uygun bakım stratejisi konumuna getirirken KB ve GMB bakım stratejilerini son sıraya getirdiği görülmektedir.
- Emniyet, güvenilirlik ve katma değer ana kriterlerinin ağırlıklarının artması durumunda ise mevcut durumdaki sıralamanın pek değişmediği gözlemlenmektedir.



6 TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada işletmeler için önemli bir problem olan en uygun bakım stratejisi seçim problemi ele alınmıştır. İyi bir bakım yönetim planlaması, tesis ekipmanlarının kullanılabilirliğini ve güvenilirlik seviyelerini artırırken bakım için gereksiz yatırımları azaltmaktadır (Wang vd., 2007).

Bakım strateji seçim problemi karmaşık bir süreç olduğu için ÇKKV problemi olarak görülmektedir (Bevilacqua ve Braglia, 2000; Wang vd., 2007). Bu süreç karar vericilerin düşüncelerindeki belirsizlikler, ele alınan kriterler ve alternatifler gibi birtakım belirsizlik içerdiğinden ÇKKV yöntemlerini bulanık mantık çerçevesinde değerlendirmek gereklidir. Literatürde çok sayıda bulanık ÇKKV yöntemleri bulunmaktadır. Ancak, çalışmada karar vericilerden alınan görüşlerin daha iyi yansıtılması amacıyla Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde en uygun bakım stratejisi her işletmenin sahip olduğu özelliklerden 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.

Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren akış tipi üretim sistemine sahip bir gıda üretim tesisinde en uygun bakım stratejisi seçimi yapılmıştır. Karar verici görüşleri ve literatürde yapılan benzer çalışmalar ile üretim tesisine uygun olarak ele alınan yirmi kriter ve altı alternatif bakım stratejisi ile en uygun bakım strateji seçimi için bir karar modeli oluşturulmuştur. Daha sonra karar vericiler ile yüz yüze anket çalışması yapılmıştır. Karar vericilerden alınan veriler doğrultusunda Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak işletme için en uygun bakım stratejisi seçilmiştir. Daha sonra karşılaştırma yapmak için bulanık TOPSIS yöntemi seçilmiş ve aynı probleme uygulanmıştır.

Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan çalışma sonucunda, uygulamanın yapıldığı işletme için en uygun bakım stratejisi GMB olarak seçilmiştir. İkinci olarak tercih edilebilecek bakım stratejisi KB, üçüncü PB, dördüncü DDB, beşinci FB ve altıncı DB stratejisi olmuştur. Sonuçlar bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırıldığında sadece üçüncü ve dördüncü alternatifin yer değiştirdiği görülmüştür.

Modelde, alternatiflerin nihai sıralaması hem kriterlerin hem de karar vericilerin ağırlıklarına bağlı olarak değişebilir. Bu yüzden duyarlılık analizi ile kriterlerin ağırlıkları ve karar vericilerin ağırlıklarının sonuca olan etkisi test edilmiştir. Duyarlılık analizi sonucunda alternatif sıralamasında küçük farklılıklar gözlenmesine rağmen en uygun bakım stratejisi değişmemiştir. Uygulanan duyarlılık analizi ile elde edilen sonuçlara bakıldığında, modelin kriterlerin ağırlıklarında ve karar verici ağırlıklarında yapılan değişikliklere karşı dayanıklı olduğu görülmektedir. Yani oluşturulan modeldeki kriter ağırlıkları ve karar verici ağırlıkları belli düzeyde değiştirilmesi modelin sıralamasını değiştirmemektedir.

Daha sonra işletmenin gelecekte değişebilecek durumlarına karşı en uygun bakım stratejisinin hangisi olması gerektiğini test edebilmek için senaryo analizi yapılmıştır. Yapılan senaryolarda farklı alternatif bakım stratejilerinin seçildiği görülmektedir. Yapılan senaryolarda farklı sonuçlar elde edilmiştir (Bkz. Bölüm 5.8). Genel olarak bakıldığında maliyet ve uygulanabilirlik ana kriterlerinin ağırlıklarının artması FB ve DB alternatif bakım stratejilerini, emniyet, güvenilirlik ve katma değer ana kriterlerinin ağırlıklarının artması ise GMB ve KB alternatif bakım stratejilerini güçlendirdiği görülmektedir.

Sonuç olarak, literatürde çok sayıda ÇKKV yöntemi olmasına rağmen Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi son yıllarda ortaya çıkan yeni bir ÇKKV yöntemidir. Bu çalışma önemli bir özelliği, bakım stratejisi seçim probleminde Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin kullanılmasıdır.

Bu çalışma, literatüre aşağıdaki katkıları sağlamıştır:

- Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin bakım stratejisi seçim alanında kullanılması,

- Gerçek hayat problemi olarak ele alınan çalışmada bir işletme için en uygun bakım stratejisi önerilmesi,
- En uygun bakım stratejisi seçiminde duyarlılık analizi ile etkinliğin ve sağlamlığın ölçülmesi ve senaryo analizi ile işletmenin karşılaşılabileceği farklı durumlar için değerlendirme yapılması.

Gelecek çalışmalarda:

- Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi yeni karar verme süreçlerinde kullanılabilir.
- En uygun bakım stratejisi seçim problemi farklı üretim sistemine sahip olan işletmelerde uygulanabilir. Bu uygulamalarda farklı kriter ve alternatifler kullanılarak literatüre katkı sağlanabilir.
- İşletmelerde bakım planlama çalışması için üretim planlama ve bakım planlamasını entegre eden bir simülasyon modeli oluşturulabilir. Bu sayede maliyet ve zaman hesaplanarak seçilen bakım stratejisi desteklenebilir.

7 KAYNAKÇA

- Abdulgader, F. S., Eid, R. ve Rouyendegh, B. D.**, 2018, Development of Decision Support Model for Selecting a Maintenance Plan Using a Fuzzy MCDM Approach: A Theoretical Framework, *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 14, 1–14.
- 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.
- Ahmad, R. ve Kamaruddin, S.**, 2012, An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application, *Computers & Industrial Engineering*, 63(1), 135–149.
- 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.
- Ahuja, I. P. S. ve Khamba, J. S.**, 2008, Total productive maintenance: literature review and directions, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709–756.
- Ak, M. F. ve Gul, M.**, 2018, AHP–TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis, *Complex & Intelligent Systems*, 1–14.
- Akhshabi, M.**, 2011, A New Fuzzy Multi Criteria Model for Maintenance Policy, *Middle-East Journal of Scientific Research*, 10(1), 33–38.
- 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.
- Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A. ve Bahreininejad, A.**, 2012, Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system, *Applied Soft Computing*, 12(6), 1668–1677.
- Arunraj, N. S. ve Maiti, J.**, 2010, Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming, *Safety Science*, 48(2), 238–247.
- 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.
- Atanassov, K. T.**, 1986, Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.
- 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.

- 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.
- Bevilacqua, M. ve Braglia, M.,** 2000, The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection, *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71–83.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M. ve Akay, D.,** 2009, A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method, *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363–11368.
- Büyüközkan, G. ve Çifçi, G.,** 2012, A combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS based strategic analysis of electronic service quality in healthcare industry, *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2341–2354.
- Cayir Ervural, B.,** 2018, Yenilenebilir Enerji Planlaması İçin Bütünleşik Çok Amaçlı Bir Karar Modeli Önerisi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Cayir Ervural, B., Ervural, B. ve Kabak, Ö.,** 2019, Evaluation of Flexible Manufacturing Systems Using a Hesitant Group Decision Making Approach, *Journal of Intelligent Systems*, 28(2), 245–258.
- 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.
- 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.
- 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.
- Chandima Ratnayake, R. M. ve Markeset, T.,** 2010, Technical integrity management: measuring HSE awareness using AHP in selecting a maintenance strategy, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 16(1), 44–63.
- Chang, C.-W., Wu, C.-R., Lin, C.-T. ve Chen, H.-C.,** 2007, An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine, *Computers & Industrial Engineering*, 52(2), 296–307.
- Chen, C.-T.,** 2000, Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9.
- Dinç, H.,** 2016, Alternatif Bakım Stratejisi Seçimi: İmalat Sanayinde Bir Uygulama, Dicle Üniversitesi.
- Ding, S. H. ve Kamaruddin, S.,** 2014, Maintenance policy optimization—literature review and directions, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5–8), 1263–1283.

- Dong, Y. L., Gu, Y. J. ve Dong, X. F.**, 2008, Selection of optimum maintenance strategy for power plant equipment based on evidential reasoning and FMEA, 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management içinde (ss. 862–866), IEEE.
- 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.
- 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.
- 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.
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Lashgari, A., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z.**, 2012, Maintenance Strategy Selection Using Ahp and Copras Under Fuzzy Environment, *International Journal of Strategic Property Management*, 16(1), 85–104.
- Gaonkar, R. S. P., Verma, A. K. ve Srividya, A.**, 2008, Exploring Fuzzy Set Concept in Priority Theory for Maintenance Strategy Selection Problem, *The International Journal of Applied Management and Technology* (C. 6).
- 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.
- Gedikli, T. ve Cayir Ervural, B.**, 2019, Selection Optimum Maintenance Strategy Using Multi-Criteria Decision Making Approaches, F. Calısır ve O. Korhan (Ed.), *Industrial Engineering in the Digital Disruption Era* içinde, Springer.
- Ghosh, D. ve Roy, S.**, 2010, A decision-making framework for process plant maintenance, *European J. of Industrial Engineering*, 4(1), 78.
- Görener, A.**, 2013, Bakım stratejilerinin bulanık karar ortamında seçimi için WSA ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, (216), 159–177.
- Hemmati, N., Rahiminezhad Galankashi, M., Imani, D. M. ve Farughi, H.**, 2018, Maintenance policy selection: a fuzzy-ANP approach, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(7), 1253–1268.
- Hwang, C. L., & Yoon, K.**, 1981, Methods for multiple attribute decision making, In *Multiple attribute decision making*, 58-191, Springer, Berlin, Heidelberg.

- 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.
- İbazar, E., Kardeş, A., Cebi, S. ve Kahraman, C.**, 2018, A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system, *Safety Science*, 103, 124–136.
- Jafari, A., Jafarian, M., Zareei, A. ve Zaerpour, F.**, 2008, Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem, *Journal of Uncertain Systems*, 2(4), 289–298.
- 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 Ulukan, Z.**, 2003, Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP, *Logistics Information Management*, 16(6), 382–394.
- Kamaruddin, S.**, 2012, Selection of Optimal Maintenance Policy by Using Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method, *Industrial Engineering and Operations Management Istanbul*.
- Kennedy, R.**, 2006, Examining the processes of RCM and RPM.
- 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.
- Köksal, M.**, 2007, Bakım Planlaması (3.), Ankara: Seçkin.
- Kumar, G. ve Maiti, J.**, 2012, Modeling risk based maintenance using fuzzy analytic network process, *Expert Systems with Applications*, 39(11), 9946–9954.
- 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.
- Kundakcı, N.**, 2019, Selection of Maintenance Strategy For a Manufacturing Company with Fuzzy Moora Method.
- 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.
- Mete, M.**, 2007, Bakım Yönetiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli, İstanbul Üniversitesi.
- Mey, Y.**, 2016, Fuzzy analytical hierarchy process for the selection of maintenance policies within petroleum industry, (3), 529–534.

- Mishra, S. K. ve Mahapatra, D.**, 2015, Maintenance Strategy and Decision Making– AHP Method, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, IV(II), 256–258.
- Mousavi, S. S., Nezami, F. G., Heydar, M. ve Aryanejad, M. B.**, 2009, A hybrid fuzzy group decision making and factor analysis for selecting maintenance strategy, 2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering içinde (ss. 1204–1209), IEEE.
- Nezami, F. G. ve Yildirim, M. B.**, 2013, A sustainability approach for selecting maintenance strategy, *International Journal of Sustainable Engineering*, 6(4), 332–343.
- 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.
- Onar, S. C., Oztaysi, B. ve Kahraman, C.**, 2018, Multicriteria Evaluation of Cloud Service Providers Using Pythagorean Fuzzy TOPSIS, *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 30(2–3), 263–283.
- Önkoyun, S.**, 2018, Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHS ile Tahlisiye İstasyonu Kuruluş Yeri Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- 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.
- Özcan, E., Danişan, T. ve Eren, T.**, 2019, Hidroelektrik Santralların En Kritik Elektriksel Ekipman Gruplarının Bakım Stratejilerinin Optimizasyonu İçin Matematiksel Bir Model Önerisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 498–506.
- 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.
- Özdoğan, A.**, 2011, Bakım Parametrelerine Dayalı Üretim Politikaları Optimizasyonu, Çukurova Üniversitesi.
- Panchal, D., Chatterjee, P., Shukla, R. K., Choudhury, T. ve Tamosaitiene, J.**, 2017, Integrated Fuzzy AHP-CODAS Framework for Maintenance Decision In Urea Fertilizer Industry, *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 51(3), 179–196.
- Pariazar, M., Shahrabi, J., Zaeri, M. S. ve Parhizi, S.**, 2008, A combined approach for maintenance strategy selection, *Journal of Applied Sciences*.
- Peng, A. ve Wang, Z.**, 2011, Selecting optimum maintenance approach based on relative membership grade under fuzzy environment, 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC) içinde (ss. 1748–1752), IEEE.

- 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.
- 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.
- Sadeghi, A. ve Manesh, R. A.,** 2012, The Application of Fuzzy Group Analytic Network Process to Selection of Best Maintenance Strategy- A Case Study in Mobarakeh Steel Company, Iran, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62, 1378–1383.
- 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.
- Seiti, H., Tagipour, R., Hafezalkotob, A. ve Asgari, F.,** 2017, Maintenance strategy selection with risky evaluations using RAHP, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 24(5–6), 257–274.
- Shafiee, M.,** 2015, Maintenance strategy selection problem: An MCDM overview, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 378–402.
- Shahin, A., Pourjavad, E. ve Shirouyehzad, H.,** 2012, Optimum maintenance strategy: A case study in the mining industry, Article in *International Journal of Services and Operations Management*, 12(3), 368–386.
- Sharma, R. K., Kumar, D. ve Kumar, P.,** 2005, FLM to select suitable maintenance strategy in process industries using MISO model, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 11(4), 359–374.
- Shu, M.-H., Cheng, C.-H. ve Chang, J.-R.,** 2006, Using intuitionistic fuzzy sets for fault-tree analysis on printed circuit board assembly, *Microelectronics Reliability*, 46(12), 2139–2148.
- Shyjith, K., Ilankumaran, 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.
- Tajadod, M., Ghasemi, E. ve Bazargan, H.,** 2011, A combined method based on fuzzy analytical network process and fuzzy data envelopment analysis for maintenance strategy selection, *Proceedings of the International conference on advances in electrical and electronics engineering (ICAEE 2011)* içinde (ss. 179–183).
- Tan, Z., Li, J., Wu, Z., Zheng, J. ve He, W.,** 2011, An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection, *Safety Science*, 49(6), 852–860.
- Thor, J., Ding, S.-H. ve Kamaruddin, S.,** 2013, Comparison of Multi Criteria Decision Making Methods From The Maintenance Alternative Selection Perspective, *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*.

- Ünal, G.**, 2009, Güvenilirlik Merkezli Bakım ve Bir Endüstriyel Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Vahdani, B. ve Hadipour, H.**, 2011, Extension of the ELECTRE method based on interval-valued fuzzy sets, *Soft Computing*, 15(3), 569–579.
- Vahdani, B., Hadipour, H., Sadaghiani, J. S. ve Amiri, M.**, 2010, Extension of VIKOR method based on interval-valued fuzzy sets, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(9–12), 1231–1239.
- Verma, A. K., Srividya, A. ve Gaonkar, R. S. P.**, 2007, Fuzzy set solutions for optimal maintenance strategy selection, *OPSEARCH*, 44(3), 261–276.
- Vishnu, C. R. ve Regikumar, V.**, 2016, Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study, *Procedia Technology*, 25, 1080–1087.
- 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.
- Wu, C.-R., Lin, C.-T. ve Chen, H.-C.**, 2007, Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis, *Building and Environment*, 42(3), 1431–1444.
- 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.
- Yager, R. R.**, 2013, Pythagorean fuzzy subsets, 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS) içinde (ss. 57–61), IEEE.
- Yager, R. R.**, 2014, Pythagorean Membership Grades in Multicriteria Decision Making, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* içinde (C. 22, ss. 958–965).
- Zadeh, L. A.**, 1965, Fuzzy sets, *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Zaeri, M. S., Shahrabi, J., Pariazar, M. ve Morabbi, A.**, 2007, A combined multivariate technique and multi criteria decision making to maintenance strategy selection, 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management içinde (ss. 621–625), IEEE.
- Zaim, S., Turkyılmaz, A., Acar, M. F., Al-Turki, U. ve Demirel, O. F.**, 2012, Maintenance strategy selection using AHP and ANP algorithms: a case study, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(1), 16–29.
- Zhang, X.**, 2016, A Novel Approach Based on Similarity Measure for Pythagorean Fuzzy Multiple Criteria Group Decision Making, *International Journal of Intelligent Systems*, 31(6), 593–611.
- Zhang, X. ve Xu, Z.**, 2014, Extension of TOPSIS to Multiple Criteria Decision Making with Pythagorean Fuzzy Sets, *International Journal Of Intelligent Systems*, 29, 1061–1078.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Tolga Gedikli
Doğum Yeri ve Tarihi :Akçaabat / 1992
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :tolgagedikli@gmail.com

EĞİTİM DURUMU

Lise :Rize Anadolu Öğretmen Lisesi / 2010
Lisans :Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tolga GEDİKLİ, 11 Mayıs 1992’de Trabzon’da doğdu. 2010 yılında Rize Anadolu Öğretmen Lisesinden mezun oldu. Lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinde tamamlamıştır. 2017 yılından beri Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Tezden Çıkarılan Yayınlar :

Gedikli, T. ve Cayir Ervural, B., 2019, Selection Optimum Maintenance Strategy Using Multi-Criteria Decision Making Approaches, F. Calısır ve O. Korhan (Ed.), Industrial Engineering in the Digital Disruption Era, Springer.

Gedikli, T., Cayir Ervural, B. ve Şen, D.T., 2019, Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP yaklaşımlarıyla en uygun bakım stratejisinin belirlenmesi: Bir gıda işletmesinde uygulama, Süreçte.

EKLERSayfa

EK A: Karar vericilerin Pisagor bulanık sayılara göre alternatifleri değerlendirilmesi.. 84

EK B: Karar vericilerin alternatif bakım stratejilerini dilsel ifadeler ile değerlendirmesi.

..... 90



EK A: Karar vericilerin Pisagor bulanık sayılara göre alternatifleri değerlendirilmesi

Tablo 1: Alternatiflerin kriterlere göre üyelik dereceleri (0 ile 100 arasında puanlama yapınız.)

Kriterler	Düzeltilici bakım	Periyodik Bakım	Duruma Dayalı Bakım	Kestirimci Bakım	Fırsatçı Bakım	Güvenilirlik Merkezli Bakım
Personel Güvenliği						
Tesis ve Makine Güvenliği						
Çevre Güvenliği						
Donanım Maliyeti						
Yazılım Maliyeti						
Personel Eğitim Maliyeti						
Bakım Maliyeti						
Arıza Sıklığı						
Ortalama Tamir Süresi						
Makinenin Önem Derecesi						
Teknik Güvenilirlik						
Benimsenme						
Finansal Kaynak						
Bakım-Onarım Kolaylığı						
Erişim Zorluğu						
Üretim Kaybı						
Yedek Parça Stoku						
Arıza Tespiti						
Üretim Kalitesi						
Rekabet Gücü						

Karar verici görüşleri için örnek anket sorusu

Örnek Soru: Düzenleyici bakım stratejisinin personel güvenliği kriterine göre üyelik derecesi nedir?

Tablo 2: Alternatiflerin kriterlere göre üye olmama dereceleri (0 ile 100 arasında puanlama yapınız.)

Kriterler	Düzeltilici bakım	Periyodik Bakım	Duruma Dayalı Bakım	Kestirimci Bakım	Fırsatçı Bakım	Güvenilirlik Merkezli Bakım
Personel Güvenliği						
Tesis ve Makine Güvenliği						
Çevre Güvenliği						
Donanım Maliyeti						
Yazılım Maliyeti						
Personel Eğitim Maliyeti						
Bakım Maliyeti						
Arıza Sıklığı						
Ortalama Tamir Süresi						
Makinenin Önem Derecesi						
Teknik Güvenilirlik						
Benimsenme						
Finansal Kaynak						
Bakım-Onarım Kolaylığı						
Erişim Zorluğu						
Üretim Kaybı						
Yedek Parça Stoku						
Arıza Tespiti						
Üretim Kalitesi						
Rekabet Gücü						

Karar verici görüşleri için örnek anket sorusu

Örnek Soru: Düzenleyici bakım stratejisinin personel güvenliği kriterine göre üye olmama derecesi nedir?

Çizelge A.1: Karar verici 1'in değerlendirmesi

Alternatifler	DB		PB		FB		DDB		KB		GMB	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
E1	0,05	0,90	0,55	0,40	0,30	0,70	0,70	0,40	0,75	0,20	0,80	0,05
E2	0,15	0,90	0,45	0,40	0,30	0,70	0,50	0,55	0,60	0,35	0,60	0,30
E3	0,10	0,85	0,45	0,45	0,25	0,80	0,55	0,40	0,60	0,30	0,65	0,30
M1	0,80	0,10	0,55	0,30	0,95	0,10	0,30	0,60	0,15	0,85	0,45	0,55
M2	0,80	0,10	0,60	0,35	0,90	0,05	0,45	0,45	0,10	0,80	0,30	0,75
M3	0,85	0,10	0,70	0,25	0,90	0,15	0,65	0,25	0,35	0,70	0,55	0,45
M4	0,05	0,90	0,30	0,60	0,20	0,90	0,50	0,40	0,75	0,25	0,85	0,10
G1	0,10	0,90	0,45	0,45	0,05	0,95	0,30	0,70	0,60	0,30	0,80	0,20
G2	0,25	0,70	0,70	0,25	0,05	0,85	0,60	0,30	0,80	0,10	0,70	0,15
G3	0,10	0,90	0,55	0,55	0,10	0,95	0,40	0,70	0,75	0,15	0,90	0,05
G4	0,25	0,70	0,50	0,45	0,30	0,80	0,80	0,25	0,70	0,20	0,80	0,10
U1	0,80	0,05	0,65	0,30	0,90	0,10	0,70	0,40	0,40	0,60	0,05	0,95
U2	0,80	0,15	0,60	0,35	0,85	0,10	0,45	0,50	0,20	0,75	0,05	0,90
U3	0,55	0,30	0,90	0,10	0,70	0,30	0,60	0,25	0,30	0,60	0,30	0,55
U4	0,05	0,85	0,45	0,55	0,15	0,90	0,30	0,70	0,60	0,30	0,85	0,15
K1	0,20	0,70	0,30	0,60	0,05	0,90	0,35	0,70	0,55	0,30	0,70	0,40
K2	0,10	0,85	0,30	0,55	0,05	0,90	0,50	0,50	0,70	0,20	0,90	0,15
K3	0,15	0,90	0,45	0,40	0,10	0,85	0,50	0,50	0,80	0,20	0,95	0,05
K4	0,10	0,95	0,45	0,40	0,05	0,95	0,35	0,60	0,60	0,30	0,80	0,25
K5	0,05	0,90	0,30	0,70	0,10	0,90	0,35	0,70	0,30	0,35	0,60	0,30

Çizelge A.2: Karar verici 2'nin değerlendirmesi

Alternatifler	DB		PB		FB		DDB		KB		GMB	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
E1	0,20	0,80	0,45	0,65	0,30	0,80	0,50	0,50	0,80	0,15	0,85	0,10
E2	0,30	0,70	0,40	0,60	0,25	0,80	0,45	0,50	0,70	0,20	0,85	0,10
E3	0,20	0,70	0,35	0,65	0,25	0,75	0,50	0,45	0,80	0,20	0,95	0,05
M1	0,80	0,15	0,50	0,55	0,75	0,15	0,30	0,60	0,05	0,85	0,30	0,80
M2	0,80	0,05	0,35	0,70	0,80	0,05	0,50	0,40	0,05	0,80	0,20	0,75
M3	0,75	0,15	0,35	0,60	0,60	0,40	0,45	0,40	0,40	0,60	0,30	0,55
M4	0,20	0,80	0,50	0,40	0,30	0,75	0,40	0,65	0,65	0,30	0,85	0,10
G1	0,25	0,70	0,70	0,40	0,40	0,65	0,45	0,40	0,70	0,20	0,70	0,20
G2	0,25	0,70	0,65	0,40	0,40	0,60	0,50	0,50	0,70	0,15	0,80	0,15
G3	0,25	0,70	0,65	0,30	0,35	0,65	0,50	0,50	0,70	0,25	0,95	0,10
G4	0,25	0,70	0,70	0,25	0,40	0,65	0,50	0,50	0,80	0,20	0,95	0,05
U1	0,90	0,05	0,50	0,45	0,75	0,20	0,60	0,30	0,30	0,60	0,05	0,85
U2	0,80	0,15	0,40	0,60	0,55	0,40	0,50	0,50	0,20	0,70	0,25	0,80
U3	0,95	0,10	0,50	0,50	0,75	0,25	0,60	0,35	0,40	0,60	0,30	0,75
U4	0,05	0,80	0,50	0,55	0,25	0,80	0,30	0,60	0,65	0,35	0,85	0,15
K1	0,20	0,75	0,65	0,40	0,40	0,55	0,50	0,45	0,70	0,25	0,70	0,25
K2	0,05	0,80	0,55	0,45	0,20	0,75	0,35	0,55	0,70	0,35	0,95	0,05
K3	0,30	0,70	0,45	0,55	0,30	0,75	0,55	0,45	0,90	0,10	0,95	0,10
K4	0,25	0,70	0,65	0,40	0,45	0,60	0,50	0,40	0,75	0,15	0,75	0,20
K5	0,30	0,70	0,60	0,30	0,30	0,60	0,50	0,50	0,70	0,25	0,75	0,15

Çizelge A.3: Karar verici 3'ün değerlendirmesi

Alternatifler	DB		PB		FB		DDB		KB		GMB	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
E1	0,15	0,85	0,60	0,30	0,10	0,85	0,45	0,40	0,75	0,20	0,85	0,05
E2	0,10	0,90	0,55	0,25	0,15	0,85	0,50	0,40	0,70	0,20	0,85	0,10
E3	0,10	0,80	0,65	0,30	0,10	0,90	0,50	0,40	0,70	0,20	0,90	0,10
M1	0,80	0,05	0,40	0,70	0,90	0,05	0,40	0,60	0,30	0,75	0,20	0,85
M2	0,90	0,05	0,40	0,60	0,80	0,05	0,35	0,60	0,30	0,80	0,10	0,90
M3	0,75	0,20	0,60	0,40	0,70	0,15	0,75	0,25	0,45	0,55	0,50	0,45
M4	0,40	0,70	0,50	0,55	0,40	0,70	0,45	0,50	0,75	0,15	0,70	0,30
G1	0,20	0,90	0,50	0,55	0,20	0,90	0,50	0,50	0,75	0,15	0,90	0,10
G2	0,15	0,90	0,50	0,40	0,05	0,90	0,55	0,40	0,70	0,20	0,95	0,05
G3	0,15	0,85	0,40	0,70	0,20	0,80	0,45	0,60	0,50	0,45	0,60	0,25
G4	0,60	0,40	0,60	0,40	0,60	0,30	0,55	0,25	0,70	0,20	0,95	0,15
U1	0,65	0,35	0,90	0,05	0,75	0,20	0,54	0,45	0,35	0,55	0,30	0,70
U2	0,65	0,35	0,35	0,60	0,60	0,40	0,30	0,60	0,25	0,75	0,05	0,80
U3	0,95	0,05	0,55	0,30	0,85	0,10	0,60	0,35	0,30	0,65	0,20	0,90
U4	0,10	0,80	0,30	0,60	0,05	0,80	0,15	0,90	0,85	0,10	0,95	0,10
K1	0,10	0,90	0,60	0,40	0,15	0,90	0,65	0,30	0,75	0,25	0,85	0,10
K2	0,05	0,80	0,40	0,60	0,10	0,85	0,05	0,95	0,55	0,50	0,45	0,45
K3	0,15	0,90	0,30	0,80	0,05	0,90	0,55	0,55	0,95	0,05	0,80	0,05
K4	0,10	0,85	0,55	0,40	0,05	0,90	0,55	0,30	0,75	0,25	0,90	0,05
K5	0,10	0,85	0,65	0,30	0,15	0,80	0,65	0,40	0,70	0,15	0,95	0,10

Çizelge A.4: Karar verici 4'ün değerlendirmesi

Alternatifler	DB		PB		FB		DDB		KB		GMB	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
E1	0,15	0,85	0,50	0,50	0,15	0,90	0,55	0,50	0,70	0,30	0,70	0,20
E2	0,05	0,85	0,45	0,40	0,05	0,80	0,50	0,55	0,70	0,30	0,70	0,20
E3	0,15	0,90	0,45	0,45	0,10	0,95	0,55	0,45	0,60	0,30	0,70	0,20
M1	0,85	0,05	0,70	0,25	0,80	0,05	0,55	0,40	0,50	0,40	0,30	0,70
M2	0,85	0,05	0,80	0,20	0,80	0,10	0,70	0,30	0,50	0,50	0,45	0,70
M3	0,80	0,10	0,70	0,20	0,85	0,10	0,70	0,35	0,50	0,45	0,20	0,75
M4	0,15	0,90	0,30	0,80	0,15	0,90	0,30	0,60	0,50	0,40	0,70	0,20
G1	0,05	0,80	0,40	0,65	0,10	0,85	0,50	0,50	0,65	0,35	0,90	0,05
G2	0,20	0,85	0,40	0,65	0,10	0,85	0,45	0,55	0,60	0,40	0,85	0,10
G3	0,25	0,75	0,45	0,60	0,25	0,70	0,55	0,40	0,65	0,30	0,85	0,10
G4	0,05	0,80	0,40	0,65	0,05	0,85	0,50	0,50	0,60	0,30	0,80	0,10
U1	0,90	0,15	0,70	0,20	0,90	0,05	0,65	0,25	0,55	0,50	0,25	0,75
U2	0,95	0,15	0,30	0,60	0,85	0,10	0,35	0,70	0,30	0,60	0,05	0,85
U3	0,80	0,05	0,45	0,60	0,80	0,15	0,30	0,70	0,40	0,60	0,15	0,90
U4	0,10	0,80	0,50	0,40	0,15	0,85	0,60	0,30	0,70	0,30	0,80	0,15
K1	0,10	0,85	0,60	0,30	0,10	0,80	0,35	0,70	0,60	0,30	0,75	0,25
K2	0,05	0,95	0,90	0,05	0,15	0,80	0,90	0,10	0,85	0,15	0,85	0,15
K3	0,05	0,85	0,90	0,05	0,15	0,95	0,85	0,10	0,90	0,05	0,85	0,05
K4	0,05	0,90	0,55	0,30	0,10	0,90	0,50	0,45	0,45	0,55	0,85	0,10
K5	0,05	0,85	0,55	0,35	0,10	0,85	0,45	0,55	0,45	0,45	0,90	0,10

Çizelge A.5: Karar verici 5'in değerlendirilmesi

Alternatifler	DB		PB		FB		DDB		KB		GMB	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
E1	0,10	0,90	0,60	0,30	0,20	0,95	0,45	0,50	0,60	0,35	0,85	0,10
E2	0,20	0,90	0,80	0,20	0,15	0,90	0,70	0,40	0,60	0,40	0,95	0,15
E3	0,20	0,90	0,80	0,20	0,20	0,95	0,70	0,20	0,70	0,25	0,75	0,25
M1	0,80	0,15	0,45	0,60	0,70	0,25	0,75	0,15	0,95	0,10	0,20	0,75
M2	0,80	0,15	0,65	0,30	0,90	0,05	0,90	0,05	0,80	0,15	0,95	0,15
M3	0,70	0,20	0,55	0,30	0,70	0,20	0,45	0,50	0,60	0,40	0,75	0,15
M4	0,25	0,80	0,40	0,70	0,25	0,75	0,45	0,55	0,55	0,40	0,95	0,10
G1	0,10	0,80	0,25	0,75	0,15	0,95	0,65	0,40	0,70	0,25	0,75	0,15
G2	0,25	0,70	0,75	0,15	0,40	0,60	0,75	0,15	0,70	0,30	0,75	0,15
G3	0,30	0,80	0,45	0,50	0,25	0,80	0,50	0,45	0,70	0,15	0,90	0,10
G4	0,30	0,55	0,60	0,35	0,35	0,60	0,55	0,25	0,70	0,20	0,65	0,40
U1	0,95	0,15	0,60	0,30	0,80	0,05	0,50	0,55	0,40	0,70	0,40	0,70
U2	0,90	0,05	0,70	0,40	0,85	0,15	0,55	0,30	0,20	0,75	0,15	0,85
U3	0,70	0,20	0,20	0,75	0,90	0,10	0,40	0,70	0,05	0,85	0,20	0,80
U4	0,35	0,65	0,75	0,20	0,40	0,60	0,75	0,20	0,75	0,25	0,60	0,30
K1	0,05	0,90	0,60	0,30	0,10	0,90	0,50	0,45	0,75	0,25	0,80	0,25
K2	0,05	0,90	0,40	0,65	0,15	0,95	0,30	0,60	0,65	0,40	0,30	0,60
K3	0,05	0,90	0,65	0,30	0,15	0,85	0,50	0,40	0,80	0,10	0,80	0,05
K4	0,30	0,75	0,75	0,15	0,05	0,90	0,75	0,20	0,60	0,25	0,80	0,10
K5	0,20	0,95	0,60	0,25	0,15	0,90	0,55	0,30	0,80	0,15	0,70	0,25

Çizelge A.6: Karar verici 6'nın değerlendirilmesi

Alternatifler	DB		PB		FB		DDB		KB		GMB	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
E1	0,10	0,95	0,45	0,65	0,15	0,90	0,50	0,40	0,60	0,30	0,95	0,10
E2	0,15	0,95	0,35	0,60	0,05	0,95	0,55	0,50	0,60	0,30	0,95	0,05
E3	0,20	0,85	0,35	0,70	0,05	0,80	0,50	0,50	0,65	0,30	0,85	0,05
M1	0,70	0,20	0,65	0,30	0,95	0,05	0,50	0,50	0,45	0,40	0,20	0,70
M2	0,75	0,20	0,50	0,40	0,90	0,05	0,40	0,60	0,20	0,80	0,40	0,65
M3	0,60	0,35	0,65	0,35	0,60	0,30	0,45	0,45	0,40	0,65	0,55	0,45
M4	0,25	0,75	0,55	0,55	0,35	0,70	0,65	0,25	0,70	0,15	0,95	0,15
G1	0,15	0,80	0,55	0,40	0,30	0,75	0,50	0,40	0,75	0,15	0,90	0,15
G2	0,30	0,75	0,75	0,25	0,30	0,60	0,55	0,50	0,95	0,15	0,95	0,15
G3	0,30	0,75	0,55	0,40	0,25	0,75	0,70	0,30	0,60	0,35	0,90	0,05
G4	0,50	0,50	0,45	0,55	0,25	0,70	0,45	0,50	0,65	0,30	0,80	0,15
U1	0,95	0,10	0,40	0,60	0,80	0,25	0,45	0,60	0,70	0,40	0,25	0,80
U2	0,70	0,20	0,45	0,55	0,70	0,25	0,55	0,50	0,45	0,55	0,05	0,80
U3	0,95	0,05	0,55	0,40	0,60	0,40	0,55	0,50	0,30	0,70	0,30	0,70
U4	0,15	0,80	0,70	0,30	0,05	0,80	0,35	0,60	0,40	0,55	0,35	0,65
K1	0,25	0,70	0,45	0,55	0,20	0,70	0,40	0,65	0,45	0,55	0,45	0,55
K2	0,10	0,80	0,50	0,50	0,40	0,70	0,55	0,55	0,30	0,60	0,80	0,25
K3	0,30	0,70	0,55	0,40	0,20	0,75	0,45	0,55	0,55	0,30	0,70	0,30
K4	0,25	0,70	0,55	0,55	0,25	0,70	0,45	0,50	0,65	0,35	0,70	0,25
K5	0,25	0,75	0,60	0,25	0,30	0,80	0,65	0,25	0,65	0,25	0,70	0,25

Çizelge A.7: Karar verici 7'nin değerlendirmesi

Alternatifler	DB		PB		FB		DDB		KB		GMB	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
E1	0,30	0,80	0,45	0,60	0,15	0,90	0,40	0,70	0,60	0,40	0,65	0,30
E2	0,10	0,90	0,35	0,60	0,25	0,70	0,45	0,65	0,70	0,40	0,75	0,20
E3	0,05	0,95	0,30	0,55	0,25	0,75	0,35	0,70	0,60	0,40	0,60	0,35
M1	0,95	0,05	0,05	0,90	0,80	0,20	0,50	0,45	0,25	0,80	0,30	0,60
M2	0,90	0,15	0,05	0,95	0,60	0,30	0,50	0,55	0,45	0,70	0,50	0,50
M3	0,90	0,05	0,70	0,25	0,95	0,05	0,45	0,55	0,05	0,95	0,30	0,65
M4	0,15	0,90	0,70	0,15	0,25	0,80	0,65	0,30	0,60	0,35	0,65	0,30
G1	0,30	0,80	0,50	0,55	0,45	0,60	0,60	0,35	0,70	0,35	0,55	0,40
G2	0,10	0,85	0,30	0,60	0,25	0,80	0,50	0,45	0,50	0,50	0,75	0,20
G3	0,15	0,95	0,65	0,40	0,05	0,85	0,65	0,30	0,90	0,15	0,75	0,25
G4	0,75	0,15	0,95	0,10	0,60	0,40	0,40	0,60	0,25	0,70	0,45	0,50
U1	0,30	0,80	0,80	0,20	0,25	0,75	0,60	0,30	0,65	0,30	0,30	0,60
U2	0,95	0,10	0,55	0,40	0,75	0,25	0,70	0,40	0,30	0,60	0,30	0,75
U3	0,80	0,25	0,65	0,30	0,60	0,30	0,50	0,40	0,40	0,70	0,20	0,95
U4	0,15	0,85	0,55	0,50	0,30	0,75	0,30	0,70	0,55	0,50	0,75	0,25
K1	0,15	0,95	0,75	0,25	0,25	0,80	0,30	0,70	0,60	0,40	0,50	0,55
K2	0,05	0,90	0,80	0,25	0,20	0,75	0,30	0,70	0,45	0,45	0,30	0,60
K3	0,30	0,75	0,65	0,40	0,30	0,70	0,80	0,20	0,85	0,05	0,65	0,40
K4	0,10	0,80	0,40	0,70	0,30	0,80	0,40	0,55	0,65	0,40	0,55	0,30
K5	0,10	0,90	0,55	0,45	0,25	0,75	0,45	0,55	0,60	0,25	0,70	0,25

EK B: Karar vericilerin alternatif bakım stratejilerini dilsel ifadeler ile değerlendirmesi.

Tabloda yer alan dilsel değişkenlere göre her bir kritere göre bütün alternatifleri değerlendiriniz.

Tablo 3: Alternatiflerin kriterlere göre önem derecelerini verilen dilsel ifadelere göre değerlendiriniz.

Kriterler	Düzeltilici bakım	Periyodik Bakım	Fırsatçı Bakım	Duruma Dayalı Bakım	Kestirimci Bakım	Güvenilirlik Merkezli Bakım
Personel Güvenliği						
Tesis ve Makine Güvenliği						
Çevre Güvenliği						
Donanım Maliyeti						
Yazılım Maliyeti						
Personel Eğitim Maliyeti						
Bakım Maliyeti						
Arıza Sıklığı						
Ortalama Tamir Süresi						
Makinenin Önem Derecesi						
Teknik Güvenilirlik						
Benimsenme						
Finansal Kaynak						
Bakım-Onarım Kolaylığı						
Erişim Zorluğu						
Üretim Kaybı						
Yedek Parça Stoku						
Arıza Tespiti						
Üretim Kalitesi						
Rekabet Gücü						

Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Biraz İyi (Bİ)	(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)

Çizelge B.1: Karar verici 1'in dilsel değerlendirmesi

KV 1	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	ÇK	BI	K	BI	I	ÇI
E2	ÇK	O	K	O	BI	BI
E3	ÇK	O	K	BI	BI	BI
M1	ÇI	BI	ÇI	BK	ÇK	O
M2	ÇI	BI	ÇI	O	ÇK	K
M3	ÇI	I	ÇI	BI	BK	O
M4	ÇK	BK	ÇK	O	I	ÇI
G1	ÇK	O	ÇK	BK	BI	I
G2	K	BI	ÇK	BI	ÇI	I
G3	ÇK	O	ÇK	BK	I	ÇI
G4	K	O	K	I	I	ÇI
U1	ÇI	BI	ÇI	BI	BK	ÇK
U2	ÇI	BI	ÇI	O	K	ÇK
U3	BI	ÇI	BI	BI	BK	BK
U4	ÇK	O	ÇK	BK	BI	ÇI
K1	K	BK	ÇK	BK	BI	BI
K2	ÇK	BK	ÇK	O	I	ÇI
K3	ÇK	O	ÇK	O	I	ÇI
K4	ÇK	O	ÇK	BK	BI	I
K5	ÇK	BK	ÇK	BK	BI	BI

Çizelge B.2: Karar verici 2'nin dilsel değerlendirmesi

KV 2	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	K	BK	K	O	I	ÇI
E2	K	BK	K	O	I	ÇI
E3	K	BK	K	O	I	ÇI
M1	ÇI	O	I	BK	ÇK	K
M2	ÇI	BK	ÇI	O	ÇK	K
M3	I	BK	BI	O	BK	BK
M4	ÇK	O	K	BK	BI	ÇI
G1	K	BI	BK	O	I	I
G2	K	BI	BK	O	I	I
G3	K	BI	BK	O	I	ÇI
G4	K	BI	BK	O	I	ÇI
U1	ÇI	O	I	BI	BK	ÇK
U2	ÇI	BK	BI	O	K	K
U3	ÇI	O	I	BI	BK	K
U4	ÇK	O	K	BK	BI	ÇI
K1	K	BI	BK	O	I	I
K2	ÇK	O	K	BK	BI	ÇI
K3	K	O	K	O	ÇI	ÇI
K4	K	BI	BK	O	I	I
K5	K	BI	BK	O	I	I

Çizelge B.3: Karar verici 3'ün dilsel değerlendirmesi

KV 3	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	ÇK	BI	ÇK	O	I	ÇI
E2	ÇK	BI	ÇK	O	I	ÇI
E3	ÇK	BI	ÇK	O	I	ÇI
M1	ÇI	BK	ÇI	BK	K	ÇK
M2	ÇI	BK	ÇI	BK	K	ÇK
M3	I	BI	I	I	O	O
M4	BK	O	BK	O	I	BI
G1	ÇK	O	ÇK	O	I	ÇI
G2	ÇK	O	ÇK	O	I	ÇI
G3	ÇK	BK	K	BK	O	BI
G4	BI	BI	BI	BI	I	ÇI
U1	BI	ÇI	I	O	BK	K
U2	BI	BK	BI	BK	K	ÇK
U3	ÇI	BI	ÇI	BI	BK	ÇK
U4	ÇK	BK	ÇK	ÇK	ÇI	ÇI
K1	ÇK	BI	ÇK	BI	I	ÇI
K2	ÇK	BK	ÇK	ÇK	O	O
K3	ÇK	K	ÇK	O	ÇI	ÇI
K4	ÇK	BI	ÇK	BI	I	ÇI
K5	ÇK	BI	ÇK	BI	I	ÇI

Çizelge B.4: Karar verici 4'ün dilsel değerlendirmesi

KV 4	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	ÇK	O	ÇK	O	BI	I
E2	ÇK	O	ÇK	O	BI	I
E3	ÇK	O	ÇK	O	BI	I
M1	ÇI	I	ÇI	BI	O	BK
M2	ÇI	I	ÇI	BI	O	BK
M3	ÇI	I	ÇI	BI	O	K
M4	ÇK	K	ÇK	BK	O	I
G1	ÇK	BK	ÇK	O	BI	ÇI
G2	ÇK	BK	ÇK	O	BI	ÇI
G3	K	BK	K	O	BI	ÇI
G4	ÇK	BK	ÇK	O	BI	ÇI
U1	ÇI	I	ÇI	BI	O	K
U2	ÇI	BK	ÇI	BK	BK	ÇK
U3	ÇI	BK	ÇI	BK	BK	ÇK
U4	ÇK	O	ÇK	BI	BI	ÇI
K1	ÇK	BI	ÇK	BK	BI	I
K2	ÇK	ÇI	ÇK	ÇI	ÇI	ÇI
K3	ÇK	ÇI	ÇK	ÇI	ÇI	ÇI
K4	ÇK	BI	ÇK	O	O	ÇI
K5	ÇK	BI	ÇK	O	O	ÇI

Çizelge B.5: Karar verici 5'in dilsel değerlendirmesi

KV 5	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	ÇK	BI	ÇK	O	BI	ÇI
E2	ÇK	I	ÇK	BI	BI	ÇI
E3	ÇK	I	ÇK	I	I	I
M1	I	BK	I	I	ÇI	K
M2	I	BI	ÇI	ÇI	ÇI	ÇI
M3	I	BI	I	O	BI	I
M4	K	BK	K	O	BI	ÇI
G1	ÇK	K	ÇK	BI	I	I
G2	K	I	BK	I	BI	I
G3	K	O	K	O	I	ÇI
G4	BK	BI	BK	BI	I	BI
U1	ÇI	BI	ÇI	O	BK	BK
U2	ÇI	BI	ÇI	BI	K	ÇK
U3	I	K	ÇI	BK	ÇK	K
U4	BK	I	BK	I	I	BI
K1	ÇK	BI	ÇK	O	I	I
K2	ÇK	BK	ÇK	BK	BI	BK
K3	ÇK	BI	ÇK	O	ÇI	ÇI
K4	K	I	ÇK	I	BI	ÇI
K5	ÇK	BI	ÇK	BI	I	I

Çizelge B.6: Karar verici 6'nın dilsel değerlendirmesi

KV 6	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	ÇK	BK	ÇK	O	BI	ÇI
E2	ÇK	BK	ÇK	O	BI	ÇI
E3	ÇK	BK	ÇK	O	BI	ÇI
M1	I	BI	ÇI	O	O	K
M2	I	O	ÇI	BK	ÇK	BK
M3	BI	BI	BI	O	BK	O
M4	K	O	BK	BI	I	ÇI
G1	ÇK	O	K	O	I	ÇI
G2	K	I	BK	O	ÇI	ÇI
G3	K	O	K	BI	BI	ÇI
G4	O	O	K	O	BI	ÇI
U1	ÇI	BK	I	BK	BI	K
U2	I	O	I	O	O	ÇK
U3	ÇI	O	BI	O	BK	BK
U4	ÇK	BI	ÇK	BK	BK	BK
K1	K	O	K	BK	O	O
K2	ÇK	O	BK	O	BK	I
K3	K	O	K	O	BI	BI
K4	K	O	K	O	BI	I
K5	K	BI	K	BI	BI	I

Çizelge B.7: Karar verici 7'nin dilsel değerlendirmesi

KV 7	DB	PB	FB	DDB	KB	GMB
E1	K	BK	ÇK	BK	BI	BI
E2	ÇK	BK	K	BK	BI	I
E3	ÇK	BK	K	BK	BI	BI
M1	ÇI	ÇK	I	O	K	BK
M2	ÇI	ÇK	BI	O	BK	O
M3	ÇI	BI	ÇI	O	ÇK	BK
M4	ÇK	I	K	BI	BI	BI
G1	K	O	BK	BI	BI	O
G2	ÇK	BK	K	O	O	I
G3	ÇK	BI	ÇK	BI	ÇI	I
G4	I	ÇI	BI	BK	K	O
U1	K	I	K	BI	BI	BK
U2	ÇI	BI	I	BI	BK	K
U3	I	BI	BI	O	BK	ÇK
U4	ÇK	O	K	BK	O	I
K1	ÇK	I	K	BK	BI	O
K2	ÇK	I	K	BK	O	BK
K3	K	BI	K	I	ÇI	BI
K4	ÇK	BK	K	BK	BI	BI
K5	ÇK	O	K	O	BI	BI