



Open Access Journal
e-ISSN: 2619 – 8991

Araştırma Makalesi (Research Article)

Cilt 8 - Sayı 3: 660-671 / Mayıs 2025
(Volume 8 - Issue 3: 660-671 / May 2025)

BÜTÜNLEŞİK AHP VE K-ORTALAMA KÜMELEME TABANLI YEDEK PARÇA TALEP TAHMİNİ: SAĞLIK EKİPMANLARI ALANINDA BİR UYGULAMA

Doğukan İlbey SÜSLÜ¹, Kumru Didem ATALAY^{1*}, Tusan DERYA¹

¹Başkent University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 06730, Ankara, Türkiye

Özet: Bu çalışmada, uluslararası pazarda manyetik rezonans cihazlarının yedek parça taleplerini daha doğru tahmin edebilmek için bütünsel bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntem üç temel bileşenden oluşmaktadır: En önemli kriterin belirlenmesi için çok kriterli karar verme, benzer talep özelliklerine göre ülkelerin gruplandırılması için kümeleme ve her bir küme için talep tahmini yapmak amacıyla regresyon teknikleri kullanılmıştır. İlk olarak, Analitik Hiyerarşi Süreci ile yedek parça taleplerini etkileyen kriterlerin göreceli ağırlıkları hesaplanmış ve en önemli kriter seçilmiştir. Daha sonra, K-ortalama kümeleme algoritması kullanılarak ülkeler bu kriterlere göre benzer taleplere sahip gruplara ayrılmıştır. Her bir küme için özelleştirilmiş regresyon modelleri oluşturularak talep tahminleri gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, özellikle yerel üretim tesisi bulunmayan ülkelerde yedek parça tedarik süreçlerinin iyileştirilmesini ve talep tahmin doğruluğunun artırılmasını sağlamaktadır. Çalışmanın bulguları, küme bazlı talep tahmini yaklaşımının stok yönetimi ve tedarik zinciri süreçlerinde verimliliği artırabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, geliştirilen model, sağlık sektöründe yüksek maliyetli manyetik rezonans cihazlarının bakım ve onarım süreçlerini iyileştirmekte ve yedek parça tedarik zincirinin daha etkin yönetilmesini sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Yedek parça talep tahmini, Analitik hiyerarşi süreci, K-ortalama kümeleme

Integrated Use of AHP and K-means Clustering Methods for Spare Part Demand Forecasting: An Application in Healthcare Equipment

Abstract: In this study, an integrated approach has been developed to improve the accuracy of spare parts demand forecasting for magnetic resonance imaging devices in the international market. The proposed method consists of three main components: multi-criteria decision-making to determine the most critical criterion, clustering to group countries based on similar demand characteristics, and regression techniques to forecast demand for each cluster. First, the Analytic Hierarchy Process is employed to calculate the relative weights of the criteria influencing spare parts demand, and the most significant criterion is selected. Then, the K-means clustering algorithm is applied to categorize countries into groups based on this criterion. Customized regression models are developed for each cluster to enhance demand forecasting accuracy. The proposed approach improves spare parts supply processes, particularly in countries without local manufacturing facilities, and enhances forecast accuracy. The findings indicate that a cluster-based demand forecasting approach can increase efficiency in inventory management and supply chain operations. In conclusion, the developed model contributes significantly to optimizing the maintenance and repair processes of high-cost magnetic resonance imaging devices in the healthcare sector and improving the management of the spare parts supply chain.

Keywords: Spare part demand forecasting, Analytic hierarchy process, K-means clustering

*Corresponding author: Başkent University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 06730, Ankara, Türkiye

E mail: katalay@baskent.edu.tr (K. D. ATALAY)

Doğukan İlbey SÜSLÜ  <https://orcid.org/0009-0004-8947-0953>

Kumru Didem ATALAY  <https://orcid.org/0000-0002-9021-3565>

Tusan DERYA  <https://orcid.org/0000-0002-2851-4463>

Gönderi: 5 Şubat 2025

Kabul: 15 Mart 2025

Yayınlanma: 15 Mayıs 2025

Received: February 5, 2025

Accepted: March 15, 2025

Published: May 15, 2025

Cite as: Süslü Dİ, Atalay KD, Derya T. 2025. Integrated use of AHP and k-means clustering methods for spare part demand forecasting: An application in healthcare equipment. BSJ Eng Sci, 8(3): 660-671.

1. Giriş

Küresel sağlık sektörü, teknolojinin hızla gelişmesi ve sağlık hizmetlerine olan talebin artmasıyla birlikte önemli dönüşümler geçirmektedir. Bu dönüşümde, medikal cihazların en kritik unsurlardan biri olarak öne çıktığı söylenebilir. Özellikle manyetik rezonans görüntüleme (MRG) cihazları, hastaneler için yüksek maliyetli ancak bir o kadar da hayati öneme sahip ekipmanlardır. Bu cihazlar, genellikle uzun ömürlü ve bakım gerektiren ürünler olmalarına rağmen, yedek parça temini ve bakım yönetimi gibi operasyonel

süreçlerin doğru yönetilmesi, cihazların çalışma sürekliliğini sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır (Porter ve Teisberg, 2006; Topol, 2019). Ancak, küresel pazar dinamiklerinin farklılık göstermesi, her bir ülkenin sağlık altyapısı, ekonomik düzeyleri ve demografik yapıları gibi değişkenlere bağlı olarak MRG cihazlarına olan talepler farklılaşmaktadır. Aynı zamanda bu cihazlarda oluşan arızalanmalar sonucunda cihazların kullanılabilirliğini sağlamak ve devam ettirmek açısından gerekli olan süreçler de farklılık göstermektedir. Bu aşamada, yedek parça tedarikinde yaşanan zorluklar ve bakım süreçlerinin uzaması, sağlık sektöründeki işleyişi



doğrudan etkileyen ve ciddi operasyonel aksaklıklara yol açabilen unsurlar haline gelmiştir.

MRG cihazları üreten işletmelerin her ülkede fabrikalarının olmaması, tedarik zincirinde büyük sıkıntılara yol açmaktadır. Yedek parça temininde yaşanan bu zorluklar, tamir ve bakım süreçlerinin uzamasına sebep olmakta ve bu da hastanelerin ve sağlık kurumlarının kesintisiz sağlık hizmeti verme kapasitesini tehdit etmektedir. Cihazların arızalanması ve bakım gereksinimlerinin hızla karşılanamaması, hasta tedavi süreçlerinin aksamasına yol açabilir, bu da hem hasta güvenliğini hem de sağlık hizmetlerinin kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sağlık sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamak için, cihazların çalışma sürekliliği sağlanmalı ve bakım süreçleri zamanında tamamlanmalıdır.

MRG üretimi gerçekleştiremeyen ülkelerde, cihazın tedarik edilmesi farklı bir ülke tarafından karşılanmaktadır. Cihazın kullanımı esnasında meydana gelen arızalanmalar durumunda, yedek parça temini konusunda yaşanan sıkıntılar, stok yönetimi ve yedek parça stoku konusunda başka önemli operasyonel zorlukları beraberinde getirmektedir. Gereğinden fazla yedek parça stoku bulundurmamak, sadece stok maliyetlerini artırmakla kalmaz, aynı zamanda parça yönetimini karmaşıktırabilir. Lojistik, depolama ve envanter yönetimi gibi unsurlar da bu süreçlere dahil olduğunda, gereksiz stoklar, işletmenin operasyonel verimliliğini düşürür ve nakit akışını olumsuz yönde etkiler. Bunun yanında, arızalanan parçaların sayısının ve türünün öngörüsünün yapılmaması sonucu oluşan fazla stok, parçaların zamanında tedarik edilmesi ve en iyi envanter seviyelerinin korunması için ciddi zorluklar yaratabilir (Chopra ve Meindl, 2020).

Bu bağlamda, onarım için ihtiyaç duyulan parçaların ileriye yönelik tahminlerinin yapılması, yedek parça tedarik zincirini daha etkin bir şekilde yönetebilmek için kritik öneme sahiptir. Tahminlerin yapılmadan önce tahmini etkileyen kriterlerin seçilmesi aşamasında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinin uygulanması ve bu kriterler doğrultusunda benzerlik gösteren ülkelerin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayan kümeleme algoritmaları ile birleştirilmesi daha doğru ve sağlam öngörülerin yapılmasına olanak sağlayacaktır. Küresel pazarda faaliyet gösteren firmaların karşılaştığı zorluklardan biri de, her ülkenin kendine özgü sağlık dinamiklerine ve ekonomik koşullarına dayalı olarak cihaz ve yedek parça taleplerini doğru bir şekilde öngörmektir (Porter ve Teisberg, 2006). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) gibi ÇKKV yöntemleri, farklı kriterlerin göreceli önemini belirlemek ve tahminlerin yapılması aşamasında etkili olduğu düşünülen en uygun kriter setini seçmek açısından güçlü bir araç sunmaktadır (Saaty, 1980). Aynı zamanda, K-ortalama kümeleme algoritması, verilerin doğasında bulunan benzerliklere dayalı olarak ülkelerin kümelenebilmesine olanak tanır. Bu kümeleme işlemi, ülkelerin belirli özelliklerine göre homojen gruplar oluşturulmasını sağlayarak, tahminlerin bu gruplar bazında yapılmasına ve tahmin doğruluğunun

artırılmasına olanak tanımaktadır (Jain, 2010).

Bu çalışmada, AHP ve K-ortalama kümeleme yöntemleri bütünleşik bir yaklaşımla kullanılmıştır. İlk olarak, AHP yöntemi ile yedek parça talebini etkileyen kriterler önem derecelerine göre sıralanmış ve en önemli kriter belirlenmiştir. Daha sonra, bu kriter doğrultusunda ülkeler, benzer talep özelliklerine göre K-ortalama kümeleme yöntemi ile gruplandırılmıştır. MRG cihazlarının yedek parça taleplerinde ülkeler arasındaki yapısal ve kullanım farklılıklarını dikkate almak amacıyla, bu farklılıklara neden olan faktörler AHP yöntemi ile analiz edilmiştir. Ardından, en belirleyici kriter bazında ülkeler sınıflandırılmış ve her küme için özelleştirilmiş regresyon modelleri oluşturulmuştur. Çalışmanın bulguları, seçilen kriter doğrultusunda oluşturulan kümelere özgü regresyon modellerinin geliştirilmesi ve tartışılmasının literatüre katkı sağlayacağını göstermektedir. Önerilen yaklaşım, farklı pazarlarda yedek parça taleplerinin daha doğru tahmin edilmesine ve tahmin modellerinin yerelleştirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, işletmelerin yedek parça temini ve cihaz bakım süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetmelerine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın temel katkısı, küresel sağlık teknolojisi pazarındaki talep tahmini süreçlerini daha sağlam bir bilimsel temele oturtmak ve operasyonel yönetim için daha özelleştirilmiş bir yaklaşım sunmaktır. AHP ile kriterlerin önem derecelerinin hesaplanması, K-ortalama kümeleme algoritması ile bu kriterler temelinde ülkelerin gruplandırılması ve her bir küme için özel regresyon modellerinin geliştirilmesi, sağlık sektörü işletmelerine önemli stratejik avantajlar sağlayacaktır. Ayrıca, ÇKKV yöntemlerinin, kümeleme algoritmalarının ve regresyon modellerinin bütünleşik kullanımının küresel sağlık teknolojisi pazarında etkin bir şekilde uygulanabileceğine dair bir yol haritası sunmayı amaçlamaktadır.

Belirtilen teorik temellerin yanı sıra, bu çalışmada geliştirilen modelin etkinliğini ve doğruluğunu değerlendirmek amacıyla uygulamalı bir vaka analizi sunulacaktır. Bu analiz, modelin küresel pazar dinamiklerine nasıl uyum sağladığını ve isabetli tahminler yaparak yedek parça yönetimi süreçlerine nasıl katkı sunduğunu ortaya koyacaktır. Tahmin sürecinde kullanılan regresyon modellerinin performansı, hata kareler ortalaması ölçütü ile değerlendirilmiş ve kümeleme yönteminin uygulanmasının tahmin doğruluğunu artırdığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, sağlık teknolojileri pazarında isabetli tahminlerin ve etkin operasyonel stratejilerin nasıl geliştirilebileceğini ortaya koyarak literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Küresel pazarlarda faaliyet gösteren sağlık sektörü işletmelerinin, bu tür bütünleşik yaklaşımlar sayesinde yedek parça temini, talep tahmini ve bakım yönetimi süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetmeleri beklenmektedir.

Bu makalede ikinci bölümde sunulan Literatür Taramasında, yedek parça talep tahminleri ve sağlık

sektöründeki tedarik zinciri yönetimi konularındaki mevcut araştırmalar incelenecek ve bu çalışmanın literatürdeki boşlukları nasıl doldurduğu tartışılacaktır. Materyal ve Yöntem bölümünde ise, bu çalışmada kullanılan AHP ve K-ortalama kümeleme yöntemlerinin detaylı açıklamaları yapılacaktır; AHP ile kriterlerin nasıl belirlendiği ve K-ortalama algoritması ile ülkelerin nasıl kümelendiği anlatılacaktır. Uygulama bölümünde, modelin uygulamaları ve elde edilen sonuçlar sunulacak, her bir küme için yapılan talep tahminlerinin doğruluğu değerlendirilecektir. Son olarak, Sonuç bölümünde, araştırmanın genel sonuçları özetlenecek ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulacaktır.

2. Literatür Taraması

Bu bölümde, öncelikle yedek parça talep tahmini, AHP ve K-ortalama algoritmalarına yönelik yapılan çalışmalar incelenecek; ardından ise çok kriterli karar verme (ÇKKV) ve kümeleme yöntemlerinin bir arada kullanıldığı çalışmalar detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

Yedek parça stokları, müşteriye satılmak üzere olan ara veya nihai ürünler değildir. Bu nedenle, yedek parça stoklarını yönetmeye yönelik politikalar, işlemdeki ve diğer stokları yönetme politikalarından farklıdır. Kennedy vd. (2002), yedek parça stokları üzerine yapılan çalışmalara güncellemeler getirerek, bu konuyla ilgili geleceğe yönelik öngörülerini paylaşmışlardır. Yedek parça stoklarının benzersiz özellikleri tartışıldıktan sonra, yönetim sorunları, yaşa dayalı değiştirme, çok katmanlı (multi-echelon) problemler, eskiyen parça sorunları, onarılabilir yedek parçalar ve özel uygulamalarla ilgili yapılan çalışmalara dair kapsamlı bir derleme makalesi sunmuşlardır. Bacchetti ve Saccani (2012) çalışmasında, yedek parça yönetiminde akademik araştırmalar ile sektörel uygulamalar arasındaki farkları incelemişlerdir. Literatürdeki yedek parça sınıflandırması ve talep tahmini üzerine yapılan teorik katkılar, on farklı vaka çalışmasıyla değerlendirilmiş ve bu farkların nedenleri analiz edilmiştir. Yedek parça talep tahmini literatüründe, talepler genellikle düzensiz aralıklarla ortaya çıkan olaylar olarak ele alınmaktadır. Ancak, geleneksel yöntemlerle yapılan talep tahminleri çoğunlukla talebi etkileyen temel faktörleri dikkate almamaktadır. Bu bağlamda, Van der Auweraer vd. (2019) çalışmasında, yedek parça talebinin makinelerin kurulu sistem tabanına bağlı olduğunu ve bu bilgilerin tahmin süreçlerinde nasıl kullanılabileceğini incelemişlerdir. Çalışmada, yedek parça talebinin, makinelerdeki parça değişimlerinden kaynaklandığı ve bu değişimlerin önleyici bakım ya da arıza sonrası müdahalelerle gerçekleştiği vurgulanmaktadır. Topan vd. (2020), operasyonel yedek parça planlaması üzerine bir inceleme yapmışlardır. Şirket anketlerinden elde edilen verilerle, uygulamada karşılaşılan sorunlar, zorluklar ve ihtiyaçlar belirlenmiş, ayrıca operasyonel kararlar için bir sınıflandırma çerçevesi önerilmiştir. Çalışmada, gelecekteki araştırma alanları da belirlenmiş olup, bu alanlar arasında hizmet seviyesi anlaşmalarının entegrasyonu, istifade mesajlarının yönetimi, planların

entegrasyonu ve bütünsel müdahale seçim yaklaşımlarının geliştirilmesi yer almaktadır. Pinçe vd. (2021), mevcut literatürdeki yedek parça talep tahmin yöntemlerini eleştirel bir bakış açısıyla gözden geçirmiş ve nicel bir analiz sunmuşlardır. İlk olarak, literatürdeki farklı araştırma akımlarının zaman içinde nasıl geliştiği açıklanmış ve her bir akım ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Mevcut çalışmalardan elde edilen verilerle yaptıkları analize dayalı olarak, hangi tahmin yöntemlerinin ne zaman ve neden tercih edilmesi gerektiğine dair detaylı bilgiler sunmuşlardır. Yedek parça temini, orijinal ekipman üreticileri için, ürünlerinin satış sonrası bakım ve onarım hizmetlerini desteklemek adına kritik öneme sahiptir. Bhalla vd. (2021) çalışmasında, önceki araştırmaların, uygulayıcılara etkili yedek parça yönetim sistemlerinin geliştirilmesi konusunda yeterli kılavuzluk sunmadığını belirterek, yakın zamandaki çalışmaların bu eksiklikleri ne ölçüde giderdiğini değerlendirmişlerdir. Mevcut yedek parça yönetimi araştırmalarının çoğunun varlık ya da ekipman sahiplerinin perspektifinden yapıldığı, ancak orijinal ekipman üreticileri (üreticiler ve tedarikçiler) açısından yapılan vaka çalışmalarının sayısının daha az olduğu ifade edilmiştir.

Liberatore ve Nydick (2008) çalışmasında, tıp ve sağlık hizmetlerinde AHP uygulamalarını incelemişlerdir. İncelenen 50 makale, tanı, hasta katılımı, tedavi, organ nakli, proje ve teknoloji değerlendirmesi, insan kaynakları planlaması ve sağlık hizmetleri değerlendirmesi gibi yedi ana kategoriye ayrılmıştır. AHP, hasta-doktor ortak kararları, tedavi seçimleri ve sağlık teknolojileri ile politikalarının değerlendirilmesinde umut verici bir destek aracı olarak öne çıkmaktadır. Ho (2008), son 20 yılda AHP'nin entegrasyonuna odaklanan uygulamaları incelemişlerdir. AHP'nin matematiksel programlama, kalite fonksiyonu göçerimi, meta-sezgisel algoritmalar, SWOT analizi ve veri zarflama analizi gibi beş farklı araçla entegrasyonu üzerine yapılan çalışmaları değerlendirmişlerdir. 1997-2006 yılları arasında yayımlanan makaleler incelenerek, bütünsel AHP uygulamalarına hangi alanlarda daha fazla ilgi gösterildiği ve mevcut yaklaşımların eksiklikleri belirlenmiştir. Çalışmalarında, bütünsel AHP'nin bağımsız AHP'ye kıyasla daha üstün olduğunu ve bu yöntemlerin etkili bir şekilde uygulanmasına yönelik öneriler sunduklarını ortaya koymuşlardır. Ishizaka ve Labib (2011) çalışmasında, AHP'nin başlangıcından bu yana kaydedilen gelişmeleri detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Makalenin odak noktası, AHP'nin metodolojik gelişmelerine tarafsız bir bakış sunmak olup, uygulamalara dair herhangi bir değerlendirme yapmamışlardır. Yazarlar, AHP'nin çeşitli önemli alanlarını ele almışlardır. Bu alanlar arasında problem modelleme, ikili karşılaştırmalar, yargı ölçekleri, üretim yöntemleri, tutarlılık endeksleri, eksik matrisler, ağırlıkların sentezi, hassasiyet analizi ve grup kararları yer almaktadır. Subramanian ve Ramanathan (2012) çalışmasında, operasyon yönetiminde AHP uygulamalarını incelemişler ve araştırmacılar ile

uygulayıcılar açısından potansiyel araştırma boşluklarını ortaya koymuşlardır. 1990-2009 yılları arasındaki 291 hakemli dergide yayımlanan literatür, sistematik bir şekilde kategorize edilmiştir. Yapılan analiz, AHP'nin hem nicel hem de nitel faktörlerin dikkate alındığı problemlerde, özellikle makro düzeyde ve yönetsel kararlar için yaygın bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Ürün ve süreç tasarımı ile tedarik zinciri yönetimi, en çok ele alınan karar konuları arasında yer almaktadır. Ayrıca, AHP'nin öngörü, tesis yerleşimi ve stok yönetimi gibi alanlarda daha fazla araştırma yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Zyoud ve Fuchs-Hanusch (2017), AHP ve TOPSIS yöntemlerinin uygulamalarıyla ilgili yapılan araştırmaları içeren bir derleme makalesi sunmuşlardır. Tedavi zinciri yönetimi ve sürdürülebilirlik gibi alanlar, bu yöntemlerin aktif olarak kullanıldığı başlıca alanlar çıkmıştır. Liu vd. (2020), AHP'nin, öznel yargıların belirsiz olabileceği durumlarda bulanık küme teorisiyle entegrasyonunu incelemişlerdir. Çeşitli bulanık AHP tekniklerini dört ana başlık altında sınıflandırmışlardır: Bunlar, karşılaştırmalar için göreceli önemin temsil edilmesi, grup kararları için bulanık kümelerin birleştirilmesi, bulanık kümenin net değere dönüştürülmesi ve yargıların tutarlılığının ölçülmesidir. Ashour ve Mahdiyar (2024), AHP yöntemine yapılan eklemeler ve iyileştirmeleri incelemişlerdir. Bu çalışma, 2010-2023 yılları arasında yayımlanan birleşik ve modifiye edilmiş AHP yöntemlerini üç ana kategoriye ayırmıştır: Bunlar, tutarlılık iyileştirmeleri, zorlukların azaltılması ve sonuç doğruluğunun artırılmasıdır.

Literatürdeki çalışmalarda, K-ortalama algoritmasının hızlı ve etkili bir yöntem olmasına rağmen, başlangıç merkezlerinin belirlenmesi ve optimum küme sayısının seçimi gibi problemlerin önemli bir araştırma konusu olduğu vurgulanmaktadır. Lund ve Ma (2021), kümeleme analiz tekniklerini ve bu tekniklerin kütüphane ve bilgi bilimi araştırmalarındaki kullanımını incelemişlerdir. Özellikle, K-ortalama ve K-medoids kümeleme yöntemlerinin bu alandaki uygulamalarını detaylandırmış ve bu tekniklerin araştırma süreçlerinde nasıl faydalı olabileceğini ele almışlardır. Ezugwu vd. (2022), veri madenciliği araştırmalarında ve uygulamalarında kümelemenin önemli bir araç olduğunu vurgulamışlardır. Geleneksel kümeleme algoritmalarının sınırlamalarına ve yüksek boyutlu veri kümeleriyle başa çıkma zorluklarına dikkat çekmiş ve aynı zamanda daha esnek ve verimli kümeleme tekniklerinin geliştirilmesine yönelik yapılan son araştırmaları incelemişlerdir. Kümeleme tekniklerinin eğitim, pazarlama, tıp, biyoloji ve biyoinformatik gibi farklı alanlardaki kullanımına dair pratik bir bakış açısı sunan bu inceleme, büyük veri, yapay zekâ ve robotik gibi disiplinlerdeki kümeleme uygulamalarını da ele almaktadır.

Son yıllarda, ÇKKV yöntemlerinin ve kümeleme algoritmalarının birleşimi, karmaşık karar destek sistemlerinde önemli bir yer tutmaktadır. ÇKKV, karar vericilerin çeşitli kriterler doğrultusunda en iyi alternatifleri seçmelerine yardımcı olan bir yöntemler

bütünü olarak tanımlanırken, kümeleme algoritmaları veri setlerinden benzerliklere dayalı gruplamalar yaparak veri yapılarının daha iyi anlaşılmasını sağlar. Her iki yaklaşımın entegrasyonu, özellikle belirsizlik ve farklılaştırılmış karar alternatiflerinin bulunduğu durumlarda önemli avantajlar sunmaktadır. Literatürde, ÇKKV ve kümeleme yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çeşitli uygulamalara yer verilmektedir. Bottani ve Rizzi (2008), tedarik süreçlerini iyileştirmek amacıyla en uygun tedarikçi/ürün ikilisi seçimi için yapılandırılmış bir yaklaşım önermişlerdir. Alternatiflerin sayısını azaltmak amacıyla, yaklaşım kümeleme analizi ve ÇKKV yöntemlerinin birleşimini kullanmaktadır. Crispim ve Sousa (2009), sanal işletmelerde partner seçiminde, ÇKKV ve kümeleme yöntemlerinin birleşimini içeren bir yaklaşım önermişlerdir. Karar verici, en uygun partnerleri belirlemek amacıyla kümeleme analizi kullanarak alternatifleri gruplandırmış ve ardından çok hedefli tabu arama meta-sezgisel algoritması ile bulanık TOPSIS algoritmasını kullanarak en iyi seçenekleri sıralamıştır. Keskin vd. (2010), tedarikçi seçim sürecini iyileştirmek için bulanık uyarlanabilir rezonans teorisi (Fuzzy ART) tabanlı bir yöntem önermişlerdir. ÇKKV sürecinde, tedarikçiler belirli kriterlere göre değerlendirilmiş ve ardından Fuzzy ART kullanılarak kümelendirilmiştir. Maghsoodi vd. (2018), tedarikçi seçim problemlerini ele almak için ÇKKV ve kümeleme yöntemlerinin birleştirildiği yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım, büyük veriye dayalı yapısal girdi ile tedarikçi seçim problemini çözmek için pratik bir yöntem sunmaktadır. Barak ve Mokfi (2019), kümeleme yöntemlerinin değerlendirilmesi ve sıralanması için ÇKKV tabanlı bir çerçeve önermişlerdir. Bu yaklaşım, farklı veri setlerinde kümeleme modellerinin karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla üç grup ÇKKV algoritmasını birleştirmiştir. Ayrıca, parçacık sürüşü optimizasyonu ve K-ortalama kümeleme algoritmasını birleştiren melez bir kümeleme algoritması sunulmuştur. Maghsoodi vd. (2020), kümeleme analizi ve ÇKKV yöntemlerini birleştirerek büyük veri problemlerini çözmek için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yöntem, çok sayıda alternatifin ve karmaşık değerlendirme kriterlerinin bulunduğu personel seçimi ve risk değerlendirme problemleri gibi büyük veri sorunlarını çözmek için kullanılmıştır. Sironen vd. (2020), ÇKKV yöntemleri ve kümeleme analizini kullanarak karar vericilerin önceliklerini yansıtan sağlam bir karar hiyerarşisi oluşturmayı amaçlamışlardır. AHP ile başlayan yöntem, alt kriterler arasındaki korelasyonları dikkate alarak yeni bir karar hiyerarşisi önermektedir. Chaudhuri vd. (2021), eklemeli imalat için uygun yedek parçaların belirlenmesi amacıyla ÇKKV ve kümeleme analizi yöntemlerini birleştiren bir süreç geliştirmişlerdir. ÇKKV, farklı kriterler üzerinden yedek parçaların değerlendirilmesini sağlarken, kümeleme analizi parçaların benzerliklerine göre gruplandırılmasını ve doğru seçimin yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Sharifi vd. (2022), serbest form enjeksiyon kalıplama ile üretilebilecek parçaların belirlenmesi için iki yöntem

önermişlerdir. Kümeleme analizi ile benzer parçalar sınıflandırılmış, ardından ÇKKV yöntemleriyle bu kümeler sıralanmıştır. Li vd. (2021), havaalanı kapı atama performans göstergelerinin seçiminde ÇKKV ve kümeleme yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. İlk olarak, bulanık AHP ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, ardından bulanık-olasılıklı c-ortalama algoritması ile göstergeler kümelendirilmiştir. Wu vd. (2021), enerji depolama teknolojilerinin optimal planlamasını yapmayı amaçlamışlardır. Farklı talep senaryoları için teknolojik ve uygulama koşullarını incelemek amacıyla kümeleme analizini kullanmışlar ve ardından üç aşamalı bir ÇKKV çerçevesi geliştirmişlerdir. Bu çerçeve, aralık bulanık sayılarla ve PROMETHEE-II modeliyle entegrasyon sağlamıştır. Kang ve Pang (2022), şehirlerin kentsel lojistik rekabet gücünü değerlendirmek amacıyla ÇKKV yöntemi olarak entropi ağırlıklı TODIM metodu ve K-ortalama kümeleme yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. TODIM metodu, şehirlerin lojistik rekabet gücünü belirlemek için uygulanmış ve ardından K-ortalama kümeleme ile şehirler gruplandırılmıştır. Bait vd. (2022), Afrika'da yer seçimi kararlarını desteklemek için AHP ve TOPSIS yöntemleri ile K-ortalama kümeleme analizini birleştirmişlerdir. Yöntem, risk değerlendirmesi ve boşluk analizini içeren bir yaklaşım sunarak, yatırımcıların en uygun yer seçimlerini yapmalarını sağlamaktadır. Coşkun vd. (2022), tedarikçi değerlendirmesi ve geliştirilmesi için Entegre Sürdürülebilir Tedarikçi Değerlendirme ve Gelişim Çerçevesi (ISSED-F) geliştirmişlerdir. ISSED-F, Analitik Ağ Süreci, PROMETHEE ve kümeleme analizini birleştirerek tedarikçilerin sürdürülebilirlik kriterlerine göre değerlendirilmesini ve geliştirilmesini sağlamışlardır.

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, ÇKKV ve kümeleme yöntemleri bir arada kullanılarak daha doğru tahminler üreten regresyon modelleri oluşturulması amaçlanmıştır. Önerilen bütünleşik yöntem, AHP, K-ortalama kümeleme ve regresyon modelleri olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. AHP yöntemi, yedek parça taleplerini etkileyen kriterlerin görece önem derecelerini belirlemek için kullanılmıştır. K-ortalama algoritması ise ağırlığı en yüksek olan kriter bazında ülkeleri kümeleyerek, her küme için farklı regresyon modelleri oluşturulmasını sağlamıştır. Bu regresyon modelleri, yedek parça talep tahminlerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır. AHP ve K-ortalama kümeleme yöntemlerinin birlikte kullanımı, yedek parça talep tahminlerinin daha doğru ve verimli bir şekilde yapılmasına olanak tanımaktadır. Alt bölümlerde, kullanılan yöntemler açıklanmış ve izlenen adımlar sunulmuştur.

3.1. AHP Yöntemi

AHP, ÇKKV problemlerinde, bir dizi alternatifin ve kriterin karşılaştırılmasıyla kararlar alınmasına yardımcı olan bir yöntemdir. AHP, Thomas Saaty tarafından geliştirilen ve karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. AHP'nin ilk kez tanımlandığı

kaynak 1972 yılına dayanmaktadır (Saaty, 1972). Bu yöntem, 1977 yılında Journal of Mathematical Psychology dergisinde daha ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır (Saaty, 1977).

AHP, karmaşık problemlerde, her bir kriterin görece önem derecelerinin ve alternatiflerin değerlendirilmesinin sistematik bir şekilde yapılmasını sağlar. AHP'nin temel amacı, her bir kriterin karar verme sürecindeki önem derecesini belirlemek ve bu kriterlerin önem derecelerine bağlı olarak alternatiflerin sıralanmasına olanak sağlar. AHP'nin genel uygulama adımları aşağıda özetlenmiştir.

Adım 1: Kriterleri Belirle

AHP yönteminde kriterlerin belirlenmesi aşaması, karar verme sürecinin temelini oluşturur. Bu aşama, kararın hedefi doğrultusunda hangi kriterlerin dikkate alınacağı ve bu kriterlerin nasıl değerlendirilmesi gerektiği konusunda çok önemli bir rol oynar. Kriterlerin doğru şekilde belirlenmesi, doğru kararlar alınmasını sağlar. Bu kriterlerin görece önem derecelerini belirlemek için ikili karşılaştırma matrisinden faydalanılır.

Adım 2: Karşılaştırma Matrisini Oluştur

AHP yönteminde, karşılaştırma matrisinin oluşturulması aşaması, kriterlerin görece önem derecelerini belirlemek ve bu kriterlerin her birini birbiriyle karşılaştırmak için kritik bir adımdır. Bu aşama, karar verme sürecindeki tutarlılığı sağlamak ve daha sonraki aşamalarda ağırlıkların hesaplanabilmesi için temel bir yapı oluşturur. Karar vericiler tarafından kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yaparak bir karşılaştırma matrisi oluşturulur. Her bir kriter, diğer kriterlerle karşılaştırılarak, hangi kriterin daha önemli olduğu belirlenir. Bu karşılaştırmalar, Tablo 1 ile verilen Saaty'nin önerdiği 1-9 ölçeğine göre yapılır.

Tablo 1. Saaty 1-9 ölçeği

Ölçek	Tanım
1	Eşit önemde
3	Bir kriter diğerinden daha önemli
5	Bir kriter diğerinden çok daha önemli
7	Bir kriter diğerinden çok daha fazla önemli
9	Bir kriter diğerinden son derece daha önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

n adet kriter sayısına sahip karşılaştırma matrisi A , eşitlik 1 ile verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Eş.(1)'de, a_{ij} elemanı, i . kriterin j . kriter ile karşılaştırılmasındaki görece önemi gösterir. Bu elemanlar, karar vericilerin sağladığı karşılaştırmalara dayalıdır. $a_{ji} = 1/a_{ij}$ özelliğine karşılık olma özelliği denir.

Adım 3: Normalize edilmiş karşılaştırma matrisini oluştur.

Karşılaştırma matrisinde, n kriter için, j . sütundaki elemanların toplamı eşitlik 2 ile bulunur.

$$S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

Eş (1) ile verilen karşılaştırma matrisinin elemanları a_{ij} 'ler, j . sütunun toplamı olan S_j değerine bölünerek normalize matris oluşturulur. Normalize matrisin elemanları olan a'_{ij} 'ler eşitlik 3 ile hesaplanır.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j} \quad (3)$$

Normalizasyon işlemi, matrisin her sütunundaki tüm değerleri 1'e indirger ve her bir elemanın göreceli önemini eşitlemeye yardımcı olur.

Adım 4. Kriter ağırlıklarını hesapla

Normalize edilmiş matrisin her satırındaki ortalama alınarak, i . kriterin ağırlığı olan w_i , $i = 1, \dots, n$ eşitlik 4 ile hesaplanır. Bu ağırlıklar, kriterlerin göreceli önem derecelerini yansıtır.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a'_{ij}, i = 1, \dots, n \quad (4)$$

Adım 5: Tutarlılık Oranı Hesapla

AHP yönteminin doğruluğunu sağlamak için, karşılaştırma matrisinin tutarlı olması gerekmektedir. Tutarlılık, karşılaştırmalarda mantıklı bir sıralama yapıldığını ve hatalı bir değerlendirme yapılmadığını gösterir. AHP'de tutarlılık oranı CR (Consistency Ratio) ile değerlendirilir. Tutarlılık oranı, karşılaştırma matrisinin güvenilirliğini ölçmek için kullanılır. Tutarlılık ölçümü için, ilk olarak, karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğeri (λ_{max}), eşitlik 5 ile hesaplanır. Özdeğer, matrisin ana özelliği olup, tüm kriterler arasındaki ilişkilerin bir göstergesidir.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (5)$$

Ardından, Tutarlılık Endeksi (CI), eşitlik 6 ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Son olarak, tutarlılık oranı (CR) eşitlik 7 ile hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Eş. (7)'de, RI rastlantısal tutarlılık endeksidir. Tutarlılığı değerlendirebilmek için RI değerinin bilinmesi gerekir. n boyutlu karşılaştırma matrisleri için tanımlanan RI değerleri Tablo 2 ile verilmiştir.

Tablo 2. RI raslantısal tutarlılık endeksi

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41

Eğer CR değeri 0,1 veya daha düşük ise, karşılaştırmalar tutarlı kabul edilir. Aksi takdirde, kriterler arasındaki karşılaştırmalar gözden geçirilir. Tutarlılık oranı, AHP'nin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamada önemli bir rol

oynar. Yüksek tutarsızlık oranları, kriterlerin değerlendirilmesinde bir hata olduğunu gösterebilir.

Bu çalışmada, AHP yöntemi kullanılarak belirlenen göreceli ağırlıklar, yedek parça talep tahminlerinde kullanılacak kriterlerin önem derecelerini temsil etmektedir. Bu ağırlıklar, K-ortalama kümeleme algoritması gibi kümeleme yöntemleriyle birleştirilerek ülkelerin yedek parça taleplerinin daha doğru tahmin edilmesini sağlamaktadır. AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak, benzer özelliklere sahip ülkeler gruplandırılacak ve her grup için ayrı yedek parça talep tahminleri yapılacaktır.

3.2. K-Ortalama Kümeleme Yöntemi

Kümeleme analizi, verileri gruplara ayırmak ve benzer özelliklere sahip olan veri noktalarını bir araya getirmek için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Kendi içlerinde homojen ve aralarında heterojen gruplar oluşturulmasına olanak sağlar (Tatlıdil, 1996). K-ortalama kümeleme yöntemi, verileri benzer özelliklere sahip gruplara ayırmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemidir. Bu algoritma, belirlenen k sayıda küme oluşturarak, her küme için ortak özellikler belirlemeyi amaçlar. Aşamalı olmayan kümeleme yöntemlerinden biri olan k-Ortalama kümeleme yöntemi n birimin k kümeye parçalanmasıdır. K-ortalama yönteminde birimleri kümeler ayırmak amacıyla öncelikle verilerden elde edilen bilgilere göre ilk k nokta çekirdek nokta olarak alınır. Bu noktaların her birinin p değişken değerleri birer ortalama vektörü olarak kabul edilir. Küme ortalama vektöründen her bir birimin uzaklıkları bir uzaklık ölçütü kullanılarak hesaplanır.

X veri matrisi, n gözlem sayısı ve p de değişken sayısı olmak üzere x_i gözlem vektörleri ve C_j küme merkezleri arasındaki uzaklık $d_{ij} = d(x_i, C_j)$ ile gösterilir. Uzaklık değerlerini ifade etmek için kullanılan geliştirilmiş pek çok metrik bulunmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanlardan biri eşitlik 8 ile verilen Öklid uzaklığıdır.

$$d_{ij} = d(x_i, C_j) = \left[\sum_{k=1}^p |x_{ik} - C_{jk}|^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

Her bir birimin uzaklıkları hesaplandıktan sonra geriye kalan $n - k$ birim en yakın ortalama vektörlü kümeye atanır. Her atamadan sonra oluşan kümenin ortalama vektörü yeniden hesaplanır ve birimlerin yeni oluşan küme ortalama vektörüne göre uzaklıkları tekrar hesaplanır. Bu sayede en yüksek benzerliğe sahip birimler bir araya toplanmış olur. Küme içi varyansın minimum ve kümeler arası varyansın maksimum olduğu kümeleme yapısına ulaşıncaya kadar tüm birimler k kümeye atanmaya devam eder. Yinelemeli yaklaşımla uygun kümeleme sağlanır. Küme içi kovaryans matrisinin minimum olduğu koşul sağlanıncaya ve yakınsama kriterine eşit ya da daha küçük varyans farkına ulaşıncaya kadar parçalama işlemine devam edilir (Tatlıdil, 1996).

Sürecin ilk adımı, verilerin kaç gruba ayrılacağına (k değeri) belirlenmesidir. Ardından, kümelerin başlangıç merkezleri rastgele veya belirli bir stratejiye göre seçilir. Her veri noktası, küme merkezlerine olan Öklid mesafesi

hesaplanarak en yakın kümeye atanır. Daha sonra, her küme için küme içindeki tüm noktaların ortalaması alınarak küme merkezleri güncellenir. Küme merkezleri güncellendikçe, veri noktaları tekrar en yakın merkeze atanır. Bu işlem, küme merkezleri sabit hale gelene kadar devam eder.

Bu çalışmada, K-ortalama algoritması, her küme için merkezleri belirleyerek benzer özelliklere sahip ülkeleri gruplandırmaktadır. Sonuç olarak, her bir küme, ortak özellikler taşıyan ülkelerden oluşmakta ve her küme için özelleştirilmiş talep tahminleri yapılabilmektedir.

3.3. Uygulama

Önerilen yöntem, 64 farklı ülkede kurulu sistemi bulunan bir MRG cihazı üreticisi işletmenin yedek parça talep tahmini ve bakım yönetimi süreçlerini iyileştirmek amacıyla uygulanmıştır. Kurulu sistem, işletmenin dünya genelindeki sağlık kurumlarına sağladığı ve hâlihazırda aktif olarak kullanılan MRG cihazlarının tamamını ifade etmektedir. Bu cihazların düzenli bakım ve yedek parça tedariği gerektirmesi, işletmenin operasyonel sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. İşletmenin küresel ölçekte faaliyet göstermesi, her bir ülkenin sağlık altyapısı, ekonomik durumu ve demografik özellikleri gibi dinamiklerin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, AHP ve K-ortalama kümeleme algoritmalarının bütünleştirilmesiyle geliştirilen model, ülkelerin belirli kriterlere göre gruplandırılmasını ve bu gruplara özgü talep tahmin modellerinin oluşturulmasını hedeflemektedir. Uygulama süreci, farklı ülkelerin verilerinin toplanması, kriterlerin belirlenmesi, kümelerin oluşturulması, talep tahmini modellerinin geliştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Bu bölümde, önerilen modelin etkinliğini değerlendirmek için yapılan analizler ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde sunulacaktır.

Adım 1: Verilerin Toplanması

64 ülkedeki kurulu sistemlere ait cihazların özellikleri, bakım geçmişi, yedek parça talepleri ve ülkelerin ekonomik, demografik ve sağlık altyapısına ilişkin veriler toplanmıştır.

Adım 2: Kriterlerin Belirlenmesi

MRG cihazları için yedek parça talebinin ve bakım süreçlerinin optimize edilmesi amacıyla, benzer ülkelerin belirli kriterlere göre sınıflandırılması hedeflenmiştir. Ancak, ülkeler arasındaki farklılıkların çok sayıda kriterle modellenmesi, K-ortalama kümeleme yönteminin etkinliğini ve anlamlılığını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, belirlenen kriterlerin önem dereceleri AHP ile ağırlıklandırılacak ve yalnızca en yüksek göreceli ağırlığa sahip kriter sınıflandırma amacıyla kullanılacaktır. Bu yaklaşım, sınıflandırma sürecini hem sadeleştirir hem de en etkili kriterin temel alınmasını sağlar. Sınıflandırmada kullanılan kriterler, cihazların performansı, operasyonel süreçlerin zorlukları ve pazar dinamiklerini yansıtan unsurlardan seçilmiştir. Aşağıda, her bir kriterin kapsamı ve önemi açıklanmıştır:

- **Ortalama Parça Talep Sayısı (PS):** Belirli bir zaman diliminde bir ülkedeki kurulu sistemler için talep edilen yedek parça miktarının ortalamasını ifade

eder. Yedek parça talebi, cihazların bakım gereksinimlerini ve sistemin genel kullanım yoğunluğunu anlamak açısından kritik bir göstergedir. Yüksek talep miktarı, cihazların daha yoğun kullanıldığını veya sık arıza verdiğini gösterebilir. Bu kriter, yedek parça talebinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

- **Operasyonel Zorluk Skoru (ZS):** Her bir ülkedeki lojistik altyapı, teknik destek kapasitesi, gümrük prosedürleri ve tedarik zinciri yönetimi gibi faktörlerin bir birleşimi olarak hesaplanan bir skor sistemidir. Operasyonel zorluklar, yedek parça temin süreçlerinde karşılaşılan güçlükleri anlamak ve optimize etmek için önemli bir parametredir.
- **Aylık Tarama Miktarı (TM):** Bir ülkedeki kurulu sistemlerin gerçekleştirdiği aylık MRG tarama sayısını ifade eder. Cihazların kullanım yoğunluğu ve aşınma oranı, aylık tarama miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Daha fazla tarama, daha fazla yedek parça talebi anlamına gelebilir. Bu kriter, cihazların bakım ve yedek parça gereksinimlerinin tahmini için önemli bir veri kaynağıdır.
- **Ortalama Kurulu Sistem Yaşı (SY):** Bu kriter, bir ülkedeki MRG cihazlarının ortalama yaşını ifade eder. Daha eski cihazlar, daha sık bakım gerektirme ve yedek parça ihtiyacı duyma eğilimindedir. Bu nedenle, kurulu sistem yaşı, tahmin modellerinde kritik bir değişken olarak öne çıkar.
- **Kurulu Sistem Kontrat Oranı (KO):** Bir ülkedeki bakım sözleşmesine sahip kurulu sistemlerin toplam kurulu sistemler içindeki oranıdır. Yüksek kontrat oranı, düzenli bakım ve yedek parça taleplerinin daha öngörülebilir olmasını sağlar. Aynı zamanda, işletmenin bu sistemler üzerindeki kontrolünü artırır ve süreçleri daha iyi yönetebilmesini mümkün kılar.
- **Premium Segment Oranı (PR):** Premium segmentte yer alan cihazların toplam kurulu sistem içindeki oranını ifade eder. Premium cihazlar genellikle daha ileri teknolojilere sahiptir ve bakım gereksinimleri standart cihazlara göre daha farklı ve maliyetli olabilir. Bu oran, bir pazarın teknoloji yoğunluğunu değerlendirmek için kullanılır.
- **Performans Segment Oranı (PE):** Performans segmentinde yer alan cihazların toplam kurulu sistem içindeki oranıdır. Bu segment, daha yaygın kullanılan ve genellikle temel ihtiyaçları karşılayan cihazlardan oluşur. Performans segmentindeki cihazlar, bakım ve yedek parça ihtiyaçları açısından farklı bir profil sunar.

AHP ile, yukarıda tanımlanan 7 kriter ikili karşılaştırmalarla değerlendirilecek ve kriterlerin ağırlıkları belirlenecektir. Elde edilen ağırlıklar sonucunda, en yüksek göreceli ağırlığa sahip kriter seçilecek ve bu kriter, K-ortalama kümeleme yönteminde sınıflandırma amacıyla kullanılacaktır. Bu yaklaşımın temel amacı, kriter sayısını azaltarak K-ortalama yöntemiyle daha net, anlamlı ve doğru kümeler

oluşturabilmektir. Sonuç olarak, bu süreç yalnızca ülkelerin benzer özelliklerini daha etkili bir şekilde gruplandırmayı sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda yedek parça talebi ve bakım yönetimi süreçlerinin optimize edilmesine katkıda bulunacaktır.

Adım 3: Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması ve Ağırlıkların Hesaplanması

En önemli kriterin belirlenmesi amacıyla en yüksek önem derecesine sahip kriter seçimi için AHP yöntemi uygulanmıştır. AHP, karar verme sürecinde birden fazla kriterin göreceli önemlerini karşılaştırarak, bu kriterlere ait ağırlıkları belirlemeyi sağlayan sistematik bir yöntemdir. Sürecin temel aşamaları, kriterler arasında ikili karşılaştırmaların yapılması, tutarlılığın kontrol edilmesi ve ağırlık değerlerinin hesaplanmasıdır.

Kriterler arasındaki önem derecelerini belirlemek amacıyla, çalışmada alanında uzman 4 farklı kişiden oluşan karar vericilerden ikili karşılaştırma matrisleri doldurmaları istenmiştir. Her bir karar verici, kriterlerin birbiriyle göreceli önemini değerlendirmiş ve bu değerlendirmeler ikili karşılaştırma matrisi formunda ifade edilmiştir. AHP uygulamasının bu aşamasında, her bir kriterin bir diğerine kıyasla ne kadar önemli olduğu, uzmanların deneyim ve bilgi birikimine dayanarak belirlenmiştir. Karar vericiler tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri Tablo 3-6 ile verilmiştir.

Tablo 3. Karar verici 1 tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi

	PS	ZS	TM	SY	KO	PR	PE
PS	1,00	3,00	2,00	0,50	0,33	0,25	0,25
ZS	0,33	1,00	0,50	0,33	0,20	0,17	0,17
TM	0,50	2,00	1,00	0,50	0,25	0,20	0,20
SY	2,00	3,00	2,00	1,00	0,50	0,33	0,33
KO	3,00	5,00	4,00	2,00	1,00	0,50	0,50
PR	4,00	6,00	5,00	3,00	2,00	1,00	1,00
PE	4,00	6,00	5,00	3,00	2,00	1,00	1,00

Tablo 4. Karar verici 2 tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi

	PS	ZS	TM	SY	KO	PR	PE
PS	1,00	0,13	0,50	0,25	0,33	0,17	0,25
ZS	8,00	1,00	6,00	4,00	5,00	2,00	3,00
TM	2,00	0,17	1,00	0,33	0,50	0,14	0,20
SY	4,00	0,25	3,00	1,00	2,00	0,25	0,33
KO	3,00	0,20	2,00	0,50	1,00	0,25	0,20
PR	6,00	0,50	7,00	4,00	4,00	1,00	2,00
PE	4,00	0,33	5,00	3,00	2,00	0,50	1,00

Tablo 5. Karar verici 3 tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi

	PS	ZS	TM	SY	KO	PR	PE
PS	1,00	3,00	0,50	2,00	0,50	4,00	4,00
ZS	0,33	1,00	0,25	0,33	0,20	2,00	2,00
TM	2,00	4,00	1,00	3,00	0,50	6,00	6,00
SY	0,50	3,00	0,33	1,00	0,33	5,00	5,00
KO	2,00	5,00	2,00	3,00	1,00	7,00	7,00
PR	0,25	0,50	0,17	0,20	0,14	1,00	1,00
PE	0,25	0,50	0,17	0,20	0,14	1,00	1,00

Tablo 6. Karar verici 4 tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi

	PS	ZS	TM	SY	KO	PR	PE
PS	1,00	4,00	0,20	0,33	0,17	0,17	0,25
ZS	0,25	1,00	0,17	0,50	0,17	0,17	0,20
TM	5,00	6,00	1,00	5,00	0,33	0,50	2,00
SY	3,00	2,00	0,20	1,00	0,20	0,25	0,50
KO	6,00	6,00	3,00	5,00	1,00	2,00	5,00
PR	6,00	6,00	2,00	4,00	0,50	1,00	3,00
PE	4,00	5,00	0,50	2,00	0,20	0,33	1,00

Tablo 3-6 ile verilen karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları sırasıyla 0,015984; 0,041956; 0,024140; 0,072493 olarak bulunmuştur. Bu tutarlılık oranları 0,10 değerinden küçük olduğu için matrisler tutarlıdır.

4 farklı karar vericinin oluşturduğu ikili karşılaştırma matrislerinin sonuçlarını birleştirmek amacıyla geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Geometrik ortalama, uzman görüşlerindeki farklılıkları dengelemek ve ortak bir değerlendirme elde etmek için etkili bir yaklaşımdır. Bu süreçte, her bir kriter çifti için uzmanların verdiği değerlerin geometrik ortalamaları alınmıştır. Elde edilen tek bir ikili karşılaştırma matrisi, AHP'nin geri kalan adımlarını uygulamak için temel oluşturmuştur. Geometrik ortalama alınması sonucunda elde edilen birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi Tablo 7'te verilmiştir.

Tablo 7. Birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi

	PS	ZS	TM	SY	KO	PR	PE
PS	1,00	1,46	0,56	0,54	0,31	0,41	0,50
ZS	0,69	1,00	0,59	0,69	0,43	0,58	0,67
TM	1,78	1,68	1,00	1,26	0,38	0,54	0,83
SY	1,86	1,46	0,80	1,00	0,51	0,57	0,73
KO	3,22	2,34	2,63	1,97	1,00	1,15	1,37
PR	2,45	1,73	1,85	1,76	0,87	1,00	1,57
PE	2,00	1,50	1,20	1,38	0,58	0,64	1,00

Birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,007781 bulunmuştur. Geometrik ortalama yöntemiyle oluşturulan matris üzerinde, kriterlerin ağırlık değerleri

hesaplanmıştır. Bu hesaplama, öncelikle matrisin sütunlarının normalize edilmesi ve ardından satır ortalamalarının alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi Tablo 8 ile verilmiştir.

Tablo 8. Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi

	PS	ZS	TM	SY	KO	PR	PE
PS	0,08	0,13	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08
ZS	0,05	0,09	0,07	0,08	0,10	0,12	0,10
TM	0,14	0,15	0,12	0,15	0,09	0,11	0,12
SY	0,14	0,13	0,09	0,12	0,12	0,12	0,11
KO	0,25	0,21	0,30	0,23	0,25	0,24	0,21
PR	0,19	0,16	0,21	0,20	0,21	0,20	0,24
PE	0,15	0,13	0,14	0,16	0,14	0,13	0,15

Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanan kriterlerin göreceli ağırlık değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Kriterlerin göreceli ağırlık değerleri

Kriterler	Ağırlıklar
PS	0,081410
ZS	0,087811
TM	0,125527
SY	0,118886
KO	0,239698
PR	0,202241
PS	0,144427

AHP'nin sonucunda kriterlerin göreceli ağırlık değerleri incelendiğinde, kriterler arasından en yüksek ağırlık değerine sahip olan kriter 0,239698 ağırlığına sahip olan "Kurulu Sistem Kontrat Oranı" (KO) kriteri olarak belirlenmiş ve K-ortalama kümeleme yönteminde kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu süreç, analizlerin daha net ve anlamlı bir şekilde yapılabilmesi için en etkili kriterin belirlenmesini sağlamıştır.

Adım 4: K-ortalama Kümeleme ile Ülkelerin Sınıflandırılması (SPSS Uygulaması)

AHP ile yapılan değerlendirme sonucunda, "Kurulu Sistem Kontrat Oranı" (KO) kriteri en yüksek göreceli ağırlık değerine sahip kriter olarak belirlenmiştir. Bu kritere bağlı olarak, 64 farklı ülkede kurulu sistemlerin sınıflandırılması amacıyla K-ortalama kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Analizler IBM SPSS 26 İstatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Bu analizde, "Kurulu Sistem Kontrat Oranı" verisine dayalı olarak ülkeler arasındaki benzerlikler tespit edilip, bu ülkeler anlamlı gruplara ayrılacaktır. Ülkeler bazında KO Tablo 10 ile verilmiştir.

Tablo 10. Ülkelere ait KO verisi

Ülke	KO	Ülke	KO	Ülke	KO
Ülke1	0,57	Ülke8	0,63	Ülke15	0,84
Ülke2	0,93	Ülke9	0,54	Ülke16	0,93
Ülke3	0,85	Ülke10	0,53	Ülke17	0,89
Ülke4	0,15	Ülke11	0,74	Ülke18	0,74
Ülke5	0,86	Ülke12	0,69	...	...
Ülke6	0,68	Ülke13	0,64	Ülke63	0,76
Ülke7	0,71	Ülke14	0,78	Ülke64	0,75

Kümeleme analizine başlamadan önce, analiz için uygun küme sayısı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında küme sayısı 4 olarak seçilmiştir. Bu seçim, ülkeler arasındaki önemli operasyonel farklılıkların daha net bir şekilde ayrıştırılmasını sağlamak ve her bir grubun benzersiz özelliklerini yansıtmak amacıyla yapılmıştır.

64 ülke, K-ortalama kümeleme yöntemi ile her bir ülkeyi KO kriteri temelinde birbirine benzer özellikler gösteren ülkeleri aynı gruba yerleştirilerek 4 kümeye ayrılmıştır. Toplamda 6 yineleme yapılmıştır. Tablo 11'de her kümede bulunan ülke sayıları verilmiştir. Küme merkezlerine ait grafik Şekil 1 ile verilmiştir.

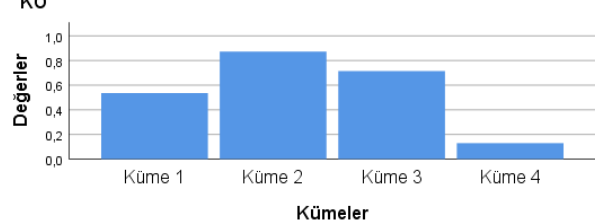
K-ortalama kümelemenin KO kriterine göre istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunu gösteren Varyans analizi tablosu (ANOVA) Tablo 12 ile verilmiştir ($P < 0,05$).

Her bir kümede yer alan ülkeler Tablo 13 ile verilmiştir. Kümeler içerisindeki her bir numara farklı bir ülkeyi temsil etmektedir.

Tablo 11. Her kümedeki ülke sayısı

Kümeler	Ülke sayıları
1	17
2	20
3	22
4	5
Toplam	64

Küme merkezleri



Şekil 1. K-ortalama kümeleme ile bulunan küme merkezleri.

Tablo 12. Varyans analizi tablosu

	KKO	Küme sd	HKO	Hata sd	F	p
KO	0,87	3	0,003	60	309,20	0,00

Sd= Serbestlik derecesi; HKO= Hata kareler ortalaması; KKO= Küme kareler ortalaması; KO= Kurulu sistem kontrat oranı

Tablo 13. KO kriteri temelinde oluşturulan ülkelerin kümelenmesi

Küme 1	Küme 2	Küme 3	Küme 4
1, 8, 9, 21, 25, 27, 28, 30, 37, 38, 40, 41, 52, 56, 60, 61, 62	2, 3, 5, 15, 16, 17, 19, 26, 34, 36, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 53, 58	6, 7, 11, 12, 13, 14, 18, 23, 24, 29, 31, 32, 33, 35, 39, 49, 54, 55, 57, 59, 63, 64	4, 10, 20, 22, 43

Bu kümeleme, ülkeler arasında özelleştirilmiş stratejiler geliştirilmesine olanak tanır. Aynı kümeye ait ülkeler, operasyonel ihtiyaçlar ve yedek parça talepleri açısından benzerlik gösterdiğinden, bu gruplar için daha hedeflenmiş ve etkili planlamalar yapılabilir. Elde edilen kümeler, tedarik zincirinin yönetimi, bakım süreçleri ve kaynak tahsisi gibi operasyonel süreçlerde karar alıcılar için önemli bir rehber olacaktır.

K-ortalama yöntemiyle oluşturulan bu sınıflandırma, ülkeler arasındaki farklılıkları daha iyi anlamak ve kurulu sistemlerin yönetimini optimize etmek için temel bir adım olarak değerlendirilecektir. Ayrıca, stratejik kararların alınmasında önemli bir rol oynayacaktır. Bu kümeler, her bir ülkenin kendine özgü operasyonel ihtiyaçlarını karşılamak için daha etkili bir yaklaşım geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Adım 5: Türkiye'nin bulunduğu Küme için Yedek Parça Talep Tahmini için geliştirilen regresyon modelleri ve

performansları

Türkiye'nin ülke kodu 30 olup, K-ortalama kümeleme sonucunda Küme 1'de yer almıştır. Türkiye ile birlikte bu kümede 17 ülke bulunmaktadır. Bu 17 ülke için talep edilen MRG cihazına ait yedek parça sayıları (y) ve kurulu MRG sistemi sayıları (x) kullanılarak, kümeleme yapmadan önceki ve KO kriterine bağlı K-ortalama ile kümeleme yaptıktan sonraki regresyon modelleri ve performans değerleri Tablo 14 ile verilmiştir. Regresyon modelleri için varsayım kontrolleri olan hataların normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile sınanmış ve normal dağılıma uygun bulunmuştur ($P>0,05$).

Tablo 14 incelendiğinde, kümeleme öncesi ve sonrası üç farklı regresyon modeli (doğrusal, karesel ve kübik) kurularak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Her bir regresyon modeline ait determinasyon katsayısı R^2 ve hata kareler ortalaması (HKO) ölçütüne göre performansları izlenmiştir. Tablo 11'de her bir regresyon modelinin 0,05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($P<0,05$). Ancak bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni açıklama oranı olan R^2 en yüksek kümeleme sonrası kübik regresyon modeline ait olduğu (%73,51) ve HKO en küçük olan modelin de yine bu model olduğu görülmektedir. Buna göre en isabetli tahminler yapan modelin Kümeleme sonrası oluşturulan kübik model olduğu gözlenmektedir.

Tablo 14. Regresyon modelleri

Regresyon Modelleri (Kümeleme öncesi)	R^2	HKO	p
$\hat{y} = -2,886 + 0,03560x$	%38,49	17111	0,00
$\hat{y} = 13,18 + 0,008573x + 0,000002x^2$	%43,86	15625	0,00
$\hat{y} = -11,25 + 0,06992x - 0,000008x^2 + 0,0000001x^3$	%54,94	12547	0,00
Regresyon Modelleri (Kümeleme sonrası)	R^2	HKO	p
$\hat{y} = -0,9320 + 0,09988x$	%66,83	213	0,00
$\hat{y} = 1,884 + 0,05933x + 0,000032x^2$	%72,00	180	0,00
$\hat{y} = 0,1493 + 0,09966x - 0,000048x^2 + 0,0000001x^3$	%73,51	170,9	0,00

5. Sonuç

Bu çalışma, sağlık teknolojileri sektöründe yedek parça yönetimi ve operasyonel stratejiler geliştirme süreçlerini desteklemek amacıyla AHP ve K-ortalama kümeleme yöntemlerini entegre bir yaklaşımla kullanmıştır. AHP, bu süreçte, farklı kriterlerin göreceli önemlerini belirlemek için kullanılmış ve analizde yalnızca en yüksek ağırlığa sahip kriter seçilerek, K-ortalama kümeleme yönteminde kullanılacak temel veri sağlanmıştır. Bu yöntem, ÇKKV sürecini daha sistematik ve sağlam bir temele oturtturarak, doğru ve etkili bir kümeleme analizi yapılmasını mümkün kılmıştır.

Çalışmada, 64 farklı ülkede kurulu sistemlerin sınıflandırılması için "Kurulu Sistem Kontrat Oranı" kriteri AHP ile belirlenmiş ve K-ortalama kümeleme sonucunda ülkeler 4 farklı kümeye ayrılmıştır. Bu

gruplar, benzer özelliklere sahip ülkelerin bir araya getirildiği kümeler oluşturmuş ve bu kümeler, yedek parça talep tahmini ve kaynak tahsisi süreçlerinde stratejik avantajlar sunmuştur.

Kümeleme çalışmasının temel mantığı, benzer özelliklere sahip ülkelerin aynı kümelere alınması sonucunda yedek parça talep tahminlerinin daha doğru yapılmasını sağlamaktır. Çalışmanın sonuçları, bu hedefin başarıldığını ve talep tahminlerinin daha doğru bir şekilde yapılabildiğini ortaya koymuştur. Bu doğruluk, kaynakların daha etkin kullanılmasını ve sağlık hizmetleri süreçlerinin optimize edilmesini sağlayarak sektöre stratejik faydalar sağlamaktadır.

Elde edilen kümeler, ülkeler arasındaki farklılıkların anlaşılmasını ve her bir grubun kendine has ihtiyaçlarına uygun stratejiler geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Özellikle aynı kümede yer alan ülkeler için yedek parça

tedariki ve bakım planlamalarının özelleştirilmesi, kaynakların daha verimli kullanılmasını ve operasyonel süreçlerin optimize edilmesini sağlamıştır. Bu yaklaşım, sağlık sektöründe kesintisiz hizmet sunumuna doğrudan katkıda bulunurken, tedarik zinciri yönetiminde de büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Bütünleşik AHP ve K-ortalama yöntemlerinin bu çalışmada sağladığı başarı, bu tür veri odaklı yaklaşımların operasyonel yönetim süreçlerindeki etkisini göstermektedir. Ancak, çalışmanın sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Analizler yalnızca "Kurulu Sistem Kontrat Oranı" kriteri temel alınarak gerçekleştirilmiş olup, daha fazla kriterin dahil edilmesi veya daha geniş veri setleriyle çalışılması, sonuçların doğruluğunu ve kapsamını artırabilir. Ayrıca, ülkelerin ekonomik durumları, sağlık sistemlerinin yapısı gibi daha geniş kapsamlı değişkenlerin de modele eklenmesi, daha detaylı ve çok yönlü sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, AHP ile seçilecek farklı kriterlerin ve diğer kümeleme yöntemlerinin bu süreçlere entegrasyonunu araştırabilir. Özellikle büyük veri analitiği ve diğer kümeleme algoritmalarının entegrasyonu, daha geniş veri setleri üzerinde daha özelleştirilmiş ve etkili stratejiler geliştirilmesine olanak tanıyabilir.

Bu çalışmada, AHP ve K-ortalama yöntemlerinin güçlü bir şekilde entegre edilerek, sağlık sektöründe operasyonel süreçlerin iyileştirilmesi ve stratejik planlamaların daha etkin yapılabilmesi için güçlü bir model sunulmuştur. Bu tür yöntemlerin uygulanması, küresel pazarlarda faaliyet gösteren sağlık işletmeleri için daha sürdürülebilir ve verimli bir geleceğin kapılarını aralayacaktır.

Ülkelerin "Kurulu Sistem Kontrat Oranı" kriterine bağlı olarak kümelenendirilmesi ve bu kümeler için tahmin modellerinin ayrı olarak oluşturulması daha isabetli tahminlerde bulunulmasını sağlamıştır. Çalışma kapsamında kurulan regresyon modelleri sayesinde ileriye yönelik yedek parça sayılarının tahminlenmesi stok yönetimini yapabilmek, tedarik süreçlerini yönetebilmek için faydalıdır. MRG cihazına ait talep edilen yedek parça sayılarının öngörülmesi sayesinde planlamaların doğru bir şekilde yapılması sağlanacak bu sayede maliyetler azalacak ve zamandan tasarruf edilecektir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	D.İ.S.	K.D.A.	T.D.
K	50	30	20
T	40	30	30
Y	40	35	25
VTI	50	20	30
VAY	40	30	30
KT	40	25	35
YZ	40	35	25
KI	40	30	30
GR	50	30	20
PY	50	35	25
FA	40	30	30

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Ashour M, Mahdiyar A. 2024. A comprehensive state-of-the-art survey on the recent modified and hybrid analytic hierarchy process approaches. Appl Soft Comput, 150: 111014.
- Bacchetti A, Saccani N. 2012. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. Omega, 40(6): 722-737.
- Bait S, Lauria SM, Schiraldi MM. 2022. A risk-based hybrid multi-criteria approach to support managers in the industrial location selection in developing countries: A case study of textile sector in Africa. J Clean Prod, 335: 130325.
- Barak S, Mokfi T. 2019. Evaluation and selection of clustering methods using a hybrid group MCDM. Expert Syst Appl, 138: 112817.
- Bhalla S, Alfnes E, Hvolby HH, Sgarbossa F. 2021. Advances in spare parts classification and forecasting for inventory control: A literature review. IFAC-Papers OnLine, 54(1): 982-987.
- Bottani E, Rizzi A. 2008. An adapted multi-criteria approach to suppliers and products selection - An application oriented to lead-time reduction. Int J Prod Econ, 111(2): 763-781.
- Chaudhuri A, Gerlich HA, Jayaram J, Ghadge A, Shack J, Brix BH, Hoffbeck LH, Ulriksen N. 2021. Selecting spare parts suitable for additive manufacturing: a design science approach. Product Plan Control, 32(8): 670-687.
- Chopra S, Meindl P. 2020. Supply chain management: strategy, planning, and operation. Pearson, Boston USA, pp: 254.
- Coşkun SS, Kumru M, Kan NM. 2022. An integrated framework for sustainable supplier development through supplier

- evaluation based on sustainability indicators. *J Clean Prod*, 335: 130287.
- Crispim JA, Pinho de Sousa J. 2009. Partner selection in virtual enterprises: a multi-criteria decision support approach. *Int J Prod Res*, 47(17): 4791-4812.
- Ezugwu AE, Ikotun AM, Oyelade OO, Abualigah L, Agushaka JO, Eke CI, Akinyelu AA. 2022. A comprehensive survey of clustering algorithms: State-of-the-art machine learning applications, taxonomy, challenges, and future research prospects. *Eng Appl Artif Intell*, 110: 104743.
- Ho W. 2008. Integrated analytic hierarchy process and its applications A literature review. *Eur J Oper Res*, 186(1): 211-228.
- Ishizaka A, Labib A. 2011. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Syst Appl*, 38(11): 14336-14345.
- Jain AK. 2010. Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognit Lett*, 31(8): 651-666.
- Kang X, Pang H. 2022. City selection for fresh produce e-commerce's market entry strategy: Based on the perspective of urban logistics competitiveness. *Transp Res Interdiscip Perspect*, 13: 100537.
- Kennedy WJ, Patterson JW, Fredendall LD. 2002. An overview of recent literature on spare parts inventories. *Int J Prod Econ*, 76(2): 201-215.
- Keskin GA, İlhan S, Özkan C. 2010. The Fuzzy ART algorithm: A categorization method for supplier evaluation and selection. *Expert Syst Appl*, 37(2): 1235-1240.
- Li H, Wu X, Liang Y, Zhang C. 2021. A multistakeholder approach to the airport gate assignment problem: Application of fuzzy theory for optimal performance indicator selection. *Comput Intell Neurosci*, 2021(1): 2675052.
- Liberatore MJ, Nydick RL. 2008. The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *Eur J Oper Res*, 189(1): 194-207.
- Liu Y, Eckert CM, Earl C. 2020. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Syst Appl*, 161: 113738.
- Lund B, Ma J. 2021. A review of cluster analysis techniques and their uses in library and information science research: k-means and k-medoids clustering. *Performance Measurement and Metrics*, 22(3): 161-173.
- Maghsoodi AI, Kaviani A, Khalilzadeh M, Brauers WK. 2018. CLUS-MCDA: A novel framework based on cluster analysis and multiple criteria decision theory in a supplier selection problem. *Comput Ind Eng*, 118: 409-422.
- Maghsoodi AI, Riahi D, Herrera-Viedma E, Zavadskas EK. 2020. An integrated parallel big data decision support tool using the W-CLUS-MCDA: A multi-scenario personnel assessment. *Knowl Based Syst*, 195: 105749.
- Pinçe Ç, Turrini L, Meissner J. 2021. Intermittent demand forecasting for spare parts: A Critical review. *Omega*, 105: 102513.
- Porter ME, Teisberg EO. 2006. *Redefining Health Care: Creating Value-Based Competition on Results*. Harvard Business School Press, Boston, USA, pp: 56.
- Saaty T. 1972. An eigenvalue allocation model for prioritization and planning. In *Working paper, Energy Management and Policy Center: University of Pennsylvania, Pennsylvania, USA*, pp:321.
- Saaty TL. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J Math Psychol*, 15(3): 234-281.
- Saaty TL. 1980. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, New York, USA, pp:126.
- Sharifi E, Chaudhuri A, Vejrum Waehrens B, Guldborg Staal L, Lindemann CF, Davoudabadi Farahani S. 2022. Part selection for Freeform Injection Moulding: comparison of alternate approaches using a novel comprehensive methodology. *Int J Prod Res*, 60(23): 6996-7012.
- Sironen S, Kangas J, Leskinen P. 2020. Restructuring a correlated multilevel decision hierarchy in multicriteria decision analysis. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 27(5-6): 266-285.
- Subramanian N, Ramanathan R. 2012. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *Int J Prod Econ*, 138(2): 215-241.
- Tatlıdil H. 1996. *Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz*. Cem Ofset, Eylül, Ankara, Türkiye, ss: 200.
- Topan E, Eruguz AS, Ma W, Van der Heijden MC, Dekker R. 2020. A review of operational spare parts service logistics in service control towers. *Eur J Oper Res*, 282(2): 401-414.
- Topol E. 2019. *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books, New York, USA, pp: 54.
- Van der Auweraer S, Boute RN, Syntetos AA. 2019. Forecasting spare part demand with installed base information: A review. *Int J Forecast*, 35(1): 181-196.
- Wu Y, Zhang T, Zhong K, Wang L, Xu C, Xu R. 2021. Optimal planning of energy storage technologies considering thirteen demand scenarios from the perspective of electricity Grid: A Three-Stage framework. *Energy Convers Manag*, 229: 113789.
- Zyoud SH, Fuchs-Hanusch D. 2017. A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. *Expert Syst Appl*, 78: 158-181.