



GRUP KARAR VERMEYE DAYALI MATEMATİKSEL YAKLAŞIMLAR İLE TZY'DE KRİTİK PARÇA ANALİZİ: OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR GERÇEK HAYAT UYGULAMASI

Burcu YILMAZ KAYA^{1*}, Gülfidan KARŞIĞİL²

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5088-5842>

²MAN Türkiye, Ürün ve Proje Yönetimi Departmanı, Ankara, Türkiye

ORCID No : <http://orcid.org/0009-0006-1414-0743>

Anahtar Kelimeler	Öz
Tedarik Zinciri Yönetimi, Kritik Parça Tedarigi, ISHIKAWA Diyagramı, BWM, CoCoSo.	<i>Rekabetin gittikçe derinleştiği günümüz ekonomik çevresinde şirketlerin karlılığını, arz çevikliğini ve süreç optimizasyonunu temelden etkileyen Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) operasyonlarındaki iyileştirmeler önem kazanmaktadır. TZY içerisinde kalite, maliyet ve teslimat süresi gibi birbiriyle çelişen faktörler altında farklı kararlarının alınmasını gerektiren karmaşık karar problemleri barındırır, ve yapıları gereği bu problemler çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınmaya uygundur. Bu çalışmada uluslararası bir firmanın TZY süreçlerinin iyileştirilmesi analiz edilmiş, ele alınan gerçek hayat uygulamasında yürütülen kök neden analizi sonucunda belirlenen problem için matematiksel yöntemleri taban alan bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmada öncelikle Avrupa merkezli otomotiv firmasının Türkiye üretimi ihraç ürünlerinin TZY süreci incelenmiş, en hızlı ve en az maliyetli çözüm potansiyeline sahip problemi tanımlamak için ISHIKAWA yöntemi kullanılarak kök neden analizi yapılmış, belirlenen kök nedenin ortadan kaldırılması için ele alınan karar problemi</i>

*Sorumlu yazar; e-posta : burcuylmaz@gazi.edu.tr

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1525500>

yapılandırılmış ve En İyi-En Kötü i (Best Worst Method - BWM) - Birleştirilmiş Uzlaşık Çözüm (Combined Compromise Solution - CoCoSo) yöntemleri temelli bir yaklaşım ile sonuca ulaştırılmıştır. Uygulama çalışmasında firmanın stratejik olarak belirlemiş olduğu üç yönetsel amacı eşzamanlı sağlayabilecek çözümün geliştirilebilmesi adına bu stratejik hedeflere bağlı operasyonları yöneten birden çok karar verici yer almıştır. Bu bağlamda; mevcut literatür örneklerinde sıklıkla en önemli kriter olarak belirlenen maliyetlere ya da teslimat süresine yönelik sunulan çözümlerden farklı olarak "boyut ve fiziksel uyumluluk" kriteri en yüksek ağırlık değerine sahip olurken, geleneksel temelde değerlendirmeden farklı olarak kriter ağırlıklarının uygun tayini ile Tedarikçi C en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Karar probleminde ele alınan problem boyutları, faktör ve parametreler okuyuculara derinlemesine açıklanmış ve elde edilen sonuçlar detaylı şekilsel gösterimlerle desteklenerek bilimsel araştırmacıların ve alan uygulayıcılarının kullanımına sunulmuştur.

CRITICAL PART ANALYSIS IN SCM WITH MATHEMATICAL APPROACHES BASED ON GROUP DECISION MAKING: A REAL LIFE APPLICATION OF AUTOMOTIVE INDUSTRY

Keywords	Abstract
Supply Chain Management, Critical Parts Supply, ISHIKAWA Diagram, BWM, CoCoSo.	Nowadays, where the competitive business environment is getting deeper, improvements in Supply Chain Management (SCM) operations, which fundamentally affect the profitability, supply agility and process optimization of companies, are gaining importance. SCM includes complex decision problems that require different decisions to be made under conflicting factors such as quality, cost and delivery time, and due to their structure, these problems are suitable to be addressed as multi-criteria decision making problems. In this study, the improvement of SCM processes of an international company was analyzed and a solution approach based on mathematical methods was developed for the problem identified as a result of the root cause analysis carried out in the real-life application. As first, the SCM process of Turkey-produced export products of a European-based

automotive company was examined, root cause analysis was made with ISHIKAWA method to determine the fastest and least costly solution potential, the decision problem to eliminate the determined root cause was structured, and than, was solved with an approach based on the Best-Worst Method (BWM) - Combined Compromise Solution (CoCoSo). Multiple decision makers who manage the operations related to the strategic goals were employed in decision process in order to develop a solution that could simultaneously meet all three strategically determined managerial goals of the company. In this context; unlike the solutions offered costs or delivery time as the most important criteria in existing literature examples, the "K2: size and physical compatibility" criterion has the highest weight value, while, Supplier C was determined as the best alternative distinct to the traditional expectations. The problem dimensions, factors and parameters considered in the decision problem are explained to the readers in depth, and the results obtained are supported by detailed visual representations and made available to scientific researchers and field practitioners.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 01.08.2024	Submission Date : 01.08.2024
Kabul Tarihi : 31.10.2024	Accepted Date : 31.10.2024

1. Giriş

Rekabetin yoğun olduğu günümüz dünyasında, firmaların başarılı olması ve varlığını sürdürebilmesi için tedarik zincirlerine ve süreç yönetimine özen göstermeleri büyük bir önem arz eder (Karşigil, 2024). Tedarik yönetimi, bu süreçlerin etkin bir şekilde planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesini içerir. Tedarik zinciri, bir ürünün hammaddeden nihai tüketiciye ulaşana kadar izlediği karmaşık yolu içerir ve tedarikçilerden başlayarak üretim, depolama, lojistik, dağıtım ve satış aşamalarını kapsar. Bu alanda Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) terimi sıkça kullanılır ve tanımlanan bu süreç tedarikçilerin seçimi, sözleşme müzakereleri, talep alma, stok kontrolü, depo yönetimi, üretim, planlama, satış süreçleri yönetimi, sipariş yönetimi ve teslimatın takibi gibi operasyonlarından oluşur (Chopra ve Meindll, 2013).

Küresel ticaret ve üretim süreçlerindeki karmaşıklıkların artmasıyla birlikte, TZY daha da önemli hale gelmiştir (Christopher, 2016). Küresel tedarik zincirlerinin lojistik ve tedarik riskleri, talep belirsizlikleri ve politik değişkenlikler gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıya olması, uluslararası firmaları

ithal hammadde ya da ara mamül içeren süreçler ve ihrac programındaki ürünler için daha da zor koşullarda karar almak ve keskin pazar karakteristiklerinde faaliyet sürdürmek zorunda bırakılmaktadır.

TZY firmalar için stratejik öneme sahiptir çünkü işletmelerin rekabetçi kalabilmesi ve sürdürülebilir bir başarı elde etmesi için temel unsurdur. TZY hammaddenin temininden nihai ürünlerin müşterilere ulaştırılmasına kadar geçen tüm operasyonları planlama, koordine ve kontrol etme sürecidir, ve; bu süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesi, işletmelere maliyet tasarrufu, operasyonel verimlilik artışı ve müşteri memnuniyeti seviyelerinde artış sağlamaktadır (Karşıgil, 2024).

Tedarik zincirinde iş birliğini ve güveni artırmak için güçlü B2B (İşletmeden İşletmeye - Business To Business) ilişkileri önemlidir. İyi iletişim ve işbirliği, tedarikçi-müşteri ilişkisinin güçlü bir temel üzerine kurulmasını sağlar. Tedarikçi ve müşteri arasındaki açık ve sürekli iletişim kanallarının bulunması her iki tarafın da beklentileri ve gereksinimleri anlamasını sağlar (Yılmaz Kaya, 2022a).

Tedarikçilerle uzun vadeli ilişkiler ve TZY süreçlerindeki iyileştirmeler teslimat sürelerini azaltabilir, proje tamamlanma sürelerini olumlu etkileyebilir, tedarik zincirini daha esnek ve verimli hale getirebilir. Süreç iyileştirme çalışmaları mevcut tedarik zinciri süreçlerinin detaylı analizi ile başlar. Bu analiz, süreçlerdeki darboğazları ve verimsizlikleri tanımlamayı amaçlamaktadır. Süreç analizi, iyileştirme fırsatlarının ve öncelikli alanların belirlenmesine yardımcı olur. Ancak süreç iyileştirmeleri yüksek başlangıç maliyetleri gerektirebilir. Bu maliyetler yeni teknolojilerin kullanımı ve değişim uyumu eğitim programlarının uygulanması, fiziksel yatırımlar, işe alımlar, yeni tesis yeri yatırımları, artan enerji maliyetleri, vb. olabilir, ve, hangi kalemler söz konusu olursa olsun, yeni maliyetler süreç iyileştirmelerinin uygulanmasını zorlaştırabilir. Bununla birlikte, süreç iyileştirmeleri dikkatli analiz ve planlama gerektirdiğinden uzun zaman alabilir. Uygulama sürecinde yaşanabilecek gecikmeler kısa vadede operasyonel verimliliği olumsuz etkileyebileceğinden süreç iyileştirmelerinin dikkatli bir şekilde planlanması ve uygulanması gerekmektedir (Karşıgil, 2024). Bu bağlamda, süreç iyileştirme çalışmalarında geliştirilecek alternatif planlar içerisinden uygulamaya konulacak iyileştirmelerin mümkün olan en az maliyete katlanılırken en hızlı şekilde uygulanabilecek iyileştirme stratejisi olarak belirlenmesi ve öncelikle bu tip stratejilerin uygulamaya koyulması firmalara ek avantaj sağlayacaktır.

Bu çalışmada, otobüs üreten ve Türkiye'nin en büyük ihracatçılarından biri olan bir otomotiv firmasının şehir içi kullanım otobüsü ihracat üretim ürünü TZY operasyonlarında yaşanan problemler ele alınarak bir gerçek hayat problemi üzerinden projelendirme, üretim ve teslimat süreçleri yönetiminde iyileştirmelerin yapılması hedeflenmiştir. Bu çerçevede öncelikle incelenen ürün temelinde TZY süreçlerinde yaşanan sorunlar analiz edilmiş, en sık yaşanan ve büyük maliyetli problem belirlenmiş, daha sonra bu problem için

gerçekleştirilen kök neden analizi ile ele alınan probleme etki eden faktörler gerçek hayat uygulayıcılarının (firma süreç yöneticileri ve mühendisleri, karar vericiler ve araştırmacılar) görüş ve deneyimleri ve literatür araştırmaları ışığında analiz edilmiştir. En hızlı ve en az maliyetle çözüme ulaştırılabilmesi amaçları altında uygulama problemi olarak belirlenmesine karar verilen kök nedenin ortadan kaldırılması için matematiksel yöntemlere dayanan bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu çerçevede kök nedene dayanan problem tipi Ishikawa yöntemi ile analiz edilmiş, daha sonra bu problem uzayında tanımlanması gereken parametreler ve gerçek hayat verileri karar verici görüşleri ve literatür araştırmaları sonuçlarında tespit edilmiştir. Birden çok birbiri ile çelişen faktörün belirleyiciliğinde çok sayıda alternatifin dikkate alınmasını gerektiren, ayrıca farklı karar verici profillerinin değerlendirmelerinin gerçek hayat kararına etki ettiği problem tipi için grup karar verme ile En İyi – En Kötü (Best Worst Method – BWM) ve Birleştirilmiş Uzlaşık Çözüm (Combined Compromise Solution – CoCoSo) yöntemlerinin kullanıldığı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Gerçek hayat uygulayıcılarının görüşleri ve ilişkin literatürde öne çıkan kriterler arasında “K1:Maliyet”, “K2:Boyut ve fiziksel uyum”, “K3: Farklı boyut ve tasarımlarda esneklik (filtre boyutlandırması, hava geçirgenliği, vb. göre üretilebilen filtre çeşidi sayısı)”, “K4:Bakım ve değiştirme sıklığı”, ve “K5:Tedarik süresi” kriterleri problem uzayında incelenmek üzere ele alınmıştır. Bu faktörler, firmanın TZY süreçleri için “S1:Sürdürülebilirlik politikaları”, “S2:Teknik gereksinimler” ve “S3:Maliyet etkinliği” olarak belirlemiş olduğu stratejik hedefler doğrultusunda titizlikle değerlendirilmiştir. Firmanın üç ayrı stratejik hedefine dair en önemli faktörlerin etkilerini analiz çıktılarını en iyi şekilde yansıtabilmek amacıyla yürütülen gerçek hayat uygulamasında değerlendirici olarak her stratejik hedef tipine yönelik operasyonları yönetmekte olan yöneticilerden oluşan bir karar verme takımı oluşturulmuş ve grup karar verme ile tüm stratejik firma hedeflerinin etkilerinin çalışma sonuçlarında göz önünde tutulması hedeflenmiştir.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde yapılandırılmıştır; Bölüm 2’de araştırmada kullanılan çözüm yöntemlerine ve TZY alanındaki uygulamalarına ilişkin detaylı bilimsel literatür taraması, Bölüm 3’te ise sırası ile BWM ve CoCoSo yöntemleri ve hesaplama mekanizmaları okuyuculara sunulmuştur. Bölüm 4 çalışmada incelenen problem tanımını, öne sürülen çözüm yaklaşımını ve yürütülen gerçek hayat uygulamasına dair sayısal analizlerin sunumunu içermektedir. Çalışma bulguları Bölüm 5’te detaylı tartışılarak sunulmaktadır. Çalışma çerçevesi ve sonuçları Bölüm 6’da özetlenirken, çalışmanın kısıtlılıkları ile gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

TZY işletmelerin rekabet avantajını artırmak ve operasyonel etkinliği sağlamak için kritik bir süreçtir. Bu bağlamda, literatürde bu konuda birçok araştırma

yapılmış ve uygulamalarda çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu bölüm altında çalışmada kullanılmış olan BWM ve CoCoSo yöntemlerinin TZY literatüründe kullanılmış olduğu sayısız kıymetli çalışmadan güncel ve önemli örnekler derlenerek bilimsel araştırmacılara ve alan uygulayıcılarına sunulmaktadır. Var olan çalışmalara örnek olarak ilk olarak Rezaei (2015) tarafından ÇKKV literatürüne sunulmuş olan BWM yöntemi Ahmadi, Kusi-Sarpong ve Rezai (2017)'nin çalışmasında petrol ve doğalgaz TZY'sinde, Gupta ve Barua (2017) tarafından küçük ve orta ölçekli işletmelerde yeşil inovasyon yetenekleri temelinde tedarikçi seçiminde, Kara ve Fırat (2018) tarafından tedarikçi risklerini değerlendirmek amacıyla; Mavi ve Standing (2018)'in çalışmasında sürdürülebilir inşaat proje yönetiminde; Chang, Chen ve Liou (2019) tarafından risk analizi iyileştirmede; Norouzi ve Namin (2019) tarafından inşaat proje risklerini önceliklendirmede; Çakır ve Can (2019)'ın çalışmasında konaklama sektöründe dış kaynak firma seçiminde; Wu, Lin ve Barnes (2019) tarafından tedarikçi seçiminde; Zolfani, Chatterjee ve Yazdani (2019)'nin çalışmasında sürdürülebilir tedarikçi seçiminde; Jahan, Ismail, Mustapha ve Sapuan (2020)'ın çalışmasında enerji ve çevre yönetimi süreçlerinde, Torkayesh, Chatterjee ve Yazdani (2020)'nin çalışmasında dijital tedarikçi seçiminde kullanılmıştır. CoCoSo yöntemi ise ÇKKV süreçlerinde kullanılan yenilikçi bir yaklaşımdır ve kendisine literatürde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Yazdani, Wen, Liao, Banatis ve Turskis (2019) inşaat sektöründe tedarikçi seçiminde; Zolfani ve diğ. (2019) sürdürülebilir tedarikçi seçimi probleminde; Akbulut ve Hepşen (2021) kompost tesisi için yer seçimini probleminde; Adar, Kılıç Delice ve Adar (2022) endüstriyel atık su geridönüşümü yöntem seçiminde; Wei, Meng, Rong, Liu, Garg ve Pamucar (2022) yeşil tedarikçi seçiminde, Andrejić ve Pajić (2023) lojistikte sürücü ve yönetici seçimi probleminde, Pamucar, Ulutaş, Topal, Karamaşa ve Ecer (2024) tekstilde yeşil tedarikçi seçiminde; Razzaq, Riza ve Aslam (2024) Endüstri 4.0 dönüşümünde tedarikçi seçimi probleminde CoCoSo yöntemini uygulamıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen detaylı yazın taramasının çıktıları, çalışma sahibi yazarlar, çalışma yılı, ele alınan problem tipi ve kullanılan çözüm yöntemleri temelinde gruplandırılmış ve Tablo 1'de okuyuculara sunulmaktadır.

Tablo 1

TZY Süreçlerinde BWM ve CoCoSo Uygulamaları Yazın Taraması Özeti

Yazarlar ve Yıl	Problem Tipi	Yöntem
Rezaei (2015)	Tedarikçi seçimi	BWM
Ahmad ve diğ. (2017)	Petrol ve doğalgazda TZY	BWM
Gupta ve Barua (2017)	Küçük ve orta ölçekli işletmelerde yeşil inovasyon yetenekleri temelinde tedarikçi seçimi	BWM
Mavi ve Standing (2018)	İnşaat projelerinde sürdürülebilir proje yönetimi	BWM
Kara ve Fırat (2018)	Tedarikçi risk değerlendirmesi	BWM
Chang ve diğ. (2019)	Risk analizi	BWM
Çakır ve Can (2019)	Konaklama sektöründe dış kaynak seçimi	BWM
Norouzi ve Namin (2019)	İnşaat sektöründe proje risklerinin önceliklendirilmesi	BWM
Yazdani ve diğ. (2019b)	İnşaat sektöründe tedarikçi seçiminde	BWM ve CoCoSo
Wu ve diğ. (2019)	Tedarikçi seçimi problemi	BWM
Zolfani ve diğ. (2019)	Çelik firması sürdürülebilir tedarikçi seçimi (İran)	BWM ve CoCoSo
Torkayesh ve diğ. (2020)	Dijital tedarikçi seçimi	BWM
Jahan ve diğ. (2020)	Enerji TZY projelerinde sürdürülebilirlik analizi	BWM
Akbulut ve Hepşen (2021)	Kompost tesisi yer seçimi (Türkiye)	CoCoSo
Adar ve diğ. (2022)	Endüstriyel atık su geridönüşümü	CoCoSo
Wei ve diğ. (2022)	Yeşil tedarikçi seçimi	BWM ve CoCoSo
Andrejić ve Pajić (2023)	Lojistik sektöründe nakliye sürücülerini ve yöneticilerinin seçimi	BWM ve CoCoSo
Pamucar ve diğ. (2024)	Yeşil tedarikçi seçiminde	CoCoSo
Razzaq ve diğ. (2024)	Endüstri 4.0 dönüşümünde tedarikçi seçimi	CoCoSo

3. Yöntemler

Bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1 En İyi-En Kötü Yöntemi (Best Worst Method - BWM)

ÇKKV problemlerinde sıklıkla kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılan BWM yöntemi Rezaei (2015) tarafından literatüre sunulmuş ve daha sonra Rezaei (2016) çalışmasında geliştirilerek seçim ve karar problemleri literatüründe kendisine geniş yer bulmuştur. Yöntem en temelde kriterler kümesinde karar vericilere (KVler) göre en iyi ve en kötü kriterlerin belirlenmesini ve bu tespite göre kriterlerin değerlendirilmesini içerir. BWM yöntemi, nispeten basit ve anlaşılır olması, hesaplamalarda daha az sayıda parametre kullanması ve veri eksikliği durumunda bile uygulanabilmesi gibi avantajlarıyla AHP ve ANP gibi

ÇKKV literatüründe ağırlık ve öncelik analizi uygulamalarında en sık kullanılan yöntemlere üstünlük sağlamaktadır (Yılmaz Kaya, 2022b). BMW yönteminde ikili karşılaştırmaların tutarlılık oranı hesaplanmakta ve bu sayede nihai ağırlıklandırmanın güvenilirlik bilgisi sağlanırken, gerekli ikili karşılaştırma hesaplama sayısı yöntemin hesaplama mekanizması doğasından kaynakla benzer ikili karşılaştırma temelli hesaplama gerektiren yöntemlere göre daha azdır. Bu sayede, diğer subjektif ağırlıklandırma yöntemleriyle karşılaştırıldığında BMW iyileştirilmiş hesaplamalar ile tutarsızlıkları azaltır, hem değerlendirme tutarlılık oranlarını sunarken, hem de AHP ve ANP yöntemlerine dayalı olarak sıklıkla karşılaşılan, kriterler arasındaki devasa ikili karşılaştırmaların KVLere getirdiği hesaplama yükünü azaltarak kriter ağırlıklarının daha hızlı ve az sayıda hesaplama ile daha az zihinsel yük doğurarak belirlenmesini sağlar. BMW yönteminin hesaplama mekanizmasınınca daha az sayıda ikili karşılaştırma hesaplamasına ihtiyaç duyulmakta olduğu şu şekilde örneklenebilir; örneğin, AHP ile karşılaştırıldığında BMW'deki karşılaştırmalar n adet karar kriteri için " $n*(n - 1) / 2$ "den " $2n - 3$ "e düşmektedir. Yöntemin benzer subjektif ÇKKV yöntemlerinden ayırt edici bir özelliği, seçim kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanmasında bir maksimum modelinin kullanılması, ve, ikili karşılaştırma değerlerine dayanan matematiksel model temelinde belirlenmesidir (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016). Bu yöntem, karşılaştırmalardan elde edilen ağırlıkları tahmin etmek için doğrusal bir modelin çözülmesini içerir (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016; Sotoudeh-Anvari, Sadjadi, Molana ve Sadi- Nezhad 2018; Yazdani ve diğ., 2019b; Kılıç Delice ve Can, 2020; Yılmaz Kaya, 2022b). BMW kullanıcıya daha az işlem yükü getirirken tutarlılık oranlarını (Consistency Ratio - CR) da hesaplayarak sonuçlarının güvenilirliğinin kanıtlanabilmesi ve BMW ikili karşılaştırma yapısının ÇKKV uygulamalarında geçmiş deneyim veya ikili karşılaştırma matris yapısına dair tecrübe gerektirmeden farklı alanlardan gelen KVler tarafından kolaylıkla uygulanabilir olması çerçevesinde SWARA, DEMATEL, AHP veya ANP gibi rakipleriyle karşılaştırıldığında yöntemin uygulayıcıya sunduğu bazı diğer avantajlar da ortaya çıkmaktadır (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016; Kılıç Delice ve Can, 2020; Yılmaz Kaya, 2022b). Ayrıca diğer öznel ağırlıklandırma yöntemlerine göre gereken çiftler arası karşılaştırma sayılarını azalttığından CR değerleri BMW yönteminin kullanılması ile iyileştirilebilmektedir (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016; Sotoudeh-Anvari ve diğ., 2018; Yılmaz Kaya, 2022b). Bu çalışmada BMW yöntemi Rezaei (2015), Rezaei (2016) ve Yılmaz Kaya (2022b) tarafından önerilen matematiksel hesaplama adımları çerçevesinde, aşağıda anlatılmakta olduğu gibi uygulanmıştır.

BMW, bir ikili karşılaştırma işleminde $j = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere n kriteri $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ içeren karar verme problemini ele alır; burada ilk olarak en yüksek ve en az öneme sahip kriterler belirlenmelidir. Bundan sonra $A_b = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bj}, \dots, a_{Bn})$ olarak gösterilen "*en iyiye göre diğerleri*" karşılaştırma vektörü belirlenir; ve, a_{Bj} , 1-9 ölçeğinde (Tablo 2) değer alan ve

diğer tüm kriterlere göre en yüksek öneme sahip kriter olan (KV tercihi açısından) kriter B' 'nin kriter j' 'ye göre tercih edilme değerini temsil eder .

Tablo 2

BWM Değerlendirmeleri Dilsel Ölçeği (Rezaei, 2016)

Dilsel Değerler	Skor
Eşit	1
Zayıf	2
Orta	3
Orta artı	4
Güçlü	5
Güçlü artı	6
Çok güçlü	7
Çok, çok güçlü	8
Son derece	9

Bir sonraki adımda Tablo 2 kullanılarak en az öneme sahip kriterlere göre tüm kriterlerin KV tercihlerine göre $A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{jw}, \dots, a_{nw})$ olarak gösterilen "diğerlerinden en kötüye" karşılaştırma vektörü elde edilir. Elde edilen öncelik bilgisini içeren bu vektörlerde yer alan değerler kriterlerin optimum ağırlıklandırma puanlarını bulmak için doğrusal bir matematiksel programlama modeli oluşturmakta kullanılacaktır. Optimum ağırlık değerleri $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ ve hesaplama tutarlılığı indeksi (ξ) , $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, $j = 1, 2, \dots, n$ için Eşitlik (1) - Eşitlik (5) ile gösterilen doğrusal programlama modelinin $\{|w_B/w_j - a_{Bj}|, |w_j/w_w - a_{jw}|\}$ değerinin maksimum mutlak farkını en aza indirecek şekilde çözülmesi ile hesaplanır.

$$\text{Min } \xi \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \quad (2)$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \quad \forall j \text{ için}, \quad (3)$$

$$\sum_i w_j = 1, \quad \forall j \text{ için}, \quad (4)$$

$$w_j \geq 0, \quad (5)$$

Burada, w_B : en iyi kriterin ağırlığı, w_W : en kötü kriterin ağırlığı ve w_j : j . kriterin ağırlığını göstermektedir. Eşitlik (1) BWM yöntemi çözümünde geliştirilen doğrusal modelin maksimum mutlak fark değeri " ξ " 'yi en aza indirmeyi amaçlayan amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Eşitlik (2) "en iyinin diğerleriyle karşılaştırılması" vektörünü, Eşitlik 3 "diğerlerinin en kötüyle karşılaştırılması" vektörünü, Eşitlik (4) optimal ağırlıklandırma puanlarının toplamının "1" 'e eşit olması gereğini temsil etmektedir ve Eşitlik (5) matematiksel modelin pozitiflik kısıtıdır. KVlerin ikili karşılaştırmalarının temsil edildiği problem girdi verilerinin doğruluğu ve kabul edilebilirliği, Rezaei (2015) tarafından önerilen CR ve tutarlılık endeksi (Consistency Index - CI) eşik değerleri vasıtasıyla $CR = \xi^*/CI$ denklemi ile hesaplanır. ξ^* değeri [0, 1] kapalı aralığında bulunduğu yürütülen hesaplamalar tutarlıdır; ξ^* değeri sıfıra ne kadar yakınsa o kadar yüksek tutarlılığa işaret edecektir (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016; Yılmaz Kaya, 2022b) ve ξ^* 'nin maksimum değerleri Rezaei (2016) çalışmasında sunulmuştur.

BWM, ÇKKV süreçlerinde kullanılan modern bir yöntemdir. BWM'nin avantajları ve dezavantajları, literatürde geniş bir şekilde tartışılmış (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016; Guo ve Zhao, 2017; Mavi ve Standing, 2018; Sotoudeh-Anvari ve diğ., 2018; Kılıç Delice ve Can, 2020; Yılmaz Kaya, 2022b) ve bu alt bölümün başında okuyucuya sunulmuştur. Yöntemin uygulanmasında ortaya çıkabilecek bazı dezavantajlardan biri, en iyi ve en kötü kriterlerin seçiminin, özellikle kriter kümesi genişledikçe, KVler için zorlayıcı olabilme olasılığıdır (Ahmadi ve diğ., 2017). Yöntem optimal ağırlıkların hesaplanması için oluşturulacak matematiksel modelin çözümünde karmaşık matematiksel işlemler gerektirdiğinden, özellikle büyük ölçekli problemler için çözüm zaman alıcı olabilir (Rezaei, 2015) ve doğrusal programlama çözücü yazılımların kullanımını gerektirebilir. Bu nedenle yöntemin uygulanması için seçilen problemlerin kriter sayılarının ($n < 10$) iyi analiz edilmesi önerilmektedir (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016).

3.2. Birleştirilmiş Uzlaşık Çözüm Yöntemi (CoCoSo)

CoCoSo yöntemi Yazdani, Zarate, Zavadskas ve Turskis (2019) tarafından ÇKKV süreçlerinde alternatifleri farklı kriterler altında değerlendirmek ve sıralamak için geliştirilmiş olan bir yöntemdir. CoCoSo, farklı ÇKKV yöntemlerinin güçlü yönlerini birleştirerek karar vericilere daha doğru ve güvenilir sonuçlar sunmayı amaçlamaktadır (Andrejic ve Pajic, 2023). CoCoSo, Basit Ağırlıklı Toplam Yöntemi (SAW) ve Üstel Ağırlıklı Çarpım Modeli Yöntemi (WPM) yöntemlerinin hesaplama mekanizmalarını birlikte kullanan ve nihai sıralama sonuçlarını fayda ve maliyet unsurlarını göz önüne alarak iki ayrı hesaplama yönteminin entegrasyonu ile araştırabilen bir karar verme yöntemidir. Bu çalışmada CoCoSo yöntemi Yazdani ve diğ. (2019a) tarafından önerilen matematiksel hesaplama adımları çerçevesinde uygulanmıştır. Yöntem ilk olarak karar problemini " i =

1, 2, ..., m" adet alternatif ve "j = 1, 2, ..., n" adet kriterin yer aldığı bir A_{ij} değerlendirme matrisi ile temsil eder (Eşitlik 6).

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada " x_{ij} " i . alternatife j . kritere göre aldığı değeri temsil etmektedir. Daha sonra A_{ij} matrisi, fayda kriterleri için Eşitlik (7) ve maliyet kriterleri için Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanan r_{ij} değerlerinin oluşturduğu R_{ij} normalize matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (7)$$

$$r_{ij} = \frac{\max X_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min X_{ij}} \quad (8)$$

Burada, " r_{ij} " i . alternatife j . kriter temelindeki normalleştirilmiş değerini, " $\min x_{ij}$ " j . kriter temelinde alternatiflerin aldığı minimum değeri, " $\max x_{ij}$ " j . kriter temelinde alternatiflerin aldığı maksimum değeri temsil etmektedir.

Yöntemin sıradaki adımında ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulur ve S_i ve P_i değerleri Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) kullanılarak hesaplanır. Burada S_i ve P_i değerleri i . alternatife ait toplam ağırlıklı normalize değerler sırasıyla SAW yöntemi hesaplama mekanizması ve WPM yöntemi hesaplama mekanizması yaklaşımlarına dayalı olarak hesabını temsil etmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j r_{ij}) \quad (9)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (10)$$

Daha sonra alternatiflerin göreceli performans düzeyleri Eşitlik (11) - Eşitlik (13) kullanılarak hesaplanır.

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (11)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min S_i} + \frac{P_i}{\min P_i} \quad (12)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda \max S_i + (1 - \lambda) \max P_i)} ; \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (13)$$

Burada, λ değeri KVler tarafından seçilir ve genellikle $\lambda = 0,5$ 'e eşit olarak belirlenir. Alternatifler için sıralama işleminin sonuçlandırılması, elde edilen k_i değerlerine göre yapılır ve k_i değerleri Eşitlik (14) kullanılarak hesaplanır.

$$k_i = (k_{ia}k_{ib}k_{ic})^{1/3} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (14)$$

Burada k_{ia} : i . alternatifin toplam ağırlıklı performans değerini, λ : eşitlik parametresi ($0 \leq \lambda \leq 1$) değerini temsil etmektedir. CoCoSo yöntemi diğer seçme ve sıralama ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırıldığında uygulamalarda kullanıcılara sunduğu esneklik, hesaplama kolaylığı ve toplam performans odaklı olması gibi avantajları ile öne çıkmaktadır (Yazdani ve diğ., 2019; Zolfani ve diğ., 2019). CoCoSo iki ayrı ÇKKV yönteminin hesaplama mekanizmalarını kullanarak (SAW ve WPM) geliştirilmiş olan, alternatif performanslarını yalnızca bir değil iki farklı hesaplama mekanizmasının bütünleştirilmesi ile ele alarak ortak bir uzlaşık değer verebilen entegre hesaplama modeline dayanmaktadır. CoCoSo karşılaştırılabilirlik dizisi ile nihai değerleri iki ayrı hesaplama yola çıkarak belirler; bunlardan biri alışlagelmış çarpma kuralını uygularken, ikincisi karşılaştırılabilirlik dizisinden uzaklığın ağırlıklı gücünü araştırmaktadır. Sıralama endeksini doğrulamak amacıyla belirli bir alternatif için üç farklı toplama stratejisi tanımlıdır, ve, sonuç olarak kümülatif bir denklem bir nihai üstünlük değerlerini hesaplar ve karar vericiye probleme dair sıralamayı bildirir. Yöntem Yazdani ve diğ. (2019a) tarafından ÇKKV araçları arasında bu tür toplamayı destekleyen herhangi bir algoritma bulunmamakta olduğundan ilişkin yazının ve uygulama alanının bu açığı kapatmak için geliştirilmiştir (Yazdani ve diğ., 2019a; Yazdani ve diğ., 2019b; Zolfani ve diğ., 2019). Yöntemin uzlaşma parametrelerinin seçimi ve öznellik gibi dezavantajları da mevcuttur (Zolfani ve diğ., 2019).

4. Gerçek Hayat Uygulaması

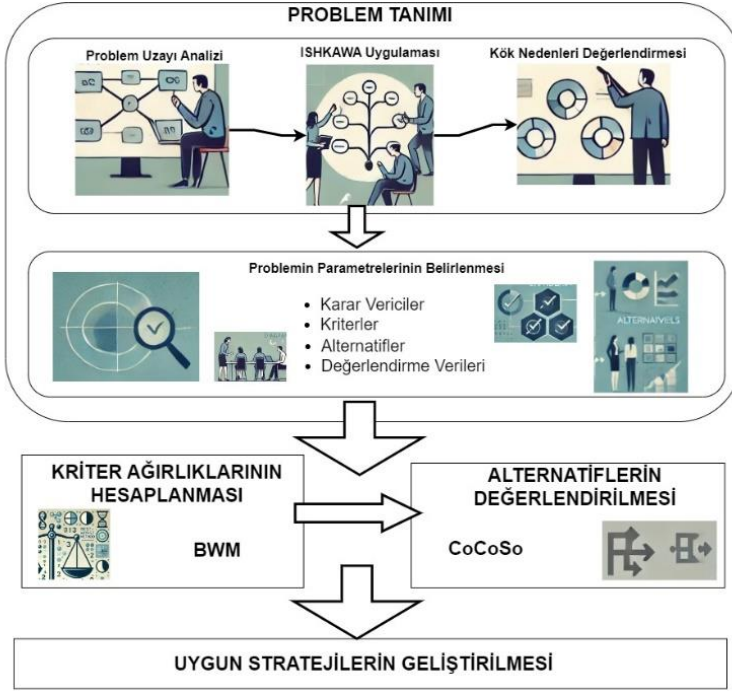
4.1. Problem Tanımı

Bu çalışmada Ankara, Türkiye'de faaliyet gösteren bir otomotiv firmasına ait ihraç edilecek otobüs ürünlerinin projelendirme, üretim ve teslimat süreçlerinde yaşanan operatif problemlerin analiz edildiği bir gerçek hayat problemi (Karşıgil, 2024) çözüme ulaştırılmıştır.

Ele alınan problemin incelenen süreçlerinde yer alan ürün 47 farklı ülkeye ihraç edilen ve üç yıllık ortalama satış miktarlarına göre yıllık ortalama 2477 adet sipariş alınan, üretim süresi ise 21 gün olan bir üründür. Bu ürünün üretim ve teslimat sonrası kabul süreçlerinde şirket son dönemde problemler yaşamaktadır ve bu problemler nedeni ile süreç ve finans yönetiminde farklı negatif sonuçlar alınmaktadır; bunların içinden yaklaşık 30 milyon € maliyetle

en büyük finansal problem ihraç edilen üretimi tamamlanmış ürünlerin geri çağırılmasıdır.

Otomotiv sektörü, son derece hassas üretim süreçleri ve sıkı kalite standartları ile karakterizedir. Bu, operasyon yürütülen tüm süreçlerin verimli ve kesintisiz devam etmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda belirlenen problem için öncelikle kök neden analizinin yapıldığı, daha sonra belirlenen kök nedenlerin değerlendirilmesi ile en belirgin, en maliyetsiz ve en hızlı çözülebilecek kök nedenin ortadan kaldırılması için grup karar vermeyi ve matematiksel çözüm yöntemlerini bütünleştiren bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen çözüm yaklaşımı Şekil 1’de sunulmaktadır.

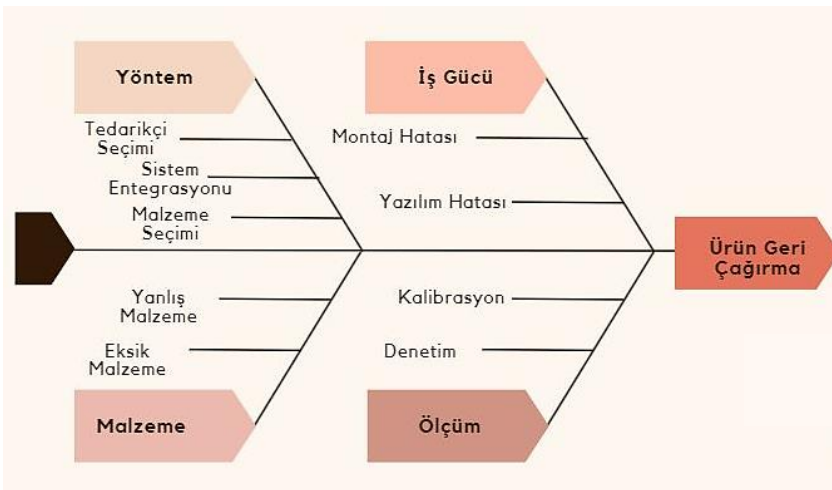


Şekil 1. Önerilen çözüm yaklaşımı

Üretimi tamamlanmış otobüslerin geri çağırılması sorununa neden olan kök nedenlerin belirlenmesi amacı ile Ishikawa (Balık Kılıcı) diyagramı kök neden analizi tekniği kullanılmıştır. Ishikawa diyagramı (Ishikawa, 1960), bir sistemdeki sorunları tanımlamak için kullanılan, sebepler ve sonuçların nasıl bağlantılı olduğunu gösteren, ve, sistemlerde, süreçlerde ve ürünlerde neyin yanlış gittiğinin analiz edilmesine yardımcı olan, literatürde ise hem kullanışlılığı

hem de kullanıcıya sunduğu görsel ayrıntıları ve anlaşılabilirliği ile en sık kullanılan kök neden analizi yöntemidir. Ishikawa diyagramının yaygın kullanım alanları incelenmesi için belirlenen etkiye neden olan potansiyel faktörleri tanımlamak ve bu sayede bu etkinin (problem ya da kusurun) önlenmesi için ortadan kaldırılması gereken temel faktörler ile bunları da oluşturan alt faktörleri ortaya koymaktır. Yöntem genellikle ele alınan sorunlara yol açan ana faktörleri “yöntemler”, “ekipman (makineler)”, “insanlar (işgücü)”, “malzemeler”, “ölçüm (kalite ve kalibrasyon)” ve “çevre (son ürün çıktısına etki eden çevresel faktörler)” olmak üzere altı ana başlık altında incelemeyi öne sürmektedir.

Bu çalışmada incelenecek olan gerçek hayat problemine ilişkin olarak problem doğası ve karar verme uzayının yapısı doğrultusunda “yöntem”, “işgücü”, “malzeme” ve “ölçüm” ana faktörleri ve bu faktörlerin ortaya çıkmasına neden olabilecek alt faktörler karar verici görüşmeleri, firma verileri, geçmiş teslimat performans faktörleri ve gerçekleştirilen literatür araştırmaları ışığında yürütülen beyin fırtınası, detaylandırma ve eleme turları sonucunda oluşturulak belirlenmiştir. Firma verilerinde daha önce proje başarısını, teslimat sürelerini, üretim sürecini, geri gönderim/çekme kararlarını, satış sonrası hizmet maliyetlerini etkileyen faktörler firma yetkililerinin deneyimleri ile KV görüşleri ve gerçek hayat firma verileri analiz edilerek belirlenmiş, alt faktör tanımları, faktör tanımları ve karar problemi ağaç yapısı belirleme ve eleme turları ile oluşturularak sektör ve firma verilerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler temelinde oluşturulan Ishikawa diyagramı Şekil 2’de sunulmaktadır. Problem tanımı aşamasında yürütülen araştırmalar sonucunda belirlenen kök nedenlerin değerlendirilmesi ile, en az maliyet gereksinimi ile en hızlı sürede en yüksek iyileştirme çıktısını verebilecek olan kök neden “kritik parça tedarigi sorunları” olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Ishikawa diyagramı ile kök neden analizi

Uygulama çalışmasında analiz edilen gerçek hayat probleminde yer alan ve ürünlerin geri çağrılmasında en sık karşılaşılan sorunun üretim süreçlerinde kullanılan kritik parça olan radyal tip havalandırma filtrelerine ilişkin olduğu tespit edilmiştir. Kritik parçaların üretim firmasına tedarikçilerden zamanında, doğru ve eksiksiz teslimi, projenin tamamlanma zaman çizelgelerini doğrudan etkilemektedir. Gecikmeler proje maliyetlerini artırmakta ve müşteri memnuniyetini olumsuz yönde etkilemektedir, ayrıca, kritik parçaların tedarikindeki aksaklıklar proje programında ve bağlı diğer operasyonlarda gecikmelere neden olmaktadır. Bu bilgiler ışığında uygulama çalışmasında iyileştirilmesi beklenen kök neden olarak belirlenen kritik parça tedariki temelinde analiz edilecek TZY problemi tedarikçi seçimi problemidir. Bu çalışmada ele alınan kritik parçaya ilişkin parça geometrisi ve çeşitliliğine örnek teşkil etmek amacı ile farklı boyutta ve malzemelerden üretilmiş radyal havalandırma filtreleri aşağıda sunulmaktadır (Şekil 3) (Google resimler, 2024).



Şekil 3. Radyal havalandırma filtresi çeşitleri

Problem tanımı aşamasında sıradaki adımda problemde yer alacak KVler belirlenmiştir. Çalışmaya katılan KVler otomotiv sektöründe deneyime sahip ve ele alınan ürünün projelendirme, üretim ve teslimat (satış ve satış sonrası hizmetler) operasyonlarında faaliyet yürüten farklı yönetici pozisyonlarından çalışanlardır.

Çalışmada yer alan KV profilleri ve uzmanlık alanları gerçek hayat problemi incelenen firmanın stratejik hedeflerini çözüm uzayına en iyi şekilde

yansıtabilecek şekilde belirlenmiştir. Bu bağlamda probleme etki eden faktörleri firmanın belirlemiş olduğu “S1:Sürdürülebilirlik politikaları”, “S2:Teknik gereksinimler” ve “S3:Maliyet etkinliği” stratejik hedefleri doğrultusunda değerlendirebilecek, bu stratejik hedeflere ilişkin operasyonların yürütüldüğü farklı departman ve uzmanlık alanlarındaki KVlerin oluşturduğu karar verme takımının görüşleri ile hesaplamalar yürütülmüştür. Firmanın “S1:Sürdürülebilirlik politikaları” stratejik hedefi temelinde lojistik ve teslimat alanlarından (KV3), “S2:Teknik gereksinimler” stratejik hedefi temelinde ürün geliştirme (KV4) ve kalite yönetimi (KV5) alanlarından, ve, “S3:Maliyet etkinliği” stratejik hedefi temelinde ise maliyet analizi (KV1) ve TZY (KV2) alanlarından yöneticiler KV olarak belirlenmiştir.

Uygulama çalışmasında yer alan KVlere ilişkin demografik bilgiler ve uzmanlık alanları Tablo 3’te sunulmaktadır.

Tablo 3

KV profilleri ve demografik bilgileri

KVler	Uzmanlık Alanı	Tecrübe (Yıl)	Eğitim Düzeyi
KV1	Maliyet Analizi	12	Yüksek Lisans
KV2	Tedarik Zinciri Yönetimi	15	Lisans
KV3	Teslimat ve Satış Sonrası Hizmetler	8	Yüksek Lisans
KV4	Ürün Geliştirme	14	Lisans
KV5	Kalite Yönetimi	10	Doktora

Bir sonraki adımda ise problem uzayına etki eden kriterlerin KV görüşleri, firma verileri ve literatür araştırmaları ışığında belirlenmesi yer almaktadır. Havalandırma filtresi tedarikçisi seçerken dikkate alınması gereken kriterler, işletmenin ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak şekilde belirlenmelidir (Dickson, 1966). Havalandırma filtresi tedarikçisi seçerken göz önünde bulundurulması gereken birçok faktör vardır. Bu faktörler; maliyet, esneklik, firma güvenilirliği, marka değeri, ürün çeşitliliği, satış sonrası destek, değiştirme (yeniden satın alma) sıklığı ve teslimat süresi gibi birbirleri ile çelişen farklı kriterler olabilir (Chopra ve Meindl, 2013).

Çalışmada oluşturulan problem uzayı temelinde beş adet kriter (“K1:Maliyet”, filtrelerin satın alma ve kurulum maliyeti; “K2:Boyut ve fiziksel uyumluluk”, filtrelerin mevcut havalandırma sistemine uyumluluğu; “K3: Farklı Boyut ve Tasarımlarda Esneklik”, tedarikçinin farklı boyut, geçirgenlik ve tasarımlarda filtre sunma yelpazesi, “K4:Bakım ve değiştirme sıklığı”, filtrelerin ne sıklıkla

değiştirilmesi gerektiği; ve, “K5:Tedarik süresi”, filtrelerin sipariş verildikten sonra ne kadar sürede teslim edildiği) belirlenmiştir.

Problem tanımı aşamasının son adımında alternatif tedarikçi firmaların KVler tarafından belirlenmesi yer almaktadır. İncelenen kritik parça özelinde çalışılması olası olan (ihracatı yapılacak ürün temelinde sağlanması gereken gerekli kalite belgelerine ve istenen ürünü ürün gamında üretme ve teslim kapasitesine sahip) dört alternatif tedarikçi firma (A, B, C ve D) belirlenmiştir. Alternatif tedarikçilerden Tedarikçi A Gebze'de, Tedarikçiler B ve D Ankara'da, Tedarikçi C ise Polonya'da bulunmaktadır. Teslimat süresi açısından, en hızlı teslimatı Tedarikçi A gerçekleştirirken, aynı zamanda en yavaş teslimatı da Tedarikçi D gerçekleştirmektedir. Maliyet açısından en pahalı tedarikçi Tedarikçi D firması iken, en uygun maliyetli tedarikçi ise Tedarikçi C firmasıdır.

4.2. BWM Hesaplamaları

Gerçek hayat çalışmasında firma stratejik hedefleri doğrultusunda belirlenen KVlerin görüşleri ile oluşturulan BWM değerlendirme matrisi Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4

BWM KV değerlendirmeleri

Kriterler	Fonksiyon	Karar Vericiler				
		KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
K1 - Maliyet	Enk.	B / 9	2 / 7	8 / 2	8 / W	8 / W
K2 - Uyumluluk	Enb.	5 / 4	4 / 5	4 / 6	2 / 8	B / 9
K3 - Tasarım	Enb.	6 / 4	3 / 6	2 / 5	B / 9	3 / 8
K4 - Bakım	Enk.	9 / W	8 / W	B / 8	6 / 4	7 / 3
K5 - Teslimat Süresi	Enk.	2 / 7	B / 8	9 / W	6 / 4	7 / 2

Bu karşılaştırma değerleri kriterlerin önem derecelerini belirlemek için kullanılmış ve grup karar verme altında kriter ağırlıklarının nihai ağırlık değerleri Alt bölüm 3.1 Eşitlik (1) – Eşitlik (5) kullanılarak hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen hesaplamalara ilişkin KVler temelinde elde edilen ağırlık değerleri, CR değerleri, ve, her bir kriter temelinde hesaplanan nihai kriter ağırlık değerleri Tablo5'te sunulmaktadır. Tablo 4'te yer alan değerlendirme verileri kullanılarak her bir KV temelinde oluşturulan ve çözülen matematiksel modeller sonucu hesaplanan CR değerleri her hesaplama için [0, 1] aralığındadır

ve bu yapılan hesaplamaların tutarlı olduğunu göstermektedir (Rezaei, 2015; Rezaei, 2016).

Tablo 5

BWM hesaplamalarına göre kriter ağırlık değerleri

Kriterler	Karar Vericiler					Nihai Kriter Ağırlıkları
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	
K1	0,474	0,204	0,071	0,048	0,047	0,169
K2	0,111	0,153	0,143	0,286	0,530	0,245
K3	0,093	0,122	0,286	0,476	0,227	0,241
K4	0,044	0,043	0,457	0,095	0,097	0,147
K5	0,278	0,478	0,043	0,095	0,097	0,198
$\sum W_i$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
CR	0,208	0,214	0,208	0,286	0,286	

BWM hesaplaması sonuçlarına göre süreçte aktör olan farklı KV yönetici profillerinin değerlendirmelere etkileri göz önüne alındığında “K2:Boyut ve fiziksel uyumluluk” kriterinin kritik parça tedariki sürecine etki eden en önemli kriter olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu durum hesaplamalarda mevcut literatür bilgilerine dayanan (maliet kriteri) ya da karşılaştırma verileri üzerinden sezgisel karar verilen (maliet kriteri, teslimat süresi kriteri) bir değerlendirme ile kriter önem ağırlıklarının belirlenmesi yerine, farklı yönetici profillerinin KV değerlendirmeleri ile oluşturulan veriler kullanılarak yapılan matematiksel hesaplamaların beklenen sonuçlardan oldukça farklı gerçek hayat çözümleri doğurduğunu göstermektedir. BWM hesaplamaları bulgularına göre en önemli ikinci kriter “K3: Farklı Boyut ve Tasarımlarda Esneklik” olarak bulunmuştur ve nihai önem ağırlıkları değerlerine göre bu kriteri sırası ile “K1:Maliet”, “K4:Bakım ve değiştirme sıklığı”, ve “K5:Tedarik süresi” kriterleri takip etmektedir. BWM hesaplamalarına dair bulgular Alt bölüm 4.3’te detaylı olarak tartışılarak okuyuculara sunulmuştur.

4.2. CoCoSo Hesaplamaları

Gerçek hayat uygulamasının bir sonraki aşamasında, KVler tarafından belirlenen alternatif tedarikçiler BWM hesaplamaları sonucunda belirlenen nihai ağırlık değerleri temelinde CoCoSo yönteminin kullanılması ile Alt bölüm 3.2 Eşitlik (6) – Eşitlik (14) ile sunulmakta olan matematiksel işlemler kullanılarak

hesaplanmıştır. CoCoSo hesaplamalarında kullanılan alternatiflerin kriterler temelinde sahip oldukları performans değerleri aşağıda (Tablo 6) sunulmaktadır.

Tablo 6

CoCoSo değerlendirme matrisi

Kriterler					
Kriter türü	Enk	Enb	Enb	Enk	Enk
Ağırlıklar	0,169	0,245	0,241	0,147	0,198
	K1- Maliyet	K2 - Boyut	K3 - Tasarım	K4 - Bakım	K5 - Teslimat süresi
Alternatifler					
A1-A Firması	17,5	2	4	12	24
A2-B Firması	16	3	5	10	26
A3-C Firması	15,5	5	3	8	28
A4-D Firması	18	4	2	12	30

Değerlendirme tablosunda görülen veriler *K1- Maliyet kriteri* için otobüs başına kullanılacak radyal havalandırma filtresi birim maliyetini (\$); *K4 - Bakım ve Değiştirme Sıklığı* kriteri için kullanılacak radyal havalandırma filtresinin otobüs kullanım süresi içinde değiştirilmesinin tedarikçi tarafından önerilen sıklığını (ay); ve *K5 - Teslimat Süresi* kriteri için tedarikçi firmaların sipariş verilmesi durumunda ürün teslimatı için taahhüt ettikleri teslim sürelerini (gün) ifade etmektedir. *K2 - Boyut ve Fiziksel Uyumluluk* ve *K3 - Farklı Boyut ve Tasarımlarda Esneklik* kriterleri dilsel değerlendirme içeren kriterlerdir, bu nedenle, bu kriterler temelinde alternatif tedarikçi performansları KV görüşleri ve firma geçmiş verilerine dayanılarak *1-5 Dilsel Likert Ölçeği* ("Çok iyi - 5"; "İyi - 4"; "Orta - 3"; "Kötü - 2"; "Çok Kötü - 1") kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 6, Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanmış olan normalize edilmiş karar matrisi Tablo 7'de sunulmaktadır.

Tablo 7

Normalize edilmiş karar matrisi

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5
A1 - A Firması	0,200	0,000	0,667	0,000	1,000
A2 - B Firması	0,800	0,333	1,000	0,500	0,667
A3 - C Firması	1,000	1,000	0,333	1,000	0,333
A4 - D Firması	0,000	0,667	0,000	0,000	0,000

Daha sonra, Tablo 5'te sunulan nihai ağırlık değerleri, Tablo 7 ve Eşitlik (9) – Eşitlik (14) kullanılarak hesaplanmış olan S_i , P_i , k_{ia} , k_{ib} , k_{ic} ve k_i değerleri ile tedarikçi firma alternatiflerinin nihai sıralaması Tablo 8'de sunulmaktadır. Hesaplamalarında kullanılan λ değeri literatür uygulamaları tavsiyelerine uygun olarak 0,5 alınmıştır (Andrejic ve Pajic, 2023).

Tablo 8

CoCoSo hesaplamaları sonuçları ve alternatiflerin nihai sıralaması

Alternatifler	S_i	P_i	k_{ia}	k_{ib}	k_{ic}	k_i	Sıralama
A1 - A Firması	0,393	2,669	0,209	5,354	0,580	2,048	3
A2 - B Firması	0,663	4,553	0,357	9,095	0,988	3,254	2
A3 - C Firması	0,707	4,572	0,361	9,385	1,000	3,336	1
A4 - D Firması	0,163	0,906	0,073	2,000	0,202	1,325	4

CoCoSo yöntemi ile yapılan değerlendirme sonucunda en yüksek puanı (k_i değeri) Tedarikçi C alternatifinin aldığı görülmektedir (Tablo 8). En iyi alternatifi hesaplanan k_i değerlerine göre sırası ile Tedarikçi B ve Tedarikçi A firmalarının izlediği görülmektedir. Yürütülen hesaplamalar ışığında en kötü alternatif ise Tedarikçi D firması olarak belirlenmiştir.

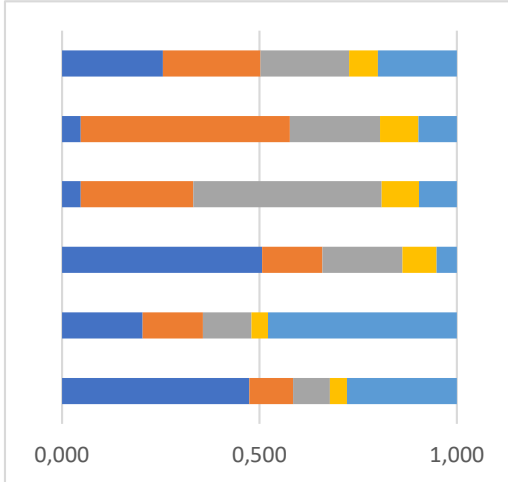
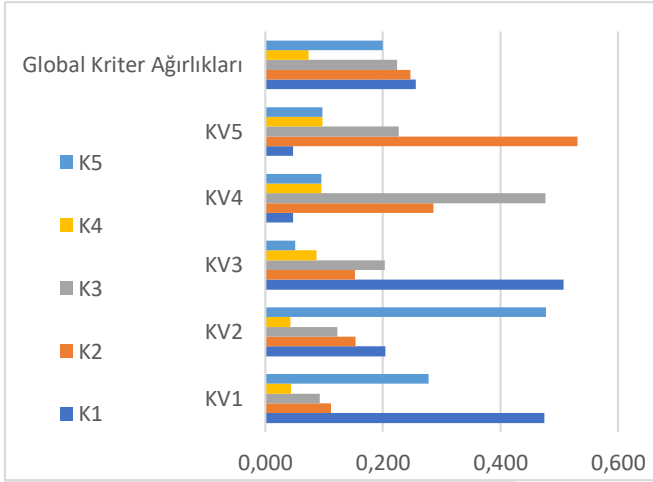
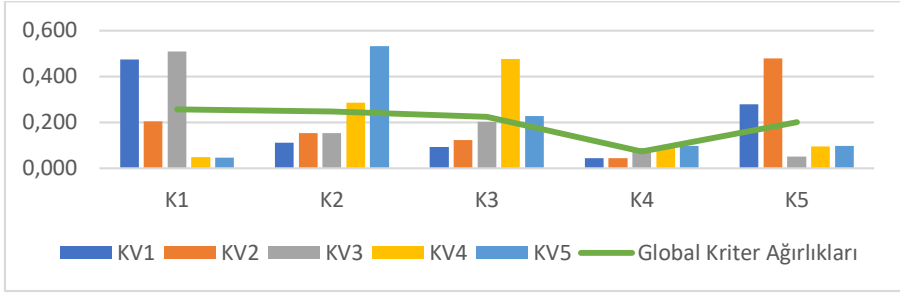
4.3. Bulgular ve Tartışma

BWM yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları, her bir kriterin önem derecesini göstermektedir. Genel alan uygulaması verilerine, literatür araştırması bulgularına, ya da, ele alınan problem özelinde var olan verilere dayanmayan, yalnızca KV tecrübesiyle sezgisel şekilde belirlenen kriter ağırlıkları özellikle spesifik karar problemlerinde yanıltıcı olabilmektedir. Örneğin, böyle bir uygulamada neredeyse her tedarikçi seçimi problem uzayında tanımlanan

“maliyet” kriteri geleneksel yönetim anlayışında baskın kanıyla diğer kriterlere göre daha fazla öneme sahip olarak belirlenebilecek, bakım sıklığı veya fiziksel uyum gibi kriterlerin ise daha düşük ağırlıklara sahip olduğu kanısı oluşabilecektir, dolayısı ile belirlenecek kriter ağırlıklarının nihai seçimde KVLere verdiği çıktılar yanlış alternatifler olabilmektedir. Bu bağlamda kriter ağırlıklarının bu çalışmada da olduğu ve ilişkin yazında yer alan çok sayıda çalışmada da (Yılmaz, 2010; Yazdani ve diğ., 2019b; Yılmaz Kaya, 2022a; Yılmaz Kaya, 2022b; Andrejić, Pajić, 2023) yer aldığı gibi matematiksel hesaplamalar, alan bilgisi ve literatür çıktılarına dayandırılması doğru sonuçların elde edilmesinde fayda sağlayacaktır.

Ele alınan gerçek hayat problemi özelinde kriter ağırlıkları bu gibi yanılsamaları bertaraf edebilmek amacıyla matematiksel hesaplamalar ile ve birden çok KV profilinin görüşlerini içerecek şekilde kurgulanarak BWM yöntemi yardımıyla hesaplanmıştır. BWM hesaplamaları sonuçlarına göre “K2: Boyut ve Fiziksel Uyumluluk” kriteri kritik parça tedariki sürecine etki eden en önemli kriter olarak belirlenmiş, hesaplama bulgularına göre en önemli ikinci kriter “K3: Farklı Boyut ve Tasarımlarda Esneklik”, üçüncü kriter “K5: Teslimat Süresi”, dördüncü kriter “K1: Maliyet” ve öncelikte sonuncu kriter ise “K4: Bakım ve Değiştirme Sıklığı” kriterleri olarak bulunmuştur (Tablo 5). BWM hesaplamaları sonucunda elde edilen kriter önem ağırlıklarının karşılaştırmalı analizi Şekil 4’te görselleştirilerek sunulmaktadır.

Radyal havalandırma filtresi kritik parça tedariki sorunu için öne sürülen çözüm yaklaşımında CoCoSo hesaplamalarına dair bulguların analizinde, KVLerin matematiksel hesaplama sonuçlarını incelemeyen, yalnızca CoCoSo girdi verileri üzerinden (Tablo 6) yaptıkları deneyim ve sezgilere dayalı değerlendirmede Tedarikçi A Gebze’de bulunması, en kısa teslimat süresine, en uzun bakım sıklığı değerine ve yüksek tasarım uyumluluğu ve parça çeşidi gamına sahip olması nedenleriyle en uygun seçenek olarak görülmüştür. Ancak, BWM ve CoCoSo yöntemleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, en uygun tedarikçinin Tedarikçi C (Polonya) firmasının olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle mevcut literatür araştırması çıktıları ve bu çıktıları destekleyen KV ve uzman görüşleri çerçevesinde en önemli sayılan karar kriterlerinden maliyet, teslimat süresi, tasarım kriterlerini önönceleyen çözümlerden farklı olarak, geleneksel beklentilere göre teslimat süresi ve tasarıma ilişkin kriterlerdeki görece dezavantajlı performansına rağmen K2 ve K1 kriterleri temelinde yüksek performansa sahip olan Tedarikçi C alternatif firması en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar uygulama çalışmasında yer alan KVler ve üst yöneticiler tarafından da değerlendirilmiş ve uygulamaya yönelik olarak hem belirlenen firma stratejilerine en çok katkı sunması ve hizmet etmesi, hem de yaşanan kritik parça tedariki sorunlarının çözülmesi açısından uygulanabilir bulunmuştur. Bu sonuç, maliyet etkinliği ve genel performans kriterlerine göre yapılan bu tip seçim ve karar problemlerinde matematiksel hesaplamalara dayalı objektif değerlendirmelerin çözüm stratejisi geliştirilmesinde kullanılması gereken asıl yaklaşım olduğunu da ayrıca yeniden kanıtlamaktadır.



Şekil 4. BWM hesaplama sonuçları karşılaştırmalı analizi

Bu bulgular, otomotiv firması için stratejik tedarikçi seçiminde doğru karar verilmesine yardımcı olacak önemli bilgiler sunmaktadır. TZY operasyonlarında objektif karar verme süreçleri ve analitik yöntemlerin kullanımı önemlidir ve bu çalışma, bu süreçlerin nasıl uygulanabileceğine dair pratik bir örnek sunmaktadır.

5. Sonuç

Tedarikçi seçimi, TZY operasyonlarının kritik bir bileşenidir ve firmaların rekabet avantajı sağlamaları açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, TZY süreçlerinin karmaşıklığı ve önemi göz önünde bulundurularak mevcut durum analizi yapılmış, belirlenen probleme ilişkin detaylandırılmış kök neden analizi Ishikawa diyagramı kullanılarak yürütülmüş, KV değerlendirmelerince ortadan kaldırılması en efektif sonuçları verecek kök neden olarak belirlenen kritik parça tedarik süreci sorunlarının çözümü için tedarikçi seçimi probleminin ele alınması gerektiği ortaya koyulmuştur. Daha sonra ÇKKV ve TZY literatürlerinde geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış olan BWM ve CoCoSo yöntemlerinin kullanımı ile belirlenen bu kök nedenin ortadan kaldırılması için çözüm geliştirilmiştir.

Bu çalışmada kriter ağırlıkları orijinal doğrusal BWM yöntemi kullanılarak, alternatif tedarikçi firmaların performansları ise CoCoSo yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve hesaplanmıştır. Çalışmada farklı KV profillerinin karar sürecine etkisini hesaba katabilmek amacıyla grup karar verme uygulanmıştır. Mevcut çalışmanın kısıtlılıkları ve çalışma konusunda yürütülebilecek gelecek çalışmalara öneriler aşağıda sunulmaktadır.

- Dilsel skalalar temelinde yapılan subjektif değerlendirmelerin hesaplamalarda temsil edilebilmesi için bulanık küme teoreminden de faydalanılabilir, ve, bulanık sayı kullanımının sonuçlar üzerinde oluşturabileceği olası etkiler farklı senaryolar ile analiz edilebilir.
- Kriter ağırlık değerlerinin belirlenmesinde kriterler arası etkileşimin de hesaplamalarda dikkate alındığı DEMATEL gibi ÇKKV yöntemleri ile ek hesaplamalar yapılarak, kriter kümesi içinde etkileşim bulunup bulunmadığı ileri analizler olarak incelenebilir.
- Alternatif tedarikçilerin seçiminde CoCoSo yönteminden farklı ÇKKV yöntemlerinin kullanımının çözüm kümesindeki sıralama üzerindeki etkisi karşılaştırmalı analizler ile incelenebilir.
- Yürütülen çalışmada gerçekleştirilen hesaplamalarda λ değeri mevcut literatür uygulamalarında yer verilen önerilere uygun olarak "0,5" olarak belirlenmiş ve hesaplamalar bu şekilde yürütülmüştür. İlerideki çalışmalar, λ değerinin "0" ile "1" değerleri arasında farklı değerler alması durumunda sonuçların analizini de konu edinen bir duyarlılık

analiziyle yürütülebilir.

- ÇKKV literatüründe bazı problem tipleri için kriter ağırlıkları belirlenmesinde literatürde dominant olan AHP ve ANP gibi yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği incelenmiş olan FUCOM yönteminin bu problem tipi için performansı ileriki çalışmalarda karşılaştırmalı analizler ile irdelenebilir.
- Hedef programlama gibi doğrusal programlama modelleri ile ele alınan bu problem tipinin çözümü ve sonuçların nasıl etkilendiği analiz edilebilir.

Bu çalışmada önerilen kök neden analizi ve ÇKKV hesaplamaları tabanlı çözüm yaklaşımı TZY operasyonlarında performans iyileştirmesi amacıyla kritik parça tedariki süreçleri için uygulanmıştır. Ancak, geliştirilen çözüm yaklaşımı farklı uygulama alanlarındaki farklı konularda benzer yapıya sahip analiz ve karar problemleri için de uygulanabilecek esnekliktedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Burcu YILMAZ KAYA, konu seçimi, bilimsel yayın araştırması, yöntemlerin belirlenmesi, yöntemlerin uygulanması, sonuçların analizi, makalenin yazımı, çalışmanın yönetilmesi; Gülfidan KARŞIGİL, konu seçimi, bilimsel yayın araştırması, veri setlerinin oluşturulması, yöntemlerin uygulanması, sonuçların analizi, makalenin yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Adar, E., Delice, E.K. ve Adar, T. (2022). Prioritizing of industrial wastewater management processes using an integrated AHP-CoCoSo model: comparative and sensitivity analyses. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 4691-4712. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03511-y>

Ahmadi, H. B., Kusi-Sarpong, S., ve Rezaei, J. (2017). Assessing the social sustainability of supply chains using Best Worst Method. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 99-106. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.020>

- Akbulut, O. Y., ve Hepşen, A. (2021). Finansal performans ve pay senedi getirileri arasındaki ilişkinin Entropi ve CoCoSo ÇKKV teknikleriyle analiz edilmesi. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 681-709. Doi: <https://doi.org/10.30784/epfad.945770>
- Andrejić, M., ve Pajić, V. (2023). Optimizing personnel selection in transportation: an application of the BWM-CoCoSo decision-support model. *Journal of Organizations, Technology and Entrepreneurship*, 1(1), 35-46. Doi: <https://doi.org/10.56578/jote010103>
- Chang, T. L., Chen, K., ve Liou, J. (2019). A novel FMEA model based on rough BWM and rough TOPSIS-AL for risk assessment. *Mathematics*, 7(10), 874. Doi: <https://doi.org/10.3390/math7100874>
- Chopra, S., ve Meindll, P. (2013). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. New York: Pearson.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and Supply Chain Management: Logistics & Supply Chain Management*. New York: Pearson.
- Çakır, E., ve Can, M. (2019). Best-worst yöntemine dayalı ARAS yöntemi ile dış kaynak kullanım tercihinin belirlenmesi: Turizm sektöründe bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 1273-1300.
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 5-17. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Google Resimler: "Otobüs havalandırma filtresi çeşitleri" (2024). Erişim adresi: https://www.google.com/search?scas_esv=7d41e6a1da68bbf8&scas_upv=1&q=otob%C3%BCs+havaland%C4%B1rma+filtresi+%C3%A7e%C5%9Fitleri&udm=2&fbs=AEQNm0CSvsjWvChtArk22jMGgQq8FH_E5B5QsNrgRF4E2T2FwGVSQOMJu09QJlxnljqpFplb-4gIHlnHeiNcslT7zypL6d3QvR-IFOdJ6Mxi10B_TI7I1sMbYfS96hoq8L95FxAC60iqNSomCj6aznr37LuWxOLsvl9vzRhQ-m1xWGVFAFxiQ58UYdZLNYWcAGLyJADeDwOwUJ3Eja7rEcfIDHM8OZl3A&sa=X&ved=2ahUKEwjbh_r0rMSHAXU4HrkGHeXrMkUOtKgLegQIExAB&biw=1920&bih=927&dpr=1
- Guo, S., ve Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.01.010>
- Gupta, H., ve Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242-258. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.125>
- Jahan, A., Ismail, M., Mustapha, F., ve Sapuan, S. (2010). Material selection based on ordinal data. *Materials and Design*, 31, 3180-3187. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.02.024>

- Kara, M. E., ve Fırat, O. (2018). Supplier risk assessment based on Best-Worst Method and K-means clustering: A case study. *Sustainability*, 10(4), 1066. Doi: <https://doi.org/10.3390/su10041066>
- Karşıgil, G. (2024). *Tedarik zinciri yönetimi optimizasyonunda tedarikçi seçimi probleminin grup karar verme yöntemleri ile matematiksel olarak analizi* (Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi) Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kılıç Delice, E., ve Can, G.F. (2020). A new approach for ergonomic risk assessment integrating KEMIRA, Best-Worst and MCDM methods. *Soft Computing*, 24, 15093–15110. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05143-9>
- Mavi, R. K., ve Standing, C. (2018). Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Journal of Cleaner Production*, 194, 751-765. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.120>
- Norouzi, A., ve Namin, H. G. (2019). A Hybrid Fuzzy TOPSIS – Best Worst Method for Risk Prioritization in Megaprojects. *Civil Engineering Journal*, 5(6), 1257–1272. Doi: [10.28991/cej-2019-03091330](https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091330)
- Pamucar, D., Ulutaş, A., Topal, A., Karamaşa, Ç., & Ecer, F. (2024). Fermatean fuzzy framework based on preference selection index and combined compromise solution methods for green supplier selection in textile industry. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 11(1), 2319786. Doi: <https://doi.org/10.1080/23302674.2024.2319786>
- Razzaq, A., Riaz, M., & Aslam, M. (2024). Efficient picture fuzzy soft CRITIC-CoCoSo framework for supplier selection under uncertainties in Industry 4.0. *AIMS Mathematics*, 9(1), 665-701. Doi: [10.3934/math.2024035](https://doi.org/10.3934/math.2024035)
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130. Doi: [10.1016/j.omega.2015.12.001](https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001)
- Sotoudeh-Anvari, A., ve Mousavi-Nasab, S. H. (2018). A new multi-criteria decision making approach for sustainable material selection problem: A critical study on rank reversal problem. *Journal of Cleaner Production*, 182, Doi: [10.1016/j.jclepro.2018.02.062](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.062)
- Torkayesh, A. E., Chatterjee, P., ve Yazdani, M. (2020). An integrated decision-making model for supplier evaluation in public healthcare system: the case study of a Spanish hospital. *Operations Research Perspectives*, 7, 100163. Doi: <https://doi.org/10.1108/JOER-09-2019-0294>

- Wei, D., Meng, D., Rong, Y., Liu, Y., Garg, H., & Pamucar, D. (2022). Fermatean Fuzzy Schweizer-Sklar operators and BWM-entropy-based combined compromise solution approach: an application to green supplier selection. *Entropy*, 24(6), 776. Doi: <https://doi.org/10.3390/e24060776>
- Wu, C., Lin, Y., ve Barnes, D. (2019). An integrated decision-making approach for sustainable supplier selection in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 222, 36-50. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115553>
- Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management decision*, 57(9), 2501-2519. Doi: <https://doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458>
- Yazdani, M., Wen, Z., Liao, H., Banaitis, A., & Turskis, Z. (2019). A grey combined compromise solution (CoCoSo-G) method for supplier selection in construction management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(8), 858-874. Doi: <https://doi.org/10.3846/jcem.2019.11309>
- Yılmaz, B. (2010). *Ekipman Seçimi Problemi İçin Bulanık PROMETHEE Ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Bütünleşik Kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi) Gazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Yılmaz Kaya, B. (2022a). Minimizing OHS risks with spherical fuzzy sets as a verdict to inventory management: A case regarding energy companies. *Discrete Dynamics in Nature & Society*, 3, 12-32. Doi: <https://doi.org/10.1155/2022/9511339>
- Yılmaz Kaya, B. (2022b). Human factors engineering on the edge of industry 4.0: Analysis for IoT-aided technologies. *Endüstri Mühendisliği*, 33(1), 1-21. Doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1025701>
- Zolfani, S. H., Chatterjee, P. ve Yazdani, M. (2019). *A structured framework for sustainable supplier selection using a combined BWM-CoCoSo model*. International Scientific Conference Contemporary Issues in Business, Management and Economics Engineering'2019 toplantısında sunulan bildiri, Vilnius: Vilnius Tech, 797-804. Doi: <https://doi.org/10.3846/cibmee.2019.081>