

## Tedarik Zinciri Risk Yönetiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Süreç Bazlı Hata Türleri Analizi

Pelin Poyraz<sup>1</sup>, Fuat Şimşir<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

### Makale Tarihçesi

Gönderim: 17.05.2021

Kabul: 24.08.2021

Yayın: 10.03.2022

### Araştırma Makalesi

**Öz** – Günümüzde; doğal afetlerin artması, teknolojinin hızla gelişmesi, ürün ömrünün kısılması, maliyetlerin artması, politik sebepler, arz ve talepteki belirsizlikler sonucu giderek artan tedarik zinciri riskleri ile karşılaşmaktadır. İşletme-ler rekabet avantajı sağlayabilmek, müşteri beklentilerini karşılayabilmek, sektörde pazar paylarını artırabilmek ve sürdürülebilirliklerini koruyabilmek için tedarik zinciri risklerini sistemli bir şekilde yönetmek durumundadırlar. Çalış-mada, iklimlendirme ve ısıtma sektöründeki bir firmanın talep planlama sürecinde oluşan hatalar analiz edilmiştir. Süreç HTEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) yönteminin, alanında uzman karar vericilerin bilgi ve tecrübelerini değerlendirmelerde göz önüne alamaması şeklindeki zayıf yönleri sebebiyle, risk analizine süreç aşamalı yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Bu amaçla, risk analizi için Bulanık SWARA-COPRAS tabanlı süreç aşamalı ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) modeli önerilmiştir. Kriterlerin önem ağırlıklarını belirleyebilmek için Bulanık SWARA yöntemi, hataları sıralayabilmek için Bulanık COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, en önemli hataların; “HT-1: Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP (Satış ve Operasyon Planlama) toplantısında fark edilmesi” ve “HT5: Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” olduğu tespit edilmiştir. “HT18: Talep rakamlarının fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi” en önemsiz hata olmuştur. İlerleyen çalışmalarda, risk analizle-rinin etkinliklerinin benzer yaklaşımlarla değerlendirilebileceği ve karar destek sistemlerine entegre edilerek mevcut veya gelecek senaryoların analizinde kullanılabileceği öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler** – Bulanık COPRAS, bulanık SWARA, çok kriterli karar verme, hata türü ve etkileri analizi, risk analizi

## Process Based Failure Mode Analysis with Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods in Supply Chain Risk Management

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Karabuk University, Karabuk, Turkey

### Article History

Received: 17.05.2021

Accepted: 24.08.2021

Published: 10.03.2022

### Research Article

**Abstract** – Today, increasing supply chain risks are encountered due to increasing natural disasters, the rapid development of technology, shortening of product life, increasing costs, political reasons, uncertainties in supply and demand. Busi-nesses have to systematically manage their supply chain risks to gain a competitive advantage, meet customer expectations, increase their market share in the sector and maintain their sustainability. In the study, errors in the demand planning process of a company in the air conditioning and heating sector were analysed. Due to the weaknesses of the Process FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) method, that it cannot take into account the knowledge and experience of experts in the evaluations, a new process-based approach to risk analysis has been introduced. For this purpose, Fuzzy SWARA-COPRAS-based process-stage MCDM (Multi-Criteria Decision Making) model is proposed for risk analysis. The SWARA method was used to determine the importance levels of the criteria and the COPRAS method was used to sort the errors. According to this method, it has been determined that the most important mistake is “Demand figures are missing or incorrect, and the under-production is noticed at the S&OP (Sales and Operations Planning) meeting”. “Recognizing the excess production in the month-end stock report as a result of the overestimation of the demand numbers” has been found to be the least important mistake. In future studies, the effectiveness of risk analysis can be evaluated with similar approaches and integrated into decision support systems and used to evaluate current or future scenarios

**Keywords** – Failure modes and effect analysis, fuzzy COPRAS, fuzzy SWARA, multi criteria decision making, Risk analysis

<sup>1</sup> pelin\_poyraz\_14@hotmail.com

<sup>2</sup> fuatsimsir@karabuk.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Günümüz modern ekonomilerinde tedarik zincirleri, mal veya hizmetlerin üretimi için kritik yapılar haline gelmiştir. [Nagurney vd., \(2005\)](#) tedarik zincirlerinin üreticileri, dağıtıcıları ve perakendecileri kapsarken tüketicileri de içermesinden dolayı, değişen dünyada artan risk ve belirsizliklere cevap verebilecek sağlamlıkta olması gerektiğini belirtmişlerdir. Doğru bir tedarik zinciri risk analizi için öncelikle sistem veya süreçteki hataların doğru analiz edilmesi ve daha sonra etkisinin azaltılması gereklidir. Tedarik zinciri risklerinin analizi ile hatalar daha erken fark edilerek şiddetleri veya olasılıkları düşürülebilmektedir. Böylece üretim, depolama, taşıma, sigortalama, dağıtım, katma değerli işlemler, gümrükleme olmak üzere tüm işletme faaliyetleri risklerden korunarak maliyetler azaltılabilmektedir.

Çalışmada ısıtma iklimlendirme sektöründe faaliyet gösteren bir grup şirketinin, diğer grup şirketlerine ait ulusal satış ofisleri için yaptıkları üretim süreci ele alınmıştır. Ulusal satış ofisleri için yapılan üretimin talep planlama sürecindeki hatalar analiz edilmiştir. Tedarik zincirindeki riskler; çevre, insan, metot/prosedür kaynaklı hatalardan etkilenmektedir. İşletmede tedarik zinciri riskleri HTEA yöntemi ile analiz edilmektedir. Süreçteki hatalardan dolayı fazla ve eksik üretim yapma riskleri ile karşılaşmıştır. Hataların doğru bir şekilde analiz edilmesi ile ulusal satış ofislerine her üründen talep ettikleri miktarda, doğru zamanda teslimat yapılması sağlanacaktır. Bu sayede şirketin prestiji korunacak, müşteri memnuniyeti artacak ve maliyet, insan gücü, zaman gibi işletme kaynakları da etkin olarak yönetilecektir.

Tedarik zincirinde hataların analiz edilmesi için yapılmış çalışmalarda ve çalışmanın yapıldığı bu işletmede RÖS (Risk Öncelik Sırası) değeri olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik kriterlerinin çarpımı ile bulunmuştur. Bu kriterler ve hesaplama tarzı, risklerin sıralanması için yetersiz kalmaktadır. Risklerin analizi için yapılan çalışmalarda anket yöntemi, klasik HTEA yöntemi, bulanık HTEA yöntemi, simülasyon yöntemi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, matematiksel modelleme, CVAR (Conditional Value at Risk - Risk Altındaki Koşullu Değer) yöntemi birçok çalışmada uygulanmıştır. Anket yöntemi uzmanların görüşlerini dikkate alırken değerlendirmede kullanılan kriterlerin ve bulanık durumların göz önüne alınamaması tam ve doğru bir değerlendirme yapılamamasına yol açmaktadır. Klasik HTEA yöntemi için kullanılan; olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik kriterleri süreçteki hataları analiz edebilmek için yetersiz kalabilmektedir. CVAR yöntemi koşullu riske maruz değer anlamına gelmektedir. VAR (Value at Risk - Risk Altındaki Değer) yönteminin en kötü durum aşırsa beklenen kaybı ifade edememesi sonucu geliştirilmiştir. CVAR yöntemi ile yapılan risk analizleri çok boyutlu olarak ele alınmalıdır. Bir sistemi simüle etmek ve sonuçların doğru olduğunu ispatlamak için zaman ve işlem maliyeti yüksek olabilmektedir.

Talep planlama sürecinde hatalar, farklı aşamalarda ortaya çıkabilmektedir. Hataların, herhangi bir süreçte ilerleyen safhalarda (sürecin son adımlarında) fark edilmesinin önemi ve maliyeti, başlangıç aşamalarında tespit edilmesine göre daha yüksek olmaktadır. Bu durumda zaman, işgücü, sermaye ve malzeme kaybı gibi önemli sorunlar oluşmaktadır. Ayrıca, hataların son adımlarda telafi edilmesi daha zor olmakta ve müşteri memnuniyetini de oldukça olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada, süreçteki hataların ilişkilendirmesi ve diğer iş adımlarına olan etkilerinin değerlendirilerek hataların analiz edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle ele alınan süreç revize edilmiş ve HTEA ekibi ile Süreç HTEA analizi uygulanmıştır. Klasik HTEA'da RÖS hesabının zayıf yönlerinin olması sebebi ile, son yıllarda geliştirilmiş SWARA ve COPRAS yöntemlerine bulanık mantık entegre edilerek hibrit bir yaklaşım geliştirilmiştir. Hibrit yaklaşım uzmanların sübjektif görüşlerini göz önüne almakta, bulanık durumları değerlendirebilmektedir. Yaklaşımda sürece etki eden tüm kriterler bulanık ve öznel olarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda bu yöntemler, uygulama kolaylığından dolayı zaman ve işlem avantajı sağlamaktadır. Önerilen yaklaşımda bir hatanın kendinden sonra gelen hataları etkileme durumu da göz önüne alınarak süreç aşamalı bir inceleme yapılmıştır. Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yönteminin literatürde uygulamaları sınırlıdır. Çalışmada, bu iki yöntemin kullanımına farklı bir bakış açısı getirilerek elde edilen sonuçların HTEA yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmaları sağlanmıştır. İşletmede tedarik zinciri risklerinin değerlendirilmesinde kullanılan klasik HTEA yöntemi yerine, Bulanık SWARA-COPRAS temelli risk analiz modelinin kullanılması halinde hataların analizlerinin daha başarılı bir şekilde yapılması sağlanabilecektir.

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, tedarik zincirindeki risklerin analizine ilişkin çalışmaların genellikle finans sektöründe olduğu görülmüştür. Risk analizi için çoğunlukla; Delphi tekniği, anket yöntemi, CVAR

kriteri, oyun teorisi kullanılmakla beraber ÇKKV yöntemlerinden da fazlaca faydalanılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden ise en çok kullanılanlar; DEMATEL, AHP, VIKOR, ELECTRE, TOPSIS, Veri Zarflama Analizi, ANP metotları olmuştur. Çalışmalarda, risk yönetimi için yeni modeller önerilerek gerçek vakalarda ve simülasyon çalışmalarında etkililikleri ölçülmüştür.

[Venkatesh vd., \(2015\)](#) ile [Chowdhruy vd., \(2019\)](#) potansiyel tedarik zinciri risklerini analiz etmek için ISM (Yorumlayıcı Yapısal Modelleme) ve MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement-Sıralamaya Uygulanan Çapraz Eki Matrisi Çarpımı) yöntemlerini uygulamışlardır. Risklerin diğer tedarik zincirleri için oluşturduğu riskler ve tedarik zincirleri arasındaki ilişkiler Delphi tekniği ile incelenmiştir. Ayrıca ISM ve Bulanık MICMAC metodolojisini kullanarak risk öncelik numarası (RÖS) hesaplaması için yeni bir model önermişlerdir. [Gallab vd., \(2019\)](#) ile [Mensaha vd., \(2017\)](#) risklerin analizi için Matlab programını kullanarak simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Tedarik zincirinde kriterleri sıralamak ve aralarındaki ilişkileri bulmak için DEMATEL yöntemini kullanan [Jovic \(2014\)](#), İstanbul'da bulunan bir gıda dağıtım şirketi için iç ve dış risk faktörlerin, iş akışını ne kadar etkilediğini araştırmıştır. [Rajesh ve Ravi \(2015\)](#), tedarik zinciri risklerinin azaltılmasını sağlayan faktörler arasındaki sebep-sonuç ilişkilerini bulmak için Gri sistem teorisi ve DEMATEL yaklaşımlarının bir karışımını kullanmışlardır. Hataların analizi için HTEA yöntemi de çok sık başvurulmuş bir yöntemdir. [Giannakis ve Papadopoulos \(2016\)](#) ile [Valinejad ve Rahmani \(2018\)](#), tedarik sürdürülebilirlik risklerinin yönetimi için HTEA tekniğini kullanmışlardır. [Dong ve Cooper \(2016\)](#), tedarik zinciri risklerini etkileyen somut ve maddi olmayan unsurları karşılaştırmak için AHP yöntemine yakın ikili karşılaştırma matrisleriyle tutarlılığı artırabilecek bir yöntem önermişlerdir. [Jiang vd., \(2018\)](#) Çin'deki Qingdao limanındaki tedarik zinciri risklerini analiz etmek için AHP yöntemini risklerin ağırlıklandırılmasında kullanmışlardır. Tedarik Zinciri risklerinin değerlendirilmesinde ise SCOR modelini kullanmışlardır. [Prakash vd., \(2018\)](#) otomobil endüstrisinin tedarik zincirinde karşılaşılan başlıca riskleri değerlendirmek için FAHP (Fuzzy Analytical Hierarchy Process- Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi) karar verme tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmada anket yöntemi ile alınan veriler IBM SPSS programı ile analiz edilmiştir. Net olmayan durumları hesaplamak için Chang'ın Extent analiz yöntemi kullanılmıştır. [Schaefer vd., \(2019\)](#) tedarikçilerin konumuna göre su kıtlığı riskini değerlendirmek için Monte Carlo Analitik Hiyerarşi Sürecini kullanmışlardır. Ahiyerarşik çerçeve oluşturarak 75 ülkedeki 1066 tedarikçiyi incelemişlerdir.

Makine Öğrenmesi (Machine Learning) yöntemleri son yıllarda geliştirilmesine karşın tedarik zinciri riskleri için de uygulanmıştır. [Yang \(2019\)](#), lojistik finansal risk ontolojisi önermek ve riskin değişkenliğine uyum sağlamak için Makine Öğrenmesi yöntemi ile bir model önermiştir. [Baryannis vd., \(2019\)](#) da Makine Öğrenmesi yöntemi ile bir tedarik zinciri risk tahmin çerçevesi önermişlerdir. Anket yöntemi, yapılan çalışmalarda risk analizleri için çok fazla uygulanan bir yöntemdir. [Jiang vd., \(2018\)](#) riskleri değerlendirmek için anket yöntemi uygulamışlardır. [Vilko vd., \(2019\)](#) Güney Finlandiya ve Finlandiya Körfezi'nde faaliyet gösteren firmalardan alınan geniş tabanlı, nitel görüşme verileri uzman paneli ile değerlendirmişlerdir. [Thun ve Hoenig \(2011\)](#), Alman otomotiv endüstrisinde 67 üretim tesisi ile bir anket çalışması yapmışlardır.

CVAR kriteri tedarik zinciri çalışmalarında risklerin ileriye dönük tahminlerinde ve davranışların tahmin edilmesinde kullanılmıştır. [Peng ve Pang \(2019\)](#), CVAR kriterini bir çiftçinin riskten kaçınma davranışını tanımlamak için kullanılmışlardır. [Silva vd., \(2019\)](#) CVAR yöntemini kullanarak aynı amaç fonksiyonunda ekonomik ve çevresel performansları hesaba katan karışık bir tam sayılı doğrusal programlama modeli (MILP) önermişlerdir. [Fan vd., \(2020\)](#) opsiyon fiyatı ve opsiyon kullanım fiyatının etkilerini, şartlı riske maruz değer (CVAR) minimizasyonu ile araştırmışlardır. Alıcı ve tedarikçi açısından risk ve faydalara göre fiyat belirleyebilmek için Stackelberg oyun modeli oluşturmuşlardır. [Ming vd., \(2019\)](#) riskten kaçınan bir üretici ve iki perakendecinin bulunduğu tedarik zincirinde, optimal fiyat kararlarını araştırmak için Stackelberg oyun modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada IBM SPSS programı ve Pareto analizi kullanılmıştır. [Raza ve Govindaluri \(2019\)](#), üreticinin ve perakendecinin riskten kaçındığı çift kanallı tedarik zinciri (DCSC) koordinasyon modelleri geliştirmişlerdir. Riskten kaçınma, talep kaçağı ve piyasa belirsizliğinin tedarik zinciri faaliyetlerinin performansı üzerindeki etkisi için detaylı bir sayısal deney yapılmıştır. [Serrano vd., \(2018\)](#) tedarikçilere yapılan ödemelerin değişkenliği riskinin nasıl yaratıldığını ve yukarı akışa etkilerini araştırmışlardır. Tedarik zincirindeki politikalar ve kısıtlamalar modellenmiş, gerçek tedarik zincirlerinde uygulanan davranış üretilmiştir. Değişkenliğin yayılmasına neden olan faktörler (endüstri riski, firmanın operasyonel kaldırma oranı, finansal kaldırma hedefinin varlığı ve borç maliyeti) belirlenmiştir.

Riskleri analiz etmek için oluşturulan yaklaşımlarda modelleme dilleri kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. [Gallab vd., \(2017\)](#) Fransa’da bulunan LPG tedarik zincirindeki karmaşıklığı modellemek ve bakım faaliyetlerinin risklerini analiz etmek için birleşik modelleme dilini (UML) ve Multi-Agents Systems’i (MAS) kullanarak yeni bir modelleme yaklaşımı sunmuşlardır. Önerilen modelin simülasyonu, AnyLogic platformu ile gerçekleştirilmiştir. [Wu vd., \(2019\)](#) Çin’in elektrikli araç tedarik zinciri için belirsiz durumlarda potansiyel risk faktörlerini tanımlamış ve değerlendirmek için bulanık sentetik değerlendirme yöntemi ile birleşik bulanık dilbilimsel terim geliştirmişlerdir. [Leblanc vd., \(2015\)](#) Kanada’da paketlenmeye hazır marul ve yeşil yapraklı sebzeler için ülke çapında ticaret verilerinin ilişkisel bir veri tabanını tasarlamak için bir yaklaşım sunmuşlardır. Bulaşıcı gıda risklerinin mekânsal dağılımını göstermek ve halk sağlığı riskini tahmin etmek için CanGRASP simülasyon aracı kullanılmıştır.

Tedarik zinciri risklerini analiz etmek için geliştirilen yaklaşımlarda matematiksel modelleme de göze çarpan bir yöntemdir. [Hsu vd., \(2019\)](#) operasyonel belirsizlik altında inşaat projeleri için riskten bağımsız lojistik konfigürasyonların tasarımı ve optimizasyonu için bir matematiksel model tasarlamışlardır. [Sabouhi vd., \(2018\)](#) esnek bir tedarik zinciri tasarlamak için bir ilaç şirketine veri zarflama analizine (DEA) ve matematiksel programlama yöntemine dayalı entegre bir hibrid yaklaşım sunmuşlardır. Potansiyel tedarikçilerin verimliliği bulanık bir DEA modeli ile değerlendirilmiştir. [Jajja vd., \(2018\)](#) şirketlerdeki dayanıklılık performansını artırmak amacıyla tedarik zinciri riskinin, tedarik zincirlerini entegre etme konusunda etkisini açıklamak için SEM yöntemini (Yapısal eşitlik modellemesi) kullanmışlardır. [Oliveira vd., \(2019\)](#) çevresel risklerin hem iç hem de dış faktörlerini, bunların tedarik zinciri yönetimi üzerindeki etkilerini ve literatür çalışması yoluyla azaltma stratejilerini analiz etmişlerdir. 767 özet ve 70 tam makaleyi analiz ettikten sonra, on dört çevresel risk, üç ana sonuç ve bu riskleri yönetmek için on dokuz strateji belirlemişlerdir. [Shojei ve Haeri \(2019\)](#) inşaat projelerinde bulanık bilişsel haritalama ve gri ilişkisel analizleri kullanarak TZRY yaklaşımı önermişlerdir. Önerilen yaklaşımla risk azaltma senaryoları geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir, en iyi risk azaltma senaryoları belirlenmiştir.

Sonuç olarak, tedarik zinciri risklerinin birçok sektörde farklı yöntemler ile analiz edildiği fakat risklerin birbiri ile ilişkilendirildiği çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür. Ayrıca bir süreçteki toplam riskin en aza indirilmesi için birbirini tetikleyen risklerin tespit edilmesi ve sürecin en başında yapılan hataların sürecin devamında daha fazla hatalara yol açma riskinin elimine edilmesi gerekir. Bu bakış açısı ile yapılan bir risk değerlendirme çalışmasının alana katkı vereceği düşünülmüştür. Literatürde, karar vericilerin subjektif yargılarının değerlendirilememesi de risk analizi için bir eksiklik oluşturmaktadır. SWARA ve COPRAS yöntemlerinin belirsiz olmayan karmaşık sistemlere uygulanması için bulanık mantık ile entegre edilmesi, yöntemlerin başarısını artırmaktadır. Çalışmada, Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemleri kullanılarak risklerin süreç aşamalı değerlendirilebildiği hibrit bir risk analiz modeli önerilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde materyal ve kullanılan yöntemler, üçüncü bölümde bulgular ve tartışma kısımları anlatılmış son bölümde ise sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Problemin çözümü için öncelikle Süreç HTEA yöntemi kullanılmıştır. Süreç HTEA’nın zayıf yönlerinin giderilmesi ve hataların daha detaylı analiz edilmesi amacı ile Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemleri ile bütünleştirilmiş bir yapı önerilmiştir.

### 2.1. Süreç HTEA Analizi

Süreç HTEA uygulama alanına göre bir süreçteki mevcut ya da sonradan gelişebilecek hataları tespit etmek için kullanılmaktadır. Analiz ile sürecin güvenliği ve etkinliği ölçülmekte, hataların büyük sonuçlara sebebiyet vermeden önlenmesi sağlanmaktadır. Süreç HTEA işletmelerin; kalite kontrol, talep planlama, üretim planlama, kalite iyileştirme süreçlerinde uygulanabilmektedir.

[Baykasoğlu vd., \(2003\)](#) Süreç HTEA’nın, “başlangıç ve tanımlama”, “analiz ve değerlendirme” ve “karar aşaması” olmak üzere üç ana aşamadan oluştuğunu belirtmiştir. Başlangıç ve tanımlama aşamasında, HTEA ekibi kurularak süreç tanımlanmaktadır. Analiz ve değerlendirme aşamasında, hata türleri ve hata türlerinin kriterlere göre puanları belirlenmektedir. Son aşamada ise, risk öncelik puanına göre hata türleri önceliklendirilerek önleyici eylemler alınmaktadır.

Süreç HTEA yönteminde RÖS (Risk Öncelik Sayısı) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$RÖS = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \times \text{Tespit edilebilirlik}$

RÖS değeri hesaplanırken kullanılan kriterlerden olasılık, bir hatanın oluşma sıklığını ifade etmektedir. Şiddet, bir hatanın sisteme olan etkisidir. Tespit edilebilirlik ise bir hatanın fark edilmesindeki kolaylıktır. Bu kriterler bazı uygulamalarda risklerin analiz edilmesi için yetersiz kalabilmektedir ([Şimşir vd., 2018](#)).

## 2.2. Bulanık Mantık

Azeri Kökenli Matematikçi Lotfi A. Zadeh bulanık mantık ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisini 1965 yılında geliştirmiş ve “Fuzzy sets” adlı makalesinde yayınlamıştır ([Zadeh, 1965](#)). Bulanık mantık, doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin analizinde kullanılan alternatif bir yaklaşımdır. Gerçek hayattaki sistemlerin nerdeyse hiçbiri doğrusal değildir ([Baykasoğlu vd., 2003](#)). Bir bulanık çıkarım sistemi üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci aşama bulanıklaştırma aşamasıdır. Veri tabanında bulunan net veriler bulanıklaştırma ara yüzüne girerler. Bu aşamada sayısal veriler üyelik derecesinde çeşitli bulanık bölümlere dönüştürülmektedir. İkinci aşama işlem kurallarını içeren kural tabanlı çıkarım sistemidir. Bulanıklaştırılmış veriler çıkarım sisteminden bulanık veri olarak çıkarlar. Üçüncü aşama ise durulaştırma aşamasıdır. Bulanık veriler durulaştırma arayüzü ile net veri sağlarlar ([Taşdemir vd., 2016](#)). Bulanık mantıkta bulanık kümelerdeki üyelik dereceleri 0 ve 1 dahil olmak üzere sonsuz değerler almaktadır.

SWARA ve COPRAS yöntemlerinin bulanık olarak kullanılması doğrusal olmayan sistemlerin değerlendirilmesi ve gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için önem taşımaktadır. Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemleri karmaşık durumların bulunduğu, kriterlerin net olmadığı, öznel bilgilerin olabildiği karar verme problemlerinde avantaj sağlamaktadır. Böylece sistemlerin insan gibi karar vermesi sağlanabilmektedir.

## 2.3. Bulanık SWARA Yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis-Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi), [Keršuliene vd., \(2010\)](#) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. ÇKKV problemlerindeki kriter ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Kriterlerin önem değerlerine ilişkin uzman görüşlerini tahmin edebildiğinden uzman odaklı yöntem şeklinde de bilinmektedir. Ayrıca yöntem karar vericiye önceliklerini seçme imkanı sunmaktadır. Uzmanlardan alınan bilgilerin bir araya getirilebilmesi, yöntemin önemli özelliklerindendir.

Kriterlerin önemlerinin karar verici bazında bulanık değişkenler ile ifade edilmesi ile bulanık SWARA yöntemi uygulanmaktadır. Bulanık SWARA yöntemi karar verme sürecindeki karmaşıklıklar ve zorluklar nedeniyle kolaylık sağlamak ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmeye imkan vermektedir. Bulanık SWARA yöntemi altı adımdan oluşmaktadır ve aşamaları aşağıda verilmiştir ([Keršuliene vd., \(2010\)](#); [Mavi vd., 2017](#)).

**1. Adım:** Karar vericiler kriterleri en önemliden önemsiz doğru sıralar.

**2. Adım:** İkinci kriterden başlayarak, her bir kriter için göreceli önem düzeyi belirlenir. Bunun için, j kriteri ile bir önceki kriter (j-1) karşılaştırılır. [Keršuliene vd., \(2010\)](#) bu orantıyı “ortalama değerin karşılaştırmalı önemi” diye adlandırmış ve  $S_j$  simgesi ile göstermiştir.

**3. Adım:** Katsayı değeri ( $K_j$ ) eşitlik (2.1) ile belirlenir:

$$K_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j = 1 \\ S_j + 1, & \text{eğer } j > 1 \end{cases} \quad (2.1)$$

**4. Adım:** Önem vektörü olan ara ağırlık değeri  $Q_j$ , eşitlik (2.2) ile hesaplanır.

$$Q_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j = 1 \\ \frac{Q_{j-1}}{K_j}, & \text{eğer } j > 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

**5. Adım:** Kriterlere ait bulanık ağırlık değerler ( $W_j$ ) eşitlik (2.3) ile hesaplanır.  $W_j$ , j. inci kriterin bulanık ifade ile önemini göstermektedir.

$$W_j = \frac{Q_j}{\sum_{k=1}^n Q_k} \quad (2.3)$$

**6. Adım:**  $l$ ,  $m$ ,  $u$  üçgensel bulanık dilsel değişkenlerin üyelik derecelerini ifade etmek üzere bulanık olan kriter ağırlıkları eşitlik (2.4) yardımı ile durulaştırılır.

$l$  : elemanın en küçük olası değeri,  $m$  : elemanın en olası değeri,  $u$  : elemanın en büyük olası değeri

$$W_j = \frac{(W_j^u - W_j^l) + (W_j^m - W_j^l)}{3} + W_j^l \quad (2.4)$$

## 2.4. Bulanık COPRAS Yöntemi

COPRAS (COmplex PROportional ASsesment-Karmaşık Oransal Değerlendirme) yöntemi 1996 yılında Zavadskas ve Kaklauskas tarafından geliştirilmiştir. 2006 yılında Litvanya’da kamu binalarının güçlendirilmesi için uygulanmıştır (Kaklauskas vd., 2006). COPRAS yönteminde, alternatif ve kriterler net değerler olarak ele alındığından gerçek dünyada karar almak için belirsiz ve yetersiz kalmaktadır. Bu belirsizlik ve yetersizliği ortadan kaldırmak amacıyla Bulanık COPRAS yöntemi geliştirilmiştir (Nguyen vd., 2015).

COPRAS yöntemi, alternatifleri önem veya fayda puanlarına göre analiz ederek sıralayabilmektedir. Yöntem, alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerden faydalı olanların en üst düzeye çıkarılmasını ve faydasız olanların ise en aza indirilmesini amaçlamaktadır. COPRAS yöntemi birden fazla kriterin dikkate alındığı bir problemde hem maksimize hem de minimize edilmesi gereken her iki kriter türüne de uygulanabilmektedir (Podvezko, 2011). Bulanık COPRAS yönteminin; Fouladgar vd., (2012), Rabbani vd. (2014), Büyüközkan vd., (2018) ve Alkan ve Albayrak (2020)’ın çalışmalarındaki gibi literatürde örnekleri bulunan uygulama adımlarına göre kullanımı tercih edilmiş ve bu adımlar aşağıda detayları ile anlatılmıştır:

**1.Adım:** Probleme ait kriterler ve alternatifler belirlenir. Yöntemde kullanılacak olan sözel ifadelerin bulanık üçgen ya da yamuk sayılar olarak karşılıkları belirlenir. Alternatifler, sözel değişkenlerden yararlanılarak her kriter açısından karar vericiler tarafından değerlendirilir (Yazdani vd., 2011).

**2.Adım:** Karar vericilerin oluşturduğu karar matrisleri, Eşitlik (2.5) yardımıyla birleştirilmiş karar matrisine dönüştürülür (Fouladgar vd., 2012).  $l$ ,  $m$ ,  $u$  kullanılacak üçgensel bulanık dilsel değişkenlerin üyelik derecelerini ifade etmektedir.

$k$ : karar vericilerin sayısı

$l$  : elemanın en küçük olası değeri,  $m$  : elemanın en olası değeri,  $u$  : elemanın en büyük olası değeri

$X_{ij}$ : j. değerlendirme ölçütü bakımından i. alternatifin değeri

$$X_{ij}^l, X_{ij}^m, X_{ij}^u = (\min_k \{ X_{ij}^l \}, \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X_{ijk}^m, \max_k \{ X_{ij}^u \}) \quad (2.5)$$

**3.Adım:** Birleştirilmiş bulanık karar matrisindeki değerler Eşitlik (2.6) yardımı ile durulaştırılır. Kesin değerlere dönüştürülerek BNP (Best Nonfuzzy Performance Value-En İyi Bulanık Olmayan Performans Değeri) elde edilir (Fouladgar vd., 2012).

$$BNP = \frac{(X_{ij}^u - X_{ij}^l) + (X_{ij}^m - X_{ij}^l)}{3} + X_{ij}^l \quad (2.6)$$

**4.Adım:** Eşitlik (2.7) kullanılarak normalize edilmiş karar matrisi elde edilir.

$$X_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad ; \quad i=1, \dots, m \text{ ve } j=1, \dots, n \quad (2.7)$$

**5.Adım:** Ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik (2.8) ile elde edilir.

$$X_{ij}=X_{ij}.W_j \quad ;i=1,...,m \text{ ve } j=1,...,n \quad (2.8)$$

**6.Adım:** Hedef doğrultusunda daha yüksek değerlerin daha iyi durumu gösterdiği faydalı kriterler için Eşitlik (2.9) kullanılarak, ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı bulunur. Daha düşük değerlerin daha iyi durumu gösterdiği faydasız kriterler için Eşitlik (2.10) kullanılarak ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı bulunur (Aksoy vd., 2015).

$P_i$  = Faydalı kriterlerin normalize değerleri

$R_i$  = Faydasız kriterlerin normalize değerleri

$q$  = faydalı kriterlerin sayısı

$$P_i = \sum_{j=1}^q X_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, q \quad \text{faydalı kriterler} \quad (2.9)$$

$$R_i = \sum_{j=q+1}^n X_{ij} \quad j = q+1, q+2, \dots, n \quad \text{faydasız kriterler} \quad (2.10)$$

**7.Adım:** Alternatiflerin göreceli önem değerleri ( $Q_i$ ) eşitlik (2.11) ile hesaplanır.

$$Q_i = P_i + \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{R_i \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i}} \quad (2.11)$$

**8.Adım:** En yüksek göreceli önem değeri Eşitlik (2.12) ile hesaplanır.

$$K = \max Q_i \quad ; i=1,2, \dots, m \quad (2.12)$$

**9.Adım:** Alternatiflerin performans indeks değerleri ( $N_i$ ) Eşitlik (2.13) ile hesaplanır.

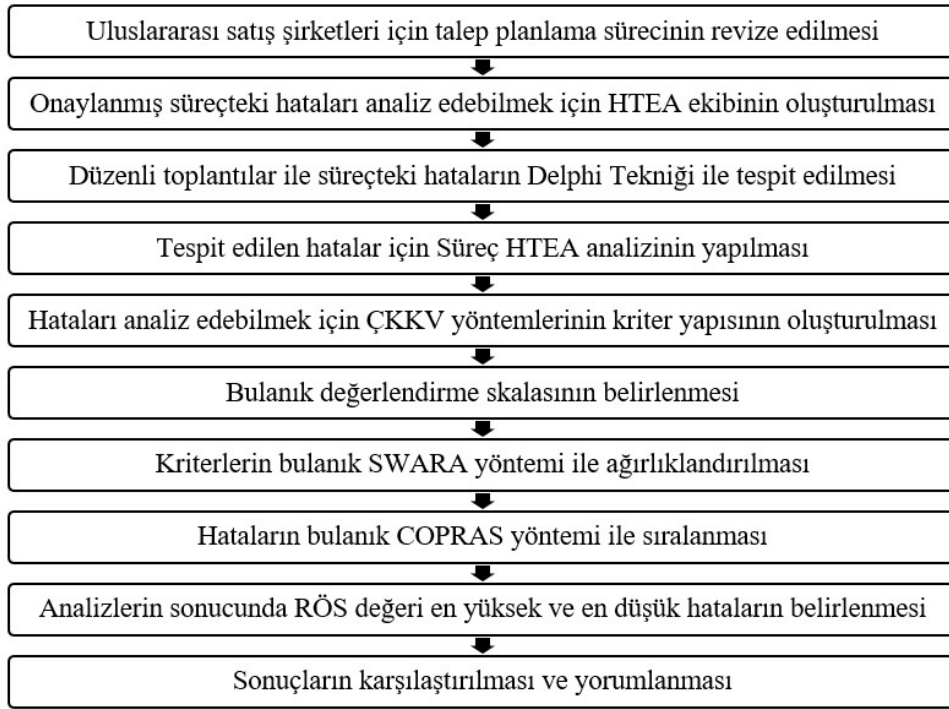
$$N_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \cdot \%100 \quad ; i=1,2, \dots, m \quad (2.13)$$

## 2.5. Materyal

Uygulama yapılan şirkette yerel pazar, küresel pazar ve Türkiye haricindeki diğer şubeler yani ulusal satış ofisleri için üretim yapılmaktadır. Ulusal satış ofislerinin üretimi için talep planlama sürecindeki hatalar ele alınmıştır. İklimlendirme soğutma sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin Türkiye fabrikasında ulusal satış ofisleri için yapılan üretimin, talep planlama sürecindeki hatalarının analizi yapılmıştır. Talep planlama sürecinde; sorumlu olan personellerin hatası, metot veya prosedür eksikliği veya çevresel etkiler nedeniyle, fazla üretim ve eksik üretim riskleri oluşmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için hataların analiz edilmesi ve sonrasında iyileştirilmesi gereklidir. Ulusal satış ofisleri için eksik veya fazla üretim yapılmasının maliyet, prestij kaybı, kaynakları verimli kullanamama gibi sonuçları olmaktadır. Uygulamanın aşamaları [Şekil 1](#)'de verilmiştir.

## 2.6. Süreç HTEA Analizinin Uygulanması

Süreç HTEA analizini uygulayabilmek için üç kişilik bir HTEA grubu oluşturulmuştur. Ekip lideri önderliğinde üyelerin bilgi ve birikiminden faydalanarak tüm süreç revize edilmiştir. Süreçte bulunan riskler, üyelerle yapılan düzenli toplantılarda analiz edilmiştir. Süreçteki hatalar, hataların nedenleri, müşterinin beklentileri ve hataların etkileri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada tespit edilen hata türleri, [Tablo 1](#)'de verilmiştir.



Şekil 1. Araştırma Metodolojisi

Tablo 1

Hata türleri ve açıklamaları

| Hata No. | Hataların Açıklaması                                                                                                                              |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HT1      | Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP (Satış ve Operasyon Planlama) toplantısında fark edilmesi |
| HT2      | Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi                           |
| HT3      | Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                               |
| HT4      | Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi                           |
| HT5      | Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                            |
| HT6      | Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                            |
| HT7      | Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                                  |
| HT8      | Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi                                              |
| HT9      | Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                                  |
| HT10     | Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi                                              |
| HT11     | Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                                |
| HT12     | Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi                                            |

Tablo 1

Hata türleri ve açıklamaları (devamı)

| Hata No. | Hataların Açıklaması                                                                                                                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HT13     | Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                              |
| HT14     | Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin ay sonu raporunda fark edilmesi                                               |
| HT15     | Ulusal satış ofislerinin ay sonu stok bilgisi için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi     |
| HT16     | Ulusal satış ofislerinin ay sonu stok bilgisi için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi |
| HT17     | Talep adetlerinin fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                                     |
| HT18     | Talep adetlerinin fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi                                                 |
| HT19     | Talep adetlerinin eksik hesaplanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                                     |
| HT20     | Talep adetlerinin eksik hesaplanması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi                                                 |
| HT21     | Fazla Üretim Planı sonucu fazla stokun S&OP toplantısında fark edilmesi                                                                         |
| HT22     | Fazla Üretim Planı sonucu fazla stokun ay sonu stok raporunda fark edilmesi                                                                     |
| HT23     | Eksik Üretim Planı sonucu üretim açığının S&OP toplantısında fark edilmesi                                                                      |
| HT24     | Eksik Üretim Planı sonucu üretim açığının üretim açığı raporunda fark edilmesi                                                                  |
| HT25     | Eksik veri girişi sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                                                        |
| HT26     | Eksik veri girişi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi                                                                    |
| HT27     | Eksik veri girişi sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                                                        |
| HT28     | Eksik veri girişi sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi                                                                    |
| HT29     | Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                |
| HT30     | Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi                            |
| HT31     | Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi                                |
| HT32     | Aylık S&OP dosyası için master datanın eksik tanımlanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi                            |

RÖS hesaplamasında kullanılan; şiddet, olasılık ve tespit edilme değerleri için 10'lu değerlendirme skalası kullanılmıştır (Belu vd., 2012). Bu değerlendirmelere göre [Şekil 2](#)'deki öncelik değerleri elde edilmiştir.

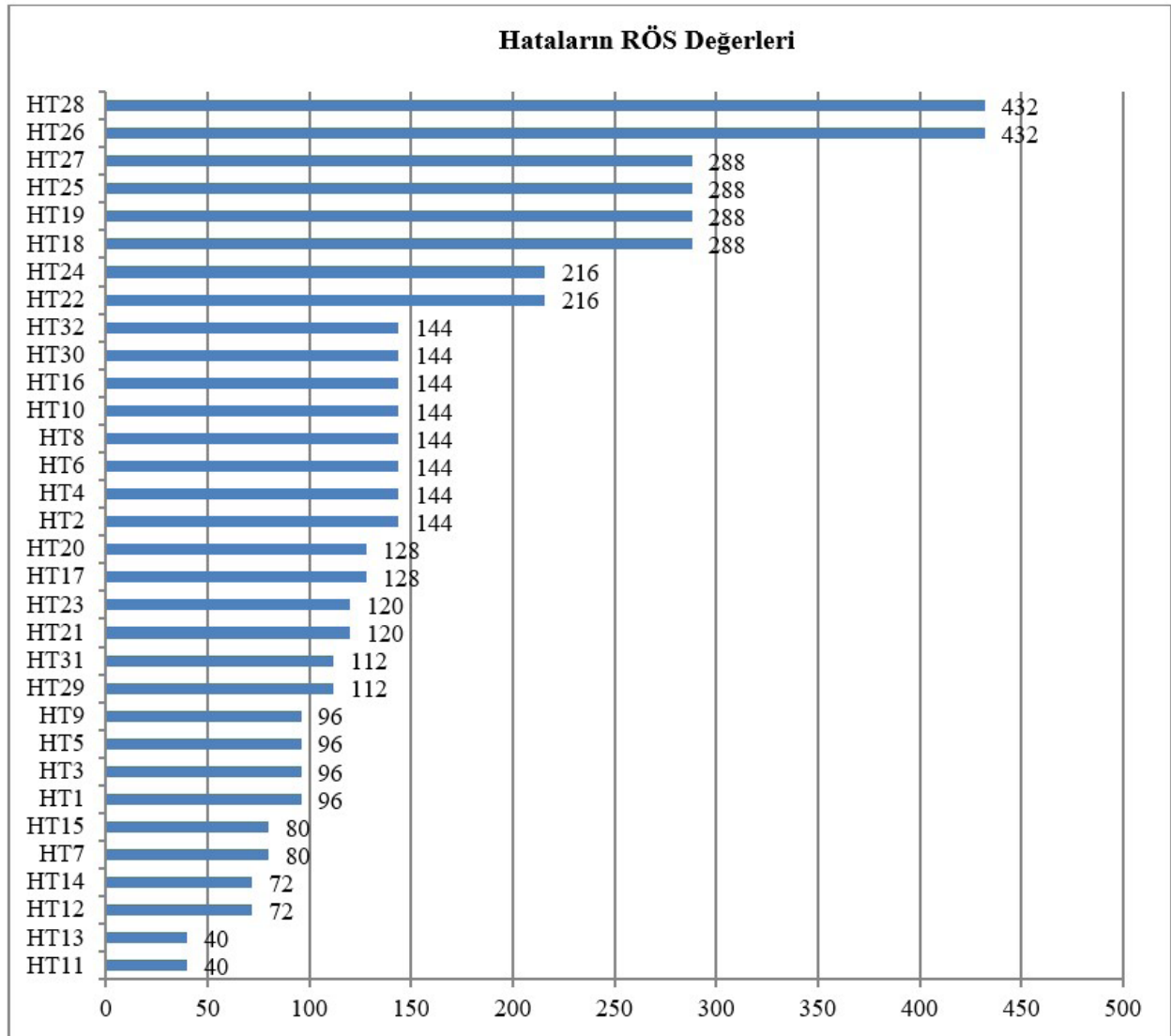
## 2.7. Süreç Bazlı Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS Yönteminin Uygulanması

Talep planlama sürecindeki hataların Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS yöntemi ile sıralanmasında kullanılacak kriterler Tablo 2'de verilmiştir. Üretim açığı durumu ve fazla stok durumu hataların etkilerini ifade etmektedir. Hataların kaynağı olarak ise çevre, insan ve metod/prosedür eksikliği kriterleri eklenmiştir. 10.kriter bir önceki iş adımının etkisi, bir süreçteki iş adımlarının birbirine etkilerini ifade etmektedir. Sürecin ilk iş adımında yapılacak bir hata diğer tüm adımları etkilerken, ikinci iş adımındaki hata da kendinden sonraki tüm iş adımlarını etkilemektedir. Bu nedenle son iş adımlarının etkisi ve olasılığı daha fazla olabilmektedir. Kalıcı bir iyileştirme sağlamak için sürecin en baştan hatasız ilerlemesi açısından bu kriter önem taşımaktadır. Böylece diğer adımlardaki hatalar da azaltılmış olacaktır ve fazla işlem maliyeti, zaman, işgücü gibi kayıpların önüne geçilecektir.

Tablo 2

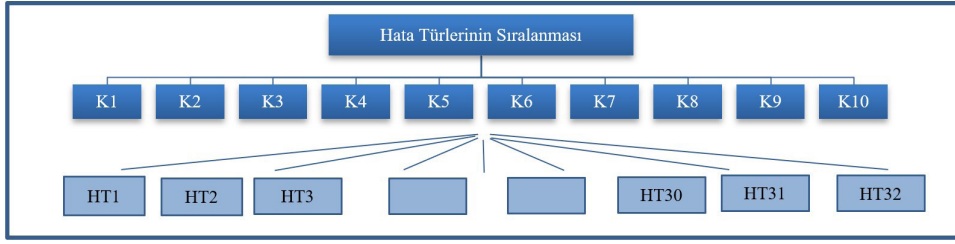
Kriterler ve açıklamaları

| Kriterler | Açıklama                      |
|-----------|-------------------------------|
| K1        | Müşteri beklentisi            |
| K2        | SF (Üretim Açığı) Durumu      |
| K3        | Fazla stok durumu             |
| K4        | Metod/Prosedür                |
| K5        | Çevre                         |
| K6        | İnsan                         |
| K7        | Olasılık                      |
| K8        | Şiddet                        |
| K9        | Tespit edilebilirlik          |
| K10       | Bir önceki iş adımının etkisi |



Şekil 2. Süreç HTEA Analizi sonucu hata türlerinin sıralanması

Çalışmada oluşturulan kriter yapısı (K1-K10) ve hataların (HT1-HT32) gösterimi [Şekil 3](#)'te verilmiştir.



Şekil 3. Kriter yapısı ve hatalar

Bulanık SWARA yönteminde kullanılan kriterler ve kriterlerin sıralanması için tercih edilen bulanık dilsel değişkenler [Tablo 3](#)'te verilmiştir. [Tablo 4](#)'te karar vericilerin belirlediği, kriterlerin önem sırası ve önem düzeyleri verilmiştir.

Tablo 3

Kriterler için dilsel değişkenler

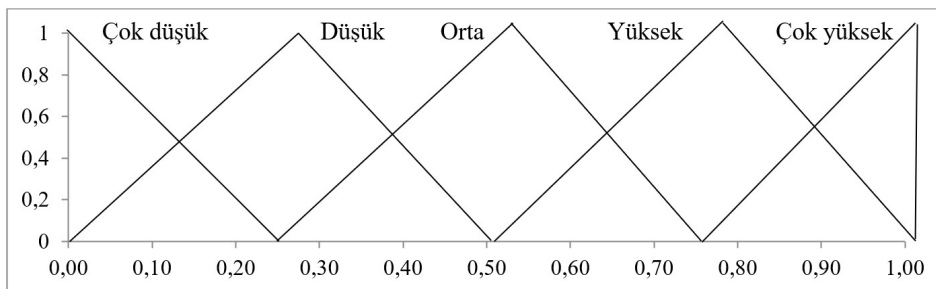
| Dilsel Değişkenler | Bulanık sayı (l, m, u) |
|--------------------|------------------------|
| Çok düşük (ÇD)     | (0, 0, 0.25)           |
| Düşük (D)          | (0, 0.25, 0.50)        |
| Orta (O)           | (0.25, 0.50, 0.75)     |
| Yüksek (Y)         | (0.50, 0.75, 1)        |
| Çok yüksek (ÇY)    | (0.75, 1, 1)           |

Tablo 4

Kriterlerin karar vericilere göre sırası

| Sıra No. | KV1 |    | KV2 |    | KV3 |    |
|----------|-----|----|-----|----|-----|----|
| 1        | K8  | -  | K2  | -  | K8  | -  |
| 2        | K2  | O  | K9  | Y  | K10 | O  |
| 3        | K10 | O  | K8  | O  | K7  | ÇY |
| 4        | K7  | ÇY | K10 | O  | K9  | O  |
| 5        | K3  | Y  | K3  | Y  | K2  | O  |
| 6        | K6  | Y  | K7  | Y  | K3  | O  |
| 7        | K9  | O  | K4  | O  | K4  | ÇY |
| 8        | K1  | O  | K1  | O  | K6  | Y  |
| 9        | K4  | ÇY | K6  | ÇY | K5  | Y  |
| 10       | K5  | Y  | K5  | Y  | K1  | O  |

SWARA yönteminde kullanılan bulanık üçgensel sayılar [Şekil 4](#)'te gösterilmiştir.



Şekil 4. SWARA yöntemi için kullanılan bulanık üçgensel sayılar

Bulanık SWARA adımlarının uygulanması ile kriterlerin üç karar vericiye göre oluşan birleştirilmiş bulanık ağırlık puanları [Tablo 5](#)'te verilmiştir.

Tablo 5

Kriterlerin bulanık ağırlıkları

| Kriterler  | Bulanık Ağırlıklar W <sub>j</sub> |        |        |
|------------|-----------------------------------|--------|--------|
|            | L                                 | M      | U      |
| <b>K1</b>  | 0.0011                            | 0.0103 | 0.0573 |
| <b>K2</b>  | 0.0268                            | 0.2338 | 0.4721 |
| <b>K3</b>  | 0.0153                            | 0.0478 | 0.1343 |
| <b>K4</b>  | 0.0019                            | 0.0156 | 0.0716 |
| <b>K5</b>  | 0.0009                            | 0.0046 | 0.0268 |
| <b>K6</b>  | 0.0019                            | 0.0152 | 0.0729 |
| <b>K7</b>  | 0.0117                            | 0.0821 | 0.2062 |
| <b>K8</b>  | 0.0819                            | 0.3055 | 0.4510 |
| <b>K9</b>  | 0.0066                            | 0.1094 | 0.3148 |
| <b>K10</b> | 0.0468                            | 0.1756 | 0.3608 |

Eşitlik (2.4) ile durulaştırma işleminin yapılmasının ardından hesaplanan nihai kriter ağırlıkları [Tablo 6](#)'da verilmiştir. En yüksek önem düzeyine sahip kriterler sırası ile; “K8-Şiddet”, “K2-Üretim açığı durumu” ve “K10-Bir önceki hatanın etkisi” olarak bulunmuştur. Çevre kriteri ise önem düzeyi en düşük kriter olarak bulunmuştur.

Bulanık COPRAS yönteminde, alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılacak bulanık dilsel değişkenler [Tablo 7](#)'de verilmiştir.

Tablo 6

Kriterlerin nihai ağırlıkları

| Kriterler  | Nihai Ağırlıklar W <sub>j</sub> |
|------------|---------------------------------|
| <b>K1</b>  | 0.020                           |
| <b>K2</b>  | 0.218                           |
| <b>K3</b>  | 0.059                           |
| <b>K4</b>  | 0.027                           |
| <b>K5</b>  | 0.010                           |
| <b>K6</b>  | 0.027                           |
| <b>K7</b>  | 0.089                           |
| <b>K8</b>  | 0.249                           |
| <b>K9</b>  | 0.128                           |
| <b>K10</b> | 0.173                           |

Tablo 7

Alternatifler için dilsel değişkenler

| Dilsel Değişkenler | Bulanık sayı (l, m, u) |
|--------------------|------------------------|
| Çok Düşük (ÇD)     | (0, 0, 2.5)            |
| Düşük (D)          | (0, 2.5, 5)            |
| Orta (O)           | (2.5, 5, 7.5)          |
| Yüksek (Y)         | (5, 7.5, 10)           |
| Çok Yüksek (ÇY)    | (7.5, 10, 10)          |

Bulanık COPRAS yönteminin metodolojisine uygun olarak kriterler faydalı ve faydasız şeklinde ayrılmış, sadece 9. kriterin (tespit edilebilirlik) amaca göre faydasız, diğer kriterlerin ise faydalı kriter olduğu belirlenmiştir. Uzmanlar Bulanık COPRAS yöntemine göre [Tablo 7](#)'yi kullanarak; hataları belirlenen kriter yapısına göre değerlendirmişlerdir. Karar Verici-1'in değerlendirmeleri [Tablo 8](#)'de verilmiştir. Benzer değerlendirmeler diğer uzmanlar tarafından da yapılmıştır.

Tablo 8

Karar verici 1'in değerlendirmesi

| Hatalar | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | K8 | K9 | K10 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| HT1     | Y  | ÇY | ÇD | O  | D  | Y  | D  | Y  | D  | Y   |
| HT2     | Y  | Y  | ÇD | O  | D  | Y  | ÇY | O  | ÇY | ÇD  |
| HT3     | ÇD | ÇD | ÇD | O  | D  | Y  | D  | Y  | D  | Y   |
| HT4     | ÇD | ÇD | ÇY | O  | D  | Y  | Y  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT5     | Y  | ÇY | ÇD | Y  | D  | D  | D  | Y  | D  | Y   |
| HT6     | ÇD | ÇD | ÇD | Y  | D  | D  | D  | Y  | D  | Y   |
| HT7     | ÇD | D  | D  | D  | Y  | Y  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT8     | Y  | Y  | ÇD | D  | Y  | Y  | ÇY | O  | ÇY | ÇD  |
| HT9     | D  | ÇD | ÇY | D  | Y  | Y  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT10    | ÇD | ÇD | ÇY | D  | Y  | Y  | Y  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT11    | ÇD | D  | D  | O  | D  | Y  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT12    | Y  | Y  | ÇD | O  | D  | Y  | ÇY | O  | ÇY | ÇD  |
| HT13    | D  | ÇD | ÇY | O  | D  | Y  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT14    | ÇD | ÇD | ÇY | O  | D  | Y  | D  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT15    | ÇD | D  | ÇD | Y  | D  | Y  | D  | Y  | D  | Y   |
| HT16    | ÇY | Y  | ÇD | Y  | D  | Y  | D  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT17    | D  | ÇD | ÇY | O  | D  | D  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT18    | ÇD | ÇD | ÇY | O  | D  | D  | Y  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT19    | ÇD | D  | D  | O  | D  | D  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT20    | Y  | Y  | ÇD | O  | D  | D  | ÇY | O  | ÇY | ÇD  |
| HT21    | ÇD | ÇD | ÇY | O  | D  | D  | D  | Y  | D  | Y   |
| HT22    | ÇY | ÇD | ÇY | O  | D  | D  | D  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT23    | Y  | D  | ÇD | O  | D  | D  | D  | Y  | D  | Y   |
| HT24    | Y  | Y  | ÇD | O  | D  | D  | D  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT25    | D  | ÇD | ÇY | O  | D  | D  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT26    | ÇD | ÇD | ÇY | O  | D  | D  | Y  | Y  | ÇY | ÇD  |
| HT27    | ÇD | D  | D  | O  | D  | D  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT28    | Y  | Y  | ÇD | O  | D  | D  | ÇY | O  | ÇY | ÇD  |
| HT29    | ÇD | D  | D  | Y  | D  | D  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT30    | Y  | Y  | ÇD | Y  | D  | D  | ÇY | O  | ÇY | ÇD  |
| HT31    | D  | ÇD | ÇY | Y  | D  | D  | ÇD | Y  | D  | Y   |
| HT32    | ÇD | ÇD | ÇY | Y  | D  | D  | Y  | Y  | ÇY | ÇD  |

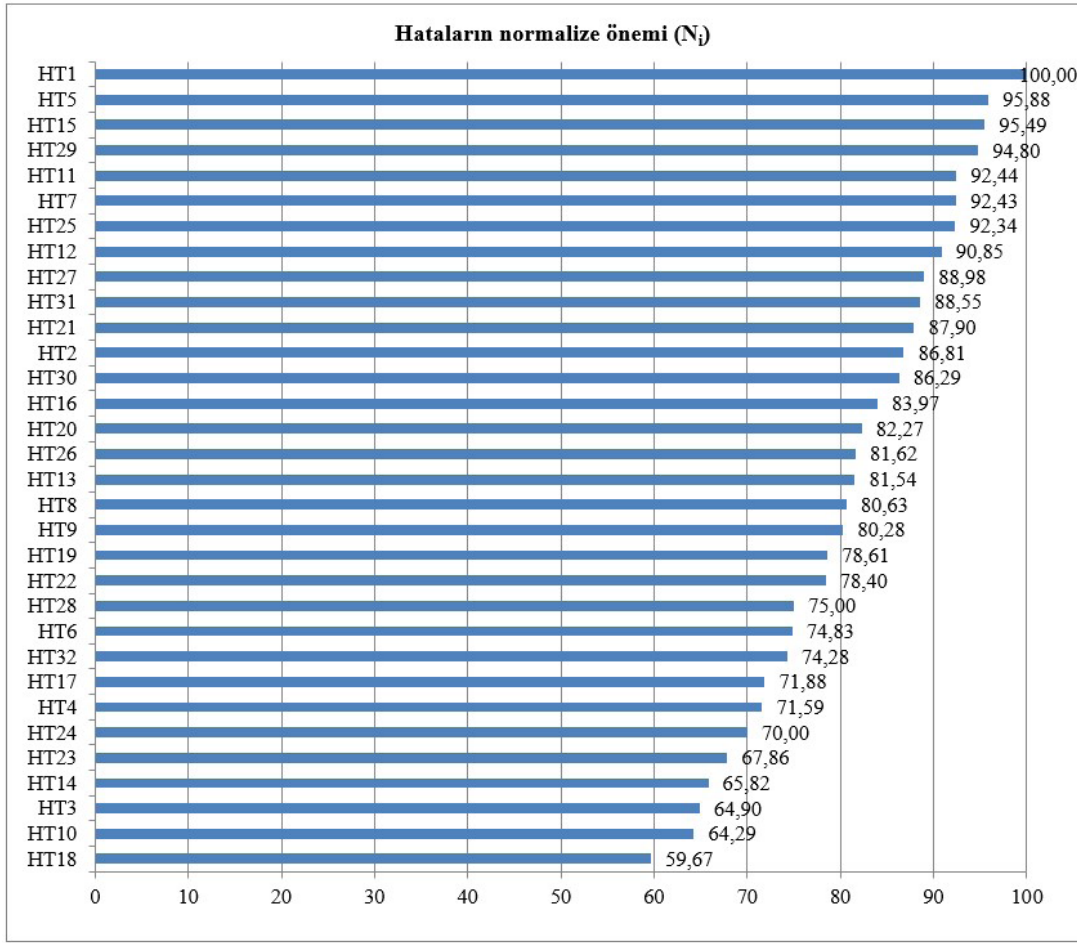
Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS uygulama adımları sonucunda hataların normalize önem değerleri [Şekil 5](#)'teki gibi bulunmuştur. [Şekil 5](#)'te önem değerleri arasında; Klasik HTEA'daki gibi, sapma değerlerinin az olduğu ve tekrar eden RÖS değerlerinin bulunmadığı görülmektedir. Bu hesaplama yöntemi ile her karar vericinin tercihleri göz önüne alınabilmiş ve aynı RÖS değerleri ortaya çıkmadığı için sıralama daha anlaşılır olmuştur.

Bulanık SWARA yöntemi ile bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak, Bulanık COPRAS yöntemi ile elde edilen hataların önem değerleri [Tablo 9](#)'da verilmiştir. [Tablo 9](#)'da,  $P_i$ ,  $R_i$ ,  $Q_i$  ve  $N_i$  değerleri yer almaktadır. Uzmanların bulanık değişkenleri kullanarak yaptıkları değerlendirmeler sonucunda en önemli hata HT1 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 9

Hataların önem değerleri

| Hata No. | $P_i$  | $R_i$  | $(Q_i)$ | $N_i$  |
|----------|--------|--------|---------|--------|
| HT1      | 0.0319 | 0.0018 | 0.0385  | 100.00 |
| HT2      | 0.0316 | 0.0067 | 0.0334  | 86.81  |
| HT3      | 0.0217 | 0.0037 | 0.0250  | 64.90  |
| HT4      | 0.0247 | 0.0043 | 0.0275  | 71.59  |
| HT5      | 0.0303 | 0.0018 | 0.0369  | 95.88  |
| HT6      | 0.0255 | 0.0037 | 0.0288  | 74.83  |
| HT7      | 0.0290 | 0.0018 | 0.0355  | 92.43  |
| HT8      | 0.0292 | 0.0067 | 0.0310  | 80.63  |
| HT9      | 0.0243 | 0.0018 | 0.0309  | 80.28  |
| HT10     | 0.0229 | 0.0067 | 0.0247  | 64.29  |
| HT11     | 0.0290 | 0.0018 | 0.0356  | 92.44  |
| HT12     | 0.0329 | 0.0059 | 0.0349  | 90.85  |
| HT13     | 0.0248 | 0.0018 | 0.0314  | 81.54  |
| HT14     | 0.0233 | 0.0059 | 0.0253  | 65.82  |
| HT15     | 0.0302 | 0.0018 | 0.0367  | 95.49  |
| HT16     | 0.0305 | 0.0067 | 0.0323  | 83.97  |
| HT17     | 0.0244 | 0.0037 | 0.0276  | 71.88  |
| HT18     | 0.0212 | 0.0067 | 0.0229  | 59.67  |
| HT19     | 0.0269 | 0.0037 | 0.0302  | 78.61  |
| HT20     | 0.0298 | 0.0067 | 0.0316  | 82.27  |
| HT21     | 0.0272 | 0.0018 | 0.0338  | 87.90  |
| HT22     | 0.0272 | 0.0041 | 0.0302  | 78.40  |
| HT23     | 0.0228 | 0.0037 | 0.0261  | 67.86  |
| HT24     | 0.0251 | 0.0067 | 0.0269  | 70.00  |
| HT25     | 0.0281 | 0.0016 | 0.0355  | 92.34  |
| HT26     | 0.0284 | 0.0041 | 0.0314  | 81.62  |
| HT27     | 0.0277 | 0.0018 | 0.0342  | 88.98  |
| HT28     | 0.0268 | 0.0059 | 0.0288  | 75.00  |
| HT29     | 0.0299 | 0.0018 | 0.0365  | 94.80  |
| HT30     | 0.0314 | 0.0067 | 0.0332  | 86.29  |
| HT31     | 0.0275 | 0.0018 | 0.0341  | 88.55  |
| HT32     | 0.0258 | 0.0043 | 0.0286  | 74.28  |



Şekil 5. Süreç Bazlı Bulanık SWARA-COPRAS yöntemi sonucu hata türlerinin sıralanması

### 3. Bulgular ve Tartışma

Klasik Süreç HTEA yöntemi ile süreç bazlı Bulanık SWARA-COPRAS yönteminin sonuçlarına göre hataların sıralaması farklılaşmıştır. Her iki yöntemin karşılaştırmalı sonuçları [Tablo 10](#)'da verilmiştir.

Tablo 10

Süreç HTEA ve Bulanık SWARA-COPRAS yöntemlerine göre hataların sıraları.

| Hata No        | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>Bulanık</b> |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>SWARA</b>   | 1  | 5  | 15 | 29 | 11 | 7  | 25 | 12 | 27 | 31 | 21 | 2  | 30 | 16 | 20 | 26 | 13 | 8  | 9  | 19 | 22 | 28 | 6  | 32 | 17 | 4  | 24 | 23 | 14 | 3  | 10 | 18 |
| <b>COPRAS</b>  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>Süreç</b>   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>HTEA</b>    | 28 | 26 | 27 | 25 | 19 | 18 | 24 | 22 | 32 | 30 | 16 | 10 | 8  | 6  | 4  | 2  | 20 | 17 | 23 | 21 | 31 | 29 | 9  | 5  | 3  | 1  | 15 | 7  | 14 | 12 | 13 | 11 |

Süreç HTEA analizi sonucunda en yüksek önem düzeyine sahip ve öncelikle iyileştirilmesi gereken hataların “**HT28**:Eksik veri girişi sonucu eksik üretimin üretim açığı raporunda fark edilmesi” ve “**HT26**:Eksik veri girişi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi”; en düşük önem düzeyine sahip göz ardı edilebilecek derecede düşük hataların ise “**HT13**:Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu fazla üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” ve “**HT11**:Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” olduğu görülmüştür. Karar vericiler bazında bu hataların önceliklendirilmesi değişmektedir. Bu değişiklikler eğitim düzeyi, görev alınan pozisyon, tecrübe, subjektif yargılar ve görev tanımı gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır.

Önerilen süreç bazlı Bulanık SWARA-COPRAS yöntemine göre ise hata değeri en yüksek ve öncelikle iyileştirilmesi gereken hatalar; “**HT-1:** Talep rakamlarının eksik veya yanlış olması sonucu eksik üretimin S&OP (Satış ve Operasyon Planlama) toplantısında fark edilmesi” ve “**HT5:** Talep rakamları belirlenirken master datanın eksik tanımlanması sonucu eksik üretimin S&OP toplantısında fark edilmesi” olarak belirlenmiştir.

En düşük öncelik sırasına sahip hatalar ise; “**HT10:** Talep rakamlarının sisteme geç yüklenmesi sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi” ve “**HT18:** Talep rakamlarının fazla hesaplanması sonucu fazla üretimin ay sonu stok raporunda fark edilmesi” dir.

Kriterler belirlenirken en önemli olanları; hatanın şiddeti, eksik üretim durumu ve bir önceki iş adımının o hata için etkisi olarak bulunmuştur. HT1’in şiddeti ve sonraki iş adımlarına etkisi yüksek olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda müşteri beklentisi ve olasılığı da yüksektir. Bu hatanın sürecin en başında fark edilmesi sonraki iş adımlarının etkisini veya olasılığını da düşürecektir. Sisteme yüklenen talep rakamlarının eksik veya yanlış olması öncelikle insan kaynaklı, sonra ise kullanılan metot/prosedür kaynaklı bir hatadır. Bu iki hata için sisteme doğru talep verilerinin girilebilmesi sağlandığında ve iyileştirici önlemler alındığında süreçteki diğer hataların da azalabileceği tespit edilmiştir.

HT18 fazla stok durumu içerdiğinden tüm uzmanlar tarafından şiddeti ve eksik üretim durumu düşük veya çok düşük olarak belirtilmiştir. Kendinden sonraki iş adımlarını da daha az etkiler ve tespit edilebilmesi kolaydır. Bu hata da metot/prosedür eksikliği, çevre ve insan kriterlerinden etkilenmektedir. HT18 fazla üretim raporunda üretim yapıldıktan sonra fark edildiğinden geri alınamaz.

#### 4. Sonuçlar

HTEA’da belirsizliğin fazla ve değerlendirmenin zor olmasından dolayı uzmanların deneyimleri ve sezgileri genellikle ön plana çıkmaktadır. Çalışmada, HTEA’nın hataların önem değerlerini hesaplamada yetersiz kalan yönlerine çözüm getirebilmek amacıyla uzman görüşlerini daha iyi yansıtan süreç bazlı Bulanık SWARA-COPRAS modeli önerilmiştir. Uygulanan süreç bazlı Bulanık SWARA-Bulanık COPRAS yönteminde ise üçgensel bulanık sayılar kullanılarak kriterler ve alternatifler dilsel değişkenler ile ifade edilmiştir. Her karar vericinin kriterleri sıralamasına imkan sunulmuş SWARA yöntemi sonucunda ortak bir kriter ağırlık tablosu elde edilmiştir. Böylece süreç HTEA yönteminin eksikliği olan olasılık, tespit edilebilme ve şiddet kriterlerine eşit ağırlık verilmesinin önüne geçilmiştir. Ayrıca hataların sıralanmasında bu kriterlerin dışında hataların nedenleri, iç müşterinin beklentisi ve en önemlisi bir önceki iş adımının etkisi kriteri de eklenerek uygulanan ÇKKV modeli ile daha başarılı bir değerlendirme yapılabilmektedir. Yapılan çalışmalarda, bir süreçte bulunan iş adımlarının birbiri ile ilişkilendirildiği çalışma sayısı oldukça azdır. Fakat bilinmelidir ki bir iş akışında her iş adımı kendinden sonra gelen iş adımındaki hataların olasılığını ve etkisini de artırmaktadır. Risk analizi çalışmalarında hataların önceliklendirilmesi için yapılmış çalışmalarda HTEA yöntemi çok kez uygulanmıştır. HTEA yöntemi ile ÇKKV yöntemlerinden Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS yöntemlerinin bir arada kullanılarak karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Isıtma iklimlendirme sektöründe yapılmış bir risk analizi çalışmasına da rastlanmamıştır. Çalışmanın sonraki aşamalarında, analiz edilen sürece dair iyileştirici önlemlerin alınması ve önlemlerin etkinliğinin benzer yaklaşımlarla değerlendirilmesi yapılabilir. Ayrıca karar destek sistemi entegre edilerek mevcut senaryolar için aksiyon planları alınabilir. Çalışmada önerilen süreç bazlı bulanık SWARA-COPRAS modelinin tedarik zinciri risk analizi problemleri için yol gösterici olması umulmaktadır.

#### Yazar Katkıları

Pelin Poyraz: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Biçimsel analiz, Yazma - Orijinal Taslak, Görselleştirme

Fuat Şimşir: Metodoloji, Araştırma, Yazma - İnceleme ve Düzenleme, Denetleme

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

## Kaynaklar

- Aksoy, E., Ömürbek, N. ve Karaatlı, M. (2015). AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1-28. Erişim adresi: Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi » Submission » AHP Temelli MULTIMOORA ve COPRAS Yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin Performans Değerlendirmesi (dergipark.org.tr)
- Alkan, Ö. ve Albayrak, Ö. K. (2020). Ranking of renewable energy sources for regions in Turkey by fuzzy entropy based fuzzy COPRAS and fuzzy MULTIMOORA. *Renewable Energy*, 162, 712–726. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.062>
- Baryannis, G., Dani, S. ve Antoniou, G. (2019). Predicting supply chain risks using machine learning: The trade-off between performance and interpretability. *Future Generation Computer Systems*, 101, 993-1004. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.07.059>
- Baykasoğlu, A., Dereli, T., Yılankırkan, N. ve Yılankırkan, A. (2003). Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Gaziantep'te Orta Ölçekli Bir Firmada Uygulanması. *II. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, 157-163.
- Büyüközkan, G., Karabulut, Y. ve Mukul, E. (2018). A novel renewable energy selection model for United Nations' sustainable development goals. *Energy*, 165, 290–302. <https://doi.org/10.1016/j.ener.2018.08.215>
- Belu, N., Militaru, E., Rachieru, N. ve Anghel, D.C. (2012). Application of FMEA in Product Development Stage. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 10(3), 12-19.
- Chowdhury, N. A., Ali, S. M., Mahtab, Z., Rahman, T., Kabir, G. ve Paul, S. K. (2019). A structural model for investigating the driving and dependence power of supply chain risks in the readymade garment industry. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 51, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.05.024>
- Dong, Q. ve Cooper, O. (2016). An orders-of-magnitude AHP supply chain risk assessment framework. *International Journal of Production Economics*, 182, 144-156. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.021>
- Fan, Y., Feng, Y. ve Shou, Y. (2020). A risk-averse and buyer-led supply chain under option contract: CVAR minimization and channel coordination. *International Journal of Production Economics*, 219, 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.05.021>
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Zavadskas, E. K. ve Haji Moini, S. H. (2012). A new hybrid model for evaluating the working strategies: case study of construction company. *Technological and Economic Development of Economy*, 18(1), 164-188. <https://doi.org/10.3846/20294913.2012.667270>
- Gallab, M., Bouloiz, H., Garbolino, E., Alaoui Y. L. ve Tkiouat, M. (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic. *Procedia Computer Science*, 148, 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.065>
- Gallab, M., Bouloiz, H., Garbolino, E., Tkiouat, M., Elkilani M. A. ve Bureau, N. (2017). Risk analysis of maintenance activities in a LPG supply chain with a Multi-Agent approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 47, 41-56. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.02.026>
- Giannakis, M. ve Papadopoulos, T. (2016). Supply chain sustainability: A risk management approach. *International Journal of Production Economics*, 171(4), 455-470. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.032>
- Hsu, P. Y., Aurisicchio, M. ve Angeloudis, P. (2019). Risk-averse supply chain for modular construction projects. *Automation in Construction*, 106, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102898>
- İnternet: Taşdemir, O., Dilaver, M. ve Sönmez, Y.M. (2016). Proses Tehlike Analizlerindeki Belirsizliklerin Bulanık Mantık ile Kantitatifleştirilmesi. Erişim adresi: <https://www.proscon.com.tr/proses-tehlike-analizlerindeki-belirsizliklerin-bulanik-mantik-ile-kantitatiflestirilmesi/>.
- Jajja, M. S. S., Chatha, K. A. ve Farooq, S. (2018). Impact of supply chain risk on agility performance: Mediating role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 205, 118-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.032>
- Jiang, B., Li, J. ve Shen, S. (2018). Supply Chain Risk Assessment and Control of Port Enterprises: Qingdao port as case study. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34(3), 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2018.09.003>
- Jovic, S. (2014). *Gıda sektöründe tedarik zinciri risk faktörlerinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A. ve Malinauskas, P. (2006). Selection of Low-E Windows in Retrofit Of Public Buildings by Applying Multiple Criteria Method COPRAS: A Lithuanian Case. *Energy and Buildings*, 38(5), 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.enbuid.2005.08.005>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243– 258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Leblanc, D. I., Villeneuve, S., Beni, L. H., Otten, A., Fazil, A., McKellar, R. ve Delaquis, P. (2015). A national produce supply chain database for food safety risk analysis. *Journal of Food Engineering*, 147, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.026>
- Mavi, R.K., Goh, M. ve Zarbakhshnia, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 5-8. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9880-x>
- Mensaha, P., Merkurjeva, Y., Klavinska, E. ve Manakb, S. (2017). Supply Chain Risks Analysis of a Logging Company: Conceptual Model. *Procedia Computer Science*, 104, 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.140>
- Ming, C. T., Cheng, M., Bin, S. ve Qi, S. (2019). Optimal pricing in mass customization supply chains with risk-averse agents and retail competition. *Omega*, 88, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.08.004>
- Nagurney, A., Jose C., June D. ve Ding Z. (2005). Supply Chain Networks, Electronic Commerce and Supply Side and Demand Side Risk. *European Journal of Operational Research*, 164(1), 120-142. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.11.007>
- Nguyen, H. T., Dawal, S. Z. M., Nukman, Y., Aoyama, H. ve Case, K. (2015). An integrated approach of fuzzy linguistic preference based AHP and fuzzy COPRAS for machine tool evaluation. *Plos one*, 10(9), 1-24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133599>
- Oliveira, F. N., Leiaras, A. ve Ceryno, P. (2019). Environmental risk management in supply chains: A taxonomy, a framework and future research avenues. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1257-1271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.032>
- Peng, H. ve Pang, T. (2019). Optimal strategies for a three-level contract-farming supply chain with subsidy. *International Journal of Production Economics*, 216, 274-286. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.06.011>
- Podvezko V. (2011). The Comparative Analysis Of MCDA Methods SAW And COPRAS. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 22(2), 134-146. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
- Prakash, A., Agarwal, A. ve Kumar, A. (2018). Risk Assessment in Automobile Supply Chain. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3571-3580. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.606>
- Rabbani, A., Zamani, M., Yazdani-Chamzini, A. ve Zavadskas, E.K. (2014). Proposing a new integrated model based on sustainability balanced scorecard (SBSC) and MCDM approaches by using linguistic variables for the performance evaluation of oil producing companies. *Expert Systems with Applications*, 41(16), 7316-7327, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.023>.
- Rajesh, R. ve Ravi, V. (2015). Modeling enablers of supply chain risk mitigation in electronic supply chains: A Grey-DEMATEL approach. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 126-139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.028>
- Raza, S. A. ve Govindaluri, S. M. (2019). Pricing strategies in a dual-channel green supply chain with cannibalization and risk aversion. *Operations Research Perspectives*, 6, 1- 14. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2019.100118>
- Sabouhi, F., Psihvae, M. S. ve Jabalemeli, M. S. (2018). Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 657-672. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.001>
- Schaefer, T., Udenio, M., Quinn, S. ve Fransoo, J. C. (2019). Water risk assessment in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 208, 636-648. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.262>
- Serrano, A., Oliva, R. ve Kraiselburd, S. (2018). Risk propagation through payment distortion in supply chains. *Journal of Operations Management*, 58-59, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2018.01.003>
- Shojei, P. ve Haeri, S. A. S. (2019). Development of supply chain risk management approaches for construction projects: A grounded theory approach. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 837-850. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.045>

- Silva, C., Pava, A. P. B. ve Carvalho, A. (2019). Green Supply Chain: Integrating Financial Risk Measures while Monetizing Environmental Impacts. *Computer Aided Chemical Engineering*, 46, 1549-1554. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50259-9>
- Şimşir, F., Demir, H.İ. ve Azdemir, S. (2018). Demir Çelik Sektöründe Hibrid DEMATEL ve TOPSIS-ELECTRE Yöntemleri ile Hata Türleri ve Etkileri Analizi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 22-34, Eylül, <https://doi.org/10.21541/apjes.455767>
- Thun, J. H. ve Hoing, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.010>
- Valinejad, F. ve Rahmani, D. (2018). Sustainability risk management in the supply chain of telecommunication companies: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 203, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.174>
- Venkatesh, V. G., Rathi, S. ve Patwa, S. (2015). Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using Interpretive structural modeling. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 26, 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2015.06.001>
- Vilko, J., Ritala, P. ve Hallikas, J. (2019). Risk management abilities in multimodal maritime supply chains: Visibility and control perspectives. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 469-481. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.11.010>
- Wu, Y., Jia, W., Li, I., Song, Z., Xu, C. ve Liu, F. (2019). Risk assessment of electric vehicle supply chain based on fuzzy synthetic evaluation. *Energy*, 182, 397-411. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.007>
- Yang, B. (2019). Construction of logistics financial security risk ontology model based on risk association and machine learning. *Safety Science*, 123, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.005>
- Yazdani, M., Alidoosti, A. ve Zavadskas, E. K. (2011). Risk analysis of critical infrastructures using fuzzy COPRAS. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24(4), 27-40. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2011.11517478>
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353, ISSN 0019-9958, [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).