



Open Access Journal
e-ISSN: 2619 – 8991

Araştırma Makalesi (Research Article)

Cilt 6 - Sayı 3: 265-275 / Temmuz 2023
(Volume 6 - Issue 3: 265-275 / July 2023)

GIDA PAKETLEMEDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ SÜRECİ İÇİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ BİR MODEL UYGULAMASI: DEMATEL VE CODAS

Semra BAYHUN^{1*}, Tuğçe ORAL², Mehmet ÖZDEMİR³

¹Yıldız Teknik University, Faculty of Machinery, PhD Program of Occupational Health and Safety, 34220, İstanbul, Türkiye

²Üsküdar Üsküdar University, Institute of Health Sciences, Department of Occupational Health and Safety, 34452, İstanbul, Türkiye

³Marmara University, Institute of Science, PhD Program of Machinery Engineering, 34452, İstanbul, Türkiye

Özet: Paketli gıda üretiminde makinelerden kaynaklı tehlikelerin tespitinin gerekliliği; karar vericilerin subjektif yaklaşımlarına karşı belirsizliklerin giderilmesi, tehlikelerden kaynaklı risklerin önceliklendirilmesi ve akabinde düzeltici faaliyetlerin sıralanması açısından çok kriterli karar verme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada karşımıza çıkan ana araştırma sorusu, karar verici uzman ekibin tercihleri de dahil olmak üzere nicel ve nitel karar kriterlerine dayalı olarak gıda üretim faaliyetlerinde makineler ile ilgili alınacak güvenlik önlemlerini sıralamak için bir yöntem gerekliliği olup olmadığıdır. Bu çalışma uygulama alanına ait mesleki tehlikelerin değerlendirilmesi ve bu tehlikeler sonucunda alınacak güvenlik önlemlerinin önceliklendirilmesi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, kriterlere ait faktör ağırlıkları Bulanık DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı) ile hesaplanmıştır. İkinci aşamada elde edilen ağırlıklar kullanılarak Bulanık CODAS (Birleştirilebilir Uzaklık Esaslı Değerlendirme veya Birleştirilebilir Mesafe Tabanlı Değerlendirme) ile mesleki tehlikeler ve tehlikelerden kaynaklı riskler önceliklendirilmiştir. Böylece gerçekleştirilmesi gereken düzeltici ve önleyici faaliyetlerin iş planının sağlıklı bir şekilde oluşturulması sağlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin işletilebilirliğini güçlendiren bir yaklaşım olarak risk ve önlemler birlikte analiz edilmiştir. Önerilen uygulama modeli gıda üretim sanayinde faaliyet gösteren bir fabrikada uygulanmış, en önemli ilk üç risk kaynağından ilki "Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması" olarak saptanmıştır. Bunu takip eden tüm alt kriterlerin bir arada değerlendirilmesiyle sırasıyla "Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi ve Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El ile Müdahalede Bulunması" olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler gıda sektöründe makine kullanımı noktasında operatörlük iş kolunun öneminin, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ile iş kazalarının önlenmesi açısından etkin bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Risk analizi, Bulanık mantık, F-DEMATEL, F-CODAS, Gıda üretim endüstrisi


A Fuzzy Multi-Criteria Model Application for Risk Assessment Process in Food Packaging: DEMATEL and CODAS


Abstract: The necessity of detecting the hazards originating from machinery in packaged food production; It appears as a multi-criteria decision-making problem in terms of eliminating uncertainties against the subjective approaches of decision makers, prioritizing risks arising from hazards, and then ordering corrective actions. The main research question we encounter in this study is whether there is a need for a method to rank the safety measures to be taken regarding machinery in food production activities based on quantitative and qualitative decision criteria, including the preferences of the decision-making expert team. This study consists of two stages: the evaluation of the occupational hazards of the application area and the prioritization of the safety measures to be taken as a result of these hazards. In the first stage, the factor weights of the criteria were calculated with Fuzzy DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory). Occupational hazards and risks arising from hazards were prioritized with Fuzzy CODAS (Combinable Distance Based Assessment) using the weights obtained in the second stage. Thus, it was ensured that the corrective and preventive actions to be carried out were formed in a healthy way. As an approach that strengthens the operability of the occupational health and safety management system, risks and precautions are analyzed together. The proposed application model was applied in a factory operating in the food production industry, and the first of three most important source of risk was determined as "Manipulation of the Protectors of the Packaging Machine". By evaluating all the following sub-criteria together, it was determined as 'Intervention of Persons without Machine Operator Training to the Machine and Manually Intervention in the Hazardous Zone of the Packaging Machine'. These obtained data reveal that the importance of the operator business in terms of machine use in the food industry is an effective factor in ensuring occupational health and safety and preventing occupational accidents.


Keywords: Risk analysis, Fuzzy logic, F-DEMATEL, F-CODAS, Food production industry

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yıldız Teknik University, Faculty of Machinery, PhD Program of Occupational Health and Safety, 34220, İstanbul, Türkiye

E mail: guney_akinoglu@gmail.com (S. BAYHUN)

Semra BAYHUN  <https://orcid.org/0000-0001-8890-8248>

Tuğçe ORAL  <https://orcid.org/0000-0003-1795-1550>

Mehmet ÖZDEMİR  <https://orcid.org/0000-0002-3816-9157>

Gönderi: 14 Nisan 2023

Kabul: 31 Mayıs 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: April 14, 2023

Accepted: May 31, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Bayhun S, Oral T, Özdemir M. 2023. A fuzzy multi-criteria model application for risk assessment process in food packaging: DEMATEL and CODAS. BSJ Eng Sci, 6(3): 265-275.



1. Giriş

İş sağlığı ve güvenliği saha uygulamaları kapsamında öncelikli çalışmaların başında risk değerlendirme uygulamaları gelmektedir. Risk analizi, risk değerlendirmenin bir alt basamağı olup; işyerinde üretim için gerekli ham madde ve malzeme tedariki ile başlayan ve üretim hedefine uygun ürün çıkana kadar geçen sürede çalışan güvenliği ve sağlığına zarar verebilecek tüm aşamaların belirlenmesidir. Risk analizi çıktılarının sayısal olarak değerlendirilme süreci de risk değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Güler ve ark., 2011). Literatürde risk değerlendirmesi olarak birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Önemli olan bu yöntemleri birbirleri ile karşılaştırmalı olarak uygulayarak, üretime destek olan tüm süreçlerde kör noktaların giderilmesi sağlamaktır.

Dinamik ve talebi yoğun bir sektör olan gıda imalatında üretim devamlılığının sağlanması, sistemsel hataların önceden fark edilerek önlenmesi veya düzeltilmesine bağlıdır. Bundan dolayı işletmeler, imalat sürecinde değişken taleplere göre üretim kalitesi ve standardizasyonları, çalışan performansı, iş çevrim süresi ve imalat esnasından yaşanabilecek makine arızaları ve çalışan kazaları gibi kriterlere göre ön görülebilen riskleri hedeflemektedir. Makine, çalışan, yoğun talep ve üretim gibi dinamik kriterlerin yer aldığı problemleri çözmek için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarından faydalanılmaktadır. Son yıllarda tek seferde daha etkin gözlem ve değerlendirme imkânı sağlayabilmek için ÇKKV yöntemleri ile klasik risk değerlendirme yöntemleri hibrit bir metot olarak geliştirilerek kullanılmaktadır. Böylece, risk değerlendirmesi yapan (karar vericilerin) kişilerin risk ölçeğine ulaşırken, en ideal düzeltici- kontrol yöntemlerine karar vermesi sağlanmaktadır (Kaya, 2020).

(Oral ve Bayhun, 2021) tarafından yapılan bir araştırmada gıdaların paketlenmesi esnasında kullanılan makinelerle çalışma esnasında yaşanan yaralanmalı iş kazalarının nedenleri FMEA ve HRNS olmak üzere iki farklı risk değerlendirme yönteminin karşılaştırılmasıyla irdelenmiştir. Yapılan araştırmada FMEA metoduna göre karar verilen önleme yöntemleri durumun kontrol aşamasında olduğu tespit edilirken, aynı önlem yöntemi HRNS metodunda durumun önemi ve yeterli bir önlem olmadığı vurgulanmıştır (Oral ve Bayhun, 2021). Benzer çalışmadaki aynı risk parametreleri kullanılarak, kontrol-önlem kriterlerine daha etkin karar verebilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılarak yeni bir hibrit risk değerlendirme yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada gıda imalatı sektöründe üretim esnasında yaşanan iş kazalarını minimize etmeye yönelik standart risk değerlendirme yöntemleri dışında kaza türlerini ağırlıklandırma da bulanık karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı (DEMATEL) yöntemi, yaşanan kazalara göre önlem yöntemlerine karar vermek için birleştirilebilir mesafeye dayalı değerlendirme

(CODAS) yöntemi kullanılarak hibrit bir uygulama yapılmıştır.

1.1. Maksimum Verim-Performans Ölçümünde Tercih Edilen ÇKKV Yöntemleri

Araştırma konusuna benzer karmaşık problemleri çözmeye yönelik ÇKKV yöntemleri kullanılarak oluşturulan hibrit modeller ile optimal seçim için karar vericilere yönelik geliştirilen uygulama örnekleri incelenmiştir. VIKOR yöntemi ile alternatifler arasında seçim yaparken, çok kriterli sıralama indeksi oluşturularak ideal çözüme en yakın kararın verilmesine imkân sağlanmaktadır (Uğur ve ark., 2017). Yapılan incelemelerde genellikle optimal seçimlerde VIKOR yönteminin tercih edildiği saptanmıştır.

Chang ve ark. (2011) tarafından Tedarik Zinciri Yönetimini (TZY) etkileyen faktörler elektronik endüstrisindeki 17 profesyonel satın alma uzmanına DEMATEL yöntemi uygulama anketleri gönderilerek saptanmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda TZY'yi etkileyen faktörlerin ürün kalitesi, fiyatı gibi bilinen kriterlerin aksine, mal teslimatı olduğu ortaya çıkmıştır.

İlbarhar ve ark. (2018) yaptıkları çalışmalarında, pisagor bulanık AHP içeren Pisagor Bulanık Orantılı Risk Değerlendirmesi (PFPR) yaklaşımında bulunmuşlardır. Çalışmanın uygulamasını inşaat sektöründe gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar Hata Türü ve Etkilerinin Pisagor Bulanık Analizi ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin karar verme sürecinin belirsizliğini daha iyi temsil ettiği gösterilmiştir.

Uslu ve ark. (2022) çalışmalarında, bulanık tabanlı DEMATEL ve MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemlerini kullanarak üç aşamalı bulanık risk matrisi tabanlı yeni bir Risk Analizi (RA) önermişlerdir. İlk aşamada F-DEMATEL ile Risk Faktörlerinin (RF) önem ağırlıklarını hesaplamışlardır. İkinci adımda, bulanık risk matrisi kullanılarak Risk Türlerinin (RT) risk derecelerini hesaplamışlardır. Üçüncü aşamada ise düzeltici ve önleyici faaliyetler F-MABAC 'a göre sıralanmıştır.

Kuzu (2021) çalışmasında, gemilerin ikiye ayrılma kazasını önlemek için gemi yapısal hasarını tetikleyen 18 faktöre dayalı alternatif bir risk analizi yaklaşımında bulunmuştur. Kriterlerin aralarındaki neden-sonuç ilişkisini bulmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan bulanık DEMATEL kullanmıştır. Çalışmasında, gemi yapısal kazalarına ve önleyici tedbirlerine yönelik önerilerde bulunmuştur.

Koohathongsumrit ve Chankham (2022) çalışmalarında, bulanık risk değerlendirmesine dayalı ağırlık merkezi yöntemini, bulanık AHP ve VIKOR birleştiren yeni bir hibrit yaklaşım ile entegre ederek rotasyon problemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarının etkinliği ve yöntemin uygulanabilirliğini, Tayland'dan Çin'e ampirik bir rota seçimi yoluyla doğrulamışlardır. AHP ile niteliklerin göreceli ağırlıkları hesaplandıktan sonra, nakliye maliyeti, süresi, güvenilir risk dereceleri ve öncelik değerleri VIKOR kullanılarak kapsamlı ulaşım

planlanması tasarımında karar vericilere yardımcı olmuştur. Li ve ark. (2022) çalışmalarında, bulanık VIKOR-FMEA'ya dayalı bir operasyonel emniyet risk analizi modeli oluşturmuşlardır. Uzman ekip, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemini kullanarak her bir arıza türünün (S), oluşma sıklığının (O) ve tespit edilebilirliğini (D) değerlendirmek için dilsel değişkenleri kullanmışlardır. Risk faktörlerinin ağırlıklarını hesaplamak için bulanık AHP yöntemini maksimum sapma yaklaşımı ile entegre ederek kullanmışlardır. FMEA yöntemi sonucunda riskleri sıralamak için VIKOR yöntemini kullanmışlardır. (Rehman ve ark. (2022) çalışmalarında, elektrik enerjisi sektöründe riskleri azaltma stratejilerini belirlemek için en muhtemel, şiddetli, maliyetli, tespiti zor ve kontrol edilmesi zor riskler olarak kategorize ederek, risklerin değerlendirilmesi için kriterleri Bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM) ile ölçerek, bu risklerin sıralanması için bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Uygulama sonucunda yolsuzluk, döngüsel borçlar, eski altyapı, enerji kayıpları ve araştırma ve geliştirme eksikliğini en kritik riskler olarak bulmuşlardır.

Uslu ve ark. (2022) çalışmalarında, risk kriterlerini entropi ile ağırlıklandırıp, kriterlerin önem tespiti için Tercih Seçim İndeksi (PSI) ve Kriterler arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti (CRITIC) yöntemlerini entegre ederek kullanmışlardır. Hata türlerinin önceliklendirilmesi için Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme (EDAS), CODAS, Karmaşık Orantılı Değerlendirme (COPRAS) yöntemleri kullanmışlardır. Önerilen yöntemin etkinliğini savunma ve havacılık sanayisinde faaliyet gösteren bir firmada değerlendirmişlerdir.

Sahmutoglu ve ark. (2022) çalışmalarında, afet anında gıdaya erişim ve toplanma bölgesi sorununa çözüm olacak hibrit model önerisinde bulunmuşlardır. Uzman görüşü ile belirlenen gıda ve toplanma noktasına etki edecek kriterlerin aralık değerli nütrozofik AHP metodolojisi ile önem ağırlıkları belirlenmiştir. Bartın il sınırlarında bulunan on iki toplanma noktasının risklerine göre sıralaması aralık değerli nütrozofik CODAS yöntemi ile elde etmişlerdir. Önerilen entegre metodolojinin, afet risk değerlendirmeleri için uygulanabilir bir yöntem olması amaçlanmıştır.

Karasan ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada işletmeler açısından üretilen bir ürünün müşteri gereksinimleri ve teknik özellikleri ayrı kategoride değerlendirilerek ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada müşteri gereksinimlerini belirlemede AHP yöntemi kullanılırken, teknik özellikler arasındaki ilişkiler nütrozofik DEMATEL yöntemi ile hem verilerdeki kesinlik hem de karar vericilerin belirsizlikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, müşteri tarafından beklenen en önemli teknik özellik ile müşteri gereksinimi arasında ilişki kurulmuştur.

Koca ve ark. (2021) akıllı şehirlerin planlanmasında öncülük edecek bir çalışmayı DEMATEL yöntemi kullanarak iki aşamalı hibrit bir metot ile yapmışlardır.

Yapılan çalışma sonucuna göre akıllı şehir konusunda farkındalık ve uygulama boyutlarını nitel bir tanımlayıcı yöntem ile DEMATEL'i içeren nicel bir yöntemle birleştirerek kullanmışlardır. Böylece, niteliksel aşama sonucu teknoloji odaklı çıkarken, nicel aşama sonucu insanların daha önemli ve belirleyici bir kriter olduğunu ortaya koymuştur. Böylece bu çalışma ile benzer problemlerin çözümünde hibrit metotların geliştirilmesinin karar vericilere daha pratik ve uygulanabilir rehberlik sağlayacağı vurgulanmıştır. Koca ve ark. (2021) yaptığı örnek çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da geliştirilen hibrit bir metodoloji ile kaza türleri ve önleyici uygulamalara karar vermede etkili bir sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır. Böyle hibrit bir metot ile gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan gıda paketleme makinelerine bağlı olarak yaşanan kazaları önlemek için karar vericilere rehberlik edeceği düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında Matematikçi Lotfi A. Zadeh (1965) tarafından insan odaklı karar verme sürecindeki belirsizlik ve karmaşıklık ile mücadele edebilmek için kullanılan güçlü bir araçtır. Gerçek hayat problemlerinde çözüm ve karar vermedeki eylemlerin kesin bir şekilde tanımlanması mümkün olmadığı için belirsizlik ile karşı karşıya kalırız. Dilsel kelimeleri bulanık sayılara dönüştürüp kullanmak, karar verici grubun düşünce ve fikirlerindeki belirsizliği kavramaya çalışmaktan daha kolaydır. Bu bağlamda $\tilde{A} = (l, m, u)$ olarak tanımlanan üçgen bulanık sayıdır. Denklem 1'de l, m ve u, bulanık kümelerin alt, orta ve üst sayılarını gösterir. Bulanık sayı üyelik fonksiyonlarını şu şekilde gösterebiliriz (Denklem 1).

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

Tablo 1'de bulanık ikili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem ölçekleri gösterilmektedir. Bu önem ölçüğü kullanılarak iki bulanık üçgen sayıları, $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde ifade edilebilir. Bunların istatistiksel tahminini şu şekilde çözümlmek mümkündür. Üçgensel bulanık sayıların kendi aralarında toplanması (Denklem 2);

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

Üçgensel bulanık sayıların kendi aralarında çıkarılması (Denklem 3);

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

Tablo 1. Bulanık ikili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem ölçeği

Dilsel Ölçek	Etki Skoru	Üçgensel Bulanık Karşılıkları	
Çok Önemli (VI) - Çok Etkili	4	(0,7; 0,9; 1,0)	(7/10, 9/10, 10/10)
Önemli (I) - Etkili	3	(0,5; 0,7; 0,9)	(1/2, 7/10, 9/10)
Normal (N)	2	(0,3; 0,5; 0,7)	(3/10, 5/10, 7/10)
Önemsiz (U) - Etkisiz	1	(0,1; 0,3; 0,5)	(1/10, 3/10, 1/2)
Çok Önemsiz (VU) - Çok Etkisiz	0	(0; 0,1; 0,3)	(0, 1/10, 3/10)

Üçgensel bulanık sayıların kendi aralarında çarpılması (Denklem 4);

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (4)$$

Bulanık üçgen sayıların aritmetik olarak ifadesi (Denlem 5 ve 6);

$$k \times \tilde{A}_1 = (k \times l_1, k \times m_1, k \times u_1), k > 0 \quad (5)$$

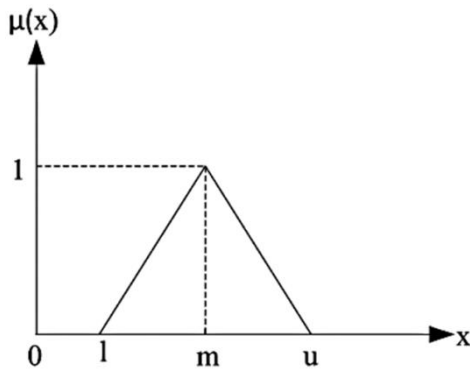
ve

$$\frac{k}{\tilde{A}_1} = \left(\frac{k}{l_1}, \frac{k}{m_1}, \frac{k}{u_1} \right), k > 0 \quad (6)$$

2.2. Bulanık DEMATEL

Bulanık DEMATEL dinamik ve ayrıntılı ÇKKV probleminde mevcut kriterler arasındaki ilişkisel etkileri analiz ederek kriter ağırlıklarını hesaplamaya yarayan bir çözüm yöntemidir (Kuzu, 2021). DEMATEL, değişkenler arasındaki karşılıklı bağımlılık ilişkisini ve ağırlıklı etki değerlerini gösterir. Yöntemin işleyişi ile ilgili çözüm basamakları aşağıda gösterilmiştir (Chang ve ark., 2011; Li ve ark., 2022).

Adım 1. Doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması; bu aşamada karar verici uzman grubun her bir kriter için karşılıklı etkilerini belirlemesi istenir. Böylece karar vericilerin dilsel değerlendirmesi gerçek sayısal değerlere çevrilmiş olur. Doğrudan ilişki matrisi bu nedenle tanımlanır. $A = [a_{ij}]$ burada A , $n \times n$ negatif olmayan matristir, a_{ij} , i faktörünün j faktörü üzerindeki doğrudan etkisini gösterir; ve $i = j$ olduğunda, köşegen elemanlar $a_{ij} = 0$ olur. Adım 1 görsel olarak ifade edildiği üçgensel bulanık sayı modeli Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Üçgensel bulanık sayı.

Adım 2. İlk doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması; bu adımda alt kriterler arasında karşılaştırma yapılarak normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi elde edilir.

Adım 3. Toplam ilişki matrisinin (T) elde edilmesi; aşağıdaki formüller (Denklem 1) kullanılarak hesaplanır. T_{ij} , i kriterinin j kriteri üzerindeki dolaylı etkisini gösterir, dolayısıyla T, her bir kriter çifti arasındaki toplam ilişkiyi verir (Denklem 7).

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (7)$$

Adım 4. Modelin analiz edilmesi, \tilde{r}_i ve \tilde{c}_i aşağıdaki formüller (Denklem 8 ve 9) kullanılarak belirlenir. Formülde \tilde{r}_i , tamamen i kriteri tarafından diğer tüm faktörlere verilen doğrudan ve dolaylı etkiyi gösterirken, \tilde{c}_i etkinin derecesini gösterir.

$$r_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad (8)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^n T_{ij} \quad (9)$$

$i = j$ olduğunda, $r_i \sim + c_j \sim i$ kriteri tarafından verilen ve alınan tüm kriterleri gösterir. Yani $r_i \sim - c_j \sim$, hem i kriterinin tüm sistem üzerindeki etkisini hem de diğer sistem kriterlerinin, kriter i üzerindeki etkisini gösterir. Böylece $r_i \sim + c_j \sim i$ kriterinin tüm sistemdeki önem derecesini gösterebilir. Öte yandan $r_i \sim - c_j \sim$ değeri pozitif ise i kriteri açık neden olacaktır. $r_i \sim - c_j \sim$ negatifse, kriter etki grubu içinde kümelenmiş net bir sonuç olacaktır (Chang ve ark., 2011)

Adım 5. $r_i \sim + c_j \sim$ ve $r_i \sim - c_j \sim$ değerlerine göre neden-sonuç ilişkisi diyagramı çizilir. Böylece, faktörler arasındaki karmaşık ilişki kolayca görselleştirilir.

Toplam ilişki bulanık matrisinin kesin durumu, aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır (Denklem 10 - 13);

$$\tilde{T} = \lim_{k \rightarrow +\infty} (\tilde{x}^1 + \tilde{x}^2 + \dots + \tilde{x}^k) \quad (10)$$

$\tilde{t}_{ij} = (\tilde{l}_{ij}, \tilde{m}_{ij}, \tilde{u}_{ij})$ olduğu zaman;

$$[\tilde{l}_{ij}] = x_l \times (I - x_l)^{-1} \quad (11)$$

$$[\tilde{m}_{ij}] = x_m \times (I - x_m)^{-1} \quad (12)$$

$$[\tilde{u}_{ij}] = x_u \times (I - x_u)^{-1} \quad (13)$$

Adım 6. Durulaştırma süreci: bu adımda $r_i \sim + c_j \sim$ ve $r_i \sim - c_j \sim$, en iyi bulanık olmayan performans (BNP) değerlerini belirlemek için Ross (1995) tarafından literatüre kazandırılan alan merkezi (COA) durulaştırma yöntemi kullanılır. Dışbükey bir bulanık sayı için $\tilde{\delta}$ ve alanın merkezine karşılık gelen gerçek sayı z^* Denklem 14 ve 15 kullanılarak belirlenir (Akyuz ve Celik, 2015).

$$z^* = \frac{\int \mu(z)zdz}{\int \mu(z)dz} \quad (14)$$

$\tilde{G} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ bulanık sayısının en iyi bulanık olmayan performans değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$BNP_{ij} = \frac{u_{ij} - l_{ij} + m_{ij} - l_{ij}}{3} + l_{ij} \quad (15)$$

Adım 7. Nihai çıktının elde edilmesi ve neden-sonuç ilişki şemasının oluşturulmasıdır.

2.3. Bulanık CODAS

Ghorabae ve ark. (2016) tarafından literatüre kazandırılan CODAS yönteminde, alternatiflerin negatif ideal çözüme olan uzaklıklarının hesaplanması için Öklid (Euclidean) ve Taksikab (Taxicab) uzaklıkları ile alternatiflerin birbirlerine göre avantajlı yönleri belirlenmektedir. Yöntemin ana çalışma mantığı hesaplanan negatif ideal çözümden en fazla uzaklıkta olan alternatifin seçilmesidir. Karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme uzaklıklarının keşfinde öncelikle Öklid uzaklığı, sonrasında eğer iki karar alternatifi Öklid mesafesi üzerinden karşılaştırılamıyorsa veya çok benzer değerlere sahip ise, diğer bir ölçüt olan Taksikab uzaklığı dikkate alınır. n alternatif m kriterin olduğu bir karar verme probleminde, uygulama adımları aşağıdaki gibidir. CODAS yönteminin uygulama aşamaları şu şekildedir (Keshavarz Ghorabae, 2016).

Adım 1. Karar matrisi (X) aşağıdaki şekilde oluşturulur (Denklem 16);

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Karar matrisindeki x_{ij} ($x_{ij} \geq 0$ olmak üzere), i. alternatifin j. kritere göre performans değerini ifade etmektedir. ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ve $j \in \{1, 2, \dots, m\}$)

Adım 2. Normalize karar matrisi elde edilir. Tüm performans değerleri Denklem 17 ile ifade edilir. Burada doğrusal normalizasyon işlemi ile kriter tipine göre normalizasyon yapılır.

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_b \\ \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_c \end{cases} \quad (17)$$

Burada N_b ile fayda kriteri, N_c ile zarar kriteri ifade edilmektedir.

Adım 3. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması; bu aşamada Denklem 18 yardımı ile bir önceki adımda hesaplanan normalize karar matrisi değerleri ve kriterlerin önem ağırlıkları çarpılarak, ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = w_j n_{ij} \quad (18)$$

Burada w_j ($0 < w_j < 1$ olmak üzere) j. kriterin ağırlığını ifade eder ve tüm kriter ağırlıklarının toplamı 1'e eşit olacaktır.

Adım 4. Negatif ideal çözüm noktası belirlenir. Ağırlıklandırılmış karar matrisinin her bir sütununda yer alan en küçük performans değeri seçilerek negatif ideal çözüm Denklem 19 ve 20 kullanılarak elde edilir.

$$ns = [ns_j]_{1 \times m} \quad (19)$$

$$ns_j = \min r_{ij} \quad (20)$$

Adım 5. Alternatiflerin negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taksikab uzaklıkları sırasıyla Denklem 21 ve 22 yardımı ile hesaplanır.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (21)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad (22)$$

Adım 6. Göreceli değerlendirme matrisi (Ra)'nın oluşturulması, bu adımda her bir alternatifin diğerlerine olan Öklid ve Taksikab uzaklıkları dikkate alınarak aşağıdaki Denklem 23 ve denklem 24 aracılığıyla göreceli değerlendirme matrisi oluşturulur.

$$Ra = [h_{ik}]_{n \times n} \quad (23)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi (E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (24)$$

Burada $k \in \{1, 2, \dots, n\}$, ψ ise iki alternatifin Öklid uzaklığının eşitliğini tanımlayan bir eşit fonksiyonu ifade eder ve Denklem 25 ile tanımlanır.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } |x| \geq \tau \\ 0 & \text{eğer } |x| < \tau \end{cases} \quad (25)$$

Buradaki τ eşik parametresi olarak tanımlanır ve karar verici tarafından belirlenebilir. Öklid uzaklığının önemsizlik derecesini gösteren bu parametrenin 0,01 ile 0,05 arasında bir değer olması tavsiye edilmektedir. Eğer iki alternatifin Öklid uzaklıkları arasındaki fark τ 'den küçük ise, bu iki alternatif Taksikab uzaklığı ile

kıyaslanır. Çalışmalarda τ eşit parametre değerinin genellikle 0,2 olarak kullanıldığı görülmektedir. Adım 7. Her bir alternatifin değerlendirme puan skorunun hesaplanması için Denklem 26 kullanılır.

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (26)$$

Adım 8. Sonuç olarak alternatifler sahip oldukları değerlendirme puanlarına göre sıralanır. En yüksek puanı alan alternatif, diğerlerine göre en iyi seçim anlamına gelmektedir.

3. Uygulama ve Bulgular

Demir Önerilen model hazır gıda imalatı ve paketlenmesi işlemlerinin yürütüldüğü bir fabrikada uygulanmıştır. Çalışmanın analiz sürecini yürüten uzman ekip ikisi iş güvenliği uzmanı ve biri endüstri mühendisi olmak üzere üç kişiden oluşmaktadır. Kriterlerin tespiti, uzman ekibin görüşleri alınarak ve önerilen modele uygun olarak

hazırlanan tehlike tespit formu ile belirlenmiştir. Tehlikelerin tespiti ve risk değerlendirilmesi Uzman ekip tarafından fabrikada tespit edilen faaliyete yönelik tehlike kaynakları ve riskler; Mekanik (T-1), Ergonomik (T-2), Organizasyonel (T-3) olmak üzere üç farklı ana kriter ve T-11, T-12, T-13, T-14, T-21, T-22, T-31 olmak üzere 7 alt kriterden oluşmakta olup Tablo 2’de gösterilmiştir (Oral ve Bayhun, 2021).

Uzmanlardan elde edilen verilerin doğrultusunda oluşturulan karşılaştırma matrisi Tablo 3’de gösterilmektedir. Burada uzman görüşleri kullanılan bulanık mantık doğrultusunda teke indirgenmiştir.

Uzman görüşleri ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen ikili karşılaştırma matrisi normalizasyonu Tablo 4’de gösterilmektedir.

İkili karşılaştırma matrisinin normalizasyonu gerçekleştirildikten sonra üçgen bulanık diyagramına uygun olacak şekilde diyagramın sağ ve sol taraftan normalleştirilen matris Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 2. Faaliyete ait tehlike kaynakları ve riskler

Tehlike Kodu	Faaliyet	Faaliyete Ait Tehlike	Riskler
T-11	Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El İle Müdahalede Bulunma	Makine operasyon bölgesine paketlenme malzemesinin sıkışması nedeni ile makine durdurulmadan çalışanların el ile müdahalede bulunması sonucu oluşan tehliktir.	Elin yüksek ısı ile paketin yapışmasını sağlayan noktaya temas etmesi ile meydana gelebilecek yanık veya uzuv kaybı.
T-12	Paketleme Makinesine Ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması	Makine bakım/ onarım çalışmaları sonucunda makine koruyucuların sökülüp tekrar takılmaması nedeniyle koruyucuların koruma fonksiyonlarının yeterliliğini yitirmesi ile oluşan tehliktir.	Koruyucuların yetersizliği sonucu çalışan makineye müdahale ile meydana gelebilecek uzuv kaybı.
T-13	Paketleme Makinesi Yardımcı Ekipmanı Çok Kefeli Terazilere Ürün Yapışması Sonucu El İle Müdahale	Paketlenen gıda ürünlerinin gramajlarının belirlendiği paketlenme makinesinin yardımcı ekipmanları olan çok kefli terazilere ürün yapışması sonucu bu noktalara el ile müdahale edilmesinden ötürü ürünlerin taşınmasını sağlayan taşıma bantlarına çalışanlarının el ve parmaklarının sıkışması sonucu oluşan tehliktir.	Taşıma bantlarına el ile müdahale etme sonucu meydana gelebilecek uzuv sıkışması veya kaybı.
T-14	Paketleme Makinesi bobin (>20kg) Değiştirme İşleminin Çalışanlar Tarafından Ekipman Desteği Olmadan Gerçekleştirilmesi	Minimum ağırlığı 20 kg olan bobinlerin değişimi esnasında çalışanların bobini düşürmesi sonucu meydana gelen tehliktir.	Bobin düşmesi sonucu meydana gelebilecek uzuv ezilmesi veya kaybı.
T-21	Paketleme Makinesi Besleme Elevatörü Noktasında Kasa Kaldırma ve Boşaltma İşlemlerinin Yapılması	Paketleme makinesine ürün beslemesi sırasında çalışanların kaldırma ve boşaltma işlerini yapması sonucu kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının oluşumuna neden olan tehliktir.	Kaldırma ve taşıma işleri sonucu meydana gelebilecek kas-iskelet sistemi meslek hastalığı veya iş kazası olarak yaralanmaya sebep olan olay/ fiziksel veya ruhsal baskı.
T-22	Tekrarlayıcı Çalışmalar Yapılması	Paketleme ürünlerinin kolilenmesi işlerindeki dikkat isteyen tekrarlayıcı işlerin stres etkisini artırması sonucu oluşan tehliktir.	Stres sonucu meydana gelebilecek olan psikolojik rahatsızlıklar.
T-31	Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi	Makine operatörlük eğitimi olmayan çalışanların makinelere müdahale etmeleri sonucu oluşan tehliktir.	Yetersiz organizasyonel yapı sonucu meydana gelebilecek uzuv kayıplı veya ölümlü olay.

Tablo 3. Uzmanların ikili karşılaştırma matrisi

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	(1;1;1)	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-12	(0,7; 0,9; 1,0)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-13	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-14	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-21	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-22	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)	(1;1;1)	(0,3; 0,5; 0,7)
T-31	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(1;1;1)

Tablo 4. İkili karşılaştırma matrisi normalizasyonu

index (ij)	T	a1	b1	c1	d1	f1	g1	h1
		T-11 (aij)	T-12 (bij)	T-13 (cij)	T-14 d(ij)	T-21 f(ij)	T-22 g(ij)	T-31 h(ij)
a1	T-11	1 1 1	0,7 0,9 1	0,3 0,5 0,7	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5
a2	T-12	0,7 0,9 1	1 1 1	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,3 0,5 0,7	0,3 0,5 0,7	0,1 0,3 0,5
a3	T-13	0,3 0,5 0,7	0,1 0,3 0,5	1 1 1	0,1 0,3 0,5	0,3 0,5 0,7	0,3 0,5 0,7	0,1 0,3 0,5
a4	T-14	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	1 1 1	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5
a5	T-21	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	1 1 1	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5
a6	T-22	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,5 0,7 0,9	1 1 1	0,3 0,5 0,7
a7	T-31	0,7 0,9 1	0,7 0,9 1	0,7 0,9 1	0,1 0,3 0,5	0,1 0,3 0,5	0,3 0,5 0,7	1 1 1

Tablo 5. Sağ ve sol normalleştirilmiş değerleri ile oluşturulan matris

index (ij)	T	xls-xrs	xls-xrs	xls-xrs	xls-xrs	xls-xrs	xls-xrs	xls-xrs
		T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
a1	T-11	0,818	0,636	0,667	0,600	0,222	0,222	0,000
a2	T-12	0,667	0,600	0,818	0,636	0,000	0,000	0,000
a3	T-13	0,222	0,222	0,000	0,000	0,818	0,636	0,000
a4	T-14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,818	0,636
a5	T-21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,818	0,636
a6	T-22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,444	0,444
a7	T-31	0,667	0,600	0,667	0,600	0,000	0,000	0,222

Sağ ve sol taraftan normalleştirilen matris toplam değeri ile ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Dolayısıyla oluşturulan bulanık toplam ilişki matrisi Tablo 6’da yer almaktadır.

Bulanık toplam ilişki matrisi oluşturulduktan sonra bir sonraki adım normalleştirilmiş direk matrisidir. Normalleştirilmiş direk matrisi değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koymaktadır. Normalleştirilmiş direk matrisi Tablo 7’de gösterilmektedir.

Toplam nominalleştirilmiş kesin değerlerin hesaplanması (Denklem 27):

$$w_{ij}^{-k} = \min a_{ij}^n + x_{ij}^n \Delta_{min}^{max} \quad (27)$$

Tablo 6. Bulanık toplam ilişki matrisi

T	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	1,0 0,8 0,6 0,7	0,7 0,6 0,2 0,2	0,2 0,2 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0
T-12	0,7 0,7 0,6 1,0	0,8 0,6 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,2 0,2	0,2 0,2 0,2 0,2	0,2 0,2 0,2 0,2	0,0 0,0 0,0 0,0
T-13	0,2 0,2 0,2 0,0	0,0 0,0 0,0 1,0	0,8 0,6 0,0 0,0	0,0 0,0 0,2 0,2	0,2 0,2 0,2 0,2	0,2 0,2 0,2 0,2	0,0 0,0 0,0 0,0
T-14	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 1,0	0,8 0,6 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0
T-21	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 1,0	0,8 0,6 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0
T-22	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,4 0,4	0,4 1,0 0,8 0,6	0,2 0,2 0,2 0,2	0,2 0,2 0,2 0,2
T-31	0,7 0,7 0,6 0,7	0,7 0,6 0,7 0,7	0,7 0,6 0,7 0,7	0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,2 0,2 0,2 0,2	1,0 0,8 0,6 0,6

Normalleştirilmiş direk matrisi sonrasında kimlik matrisi oluşturulmaktadır. Bir başka ifade ile karar matrisinin ortaya çıkartılmasıdır (Denklem 28). Kimlik matrisi Tablo 8’de gösterilmektedir.

$$S = k \times A_k = \frac{1}{\max 1 \leq i \leq n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (28)$$

Karar verme yöntemlerdeki kritik matris olarak ifade edilen ve değişkenler arasındaki ilişki ortaya çıkaran normalleştirilmiş doğrudan matris Tablo 9’da yer almaktadır.

Tablo 7. Normalleştirilmiş direk matrisi

index (ij)	T	a1	b1	c1	d1	f1	g1	h1
		T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
a1	T-11	0,677	0,624	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000
a2	T-12	0,624	0,818	0,000	0,000	0,222	0,222	0,000
a3	T-13	0,222	0,000	0,818	0,000	0,222	0,222	0,000
a4	T-14	0,000	0,000	0,000	0,818	0,000	0,000	0,000
a5	T-21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,818	0,000	0,000
a6	T-22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,444	0,818	0,222
a7	T-31	0,624	0,667	0,667	0,000	0,000	0,222	0,818

Tablo 8. Kimlik matrisi oluşturma

Index (ij)	T	a1	b1	c1	d1	f1	g1	h1	S
		T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31	
a1	T-11	0,709	0,661	0,300	0,100	0,100	0,100	0,100	2,071
a2	T-12	0,661	0,836	0,100	0,100	0,300	0,300	0,100	2,398
a3	T-13	0,300	0,100	0,836	0,100	0,300	0,300	0,100	2,036
a4	T-14	0,100	0,100	0,100	0,836	0,100	0,100	0,100	1,436
a5	T-21	0,100	0,100	0,100	0,100	0,836	0,100	0,100	1,436
a6	T-22	0,100	0,100	0,100	0,100	0,500	0,836	0,300	2,036
a7	T-31	0,661	0,667	0,667	0,000	0,000	0,222	0,818	3,035

Max top A
k = 1/3,035

Tablo 9. Normalleştirilmiş doğrudan matris (O)

index (ij)	T	a1	b1	c1	d1	f1	g1	h1
		T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
a1	T-11	0,234	0,218	0,099	0,033	0,033	0,033	0,033
a2	T-12	0,218	0,276	0,033	0,033	0,099	0,099	0,033
a3	T-13	0,099	0,033	0,276	0,033	0,099	0,099	0,033
a4	T-14	0,033	0,033	0,033	0,276	0,033	0,033	0,033
a5	T-21	0,033	0,033	0,033	0,033	0,276	0,033	0,033
a6	T-22	0,033	0,033	0,033	0,033	0,165	0,276	0,099
a7	T-31	0,218	0,220	0,220	0,000	0,000	0,073	0,270

Normalleştirilmiş doğrudan matrisinden sonra normalleştirilmiş doğrudan matrisi ile kimlik matrisinin negatifleştirilmesi yapılmaktadır. Negatifleşme matrisi Tablo 10'da gösterilmektedir.

Normalleştirilmiş doğrudan matrisi ile kimlik matrisinin negatifleştirilmesi sonrası oluşan matrisin tersi alınmaktadır. Matrisin tersi Tablo 11'de gösterilmektedir. Ters matris oluşturulduktan sonra ters matris ile ilişki matrisi çarpılarak yeni bir matris elde edilir. Ortaya çıkan matris Tablo 12'de yer almaktadır.

Bir sonraki adım olarak sebep ve sonuç diyagramını

eşlemek için hesaplama yapılmaktadır. Oluşan matris Tablo 13'de yer almaktadır.

Sebeup ve sonuç diyagramını eşlemek için oluşturulan matristen sonra etki ve nedensel faktörler belirlenmektedir. Oluşan faktörler Tablo 14'de yer almaktadır.

En sonra adım olarak risklerin yüzdeleri belirlenmektedir. Bu yüzdeler değere en fazla risk oluşturan değişken ortaya çıkmaktadır. Yüzdelerin yer aldığı risk sıralaması Tablo 15'de gösterilmektedir.

Tablo 10. Eksi normalleştirilmiş doğrudan matris (O) kullanılarak elde edilen kimlik matrisi (I)

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	0,766	-0,218	-0,099	-0,033	-0,033	-0,033	-0,033
T-12	-0,218	0,724	-0,033	-0,033	-0,099	-0,099	-0,033
T-13	-0,099	-0,033	0,724	-0,033	-0,099	-0,099	-0,033
T-14	-0,033	-0,033	-0,033	0,724	-0,033	-0,033	-0,033
T-21	-0,033	-0,033	-0,033	-0,033	0,724	-0,033	-0,033
T-22	-0,033	-0,033	-0,033	-0,033	-0,165	0,724	-0,099
T-31	-0,218	-0,220	-0,220	0,000	0,000	-0,073	0,730

Tablo 11. Matrisin ters çevrilmesi (I-O)

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	1,578	0,565	0,317	0,1334	0,249	0,225	0,159
T-12	0,593	1,663	0,25	0,1458	0,37	0,33	0,181
T-13	0,345	0,254	1,52	0,1248	0,33	0,294	0,156
T-14	0,17	0,168	0,141	1,4147	0,144	0,132	0,11
T-21	0,17	0,168	0,141	0,0943	1,464	0,132	0,11
T-22	0,267	0,264	0,222	0,1224	0,427	1,51	0,263
T-31	0,779	0,772	0,649	0,1334	0,328	0,406	1,544

Tablo 12. Toplam ilişki matrisini (S) elde etmek için (I - O)⁻¹ matrisi ile (O) matrisinin çarpılması

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	0,578	0,565	0,317	0,1334	0,249	0,225	0,159
T-12	0,593	0,663	0,25	0,1458	0,37	0,33	0,181
T-13	0,345	0,254	0,52	0,1248	0,33	0,294	0,156
T-14	0,17	0,168	0,141	0,4147	0,144	0,132	0,11
T-21	0,17	0,168	0,141	0,0943	0,464	0,132	0,11
T-22	0,267	0,264	0,222	0,1224	0,427	0,51	0,263
T-31	0,779	0,772	0,649	0,1334	0,328	0,406	0,544

Tablo 13. Sebep ve sonuç diyagramını eşlemek için (D+R) ve (D-R) hesaplaması

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	0,578	0,565	0,317	0,1334	0,249	0,225	0,159
T-12	0,593	0,663	0,25	0,1458	0,37	0,33	0,181
T-13	0,345	0,254	0,52	0,1248	0,33	0,294	0,156
T-14	0,17	0,168	0,141	0,4147	0,144	0,132	0,11
T-21	0,17	0,168	0,141	0,0943	0,464	0,132	0,11
T-22	0,267	0,264	0,222	0,1224	0,427	0,51	0,263
T-31	0,779	0,772	0,649	0,1334	0,328	0,406	0,544
R	2,901	2,853	2,24	1,1689	2,313	2,03	1,522

Tablo 14. Bulanık negatif ideal çözüm değerleri

	D	R	D+R	D-R	
T-11	2,226	2,901	5,127342912	-0,675627453	Etki (Sonuç) Faktör
T-12	2,532	2,853	5,385478045	-0,320865163	Etki (Sonuç) Faktör
T-13	2,025	2,24	4,264883483	-0,21463982	Etki (Sonuç) Faktör
T-14	1,279	1,169	2,447445747	0,109719315	Neden Faktör
T-21	1,279	2,313	3,591737044	-1,034571983	Etki (Sonuç) Faktör
T-22	2,076	2,03	4,106073146	0,046509016	Neden Faktör
T-31	3,612	1,522	5,133936365	2,089476088	Neden Faktör

Tablo 15. Yüzdelerle göre mesleki tehlikelerin sıralaması

Ağırlıkları	Yüzde (%)		
T-11	5,127	0,171	17,059
T-12	5,385	0,179	17,918
T-13	4,265	0,142	14,189
T-14	2,447	0,081	8,143
T-21	3,592	0,119	11,950
T-22	4,106	0,137	13,661
T-31	5,134	0,171	17,081

Önerilen modelin çözüm sonuçlarına göre hazır gıda paketlemesi işlemlerinin yürütümü esnasında karşılaşılan mekanik tehlike kaynakları içerisinde Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona

Uğraması öncelikli olarak bulunurken; Ergonomik tehlike kaynakları içerisinde Tekrarlayıcı Çalışmaların Yapılması, Organizasyonel tehlike kaynakları içerisinde ise Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi bulunmuştur.

Faaliyete ait tehlike kaynakları ve riskler bir arada değerlendirildiğinde ise bir iş kazasının gerçekleşmesine en fazla etki sağlayan ilk üç işlem sırasıyla; Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması, Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi ve Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El ile Müdahalede Bulunması' tespit edilmiştir.

4. Tartışma

Oral ve Bayhun (2021) tarafından yapılan “Gıda Paketleme Makinelerinin Kullanım Risklerinin HRNS Metodu ve FMEA Yöntemi ile Karşılaştırılması” başlıklı araştırmada benzer tehlike kaynakları ve risklerin önem dereceleri iki farklı yöntem ile karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda HRNS metoduna göre en yüksek skora sahip tehlike kaynağı ‘Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması olarak çıkmıştır. Aynı verilerin ÇKKV yöntemleri ile hibrit bir metod ile karşılaştırılması sonucu da HRNS metodu sonucu ile benzerlik göstermektedir.

Aynı verilerin FMEA metodu kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda ise Organizasyonel tehlike kaynağına bağlı olarak “Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi” en yüksek skora sahip olarak bulunmuştur (Oral ve Bayhun, 2021). Araştırma bulguları da iş kazası veya meslek hastalığına neden olan etkenler ile ilgili risk değerlendirme çalışmalarında tek kriterli değerlendirmeye bağlı yöntemlerin tercih edilmesinde sonuçlar farklılıklar gösterebildiği gibi öncelikli riskin saptanamamasına neden olabilmektedir. Bu amaçla, işyerleri düzeni ve koşulları içerisinde iş kazasının gerçekleşmesine zemin hazırlayan etkenlerin ÇKKV yöntemleri yardımıyla bir arada değerlendirilmesi iş güvenliği uygulamaları açısından daha doğru bir risk tespiti yapılmasını sağlamaktadır.

Uygulanan yöntem, önemsiz riskleri çok yüksek derecelere yükseltmeyeceği gibi, ciddi bir tehlikeyi de düşük derecelere indirmez. Elde edilen sonuçlar, uygulanan risk sıralama yönteminin gerçekten ciddi sonuçları olabilecek yüksek riskler için değişken sonuçlar sağlamadığını gösterir (Yılmaz ve Özcan, 2019).

Zadeh (1965), somut olayların araştırılmasında veya sınıflandırılmasında kesin ölçütlerin olmadığından bahsetmektedir. Bu durum, özellikle iş güvenliği uygulamalarında risklerin belirlenmesinde ve sıralanmasında bulanık sayılara bağlı metodların gerekliliğini vurgulamaktadır.

5. Sonuç

Bu araştırma, hazır gıda paketlemesinde veya hazır gıda üretimi faaliyeti gösteren işletmelerde yaşanabilecek iş kazalarına neden olacak kaynakların tespitinde ve önleyici uygulamalara bağlı olarak iş performansını artırmanın etkili bir yolunu sağlamayı amaçlamaktadır.

İşyeri içinde iş kazasının gerçekleşmesine en fazla etki sağlayan ilk faktörün; Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması olduğu görülmektedir. Bu durumda alınabilecek önlemler için işyeri içinde makine kurulumu aşamasında iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin görüşlerinin alınması, çalışanın hangi şekil ve koşullarda makine ile çalışmasının uygun olduğunun değerlendirilmesi açısından önemlidir.

İkinci faktör Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan

Kişilerin Makineye Müdahalesi’dir. Bu tehlikeli davranışın işyeri içinde önlenmesi için denetimlerin uyarı ve ceza uygulamaları ile desteklenmesi; ayrıca bu konuda oluşturulan prosedürler hakkında çalışanların eğitilmesi gerekmektedir.

Üçüncü faktör Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El ile Müdahalede Bulunması’dır. Birinci tehlike faktörü için yapılacak düzeltici faaliyetler bu tehlikeli davranışında sonuçlarını olumlu derecede düzeltacaktır. Ayrıca makineye müdahale gerektiren durumların varsa teknik alt nedenleri (Makine veya ürün kaynaklı) araştırılarak kök nedenler incelenmelidir.

Bu araştırmada, mekanik, ergonomik ve organizasyonel ana kriterler değerlendirilirken Bulanık DEMATEL ve CODAS yöntemi uygulanmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, yaşanan iş kazalarını azaltmak veya işletmelerdeki risklerin kritiklik seviyeleri diğer ÇKKV yöntemleri ile belirlenebilir. Fakat bu çalışma, gıda imalatı işletmelerinde yaşanan iş kazalarının kök nedenlerine bağlı olarak değerlendirilmesinde ve bu alana yönelik ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan ilk çalışmalardan biri olduğundan; bu nedenle önerilen metodolojinin ileride yapılacak çalışmalara ışık tutabileceği düşünülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.B.	T.O.	M.Ö.
K	40	30	30
T	50	50	
Y	40	40	20
VTI	40	30	30
VAY	30	30	40
KT	40	40	20
YZ	40	40	20
KI	40	40	20
GR	100		

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

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

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

Kaynaklar

- Akyuz E, Celik E. 2015. A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers. J Loss Prevent Process Indust, 38: 243-253. DOI: 10.1016/j.jlp.2015.10.006.
- Chang B, Chang CW, Hung C. 2011. Fuzzy DEMATEL method for

- developing supplier selection criteria. *Expert Syst Appl*, 38(3): 1850-1858. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.07.114.
- Güler Ç, Songül A, Vaizoğlu A, Tekbaş F. 2011. Risk değerlendirmesi. *Palme Yayınevi, Ankara, Türkiye*, pp: 48.
- İlbahar E, Karaşan A, Cebi S, Kahraman C. 2018. A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Sci*, 103: 124-136. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.10.025.
- Karasan A, İlbahar E, Cebi S, Kahraman C. 2022. Customer-oriented product design using an integrated neutrosophic AHP & DEMATEL & QFD methodology. *Appl Soft Comput*, 118: 108445. DOI: 10.1016/j.asoc.2022.108445.
- Kaya İ, Karaşan A. 2020. Çok kriterli karar verme. *Umuttepe Yayınları, İstanbul, Türkiye*, pp: 142.
- Keshavarz GM. 2016. Developing an MCDM method for robot selection with interval type-2 fuzzy sets. *Robotics Comput Integ Manufact*, 37: 221-232. DOI: 10.1016/j.rcim.2015.04.007.
- Koca G, Eğilmez O, Akcakaya O. 2021. Evaluation of the smart city: Applying the dematel technique. *Telemat Informat*, 62: 101625. DOI: 10.1016/j.tele.2021.101625.
- Koohathongsumrit N, Chankham W. 2022. A hybrid approach of fuzzy risk assessment-based incenter of centroid and MCDM methods for multimodal transportation route selection. *Cogent Engineering* 9(1): 2091672. DOI: 10.1080/23311916.2022.2091672.
- Kuzu AC. 2021. Risk analysis of break-in-two accident of ships using fuzzy DEMATEL method. *Ocean Eng*, 235: 109410. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.109410.
- Li H, Guo Y, Li F, Cao Y, Wang Y, Ma Y. 2022. Assessment of operation safety risk for South-to-North Water Diversion Project: a fuzzy VIKOR-FMEA approach. *Water Supply*, 22(4): 3685-3701. DOI: 10.2166/ws.2022.009.
- Oral T, Bayhun S. 2021. Comparison of the use risks of food packaging machines with the HRNS method and FMEA method. *BSJ Eng Sci*, 4(4): 168-178. DOI: 10.34248/bsengineering.948968.
- Rehman OU, Ali Y, Sabir M. 2022. Risk assessment and mitigation for electric power sectors: A developing country's perspective. *Int J Critical Infrastruct Protect*, 36: 100507. DOI: 10.1016/j.ijcip.2021.100507.
- Sahmutoglu I, Taskin A, Ayyildiz E. 2022. Assembly area risk assessment methodology for post-flood evacuation by integrated neutrosophic AHP-CODAS. *Natural Hazards*, 116: 1071-1103. DOI: 10.1007/s11069-022-05712-1.
- Uğur OL, Mürsel E, Uçkardeşler A. 2017. Çatı kaplama malzemesi seçiminde VIKOR çok kriterli karar verme yönteminin uygulanması. *İleri Tekn Bil Derg*, 7(2): 117-130.
- Uslu T, Can GF, Delice EK. 2022. A new multidimensional process type FMEA approach: Defense and aerospace industry application. *J Fac Eng Architect Gazi Univ*, 37(3): 1411-1426. DOI: 10.17341/gazimmfd.847213.
- Yılmaz F, Özcan SM. 2019. A risk analysis and ranking application for lifting vehicles used in construction sites with integrated ahp and fine-kinney approach. *Advan Sci Tech Res J*, 13: 152-161. DOI:10.12913/22998624/111779.
- Zadeh LA. 1965. Fuzzy sets. *Info Control*, 8(3): 338-353.