

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ÜRETİM TESİSLERİNİN RİSK ANALİZİ İÇİN KATMANLI BWM ve TOPSIS
TABANLI BİR YAKLAŞIMIN GELİŞTİRİLMESİ ve SEKTÖRDE BİR
UYGULAMA**

Coşkun KARCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Muhammet GÜL

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİM TESİSLERİNİN RİSK ANALİZİ İÇİN KATMANLI BWM ve TOPSIS
TABANLI BİR YAKLAŞIMIN GELİŞTİRİLMESİ ve SEKTÖRDE BİR
UYGULAMA**

Coşkun KARCI
(210080037)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Muhammet GÜL

TUNCELİ-2023

T.C
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÜRETİM TESİSLERİNİN RİSK ANALİZİ İÇİN KATMANLI BWM ve TOPSIS
TABANLI BİR YAKLAŞIMIN GELİŞTİRİLMESİ ve SEKTÖRDE BİR
UYGULAMA

Coşkun KARCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez 18/12/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza
Doç. Dr. Erkan ÇELİK
(İstanbul Üniversitesi)
BAŞKAN

İmza
Doç. Dr. Muhammet GÜL
(İstanbul Üniversitesi)
DANIŞMAN

İmza
Doç. Dr. Melih YÜCESAN
(Munzur Üniversitesi)
ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Coşkun KARCI

Danışman
Doç. Dr. Muhammet GÜL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca beni her konuda bilgilendirip yönlendiren, eksik kaldığım yanlarımı tamamlayan, zorluklar karşısında yılmamam gerektiğini öğreten değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Muhammet GÜL' e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca danışmam hocam dışında destekleri hep üzerimde olan, bilgi alışverişinde sürekli bulunduğum, gerek kaynak gerekse kullanılan programlar konusunda yardımları olan Sayın Doç. Dr. Melih YÜCESAN' a teşekkür ederim.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1002-Hızlı Destek Programı kapsamında 122M702 proje numarası ile desteklenen bir araştırma projesidir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK' a teşekkür ederiz.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen şirket sahipleri Bülent AÇIKGÖZ, İnan AÇIKGÖZ ve Zeynel AÇIKGÖZ' e, fabrikanın işleyişini anlatıp cihazların tanıtımını yapan Ayhan KAMAŞ' a ve işyerindeki çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Akademik tez yazım dili konusunda desteklerini esirgemeyen Gıda Teknikeri Necmi ARİTÜRK' e ve bilgi alışverişinde bulunduğum ve desteklerini esirgemeyen İstatistikçi Seçkin TEKİN' e teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte hep yanımda duran eşim ve oğluma da ayrıca teşekkür ederim.

Coşkun KARCI
TUNCELİ-2023

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLOLAR LİSTESİ	V
RESİMLER LİSTESİ	VI
KISALTMALAR LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Katkılar	9
2.2. Araştırma Amaçları ve Soruları.....	10
3. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİ	12
3.1. Katmanlı Bayesyen BMW.....	14
3.2.TOPSIS Sort	18
4. GELİŞTİRİLEN MODELİN UYGULAMASI.....	20
4.1. Tesisin Tanımı ve Un Üretim Süreci	20
4.2. Fabrika Un Üretim Aşamaları	21
4.2.1. Hammadde alımı	22
4.2.2. Temizleme	24
4.2.3. Değirmen	27
4.2.4. Paketleme	31
4.2.5. Un üretiminin genel akış şeması.....	33
4.3. Katmanlı Bayesyen BMW'nin Kullanılması	34
4.4. TOPSIS-Sort Uygulaması	45
4.5. Duyarlık Analizi	53
4.6. Önleyici Tedbirlerin Yönetimi	54
4.7. Senaryo Analizi	55
5. SONUÇ	61
6. KAYNAKLAR.....	62
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Geliştirilen mesleki risk değerlendirme metodolojisinin kuş bakışı görünümü..	13
Şekil 4.1. Üretim aşamaları	22
Şekil 4.2. Un üretim akış şeması özeti	33
Şekil 4.3. Durumun ağ diyagramı	35
Şekil 4.4. Yamuk bulanık ölçekte uzman görüşlerine dayalı durumların olasılık değerlendirmesi	36
Şekil 4.5. Yamuk bulanık bir ölçek kullanarak durumların olasılık değerlendirilmesi.....	37
Şekil 4.6. Sonuçlara göre yedi durum için risk kriterlerinin kredal sıralaması	42
Şekil 4.7. TOPSIS, her tehlikenin CC değerlerini sıralar.....	51
Şekil 4.8. Un üretimi için belirlenen 36 tehlikenin risk sınıflandırılması	52
Şekil 4.9. S7 = Evet olduğunda duyarlılık analizi sonucu	53
Şekil 4.10. Üç senaryonun durumunun olasılık değerlendirilmesi.....	58



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. IEC 31010:2019 standardına göre risk değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması	2
Tablo 3.1. Yamuk bulanık dilsel ölçek	16
Tablo 4.1. Uzman profili.....	35
Tablo 4.2. Uzman profillerine ilişkin bilgiler ve uzmanların ağırlık katsayılarının hesaplanması.....	36
Tablo 4.3. Durumların olasılıkları	38
Tablo 4.4. SBBWM' deki risk özelliklerini ikili olarak değerlendirmek için dokuz puanlık dilsel ölçek	39
Tablo 4.5. Dört uzman tarafından mevcut duruma (S1) ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirmesi.....	39
Tablo 4.6. Yedi durumun her biri için risk parametresi ağırlıkları	40
Tablo 4.7. Girdi bazlı tutarlılık analizi sonuçları	44
Tablo 4.8. Risk parametrelerinin ağırlıkları.....	45
Tablo 4.9. Likert tipi 5' li dilsel ölçek.....	45
Tablo 4.10. Un fabrikası için belirlenen tehlikeler ve bağlı riskler	46
Tablo 4.11. Limit profilleri ile birleştirilmiş karar matrisi	49
Tablo 4.12. Normalleştirilmiş karar matrisi.....	49
Tablo 4.13. Ağırlıklandırılmış ve limit profillerini içeren toplu karar matrisi	50
Tablo 4.14. Pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri	50
Tablo 4.15. Pozitif ve negatif ideal çözümler arasındaki mesafe	51
Tablo 4.16. S7' nin en çok değişen on durumunu ve özellikleri	53
Tablo 4.17. Üç olasılığın normalleştirilmiş olasılık değerleri	58
Tablo 4.18. Üç senaryo için risk parametresi ağırlıkları.....	59
Tablo 4.19. Senaryo analizi sonuçları.....	60

RESİMLER LİSTESİ

Resim 4.1. Gelen buğdayın kantarda tartım işlemi	22
Resim 4.2. Boşaltma çukuru	23
Resim 4.3. Çöp sasörü.....	23
Resim 4.4. Farklı büyüklük ve tonajdaki silolar	24
Resim 4.5. Triyör	24
Resim 4.6. Kabuk soyucu	25
Resim 4.7. Radyal tarar.....	25
Resim 4.8. Yıkama makinesi	26
Resim 4.9. Dinlendirme odaları	26
Resim 4.10. Buğdaya tav suyu verilmesi	27
Resim 4.11. Kırma vals.....	27
Resim 4.12. İrmik kabuk ayrılmış hali.....	28
Resim 4.13. Hava kilidi.....	28
Resim 4.14. Elekler	29
Resim 4.15. Un vidası	29
Resim 4.16. İrmik sasörü	30
Resim 4.17. İrmik kırıcı	30
Resim 4.18. Kepek fırçası	31
Resim 4.19. Randıman kantarı	31
Resim 4.20. Un paketleme	32
Resim 4.21. Unların depolanması	32

KISALTMALAR LİSTESİ

BN	: Bayesyen Networks (Bayes Ağı)
BWM	: Best Worst Method (En İyi En Kötü Yöntem)
CoCoSo	: Kısıtlı Birleşik Uzlaşma Çözümü
CST	: Katmanlaşma Kavramı
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ETA	: Olay Ağacı Analizi
FMEA	: Hata Türleri ve Analizi
FTA	: Hata Ağacı Analizi
HAZOP	: Tehlike ve İşletebilme Analizi
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
K-ÇKKV	: Katmanlı Çok Kriterli Karar Verme
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
MACONT	: Kapsamlı Normalleştirme Tekniği
MARCOS-CoCoSo	: Gri Aralıklı Sayılar Kullanan Karar Destek Modeli
ORA	: Mesleki Risk Değerlendirmesi
QFD	: Kalite Yönetim Dağıtım
SFUCOM	: Katmanlı Bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi
SSP	: Paylaşılan Sosyo Ekonomik Yol
TOPSIS	: Tercihlerin İdeal Özümeye Yakınlıklarına Göre Sıralanması
WASPAS	: Bütünleşik Ağırlıklı Toplam ve Çarpım Yöntemi

ÖZET

Sürdürülebilir bir üretim ve ekonomi için işyerlerinde uygun makine, ekipman ve iş gücünün yanı sıra standartlar çerçevesinde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) ilkeleri de uygulanmaktadır. Bu nedenle mesleki risk değerlendirmesi (ORA) imalat endüstrileri için önemlidir. ORA 'da risklerin önceliklendirilmesine karar verirken, riski tanımlayan parametrelerin farklı olası durumlarda nasıl değişebileceğini analize eklemek, karar vermenin sağlamlığını olumlu yönde etkiler. Dolayısıyla bu çalışmanın temel motivasyonu, risk parametrelerinin önem düzeylerinde gelecekte meydana gelebilecek değişiklikleri ele alabilecek ve risk değerlendirme sürecindeki belirsizlikleri en aza indirebilecek bir ORA yaklaşımı önermektir. ORA'da risk parametrelerinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde en iyi-kötü yöntemiyle (BWM) katmanlaşma kavramı kullanılmaktadır.

Ayrıca BWM' nin Bayesyen versiyonu, bilgi kaybını azaltmak amacıyla birden fazla karar verme uzmanının değerlendirmelerini dikkate almak için kullanılır. Özetle, Katmanlı Bayesyen BWM' ye (SBBWM) dayalı bir hesaplama prosedürü izlenmektedir. Bayesyen BWM ve katmanlaşma felsefesinin birleştirilmesi literatürde henüz çalışılmamıştır. Çalışmada her bir tehlikenin öncelik puanları, ideal çözüme yakınlık mantığına göre çalışan, sıralama tabanlı bir MCDM yöntemi olan TOPSIS Sort yöntemi ile belirlenmektedir. Böylece her bir tehlikenin öncelik puanı ve sırası belirlenirken bu riskin sınıfı da tespit edilmiştir. Önerilen yaklaşım, un üretim sürecinin üretim, depolama, işleme ve laboratuvar süreçlerinde karşılaşılan otuz altı riski değerlendirmek için uygulandı. Ayrıca her bir risk için alınacak kontrol tedbirleri de belirlendi. Metodolojik olarak sonuçların farklı koşullarda nasıl değiştiğini ortaya koymak için çeşitli senaryo analizleri ve duyarlılık çalışmaları yapılmıştır. Önerilen yaklaşım, üretim tesisleri için geleneksel yöntemlere göre daha kapsamlı bir prosedür sunması ve geleneksel yöntemlerin eksikliklerini kapatması bu açıdan faydalıdır.

Anahtar Kelimeler: Üretim tesislerinin risk analizi, katmanlı BWM, TOPSIS, MCDM

ABSTRACT

Development Of A Stratified BWM And TOPSIS-Based Approach For Risk Analysis Of Manufacturing Facilities And An Application In The Industry

For a sustainable production and economy, occupational health and safety (OHS) principles are applied within the framework of standards, as well as suitable machinery, equipment and workforce in workplaces. This is why occupational risk assessment (ORA) is important for manufacturing industries. When deciding on the prioritization of risks in ORA, adding to the analysis how the parameters defining the risk may change in different possible states positively affects the robustness of the decision-making. Therefore, the primary motivation of this study is to propose an ORA approach that can address future changes in the importance levels of risk parameters and minimize the uncertainties in the risk assessment process. The concept of stratification with the best-worst method (BWM) is used to determine importance weights of the risk parameters in the ORA.

In addition, the Bayesian version of BWM is used to consider more than one decision-making expert's evaluations to reduce loss of information. In a nutshell, a calculation procedure based on stratified Bayesian BWM (SBBWM) is followed. Combining both Bayesian BWM and stratification philosophy has not yet been studied in the literature. In the study, the priority scores of each hazard are determined by the TOPSIS Sort method, a sorting-based MCDM method that works according to the logic of proximity to the ideal solution. Thus, while determining each hazard's priority score and order, the class of this risk has also been determined. The proposed approach was applied to evaluate thirty-six risks encountered in a flour production process's manufacturing, storage, handling, and laboratory processes. Control measures to be taken for each risk were also determined. Methodologically, various scenario analyzes and sensitivity studies were conducted to reveal how the results changed in different conditions. The proposed approach provides a more comprehensive procedure for production facilities than traditional methods and covers the deficiencies of traditional methods, which is beneficial in this respect.

Key Words: Risk analysis of production facilities, layered BWM, TOPSIS, MCDM

1. GİRİŞ

Mesleki risk değerlendirmesi, iş sağlığı ve gvenliği (İSG) bağlamında potansiyel işyeri tehlikelerinden kaynaklanabilecek risklerin değerlendirilmesi, önceliklendirilmesi ve sınıflandırılması anlamına gelir (EU-OSHA, 1989; Avrupa Komisyonu, 1996; Cox, 2012; Pinto, 2014). Ak ve ark., (2022)' ye göre bu süreç, yalnızca ilgili risklerin kabul edilebilir olup olmadığını analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda bu riskleri gerçekleşmeden önce ortadan kaldırmakla da ilgilenir. İş gücü sağlığının ve üretkenliğinin korunması en önemli hedef ve ilk önceliktir. İkinci ncelik ise üretim, işletme güvenliğinin sağlanması ve finansal kayıpların önüne geçilmesi. İyi yapılandırılmış bir risk değerlendirme yöntemi, çalışanların sağlığını korumayı, iş gücü verimliliğini arttırmayı ve doğru personeli doğru pozisyonlara atamayı amaçlar (Rodrigues ve ark., 2015; ÇSGB, 2018; Rodrigues ve ark., 2020). İmalat sektöründe üretimin İSG standartlarına uygun olarak gerçekleştirilebilmesi için çalışma ortamı, üretim ekipmanları, personelin iş birliği ve etkin yönetimi gereklidir. Bu noktada  taraf (devlet, işveren ve çalışan) arasında koordinasyon ve iş birliği sağlanmalıdır. Çalışanlar ise üretim sürecinin güvenliğine katkıda bulunmak için gözlemledikleri riskli durumlar için gerekli önlemlerin alındığından emin olmalıdır (Ramos ve ark., 2020). Mesleki risk değerlendirmesi bu nedenle imalat sektöründeki şirketler için son derece önemlidir. İmalat sektörü, mesleki riski değerlendirmek için çeşitli nicel, nitel ve hibrit yöntemleri kullanır (Rodrigues ve ark., 2014). Risk değerlendirme yöntemlerini kapsayan bir ISO standardı olan IEC 31010:2019 farklı amaçları takip eden birçok yöntemi tanımlamış olup Tablo 1.1'de sınıflandırılmış hali gösterilmiştir.

Bu standart, mesleki risk değerlendirme yöntemlerinde ÇKKV' nin önemini göstermektedir (Gul, 2018; Pouyakian ve ark., 2022).

Tablo 1.1. IEC 31010:2019 standardına göre risk değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması

Risk değerlendirmesi yönteminin odağı	İlgili yöntemler
Risk belirleme	Hata türü ve etkileri analizi, HAZOP, Senaryo analizi, Eğer-öyleyse analizi, ÇKKV, Oyun teorisi, Karar ağaçları
Paydaş ve uzman görüşüne dayalı olma	Delfi tekniği, Nominal grup tekniği
Riskin kaynağını, nedenini ve tetikleyici faktörlerinin belirlenmesi	Kılçık tekniği,
Önleyici tedbirlerin değerlendirilmesi	Papyon analizi, Koruma katmanları analizi
Risk ve olasılığın etkilerinin anlaşılması	Bayes ağı, Olay ağacı analizi, Hata ağacı analizi, Markov analizi ve Monte Carlo simülasyonu
Riskin boyutunu ifade edilmesi	Riske maruz değer analizi
Bağımlılıkların ve etkileşimlerin analiz edilmesi	Nedensel haritalama
Riskin öneminin değerlendirilmesi	Frekans sayı diyagramları ve Pareto grafikleri
Kayıt ve raporlamanın incelenmesi	Sonuç olasılık matrisi ve S eğrileri

ÇKKV olarak bilinen yöneylem araştırması konusunda birçok seçenek mevcut olduğunda seçenekleri seçmek ve sıralamak mümkündür. Ayrıca, IEC 31010:2019'da ayrıntılı olarak ele alınan risk değerlendirme tekniklerinin eksikliklerini gidermek için risk değerlendirmesi literatürüne katkı sağlamaktadır. Bu eksiklikler literatürde birçok kez vurgulanmıştır (Gul, 2018; Wang ve ark., 2022). Risk parametreleri için önem ağırlıklarının olmaması, parametreler için seçilen sayısal ölçekten kaynaklanan mantıksal sorunlar, 5x5 matris yöntemi, Fine-Kinney yöntemi, FMEA, ETA, FTA ve HAZOP gibi yöntemlerde yetersiz parametre sayısı örnek olarak verilebilir (Dunjó ve ark., 2010; Gul ve Guneri, 2016; Liu, 2016; Kabir, 2017; Gul ve ark., 2019; Marhaviyas ve ark., 2019; Gul ve ark., 2021).

ÇKKV kullanılarak oluşturulan mesleki risk değerlendirme çalışmalarının çoğunda iki aşamalı bir süreç kullanılır. Birinci aşamada risk parametrelerinin ağırlıkları belirlenirken, ikinci aşamada ise sistemde ortaya çıkan her bir tehlikenin risk öncelik değerinin belirlenmesidir. Her bir yönteme özgü risk özelliklerinin önem ağırlıklarının

hesaplanması için (örneğin, Fine-Kinney ‘de olasılık, şiddet ve frekans olarak adlandırılan üç parametre mevcuttur) genellikle ikili karşılaştırmaya dayalı ÇKKV yöntemleri tercih edilir. Mesleki risk değerlendirmesinde, riski tanımlayan temel unsurların gelecekte nasıl değişebileceğinin dikkate alınması daha doğru bir risk değerlendirmesi yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bu değişim imalat sektöründe mesleki risk değerlendirmeleri yapılırken dikkate alınmayan bir durumdur. Örneğin bir üretim tesisinin montaj hattında oluşabilecek riskler incelendiğinde “malzeme düşmesi/fırlatılması, hatalı bakım, eksik malzeme kullanımı, deneyimsiz iş gücü” gibi çeşitli riskler, risk analizinde ele alınabilir. Bu tehlikelerin ve buna bağlı risklerin, yeni malzeme/ekipman alımı, ciddi bir iş kazası meydana gelmesi, tesisin genişletilmesi ve yer değiştirmesi, üretim yöntemindeki değişiklik gibi belli veya belirsiz koşullar altında yeniden ele alınması, daha etkin ve uzun vadeli bir risk analizi ile mümkün olacaktır. Riskleri değerlendirmek için kullandığımız olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik gibi kriterlerin ağırlıkları, bu bilinmeyen olayların veya koşulların bir sonucu olarak değişebilir.

Bu, karar vericilerin nihai seçimini etkiler. Bu seçime göre en yüksek önceliğe sahip risk seçilecektir. Bu durumda, belirsiz ve dinamik durum yapısının tamamını dikkate alan bir yöntem gerekecektir. Literatürde bu konu ile ilgili sınırlı sayıda araştırmaya arama sonucunda ulaşılmış ve yazarların farkında olduğu dinamik olarak değişen koşulları dikkate alan bir değerlendirme yaklaşımına rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, risk parametrelerinin önem düzeylerinde gelecekte meydana gelebilecek değişiklikleri ele alabilecek ve risk değerlendirme sürecinde ortaya çıkabilecek belirsizlikleri en aza indirebilecek benzersiz bir mesleki risk değerlendirme metodolojisi geliştirmektir. Bu dinamik durumu yaklaşıma uyarlamak için katmanlaştırma ve bu kavramın ÇKKV entegrasyonu ile geliştirilen Katmanlı Çok Kriterli Karar Verme (K-ÇKKV)’den yararlanılmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

ÇKKV yaklaşımlarında karar vericinin, karar kriterleri ışığında alternatifleri değerlendirmesi ve kriterleri önem derecesine göre ağırlıklandırması gerekir. Bir seçim yapıldıktan sonra yakın gelecekte bir takım potansiyel sonuçların olası olduğu göz önüne alındığında, karar vericinin kriterlere uygun ağırlıkların verilip verilmediğini sorgulamaya başladığı sıklıkla görülür. Kriter ağırlıklarındaki olası varyasyonları ele alarak, bu çalışmanın birincil amacı bu endişeyi çözmek ve ÇKKV yaklaşımlarının uygulanmasını geliştirmektir. Karar verici, karar verme sürecinde bu endişelerin dikkate alınmasını sağlayarak çevreyi ve ilgili ön hesaplamaları katmanlaştıran bir prosedürden yararlanır. Katmanlaştırma kavramı ilk kez Zadeh (2016) tarafından, sorunların üstesinden gelmek için oluşturulan stratejik bir kavramdır. K-ÇKKV yaklaşımı, kriter ağırlıklarındaki olası değişiklikleri hesaba katarak ÇKKV yöntemlerinin kullanımını geliştirmek için oluşturulmuştur. Katmanlaştırma kavramı, karar mahallini katmanlaştırmak adına ÇKKV yaklaşımları ile kullanılmıştır. Yaklaşım, daha sonra tedarikçi seçim problemine uygulanmış olup modern ÇKKV tekniklerinden daha etkili olduğu belirlenmiştir (Asadabadi, 2018).

ÇKKV ile katmanlaştırmanın birlikte ele alındığı bazı uygulama çalışmalarına literatürde yer verilmiştir. Torkayesh ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada belediyeler için katı atık alanında önemli bir konu olan atık bertaraf yönteminin seçimini ele almışlardır. Bu seçimin uzun vadeli etkileri hem çevreyi hem de ekonomiyi etkileyebilir. Bu konuya bir çözüm olarak literatürde ÇKKV teknikleri önerilmektedir. Seçim yapanların, ÇKKV prosedürlerini kullanırken mevcut teknolojileri sıralamak için kullanılan karar kriterlerine sıklıkla önem ağırlıkları vermeleri gerekir. Kriterlerin gelecekte nasıl ağırlıklandırılacağı konusunda karar vericinin sahip olabileceği herhangi bir şüphe dikkate alınmalıdır. Bu çalışma, bu belirsizliği hesaba katmak için K-ÇKKV olarak adlandırılan yeni oluşturulmuş bir ÇKKV yönteminin kullanılmasını önermektedir. Bu yöntem, çeşitli katmanlarda düzenlenmiş bir dizi durumu dikkate alarak belirsiz geleceği yapılandırmada karar vericilere yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Çalışma, çeşitli teknolojilerin sıralamasının, en iyi-en kötü yöntemle (katmanlı BWM olarak anılır) birlikte K-ÇKKV yaklaşımı kullanılarak nasıl hesaplanabileceğini göstermektedir. Uzun vadeli karar vermeye yardımcı olmak için katmanlı BWM'nin gelecekteki uygulamalarının bu araştırma tarafından teşvik edilmesi beklenmektedir.

Torkayesh ve Simic (2022) hazırladıkları çalışmada kentsel sağlık ortamlarında plastik atıkların verimli yönetimi için tüm potansiyel etkili yönleri dikkate alan kapsamlı çözümlerin oluşturulmasının gerekliliğinden bahsetmektedirler. Çevresel, ekonomik ve sosyal hususlar göz önüne alındığında, sağlık tesislerinden gelen plastik çöplerin geri dönüştürülmesi kentsel alanlar için çok önemli bir faaliyet haline gelmektedir. Bu anlamda, bir geri dönüşüm tesisinin yerini seçmek, ÇKKV kullanımı ile ele alınabilecek çok yönlü bir karar verme problemidir. Hiyerarşik katmanlı BWM, kısıtlı birleşik uzlaşma çözümü (CoCoSo), bütünleşik ağırlıklı toplam ve çarpım yöntemi (WASPAS) yöntemlerini kullanarak İstanbul'da altı yer seçimi için teknik ve sürdürülebilir değerlendirmeler altında bir vaka çalışması yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre ağırlık katsayısına sahip karbon ayak izinin geri dönüşüm tesislerinin nereye yerleştirileceğini belirlemede en önemli faktör olduğunu göstermektedir.

Asadabadi ve ark., (2022) hazırladıkları çalışmada, şirketlerin piyasadaki rekabet güçlerini korumak adına çevresel sürdürülebilirlik için yeniliği benimsediklerinden emin olmak için uzun süreli stratejiler oluşturulması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Şirketler, doğal kaynakların verimli kullanımını arttırmak ve karbon ayak izlerini azaltmak istiyorlarsa, çevresel sürdürülebilirlik için inovasyon uygulamalıdır (Ahmadi ve ark., 2020). Sürdürülebilirlik için inovasyon, sürdürülebilir kalkınma için bir gerekliliktir (Silva ve ark., 2019). Sürdürülebilir pazar büyümesini sağlamak için kuruluşlar yenilikçi ürünler ve hizmetler yaratır (Koberg ve Longoni, 2019). Literatür, çevresel sürdürülebilirlik stratejisiyle ilgili çeşitli kriterler sunarken, işletmelerin tedarikçilerini seçmelerine yardımcı olmak için hangi kriterlerin önemini etkileyebilecek gelecekteki olası olayların olasılığına ilişkin belirsizlik dikkate alınmamaktadır. Bu araştırma, bu boşluğu doldurmak adına oluşabilecek türlü olayları göz önüne alarak tedarikçi değerlendirmesine katkı sağlayacak yeni bir kriter karar çerçevesi geliştirmektedir. Bu çerçeve, üç adet karar verme yaklaşımları olan K-ÇKKV, BWM ve tedarikçinin sıralaması için (TOPSIS) birleştirilir.

Tirkolae ve Torkayesh (2022) ele aldıkları makalede çevreyi, insan sağlığını ve toplumu etkileyen en önemli konulardan biri olan tıbbi atıkların ele alınmasından bahsetmişlerdir. Sağlık atıklarının bertarafı, nüfus ve kentleşme artışının yanı sıra COVID-19 gibi artan hastalık ve pandemilere yanıt olarak bertaraf edilmedeki artışın bir sonucu olarak çok önemli bir konu haline gelmiştir. Önemli kararlar alabilmek ve uzun vadeli bir bakış açısıyla güvenli bertaraf teknikleri sunabilmek için, büyük şehirlerdeki yetkililerin güvenilir karar destek sistemlerine ihtiyaçları vardır. Uygun olmayan sağlık atık yönetimi

uygulamaları her zaman her şehrin ekonomisi, sosyal yapısı ve halk sağlığı için riskli endişelere yol açabilmektedir. Bu nedenle bu araştırma, tıbbi atıklar için bir çöp sahası yeri seçme zorluğunu ele almak için yeni bir karar destek sistemi kullanma çabası göstermektedir. Gri aralıklı sayılar kullanan benzersiz bir hibrit MARCOS-CoCoSo karar destek modeli, katmanlı BWM ve K-ortalama algoritmalarıyla birleştirir. Önerilen karar destek sistemi, tıbbi tesislerde atıkların üretilme oranını, gelecekteki olası öngörülemez olayları ve tehlikeli sağlık atıklarının ekonomik ve güvenli bir şekilde bertarafı için gerekli çöp sahalarını en iyi şekilde bulmak için uzmanların görüşündeki belirsizliği dikkate almaktadır.

Nacar ve Erdebilli (2021) yılında yaptıkları çalışmada, ÇKKV ve katmanlaştırma kavramını hibridize etmişlerdir. Katmanlaştırma fikrinin kavranması ve uygulamaya konması kolaydır. Planlama, robotik, çok hedefli optimizasyon, keşif ve diğer alanlarda önemli uygulamalara sahip olma potansiyeline sahiptir (Zadeh, 2016). İstenilen bir duruma ulaşmak için sayısız aşamadan geçen bir sistem, katmanlaştırma fikri ile tanımlanır. Bu fikir sorunların üstesinden gelmek için tesirli ve basit bir sorun çözme yaklaşımıdır. Bir tesisin konumunun seçimi, bir şirketin faaliyetlerini yürütmesi için gerekli coğrafi alanı belirlemek için bir dizi faktörün dikkate alınmasını içerir. Göç etmek, yer değiştirmek veya faaliyetlerini genişletmek isteyen kuruluşlar, tesis konumunu dikkate almalıdır. Bir fabrikanın konumu, işletmeler üzerinde önemli bir finansal etkiye sahip olabileceğinden son derece önemlidir (Üreten, 2006). Çünkü yeri seçildikten, kurulduktan ve taşındıktan sonra bir tesis iade etmek zordur (MacCarthy ve Atthirawong, 2003). Sonuç olarak stratejik vizyon gerektirir. Ek olarak, işletme giderleri ve gelir, seçilmesi gereken tesisin konumundan etkilenir. Sorun çeşitli faktörleri içerdiğinden, ÇKKV yaklaşımları, bu tesis yerleştirme seçimi sorununun uygun şekilde dikkate alınabileceği en uygun alandır. Bu çalışmanın temel amacı, literatüre yeni giren katmanlı çok kriterli karar verme yönteminin hem endüstri hem de akademik çalışmalarda karar verme güçlüklerinde kullanılabileceğini göstermektir.

Nawazish ve ark., (2022) yılında yaptıkları çalışmalarında, oluşabilecek herhangi bir afet sırasında, insani yardım dağıtım merkezlerinin mahsur kalan alıcılar ile yardım malzemeleri arasındaki boşluğu kapatmanın öneminden bahsetmişlerdir (Loree ve Aros-Vera, 2018). Tahminlere göre, tedarik zinciri ve lojistik operasyonlar, insani yardımla ilgili maliyetlerin %73 'ünü oluşturmaktadır. İnsani yardım lojistiğinde, müdahale aşamasında bir insani yardım dağıtım merkezi seçimi önemli ve zor bir seçim olarak görülmektedir (Anaya-Arenas, Renaud ve Ruiz, 2014). Bir afet meydana geldiğinde özellikle ulaşım alanlarının

hasar görmesi sonucu insani yardım dağıtım merkezlerinden yardım malzemelerinin getirilmesi zorlaşmaktadır. Bu da insani yardım dağıtım merkezlerini afet bölgesine hızlı bir şekilde müdahale edip edemeyeceğini dikkate alınmasını sağlamaktadır. Bu nedenle afet sonrası planlama aşamasında bu yerin seçimi için K-ÇKKV yaklaşımı önerilmektedir. K-ÇKKV yaklaşımı, yardım planları durumlarının olasılıklı doğasını hesaba katarak, belirsiz sonuçların öngörülmesine, çeşitli kriterleri ve farklı durum olasılıklarını dahil etmeyi mümkün kılar.

Asadabadi (2022) yılında yapmış olduğu çalışmada proje çıktılarının proje hedefleri ile uyumlu olmasının gerekliliğini vurgulamıştır. Sistem teorisine dayanan bu çalışma, hedeflerin gelecekteki değerleriyle bağlantılı riskleri dâhil ederken büyük, karmaşık projelerin hedef çıktı bağlantılarının nasıl değerlendirileceğini ve uygulanacağını göstermektedir. Bunu yapmak için katmanlı stratejiyi, kalite fonksiyonu dağılımı (QFD) ile birleştirerek yeni bir analitik strateji oluşturmuş ve literatüre getirmiştir. Katmanlı karar verme tekniğinin uygulama kapsamını proje fayda yönetimine genişleterek, faydaların ağırlıklarındaki değişikliklerle ilişkili riskler dikkate alınmıştır (Asadabadi, 2018). Proje faydaları ve çıktıları arasındaki ilişkileri belirlemek için geleneksel bir kalite yönetim yöntemi olan QFD matrisi (Akao, 1972) kullanılır. Katmanlı yöntem ve QFD'nin birleşimi daha önce ortaya konmamış yeni bir fikirdir. Proje çıktıları, önemli bir proje bileşenleri grubudur. Proje sonuçlarını bütçelenen süre ve maliyet dahilinde teslim etmek, proje yöneticisinin birincil görevidir. Proje sahibi, projenin çıktıları teslim edildikten sonra faydaları gerçekleştirme sürecini yönetmekten sorumludur. Bu araştırma, bu bağlantılara ve ilişkilere nasıl bakılacağını ve ayrıca proje çıktıları ve faydalarının önem ağırlıklarına ilişkin verilerin nasıl toplanıp uygulanacağını göstermektedir.

Ecer ve Torkayesh (2022) yılında yapmış oldukları bu çalışmada, günümüzdeki firmaların müşteri bilincini arttırmanın yanı sıra çevre dostu süreçler ve ürünler yaratarak çevrenin korunmasının gerektiğinden bahsetmişlerdir. İşletmeler, ticari faaliyetlerinin çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik araştırmalarını küresel olarak artmışlardır (Olsthoorn ve ark., 2001). Bu anlamda işletmeler döngüsel ekonominin ilkelerini tedarik zincirlerine dâhil etmeye çalışlar (Geissdoerfer ve ark., 2017). Döngüsel ekonomi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için malzeme ve ürün kullanımını optimize ederek israfi azaltmayı amaçlar (Ecer, 2021; Gupta ve ark., 2021). Döngüsel ekonomi, birçok çevresel kaygının üstesinden gelebilir ve kaynak kullanımını en üst düzeye çıkararak ve atıkları azaltarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olabilir

(Schroeder ve ark., 2019). Döngüsel ekonomi, sosyal ve çevresel ihtiyaçları karşıladığı için büyük ilgi görmüş ve tüm endüstriler için sürdürülebilirlik endişelerini dikkate aldığından doğru döngüsel tedarikçi seçimi önemli bir hale gelmiştir. Bu makale, gelecekteki olası olayların etkilerini hesaba katarken döngüsel tedarikçi seçimi sorununu ele almak için K-ÇKKV çerçevesini kullanmıştır. Bunu yapmak için, gelecekteki oluşumların potansiyel etkilerini hesaba katarak kriterlerin ideal ağırlık katsayılarını tanımlayan katmanlı bulanık tam tutarlılık yöntemi olan (SFUCOM) geliştirilmiştir. Bir dizi döngüsel tedarikçi arasından daha sağlam sonuçlar elde edebilmek ve uygun tedarikçiyi bulabilmek için kapsamlı normalleştirme tekniği olan (MACONT) kullanılmıştır. Oluşturulan metodların uygulanabilirliğini göstermek için Türkiye'deki bir tekstil endüstrisini içeren gerçek bir vaka çalışmasının sonuçları sunulmaktadır (Ecer ve Torkayesh, 2022).

Asadabadi ve Zwikael (2021) yılında yapmış oldukları bu çalışmada, proje yöneticileri ve planlayıcılar için proje operasyonlarının zamanını ve maliyetini tahmin etmenin zor bir konu olduğundan bahsetmişlerdir. Bir proje boyunca meydana gelen olaylar tamamlanması gereken sayısız faaliyetin bazılarının zamanını ve maliyetini etkileyebilir ve buda bir bütün olarak projenin zamanını ve maliyetini etkileyebilir. Bu nedenle, daha doğru tahminler elde etmek için bu tür olayların, faaliyetlerin zaman ve maliyet üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Proje yönetiminde risk ve belirsizlik fikri literatürde oldukça dikkat çekmiş olsa da, çalışmaların çoğu projelerde yer alan risk ve belirsizliği kategorize etmeye, risk ve belirsizlikten kaçınmak için stratejiler sunmaya ve bunların azaltılması için araç ve teknikleri kullanmaya odaklanmıştır (Atkinson ve ark., 2006; Cleden, 2017). Bu çalışma Zadeh (2016) tarafından ortaya atılan ve yeni bir yaklaşım olan katmanlaşma kavramının uygulanması ile birlikte projenin zaman ve maliyet tahminleri açısından güvenilirliğini arttırabileceğini ortaya koymaktadır. Makale ayrıca projeye ilgili görevlerin zamanını ve masrafını tahmin etmek için katmanlaşma fikrinin nasıl kullanılabileceğinden bahsetmiştir.

Asadabadi (2022) yılında yapmış olduğu çalışmada, tedarikçi seçmek için ÇKKV tekniklerinin kullanılmasını önerir. ÇKKV yaklaşımları, karar vericilerden sıklıkla mevcut tedarikçileri sıralamak için kullanılan seçim kriterlerine önemli ağırlıklar vermelerini ister. Ancak bu sıralamalar tedarikçi seçim sürecine yeterli yardımı sağlayamamaktadır. Bunun nedeni, seçilen sağlayıcının oldukça uzun bir süre kullanılacak olmasıdır. Sonuç olarak seçim kriterleri, sağlayıcının gelecekte hala kullanılıp kullanılmayacağına dair belirsizliği hesaba katan ağırlıkları içermelidir. Mevcut literatür, yetkilileri şimdi ihtiyaçlarını karşılayabilecek, ancak yakın gelecekte en iyi seçim olmayabilecek bir sağlayıcı seçmeye

yönlendirebilir. Sonuç olarak, yakında tedarikçilerini değiştirmeleri veya kötü bir kararın sonuçlarına katlanmaları gerekebilir. Bu çalışma, bu açığı kapatmak için bir ÇKKV stratejisinin, özellikle de bulanık mantıkla birlikte K-ÇKKV'nin ve BWM kullanılmasını önermektedir.

Vafadarnikjoo ve ark., (2023) yapmış olduğu bu çalışmada, katmanlaştırma (CST), oyun teorisi ve paylaşılan sosyo-ekonomik yol (SSP) kavramları üzerine inşa edilmiş bir karar verme modeli oluşturulmuş ve afet yönetimine uygunluğu gösterilmiştir. Farklı sistem durumlarını ve ideal durumu açıklamak için şans oyunu ve CST dâhil edilmiştir. Uzun vadeli afet risk planlaması için karar ortamının dinamik doğasını hesaba katmaktadır. Katmanlaştırma karar verme modeline dayalı olarak en iyi çözümleri ve eylem önceliklerini ana hatlarıyla belirleyerek, bu çalışma İskoçya'daki Highland ve Argyll Yerel Plan Bölgesi'ndeki sel riskinin etkilerinin yönetilmesine katkıda bulunmaktadır.

2.1. Katkılar

Aşağıda, mevcut çalışmanın metodolojik ve pratik açıdan literatüre nasıl katkıda bulunduğunun bir özeti yer almaktadır:

Yazarların bildiği kadarıyla bu mesleki risk değerlendirmesi alanında katmanlı BWM yönteminin ilk kez kullanılmasıdır. Bu kapsamda konu için altı ayrı risk faktörü oluşturulmuştur. Literatürde çok tartışılan ve imalat sanayindeki KOBİ' ler tarafından sıklıkla kullanılan 5x5 risk matrisi yaklaşımı iki parametreye (olasılık ve şiddet parametreleri) sahipken, Fine-Kinney ve FMEA yöntemlerinin her ikisi de üç parametreye sahiptir. Bu kriterler çeşitli durumlara göre ele alınmaktadır. Bu K-ÇKKV yaklaşımının bir sonucu olarak gelecekteki potansiyel durumlar için ayırt edici bir model önerilmiştir (Metodolojik katkı #1).

Belirlenmiş olan durumların geçiş olasılıkları, risk parametrelerinin önem ağırlıklarının hesaplanması için belirlenir. Burada Bayes ağı, katmanın ağ yapısını oluşturmak için kullanılır (Metodolojik katkı #2).

Karar verme uzmanları tarafından her durum için risk parametrelerinin ikili değerlendirmesinde katmanlaştırma, bilgi kaybını azaltan ve grup kararlarını kolaylaştıran Bayesyen BWM ile birleştirilir. Bunu yaparak, literatürde gelecekteki araştırmalara uygulanabilecek, Katmanlı Bayesyen BWM olarak bilinen bir metodolojinin sunulması amaçlanmaktadır (Metodolojik katkı #3).

Her tehlike, risk parametrelerine uygun olarak Katmanlı Bayesyen BWM ve TOPSIS sıralaması kullanılarak değerlendirilir. Her tehlikenin risk sınıfı bu şekilde belirlenir. Tanımlanan risk sınıfına göre, uygulanacak kontrol eyleminin türünü ve önceliğini de belirlemeye çalışır (Metodolojik katkı #4).

Mesleki riski değerlendirmek için önerilen yeni yöntem, üretim tesislerinde kullanılan geleneksel yaklaşımların dezavantajlarını ele almayı amaçlamaktadır. Önerilen strateji, un üreten ve ekonominin diğer sektörlerine aktarılabilen bir fabrikada kullanılmıştır. Gelecekteki potansiyel durumları ve bunların meydana gelme olasılıklarını hesaba kattığı için uzun süre geçerli olacak bir risk değerlendirmesi yapabilmektedir (İlk pratik uygulama katkısı#1).

2.2. Araştırma Amaçları ve Soruları

Bu model için araştırma soruları (AS) aşağıdadır:

AS#1: Planlanan özel mesleki risk değerlendirme çalışması için hangi risk faktörleri dikkate alınacaktır? Parametrelerin göreceli önem ağırlıkları nelerdir?

AS#2: Üretim tesisinin mesleki risk değerlendirmesinde dikkate alınan risk faktörlerine verilen önem ağırlıkları üzerinde hangi olası koşullar etkili olabilir? Bu durumların etkileşimlerini tasvir eden ve katmanlaşmanın temelini oluşturan ağ yapısı nedir? Bu önceden belirlenmiş durumların birbiriyle ilişkili olarak gerçekleşme şansı nedir?

AS#3: Risk parametrelerine ne kadar ağırlık verileceğine karar veren uzman grubun nitelikleri nelerdir? Her uzmanın ağırlığı ne kadardır?

AS#4: Mesleki risk değerlendirmesi bağlamında, üretim tesisinde ortaya çıkan her bir risk için nihai öncelik derecelendirmeleri ve öncelik sıralamaları nelerdir? Her bir tehlike hangi risk kategorisine aittir?

AS#5: Üretim yapan bir tesis, önerilen yeni mesleki risk değerlendirme yaklaşımını kullanabilir mi? Tüm paydaşların uygulamanın etkilerini görmesini sağlamak için hangi önlemler alınmalıdır?

Model, aşağıdaki araştırma amaçlarına (AHs) ve bu AS' larına yönelik hedeflere sahiptir:

AA#1: KOBİ düzeyinde çalışan üretim sektörü paydaşlarının tavsiyelerine uygun olarak belirlenen her bir parametrenin önem ağırlıklarını tahmin etmek için literatürün gözden geçirilmesi ve katmanlı Bayesyen BWM kullanılarak elde edilmesi. Risk

faktörlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesi, uzman değerlendirmelerinin tutarlılığına bağlıdır. Uzman personel, bu durumda kullanılan strateji konusunda bilgilendirilecek ve eğitilecektir. Uzman ekibe eğitim kapsamında değerlendirmesi için varsayımsal bir vaka verilecek ve değerlendirmelerinin tutarlılığı değerlendirilecektir. Amaç, her uzmanın değerlendirmesinin kendi eşik değerlerinin altına düşmesidir. Kesin bir ağırlık değerine ulaşmak için doğru bir uzman değerlendirmesi ve doğru bir uzman değerlendirmesi içinde tutarlı bir değerlendirme yapılması gerekmektedir.

AA#2: Literatürü gözden geçirerek, KOBİ seviyesinde faaliyet gösteren üretim sektörü paydaşlarının önerileri dikkate alınarak, Bayes ağı kullanılarak durumlar arasındaki ilişkileri modellemek ve GeNle yazılımının akademik sürümünü kullanarak her bir durum için geçiş olasılık değerini hesaplamak, risk parametrelerinin önem ağırlıkları üzerinde etkili olabilecek potansiyel durumların belirlenmesi mümkündür. Varsayımsal olayların geçiş olasılıklarının hesaplanması aşamasında, firmanın tarihsel verilerini kullanarak nesnel olasılığı tespit etmek zor olabilir. Geçiş olasılıklarını hesaplamak için yamuk bulanık sayılarla ifade edilen Aliabadi ve ark., (2020) tarafından geliştirilen dilsel ölçek kullanılarak yapılan öznel yargıların GeNle' ye dönüştürülmesi amaçlanmaktadır.

AA#3: Risk parametrelerine ne kadar ağırlık verileceğini belirlemeye katılacak uzman ekibin yeterliliklerini belirlemek için literatürü incelemek ve ardından Aliabadi ve ark., (2020) yöntemini kullanarak bunlara ne kadar ağırlık verileceğini bulmak. Uzman ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılacak olan Aliabadi ve ark., (2020) ile literatürdeki ilgili metodolojiler karşılaştırılarak çıkacak bulguların yakın olması umulmaktadır.

AA#4: TOPSIS Sıralama algoritmasını kullanarak, üretim tesisindeki her bir riskin nihai öncelik değeri, sırası ve sınıfı belirlenir.

AA#5: Önerilen yaklaşımın uygulanabilir olduğunu göstermek için bir üretim tesisinde bir risk değerlendirmesi yapmak, ardından bulguları il genelindeki diğer sektör paydaşlarıyla, özellikle de vaka çalışmasının yapıldığı fabrika yönetimiyle paylaşmak.

3. GELİŞTİRİLEN METODOLOJİ

Bu modelin nihai hedefi, üretim tesislerinin mesleki risk değerlendirmesinde katmanlı çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak üretim tesislerinin mesleki risk değerlendirmelerinde özgün bir metodoloji geliştirmektir. Katmanlı Bayesyen BWM, Bayes ağı, Aliabadi ve ark., (2020) tekniği ve TOPSIS sıralaması bu bölümde kısaca tanıtılmaktadır. İkinci bölümde listelenen çalışma hedefleri daha sonra tüm bu metodolojilerin hangi aşamalarda olduğu takip edilmektedir. Risk parametrelerinin nihai ağırlıklarının belirlenmesinde Katmanlı Bayesyen BWM (Aliabadi ve ark., (2020) ve Bayes ağı) kullanılmıştır. Üretim tesisinde ortaya çıkan her bir riskin nihai öncelik değeri, sırası ve sınıfı TOPSIS Sort kullanılarak belirlendi.

Şekil 3.1’de oluşturulan metodolojinin kuşbakışı görünümünü göstermektedir.

3.1. Katmanlı Bayesyen BWM

Rezaei (2015), o zamandan beri çok çeşitli sektörlerde ve konularda kullanılan geleneksel BWM yaklaşımını ilk oluşturan kişiydi (Mi ve ark., 2019). Daha az ikili karşılaştırma içerdiğinden ve daha tutarlı uzman incelemesi sunduğundan, önceki ikili karşılaştırmaya dayalı ÇKKV yaklaşımlarından farklıdır.

Grup karar vermede geleneksel BWM'nin yetersizliği, çok uzmanlı seçim durumlarında her uzman için farklı modellerin oluşturulması ve hesaplanan optimal ağırlık değerlerinin aritmetik ortalamasının bir sonucu olarak bilgi kaybı geleneksel BWM'nin dezavantajlarıdır. Mohammadi ve Rezaei (2020), bu kısıtlamaları aşmak için Bayesyen BWM'yi geliştirmişlerdir.

Gelecekte gelişebilecek ve karar probleminin kriter ağırlıkları üzerinde etkisi olabilecek dinamik koşulları ve bu koşulların bir kombinasyonunu (her iki durumun birlikte ortaya çıkması) daha iyi anlamak için, katmanlı BWM önerilmiştir (Torkayesh ve ark., 2021; Nacar ve Erdebili, 2021; Torkayesh ve Simic, 2022). Bu araştırmada bir mesleki risk değerlendirme stratejisi oluşturmak için katmanlaştırma kavramı ve Bayesyen BWM yöntemi birleştirilmiştir. Risk değerlendirmesinde altı risk parametresinin nihai önemli ağırlıklarını belirlemek için, bu yöntem Katmanlı Bayesyen BWM 'yi kullanır. Katmanlı Bayesyen BWM 'nin adımları aşağıda özetlenmiştir.

Adım 1: Mesleki risk değerlendirmesine dâhil edilecek risk parametrelerinin yanı sıra ortaya çıkabilecek ve ağırlık belirleme sürecini etkileyebilecek durumlar belirlenir. Bu aşama için yapılan ön çalışmalar neticesinde 6 farklı risk parametresi ile 7 farklı durum belirlenmiştir.

Adım 2: Durumlar arasındaki geçiş olasılıkları belirlenir ve geçiş olasılıkları matrisi oluşturulur. Bir Bayes ağı kurarak bağımsız ve koşullu olasılık değerlerini GeNle programına aktarılması ile bu noktada durumların birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini (hangi durumun diğer durumdan etkilendiğini) belirlemek mümkündür. Burada, yazarların önceki bir çalışmada kullandıkları bir yol (Yücesan ve ark., 2021) Aliabadi ve ark., (2020) yaklaşımı izlenmektedir. Ek olarak, uzman grubu "durumların" oluşumunu yamuk bulanık sayılar açısından değerlendirerek durumların "oluşma olasılığını" hesaplar. Doğal olarak durum tarafından oluşturulan ağ yapısı Bayes ağının tanımına uyar ve mevcut Katmanlı BWM 'de bahsedilmeyen yeni bir katkı sunar. Bu adım, katmanlaşma ilkesine, Bayes ağına,

Aliabadi ve ark., (2020) tarafından önerilen entegrasyona dayanmaktadır. Prosedür sırasına göre bu adımların bir listesi aşağıda bulunmaktadır:

Uzman görüşüne dayalı durumların olasılığının hesaplanması: Araştırma boyunca birden fazla uzmanın görüşüne başvurulduğu zaman, her bir uzmanın görüşünün diğerlerine göre ne kadar önemli olduğunun değerlendirilmesi gerekir. Uzmanların pozisyonları, eğitim öğretim ve işlerindeki deneyimleri gibi belirli faktörlere bağlı olarak uzman yargılarının değeri farklılık gösterebilir. Bu bağlamda, her bir uzmana belirli bir sayı verilerek (örneğin 0 ile 5 arasında) ve verilen puanların toplam puana oranı hesaplanarak uzman görüşlerine bir ağırlıklandırma yöntemi uygulanması tercih edilebilir. Denklem (3.1) ile uzman görüşü ağırlık puanları hızlı bir şekilde hesaplanabilir.

$$W_e(\text{Uzmanın Ağırlık Katsayısı}) = \frac{WS_e(\text{Uzmanın Ağırlık Puanı})}{\sum WS_e(\text{Uzmanların Ağırlıklandırma Puanları Toplamı})} \quad (3.1)$$

Bulanıklaştırma (Loand Liu, 2018; Yücesan ve ark., 2021; Fan ve ark., 2022; Li ve ark., 2022; Chen ve ark., 2022; Turna, 2022; Haruna ve Jiang, 2022; Kamal ve Aydın, 2022; Bai ve ark., 2023; Bayazit ve Kaptan, 2023): Düşüncelerini tam matematiksel terimlerle aktaran ancak normal dili kullanan uzmanların ifadelerindeki belirsizlik bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Bu tamsayıları temsil etmek için 0 ile 1 arasında değer kabul eden çeşitli üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Literatürdeki geçmiş çalışmalar incelendiğinde, özellikle yamuk bulanık üyelik fonksiyonları ($\mu_A(x)$) dahil edilip risk tahminlerinde BN'lerin (Bayesian Network) sıklıkla kullanıldığı açıkça görülmektedir. Denklem (3.2) yamuk bulanık üyelik fonksiyonunu göstermektedir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x \geq a_4 \end{cases} \quad (3.2)$$

Yedi terimden oluşan bu çalışmada kullanılan yamuk bulanık sayılar ve bu sayıların ne anlama geldiği Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Yamuk bulanık dilsel ölçek

Dilsel Terim	Yamuk Bulanık Sayılar (a_1, a_2, a_3, a_4)
Çok düşük (VL)	(0, 0, 0.1, 0.2)
Düşük (L)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)
Hafif Düşük (SL)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
Orta (M)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
Hafif Yüksek (SH)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
Yüksek (H)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
Çok Yüksek (VH)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

Bulanık olasılık değerlendirmelerinin toplanması (Loand Liu, 2018; Yücesan ve ark., 2021; Fan ve ark., 2022; Li ve ark., 2022; Chen ve ark., 2022; Turna, 2022; Haruna ve Jiang, 2022; Kamal ve Aydın, 2022; Bai ve ark., 2023; Bayazit ve Kaptan, 2023): Bulanık olasılığı toplamanın ilk adımı, bir uzman grubu içindeki iki uzmanın görüşleri arasındaki uyum derecesi dikkate alınır.

Denklem (3.3) bunu hesaplamak için kullanılır. $\tilde{A}_i$ ve $\tilde{A}_j$ birkaç uzmanın yamuk bulanık sayılarını temsil etmektedir.

$$\tilde{A}_i = (a_1, a_2, a_3, a_4) \text{ ve } \tilde{A}_j = (b_1, b_2, b_3, b_4)$$

$$S(\tilde{A}_i, \tilde{A}_j) = 1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |a_i - b_i| \quad (3.3)$$

İkinci adımda, denklem (3.4) ile uzman değerlendirmelerinin ortalama derecesinin hesaplanması gerekmektedir. n görüşülen uzman sayısını belirtmektedir.

$$AA(\text{Uzman}_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i \neq j, j=1}^n S_{ij}(A_i, A_j) \quad (3.4)$$

Üçüncü adımda, denklem (3.5) kullanılarak göreceli uyum derecesi belirlenmelidir.

$$RA (Uzman_i) = \frac{AA (Uzman_i)}{\sum_{i=1}^n AA (Uzman_i)} \quad (3.5)$$

Daha sonra dördüncü adımda denklem (3.6) kullanılarak her uzman için görüş birliği katsayısı (CC) derecesi belirlenir. İlgili formülde yer alan β katsayısı, uzmanların ağırlık katsayılarının göreceli uyum derecesi üzerindeki önemini göstermektedir.

$$C(Uzman_i) = \beta W (Uzman_i) + (1 - \beta)RA(Uzman_i) \quad (3.6)$$

Uzman değerlendirmelerinin sonuçları, nihai bir sonuca varmak için sürecin son aşamasında birleştirilir. Bu bağlamda R_i , bulanık olarak atfedilen uzman olasılığını ifade eder.

$$\tilde{R}_{agg} = C (Uzman_1) \times R_1 + C (Uzman_2) \times R_2 + + C (Uzman_i) \times R_i \quad (3.7)$$

Durulaştırma: Durulaştırma aşamasında, denklem (3.8) temel ve koşullu olayların bulanık olasılığını netleştirir. Bu tekniğin uygulanması sonucunda gerçekleşme olasılığı değerlerine ilişkin tüm hesaplamalar tamamlanmıştır.

$$\text{Durulaştırılan Değer} = \frac{1}{3} \left(\frac{(a_4+a_3)^2 - a_4a_3 - (a_1+a_2)^2 + a_1a_2}{a_4+a_3 - a_1 - a_2} \right) \quad (3.8)$$

Adım 3: Her bir uzman tarafından her durum için risk parametrelerinin ikili karşılaştırmaları Bayesyen BWM kullanılarak yapılır. Her uzman, her durum için sırasıyla "en iyiden diğerlerine" ve "diğerlerinden en kötüye" olarak adlandırılan iki ayrı değerlendirme sağlar. Her uzman modeldeki problem için $7 \times 2 = 14$ değerlendirme yapmalıdır. Bayesyen BWM metodolojisi tarafından önerilen matematiksel model, bir sonraki çalıştırmada çalıştırılır ve her durum için risk parametresi ağırlıkları türetilir. Daha sonra tüm uzmanların değerlendirmeleri Matlab'a aktarılır. Yazarlar tarafından Bayesyen BWM ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır (Yanılmaz ve ark., 2021; Saner ve ark., 2021; Alkan ve ark., 2021; Gül ve Yücesan, 2022; Ak ve ark., 2022). Bu stratejinin çeşitli zorlukları çözmek için nasıl kullanıldığı hakkında daha fazla bilgi için ilgili okuyucular bunlara başvurmalıdır.

Adım 4: Nihai ağırlıkları elde etmek için, Adım 2' deki geçiş olasılığı matrisi ile Adım 3' teki her bir durumun risk özelliklerine ilişkin ağırlıklardan oluşan matris çarpılır.

3.2. TOPSIS Sort

TOPSIS, ilk olarak 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından ortaya atılan bir MCDM tekniğidir. Çeşitli karar faktörlerine dayalı olarak bir grup eşdeğer seçenek arasından en iyi seçeneği seçmek için kullanılır. En iyi seçeneğin pozitif-ideal çözüme olan en kısa mesafesi ve negatif-ideal çözüme olan en uzun mesafe TOPSIS tarafından dikkate alınır. Uygulamaların amaçlarına ve organizasyon yapılarına uygun olarak çok sayıda TOPSIS eklentisi literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca diğer ÇKKV teknikleriyle birlikte kullanılmıştır (Behzadian ve ark., 2012). ÇKKV problemlerinin temel amaçlarından biri kategorileştirme olduğundan, TOPSIS Sort adı verilen yeni bir sıralama tekniği oluşturulmuştur. TOPSIS sıralama tekniği, Faraji Sabokbar ve diğerleri (2016) tarafından oluşturulmuştur. Daha sonra diğer bilim adamları da bundan yararlanarak çeşitli konulara uygulamışlardır (de Lima Silva ve de Almeida Filho, 2020; Gul, 2021; Yamagishi ve Ocampo, 2022). Bu çalışmada TOPSIS Sort kullanılarak üretim tesisindeki her bir riskin nihai öncelik değeri, öncelik sırası ve sınıfı belirlenmiştir. TOPSIS Sort'un adımlarının bir özeti aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Karar matrisi belirlenir. Karar matrisi, her bir tehlikenin 6 farklı risk parametresine göre puan verilmesiyle ile oluşturulan değerini belirtmektedir. Karar vermedeki uzmanlar tarafından bu puanlamaların yapılabilmesi için Likert tipi 5'li bir dilsel skala kullanması düşünülmektedir. Katmanlı Bayesyen BWM tarafından belirlenen ağırlıkların da bu adımda hazır olması gerekmektedir.

Adım 2: Limit profili tanımlanmalıdır. Risklerin atanacağı tahmini sınıf sayısına göre limit profilleri oluşturulur.

Adım 3: Birleştirilmiş karar matrisi oluşturulur. Ağırlıklı ortalama toplama operatörü, uzman ekip tarafından verilen her bir değerlendirmeyi birleştirmek ve toplamak için kullanılır.

Adım 4: Normalleştirme süreci ve karar matrisinin oluşturulması.

Adım 5: Ağırlıklandırılmış, normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması. Burada, Adım 4'te elde edilen normalleştirilmiş karar matrisi, Katmanlı Bayesyen BWM yoluyla elde edilen ağırlık matrisi ile çarpılır.

Adım 6: Hem pozitif hem de negatif olan ideal çözümler belirlenir.

Adım 7: Hem pozitif hem de negatif ideal çözümlere olan uzaklık mesafeleri hesaplanır.

Adım 8: Her risk için TOPSIS yakınlık katsayısı değeri belirlenir. En yüksek önceliğe sahip risk, yakınlık katsayısı değeri yüksek olan risktir. Öncelik sıralaması tehlike listesinde bulunan tüm tehlikeler için yapılmalıdır.

Adım 9: Her tehlike sınıfının üst ve alt limit profillerinin ideal çözümden sapmaları bulunur. Tüm tehlikeler bu aşamada uygun sınıflandırmalara göre sınıflandırılır.

Bu çalışmada önerilen yaklaşımın uygulanmasında önemli olan iki aşama olan Katmanlı Bayesyen BWM ve TOPSIS Sort uygulamalarının tamamlanmasının ardından riskleri ortadan kaldırmaya veya üretim tesisinin her bir tehlike sınıfına göre riskleri kabul edilebilir bir düzeye indirmek için kontrol önlemlerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir.



4. GELİŞTİRİLEN MODELİN UYGULAMASI

Önceki bölümde açıklanan yöntemin bu bölümde uygulaması sunulmuştur. Uygulama için Türkiye’de Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Tunceli şehrindeki bir un değirmeni seçildi. Un üretimi ile ilgili tehlikeler ve buna bağlı mesleki riskler değerlendirilmiştir. Önerilen stratejinin adım adım uygulanmasına geçmeden önce uygulamanın yapıldığı tesisi ve un üretimini tanıtmak iyi olacaktır. Bu kapsamda planlanan üretim risk değerlendirmesinin kullanılacağı tesis ve üretim süreci aşağıdaki birinci alt bölümde sunulmuştur.

4.1. Tesisin Tanımı ve Un Üretim Süreci

Stratejik bir ürün olan buğday, eski çağlardan günümüze kadar gelen insan yaşamında önemini koruyan bir tahıl olmuştur. Buğday ve yan ürünleri farklı endüstrilerde test edilmiş ve gıda sektöründe çeşitli gıdalar üretmek için kullanılmıştır. Buğdaya dayalı gıda endüstrisinde hammaddelerin kalitesi, nihai ürünün kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. En büyük sorunlardan biri de aynı buğday çeşidinin her zaman yeterli miktarda ya da uygun fiyata bulunamamasıdır. Buğdayı eken çiftçi, buğdayı öğüten değirmenci ve ürünü işleyen sanayici için "buğday kalitesi" terimi farklı şeyleri ifade edebilir (Bilgiçli ve Soylu, 2017).

Ekmeğin ana maddesi olan unun kaliteli üretilmesi için buğdayın kalitesi çok önemlidir. Ekmeklik ürünler pazarında kaliteli buğday ifadesi kullanım amacına göre değişmektedir. Bu durumda nihai ürüne bağlı olarak farklı kalite özelliklerine sahip buğday kullanılmaktadır. Üretilen un ve irmik kalitesindeki mevsimsel ve coğrafi farklılıklar, un ticaretinin karşılaştığı en büyük sorunlardan biridir (Mirahmetolu, 2006).

Un, farklı yerlerden gelen ve kalitesi değişen buğday çeşitlerinin harmanlanmasıyla elde edilir. Çeşitli çevresel koşullar altında, buğdayın niteliksel özellikleri farklılaşmaktadır. Bu farklılaşma, tarihsel ve bölgesel nedenlerden etkilenmektedir. Ancak üreticinin, tutarlı/standart kalitede un üretebilmesi ve alıcıyı memnun edebilmesi için çeşitli kalite ve maliyetlere sahip buğdayı bir araya getirmesi gerekmektedir. Gereken kaliteye ulaşmak un üreticileri için normal bir görev olmasına rağmen, harmanlama işlemi genellikle optimize edilmekten uzaktır. Bu çoğunlukla un üreticisinin deneyim düzeyine bağlıdır. Yani yaparak yaşayarak öğrenme stratejisi uygulanmaktadır (Elevli, 2014).

Tunceli ili gözlem altında bulunan un fabrikası 7000 m² kapalı, 50.000 m² açık alana sahip bir fabrikadır. Yıllık 36.000 ton buğday işleme kapasitesine sahiptir. Ekmeklik un çoğunlukla sert, kırmızı tane rengine sahip olan Dariel Bezostaja türünden buğdaydan yapılır. Un üretiminde %60 kırmızı buğday ve %40 beyaz buğday kullanılmaktadır. Üretilen unun Tunceli ili ve çevre illerine dağıtımı yapılmaktadır.

4.2. Fabrika Un Üretim Aşamaları

Fabrikanın üretim safhası genel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar,

1.Aşama: Hammadde (buğday) alım aşaması, çevre köy ve illerden fabrikaya gelen buğdayların kantarda tartım işlemi bittikten sonra, tercih edilen buğdayın kalitesine göre buğday seçimi yapılır. Seçimi yapılan buğdaylar analiz işlemlerinin yapılması için laboratuvara gönderilir. Analizi olumlu sonuçlanan buğdaylar silolarda depolanır.

2. Aşama: Temizleme aşaması, temizlenecek buğday silolardan paçal (karışım) yapılarak buğdayın içindeki sap, saman, taş gibi yabancı materyallerden arındırılması sağlanır. Yabancı maddelerden arındırılan buğdaya tav suyu verilerek, buğdayın belirli bir nem oranına kavuşması sağlanır. Nem oranı tutan buğday, üretim için değirmene gönderilir.

3. Aşama: Değirmen aşaması, değirmene gelen buğday kırma valslerinden geçirilerek kabuklarından ayrılır. Kabukları ayrılan buğday daha sonra un ve irmik haline getirilip eleme işlemlerinden geçtikten sonra kepeği alınır. Kepek üzerinde ki unları ayırmak içinde kepek fırçaları kullanılır. Daha sonra elde edilecek un randıman kantarlarından geçirilerek paketleme için hazır hale getirilir.

4. Aşama: Paketleme aşaması, değirmende istenen özellikte elde edilen un belirlenen kilograma göre otomatik tartım cihazlarından geçirilerek torbalara dolum yapılması sağlanır. Torbalara dolumu yapılan unlar araçlara yüklenmek için hazır hale getirilir.

Üretim aşamalarını gösteren şekil aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Üretim aşamaları

4.2.1. Hammadde alımı

Fabrikaya kamyonlarla veya traktörlerle getirilen buğdayların başlangıçta kaç ton geldiğini belirlemek için Resim 4.1’ deki gibi kantarda tartım işlemi gerçekleştirilir.



Resim 4.1. Gelen buğdayın kantarda tartım işlemi

Tartım işlemi bittikten sonra buğday yüklü aracın belirli yerlerinden numuneler alınarak analiz için laboratuvara test için gönderilir. Burada ki amaç, buğdayın kalitesini ölçüp üretim için uygun olup olmadığını test etmek ve kalitesine göre belirli tiplerde çıkartılacak un için ayrı ayrı silolarda üretim için muhafaza etmektir. Testleri tamamlanan buğdayların yüklü olduğu araçlar buğdayların boşaltılacağı alan olan Resim 4.2’ de gösterilen boşaltma çukuruna yaklaştırılır. Boşaltma çukuruna yaklaşan kamyonlar dorselerinde ki buğdayları damperlerini kaldırarak kısa bir süre içerisinde boşaltma

çukuruna boşaltırlar. Araçlarında damper bulunmayan kamyonların buğday boşaltma işlemi ise beden gücü olarak işçiler tarafından kürekle sağlanmaktadır.



Resim 4.2. Boşaltma çukuru

Boşaltma çukuruna boşaltılan buğdaylar, konveyör ve elevatör vasıtası ile buğdayın içindeki istenmeyen parçaların temizlenmesi amacı ile Resim 4.3’ de gösterilen çöp sasörüne taşınır. Çöp sasöründe bulunan alt ve üst elekler motorların yaydığı titreşim sayesinde buğdayla beraber gelen saman, toprak, çöp gibi yabancı maddeleri ayırıştırma işlemine başlar. Üst elek, buğdayın içinde gelen büyük parçalı taneleri alarak ayırıştırma işlemi yaparken, alt elek ise üst elekten geçerek alt eleğe gelen küçük parçalı istenmeyen yabancı maddeleri temizlemeye yaramaktadır.



Resim 4.3. Çöp sasörü

Çöp sasöründe saman, toprak, çöpten ayrıştırılan buğday tekrar elevatör yardımı ile Resim 4.4’ de gösterilen farklı ton ve büyüklükteki silolara taşınır. Elevatör yardımı ile taşınan buğdaylar daha sonraki aşama için silolarda bekletilir.



Resim 4.4. Farklı büyüklük ve tonajdaki silolar

4.2.2. Temizleme

Silolarda yıkama için beklettiğimiz buğdaylar, üretilecek un çeşidine göre silolardan farklı oranlardan, siloların alt kısımlarına bağlı paçal cihazları vasıtasıyla paçal (belirlenmiş oran, karışım) yapılarak temizleme ünitesine alınır. Temizleme ünitesine gelen buğday sırasıyla çöp sasörü, triyör ve kabuk soyucuya girerek temizleme aşaması başlamış olur. Resim 4.5’ de gösterilen Triyörün görevi, gelen yabancı maddeleri ve kırık buğdayı ayırtırmaktır.



Resim 4.5. Triyör

Öğütme sürecinde yeri olmayan sap, saman, taş gibi istenmeyen maddelerin ayrılacağı bu aşamalarda son olarak Resim 4.6’ da belirtilen kabuk soyucuya geçen buğday üzerindeki tüm istenmeyen maddeler sürtünme yöntemi ile alınır.



Resim 4.6. Kabuk soyucu

Resim 4.7’ de gösterilen radyal tarar, kırık ve atılması gereken buğdayları ve kabuk soyucunun oluşturduğu hafif, zayıf taneleri hava yoluyla ayırdıktan sonra yıkama işlemi için Resim 4.8’ de gösterilen yıkama makinesine gönderir.



Resim 4.7. Radyal tarar

Resim 4.8’ de gösterilen yıkama makinesinde yıkanan buğdaylar tozlardan, saptan samandan arındırıldıktan daha sonra kuru haliyle nemi ölçülüp istenilen nem oranı olan %17-18 rutubet değerine göre tavlama işlemi (kuru buğdayın ıslatılması işlemi veya ıslatılmış buğdaydan fazla suyu çekerek kurutma işlemi) yapılır. Tavlama işlemindeki amaç buğday kalitesini artırıp değirmende öğütülmeye en iyi şekilde hazır hale getirmektir.



Resim 4.8. Yıkama makinesi

Tavlama işlemi yapıldıktan sonra buğdaylar Resim 4.9’ da gösterilen dinlendirme odalarına alınmaktadır.



Resim 4.9. Dinlendirme odaları

Dinlendirme odalarından çekilen buğday, buğday fırçası ve ovalama makinesinden geçirilip Resim 4.10’ da gösterildiği gibi buğdaya tav suyu verilip tekrar dinlendirilir.



Resim 4.10. Buğdaya tav suyu verilmesi

Dinlendirilen buğdayın nemi ölçülüp istenen düzeye geldiği anlaşılan buğday yeraltı depolarına çekilip öğütölmek üzere değirmene gönderilir.

4.2.3. Değirmen

Yeraltı depolarından öğütölmek için çekilen buğdaylar tartılarak ilk öğütme işleminin yapılacağı Resim 4.11' de gösterilen kırma valslerine aktarılır.



Resim 4.11. Kırma valsleri

Valslere aktarılan buğday burada patlatılarak Resim 4.12' de gösterildiği gibi irmiği kabuktan ayrılması sağlanır.



Resim 4.12. İrmik kabuk ayrılmış hali

Oluşan karışım fan yardımı ve devre sistemi ile Resim 4.13’ de gösterilen hava kilitlerinden geçerek Resim 4.14’ de gösterilen eleklerle taşınır.



Resim 4.13. Hava kilidi

Hava kilitlerinden geçerek eleklerle gelen karışım, üst üste yerleştirilmiş farklı boyutlardaki eleklerde elenip kepeği ayrılır.



Resim 4.14. Elekler

Herhangi bir valsden çıkan un istenilen özelliklerde ise borular yardımıyla Resim 4.15’ de gösterilen un vidasına taşınır. Aksi takdirde istenilen incelik sağlanana kadar elenen malzeme sınıflara ayrılarak valslere gelir.



Resim 4.15. Un vidası

Oluşan ırmık ise un olmak üzere valslere tekrar dönmeden Resim 4.16’ da gösterilen ırmık sasörüne girer ve temiz ırmık ayrılır.



Resim 4.16. İrmik sasörü

Valslerde ezilip pullanan malzemeyi eleğin daha iyi elemesi amacıyla Resim 4.17 de gösterilen ırmik kırıcısıdan faydalanılır.



Resim 4.17. İrmik kırıcısı

Buğdaydan çıkan kepek, Resim 4.18’ de gösterilen kepek fırçalarına gönderilerek kepeğin içindeki un kepekten ayrılır. Burada ki amaç kepeğe yapışan unun fırçalar yardımıyla ayrılması sağlanarak un kaybını azaltmak ve un verimini arttırmaktır.



Resim 4.18. Kepek fırçası

Son aşamada oluşan un ve kepek Resim 4.19’ da belirtilen randıman kantarlarından geçerek un ve kepek silolarına depolanmak üzere gönderilir.



Resim 4.19. Randıman kantarı

4.2.4. Paketleme

Silolarda belli bir müddet dinlendirilen un basınçlı hava ile taşınarak kontrol eleklerine dağılır. Eleklerde son kez ayrılan un otomatik kantarlar vasıtasıyla Resim 4.20’de

gösterildiği gibi 50 kg veya 25 kg olarak torbalara dolumu sağlanır ve torbaların ağız kısımları dikiş makinesi ile dikilip kapatılır.



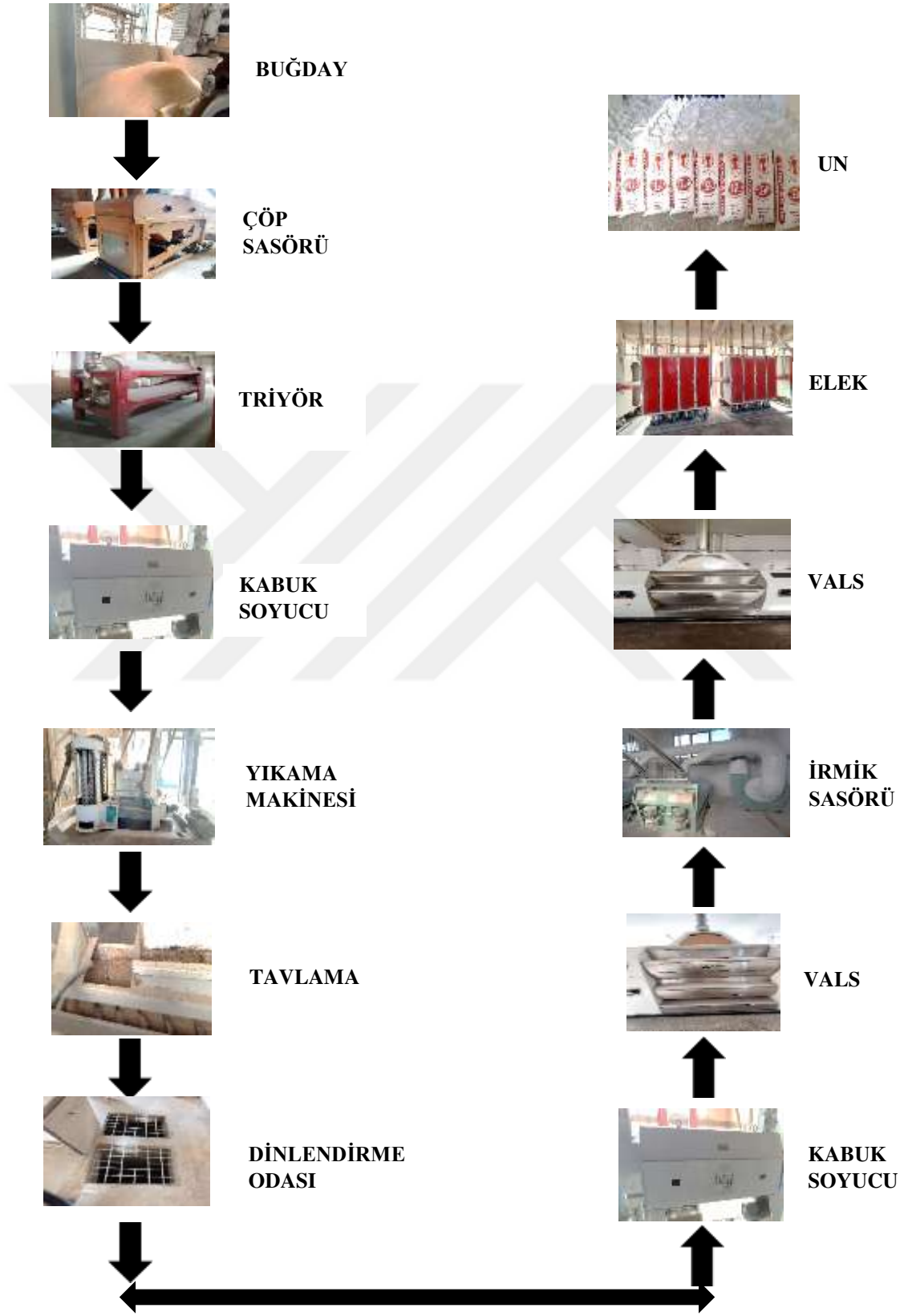
Resim 4.20. Un paketleme

Otomatik kantarlarda dolumu yapılarak ağız kısmı kapatılan un torbaları Resim 4.21 de gösterildiği gibi boş bir alanda araçlara yüklenmek üzere depolanır.



Resim 4.21. Unların depolanması

4.2.5. Un üretiminin genel akış şeması



Şekil 4.2. Un üretim akış şeması özeti

4.3. Katmanlı Bayesyen BWM'nin Kullanılması

Adım 1: Mesleki risk değerlendirmesi için risk faktörlerinin ortaya çıkabilecek ve ağırlık belirleme sürecini etkileyebilecek senaryoların seçilmesi. Bu çalışmada önerilen modelde 6 risk parametresi dikkate alınmaktadır:

A- Olasılık: Kazanın meydana gelme sıklığı ve etkinin şiddeti (Erginel ve Toptancı, 2017).

B- Şiddet: Riskin personel, makine-ekipman, çevre ve üretimin sürekliliği üzerinde oluşturacağı tehlikenin derecesi. İnsanlara, malzemelere ve çevreye yönelik tehdit (İncekara, 2020).

C- Tespit edilebilirlik: Riskin gözle veya herhangi bir dijital cihazla tespit edilebilirliği. Hatanın kolay bir şekilde fark edilmesi (Poyraz ve Şimşir, 2022).

D- Maliyet: Firma tarafından İSG önlemleri için belirlenen toplam yıllık bütçenin yüzdesi. İSG önlemleri için harcanan maliyet oluşabilecek kaza maliyetlerinden daha azdır (Işık, 2015).

E- Kişisel koruyucu donanım kullanılmamasına karşı duyarlılık: Kişisel koruyucu donanım kullanımının riskin şiddetini ne ölçüde etkilediği. KKD kullanımı iş yeri kazalarının sayısını azaltmaya yardımcı olmuştur (Çetin ve Beğik, 2021).

F- Önleyici tedbirlerin uygulanabilirliği: Önleyici tedbirler için fırsatlar ve bunların uygulanabilirlik derecesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu işyerinde, iş yeri sağlığı ve güvenliğini sağlanmak için bir risk değerlendirmesi yapılarak tehlikelere karşı önleyici ve koruyucu faaliyetlerin benimsenmesi gerektiğini belirtmektedir (Boyacı ve ark., 2021).

Katmanlı BWM' de dikkate alınacak olası durumlar için de 7 farklı durum ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla şu şekildedir:

S1- Mevcut durum.

S2- İşyerinde kullanılan teknoloji, malzeme ve ekipman ile üretim yöntemindeki değişiklikler.

S3- İş kazası, meslek hastalığı veya ramak kala olayının meydana gelmesi.

S4- İşyeri dışından kaynaklanan ve işyerini etkileyen bir tehlikenin (doğal afet, Covid-19 salgını vb) ortaya çıkması.

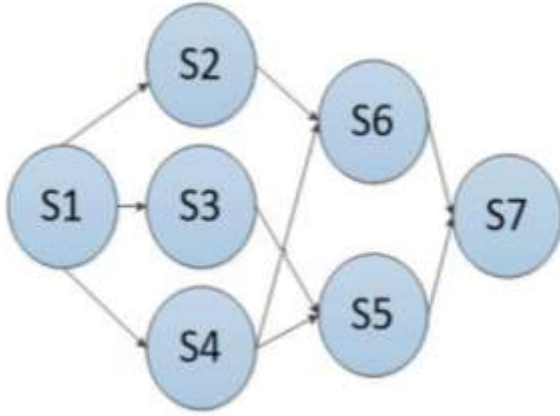
S5- 3. ve 4. maddedeki durumların aynı anda gerçekleşmesi.

S6- 2. ve 4. maddedeki durumların aynı anda gerçekleşmesi.

S7- Tüm durumların aynı anda gerçekleşmesi.

Adım 2: Aşamalar arasındaki geçiş olasılıkları belirlenir ve geçiş olasılıkları matrisi oluşturulur.

Aliabadi ve ark., (2020) metodolojisini uygulamak için öncelikle durum ağının yapılandırılması gerekir. Bu zamanda değerlendirmeye katılan uzmanlar için de bir katsayı hesaplanmalıdır. Şekil 4.3, 7 durum için ağ diyagramını göstermektedir.



Şekil 4.3. Durumun ağ diyagramı

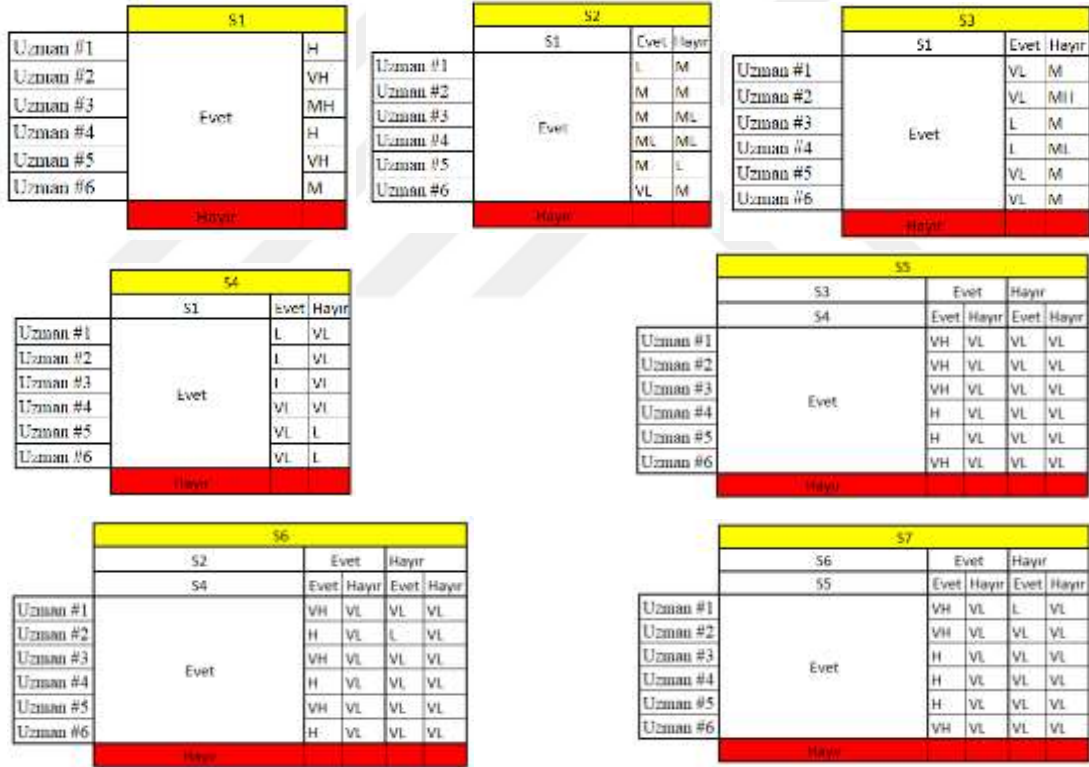
S1 mevcut durumu, S2, S3 ve S4 üç ayrı bağımsız durumu ve geri kalan S5, S6 ve S7 ise bunların gerçekleşme kombinasyonları ile birlikte hepsi bu şemada sunulmuştur. Bir sonraki adım olan (3. Adım) Bayesyen BWM aşamasından farklı olarak bu aşamaya altı uzman katılmıştır. Bu uzmanlara ait bilgiler ve ağırlık katsayılarının belirlenmesi Tablo 4.1 ve Tablo 4.2' de sunulmaktadır.

Tablo 4.1. Uzman profili

Uzman	İş Unvanı	Deneyim (Yıl)	Eğitim Derecesi
Uzman #1	Baş Mühendis	10-19	Doktora
Uzman #2	Baş Mühendis	10-19	Doktora
Uzman #3	Mühendis	10-19	Yüksek Lisans
Uzman #4	Teknisyen	>30	Ön Lisans
Uzman #5	Yönetici	<5	Lisans
Uzman #6	Müdür	10-19	Lisans

Tablo 4.2. Uzman profillerine ilişkin bilgiler ve uzmanların ağırlık katsayılarının hesaplanması

Uzman	İş Unvanı	Deneyim (Yıl)	Eğitim Derecesi	Toplam	Uzman ağırlık katsayısı
Uzman #1	5	3	5	13	%20,60
Uzman #2	5	3	5	13	%20,60
Uzman #3	3	3	4	10	%15,90
Uzman #4	2	5	2	9	%14,30
Uzman #5	4	1	3	8	%12,70
Uzman #6	4	3	3	10	%15,90
				$\Sigma=63$	$\Sigma= \%100$



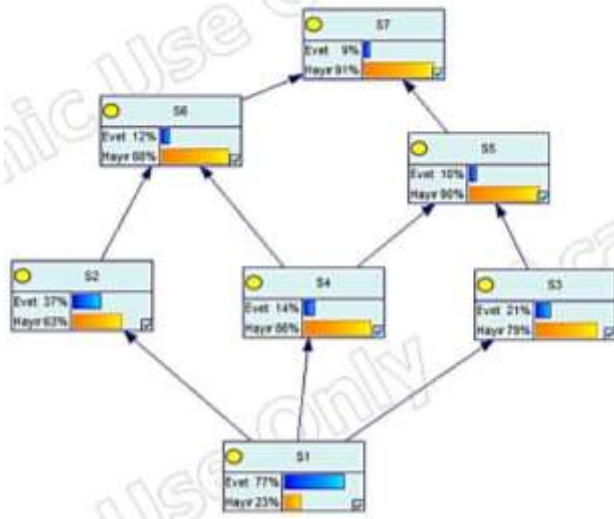
Şekil 4.4. Yamuk bulanık ölçekte uzman görüşlerine dayalı durumların olasılık değerlendirmesi

Uzman ağırlıklandırma katsayılarının belirlenmesinin ardından, her durum için yamuk bulanık sayılar kullanılarak uzman görüşlerinin ifade edilmesi gerekmektedir.

Her durum için, Tablo 3.1' deki bulanık dil ölçeği kullanılarak uzman değerlendirmeleri elde edilir. Şekil 4.4 bu değerlendirmelerin ayrıntılı bir sunumunu vermektedir. S1 bağımsız ve S2-S7 koşullu olmak üzere toplam 7 düğüm kullanılmıştır.

Altı uzman, Tablo 4.4' deki dilsel terimleri kullanarak ilgili düğümün gerçekleşme olasılıklarını değerlendirmişlerdir. Koşullu düğümler değerlendirilirken ilgili koşul dikkate alınmıştır. Bir düğümün meydana geldiği bilindiğinde "evet", meydana gelmediği bilindiğinde ise "hayır" ile bir koşul oluşturulur. Örneğin uzmanlar, S1 düğümü oluştuğunda S2 düğümünün varlığının durumunu L, M, M, ML, M ve VL olarak değerlendirmişlerdir. Benzer bir şekilde, S1 düğümünün oluşmaması durumunda ise S2 düğümünün varlığını M, M, ML, ML, L ve M olarak değerlendirmişlerdir.

Daha sonra Şekil 4.4' deki veriler kullanılıp, (3-8) denklemleri uygulanır ve elde edilen veriler GeNle yazılımına girildikten sonra her durum için net olasılık değerleri elde edilir. Toplanan en son olasılık değerlerinin normalleştirilmesi gereklidir. Li ve ark., (2022) göre, durulaştırma sonucunda elde edilen olasılık değerlerinin normalleştirilmesi gerekmektedir. GeNle yazılımından elde edilen olasılık değerleri, normalizasyondan önce Şekil 4.5' de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Yamuk bulanık bir ölçek kullanarak durumların olasılık değerlendirilmesi

SBBWM aşamasının son adımı olan Adım 4' de, nihai ağırlıkları belirlemek için Tablo 4.3' de her durum için normalize edilmiş olasılık değerleri ("olasılık geçiş matrisi" olarak da bilinir) kullanılacaktır.

Tablo 4.3. Durumların olasılıkları

Durum	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Olasılık	0.4290	0.2061	0.1145	0.0767	0.0551	0.0665	0.0520

Adım 3: Her bir uzman tarafından her durum için risk parametrelerinin ikili karşılaştırmaları Bayes BWM kullanılarak yapılır.

Adım-1 ' de listelenen yedi durumun her biri için risk özelliklerinin ikili karşılaştırmaları, bu SBBWM' nin üçüncü adımını oluşturur. Bu noktada profilleri Tablo 4.2' de ayrıntılı verilen dört uzmanın (Uzman #3, Uzman #4, Uzman #5, Uzman #6) görüşüne başvurulmuştur. Bu durumda uzmanlardan, fabrika ziyareti sırasında anket doldurmaları istenmiştir. Anket formu toplam beş bölümden oluşmaktadır (1-Genel bilgi, 2-Anketi dolduracak uzman hakkında bilgi, 3-Mesleki risk değerlendirmesinde kullanılacak risk parametrelerinin gelecekte oluşabilecek durumlara göre önem ağırlıklarının belirlenmesine yönelik anket, 4-Durumların geçiş olasılıklarını belirlemeye yönelik anket, 5-Tesisin belirlenen tehlikelerini risk parametrelerine göre puanlama sistemi). Bu bilgiler fabrikada çalışan uzmanlara yapılan sunumlardan ve fabrika içi süreçlerin gözlemlenmesinden elde edilmiştir.

Ziyareti takip eden iki hafta içinde anket yanıtları toplanıp ve matematiksel modellerin (Bayesyen BWM) analiz edilmesi amacıyla Matlab' a aktarılmıştır. Her durum için tüm uzmanların "en iyiden diğerine" ve "diğerlerinden en kötüye" sıralanan ikili karşılaştırma değerlendirmeleri Matlab' a yüklenen verileridir. Tablo 4.4' de bu ikili karşılaştırma değerlendirmelerine uygulanan dilsel ölçek gösterilmektedir. Bu ölçek, her biri ayrı bir dil anlamı olan 1' den 9' a kadar sayıları kullanır. Her uzmanın mevcut durumu (S1) için yapılan ikili karşılaştırmalar örnek olarak Tablo 4.5' de gösterilmektedir. Benzer şekilde dört uzmanın yedi farklı durum için yaptığı “en iyiden diğerine” ve “diğerlerinden en kötüye” ikili karşılaştırma değerlendirmeleri dikkate alındığında toplamda $4 \times 7 \times 2=56$ matris bulunmaktadır.

Tablo 4.4. SBBWM' deki risk özelliklerini ikili olarak değerlendirmek için dokuz puanlık dilsel ölçek

Anketin sayısal değeri	Dilsel terim kısaltması	Dilsel terim açıklaması
1	Eşit	Eşit
2	Eşit/Orta	Eşit - Orta derecede daha önemli
3	Orta	Biraz daha önemli
4	Orta/Şiddetli	Orta ile çok daha önemli
5	Şiddetli	Kesinlikle daha önemli
6	Şiddetli/Çok Şiddetli	Kesinlikle çok çok daha önemli
7	Çok Şiddetli	Çok çok daha önemli
8	Çok Şiddetli/En yüksek Şiddetli	Çok güçlüden çok daha önemli
9	En Yüksek Şiddetli	Son derece daha önemli

Tablo 4.5. Dört uzman tarafından mevcut duruma (S1) ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirmesi

S1-Mevcut Durum		Risk Parametresi					
En iyiden diğerlerine	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	2	2	3	9	1	2
	Uzman #4	3	4	1	2	3	9
	Uzman #5	3	4	2	5	8	1
	Uzman #6	2	2	3	4	7	1

Diğerlerinden en kötüye	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	4	4	5	1	9	4
	Uzman #4	5	4	9	7	6	1
	Uzman #5	2	3	2	3	1	8
	Uzman #6	3	3	2	3	1	7

Bayesyen BWM prosedürleri izlenerek, her bir durum için oluşturulan matematiksel modeller MATLAB' da çözülmüştür. Tablo 4.6' da çözülen her durum için belirlenen ağırlık değerlerini verilmiştir. Her bir durum için toplanan ağırlık değerlerine ek olarak kredal sıralama grafikleri de elde edilmiştir. Şekil 4.6 (a-g) bu grafiklerin ayrıntılı bir sunumunu içerir.

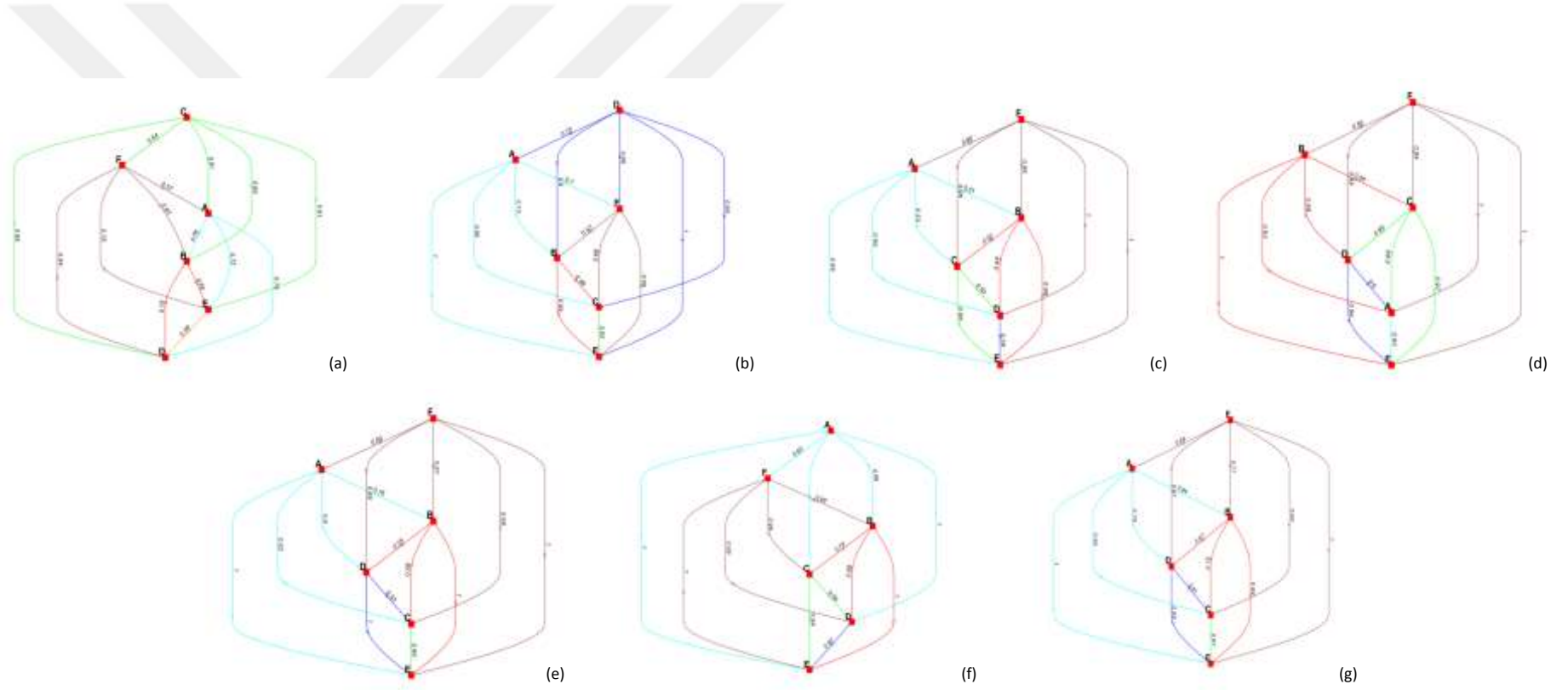
Tablo 4.6. Yedi durumun her biri için risk parametresi ağırlıkları

Risk parametresi	Durum						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
A	0.1773	0.2086	0.1729	0.1271	0.1967	0.3028	0.2100
B	0.1681	0.1717	0.1718	0.2079	0.1589	0.1650	0.1854
C	0.1991	0.1152	0.1686	0.1502	0.1486	0.1315	0.1447
D	0.1259	0.2585	0.0981	0.1393	0.1526	0.1125	0.1594
E	0.1379	0.0692	0.0913	0.0740	0.0618	0.0608	0.0638
F	0.1917	0.1767	0.2973	0.3015	0.2814	0.2275	0.2368

Mevcut durum (S1) için uzmanların ikili karşılaştırmalarını çözmek için Bayes BWM kullanılarak elde edilen risk parametre ağırlıklarının dengeli bir dağılıma sahip olduğu açıktır. Tespit edilebilirlik (C kriteri) yaklaşık %20' lik bir yüzde ile diğer kriterlerden daha yüksek bir ağırlık değerine sahiptir. Bunu, toplamın yaklaşık %19' unu oluşturan F kriteri, %18 'ini oluşturan A kriteri ve %17' sini oluşturan B kriteri takip etmektedir. Kriter E ve D sırasıyla, yaklaşık %14 ve %13' lük yüzdelere son iki risk parametresidir. Başka bir deyişle, dört risk parametresi olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik ve önleyici tedbirlerin uygulanabilirliği şu anda risk değerlendirmesinde en önemli unsurlar olarak görülürken, kişisel koruyucu donanım kullanılmamasına karşı duyarlılık ve maliyet nispeten daha az kritik unsurlar olarak görülüyor. Ancak, eğilim diğer altı durum için mevcut durumdan çok farklıdır. Örneğin ikinci durumda (S2), yani işyerinde kullanılan teknoloji, malzeme ve ekipman ile üretim yöntemindeki değişikliklerde, risk parametre ağırlıkları içerisinde en yüksek payın %26 ile maliyet kriterine (kriter D) ait olduğu tespit edilmiştir. Bunu şu şekilde yorumlayabiliriz; İşyeri için yeni teknoloji, malzeme veya ekipman ile üretim sürecinde bir değişiklik olması durumunda, İSG önlemleri için belirlenen toplam yıllık bütçe içindeki yüzdesi, riskin tahmin edilmesinde en önemli unsurdur. Benzer şekilde üçüncü durum (S3) yani iş kazası, meslek hastalığı veya ramak kala olayının meydana gelmesi için riskin en önemli parametresinin, önleyici tedbirlerin uygulanabilirliği olduğu görülmektedir (F kriteri). Önleyici faaliyetlerin potansiyelini ve ne ölçüde uygulanabileceğini gösteren bu kriterin, risk değerlendirmesinde en önemli parametre olduğu (yaklaşık %30) tespit

edilmiştir. Dördüncü durum olan, fabrikayı ve üretimi etkileyen, sanayi dışı bir kaynaktan kaynaklanan (deprem, Covid-19 salgını vb.) bir doğal afetin ortaya çıkışını da kapsamaktadır. Bu durumda (S4)' e ilişkin en önemli risk parametresi ağırlıkları %30 ve %21 ile F ve B kriterleridir. Önceki durumun (S3)' ün aksine, bu durumun şiddet parametresinin risk puanının belirlenmesinde en önemli ikinci faktör olduğu göstermiştir. Önleyici tedbirlerin uygulanabilirliği birincil düzeyde etkili olan faktördür. Mevcut durum ve takip eden üç durumun birleşimi olan 5. , 6. ve 7. durum için risk parametre ağırlıkları incelendiğinde en önemli parametrelerin olasılık ve önleyici tedbirlerin uygulanabilirliği olduğu sonucuna varılmıştır.





Şekil 4.6. Sonuçlara göre yedi durum için risk kriterlerinin kredal sıralaması

(a) S1–Mevcut durum, (b) S2–İşyerinde kullanılan teknoloji, malzeme ve ekipman ile üretim yöntemindeki değişiklikler, (c) S3– İş kazası, meslek hastalığı veya ramak kala olayının meydana gelmesi, (d) S4–İşyeri dışından kaynaklanan ve işyerini etkileyen bir tehlikenin (doğal afet, Covid-19 salgını vb.) ortaya çıkması, (e) S5– 3. ve 4. maddelerde yer alan durumların aynı anda ortaya çıkması, (f) S6–2. ve 4. maddelerde yer alan durumların aynı anda ortaya çıkması, (g) S7– Tüm durumların aynı anda gerçekleşmesi.

Tablonun tamamı geniş bir perspektiften değerlendirildiğinde ağırlık değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu altı özelliğin hepsinin, risk puanları ve risk değerlendirmeleri hesaplanırken risklerin nasıl sınıflandırıldığı ve puanlandığı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmaktadır.

Kredal sıralama, Bayesyen BWM' nin kriterlerinin ne kadar sağlam temellere dayandığını gösteren bir grafikdir. Şekil 4.6' da (a-g) her bir nokta (A' dan F' ye) bir risk parametresini, her nokta arasındaki ok üzerinde gösterilen değer ise güven düzeyini gösterir. $A \xrightarrow{cl} B$ Güven düzeyi cl, risk parametresi A' nın B' den daha önemli olduğunu gösterir. Böylece, Şekil 4.6 (a-g) incelendiğinde her bir risk parametresinin hangi güven düzeyinde diğer parametreye göre daha iyi performans gösterdiği rahatlıkla söylenebilir. Daha önceden gösterilen Tablo 4.6' daki rakamlar da bu grafiklerle desteklenmektedir. D risk parametresinden diğer tüm parametrelere giden ok Şekil 4.6 (a)' da görülebilir. Bu şu anlama gelmektedir; bu parametrenin diğer beş parametreden üstün olduğunu gösterir. Üstünlük güven düzeyi aralığı, 0,75 ile 1 aralığında olup en önemli risk ölçütünün bu olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, en az önemli risk parametresi olan E' den de diğer düğümlere hiçbir ok gitmemektedir.

Bir diğer önemli detay ise F' den B' ye doğru olan oktaki güven düzeyi değerinin neredeyse 0,5' e ($F \xrightarrow{0.53} B$) yaklaşmış olmasıdır. Bu değer, iki parametrenin önem ağırlıkları farklı olmasına rağmen birbirlerine göre belirgin bir üstünlüklerinin olmadığını göstermektedir. Diğer altı durum için de benzer yorumlar üretilebilir. Kredal sıralama sonuçları, üretilen ağırlık değerlerinin güçlendirilmesini ve bariz üstünlük/üstünlüksüzlük durumlarının daha kesin yorumlanmasını kolaylaştırır.

Uzmanlar tarafından bu aşamada yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılığının hesaplanması da bir diğer önemli konudur. Bu çalışmada tutarlılık değerlerini hesaplamak için Liang ve ark., (2020) tarafından geliştirilen girdiye dayalı tutarlılık yaklaşımı kullanılmıştır. Bu süreçte tutarlı olup olmayacağını belirlemek için bir eşik değeri kullanılır. AHP' deki 0,1 eşik değeri gibi tahmin edilen maksimum tutarlılık oranının bunun ötesine geçmediğinden emin olmak için bir eşik değeri belirlenir. Yedi durumun her biri için tutarlılık oranı rakamları, tüm uzman derecelendirmeleri Tablo 4.7' de gösterilmektedir. Sonuçlar herhangi bir tutarsızlık olmadığını göstermektedir. Tüm değerlendirmelerin eşik değerlerin altında ve girdiye dayalı BWM ile "tutarlı" olmasını sağlamak için, fabrikadaki uzmanlara anketler verilmeden önce eğitim verilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu

eğitimler tamamlanmasaydı ve uzmanlar uygulanabilir yaklaşımdan haberdar olmasaydı bu değerlere ulaşılamayabilirdi.

Tablo 4.7. Girdi bazlı tutarlılık analizi sonuçları

Durum	Uzman	Uzman #3	Uzman #4	Uzman #5	Uzman #6
S1	CR (max)	0.0833	0.1250	0.1250	0.1190
	CR (Eşik)	0.3337	0.3337	0.3154	0.3029
	Tutarlı?	Evet	Evet	Evet	Evet
S2	CR (max)	0.1905	0.1250	0.0000	0.0357
	CR (Eşik)	0.3029	0.3337	0.2206	0.3154
	Tutarlı?	Evet	Evet	Evet	Evet
S3	CR (max)	0.1250	0.0714	0.1500	0.2000
	CR (Eşik)	0.3154	0.3154	0.2546	0.3044
	Tutarlı?	Evet	Evet	Evet	Evet
S4	CR (max)	0.1500	0.1528	0.3000	0.0714
	CR (Eşik)	0.2546	0.3337	0.3044	0.3154
	Tutarlı?	Evet	Evet	Evet	Evet
S5	CR (max)	0.1905	0.1190	0.2143	0.0179
	CR (Eşik)	0.3029	0.3029	0.3029	0.3154
	Tutarlı?	Evet	Evet	Evet	Evet
S6	CR (max)	0.3000	0.0714	0.2143	0.0179
	CR (Eşik)	0.3044	0.3154	0.3029	0.3154
	Tutarlı?	Evet	Evet	Evet	Evet
S7	CR (max)	0.0972	0.0694	0.0714	0.0476
	CR (Eşik)	0.3337	0.3337	0.3154	0.3029
	Tutarlı?	Evet	Evet	Evet	Evet

Adım 4: Nihai ağırlıkları elde etmek için, Adım 3' de oluşturulan her durum için risk parametrelerinin ağırlıklarını içeren matris ile Adım 2' de elde edilen geçiş olasılığı matrisi çarpılır.

Bu noktada Tablo 4.6' daki her duruma ilişkin risk parametresi ağırlık matrisi, Tablo 4.3' de bulunan olasılık geçiş matrisi ile çarpılarak risk parametrelerinin nihai ağırlık matrisi belirlenir. Tablo 4.8 sonuçları göstermektedir. Sonuçlar, risk değerlendirmesinde 7 farklı durumun etkisi dikkate alındığında en büyük öneme sahip risk parametresinin %21,88 ile önleyici tedbirlerin uygulanabilirliği olduğunu göstermektedir. Bunu geleneksel FMEA' nın temel unsurları olan olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik takip etmektedir. Bunlara sırasıyla %19,05, %17,25 ve %16,44 önem ağırlıkları verilmiştir. Maliyet ve kişisel koruyucu donanım kullanılmamasına karşı duyarlılık sırasıyla %15,34 ve %10,03 ile en az ağırlığa

sahip iki faktör oldu. En az öneme sahip olan E parametresi, en yüksek öneme sahip olan F parametresinin neredeyse yarısı kadar ağırlığa sahiptir.

Tablo 4.8. Risk parametrelerinin ağırlıkları

Risk Parametreleri	A	B	C	D	E	F
Ağırlık	0.1905	0.1725	0.1644	0.1534	0.1003	0.2188

4.4. TOPSIS-Sort Uygulaması

Adım 1: *Karar matrisinin belirlenmesi.* Karar matrisini oluşturmak için 5 puanlık Likert tipi bir dil ölçeği kullanılır. Altı risk parametresine göre bu ölçek, dikkate alınan tüm tehlikelerin durumunu gösterir. Tablo 4.9' da bu ölçek verilmiştir.

Tablo 4.9. Likert tipi 5' li dilsel ölçek

5 puanlık dilsel skala	Olasılık	Şiddet	Tespit edilebilirlik	Maliyet	Kişisel koruyucu donanım kullanılmamasına karşı duyarlılık	Önleyici tedbirlerin uygulanabilirliği
1	Çok düşük	Çok düşük	Çok yüksek	Çok düşük	İhmal edilebilir	Çok yüksek
2	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek
3	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta	Orta
4	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük
5	Çok yüksek	Çok yüksek	Çok düşük	Çok yüksek	Maksimum	Çok düşük

Bu adımda tesiste tespit edilen, tanımlanan ve tesisin tehlike listesine dâhil edilen tüm riskler, altı risk parametresine göre 5 puanlık bir ölçek kullanılarak puanlanır (her birinin tanımı Tablo 4.9' da verilmiştir). Tablo 4.10' da un üretiminde tespit edilen 36 risk değerlendirildi.

Tablo 4.10. Un fabrikası için belirlenen tehlikeler ve bağlı riskler

ID	İşlem	Tehlike Kaynağı	Risk Açıklaması
H1	Hammadde (Buğday) Boşaltma	Kamyon	Kamyonun buğday boşaltmak için lifte yanaşması esnasında bir yerlere çarpması, devrilmesi, ezme tehlikesi
H2	Hammadde (Buğday) Boşaltma	Buğday tozu	Buğdayın boşaltılması esnasında çok miktarda toza maruz kalınması
H3	Hammadde (Buğday) Boşaltma	Kompresör	Patlama
H4	Hammadde (Buğday) Boşaltma	Kompresör	Patlama
H5	Hammadde Depolama	Elevatör	El –kol kaptırma
H6	Hammadde Depolama	Taşıyıcı transportör	El –kol kaptırma
H7	Hammadde Depolama	Silolar	Toz patlaması
H8	Hammadde Depolama	Yüksekte çalışma	Yüksekten düşme
H9	Hammadde Depolama	Paçal makinesi	El –kol kaptırma
H10	Üretim	Bilgisayarlı kontrol odası	Elektrik çarpması ve elektrik kaçağı
H11	Üretim	Elektrik tesisatı ve panosu	Elektrik çarpması ve elektrik kaçağı
H12	Üretim	Kontrol panoları	Elektrik çarpması ve elektrik kaçağı
H13	Üretim	Yangın söndürme ekipmanlarına sahip olunulmaması	Yangına müdahale yapılamaması
H14	Üretim	Yangın söndürme ekipmanlarının ulaşılabilir durumda olunulmaması	Yangına müdahale yapılamaması
H15	Üretim	Yangın söndürme ekipmanlarının bakım eksikliği	Yangına müdahale yapılamaması
H16	Üretim	Uyarıcı ve uyarıcı levha, işaret ve işaretlerin eksikliği	İş kazalarının artması
H17	Üretim	Yetersiz hijyen koşulları	El ve tırnak aralarında çoğalan mikrop ve bakteriler
H18	Üretim	Cihazlarda oluşan elektrik kaçakları	Elektrik akımına yakalanıp çarpılmak

H19	Üretim	Yetersiz cihaz koruma sistemleri	Cihazlardan parça fırlaması, cihazlara el veya kolun kaptırılması
H20	Üretim	Tavana konumlandırılmış değirmen motorları	Tavana sabitlendirilmiş motorun düşmesi
H21	Üretim	Vals	El-kol kaptırma
H22	Üretim	Vals	El-kol kaptırma
H23	Üretim	Vals	Aşırı gürültüye maruziyet
H24	Üretim (Sasör katı)	Makineler	Elektrik çarpması
H25	Üretim(Elek Katı)	Kompresör	Patlama
H26	Üretim	Cebri tav	El-kol kaptırma
H27	Üretim	Pnömatik fan	Yangın -patlama
H28	Üretim(Elek Katı)	Elek	Düşme, takılma
H29	Laboratuvar	Kimyasallar	Yangın, patlama
H30	Laboratuvar	Yangın söndürme sistemlerinin bulunmaması	Yangına müdahale edilememesi
H31	Paketleme	Paketleme makinesi	El-kol kaptırma
H32	Paketleme	Çuval doldurma cihazları	Fazla miktarda un tozuna maruz kalma
H33	Paketleme	Elle taşıma	Bedensel zorlanmalar
H34	Paketleme	Ekrana sahip araçlarda bilgisayar programları	Kullanma ve algılama zorluğu
H35	Yükleme	Bantlı taşıyıcılar	El-kol kaptırma
H36	Yükleme	Bantlı taşıyıcılar	Elektrik çarpması

Tablo 4.10' da bu fabrika için belirlenen riskler, riskin kaynağı ve her birinin oluşturduğu tehlikenin açıklamalarıyla birlikte listelenmektedir. Hammaddelerin boşaltılması, depolanması, üretimi, laboratuvarı, paketlenmesi ve yüklenmesi bu iç faaliyetlerden bazılarıdır. Bu liste, çeşitli operasyonlar sırasında gelişen, çalışanlar, iş yeri, sarf malzemeleri, aletler ve üretim süreci üzerinde etkisi olan riskleri içerir.

Adım 2: *Limit profili setinin tanımlanması.* Bu çalışma ile "çok tehlikeli, tehlikeli, orta, az tehlikeli ve tehlikesiz" olmak üzere beş kategori belirlenmiştir. Her bir tehlikenin her bir risk parametresine göre değerlendirildiği beşli bir dil ölçeğinde, her bir risk sınıfı için limit profilleri belirlenir. Belirlenmiş olan bu beş sınıf için limit profilleri şu şekildedir: (0,1.75), (1.75,2.25), (2,25,2.75), (2.75,3.25) ve (3.25,5).

Adım 3: *Toplu karar matrisinin oluşturulması.* Bu adımda, limit profilleri ile birleştirilmiş karar matrisi tamamlanır. Tablo 4.11 bunu göstermektedir. Bunlar, altı risk

faktörü ile ilgili olarak her bir riskin ortalama uzman değerlendirmeleridir. Tablo 4.11' in son sütunları l_1 'den l_4 'e kadar limit profillerini göstermektedir.

Adım 4: *Normalleştirme süreci ve normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması.* TOPSIS Sort' un normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması ve sonraki tüm adımlar Gül (2021)' deki adımlardan oluşmaktadır. Her bir risk için nihai puan ve risk sınıfı, buradaki her adım izlenerek hesaplanmıştır. Tablo 4.12, normalleştirilmiş karar matrisini göstermektedir.

Adım 5: *Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması.* SBBWM' den üretilen risk parametresi ağırlıklarını içeren ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi Tablo 4.13' de gösterilmektedir ve normalleştirilmiş karar matrisinin her bir ögesinin çarpılmasıyla oluşturulmuştur.

Adım 6: *Pozitif ve negatif ideal çözümün belirlenmesi.* Ağırlıklandırılmış normalleştirilmiş karar matrisi değerlerinin tüm tehlikeler için maksimumu pozitif ideal çözüm değerlerini, minimumu ise risk parametresine bağlı olarak negatif ideal çözüm değerlerini göstermektedir. Tablo 4.14' de bunlar gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Limit profilleri ile birleştirilmiş karar matrisi

Risk parametresi	Tehlike																			
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
A	1.32	2.45	1.41	1.41	3.13	2.71	1.00	1.86	2.21	2.45	2.06	1.86	1.68	1.50	1.68	2.63	1.19	2.21	1.86	1.19
B	3.36	1.41	4.16	4.16	3.46	2.71	4.47	4.73	3.13	4.23	4.00	4.23	4.47	4.23	3.94	3.00	1.19	4.00	3.22	4.47
C	2.21	2.00	3.22	3.22	2.21	2.21	3.72	2.71	3.00	3.22	2.91	3.22	3.36	3.13	3.31	2.91	1.41	2.71	2.21	3.46
D	3.13	1.32	3.94	3.94	3.72	3.46	4.23	4.00	3.00	3.72	3.72	4.00	4.23	4.47	4.23	3.22	1.68	3.66	3.22	3.94
E	2.91	4.16	3.22	3.22	3.66	3.66	2.91	4.16	3.94	3.72	3.72	3.72	2.71	3.13	3.13	3.22	2.63	3.46	2.91	3.36
F	2.00	1.68	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.68	1.68	2.00	2.38	1.68	2.38	2.00	2.21
Risk parametresi	Tehlike																			
	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34	H35	H36	l_1	l_2	l_3	l_4
A	2.00	2.00	2.99	1.41	1.41	1.32	1.41	1.32	1.41	1.41	1.41	2.83	1.86	1.68	2.45	1.57	1.75	2.25	2.75	3.25
B	3.46	3.46	2.71	4.00	4.47	3.31	3.72	2.45	2.99	3.72	2.91	1.68	2.45	1.57	2.71	3.46	1.75	2.25	2.75	3.25
C	2.21	2.21	1.68	2.71	3.22	2.63	2.71	2.21	2.00	2.63	2.45	2.00	2.00	2.21	2.45	2.71	1.75	2.25	2.75	3.25
D	3.72	3.72	1.57	3.36	3.46	3.36	3.72	2.21	3.31	3.46	2.91	1.86	2.45	2.71	3.22	3.46	1.75	2.25	2.75	3.25
E	3.36	3.36	3.36	3.13	3.72	3.13	3.22	3.13	2.91	2.91	3.36	3.36	2.63	2.21	3.46	3.13	1.75	2.25	2.75	3.25
F	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.21	2.00	2.00	2.00	2.00	2.21	2.21	2.21	2.00	1.75	2.25	2.75	3.25

Tablo 4.12. Normalleştirilmiş karar matrisi

Risk parametresi	Tehlike																			
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
A	0.40	0.75	0.44	0.44	0.96	0.83	0.31	0.57	0.68	0.75	0.63	0.57	0.52	0.46	0.52	0.81	0.37	0.68	0.57	0.37
B	0.71	0.30	0.88	0.88	0.73	0.57	0.95	1.00	0.66	0.89	0.85	0.89	0.95	0.89	0.83	0.63	0.25	0.85	0.68	0.95
C	0.59	0.54	0.87	0.87	0.59	0.59	1.00	0.73	0.81	0.87	0.78	0.87	0.90	0.84	0.89	0.78	0.38	0.73	0.59	0.93
D	0.70	0.29	0.88	0.88	0.83	0.77	0.95	0.89	0.67	0.83	0.83	0.89	0.95	1.00	0.95	0.72	0.38	0.82	0.72	0.88
E	0.70	1.00	0.77	0.77	0.88	0.88	0.70	1.00	0.95	0.89	0.89	0.89	0.65	0.75	0.75	0.77	0.63	0.83	0.70	0.81
F	0.62	0.52	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.52	0.52	0.62	0.73	0.52	0.73	0.62	0.68
Risk parametresi	Tehlike																			
	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34	H35	H36	l_1	l_2	l_3	l_4
A	0.62	0.62	0.92	0.44	0.44	0.40	0.44	0.40	0.44	0.44	0.44	0.87	0.57	0.52	0.75	0.48	0.54	0.69	0.85	1.00
B	0.73	0.73	0.57	0.85	0.95	0.70	0.79	0.52	0.63	0.79	0.62	0.36	0.52	0.33	0.57	0.73	0.37	0.48	0.58	0.69
C	0.59	0.59	0.45	0.73	0.87	0.71	0.73	0.59	0.54	0.71	0.66	0.54	0.54	0.59	0.66	0.73	0.47	0.60	0.74	0.87
D	0.83	0.83	0.35	0.75	0.77	0.75	0.83	0.49	0.74	0.77	0.65	0.42	0.55	0.61	0.72	0.77	0.39	0.50	0.61	0.73
E	0.81	0.81	0.81	0.75	0.89	0.75	0.77	0.75	0.70	0.70	0.81	0.81	0.63	0.53	0.83	0.75	0.42	0.54	0.66	0.78
F	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.68	0.62	0.62	0.62	0.62	0.68	0.68	0.68	0.62	0.54	0.69	0.85	1.00

Tablo 4.13. Ağırlıklandırılmış ve limit profillerini içeren toplu karar matrisi

Risk parametresi	Tehlike																			
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
A	0.020	0.037	0.021	0.021	0.047	0.041	0.015	0.028	0.033	0.037	0.031	0.028	0.025	0.023	0.025	0.040	0.018	0.033	0.028	0.018
B	0.027	0.011	0.033	0.033	0.028	0.022	0.036	0.038	0.025	0.034	0.032	0.034	0.036	0.034	0.031	0.024	0.009	0.032	0.026	0.036
C	0.022	0.019	0.031	0.031	0.022	0.022	0.036	0.026	0.029	0.031	0.028	0.031	0.033	0.030	0.032	0.028	0.014	0.026	0.022	0.034
D	0.023	0.010	0.029	0.029	0.027	0.025	0.031	0.029	0.022	0.027	0.027	0.029	0.031	0.033	0.031	0.023	0.012	0.027	0.023	0.029
E	0.014	0.020	0.016	0.016	0.018	0.018	0.014	0.020	0.019	0.018	0.018	0.018	0.013	0.015	0.015	0.016	0.013	0.017	0.014	0.016
F	0.033	0.028	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.028	0.028	0.033	0.040	0.028	0.040	0.033	0.037
Risk parametresi	Tehlike																			
	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34	H35	H36	l_1	l_2	l_3	l_4
A	0.03	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05
B	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03
C	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
D	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
E	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
F	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05

Tablo 4.14. Pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri

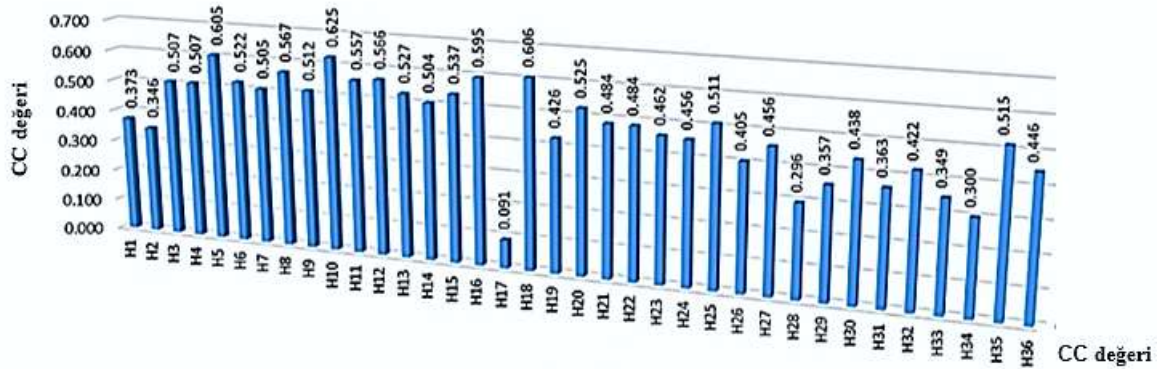
Risk parametresi	A	B	C	D	E	F
Pozitif ideal çözüm (PIS)	0.049	0.038	0.036	0.033	0.020	0.054
Negatif ideal çözüm (NIS)	0.015	0.009	0.014	0.010	0.009	0.028

Adım 7: Pozitif ve negatif ideal çözüme olan mesafelerin hesaplanması. Gül (2021) de kullandığı gibi her bir tehlike ve limit profili için pozitif ve negatif ideal çözümler arasındaki mesafeleri belirlemek amacıyla Öklid mesafesi kullanılmaktadır. Tablo 4.15 bunları sunmaktadır.

Tablo 4.15. Pozitif ve negatif ideal çözümler arasındaki mesafe

Risk parametresi	Tehlike									
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
Pozitif ideal çözümden uzaklık	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02
Negatif ideal çözümden uzaklık	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
Risk parametresi	Tehlike									
	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
Pozitif ideal çözümden uzaklık	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05	0.02	0.03	0.03
Negatif ideal çözümden uzaklık	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.00	0.03	0.02	0.04
Risk parametresi	Tehlike									
	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30
Pozitif ideal çözümden uzaklık	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03
Negatif ideal çözümden uzaklık	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03
Risk parametresi	Tehlike									
	H31	H32	H33	H34	H35	H36	l_1	l_2	l_3	l_4
Pozitif ideal çözümden uzaklık	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.01
Negatif ideal çözümden uzaklık	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.05

Adım 8: Her tehlikenin TOPSIS yakınlık katsayısı (CC) değeri belirlenir. Her tehlike ve ilgili risk için bir TOPSIS sıralama yakınlık katsayısı belirlenir. Yüksek rakam riskin boyutunu ifade etmektedir. Risk sınıfının belirlenmesinden önceki bu aşama son aşamadır. Şekil 4.7, her bir risk için hesaplanan puanları göstermektedir.



Şekil 4.7. TOPSIS, her tehlikenin CC değerlerini sıralar

Adım 9. Her risk sınıfının üst ve alt limit profillerinin ideal çözümünden sapmasının elde edilmesi. Limit profillerinin TOPSIS Sort CC değerleri, her bir risk sınıfı için alt ve üst sınırları gösterir. Sonuçlar, en az kritik "Risk" sınıfının CC değeri 0,000 ile 0,204 arasında olan riskleri içerdiğini göstermektedir. TOPSIS Sort CC değeri 0,205 ile 0,398 arasına düştüğünde tehlikeler "Olası risk" olarak sınıflandırılır. "Önemli risk" kategorisindeki tehlikeler 0,399 ile 0,597 arasında, "Yüksek risk" kategorisindekiler ise 0,598 ile 0,763 arasındadır. Son olarak, "Çok yüksek risk" değerleri 0,764 ile 1,000 arasında olan risklerdir. Şekil 4.8, un üretimi sırasında analiz edilen 36 tehlike ile risk kategorilerini göstermektedir. Orta risk sınıfı olarak da bilinen önemli risk sınıfında 25 tehlike tespit edilmiştir. Bir kez daha, risk sınıfında yedi potansiyel risk olduğu ve bunlardan birinin en riskli sınıf olan risk sınıfına ait olduğu tespit edilmiştir. İmalat için en yüksek öncelikli risklere sahip sınıf olan "Yüksek risk" üç tehlike içerirken "Çok yüksek risk" hiçbir tehlike içermez.

Risk sınıfı	Tehlikeler
Yüksek risk	H5, H10, H18
Önemli risk	H3, H4, H6, H7, H8, H9, H11, H12, H13, H14, H15, H16, H19, H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26, H27, H30, H32, H35, H36
Olası risk	H1, H2, H28, H29, H31, H33, H34
Risk	H17



Şekil 4.8. Un üretimi için belirlenen 36 tehlikenin risk sınıflandırılması

4.5. Duyarlılık Analizi

Diğer düğümlerdeki yapılacak olan değişikliklerin S7 üzerindeki potansiyel etkilerine ilişkin bir duyarlılık analizi yapılmıştır. GeNle programında hedef düğüm olarak S7 seçildi. Düğümlerin değişim değer aralığı [0,1] değerleri arasında ayarlanmıştır. Şekil 4.9, S7' nin duyarlılık analizini göstermektedir. Grafiğin yeşil çubukları mevcut haliyle olasılık değerinden pozitif bir değişimi, kırmızı çubuklar ise negatif bir değişimi göstermektedir. S7 serisi üzerinde en büyük etkiye sahip olan on faktör, büyüklük sırasına göre listelenmiştir. S7 yalnızca negatif ve pozitif aralıklarda çalışabilir [0.0313372; 0.830481]. Bu durumda S7=Evet, S6=Hayır ve S7=Hayır şeklindedir. Tablo 4.16, duyarlılık analizi üzerinde en büyük etkiye sahip olan 10 senaryo için S7' nin kapsayabileceği aralığın yanı sıra söz konusu durum için mevcut olasılık değerlerini listeler.



Şekil 4.9. S7 = Evet olduğunda duyarlılık analizi sonucu

Tablo 4.16. S7' nin en çok değişen on durumunu ve özellikleri

No	Durum	Aralık	Geçerli parametre değeri
1	S7=Evet S6=Hayır, S5=Hayır	[0.0313372; 0.830481]	0.0777778
2	S7=Evet S6=Evet, S5=Hayır	[0.0855771; 0.187351]	0.0777778
3	S7=Evet S6=Hayır, S5=Evet	[0.085328;0.166759]	0.100267

4	S5=Evet S3=Hayır, S4=Hayır	[0.089148;0.145084]	0.0777778
5	S4=Evet S1=Hayır	[0.0893174;0.12539]	0.115752
6	S4=Evet S1=Evet	[0.0883248;0.124121]	0.144375
7	S5=Evet S3=Hayır, S4=Evet	[0.0908013;0.125408]	0.0777778
8	S6=Evet S2=Hayır, S4=Hayır	[0.0909846;0.123234]	0.0777778
9	S3=Evet S1=Evet	[0.0902728; 0.117857]	0.116737
10	S6=Evet S2=Evet,S4=Hayır	[0.0920158; 0.111007]	0.0777778

4.6. Önleyici Tedbirlerin Yönetimi

Önerilen model çözümünde bulunan risk derecelendirmelerine göre en yüksek riskten başlanarak aşağıdaki önleyici tedbirler planlanır. Uygulaması zaman alacak adımlar için uygun planlama yapılmış ve hemen yapılabilecek bu önlemler uygulamaya konulmuştur.

H10' un elektrik panolarına uyarı levhaları asılarak, panoların bakımı ve yıllık rutin topraklama ölçümleri için bakım anlaşmaları oluşturuldu. İşçilerin güvenliğini sağlamak amacıyla uygun bölgelere izolasyon şilteleri konumlandırılmış ve H18 için makine topraklamaları yapılmıştır. H5 için asansörün açıkta kalan bölümleri kapatılmış olup, tıkanma durumunda sistemin elektriğini kesecek bir anahtar konulması planlanmaktadır. H16 uyarı levhaları, sıcaklık, nem, titreşim gibi çeşitli çalışma şartlarına dayanıklı levhalarla değiştirildi. Silo alanındaki H8 uygulamaları için artık kişisel koruyucu kemer takılması zorunlu hale getirildi. H11 ve H12 için elektrik paneli tabanları bir yalıtkan madde kullanılarak yalıtılmıştır. Fabrikanın otomatik bir yangın söndürücü, H13, H14, H15 ve H30 için bir yangın sensörüyle donatılması amaçlanmaktadır. H6, H9, H21, H22, H26 ve H35 için makinenin hareketli parçalarına korumalar takılacak olup, temizlik için artık izolatör temizleme ekipmanına ihtiyaç duyulmaktadır. H20 için değirmen motorlarının taşıyıcı sistem kullanılarak tavana sabitlenmesi gerekmektedir. H25, H3 ve H4 kompresörlerine yüksek basınç valfler eklenmesi amacıyla kompresörlerin işçilerden uzak bir konuma taşınması planlanmaktadır. Silo ve depolarda toz geçirmez kapakların kullanılması, su geçirmez döşeme ve hava değiştirme makinelerinin kullanılması, dış ortama bağlanan dikey

bacalar, silolarda statik elektrik oluşması veya yıldırım düşmesi gibi durumlarda paratoner montajı ve topraklama yapılması gibi H7 için gerekli düzenlemeler yapılmaya başlandı. H23'deki çalışanlara, kendilerini yüksek seslerden korumak için kulak tıkaçları verilmektedir. Aspiratörlerin elektrik motorlarının H27 için yanıcı ve yanıcı maddelerin bulunduğu çalışma ortamına uygun motorlarla değiştirilmesi amaçlanmaktadır. H24 ve H36 elektrik kabloları fabrikada incelenmiş olup uygun olmayan kablolar değiştirilmiştir. Makine korumalarının güçlü basınç ve titreşimlere kırılmadan dayanabilmesini sağlamak için H19 için güvenlik önlemlerinin uygulanması amaçlanmaktadır. H32 çuval dolum standlarında, dolum borusunun önüne menteşeli şeffaf kapakların konulması gerekmektedir. Kaldırma işlemi boyunca sürücü ve diğer işçiler için güvenli bölgeler belirlendi ve H1'in kamyonu boşaltma çukuruna yönlendirmesi için uygun talimatlar verilmiştir. Şirkette, H31 için yeni kişisel koruma ekipmanı kullanılması planlanmaktadır. H29 için laboratuvar test yöntemlerinde literatüre bağlı kalarak ve güvenli yöntemler kullanılması yönünde organize edilmiştir. H33, işyerinde fiziksel emek zorunluluğunu ortadan kaldırmak amacıyla işin düzenlenmesini ve yükün mekanik sistemlerle taşınmasının sağlanması planlanmıştır. Tozun yayılmasını önlemek amacıyla torbanın boşaltılacağı H2 alanı kapatılacak olup, çevredeki havadan toz tamamen temizlenene kadar insanların bu alandan uzak tutulması için uygun önlemler alınmıştır. H34 için paket programdan yararlanan çalışanlar, eğitimlerinin yaygınlaştırılması amacıyla kurslara gönderilmiştir. İnsanların elekklere fazla yaklaşmasını önlemek için H28'in çevresine korkuluklar dikilmiştir. H17 için hijyen istasyonları kurularak gerekli antiseptikler sağlanmıştır.

4.7. Senaryo Analizi

Bu bölümde, çalışma kapsamında durumların gerçekleşme olasılıklarına göre sonuçların nasıl değiştiğini görmek için bir senaryo analizi yapılmıştır. Bu analiz, S2, S3 ve S4 durumlarının %100 olasılık oranında gerçekleşmesi durumunda risk parametrelerinin ağırlıklarının nasıl değişeceğine ve 36 tehlikenin risk puanlarının ve sınıflarının (karşılık gelen risk tanımlarıyla birlikte) nasıl değişeceğine odaklanır. Bu durumda GeNle' de her senaryo için "kanıt belirleme" işlemi yapılarak normalizasyon öncesinde olasılıklar oluşturulmuştur. Her senaryo sonucunun olasılığı, normalizasyondan önce Şekil 4.10 (a-c) de gösterilmektedir. Fabrikada kullanılan teknoloji, malzeme ve ekipmanlarda ve üretim sürecinde bir değişiklik olasılığının bilindiği ve %100 (S2= Evet) olarak ayarlandığı

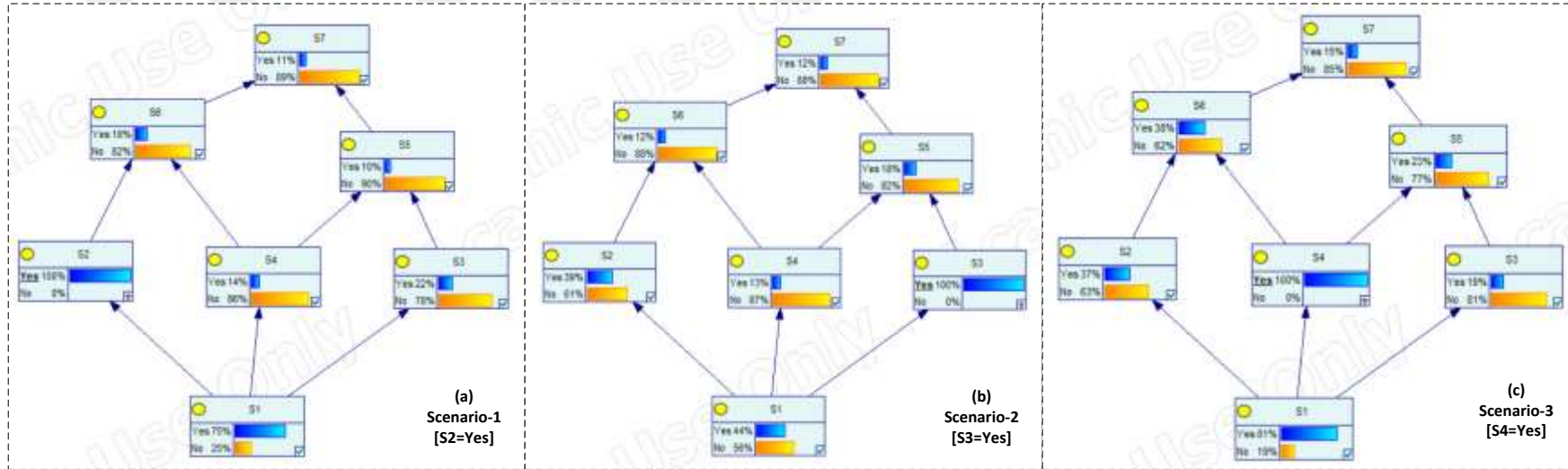
Senaryo-1 olarak adlandırılan ilk senaryoda, S2 durumunun olasılığı yaklaşık %40' tır. S1 durumunun olasılığı %43' ten %30' a düşmüştür. S6 hariç diğer olayların gerçekleşme olasılığı artmıştır. Senaryo-2' de S3 durumunun olasılığı "Evet" olarak ayarlandığında, S3 ve S5 haricinde iş kazası, meslek hastalığı veya ramak kala olayı olasılığı çeşitli yüzdelerde düşmüştür. Senaryo-3' ün temeli S4 durumunun olasılığını "Evet (%100)" olarak koymaktır. Bu varsayımsal durum, işyerinin dışında meydana gelen ve burayı etkileyen bir doğal afete (deprem, salgın hastalık vb.) dayanmaktadır. Bu durumda S4' ün olasılık değeri yaklaşık %8 den %32' ye yükselmiştir. Bu çok yüksek bir yükselişe işaret etmektedir. Ancak S1, S2, S3 ve S7' nin olasılık değerleri de düşmüştür. S5 ve S6' da, S4 kadar olmasa da hafif bir artış görülmüştür. Tablo 4.17' de her durum için normalleştirilmiş olasılık değerleri verilmiştir. Her senaryoya ait risk parametre ağırlıkları, bu olasılık matrisinin Tablo 4.6' da bulunan değerlerle çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.18' de her senaryoya ilişkin risk parametre ağırlıkları gösterilmektedir. Tablo 4.19, Tablo 4.18' deki risk parametresi ağırlıklarının TOPSIS Sıralama modellerine uygulanmasının sonuçlarını sunmaktadır.

H16 haricinde Senaryo-1' in sonuçları, tehlikelerin risk sınıfının değişmediğini göstermiştir. H16, un üretim sürecinin gerçekleştiği fiziki alanda uyarı, tabela ve levhaların yetersiz olması veya bulunmaması ile ilişkili bir risktir. Yeni aletlerin, malzemelerin veya üretim tekniklerinin kullanılması durumunda bu uyarı işaretlerinin ve göstergelerin hazırlanması gerekmektedir. Aksi takdirde zarar, ölüm veya maddi hasar meydana gelebilir. Senaryo-1 için bu tür tehlikeler "Yüksek risk" olarak sınıflandırılmıştır. Bu tehlikeyi kontrol altına almak için yasak, uyarı, emir, kaçış yolu, acil durumda veya yangınla mücadelede kullanılacak ekipmanları belirten tabelalar yerleştirilmelidir. Bu işaretleyicilerin oluşturulmasında darbeye dayanıklı, kullanıldığı ortama uygun, hava geçirmez malzemeler kullanılmalıdır. Okunabilirliği ve görünürlüğü garanti etmek için tabelaların boyutu, kolorimetrik ve fotometrik olarak belirtilmelidir.

İş kazası, meslek hastalığı ve ramak kala olayını içeren Senaryo-2' de üç tehlikenin risk sınıfı bir alt sınıfa kaydırılmıştır. Yüksek risk sınıfları H5 ve H18 ile önemli risk sınıfı H26, daha düşük risk sınıfına kaydırılmıştır. H18 ve H26 sırasıyla makinelerde elektrik kaçağı ve üretim sürecinde cebri tavlama tehlikesini tanımlarken, H5 ise hammadde depolama sürecinde asansör riskini ifade etmektedir. Bu tehlikeler arasında elektrik çarpması, tuzağa düşme ve şok gibi riskler yer almaktadır. Senaryo-2, bu üç risk haricinde, yeni bir iş kazası riski öngörse de diğer tehlikelerin risk sınıflandırmasını değiştirmemektedir. Bunun nedeni çoğunlukla normalleştirme süreci sonrasında durumların

olasılıklarının farklı olmaktan ziyade birbirine çok yakın değerlere sahip olmasıdır. Aslında, diğer tüm senaryolar mevcut duruma yakın sonuçlar üretir.





Şekil 4.10. Üç senaryonun durumunun olasılık değerlendirmesi

Tablo 4.17. Üç olasılığın normalleştirilmiş olasılık değerleri

Durumun normalleştirilmiş olasılık değerleri	Senaryo		
	Senaryo-1 [S2=Evet]	Senaryo-2 [S3=Evet]	Senaryo-3 [S4=Evet]
S1	0.2997	0.1844	0.2578
S2	0.4018	0.1634	0.1176
S3	0.0865	0.4214	0.0611
S4	0.0551	0.0541	0.3193
S5	0.0401	0.0764	0.0742
S6	0.0743	0.0498	0.1213
S7	0.0424	0.0505	0.0485

Tablo 4.18. Üç senaryo için risk parametresi ağırlıkları

Risk parametre ağırlıkları	Senaryo		
	Senaryo-1	Senaryo-2	Senaryo-3
A	0.1982	0.1872	0.1829
B	0.1722	0.1724	0.1812
C	0.1507	0.1599	0.1572
D	0.1790	0.1397	0.1461
E	0.0908	0.0902	0.0880
F	0.2090	0.2506	0.2446

Risk düzeyi yüksek bir üretim tesisi, un üretimi gibi nispeten daha az riskli bir üretim tesisi ile karşılaştırıldığında bu durumların sonuçları daha belirgin hale gelebilmektedir. O zaman, şimdi olduğu gibi risk sınıflarında önemli bir değişiklik olacak ve birçok potansiyel riskin farklı sınıfları olabilecektir.

Senaryo-2' ye benzer şekilde Senaryo-3 için de değerlendirme yapılabilir. Çünkü bu senaryoda risk sınıfı değişen tek bir tehdit vardır oda H5 tehlikesidir. Risk kategorisi yüksek riskten önemli riske doğru kaymıştır.

Tablo 4.19. Senaryo analizi sonuçları

Tehlike	Senaryo-1			Senaryo-2			Senaryo-3		
	TOPSIS Sort CC değeri	Risk kümesi	Risk sınıfının değişimi	TOPSIS Sort CC değeri	Risk kümesi	Risk sınıfının değişimi	TOPSIS Sort CC değeri	Risk kümesi	Risk sınıfının değişimi
H1	0.3796	Olası Risk	Değişmedi	0.3622	Olası Risk	Değişmedi	0.3731	Olası Risk	Değişmedi
H2	0.3431	Olası Risk	Değişmedi	0.3334	Olası Risk	Değişmedi	0.3258	Olası Risk	Değişmedi
H3	0.5114	Önemli Risk	Değişmedi	0.4900	Önemli Risk	Değişmedi	0.5023	Önemli Risk	Değişmedi
H4	0.5114	Önemli Risk	Değişmedi	0.4900	Önemli Risk	Değişmedi	0.5023	Önemli Risk	Değişmedi
H5	0.6249	Yüksek Risk	Değişmedi	0.5815	Önemli Risk	Daha düşük bir sınıfa taşındı	0.5848	Önemli Risk	Daha düşük bir sınıfa taşındı
H6	0.5395	Önemli Risk	Değişmedi	0.5017	Önemli Risk	Değişmedi	0.5021	Önemli Risk	Değişmedi
H7	0.5067	Önemli Risk	Değişmedi	0.4912	Önemli Risk	Değişmedi	0.5036	Önemli Risk	Değişmedi
H8	0.5751	Önemli Risk	Değişmedi	0.5458	Önemli Risk	Değişmedi	0.5585	Önemli Risk	Değişmedi
H9	0.5125	Önemli Risk	Değişmedi	0.4925	Önemli Risk	Değişmedi	0.4949	Önemli Risk	Değişmedi
H10	0.6334	Yüksek Risk	Değişmedi	0.5979	Yüksek Risk	Değişmedi	0.6060	Yüksek Risk	Değişmedi
H11	0.5653	Önemli Risk	Değişmedi	0.5346	Önemli Risk	Değişmedi	0.5442	Önemli Risk	Değişmedi
H12	0.5720	Önemli Risk	Değişmedi	0.5432	Önemli Risk	Değişmedi	0.5542	Önemli Risk	Değişmedi
H13	0.5371	Önemli Risk	Değişmedi	0.5024	Önemli Risk	Değişmedi	0.5154	Önemli Risk	Değişmedi
H14	0.5158	Önemli Risk	Değişmedi	0.4788	Önemli Risk	Değişmedi	0.4923	Önemli Risk	Değişmedi
H15	0.5456	Önemli Risk	Değişmedi	0.5164	Önemli Risk	Değişmedi	0.5275	Önemli Risk	Değişmedi
H16	0.5994	Yüksek Risk	Daha yüksek bir sınıfa taşındı	0.5846	Önemli Risk	Değişmedi	0.5829	Önemli Risk	Değişmedi
H17	0.0895	Risk	Değişmedi	0.0834	Risk	Değişmedi	0.0825	Risk	Değişmedi
H18	0.6129	Yüksek Risk	Değişmedi	0.5945	Önemli Risk	Daha düşük bir sınıfa taşındı	0.6019	Yüksek Risk	Değişmedi
H19	0.4378	Önemli Risk	Değişmedi	0.4121	Önemli Risk	Değişmedi	0.4200	Önemli Risk	Değişmedi
H20	0.5237	Önemli Risk	Değişmedi	0.5144	Önemli Risk	Değişmedi	0.5264	Önemli Risk	Değişmedi
H21	0.5006	Önemli Risk	Değişmedi	0.4652	Önemli Risk	Değişmedi	0.4743	Önemli Risk	Değişmedi
H22	0.5006	Önemli Risk	Değişmedi	0.4652	Önemli Risk	Değişmedi	0.4743	Önemli Risk	Değişmedi
H23	0.4634	Önemli Risk	Değişmedi	0.4552	Önemli Risk	Değişmedi	0.4504	Önemli Risk	Değişmedi
H24	0.4589	Önemli Risk	Değişmedi	0.4424	Önemli Risk	Değişmedi	0.4546	Önemli Risk	Değişmedi
H25	0.5087	Önemli Risk	Değişmedi	0.4954	Önemli Risk	Değişmedi	0.5073	Önemli Risk	Değişmedi
H26	0.4097	Önemli Risk	Değişmedi	0.3908	Olası Risk	Daha düşük bir sınıfa taşındı	0.4008	Önemli Risk	Değişmedi
H27	0.4639	Önemli Risk	Değişmedi	0.4401	Önemli Risk	Değişmedi	0.4519	Önemli Risk	Değişmedi
H28	0.2882	Olası Risk	Değişmedi	0.2969	Olası Risk	Değişmedi	0.2985	Olası Risk	Değişmedi
H29	0.3701	Olası Risk	Değişmedi	0.3445	Olası Risk	Değişmedi	0.3542	Olası Risk	Değişmedi
H30	0.4445	Önemli Risk	Değişmedi	0.4244	Önemli Risk	Değişmedi	0.4362	Önemli Risk	Değişmedi
H31	0.3647	Olası Risk	Değişmedi	0.3512	Olası Risk	Değişmedi	0.3579	Olası Risk	Değişmedi
H32	0.4249	Önemli Risk	Değişmedi	0.4135	Önemli Risk	Değişmedi	0.4051	Önemli Risk	Değişmedi
H33	0.3525	Olası Risk	Değişmedi	0.3487	Olası Risk	Değişmedi	0.3490	Olası Risk	Değişmedi
H34	0.3069	Olası Risk	Değişmedi	0.2991	Olası Risk	Değişmedi	0.2969	Olası Risk	Değişmedi
H35	0.5246	Önemli Risk	Değişmedi	0.5015	Önemli Risk	Değişmedi	0.5009	Önemli Risk	Değişmedi
H36	0.4526	Önemli Risk	Değişmedi	0.4303	Önemli Risk	Değişmedi	0.4401	Önemli Risk	Değişmedi

5. SONUÇ

Mesleki risk değerlendirmesi, tanınan tehlikelerle bağlantılı riskleri değerlendirmeyi, önceliklendirmeyi ve kategorize etmeyi amaçlayan çok disiplinli bir faaliyettir. Mesleki risk değerlendirmesinin sonuçları önleyici tedbirlerin hazırlanmasında kullanılır. Sonuç olarak riskler aktarılabilir, azaltılabilir veya önlenabilir. Risk değerlendirme araştırmalarında çok sayıda ÇKKV yöntemi kullanılmaktadır. ÇKKV, güvenilir ve tutarlı kriter sıralamasına ve/veya seçimine olanak sağlamaktadır. Ancak bu değerlendirme yalnızca kapsadığı durumlar için geçerlidir. Gerçek dünyadaki zorlukları çevreleyen koşulların değişmediği düşünülürse, bu bağlamda varılan sonuçlar kısa sürede kaybolacaktır. Birçok karar vericinin tercihleri birleştirildiğinde ortaya çıkan bilgi kaybı ve kriter sıralamasındaki güven derecesinin belirlenmesindeki zorluklar, ÇKKV yaklaşımlarının iyileştirilmesi gereken diğer alanları temsil etmektedir. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için bu çalışma, SBBWM ve TOPSIS-Sort tekniklerini kullanan yeni bir mesleki risk değerlendirme stratejisi önermekte ve bu yeni yaklaşım belirlenmiş olan bir un üretim tesisinde örnek olay çalışmasında kullanılmıştır. Çalışmada gözlemlenen un tesisinin gelecekte karşılaşabileceği yedi farklı durum ele alınmıştır. Bu durumlar, uzmanlar tarafından değerlendirilmiş ve BBWM yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Ayrıca, bu yedi durumun oluşumunu ele almak ve bunu BBWM' de bulunan ağırlıklarla birleştirmek için bir Bayes ağı kullanılmıştır. Son olarak risk parametreleri TOPSIS-Sort yöntemi kullanılarak sınıflandırılmış ve mesleki risk kapsamında tesis için öncelikli önlemler sunulmuştur. Mesleki risk değerlendirmeleri belirli bir süre sonra sona erdiğinden dolayı değerlendirmelerin sık sık tekrarlanması gerekmektedir. Bu durum işletme için zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Önerilen bu yaklaşım sayesinde, gelecekte oluşabilecek durumları dikkate alan ve geçerliliğini uzun bir süre koruyabilecek kararlar vermek mümkün olabilecektir. Böylece, mesleki risk değerlendirmeleri daha az tekrarla gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışma, katmanlaştırma felsefesini kullanan benzersiz bir mesleki risk değerlendirmesi yaklaşımı sunmasına rağmen, geliştirilmesi gereken bazı sınırlamaları olabilmektedir. Gelecekteki çalışmalar katmanlaştırmayı TOPSIS Sıralama aşamasında da uygulamayı düşünmelidir. Buna ek olarak, ÇKKV' nin bulanık kümelerle entegrasyonu gelecekteki çalışmalar için ele alınabilir. Bulanık kümeler belirsizliği daha iyi ifade ettiğinden daha güvenilir değerlendirmeler yapmak mümkün olabilir. Sonuç olarak mesleki risk değerlendirmesi çalışmaları gelecekteki durumları daha iyi ele alabilir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmadi, H. B., Lo, H. W., Gupta, H., Kusi-Sarpong, S., Liou, J. J.,** 2020. An integrated model for selecting suppliers on the basis of sustainability innovation. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123261.
- Ak, M.F., Yucesan, M., Gul, M.,** 2022. Occupational health, safety and environmental risk assessment in textile production industry through a Bayesian BWM-VIKOR approach, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, 629–642.
- Akao, Y.,** 1972. “New Product Development and Quality Assurance–Quality Deployment System.” *Standardization and Quality Control* 25 (4): 7–14.
- Aliabadi, M.M., Pourhasan, A., Mohammadfam, I.,** 2020. Risk modelling of a hydrogen gasholder using Fuzzy Bayesian Network (FBN), *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(1), 1177-1186.
- Alkan, R., Yucesan, M., Gul, M.,** 2021. A Multi-attribute Decision-Making to Sustainable Construction Material Selection: A Bayesian BWM-SAW Hybrid Model, In *The International Workshop on Best-Worst Method* (pp. 67-78). Springer, Cham.
- Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J., Ruiz, A.,** 2014. Relief distribution networks: A systematic review. *Annals of Operations Research*, 223(1), 53–79.
- Asadabadi, M. R.,** 2022. Goal-oriented prioritization of project outputs: a stratified approach. *Production Planning & Control*, 1-15.
- Asadabadi, M. R., Ahmadi, H. B., Gupta, H., Liou, J. J.,** 2022. Supplier selection to support environmental sustainability: the stratified BWM TOPSIS method. *Annals of Operations Research*, 1-24.
- Asadabadi, M. R., Zwikael, O.,** 2021. Integrating risk into estimations of project activities' time and cost: A stratified approach. *European Journal of Operational Research*, 291(2), 482-490.
- Asadabadi, M.R.,** 2018. The stratified multi-criteria decision-making method. *Knowledge-Based Systems*, 162, 115-123.
- Atkinson, R., Crawford, L., Ward, S.,** 2006. Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management. *International journal of project management*, 24(8), 687-698.
- Bai, M., Zhang, Z., Yang, E., Du, S.,** 2023. A fuzzy bayesian network based method for CO2 leakage risk evaluation during geological sequestration process. *Geoenergy Science and Engineering*, 211423.

- Bayazit, O., Kaptan, M.,** 2023. Evaluation of the risk of pollution caused by ship operations through bow-tie-based fuzzy Bayesian network. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135386.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., Ignatius, J.,** 2012. A state-of the-art survey of TOPSIS applications, *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069.
- Bilgiçli, N., Soylu, S.,** 2016. Buğday ve un kalitesinin sektörel açıdan değerlendirilmesi. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 5(2), 58-67.
- Boyacı, A. Ç., Solmaz, M. B., Kabak, M.,** 2021. Kararsız bulanık dilsel terim setleri ile iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için model önerisi: Plastik sektöründe bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(2), 1041-1054.
- Chen, P., Zhang, Z., Huang, Y., Dai, L., Hu, H.,** 2022. Risk assessment of marine accidents with Fuzzy Bayesian Networks and causal analysis. *Ocean & Coastal Management*, 228, 106323.
- Cox Jr, L. A.,** 2012. Risk analysis foundations, models, and methods (Vol. 45). Springer Science & Business Media.
- Çetin, S., Beğik, V.,** 2021. İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Sürdürülebilir Kişisel Koruyucu Donanım Politikalarının Uygulanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(1), 202-211.
- ÇSGB,** 2018. <https://www.ailevecalisma.gov.tr/medias/7193/tekst%C4%B0l-sektoer%C3%BCnde%C4%B0%C5%9Fsa%C4%9Fli%C4%9Fgoezet%C4%B0m%C4%B0-rehber%C4%B0.pdf>
- de Lima Silva, D. F., de Almeida Filho, A. T.,** 2020. Sorting with TOPSIS through boundary and characteristic profiles, *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106328.
- Didar, Mirahmetoğlu.,** 2006. Van ilinde bulunan un fabrikalarının mevcut durumu ve üretilen unların bazı kalitatif özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 166–73.
- Dunjó, J., Fthenakis, V., Vílchez, J. A., Arnaldos, J.,** 2010. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review, *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 19-32.
- Ecer, F.,** 2021. Sustainability assessment of existing onshore wind plants in the context of triple bottom line: a best-worst method (BWM) based MCDM framework. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19677-19693.

- Ecer, F., Torkayesh, A. E., 2022.** A Stratified Fuzzy Decision-Making Approach for Sustainable Circular Supplier Selection. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Elevli, B., 2014.** Doğrusal programlama modeli: Un üretiminde minimum maliyet maksimum kalite için buğday karışımının optimizasyonu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (2014), 177-188.
- Erginel, N., Toptancı, Ş., 2017.** İş kazası verilerinin olasılık dağılımları ile modellenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 201-212.
- European Agency for Safety and Health at Work, 1989. Directive 89/391/EEC—OSH “framework directive”.
- European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion, 1996. Guidance on risk assessment at work, Publications Office.
- Fan, H., Enshaei, H., Jayasinghe, S. G., 2022.** Human error probability assessment for LNG bunkering based on fuzzy Bayesian network-CREAM model. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(3), 333.
- Faraji Sabokbar, H., Hosseini, A., Banaitis, A., Banaitiene, N., 2016.** A novel sorting method topsis-sort: An application for Tehran environmental quality evaluation, *E a M: Ekonomie a Management*, 19 (2), 87-104.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., Hultink, E. J., 2017.** The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.
- Gul, M., 2018.** A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions, *Human and ecological risk assessment: an international journal*, 24(7), 1723-1760.
- Gul, M., 2021.** A quantitative occupational risk assessment methodology based on TOPSIS-Sort with its application in aluminum extrusion industry, *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 163-172.
- Gul, M., Ak, M. F., Guneri, A. F., 2019.** Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry. *Journal of Safety Research*, 69, 135-153.
- Gul, M., Guneri, A. F., 2016.** A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 89-100.
- Gul, M., Mete, S., Serin, F., Celik, E., 2021.** Fine–Kinney-based fuzzy multi-criteria occupational risk assessment. Cham, Switzerland: Springer.

- Gul, M., Yucesan, M.,** 2022. Performance evaluation of Turkish Universities by an integrated Bayesian BWM-TOPSIS model, *Socio-Economic Planning Sciences*, 80, 101173.
- Gupta, H., Kumar, A., Wasan, P.,** 2021. Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126253.
- Haruna, A., Jiang, P.,** 2022. Adaptability analysis of design for additive manufacturing by using fuzzy Bayesian network approach. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101613.
- Hwang, C. L., Yoon, K.,** 1981. Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making*, Springer, Berlin, Heidelberg, 58-191.
- ISO,** 2019. <https://www.iso.org/standard/72140.html> Acces date: 29 April 2022.
- Işık, G.,** 2015. Yapı Denetiminde İş Sağlığı ve İş Güvenliği (İş Yasası, İSG Yasası ve Yapı Denetim Yasası Açısından İnceleme). *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 5-6.
- İncekara, Ç. Ö.,** 2020. Enerji Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi . Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi, 4 (1) , 152-177.
- Kabir, S.,** 2017. An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*, 77, 114-135.
- Kamal, B., Aydın, M.,** 2022. Application of fuzzy Bayesian approach on bankruptcy causes for container liner industry. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100769.
- Koberg, E., Longoni, A.,** 2019. A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 207, 1084–1098.
- Li, Y. F., Huang, H. Z., Mi, J., Peng, W., Han, X.,** 2022. Reliability analysis of multi-state systems with common cause failures based on Bayesian network and fuzzy probability. *Annals of Operations Research*, 1-15.
- Li, Z., Wang, X., Gong, S., Sun, N., Tong, R.,** 2022. Risk assessment of unsafe behavior in university laboratories using the HFACS-UL and a fuzzy Bayesian network. *Journal of safety research*, 82, 13-27.
- Liang, F., Brunelli, M., Rezaei, J.,** 2020. Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 96, 102175.
- Liu, H. C.,** 2016. FMEA using uncertainty theories and MCDM methods. In *FMEA using uncertainty theories and MCDM methods*, Springer, Singapore 13-27.

- Lo, H. W., Liou, J. J.,** 2018. A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment. *Applied Soft Computing*, 73, 684-696.
- Loree, N., Aros-Vera, F.,** 2018. Points of distribution location and inventory management model for Post-Disaster Humanitarian Logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 1-24.
- MacCarthy, B. L., Atthirawong, W.,** 2003. Factors affecting location decisions in international operations—a Delphi study. *International journal of operations & production management*. 23 (7), 794.
- Marhavidas, P. K., Filippidis, M., Koulinas, G. K., Koulouriotis, D. E.,** 2019. The integration of HAZOP study with risk-matrix and the analytical-hierarchy process for identifying critical control-points and prioritizing risks in industry—A case study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62, 103981.
- Mi, X., Tang, M., Liao, H., Shen, W., Lev, B.,** 2019. The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next?. *Omega*, 87, 205-225.
- Mirahmetoğlu, D.,** 2006. The state of flour mills in Van province and some qualitative properties of the obtained flours.
- Mohammadi, M., Rezaei, J.,** 2020. Bayesian best-worst method: A probabilistic group decision making model, *Omega*, 96, 102075.
- Nacar, E. N., Erdebilli, B.,** 2021. Tesis yeri seçimine yeni bir bakış: katmanlı çok kriterli karar verme yöntemi. *Verimlilik dergisi*, (4), 103-117.
- Nawazish, M., Padhi, S. S., Cheng, T. E.,** 2022. Stratified delivery aid plans for humanitarian aid distribution centre selection. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108451.
- Olsthoorn, X., Tyteca, D., Wehrmeyer, W., Wagner, M.,** 2001. Environmental indicators for business: a review of the literature and standardisation methods. *Journal of cleaner production*, 9(5), 453-463.
- Pinto, A.,** 2014. QRAM a Qualitative Occupational Safety Risk Assessment Model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets. *Safety Science*, 63, 57-76.
- Pouyakian, M., Khatabakhsh, A., Yazdi, M., Zarei, E.,** 2022. Optimizing the Allocation of Risk Control Measures Using Fuzzy MCDM Approach: Review and Application. *Linguistic Methods Under Fuzzy Information in System Safety and Reliability Analysis*, 53-89.

- Poyraz, P., Şimşir, F., 2022.** Tedarik Zinciri Risk Yönetiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Süreç Bazlı Hata Türleri Analizi . *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8 (1) , 86-104.
- Ramos, D., Afonso, P., Rodrigues, M. A., 2020.** Integrated management systems as a key facilitator of occupational health and safety risk management: A case study in a medium sized waste management firm. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121346.
- Rezaei, J., 2015.** Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega*, 53, 49-57.
- Rodrigues, M. A., Arezes, P. M., Leão, C. P., 2015.** Defining risk acceptance criteria in occupational settings: A case study in the furniture industrial sector. *Safety science*, 80, 288-295.
- Rodrigues, M. A., Arezes, P., & Leão, C. P., 2014.** Risk criteria in occupational environments: critical overview and discussion. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 257-262.
- Rodrigues, M. A., Sá, A., Masi, D., Oliveira, A., Boustras, G., Leka, S., Guldenmund, F., 2020.** Occupational Health & Safety (OHS) management practices in micro-and small-sized enterprises: The case of the Portuguese waste management sector. *Safety science*, 129, 104794.
- Saner, H. S., Yucesan, M., Gul, M., 2021.** A Bayesian BWM and VIKOR-based model for assessing hospital preparedness in the face of disasters, *Natural hazards*, 1-33.
- Schroeder, P., Anggraeni, K., Weber, U., 2019.** The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77-95.
- Silva, G. M., Gomes, P. J., Sarkis, J., 2019.** The role of innovation in the implementation of green supply chain management practices. *Business Strategy and the Environment*, 28(5), 819–832.
- Tirkolaee, E. B., Torkayesh, A. E., 2022.** A cluster-based stratified hybrid decision support model under uncertainty: sustainable healthcare landfill location selection. *Applied Intelligence*, 1-20.
- Torkayesh, A.E., Malmir, B., Asadabadi, M. R., 2021.** Sustainable waste disposal technology selection: The stratified best-worst multi-criteria decision-making method, *Waste Management*, 122, 100-112.
- Torkayesh, A.E., Simic, V., 2022.** Stratified hybrid decision model with constrained attributes: Recycling facility location for urban healthcare plastic waste. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103543.
- Turna, İ., 2022.** A safety risk assessment for ship boarding parties from fuzzy Bayesian networks perspective. *Maritime Policy & Management*, 1-14.

- Üreten, S.**, 2006. Üretim/İşlemler Yönetimi: Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Vafadarnikjoo, A., Chalvatzis, K., Botelho, T., Bamford, D.**, 2023. A stratified decision-making model for long-term planning: Application in flood risk management in Scotland. *Omega*, 116, 102803.
- Wang, Z. C., Ran, Y., Chen, Y., Yang, X., Zhang, G.**, 2022. Group risk assessment in failure mode and effects analysis using a hybrid probabilistic hesitant fuzzy linguistic MCDM method. *Expert Systems with Applications*, 188, 116013.
- Yamagishi, K., Ocampo, L.**, 2022. Utilizing TOPSIS-Sort for sorting tourist sites for perceived COVID-19 exposure., *Current Issues in Tourism*, 25(2), 168-178.
- Yanilmaz, S., Baskak, D., Yucesan, M., Gul, M.**, 2021. Extension of FEMA and SMUG models with Bayesian best-worst method for disaster risk reduction, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102631.
- Yucesan, M., Gul, M., Celik, E.**, 2021. A holistic FMEA approach by fuzzy-based Bayesian network and best–worst method, *Complex & Intelligent Systems*, 7(3), 1547-1564.
- Zadeh, L.A.**, 2016. Stratification, target set reachability and incremental enlargement principle, *Information Sciences*, 354, 131-139.

EKLER

EK 1. Dört uzman tarafından S2 (İşyerinde kullanılan teknoloji, malzeme ve ekipman ile üretim yöntemindeki değişiklikler) durumuna ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirmesi.

S2		Risk Parametresi					
En iyiden diğerlerine	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	3	3	2	2	7	1
	Uzman #4	2	3	6	1	9	5
	Uzman #5	1	2	4	2	2	2
	Uzman #6	2	2	3	1	8	2

Diğerlerinden en kötüye	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	5	5	4	4	1	7
	Uzman #4	6	5	3	9	1	3
	Uzman #5	4	2	1	2	2	2
	Uzman #6	3	3	2	8	1	4

EK 2. Dört uzman tarafından S3 (İş kazası, meslek hastalığı veya ramak kala olayının meydana gelmesi) durumuna ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirme.

S3		Risk Parametresi					
En iyiden diğerlerine	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	2	2	1	8	3	2
	Uzman #4	3	2	4	4	8	1
	Uzman #5	3	3	4	4	5	1
	Uzman #6	2	3	3	4	6	1

Diğerlerinden en kötüye	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	4	4	8	1	5	4
	Uzman #4	4	5	3	2	1	8
	Uzman #5	2	2	2	2	1	5
	Uzman #6	3	2	2	3	1	6

EK 3. Dört uzman tarafından S4 (İşyeri dışından kaynaklanan ve işyerini etkileyen bir tehlikenin (doğal afet, Covid-19 salgını vb) ortaya çıkması) durumuna ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirilmesi.

S4		Risk Parametresi					
En iyiden diğerlerine	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	5	2	3	2	2	1
	Uzman #4	3	1	4	4	9	2
	Uzman #5	2	2	3	5	6	1
	Uzman #6	2	2	2	4	8	1

Diğerlerinden en kötüye	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	1	3	2	4	3	5
	Uzman #4	3	9	5	4	1	6
	Uzman #5	2	2	2	3	1	6
	Uzman #6	3	3	4	3	1	8

EK 4. Dört uzman tarafından S5 (3. ve 4. maddede ki durumların aynı anda gerçekleşmesi) durumuna ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirmesi.

S5		Risk Parametresi					
En iyiden diğerlerine	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	1	2	2	3	7	3
	Uzman #4	3	5	4	2	7	1
	Uzman #5	2	3	4	4	7	1
	Uzman #6	2	2	3	4	8	1

Diğerlerinden en kötüye	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	7	6	6	5	1	5
	Uzman #4	2	2	3	5	1	7
	Uzman #5	5	4	3	4	1	7
	Uzman #6	4	4	3	2	1	8

EK 5. Dört uzman tarafından S6 (2. ve 4. maddedeki durumların aynı anda gerçekleşmesi) durumuna ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirmesi.

S6		Risk Parametresi					
En iyiden diğerlerine	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	2	2	3	3	6	1
	Uzman #4	1	3	4	5	8	2
	Uzman #5	1	4	4	5	7	2
	Uzman #6	1	2	3	4	8	2

Diğerlerinden en kötüye	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	4	4	5	5	1	6
	Uzman #4	8	3	2	2	1	6
	Uzman #5	7	4	2	2	1	4
	Uzman #6	8	4	3	2	1	4

EK 6. Dört uzman tarafından S7 (Tüm durumların aynı anda gerçekleşmesi) durumuna ilişkin ikili karşılaştırma değerlendirilmesi.

S7		Risk Parametresi					
En iyiden diğerlerine	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	1	2	4	2	9	8
	Uzman #4	3	4	2	4	9	1
	Uzman #5	2	2	3	4	8	1
	Uzman #6	2	2	3	3	7	1

Diğerlerinden en kötüye	Uzman	A	B	C	D	E	F
	Uzman #3	9	8	3	8	1	2
	Uzman #4	4	3	2	3	1	9
	Uzman #5	2	2	3	2	1	8
	Uzman #6	4	4	3	3	1	7