İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

Güvenlik Mühendisliği Yaklaşımı ile Pandemi Döneminde Risk Analizi ve Yönetimi:

Sağlık Kuruluşlarında Covid-19 Virüsünün Bulaş ve Yayılma Süreçlerinin İncelenmesi

Doktora Tezi

Emin TARAKÇI

Kasım 2023

İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

Güvenlik Mühendisliği Yaklaşımı ile Pandemi Döneminde Risk Analizi ve Yönetimi:

Sağlık Kuruluşlarında Covid-19 Virüsünün Bulaş ve Yayılma Süreçlerinin İncelenmesi

Doktora Tezi

Emin TARAKÇI

Danışman

Prof. Dr. Emine CAN

Kasım 2023

TEZ JÜRİSİ ONAYI

Emin TARAKÇI tarafından hazırlanan " Güvenlik Mühendisliği Yaklaşımı ile Pandemi Döneminde Risk Analizi ve Yönetimi: Sağlık Kuruluşlarında Covid-19 Virüsünün Bulaş ve Yayılma Süreçlerinin İncelenmesi " başlıklı bu Doktora Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ **İMZA**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Emine CAN
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Prof. Dr. Selma ARIKAN
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Doç. Dr. Berk AYVAZ
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Doç. Dr. Kaan KEÇECİ
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Serap TEPE
Sağlık Bilimleri Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 20 / Kasım / 2023

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin APA yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun metin içi kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Emine CAN

Etik İlkelere Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

İmza

Emin TARAKÇI

ÖZET

Güvenlik Mühendisliği Yaklaşımı ile Pandemi Döneminde Risk Analizi ve Yönetimi: Sağlık Kuruluşlarında Covid-19 Virüsünün Bulaş ve Yayılma Süreçlerinin İncelenmesi

TARAKÇI, Emin

Doktora Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Emine CAN

Kasım 2023

Güvenilir ve dinamik risk değerlendirme yaklaşımlarının kullanılması, sürekli gelişen küresel afetler ve salgın hastalıklar bağlamında hayati önem taşımaktadır.

Bu çalışma, önerilen entegre yaklaşıma genel bir bakış sağlamıştır. Fonksiyonel Rezonans Analizi yöntemi (FRAM) ve Hata Türü ve Etki Analizi (FMEA), Pisagor Bulanık VIKOR yönteminin sağlamlığı ile daha da güçlendirilmiş yeni bir yaklaşım sunmak amacıyla bu makalede birleştirilmiştir. Pisagor Bulanık VIKOR, içsel belirsizlikleri dikkate alan çok kriterli bir karar verme süreci sağlarken, FRAM-FMEA entegrasyonu karmaşık sistem ara bağlantıları ve potansiyel tehlike/hata modları hakkında kapsamlı bir bilgi sunmaktadır.

Sağlık tesislerinde Covid-19 virüsüyle mücadele ile bağlantılı süreçleri ve tehlikeleri belirlemek ve değerlendirmek için bir vaka çalışması yapılmıştır. Çalışma evreni ve veri toplama gerçek verilerle gerçekleştirilmiştir. Sağlık tesislerinde, pandemiyle mücadeleye yönelik tüm süreçlerin ve bu faaliyetlerle bağlantılı tehlikelerin belirlenmesinden ve analiz edilmesinden üç karar verici sorumludur. Salgınla mücadelede aktif rol alan triyaj, halk sağlığı ve mikrobiyoloji departmanlarından ekipler karar vericilerdir. Bu yeni entegre yaklaşım, risklerin önceliğini ve tehlike derecesini anlamak için optimizasyon sağlamaktadır.

Pandemi dönemi gibi felaket senaryolarında bu yaklaşım, sağlık tesislerindeki tüm faaliyetlerin ve bu süreçlerle bağlantılı potansiyel tehlikelerin nasıl tanımlanacağını, analiz edileceğini ve değerlendirileceğini gösterir. Bu entegre yaklaşımın sağlık tesislerinde kullanılması, karmaşık risk değişkenlerinin belirlenmesinde ve bilgiye dayalı karar alma süreçlerine yardımcı olmada ne kadar etkili olduğunu göstermiştir.

Önerilen bu yeni entegre yaklaşım, geleneksel doğrusal modellerin ötesinde, paydaşların riskleri önceliklendirmesine ve sistemik zayıflıkların daha iyi anlaşılmasını sağlarken eylemleri uygulamaya koymasına olanak tanıyan kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır.

Bu araştırma, dünya çapında değişen zorluklar ışığında, daha dirençli, daha esnek ve daha uyarlanabilir risk yönetimi yöntemlerinin yolunu açmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Risk Değerlendirmesi, Pisagor Bulanık Kümeleri, FRAM, FMEA, Güvenilirlik Mühendisliği, Risk Yönetimi, Sağlık Tesisleri, Sağlık Çalışanları ve Hasta Güvenliği

ABSTRACT

Risk Analysis and Management in Pandemic Period with Reliability Engineering Approach: Investigation of the Transmission and Spread Processes of Covid-19 Virus in Healthcare Facilities

TARAKÇI, Emin

Ph. D. Thesis, Department of Occupational Health and Safety

Supervisor: Prof. Dr. Emine CAN

November 2023

The use of trustworthy and dynamic risk assessment approaches is crucial in the continuously evolving context of global disasters and pandemics.

This study has provided an overview of the proposed integrated approach. The Functional Resonance Analysis method (FRAM) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) are combined in this article in order to present a novel approach that is further strengthened by the robustness of the Pythagorean Fuzzy VIKOR method. The Pythagorean Fuzzy VIKOR assures a multi-criteria decision-making process that takes into account intrinsic uncertainties, while the FRAM-FMEA integration offers a thorough knowledge of complex system interconnections and potential failure modes.

A case study was done to identify and evaluate the processes and hazards connected with fighting the Covid-19 virus in healthcare facilities. The study population and data collection were realised with real data. In healthcare facilities, three decision makers are responsible for identifying and analyzing all process for combating the pandemic, as well as the hazards connected with these activities. Teams from triage, public health, and microbiology departments who take an active role in combatting the epidemic are decision makers. This novel integrated approach gives optimization in order to comprehend the priority of risks and the degree of hazard.

In disaster scenarios, such as the pandemic period, this approach shows how to identify, analyze, and evaluate all activities in healthcare facilities as well as the potential hazards connected with these processes. The use of the proposed novel integrated approach in healthcare facilities shown how effective it was at identifying complex risk variables and assisting in well-informed decision-making.

Beyond conventional linear models, this integrated approach provides a comprehensive perspective that enables stakeholders to prioritize risks and put actions into place while having an improved understanding of systemic weaknesses.

This research aims to pave the way for more resilient, more flexible and more adaptable risk management methods in the light of changing challenges worldwide.

Keywords: Risk Assessment, Pythagorean Fuzzy sets, FRAM, FMEA, Reliability Engineering, Risk Management, Healthcare Facilities, Healthcare Professionals and Patient Safety,

TEŞEKKÜR

Doktora sürecimde en başından itibaren, yaptığımız tüm akademik çalışmalarda ve tezin yürütülmesi boyunca desteğini, yardımlarını sabırla ve nazik ilgisiyle hiçbir zaman esirgemeyen Danışmanım Sayın Prof. Dr. Emine CAN Hocama derinden saygılarımı ve teşekkürlerimi sunuyorum. Tüm bu süreçte desteklerini, tecrübelerini her daim paylaşarak çalışmamda yardımcı olan tez komite üyesi Sayın Doç. Dr. Berk AYVAZ Hocam başta olmak üzere, desteklerini esirgemeyen tüm Hocalarıma ve arkadaşlarıma müteşekkirim. Bu çalışmaya destek olan Göztepe Prof. Dr. Süleyman Yalçın Şehir Hastanesi doktorlarına ve tüm sağlık çalışanlarına şükranlarımı sunuyorum. Değerli destekleri için Sayın Prof. Dr. Kurtuluş SARI 'ya, Sayın Doç. Dr. Hatice İKİIŞIK 'a ve Sayın Prof. Dr. Esra KOÇOĞLU 'na özel teşekkürlerimi sunuyorum. Tempolu iş hayatımın ve akademik çalışmalarımın tüm zorlu süreçlerinde zamandan ve birçok şeyden feragat eden, sevgili eşim Sayın Ayshan JAFAROVA' ya büyük bir sabır ve özveri ile yanımda ve destek olduğu için ne kadar teşekkür etsem kelimeler kifayetsiz kalır. Son olarak, beni karşılıksız sevgiyle yetiştiren, uzakta olsalar da sevgilerini ve dualarını her daim yanımda hissettiğim güzel aileme teşekkür ediyorum. Tez çalışmamı adını taşımaktan onur ve gurur duyduğum rahmetli dedem Emin TARAKÇI 'nın aziz ruhuna ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET v

ABSTRACT vii

1. GİRİŞ 14

1.1. Tezin Amacı ve Motivasyonu 15

1.2. Tezin Özgün Değeri ve Literatüre Katkıları 16

1.3. Tezin Mimarisi 17

2. KAVRAMLAR, TERMİNOLOJİ VE LİTERATÜR İNCELEMESİ 19

2.1. Pandemi ve C19 Virüsü 19

2.1.1. Pandemilerin Tarihsel Bağlamı 19

2.1.2. COVID-19 'un Ortaya Çıkışı 20

2.1.3. COVID-19 Etkileri ve Küresel Yanıt 21

2.2. Risk Yönetimi 22

2.2.1 Riskin Tanımı 24

2.2.2 Tehlikenin Tanımı 24

2.3. Risk Analizi 25

2.4. Risk Analizi Prosesleri 26

2.4.1. Proses 1: Planlama 26

2.4.2. Proses 2: Risk Değerlendirmesi 27

2.4.3. Proses 3: Risk İyileştirmesi 27

3. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ 28

3.1. Metedolojiye Genel Bakış 28

3.2. Çalışma Evreni ve Limitleri 29

3.3. Veri Toplama 29

3.4. Bulanık Mantık ve Küme Teorileri 30

3.5. Pisagor Bulanık Kümeleri ve VIKOR 31

3.5.1. Pisagor Bulanık Kümeleri 31

3.5.2. VIKOR Yöntemi 33

3.6. FRAM (Functional Resonance Analysis Method) 35

3.7. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) 37

3.8. Önerilen FRAM ve FMEA tabanlı PF-VIKOR Çerçevesi 39

4. VAKA ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI 41

4.1. Vaka Sonuçları 49
4.2. Vaka Sonuçlarının Doğrulanması 51
4.2.1. Duyarlılık Analizi 51
4.2.2. Karşılaştırma Analizi 54
5. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME 59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 61

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Tezin Mimarisine Genel Bakış 18
Şekil 2. Belirsizlik altında karar verme modeli 23
Şekil 3. Risk Yönetimi Süreçleri 23
Şekil 4. Tehlike ve Risk İlişkisi 25
Şekil 5. Risk Analizi Sürecinin Ana Adımları 26
Şekil 6. Tetikleyici olayları tanımlama süreçleri ve çeşitli yöntemleri 27
Şekil 7. Pisagor Bulanık Kümesi Üyelik Dereceleri 32
Şekil 8. FRAM Fonksiyon Gösterimi (Hollnagel, 2012) 36
Şekil 9. Fonksiyon tanımlamaları ve diğer fonksiyonlar ile etkileşimi 36
Şekil 10. Geleneksel FMEA adımları 38
Şekil 11. Önerilen yaklaşımın ana yapısı 39
Şekil 12. Önerilen yaklaşımın hedef hiyerarşisi 41
Şekil 13. Sağlık Kuruluşlarında Pandemi ile Mücadelede Etkileşimli Süreç Haritası (Tarakçı ve diğerleri, 2020) 42
Şekil 14. Kriter ağırlıkları (Olasılık-Şiddet-Tespit edilebilme) 46
Şekil 15. Q değeri eğrisinde risk önceliklendirme 50
Şekil 16. Tüm vakalar için tehlike/hata modlarının grafiksel gösterimi 54
Şekil 17. Tüm vakalar için tehlike/hata modlarının radar haritası 54
Şekil 18. Tüm yöntemler için tehlike/hata modları sıralamalarının karşılaştırılması 56
Şekil 19. Farklı yöntem sıralamalarının karşılaştırma analizi radar haritası 56

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Tehlike/Hata Modu Tanımları 43
Tablo 2. Karar vericilerin listesi ve ağırlıkları 44
Tablo 3. Kriter ağırlıkları (Risk parametreleri) 45
Tablo 4. Yedi noktalı Pisagor bulanık dil ölçeği (Cui ve diğerleri, 2018). 46
Tablo 5. Dokuz noktalı Pisagor bulanık dil ölçeği (Perez ve diğerleri, 2018). 47
Tablo 6. Üç KV 'nin alternatifleri Pisagor bulanık dilbilimsel terimleriyle değerlendirme derecelendirmeleri 47
Tablo 7. Üç KV 'nin alternatifleri değerlendirme dereceleri noktaları 48
Tablo 8. Birleştirilmiş Pisagor Bulanık Matrisi 49
Tablo 9. Tüm tehlike/hata modlarının Q değeri ve sıralaması 50
Tablo 10. Duyarlılık analizi için risk parametre ağırlıkları 51
Tablo 11. Tüm vakalar için tehlike/hata modlarının risk önceliği skoru sıralaması 52
Tablo 12. Tüm vakalar için RÖS sıralaması ve Q değeri 53
Tablo 13. Farklı yaklaşımlara göre sıralamaların karşılaştırılması 55
Tablo 14. Spearman rho ve p-değerleri 57
Tablo 15. Üç yaklaşım için Spearman rho değerleri 57
Tablo 16. Korelasyon anlamlılık dereceleri 58
Tablo 17. 3 yaklaşım için sıralamaların ısı haritası 58

1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarih boyunca salgın hastalık ve pandemi dönemleri yaşamıştır ve yakın geçmişte büyük bir küresel krize sebep olan ve günümüzde halen etkisini sürdüren C19 virüsü salgını ile mücadele etmektedir.

Salgın hastalık dönemleri, pandemi koşulları, doğal afetler ve olası felaket senaryoları çok yönlü etkilere (halk sağlığı, sağlık sistemleri, ekonomi, psikoloji, iş endüstrisi, eğitim sistemleri, sosyal ilişkiler, kısıtlama ve yaptırımlar vb. gibi) ve tüm bu hususlarda çok ağır sonuçlara, bedellere mal olmaktadır.

İnsanlık tarihi göstermiştir ki sonuçlarının çok ağır olduğu Veba, Mers, Sars, Kuş, Domuz gribi, Ebola virüsleri ve halen günümüzde etkisini sürdüren ve kontrol altına alınamayan COVID-19 virüsü ile tüm dünyanın etkilendiği salgın hastalık dönemleri yaşanmıştır, yaşanmaktadır ve gelecekte de Maymun çiçeği, Domates gribi, Eris gibi COVID-19 varyantlarının vuku bulması olasıdır.

Tüm ülkeleri ve insanlığı etkileyen salgın hastalık ve pandemi koşulları küresel bir sorundur ve bu sorunla mücadele küresel ve yerel ölçeklerde ilgili tüm otoriteler ile kolektif olarak koordine olarak yürütülecek bir süreci kapsamaktadır.

Tüm dünyayı sağlık, ekonomik, sosyal ve birçok farklı alanda olumsuz etkileyen salgın hastalığın hızla yayılımını ve kontrolden çıkmasını engellemek ve kontrol altına almak, bilimin ve ortak aklın ışığında yürütülecek çalışmalarla birlikte tüm ilgili otoritelerin ortak bir konsensüste buluşması ile elbette mümkündür.

Ülkemizde yeni ve öncü bir doktora programı olan İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, alt disiplinleri, uzmanlık alanları ve kapsamı dolayısıyla disiplinler arası bir bölümdür. Temelinde mühendislik prensipleri ve uygulamaları olmakla birlikte, tıp, halk sağlığı, endüstriyel sağlık gibi sağlık bilimleri, ergonomi, psikoloji, hukuk, sosyal bilimler ve birçok farklı bilim dallarıyla bütünleşik olarak, güvenli ve verimli çalışma ortamları ve çalışan sağlığı odaklı çalışır.

Bu bağlamda tez çalışmasında, günümüzde halen etkisini sürdürmekte olan ve gelecekte olası pandemi gibi felaket senaryolarında küresel ve yerel ölçeklerde

kullanılabilecek risk analizi, değerlendirmesi ve yönetimini ele alınmıştır. Pandemi ile mücadelede en önemli ve kritik rolü olan sağlık kuruluşlarında tehlikelerin/risklerin önceliklendirme yapılarak belirlenmesi, analizler ve değerlendirmeler sonucunda alınacak kontrol, önlem faaliyetleri ile pandemi gibi felaket senaryolarında krizin seyrini, yayılım ve bulaş hızını düşürmek hedeflenerek yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Getirilen bu yeni yaklaşımında, Güvenlik 2, Güvenlik 3 gibi güvenlik mühendisliği modelleri ile güvenlik mühendisliği öncesi kullanılan Güvenlik 1 yaklaşımları entegre edilmiştir. Önerilen yeni yaklaşımda, Güvenlik 1-2-3 yaklaşımlarının güçlü yönleri ve birbirleri ile etkileşimi tümsel olarak ele alınarak ve entegre edilerek, pandemi gibi felaket senaryolarında zamanla değişen ve belirsiz karmaşık sistemlerin denetimi ve kontrolü için, çok kriterli karar verme ve değişken parametrelerinin optimize edilmesinde bulanık mantık kullanılmıştır.

1.1. Tezin Amacı ve Motivasyonu

Medeniyetlerin gelişmişlik düzeyini gösteren çeşitli ölçüt unsurları (eğitim durumu, milli gelir, iş istihdamı, enerji kapasiteleri vb.) ve değerler (toplum ferahı, sağlıklı yaşam, insan hakları, ahlaki-etik değerlerin varlığı, sosyal toplumlar, vb.) vardır.

Bilim, kültür ve sanat alanlarındaki gelişmeler medeniyetin gelişmişlik düzeyine katkı sağlayan önemli öğeler ve araçlar arasındadır.

Bu gelişmişlik düzeyi, insanın yaşam kalitesine yansıması ve toplumların refah düzeyi ile ölçülebilir. Refah seviyesi yüksek, fiziksel, bedensel ve sosyal olarak sağlıklı toplumlar bilim, kültür ve sanat alanlarında daha büyük ve hızlı yol alarak başarı ve ilerleme katetmişlerdir.

Yakın geçmiş ve günümüz, medeniyetin gelişmişlik düzeyini, teknoloji ve sanayi alanları odaklı gelişmeler ile eşdeğer tutma yanılsaması içindedir.

Yazılım, bilişim, nanoteknoloji, otomasyon vb. alanlardaki gelişmeler ve devrimler insanlığa çok önemli ilerleme fırsatları ve fayda sağlasa da sadece bilgi teknolojisi, mühendislik uygulamaları ve endüstriyel devrimlere bağlı kalarak medeniyetin teşekkül etmesini beklemek tutarlı değildir.

Nitekim ARGE çalışmaları kapsamında inovasyona ve bilinmezliğe (Marsta yaşam, uzay teknolojileri ve sistemleri, ağ ve haberleşme teknolojileri, yapay zeka ile dijitalleşme vb. gibi) yapılan yüksek harcamalar ve yatırımlar; içinde yaşadığımız yer kürenin gerçek ve yaşayan problemlerini göz ardı etmektedir. İnsanlığın çok büyük bir bölümü yoksulluk sınırı ve altında, yaşam mücadelesine sağlıksız ve elverişsiz koşullarda devam etmektedir. İklim krizi, doğal afetler, salgın hastalıklar yer küremizin en önemli sorunsalları arasındadır.

Binlerce ışık yılı uzaktan, uzay boşluğundan dünyamıza doğru hareket eden göktaşının ne zaman, hangi uzaklıkta dünyamıza yaklaşacağı hesaplanabilirken, nanoteknoloji ile tıp ve mühendislik alanlarında yapay kalpten, insansız fabrikaya geçişin olduğu bu dönemde, üç yılı aşkın süren ve halen etkisini sürdüren pandemi ile mücadele sürecinin halen daha tamamıyla kontrol altına alınamaması büyük bir tezatlık içermektedir.

Salgın hastalıklar gibi felaket senaryo vakalarının vuku bulma olasılığı giderek yükselmektedir. Bu nedenle felaket senaryoları için risk değerlendirmesinin önemi daha da artmaktadır. Etkin risk değerlendirme ve yönetim yaklaşımları, pandemi gibi felaket senaryolarında potansiyel tehlikelerin ve risklerin belirlenmesinde ve buna bağlı olumsuz sonuçlarının önlenmesi veya azaltılması için kritik öneme sahiptir.

Tez çalışmanın amacı, pandemi gibi felaket senaryolarında sürece dayalı risk analizi ve yönetimi için yeni bir yaklaşım sunmaktır. Bu çalışmada FRAM-FMEA tabanlı PF-VIKOR entegre yaklaşımı önerilmektedir.

Yapılan tez çalışmasında, çoklu karar vericilerin en iyi karara ulaşması ve optimizasyonunu sağlayarak, tehlike ve risklerin önceliklendirmesine, süreçler arası etkileşime ve bu doğrultuda alınacak kontrol ve önlem faaliyetleri için tümsel ve ölçülebilir datalara dayalı çözüm sunmak hedeflenmiştir. Bu çalışma, sağlık kurumlarının COVID-19 'a karşı verdikleri süreçsel ve operasyonel bazda çok yönlü mücadeleye, ilk tepkilerden itibaren kullandıkları benzersiz tekniklere ve bu küresel sağlık krizinden çıkardıkları derslere ışık tutmayı amaçlamaktadır.

1.2. Tezin Özgün Değeri ve Literatüre Katkıları

FRAM-FMEA tabanlı PFVIKOR entegre risk analizi ve değerlendirmesi literatürde

ilk kez kullanılmıştır. Literatürde yeni bir yaklaşım önererek gelecek çalışmalar için öncü ve referans bir kaynak olacaktır.

Pandemi gibi olası felaket senaryolarında hastane yönetimi tarafından uygulanacak kontrol ve önlem faaliyetleri ile sağlık çalışanlarının ve halk sağlığının korunmasına yönelik stratejilerin üretilmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, hem hastalıkla mücadele için yapılan fiili faaliyetleri hem de bu tedavileri motive eden altta yatan teorik çerçeveleri araştırarak, devam etmekte olan bu küresel krizin bütüncül bir şekilde anlaşılmasını sağlayacaktır.

Önerilen yaklaşım, olası felaket senaryolarında ve karmaşık sistemlerde süreç analizi ve risk yönetimi için bir referans kaynak olarak uygulanabilir ve geliştirilebilir.

1.3. Tezin Mimarisi

Şekil 1 ‘de tezin mimarisi gösterilmektedir. Tez altı bölümden oluşmaktadır. Her bölüm aşağıda özetlenmiştir:

Bölüm 1 ‘de, tez çalışmasının amaçları ve motivasyonu, tezin özgün değeri ve literatüre katkıları ve tezin mimarisi yer almaktadır.

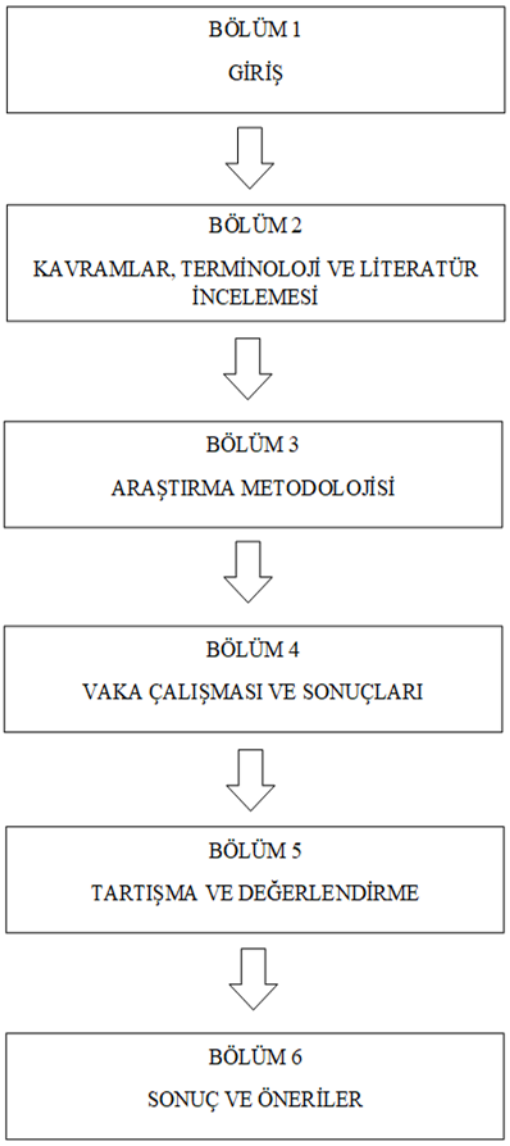
Bölüm 2 ‘de, tezin araştırma konularına genel bir bakış, literatüre ait kavramsal ve terminolojik açıklamalar, risk analizi ve değerlendirme konuları yer almaktadır.

Bölüm 3 ‘te, tez çalışmasının metodolojisi, tasarımı ve yöntemleri açıklanarak, bu çalışmada önerilen entegre yeni yaklaşımın mimarisi ve adımları yer almaktadır. Çalışma evreni ve kısıtları ile veri toplama konuları da bu bölüm içinde yer almaktadır.

Bölüm 4 ‘te, vaka çalışması ve sonuçları yer almaktadır. Pandemi döneminde sağlık kuruluşlarında süreç bazlı mevcut ve olası risklere bağlı tehlike/hata modlarının tanımlanması, risk analizleri ve vaka sonuçlarının doğrulanması yer almaktadır.

Bölüm 5 ‘te, tezin çalışma evreni ve limitleri dahilinde sonuçlar, bulgular ve çalışmanın katkıları tartışılır ve değerlendirilir. Bu bölümde, Güvenlik 1 ve Güvenlik 2-3 yaklaşımları ile önerilen yeni yaklaşımın güçlü yanları ve limitlerine yanıt sunulmaktadır.

Bölüm 6 ‘da yapılan tez çalışmasından çıkan sonuçlar ve öneriler yer almaktadır. Gelecekteki potansiyel çalışmaların ana hatları verilir ve yeni bir risk analizi ve değerlendirme yöntemi ile yeni bir güvenlik mühendisliği yaklaşımı önerilmektedir.



Şekil 1. Tezin Mimarisine Genel Bakış

2. KAVRAMLAR, TERMİNOLOJİ VE LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. Pandemi ve C19 Virüsü

Pandemi kavramı için belirli temel unsurlar, genel etki ve sonuçları itibari ile birçok ilgili otorite tarafından çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Pandemi, Dünya Sağlık Örgütü tarafından ilan edilen küresel bir salgın hastalık durumudur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) üç ana koşulu gözeterek pandemi ilanını deklare etmektedir: Bilinmeyen bir hastalık/virüs/mutasyon ortaya çıkması, hastalığın geniş bir coğrafi alan üzerinde, insandan-insana hızlı ve sürekli olarak yayılması, kolayca bulaşarak tehlikeli sonuçlara mahal vermesidir.

2.1.1. Pandemilerin Tarihsel Bağlamı

Pandemiler, ülkeler ve kıtalar arasında geniş nüfusları etkileyen salgın hastalıklar, insanlık tarihinde yeni bir olgu değildir. Pandemiler, toplumları, ekonomileri ve jeopolitik manzaraları yeniden şekillendirerek insanlık tarihinin dönemlerine defalarca damgasını vurmuştur. Ancak COVID-19 salgını daha önce benzeri görülmemiş küresel zorlukları da beraberinde getirmiştir.

Antik uygarlıklar döneminde kayıtlara geçen ilk salgın, tarihte farklı dönemlerde ve bölgelerde ortaya çıkmış veba ve kara ölüm olarak adlandırılan Atina vebası (MÖ 430-426) derin bir sosyo-politik etki yaratmıştır (Poole & Holladay, 1979).

İnsanlık tarih boyunca birçok salgın hastalıklara (Veba, Kolera, İspanyol Gribi, Domuz Gribi gibi) maruz kalmıştır, halen kalmaktadır (Covid-19, HIV, Maymun Çiçeği, Domates gribi) ve gelecekte de maruz kalması ve pandemi dönemlerinin yaşanması olasıdır. Yaşanan pandemi dönemleri tıp alanındaki gelişme ve uygulamaları hızlandırmış, sosyo-politik yapıları değiştirmiş ve bu dönemlerde ilgili tüm otoritelerin küresel iş birliğinin gerekliliğinin altını çizmiştir. Bunun yanında bu dönemleri kontrol altında tutmak ve ilerde benzeri senaryolarla karşılaşmamak için kök nedeni anlama, risk analizleri ve yönetimlerinin önemi de ortaya çıkmıştır.

2.1.2. COVID-19 'un Ortaya Çıkışı

Hayvanlarda ve insanlarda hastalığa neden olduğu bilinen bir virüs ailesi olan koronavirüsler, geçmişte 2003 yılında SARS-CoV ve 2012 yılında MERS-CoV gibi salgınların kaynağı olmuştur (Zumla ve diğerleri, 2015). Zoonotik doğaları veya hayvanlar ve insanlar arasında transfer olma yetenekleri, yeni viral türlere ve potansiyel pandemilere yol açabilir.

Bilinen ve açıklanan veriler kapsamında 2019 yılı sonlarında Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan COVID-19, koronavirüs ailesinin (SARS-CoV) yeni üyesidir ve SARS-CoV-2 olarak adlandırılan (WHO, 2020a) dünya genelinde hızla yayılan yeni bir koronavirüstür.

COVID-19 virüsünün yüksek bulaşma hızı, küresel olarak yayılma alanı, 11 Mart 2020 'de Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2020b) tarafından pandemi olarak deklare edilmesine yol açmıştır.

COVID-19 öncelikle solunum yolu hastalığı olarak kendini gösterir, ancak etkileri asemptomatik vakalardan ciddi solunum yetmezliğine kadar değişebilir ve potansiyel kardiyovasküler, nörolojik ve multisistemik tutulumlara neden olabilir (Huang ve diğerleri, 2020). Virüsün insan hücrelerine bağlanmasını ve girmesini sağlayan spike proteini, terapötik ve aşı tasarımı için bir odak noktasıdır (Walls & Adams, 2020).

Coronavirüs salgını günümüzde halen etkisini sürdürmektedir ve Dünya Sağlık Örgütü'nün bildirilerine göre (WHO, 2020c) iki yüz otuz ülkenin üzerinde 600 milyondan fazla insan enfekte olmuştur.

Ülkemizde ilk COVID-19 vaka tanısı 10 Mart 2020'de konulmuştur (T.C Sağlık Bakanlığı, 2020). Dünya genelinde toplam vaka sayısı 695 milyon, toplam ölüm sayısı 6.9 milyonun üzerindeyken, Türkiye'de toplam vaka sayısı 17 milyonun, toplam ölüm sayısı 100 binin üzerindedir (Worldometre, 2023).

2.1.3. COVID-19 Etkileri ve Küresel Yanıt

Pandemi dönemlerinin kapsamı ve etkisi insanlık, hastalık ve hayatta kalma arasındaki etkileşime dair ilgi çekici bir anlatı sunmaktadır. Tarihsel olarak, salgın hastalıklar toplumsal yenilikleri ve dönüşümleri tetiklemiştir. Pandemi dönemleri tıbbi anlayış ve uygulamada ilerlemelere yol açmıştır.

Bu dönemler işgücü ve endüstrinin daralmasına, kentleşmenin değişimine ve toplumsal yapılarda değişikliklere yol açarak, psikolojik huzursuzluklara ve sosyal değişimlere neden olmuştur (Pamuk, 2007).

COVID-19 pandemisi bir dizi müdahaleyi ve tıbbi uygulamalardaki gelişmeyi tetiklemiştir.

Halk sağlığı için karantinalar, maske takma zorunluluğu, sosyal mesafe kuralları gibi bir dizi kontrol müdahaleleri olurken; virüsün keşfinden bir yıl içinde küresel bir çaba ile üretilen birden fazla aşı adaylarının acil kullanım izinlerinin alınmasına yol açtı (Polack ve diğerleri, 2020).

Pandemi dönemi bilgi dinamiklerini etkileyerek; hem doğru hem de yanlış bilgilerin aşırı yüklenmesi olan "infodemik", kriz sırasında halkın algılarını ve davranışlarını şekillendirmiştir (Pennycook ve diğerleri, 2020).

Hastaneler, araştırma enstitüleri, halk sağlığı kurumları ve sivil toplum grupları gibi sağlık kurumları, bu soyut düşmana karşı mücadelenin en önemli aktörleri olarak ortaya çıkmıştır. Halk sağlığı sorununa katkılarının yanı sıra yeni koronavirüsle ilgili bilimsel bilgiyi artırma girişimleri, dünya çapındaki müdahale için kritik öneme sahiptir (Bavel ve diğerleri, 2020).

Kurumsal tepkiler, acil durum planlaması, hasta bakımı, klinik araştırma, sağlık personeli güvenliği ve halk sağlığı iletişimi gibi çok çeşitli konuları ele alarak hafiften şiddetliye kadar değişmiştir. Bu tepkiler, hem belirli bölgesel özellikler hem de işbirliğine dayalı küresel çabalarla ayırt edilmiş ve pandeminin yörüngesini karmaşık şekillerde değiştirmiştir (Legido ve diğerleri, 2020).

Acil durum müdahalesinde karar verme zorlukları, sınırlı karar verileri ve acil durum koşullarının değişme olasılığı nedeniyle genellikle karmaşıktır. Bu nedenle, bir acil durumun ilk aşamasında etkili bir tepki eyleminin seçilmesi, acil durum yönetiminde önemli bir çalışma konusudur (Liu ve diğerleri, 2014).

Pandeminin yansımaları sağlık krizinin ve sağlığın ötesine geçmiştir. Sadece sağlık alanındaki kırılganlıkları değil, ekonomik, sosyal ve siyasi gibi birçok sistemdeki zayıflıkları da gözler önüne sermiştir. COVID-19 pandemi dönemi, ayna ve prizma niteliğinde toplumların kırılganlıklarının, uyum yeteneklerinin ve marifetlerinin görülebilmesini sağlamıştır. Bu sebeple çağdaş hazırlık ve müdahale stratejileri için risk analizleri ve değerlendirmeleri büyük ehemmiyet taşımaktadır.

2.2. Risk Yönetimi

Risk yönetimi, riski yönetmek için yapılan tüm önlem ve faaliyetler olarak tanımlanabilir. Risk yönetimi, kayıpları, kazaları ve felaketleri önlemekle birlikte bir yandan da fırsatları keşfetmenin doğasında var olan çatışmaları dengelemekle ilgilenir (Aven & Vinnem, 2007).

Bu bağlamda risk yönetimi, işletmeleri, sistemleri, organizasyonları etkileyebilecek tüm faaliyetler, koşullar ve vakalar için işletmelerin, sistemlerin ve organizasyonların hedeflerine ve vizyonuna ulaşma noktasında önemli bir yönetim aracıdır.

Risk yönetimi genellikle yüksek risk ve büyük belirsizlikler ile karakterize edilen durumlarda karar vermeyi içerir ve bu tür karar verme, kararların sonuçlarını tahmin etmenin zor olduğu bir süreçtir.

Genel olarak, karar süreci aşağıdaki unsurları içerir:

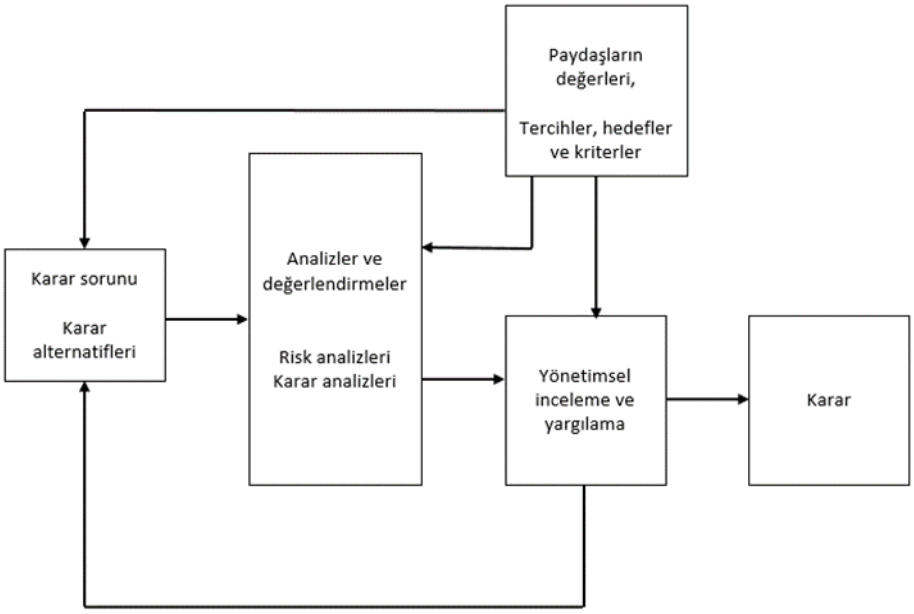
1. Karar durumu ve paydaşlar (ilgili taraflar)

2. Hedef belirleme, tercihler ve performans ölçütleri

3. Karar vermeyi desteklemek için çeşitli analiz biçimleri de dahil olmak üzere çeşitli araçların kullanılması

4. Karar vericinin gözden geçirmesi ve yargılaması. Karar (Aven, 2008).

Şekil 2 ‘de belirsizlik altında karar verme modeli (Aven, 2003) gösterilmektedir.



Şekil 2. Belirsizlik altında karar verme modeli

Şekil 2 ‘de gösterildiği gibi unsurlara dayalı bir karar verme modelinde başlangıç noktası bir karar problemidir ve çoğu zaman tüm belirtilen bazı hedefleri ve gereksinimleri karşılayan bir dizi alternatif arasından seçim yapma problemi olarak ifade edilir.

Risk yönetimi süreçleri (ISO 31000:2009) Şekil 3 ‘te gösterilmiştir.



Şekil 3. Risk Yönetimi Süreçleri

2.2.1 Riskin Tanımı

Risk teriminin mutabık kalınmış bir tanımı yoktur ve birçok farklı tanımlama yapılmıştır. Temel ve yaygın kullanımı ile risk şu şekillerde tanımlanır:

- "Kayıp, yaralanma veya diğer olumsuz/istenmeyen durumların vuku bulma olasılığı; bu olasılığı doğuran olanaklar veya durumlar" (Oxford Çevrimiçi Sözlük).

- "Risk, bir olayın olasılığı ile sonuçlarının birleşimidir" (ISO 31000:2009).

- "Risk, tehlikeli bir olay veya maruziyetin vuku bulma olasılığı ile olay veya maruziyetin sebep olacağı yaralanma veya hastalık şiddetinin bir kombinasyonudur" (OHSAS 18001:2007).

- "Beklenen kayıp veya bir olay veya sonuç" (Aven, 2012), "beklenen kayıp" (Willis, 2007), "beklenen olumsuzluk" (Campbell, 2005).

- "Risk, sonucun, eylemlerin ve olayların belirsizliğini ifade eder" (Cabinet, 2002).

Otoriteler ve ilgili kurumların belirttiği üzere, riskin beklenen/beklenmeyen bir durum ve olumlu/olumsuz sonuçlar doğurabileceği hususunda çeşitli görüşler ve tanımlamalar bulunmaktadır. ISO risk yönetimi standartları, riskleri stratejik riskler, program riskleri, proje riskleri, finansal riskler, güvenlik riskleri, uyumluluk/esneklik riskleri ve operasyonel riskler olarak sınıflandırır (BSI, 2011).

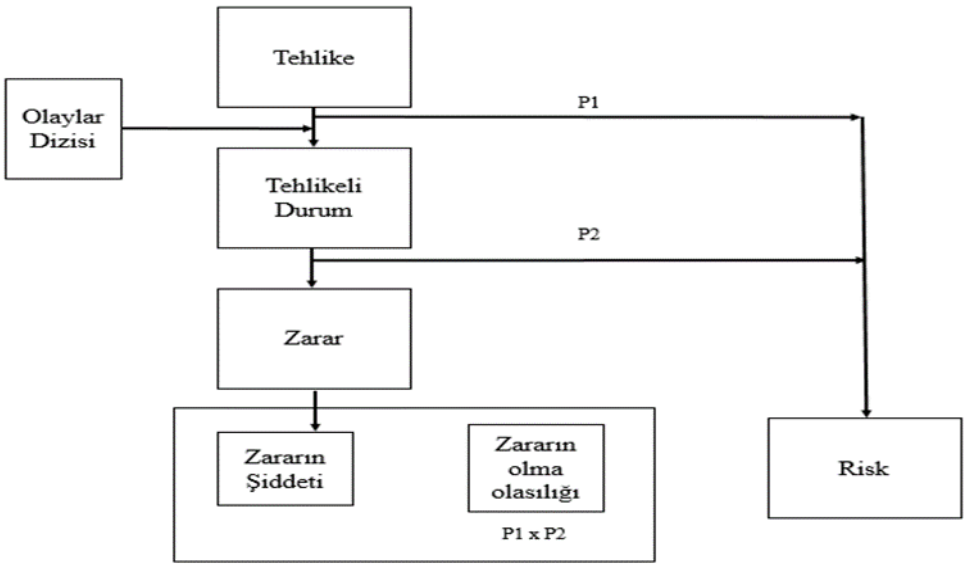
Finans ve ekonomi alanlarındaki riskler, belirsizlik dikkate alınarak hem olumlu hem de olumsuz etkilere atıfta bulunabilirken, güvenlik ve sağlık alanlarındaki riskler genellikle olumsuz bir şeye atıfta bulunur.

2.2.2 Tehlikenin Tanımı

Tehlikenin yaygın olarak kullanılan tanımlanması "zarar veya kayba neden olacak gerçek veya potansiyeli olan durumlar" (NPSA 2007) olarak ifade edilmektedir. Tehlike, güvenlik mühendisliği yaklaşımında "en kötü ihtimal dahilinde belirli bir dizi

ortam koşullarıyla birlikte bir kazaya/kayba yol açacak bir sistem durumu veya koşullar dizisi (Leveson, 2011) olarak tanımlanır.

Risk ve tehlike arasındaki ilişki (BSI, 2012) Şekil 4 'te gösterilmiştir.



Not: P1 tehlikeli bir durumun meydana gelme olasılığıdır.

P2 zarara yol açan tehlikeli bir durumun olasılığıdır.

Şekil 4. Tehlike ve Risk İlişkisi

2.3. Risk Analizi

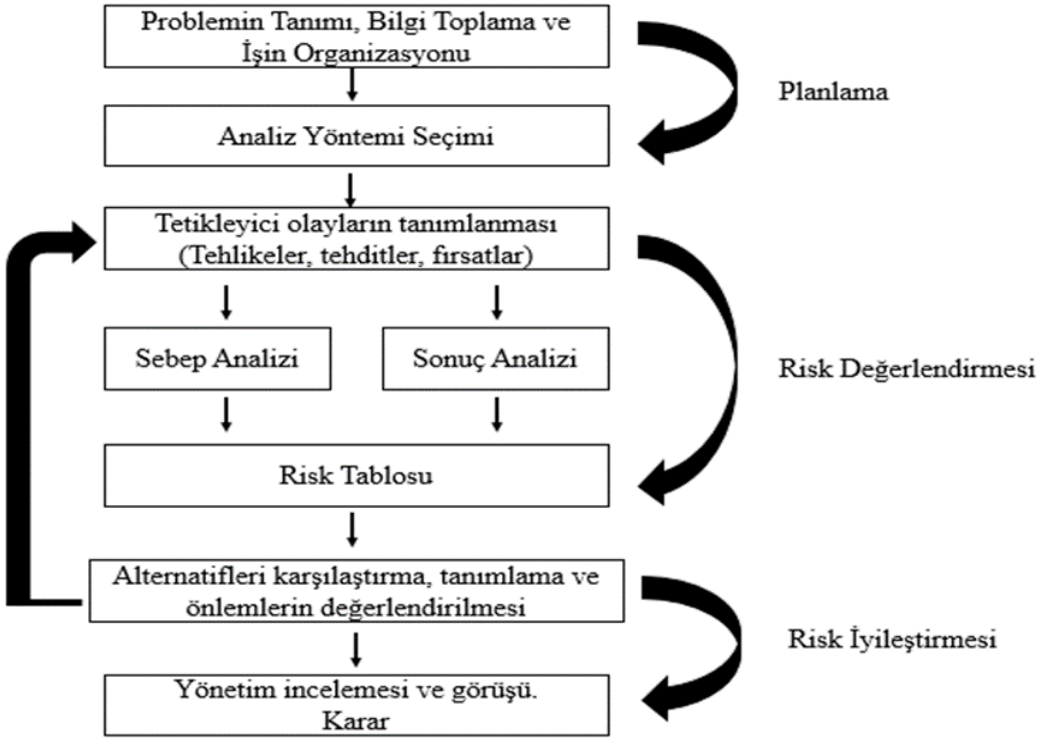
Risk analizi, risk değerlendirmesi, riskin tespiti, riskin iyileştirmesi ve risk yönetimi süreçleri literatürde iç içe geçmiştir ve çeşitli süreçlerde gösterilmektedir. Risk yönetimi, riski önlemek için tüm bu faaliyetlerin ve süreçlerin tamamını kapsar. Risk analizi, risk yönetimi süreci içinde değerlendirme yapılabilmesi ve neticesinde iyileştirme çalışmaları için önemli bir süreçtir.

Risk analizi sürecinde riskin tanımlanmasından, tespitine, değerlendirilmesinden, iyileştirme çalışmalarına kadar olan süreçlerin tahlil edilmesi sağlanır (Aven, 2008).

2.4. Risk Analizi Prosesleri

Risk yönetiminin merkezinde olan risk analizi prosesleri, uygulama alanından bağımsız temel bir yapıya sahiptir.

Risk analizinin süreçleri (Aven, 2008) Şekil 5 ’te gösterildiği ve devam eden bölümlerde yer aldığı üzere üç ana yapı üzerine kuruludur.



Şekil 5. Risk Analizi Sürecinin Ana Adımları

2.4.1. Proses 1: Planlama

Risk analizinin ilk süreci olan planlama, problemi ve riskleri tanımlama ile başlamaktadır. Risk analizini planlama süreci; problemi, riskleri tanımlama ve analiz yönteminin seçimi olarak iki aktiviteye ayrılabilir. Bir çalışma grubu oluşturulmalıdır. Bu grup, risk analizi ve sistem hakkında bilgi sahibi olmalıdır. Risk analizi için bir plan hazırlanmalıdır. Plan, faaliyetleri, sorumlulukları, iş ilerlemesini, zaman sınırlarını ve kilometre taşlarını, raporları ve bütçeyi kapsamalıdır.

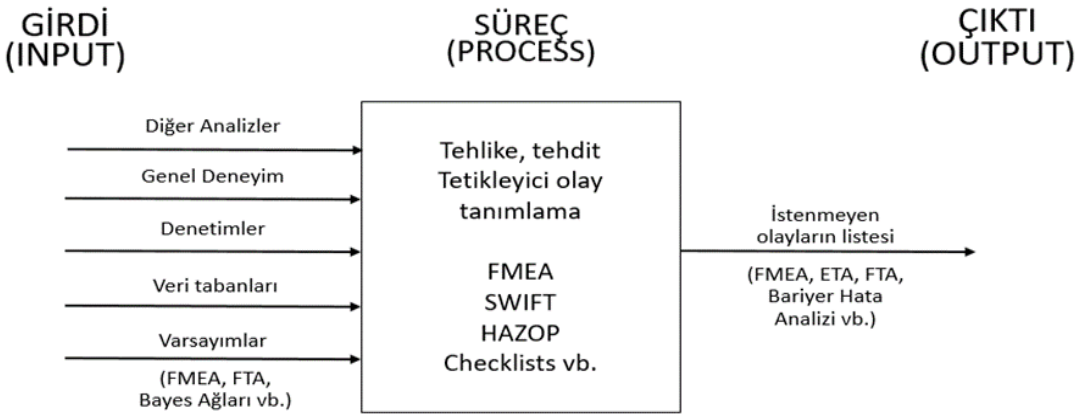
Problemi tanımlamak için, eski ve mevcut veriler incelenerek, bilgi toplanarak, beyin fırtınaları yapılarak işin/sistemin organizasyonu incelenir. Analiz yöntemi bu bağlamda seçilerek analizin amaçları tanımlanır ve hedefler belirlenir.

2.4.2. Proses 2: Risk Değerlendirmesi

Şekil 5 ‘te (Aven, 2008) görüldüğü üzere, risk değerlendirme süreci; tehlikeleri, tehditleri, tetikleyici olayların tanımlanması ile başlayan, sebep-sonuç analizleri ile risk tablosu elde edilen bir bütünü kapsamaktadır.

Risk analizini yürütme aşamasının ilk adımı, tetikleyici olayların tanımlanmasıdır. Bu nedenle, tetikleyici olayların tanımlanması, analizin kritik bir görevidir.

Bu tür bir tanımlama sürecini yürütmek için çeşitli yöntemler mevcuttur ve Şekil 6 'da görüldüğü üzere çeşitli teknikler/yöntemler listelenmiştir.



Şekil 6. Tetikleyici olayları tanımlama süreçleri ve çeşitli yöntemleri

2.4.3. Proses 3: Risk İyileştirmesi

Risk iyileştirme sürecinde, risk değerlendirmesi ve analizler ışığında alternatiflerin karşılaştırılması, önlemlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi yapılarak yönetim kararı için rehberlik sağlar. Çeşitli çözümler ve önlemler karşılaştırılarak, yapılan analiz ve değerlendirmeler böyle bir karara zemin oluşturur.

Nihai olarak yönetimin gözden geçirmesi ve değerlendirmesi sonucu riski önleme, azaltma, optimize etme, riski değiştirmeye ve iyileştirmeye yönelik araçların süreci ve uygulanmasıdır.

Risklerin nasıl ele alınacağı, organizasyonun risk yönetimi için hangi tür stratejiye sahip olacağı kararı yönetimsel bir sorumluluktur.

3. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

3.1. Metedolojiye Genel Bakış

Yürütülen çalışma, sağlık kuruluşunda gözlemler, alanında uzman sağlık çalışanları ile yüz yüze ve çevrimiçi görüşmeler, beyin fırtınaları ve konferans toplantıları yapılarak gerçek verilerle yürütülmüştür. Sağlık kuruluşunda COVID-19 ile mücadelede operasyonel ve süreç bazlı risk analizi ve değerlendirmesi yapılarak yeni bir güvenlik mühendisliği yaklaşımı sunulmuştur. Çalışma metodolojisinde FRAM-FMEA tabanlı PFVIKOR yöntemleri kullanılmıştır.

FRAM (Functional Resonance Analysis Method), hataların ve olumsuz koşulların belirlenmesi ve gelecekte bu olumsuz koşulların ve kayıpların önlenmesi için süreçlerin tanımlanması ve süreçler arasındaki ilişkinin/etkileşimin belirlenmesi için değerli bir modeldir. FRAM ile incelenen sistemin/kurumun/organizasyonun süreç ve süreçlerine bağlı tehlikeleri/hata modu etkileri belirlendikten sonra FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) yöntemi ile risk öncelik numarası hesaplanır. Bu hesaplamada; öznel ve nesnel yargılar kapsamında, dilbilim, sezgisel ve matematiksel mantık sonuçlarını en iyi ve optimist değere ulaştırmak için bulanık mantık yöntemi olan PFVIKOR (Pythagorean Fuzzy-VIKOR) kullanılır.

Çok kriterli karar verme analizi modellerinde, PFVIKOR yöntemi TOPSIS, BWM ve TODIM gibi diğer bulanık mantık yöntemlerinden çok daha iyi performans ve uyum göstermektedir (Opricovic & Tzeng, 2004).

VIKOR uzlaşmacı çözümlere optimizasyon sağlarken, TOPSIS gibi diğer çok kriterli karar verme yöntemleri geometrik yorumlara odaklanır ve AHP ikili karşılaştırmalara dayanır (Shemshadi ve diğerleri, 2011).

Karar vericiler, PFVIKOR'un alternatifleri ideal çözüme ne kadar yakın olduğunu derecelendirilerek seçeneklerini önceliklendirebilirler. PFVIKOR, her bir çözümün olasılığı hakkında daha kapsamlı bir bakış açısı sunar. Her bir kriterin karar için ne kadar önemli olduğuna bağlı olarak, karar vericiler bu kriterlere farklı bir ağırlık verebilirler.

3.2. Çalışma Evreni ve Limitleri

Tez çalışma evreni, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri etik kurulu kararı ile Göztepe Prof. Dr. Süleyman Yalçın Şehir Hastanesinde yürütülmüştür. Tez çalışması, uzmanların (karar vericilerin) görüş ve değerlendirmeleri ve yürütülen çalışmanın mekan/zaman boyutları ile sınırlıdır.

3.3. Veri Toplama

Pandemi ile mücadelenin pik yaptığı dönem baz alınarak, sağlık kuruluşlarında yürütülen faaliyetler yerinde gözlem yapılarak ve ilgili uzmanlar ile online ve yüz yüze toplantılar ve beyin fırtınaları yapılarak gerçek verilerle yürütülmüştür.

Karar vericiler, pandemi yönetiminde etkin ve kritik bir görev üstlenen Triaj Bölümü, Halk Sağlığı Bölümü ve Mikrobiyoloji Bölümü ekipleri ile oluşturulmuştur. Her ekip Bölüm Başkanı moderatörlüğünde, uzman doktorlar ve baş hemşireden oluşmuştur.

Karar vericiler, beyin fırtınaları ve yapılan toplantılar sonucunda süreçlere bağlı çıkarılan 25 tehlikeli durum/hata modunda yer alan olasılık, şiddet, tespit edilebilme parametre dereceleri Pisagor Bulanık Mantık dilsel ifadeleri dereceleri ile üretmiştir.

3.4. Bulanık Mantık ve Küme Teorileri

Lotfi Zadeh (Zadeh, 1965), geleneksel ikili klasik mantık veya Boolean matematiği muhakemesinin katılığına yenilikçi, esnek ve dinamik bir cevap sunan bulanık mantığa öncülük etmiştir. Bu mantık, mutlak doğru veya yanlış ikili durumlarından 0 ile 1 arasında değişen doğruluk derecelerinden ayrılır ve insan karar verme sürecinin karmaşıklığını ve belirsizliğini yansıtan bir doğruluk değerleri spektrumuna izin verir.

Gerçek dünya senaryoları genel olarak belirsizlikler ve muğlaklıklar içerdiğinden daha esnek ve mantıksal çerçeveler gerektirmektedir. Bu ince nüansları yönetmek ve matematiksel olarak işlemek için tasarlanmış bulanık mantık ve ona eşlik eden küme teorisi ortaya çıkmıştır (Zadeh, 1965). Bu teori elemanların ikili bir içerme veya dışlama yerine bir küme içinde üyelik derecelerine sahip olmalarına izin vererek belirsizlik ve muğlaklığın ele alınmasında devrim niteliğinde bir yaklaşım olmuştur.

Değerin, ifadenin doğru veya yanlış gibi mutlak yargılanmasının önüne geçerek doğruluk derecesini yansıtan ara değerlere (0 ile 1 arasındaki sonsuz sayı olasılığına) olanak ve esneklik sağlar. “Çok riskli”, “düşük riskli”, “muhtemel”, “nadiren”, “çok şiddetli” gibi doğası gereği belirsiz ancak anlamlı olan dilsel terimleri matematiksel olarak temsil etme yeteneğine olanak sağlar (Zadeh, 1973).

Bulanık mantığın esnekliği ve dinamikliği, girdilerin belirsiz veya eksik olabileceği karmaşık karar verme sistemlerine ve süreçlerine yardımcı olur (Zimmermann, 1987).

Bulanık mantık, yapay zeka, kontrol sistemleri, karar verme süreçleri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmıştır (Driankov & Reinfrank, 1993; Mamdani & Assilian, 1975).

Bulanık mantığın, küme teorileriyle entegrasyonu, gerçekliğin çok yönlü doğasını ele almak için, karmaşık ve öngörülemeyen bağlamlarda insan düşüncesini taklit edebilen sistemlerin oluşturulmasını sağlayarak yapay zekanın, robotların daha insan benzeri kararlar almasına olanak tanır. Belirsizliği ve muğlaklığı benimseyen bu teori ve yöntemler, karmaşık sorunlara daha incelikli bir yaklaşım sunmaktadır.

3.5. Pisagor Bulanık Kümeleri ve VIKOR

Pisagor bulanık kümeleri ilk olarak Atanassov (Atanassov, 1994) tarafından önerilen ve daha sonra Yager (Yager, 2013) tarafından genişletilerek uygulanan, sezgisel bulanık kümelerin kısıtlamalarına esneklik ve daha geniş bir üyelik ve üyelik dışı derece yelpazesine izin vererek belirsizlik ve muğlaklıkla başa çıkmak için daha geniş bir platform sağlar.

Pisagor bulanık kümeleri, bulanık küme teorisinin çeşitli uzantıları arasında güçlü bir araç olarak ortaya çıkmış ve karar vericilerin öznel ve kesin olmayan bilgilerini yakalamada daha fazla esneklik ve kesinlik düzeyi sağlamıştır (Atanassov, 1994; Yager 2013).

Pisagor bulanık kümeleri belirsizlikle başa çıkmak için bir çerçeve sağlarken, Opricovic'in VIKOR (Opricovic & Tzeng, 2004) tekniği çok kriterli karar vermeye sistematik ve ölçülebilir bir yaklaşım sunar, uzlaşmacı bir çözüme dayalı olarak alternatifleri sıralar.

Pisagor bulanık kümeleri ve VIKOR entegrasyonu, karmaşık karar verme senaryoları için uzlaşmacı optimist çözümler belirlemeye, belirsizlik ve karmaşıklık içeren çok kriterli karar verme süreçlerine daha kapsamlı bir yaklaşım sağlamıştır.

3.5.1. Pisagor Bulanık Kümeleri

Sezgisel bulanık kümeleri 1'den büyük üyelik ve üyelik olmama derecesi kriterini karşılamaz ve belirsizlik içeren, karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinde yetersiz kalır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için Pisagor bulanık kümeleri geliştirilmiştir (Yager, 2014).

Bu yaklaşımla, üyelik ve üyelik dışı derecelerin toplamı 1 'i aşabilirken, karelerin toplamı 1 'i geçemez (Zeng ve diğerleri, 2016).

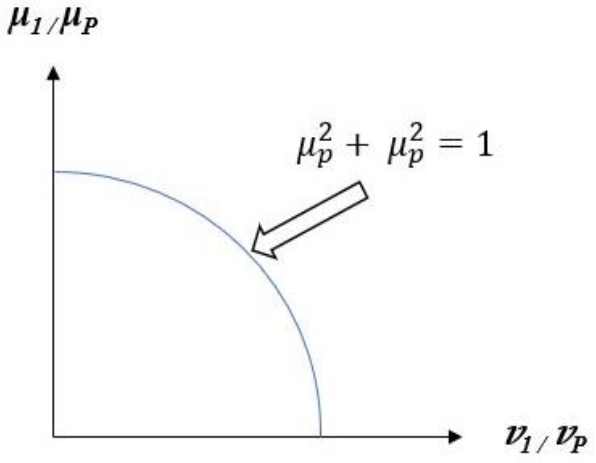
Pisagor bulanık kümelerine ait tanımlamalar ve formülasyonlar şu şekilde gösterilmektedir:

Tanım 1: X 'i söylem evreninde bir küme olarak kabul ediniz. X kümesinin nesnesi Pisagor bulanık kümesi olan P aşağıdaki forma sahiptir (Zhang & Xu, 2014):

$$P = \{< x, P(\mu_P(x), v_P(x)) > | x \in X \} \quad (F.1)$$

μP(x) : X → [0, 1] üyelik derecesini ve vP(x) : X → [0, 1] üye olmama derecesini gösterir. Her x ∈ X için;

$$0 \leq \mu_P(x)^2 + v_P(x)^2 \leq 1 \quad (F.2)$$



Şekil 7. Pisagor Bulanık Kümesi Üyelik Dereceleri

Pisagor bulanık kümesi P için, πP(x) = $\sqrt{1 - \mu^2 P(x) - v^2 P(x)}$ x 'in P 'ye göre belirsizlik derecesi olarak gösterilir.

Tanım 2: İki Pisagor bulanık sayısı P_1 = P(μ_{p1} , v_{p1}) ve P_2 = P(μ_{p2} , v_{p2}) olmak üzere, λ> 0 için aşağıdaki işlemler tanımlanır (Zhang & Xu, 2014):

$$P_1 \oplus P_2 = \mathrm{P}\left(\sqrt{\mu_{p1}^2 + \mu_{p2}^2 - \mu_{p1}^2 \mu_{p2}^2}, v_{p1} v_{p2}\right) \quad (F.3)$$

$$P_1 \otimes P_2 = \mathrm{P}\left(\mu_{p1}\mu_{p2}, \sqrt{v_{p1}^2 + v_{p2}^2 - v_{p1}^2 v_{p2}^2}\right) \quad (F.4)$$

$$\lambda P_1 = \mathrm{P}\left(\sqrt{1-\left(1-\mu_{p1}^2\right)^{\lambda}},\ (v_{p1})^{\lambda}\right), \lambda > 0 \qquad \text{(F.5)}$$

$$P_1^{\lambda} = \mathrm{P}\left((\mu_{p1})^{\lambda}, \sqrt{1-\left(1-v_{p1}^2\right)^{\lambda}}\right), \lambda > 0 \quad \text{(F.6)}$$

Tanım 3: İki Pisagor bulanık sayısı $P_1 = \mathrm{P}(\mu_{p1}, v_{p1})$ ve $P_2 = \mathrm{P}(\mu_{p2}, v_{p2})$ olmak üzere, doğal "yarı-sıralaması" aşağıdaki gibi belirlenir (Zhang & Xu, 2014):

$P_1 \geq P_2$; $\mu_{p1} \geq \mu_{p2}$ ve $v_{p1} \leq v_{p2}$ koşulları karşıladığında gerçekleşmiş olur.

Zhang ve Xu (Zhang & Xu, 2014) iki Pisagor bulanık sayısı büyüklüklerini karşılaştırmak için aşağıdaki gibi bir hesaplama fonksiyonu oluşturmuştur:

$$\mathrm{s}(P_1) = (\mu_{p1})^2 - (v_{p1})^2 \quad \text{(F.7)}$$

Tanım 4: İki Pisagor bulanık sayısını karşılaştırmak için, Tanım 3 'te önerilen hesaplama fonksiyonlarına göre aşağıdaki kurallar (Zhang & Xu, 2014) tanımlanmıştır:

I. Eğer, $\mathrm{s}(P_1) < \mathrm{s}(P_2)$ ise, P1 $\prec$ P2

II. Eğer, $\mathrm{s}(P_1) > \mathrm{s}(P_2)$ ise, P1 $\succ$ P2

III. If $\mathrm{s}(P_1) = \mathrm{s}(P_2)$ ise, P1 $\sim$ P2

3.5.2. VIKOR Yöntemi

VIKOR Sırp dilinde çok kriterli optimizasyon ve uzlaşmacı çözüm anlamına gelmektedir (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje). Bunu ilk öneren Opricovic (Opricovic & Tzeng, 2004) olmuştur.

Alternatifleri, kriterleri ve bunların ilgili performans ölçümlerini (kriterlere göre alternatif değerler) kapsayan bir kriter ağırlık matrisi ve bir karar matrisi gerektirir. Aşağıda VIKOR sürecinin aşamaları verilmiştir (Garg, 2016):

Adım 1. Problem tanımlanır ve bir karar matrisi oluşturulur.

Karar vericilerin sübjektif değerlendirmelerine göre Pisagor bulanık karar matrisi ilk adımda oluşturulur. Cui (Cui ve diğerleri, 2018) ve Perez'in (Perez ve diğerleri, 2018) yedi noktalı ve dokuz noktalı Pisagor bulanık dilsel ölçeği, karar vericiler tarafından hata etkilerini/tehlikeleri değerlendirmek için kullanılır. Her bir karar vericinin görüşü, Pisagor bulanık sayılarında karar matrisini oluşturmak için bir grup anlaşmasına entegre edilir.

Adım 2. Her bir kriter fonksiyonu için en iyi ve en kötü değerleri belirlenir.

Adım 3. VIKOR 'a özgü olan S ve R değerlerini belirlenir.

Sa ve Ra, Yazdi'nin (Yazdi, 2018) genelleştirilmiş Pisagor bulanık sıralı ağırlıklı standartlaştırılmış mesafe operatörü (GPFOWSD) kullanılarak oluşturulan ve hesaplanan VIKOR 'a özgü puanlardır.

$$\mathrm{Sa} = \mathrm{GPFOWSD}\left(\tilde{p}_1^{*}, \tilde{p}_1^{-}, \tilde{r}_{a1}, \ldots, \tilde{p}_s^{*}, \tilde{p}_s^{-}, \tilde{r}_{as}\right) = \left(\sum_{m=1}^{s} w_m d_m^{-\lambda}\right)^{1/\lambda} \quad , a = 1, 2, \ldots, f \quad \text{(F.8)}$$

$$\mathrm{Ra} = \left(max_m\left(w_m d_m^{-\lambda}\right)\right)^{1/\lambda} , a = 1, 2, \ldots, f \quad \text{(F.9)}$$

Adım 4. S ve R değerlerine dayalı olarak Q değerlerini belirlenir.

"Qa" endeksi bu dördüncü adımda aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$\mathrm{Qa} = \mathrm{v}\frac{\mathrm{S_a} - \mathrm{S}^{*}}{\mathrm{S}^{-} - \mathrm{S}^{*}} + (1 - \mathrm{v})\frac{\mathrm{R_a} - \mathrm{R}^{*}}{\mathrm{R}^{-} - \mathrm{R}^{*}} \quad a = 1, 2, \ldots, f \quad \text{(F.10)}$$

$$\text{where } S^{*} = \min_a S_a, S^{-} = \max_a S_a, R^{*} = \min_a R_a, R^{-} \max_a R_a.$$

Maksimum grup fayda ağırlığı v iken, bireysel pişmanlık ağırlığı (1-v)'dir. “v” genellikle 0,5 olarak ayarlanır.

Bu çalışmada v, 0,5 olarak belirlenmiştir.

Adım 5. Alternatifleri S, R ve Q değerlerine göre azalan sırada sıralanır.

Adım 6. İki gereksinim karşılanıyorsa (kabul edilebilir istikrar ve kabul edilebilir fayda) bir uzlaşma seçeneği önerilir.

VIKOR yöntemi, uzlaşmacı çözümlere yaptığı benzersiz vurguyla, birbiriyle çelişen kriterlerin ortasında karar vermek için yapılandırılmış bir yol sunar. Giderek daha

karmaşık hale gelen dünyada çok kriterli kararlar yaygınlaştıkça, VIKOR gibi araçlar muhtemelen önem kazanmaya devam edecektir.

3.6. FRAM (Functional Resonance Analysis Method)

Erik Hollnagel, Fonksiyonel Rezonans Analizi Yöntemine (Hollnagel, 2004) öncülük etmiştir. FRAM, mevcut sosyo-teknik sistemlerin karmaşıklığı ve dinamizmi ile başa çıkmada genellikle yetersiz kalan geleneksel risk analizi metodolojilerinin limitlerini aşmak, fonksiyonel bazda süreçlerin etkileşimi ile bütünsel olarak ele almak için oluşturulmuştur.

FRAM, doğrusal bir neden-sonuç perspektifine dayanan geleneksel tekniklerin aksine, güvenliği sistematik bir bakış açısıyla ele alır. Karmaşık sistemlerdeki hata/arızaların tek tek bileşen hata/arızalarından kaynaklı olduğundan ziyade farklı sistem fonksiyonları arasındaki karmaşık ve beklenmedik etkileşimlerden kaynaklandığı fikrine dayanmaktadır (Hollnagel, 2012).

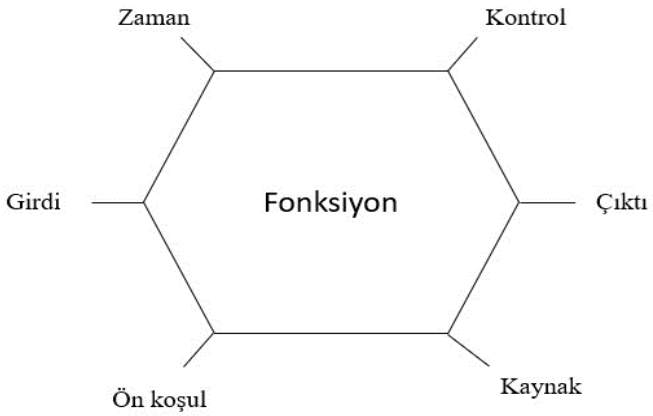
Bir sistem, ayrı ayrı bileşenlerin tümlenmesi olarak değil, FRAM 'da birbirleriyle etkileşime giren fonksiyonların bir araya getirilmesi olarak görülür. Girdi, çıktı, ön koşullar, kaynaklar, kontrol ve zaman, herhangi bir fonksiyonu tanımlayan altı özelliktir. Sistemin fonksiyonel rezonansı, bu özelliklerdeki dinamik dalgalanmadan kaynaklanır (Hollnagel, 2012).

Yöntemin güvenilir ve uyarlanabilir bir araç olduğu, geleneksel neden-sonuç paradigmasından uzaklaşarak ve karmaşık sosyo-teknik sistemlerin daha bütünsel ve gerçekçi bir görünümüne doğru kayarak sistem güvenliği ve esnekliği konusunda yeni bir bakış açısı sunduğu görülmüştür (Hollnagel, 2018).

FRAM, sağlık hizmetleri gibi karmaşık sosyo-teknik sistemlerin anlaşılması ve yönetilmesi için yeni ve özgün bir yaklaşım benimsemektedir. FRAM, fonksiyonel değişkenliğe ve bunun rezonansa neden olma eğilimine odaklanarak sistem güvenliğini ve performansını yönlendiren faktörler hakkında temel bilgiler verir.

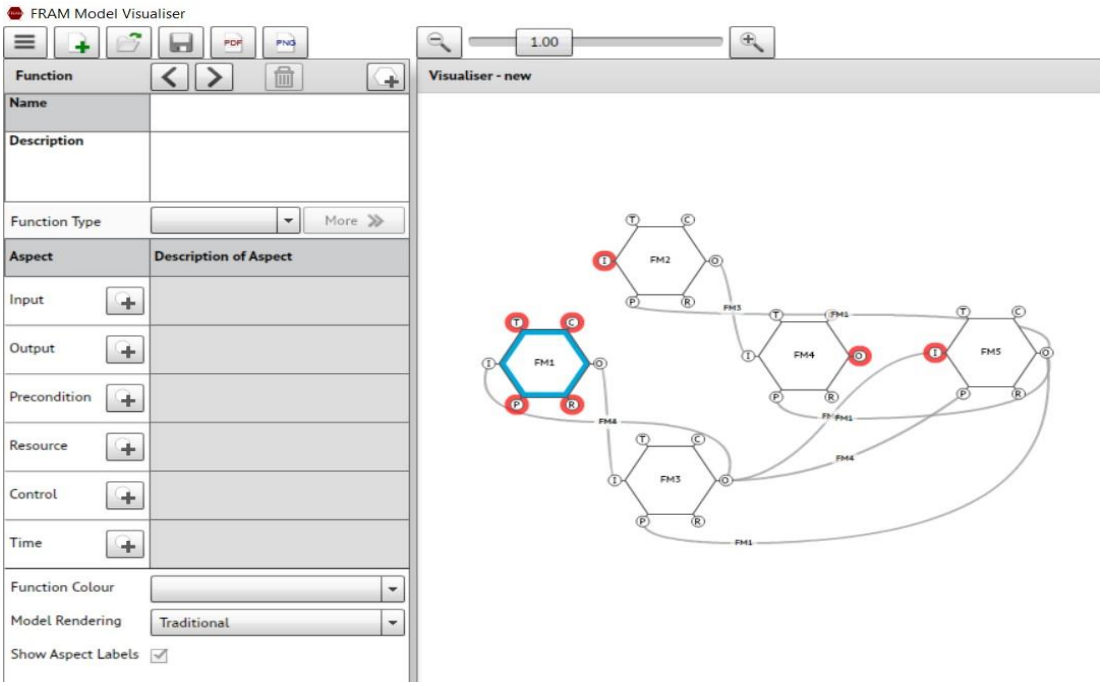
FRAM aşağıdaki gibi dört adımda uygulanmaktadır (Hollnagel, 2012):

Adım 1. Analizin amaç ve kapsamı tanımlanır. Fonksiyonların tanımlanması ve karakterize edilmesi sağlanır. Fonksiyon ve fonksiyonun altı yönü Şekil 8‘ de gösterildiği gibidir.



Şekil 8. FRAM Fonksiyon Gösterimi (Hollnagel, 2012)

Adım 2. Bir kontrol listesi karakterizasyonu kullanarak performans değişkenliği belirlenir. FRAM yazılım uygulaması ile (Fram Model Visualiser, 2014) tanımlanan fonksiyonlar, bu fonksiyonların diğer fonksiyonlar ile bağlantıları ve etkileşimi Şekil ‘de gösterilmektedir.



Şekil 9. Fonksiyon tanımlamaları ve diğer fonksiyonlar ile etkileşimi

Adım 3. Performans değişkenliği toplanır.

Adım 4. Değişkenliğin önündeki engeller belirlenir ve performans değişkenliğine gerekli yanıtlar tanımlanır.

3.7. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA, bir ürün veya süreçteki olası hataları ortaya çıkmadan önce belirlemeye yönelik bir yöntemdir. Tüm potansiyel hata modlarının haritalanmasını; modların ortaya çıkma olasılığı, şiddeti ve tespit edilebilmesi açısından derecelendirilmesini gerektirir (Villemeur, 1992).

"Hata modu" (Failure Mode) FMEA 'de bir ürün veya sürecin başarısız olabileceği yol olarak tanımlanır. Bu, tasarım kusurları, insan hatası, süreç öngörülemezliği veya diğer beklenmeyen nedenlerden kaynaklanabilir. Bu hataların etkileri ise bu hataların olası yansımaları ile ilgilidir (Stamatis, 2003).

Hata modu ve etki analizi (FMEA), çeşitli mühendislik ve güvenilirlik metodolojileri ile iyi çalışan güçlü bir problem önleme tekniğidir. FMEA, olası ürün/süreç hatalarının ve bu hatalara/tehlikelere yönelik planlanan müdahalelerin tasviri üzerindeki geniş etkisi sayesinde etkili risk yönetimi geliştirir (Ireson ve diğerleri, 1995).

“Risk priority number (RPN)”, risk öncelik skoru (RÖS), "Olasılık (Occurance)”, "Şiddet (Severity)" ve "Tespit edilebilme (Occurance)” olmak üzere üç parametre unsurunun aşağıdaki gibi çarpılmasıyla hesaplanır:

RÖS = (Olasılık) * (Şiddet) * (Tespit edilebilme) (F.11)

Karar vericiler/uzmanlar bu üç parametreyi değerlendirme standartlarına dayalı olarak 1 ile 10 arasında bir ölçekte değerlendirir. RÖS riskinin bir ölçütü olduğundan, hataları/tehlikeleri derecelendirmek ve eylemleri önceliklendirmek için kullanılabilir. Eylemler en yüksek RÖS 'e sahip hata/tehlikeye öncelik verilerek gerçekleşmektedir. Geleneksel FMEA adımları Şekil 10‘da ve aşağıda verilmiştir:

Adım 1. Hata modları tanımlanır ve bu modların Olasılık, Şiddet ve Tespit edilebilme tablosu oluşturulur.

Adım 2. Bir sürecin kapsamı, amacı ve hedefini araştırılır. Süreç akış diyagramlarının etkileşimi tanımlanır.

Adım 3. Zorluklar, endişeler ve iyileştirme alanları gibi olası süreç başarısızlıkları belirlenir.

Adım 4. Başarısızlıkların diğer süreçler, operasyonlar, müşteriler ve devlet düzenlemeleri üzerindeki etkileri belirlenir.

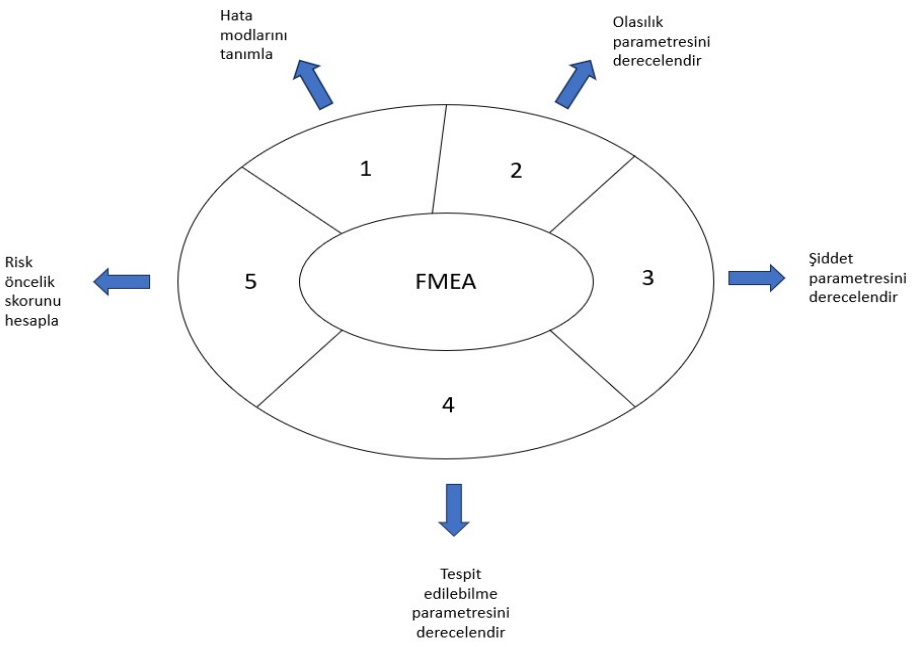
Adım 5. Olası hataların temel nedeni belirlenir.

Adım 6. Olasılık derecesi: olası bir hata için meydana gelme sıklığının tahmini derecelendirilir.

Adım 7. Şiddet derecesi: olası hataların etkisinin şiddet derecesi derecelendirilir.

Adım 8. Tespit edilebilme derecesi: proses kontrolünde bir hatanın belirli bir kök nedenini tespit etme şansı derecelendirilir.

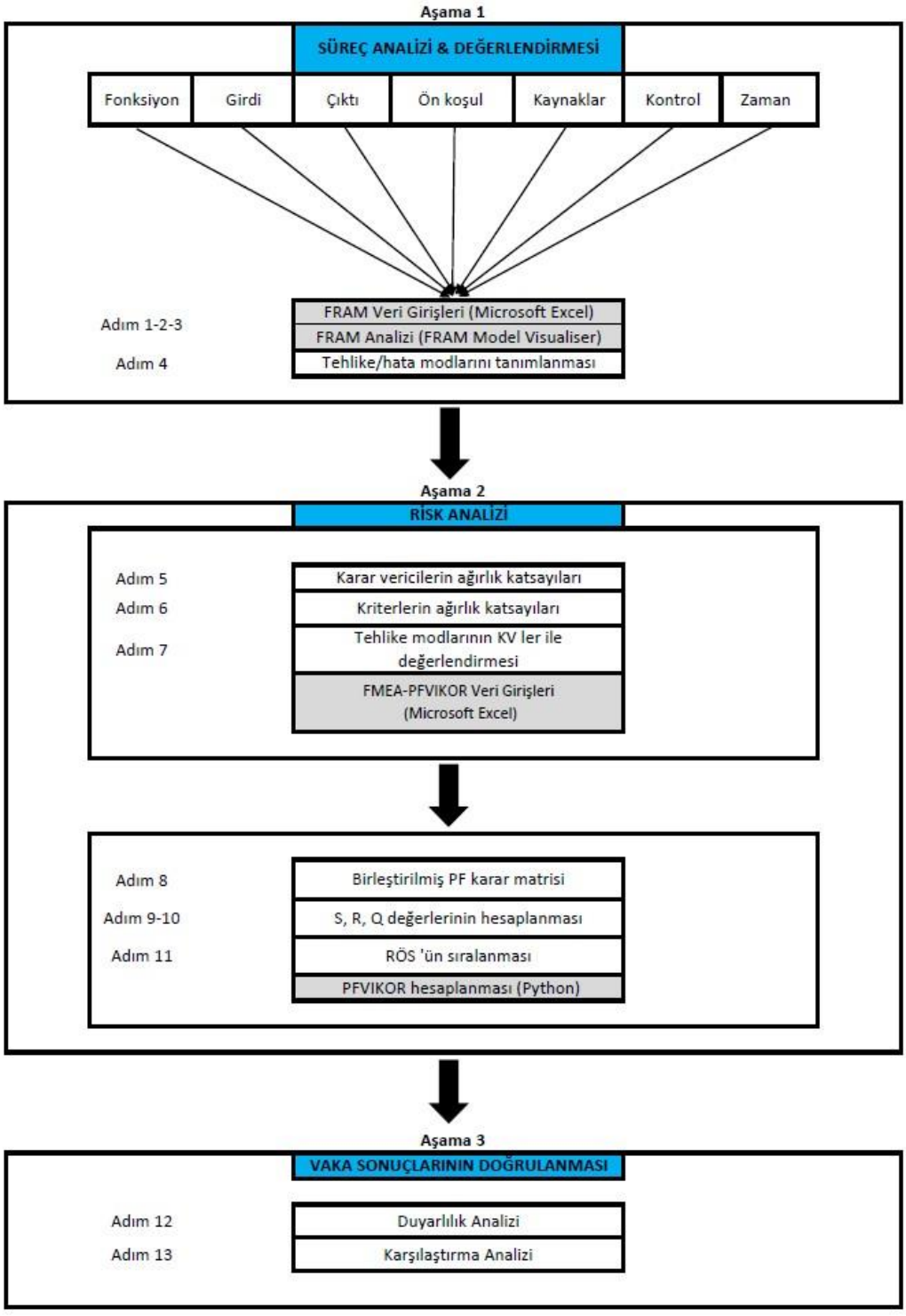
Adım 9. RPN hesaplaması: Üç parametre, derecelendirme girdilerinin çarpılması ile elde edilir (olasılık, şiddet, tespit edilebilme dereceleri).



Şekil 10. Geleneksel FMEA adımları

3.8. Önerilen FRAM ve FMEA tabanlı PF-VIKOR Çerçevesi

Sunulan entegre hibrit metodoloji, FRAM ve FMEA tabanlı PF-VIKOR, Şekil 11 'de ana yapısı ile gösterildiği gibi üç aşama ve on üç adım içermektedir.



Şekil 11. Önerilen yaklaşımın ana yapısı

Önerilen yaklaşım aşağıda yer aldığı gibi on üç adımdan oluşmaktadır:

Adım 1. İncelenen sistemin süreçleri araştırılır.

Adım 2. Süreçlerdeki fonksiyonlar tanımlanır.

Adım 3. Fonksiyonlar için değişkenlik, ön koşullar, kaynaklar ve her bir süreçle olan ilişkisi belirlenir.

Adım 4. Fonksiyonlardaki tehlike/hata modları tanımlanır.

Adım 5. Karar vericilerin ağırlıkları belirlenir (KV1, KV2, KV3).

Adım 6. Kriterlerin, risk parametre ağırlıkları belirlenir (Olasılık, Şiddet, Tespit edilebilme).

Adım 7. Karar vericilerin öznel görüşlerine dayalı olarak tehlike/hata modları bulanık dilbilimsel terimler ile değerlendirilir. Çalışmada yedi noktalı (Cui ve diğerleri, 2018) Pisagor bulanık dilsel ölçek kullanılır.

Adım 8. Karar vericilerin öznel değerlendirmelerine göre birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi oluşturulur.

Adım 9. VIKOR "S" ve "R" değerleri eşitlik 8-9'daki gibi hesaplanır (F.8 - F.9). Çalışmada “v” değeri 0,5 olarak kabul edilir.

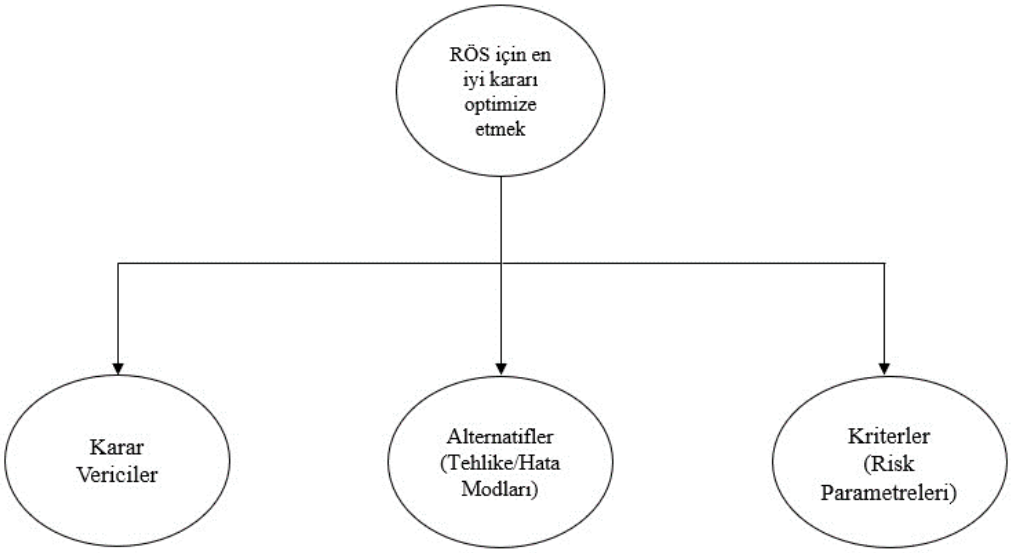
Adım 10. VIKOR "Q" değerleri eşitlik 10'daki gibi hesaplanır (F.10).

Adım 11. “Q” değerleri dikkate alınarak risk öncelik skorlarının sıralaması yapılır.

Adım 12. Vaka sonuçlarını doğrulamak için duyarlılık analizi yapılır.

Adım 13. Vaka sonuçlarını doğrulamak için karşılaştırma analizi yapılır.

Önerilen yaklaşımın hedef hiyerarşisi Şekil 12’de gösterilmektedir.



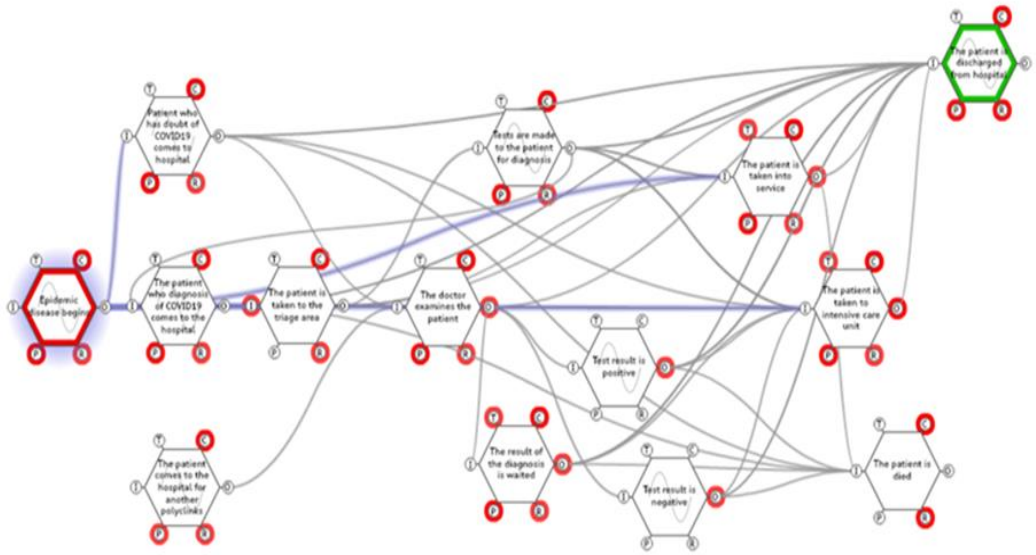
Şekil 12. Önerilen yaklaşımın hedef hiyerarşisi

4. VAKA ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

Pandemi gibi felaket senaryolarında; sağlık kuruluşlarında COVID-19 virüsü ile mücadelede ilgili süreçleri ve tehlikeleri belirlemek ve riskleri analiz etmek için Şehir Hastanesinde bir vaka çalışması yapılmıştır.

Aşama 1.

Önerilen entegre yaklaşım Aşama 1 ‘de yer alan, Adım 1, Adım 2 ve Adım 3 için, (Hollnagel, 2012) 'de verilen Fonksiyonel Rezonans Analizi Yöntemi kullanılmıştır. Sağlık kuruluşlarında COVID-19 virüsünün bulaşmasını ve yayılmasını etkileyen süreç haritası FRAM analizi (Tarakçı ve diğerleri, 2020) ile elde edilmiş ve Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Sağlık Kuruluşlarında Pandemi ile Mücadelede Etkileşimli Süreç Haritası (Tarakçı ve diğerleri, 2020)

Bu vaka çalışması, üç karar verici, yirmi beş tehlike/hata modu ve üç kriter içermektedir. Tehlike/hata modları, etkileşimli süreç haritası (Tarakçı ve diğerleri, 2020) kapsamında sağlık uzmanları ve çalışanları ile beyin fırtınaları ve toplantılar yapılarak belirlenmiştir.

Adım 4 için, tehlike/hata modlarının yer aldığı liste Tablo 1'de gösterilmektedir. "FM", tehlike/hata modülleri; "KV1", "KV2" ve "KV3", karar vericiler için tanımlanmaktadır. Karar vericiler, pandemi sırasında sağlık kuruluşlarında etkin ve kritik bir role sahip olan Triyaj Departmanı, Halk Sağlığı Departmanı ve Mikrobiyoloji Departmanı ekiplerinden oluşturulmuştur. Her karar verici ekipleri, Bölüm Başkanı moderatörlüğünde, bir uzman doktor ve bir baş hemşireden oluşmuştur.

Karar vericiler, olasılık, şiddet ve tespit edilebilme parametrelerini klasik FMEA yöntemi ve yedi noktalı Pisagor bulanık mantık dilsel terimleri ile derecelendirmiştir.

Tablo 1. Tehlike/Hata Modu Tanımları

Tehlike/Hata Modları	Hata Modları/Tehlike Tanımları
FM1	Hastane giriş ve çıkışlarında HES kodu kontrolu sağlanmaması
FM2	Hastaların maske takmaması
FM3	Sağlık çalışanlarının maske ve kişisel koruyucu donanım takmaması
FM4	C-19 taşıyan/taşıma şüphesi olan hastanın diğer poliklinik ve servislere gitmesi
FM5	Hastanede pandemi ile mücadele için ayrı ve özel alanların, yolların olmaması
FM6	Pandemi ile mücadelede işaretleme, levha vb. ile yönlendirmelerin eksik ve yetersiz olması
FM7	Sosyal mesafe ve hijyen kurallarına uyulmaması
FM8	Pandemi ile mücadelede sağlık çalışanlarına gerekli ve yeterli eğitimlerin verilmemesi
FM9	Pandemi ile mücadelede sağlık çalışanlarına gerekli ve yeterli KKD sağlanmaması
FM10	Pandemi ile mücadelede acil eylem planı ve çalışma planı organizasyonlarının yapılmaması
FM11	Sağlık çalışanlarının konaklama, ulaşım, yemek organizasyonun yapılmaması
FM12	Uygun havalandırma sisteminin olmaması
FM13	Çöp ve atıkların tahliyesinin kontrolsüz yapılması
FM14	İlgili birimlerde görevli sağlık personeli harici bilgi dışında sağlık çalışanlarının bulunması
FM15	Test kiti ve tıbbi malzemelerin yeterli sayıda olmaması
FM16	Test kiti ve malzemelerin uygun koşullarda ve izole şekilde muhafaza edilmemesi
FM17	Test yapılan hastanın filyasyon ekibince takip, kontrol ve koordinasyonun sağlanmaması
FM18	Servislerin yeterli kapasiteye sahip olmaması
FM19	Acil servislerin yeterli kapasiteye sahip olmaması
FM20	Hasta refakatçi ve ziyaretçi kabulü için talimat ve kuralları uyulmaması
FM21	Hasta/hastaların raporlanmadan ve kayıt altına almadan taburcu edilmesi
FM22	Hasta vefat ettiyse talimat ve kurallar dahilinde gasilhaneye alınmaması
FM23	Gasilhane çalışanlarının maske ve kişisel koruyucu donanım takmaması
FM24	Gasilhane ve defin işlemleri için hasta yakınlarının talimat ve kurallara uymaması
FM25	Pandemi ile mücadelede görevli tüm sağlık personellerinin düzenli teste tabi olmaması

Aşama 2.

Adım 5 için, risk değerlendirmesinde, her bir karar vericiye farklı ağırlıklar uygulanmaktadır. Karar vericiler (Kabir ve diğerleri, 2018) 'te açıklanan hesaplama yaklaşımı kullanılarak atanmıştır. Her karar vericiye bir ağırlık atanır (wkv > 0 ve ∑wkv = 1). Atanan ağırlıklar sırasıyla KV1, KV2 ve KV3 için 0,4, 0,3 ve 0,3'tür.

Tablo 2, çalışma evreninde yer alan karar vericilerin listesini göstermektedir.

Tablo 2. Karar vericilerin listesi ve ağırlıkları

Karar Vericiler	**Bölüm/Posizyon (Süreç rolü)**	**Tecrübe**	**Eğitim**	**Yaş**	**Ağırlık skoru**
KV1	Triyaj (5)	4	4	3	16/40 = 0,4
KV2	Halk Sağlığı (4)	3	3	2	12/40 = 0,3
KV3	Mikrobiyoloji (4)	3	3	2	12/40 = 0,3

Adım 6 için, risk değerlendirmesinde kriterlerin belirlenmesinde üç FMEA parametresi kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları PF-CRITIC metodu kullanılarak elde edilir. CRITIC yöntemi, korelasyon katsayısını hesaba katarak kriterlerin objektif ağırlıklarını elde etmek için geliştirilmiştir (Diakoulaki ve diğerleri, 1995). PF-CRITIC sürecinin uygulaması aşağıda özetlenmiştir (Han & Rani, 2022).

Her bir kriterin standart sapması σ_j (F.12) 'te verildiği gibi tahmin edilir.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} (\tilde{x}_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}}, \text{ üzerinde } \bar{x}_j = \sum_{i=1}^{m} \tilde{x}_{ij}/m \quad \text{(F.12)}$$

Eşitlik (F.13) 'ü kullanarak kriter çiftleri için korelasyon katsayılarını belirlenir.

$$r_{jt} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(\tilde{x}_{ij} - \bar{x}_j)(\tilde{x}_{it} - \bar{x}_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(\tilde{x}_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^{m}(\tilde{x}_{it} - \bar{x}_t)^2}} \quad \text{(F.13)}$$

Eşitlik (F.14) ile her bir kriter için bilgi miktarı c_j tahmin edilir.

$$c_j = \sigma_j \sum_{i=1}^{n}(1 - r_{jt}) \quad \text{(F.14)}$$

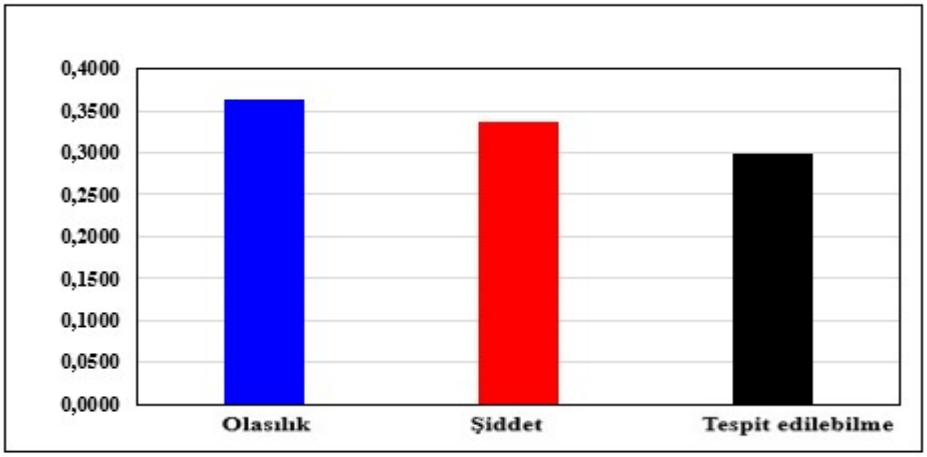
Eşitlik (F.15) kullanılarak kriter ağırlıkları bulunur.

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^{n} c_j} \quad \text{(F.15)}$$

Eşitlik (F.12) - (F.14) kullanılarak, her bir zorluğun kritik ve bilgi miktarı tahmin edilir. Son olarak, kriter ağırlıkları Eşitlik (F.15) kullanılarak hesaplanır ve Tablo 3'te gösterilir.

Tablo 3. Kriter ağırlıkları (Risk parametreleri)

	Olasılık	**Şiddet**	**Tespit edilebilme**
FM1	0.0302	0.8163	0.2032
FM2	0.0665	0.8407	0.3787
FM3	0.0000	0.9173	0.1279
FM4	0.9701	0.7462	0.3787
FM5	0.0000	0.8407	0.0481
FM6	0.0000	0.8407	0.0481
FM7	0.3853	0.7462	0.2724
FM8	0.0000	0.8407	0.0000
FM9	0.0000	0.8407	0.0000
FM10	0.2377	1.0000	0.0481
FM11	0.6314	0.6505	0.2974
FM12	0.3474	0.7462	0.4765
FM13	0.1398	0.5731	0.4714
FM14	0.5176	0.0000	1.0000
FM15	0.0665	0.8163	0.0481
FM16	0.0302	0.9173	0.0000
FM17	0.1710	1.0000	0.2032
FM18	1.0000	0.8163	0.0662
FM19	1.0000	1.0000	0.0000
FM20	0.8713	0.6735	0.2724
FM21	0.0000	1.0000	0.0000
FM22	0.0000	0.8407	0.0481
FM23	0.0000	0.8407	0.0481
FM24	0.6314	0.4508	0.3787
FM25	0.0000	0.8163	0.1060
σj	0.3542	0.2053	0.2259
Cj	0.7001	0.6478	0.5747
Wj	0.3641	0.3369	0.2989



Şekil 14. Kriter ağırlıkları (Olasılık-Şiddet-Tespit edilebilme)

Tablo 3 ve Şekil 14' te görüleceği üzere, olasılık 0.3641 ağırlık ile en önemli faktör iken, şiddet 0.3369 ağırlık ile ikinci, tespit edilebilirlik ise 0,2989 ağırlıkla üçüncü önemli faktördür.

Adım 7 için, karar vericilerin 25 tehlike/hata modunun her birine ilişkin Pisagor dilbilim terimleriyle değerlendirmeleri elde edilmiştir. Tehlike/hata modlarının değerlendirilmesinde (Cui ve diğerleri, 2018; Perez ve diğerleri, 2018) 'te sunulan dilsel terimler kullanılmıştır.

Tablo 4 ve Tablo 5, FMEA yönteminin üç risk parametresine dayalı olarak tehlike/hata modlarını değerlendirmek için yedi ve dokuz noktalı Pisagor bulanık dilsel ölçekleri göstermektedir. Dilsel parametreler aralık değerleri ile Pisagor bulanık sayılarına dönüştürülmüştür.

Tablo 4. Yedi noktalı Pisagor bulanık dil ölçeği (Cui ve diğerleri, 2018).

Anlamı	**Karşılık gelen Pisagor bulanık sayısı (u, v)**
Very Low (VL)	(0.15,0.85)
Low (L)	(0.25,0.75)
Moderately Low (ML)	(0.35,0.65)
Medium (M)	(0.50,0.45)
Moderately High (MH)	(0.65,0.35)
High (H)	(0.75,0.25)
Very High (VH)	(0.85,0.15)

Tablo 5. Dokuz noktalı Pisagor bulanık dil ölçeği (Perez ve diğerleri, 2018).

Anlamı	Corresponding Pythagorean fuzzy number (u, v)
Extremely low (EL)	(0.10, 0.99)
Very little (VL)	(0.10, 0.97)
Little (L)	(0.25, 0.92)
Middle little (ML)	(0.40, 0.87)
Middle (M)	(0.50, 0.80)
Middle high (MH)	(0.60, 0.71)
Big (B)	(0.70, 0.60)
Very tall (VT)	(0.80 ,0.44)
Tremendously high (TH)	(0.10, 0.00)

Adım 7 için, tehlike/hata modları, Tablo 4 ‘te yer alan, yedi noktalı Pisagor bulanık dilbilimsel terimlere göre üç karar verici tarafından Tablo 6 ve Tablo 7 'de gösterildiği gibi değerlendirilir.

Tablo 6. Üç KV 'nin alternatifleri Pisagor bulanık dilbilimsel terimleriyle değerlendirme derecelendirmeleri

	Olasılık	Şiddet	Tespit edilebilme
FM1	(VL,L,VL)	(H,H,VH)	(L,L,L)
FM2	(VL,L,L)	(VH,H,H)	(ML,ML,L)
FM3	(VL,VL,VL)	(VH,H,VH)	(L,L,VL)
FM4	(H,MH,M)	(H,H,H)	(ML,ML,L)
FM5	(VL,VL,VL)	(VH,H,H)	(VL,VL,L)
FM6	(VL,VL,VL)	(VH,H,H)	(VL,VL,L)
FM7	(ML,M,ML)	(H,H,H)	(L,L,ML)
FM8	(VL,VL,VL)	(VH,H,H)	(VL,VL,VL)
FM9	(VL,VL,VL)	(VH,H,H)	(VL,VL,VL)
FM10	(ML,L,ML)	(VH,H,H)	(VL,VL,L)
FM11	(ML,M,M)	(MH,H,H)	(ML,L,L)
FM12	(ML,L,ML)	(H,H,H)	(L,M,ML)
FM13	(VL,ML,MH)	(VH,M,MH)	(ML,ML,ML)
FM14	(ML,M,ML)	(ML,ML,ML)	(MH,M,ML)
FM15	(VL,L,L)	(H,H,VH)	(VL,VL,L)
FM16	(VL,ML,L)	(VH,H,VH)	(VL,VL,VL)
FM17	(L,ML,L)	(VH,VH,VH)	(L,L,L)
FM18	(MH,MH,MH)	(H,VH,H)	(L,VL,VL)

FM19	(MH,MH,MH)	(VH,VH,VH)	(VL,VL,VL)
FM20	(MH,MH,M)	(H,H,MH)	(L,ML,L)
FM21	(VL,VL,VL)	(VH,VH,VH)	(VL,VL,VL)
FM22	(VL,VL,VL)	(VH,H,H)	(VL,VL,L)
FM23	(VL,VL,VL)	(VH,H,H)	(VL,VL,L)
FM24	(M,M,M)	(M,MH,H)	(ML,ML,L)
FM25	(VL,VL,VL)	(H,H,VH)	(VL,L,L)

Tablo 7. Üç KV 'nin alternatifleri değerlendirme dereceleri noktaları

	Olasılık						**Şiddet**						**Tespit Edilebilmesi**					
	KV1		KV2		KV3		KV1		KV2		KV3		KV1		KV2		KV3	
FM1	0.15	0.85	0.25	0.75	0.15	0.85	0.75	0.25	0.75	0.25	0.85	0.15	0.25	0.75	0.25	0.75	0.25	0.75
FM2	0.15	0.85	0.25	0.75	0.25	0.75	0.85	0.15	0.75	0.25	0.75	0.25	0.35	0.65	0.35	0.65	0.25	0.75
FM3	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.75	0.25	0.85	0.15	0.25	0.75	0.25	0.75	0.15	0.85
FM4	0.75	0.25	0.65	0.35	0.5	0.45	0.75	0.25	0.75	0.25	0.75	0.25	0.35	0.65	0.35	0.65	0.25	0.75
FM5	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.75	0.25	0.75	0.25	0.15	0.85	0.15	0.85	0.25	0.75
FM6	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.75	0.25	0.75	0.25	0.15	0.85	0.15	0.85	0.25	0.75
FM7	0.35	0.65	0.5	0.45	0.35	0.65	0.75	0.25	0.75	0.25	0.75	0.25	0.25	0.75	0.25	0.75	0.35	0.65
FM8	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.75	0.25	0.75	0.25	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85
FM9	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.75	0.25	0.75	0.25	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85
FM10	0.35	0.65	0.25	0.75	0.35	0.65	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.15	0.85	0.15	0.85	0.25	0.75
FM11	0.5	0.45	0.5	0.45	0.5	0.45	0.65	0.35	0.75	0.25	0.75	0.25	0.35	0.65	0.25	0.75	0.25	0.75
FM12	0.5	0.45	0.25	0.75	0.35	0.65	0.75	0.25	0.75	0.25	0.75	0.25	0.25	0.75	0.5	0.45	0.35	0.65
FM13	0.15	0.85	0.35	0.65	0.35	0.65	0.85	0.15	0.5	0.45	0.65	0.35	0.35	0.65	0.35	0.65	0.35	0.65
FM14	0.5	0.45	0.5	0.45	0.35	0.65	0.35	0.65	0.35	0.65	0.35	0.65	0.65	0.35	0.5	0.45	0.35	0.65
FM15	0.15	0.85	0.25	0.75	0.25	0.75	0.75	0.25	0.75	0.25	0.85	0.15	0.15	0.85	0.15	0.85	0.25	0.75
FM16	0.15	0.85	0.15	0.85	0.25	0.75	0.85	0.15	0.75	0.25	0.85	0.15	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85
FM17	0.25	0.75	0.35	0.65	0.25	0.75	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.25	0.75	0.25	0.75	0.25	0.75
FM18	0.65	0.35	0.65	0.35	0.65	0.35	0.75	0.25	0.85	0.15	0.75	0.25	0.25	0.75	0.15	0.85	0.15	0.85
FM19	0.65	0.35	0.65	0.35	0.65	0.35	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85
FM20	0.65	0.35	0.65	0.35	0.5	0.45	0.75	0.25	0.75	0.25	0.65	0.35	0.25	0.75	0.35	0.65	0.25	0.75
FM21	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85
FM22	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.75	0.25	0.75	0.25	0.15	0.85	0.15	0.85	0.25	0.75
FM23	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.85	0.15	0.75	0.25	0.75	0.25	0.15	0.85	0.15	0.85	0.25	0.75
FM24	0.5	0.45	0.5	0.45	0.5	0.45	0.5	0.45	0.65	0.35	0.75	0.25	0.35	0.65	0.35	0.65	0.25	0.75
FM25	0.15	0.85	0.15	0.85	0.15	0.85	0.75	0.25	0.75	0.25	0.85	0.15	0.15	0.85	0.25	0.75	0.25	0.75

Adım 8 için, VIKOR yöntemi adım 1 ve 2’ de tarif edildiği gibi birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi Tablo 8 ‘de gösterilmektedir.

Tablo 8. Birleştirilmiş Pisagor Bulanık Matrisi

	Olasılık		Şiddet		Tespit Edilebilmesi	
	u	v	u	v	u	v
FM1	0,180	0,820	0,780	0,220	0,250	0,750
FM2	0,210	0,790	0,790	0,210	0,320	0,680
FM3	0,150	0,850	0,820	0,180	0,220	0,780
FM4	0,645	0,340	0,750	0,250	0,320	0,680
FM5	0,150	0,850	0,790	0,210	0,180	0,820
FM6	0,150	0,850	0,790	0,210	0,180	0,820
FM7	0,395	0,590	0,750	0,250	0,280	0,720
FM8	0,150	0,850	0,790	0,210	0,150	0,850
FM9	0,150	0,850	0,790	0,210	0,150	0,850
FM10	0,320	0,680	0,850	0,150	0,180	0,820
FM11	0,500	0,450	0,710	0,290	0,290	0,710
FM12	0,380	0,600	0,750	0,250	0,355	0,630
FM13	0,270	0,730	0,685	0,300	0,350	0,650
FM14	0,455	0,510	0,350	0,650	0,515	0,470
FM15	0,210	0,790	0,780	0,220	0,180	0,820
FM16	0,180	0,820	0,820	0,180	0,150	0,850
FM17	0,280	0,720	0,850	0,150	0,250	0,750
FM18	0,650	0,350	0,780	0,220	0,190	0,810
FM19	0,650	0,350	0,850	0,150	0,150	0,850
FM20	0,605	0,380	0,720	0,280	0,280	0,720
FM21	0,150	0,850	0,850	0,150	0,150	0,850
FM22	0,150	0,850	0,790	0,210	0,180	0,820
FM23	0,150	0,850	0,790	0,210	0,180	0,820
FM24	0,500	0,450	0,620	0,360	0,320	0,680
FM25	0,150	0,850	0,780	0,220	0,210	0,790

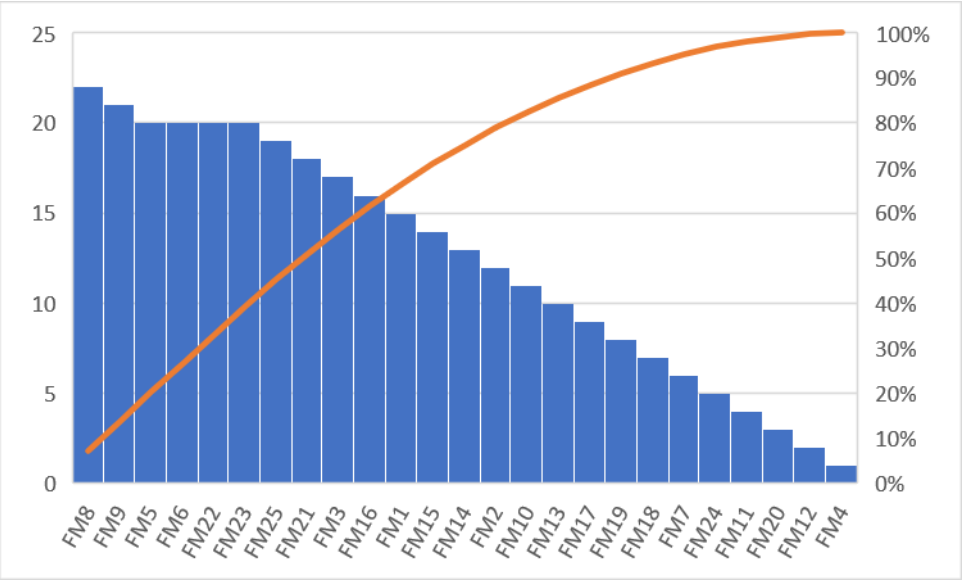
4.1. Vaka Sonuçları

Adım 9, Adım 10 ve Adım 11 için, S, R ve Q değerleri (F.8 - F.9 - F.10) formülleri kullanılarak belirlenir. Formülasyon setlerini hesaplamak için Python yazılımı (PyCharm Community Edition, 2023) kullanılmıştır.

Tablo 9 her bir tehlike/hata modu için “Q” değerlerini ve risk öncelik skorlarını göstermektedir. Tehlike/hata modları Q değerlerine göre sıralanmıştır. En düşük “Q” değeri en önemli riski ifade etmektedir. En yüksek “Q” değeri ise öncelik skoru en düşük risktir.

Tablo 9. Tüm tehlike/hata modlarının Q değeri ve sıralaması

Tehlike/Hata Modu	Sıralama	Q Değeri
FM1	15	0.778
FM2	12	0.617
FM3	17	0.869
FM4	1	0.0
FM5	20	0.931
FM6	20	0.931
FM7	6	0.265
FM8	22	1.0
FM9	21	0.960
FM10	11	0.512
FM11	4	0.216
FM12	2	0.162
FM13	10	0.460
FM14	13	0.664
FM15	14	0.744
FM16	16	0.833
FM17	9	0.422
FM18	7	0.346
FM19	8	0.420
FM20	3	0.164
FM21	18	0.912
FM22	20	0.931
FM23	20	0.931
FM24	5	0.258
FM25	19	0.913



Şekil 15. Q değeri eğrisinde risk önceliklendirme

Tablo 9 ve Şekil 15 ‘den görüleceği üzere en önemli ve öncelikli üç risk sırası ile FM4, FM12 ve FM20 ‘dir. Bunun yanında en düşük üç risk sırası ile FM8, FM9 ve FM5 ‘tir.

4.2. Vaka Sonuçlarının Doğrulanması

Önerilen entegre yaklaşım Aşama 3 ‘te Adım 12 ve Adım 13 için, vaka sonuçları üzerinde duyarlılık analizi ve karşılaştırma analizlerini kapsayan bir doğrulama testi gerçekleştirilmiştir.

Aşama 3.

4.2.1. Duyarlılık Analizi

Adım 12 ‘de, önerilen entegre yaklaşımın varyasyonlara karşı sağlamlığı ve tutarlılığını değerlendirmek ve doğrulamak için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrulama, risk parametrelerinin önemine ilişkin veriler sağlamaktadır. Kriter ağırlıklarının sıralama üzerindeki etkisini analiz etmek için, Tablo 10 'da gösterildiği gibi, literatürde risk değerlendirmesinde önemli çalışmalar arasında yer alan üç ilgili yayından olasılık, şiddet ve tespit edilebilme ağırlıkları alınarak ilave üç vaka daha değerlendirilmiştir.

Tablo 10 ’da her bir FMEA risk parametresi için vakalar ve ilgili ağırlıkları referanslarıyla birlikte gösterilmektedir.

Tablo 10. Duyarlılık analizi için risk parametre ağırlıkları

Vakalar	**Risk parametre ağırlıkları**		
	O	**Ş**	**T**
Temel vaka (Güncel çalışma)	0.364	0.336	0.298
Vaka 1: Zhao ve diğ. (2017)	0.400	0.274	0.326
Vaka 2: Fattahi (2018)	0.330	0.387	0.283
Vaka 3: Wang ve diğ. (2018)	0.500	0.600	0.400

Tablo 11, güncel çalışmaya ilave üç farklı risk parametresi ağırlığına dayalı olarak tehlike/hata modlarının risk önceliği skoru sıralamasını göstermektedir. Bu analiz, risk

parametrelerinin farklı ağırlıklarına göre tehlike/risk sıralarının nasıl değiştiğini göstermektedir. Tablo 12 ‘de duyarlılık analizinin bulguları gösterilmektedir.

Tablo 11 ve Tablo 12, tüm vakalar için en ciddi riskin FM4 olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, FM8'in tüm vakalar için en düşük riske sahip olduğunu göstermektedir. Küçük değişiklikler dışında, mevcut çalışmadaki ve diğer vakalardaki tehlikelerin sıralaması benzerdir. Sonuç olarak, önerilen entegre yaklaşım FMEA risk parametrelerinin ağırlık katsayılarına duyarlıdır. Literatürdeki benzer araştırmalar incelendiğinde, önerilen entegre yaklaşımın sıralama sonucunun güvenilir ve tutarlı olduğu görülmektedir.

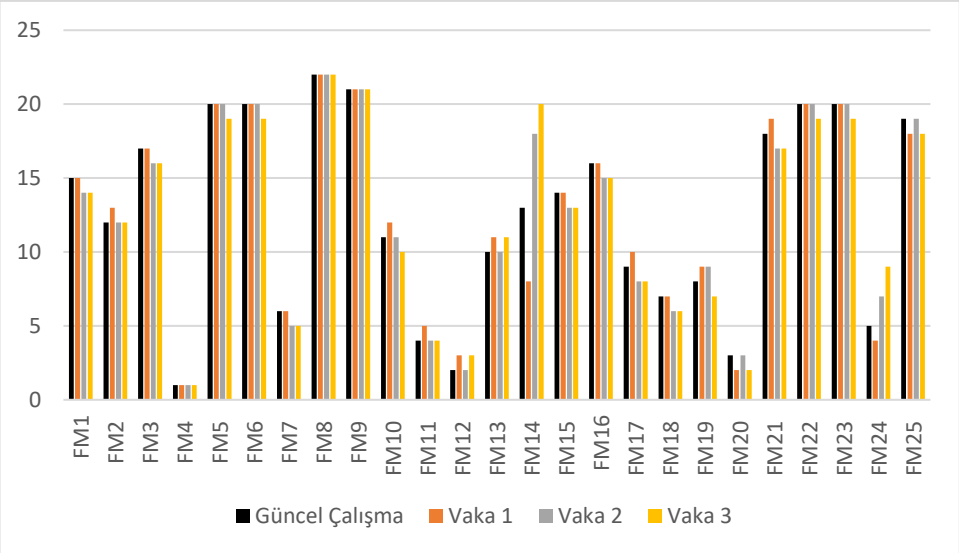
Tablo 11. Tüm vakalar için tehlike/hata modlarının risk önceliği skoru sıralaması

Tehlike/Hata Modları	Güncel Çalışma	Vaka 1	Vaka 2	Vaka 3
FM1	15	15	14	14
FM2	12	13	12	12
FM3	17	17	16	16
FM4	1	1	1	1
FM5	20	20	20	19
FM6	20	20	20	19
FM7	6	6	5	5
FM8	22	22	22	22
FM9	21	21	21	21
FM10	11	12	11	10
FM11	4	5	4	4
FM12	2	3	2	3
FM13	10	11	10	11
FM14	13	8	18	20
FM15	14	14	13	13
FM16	16	16	15	15
FM17	9	10	8	8
FM18	7	7	6	6
FM19	8	9	9	7
FM20	3	2	3	2
FM21	18	19	17	17
FM22	20	20	20	19
FM23	20	20	20	19
FM24	5	4	7	9
FM25	19	18	19	18

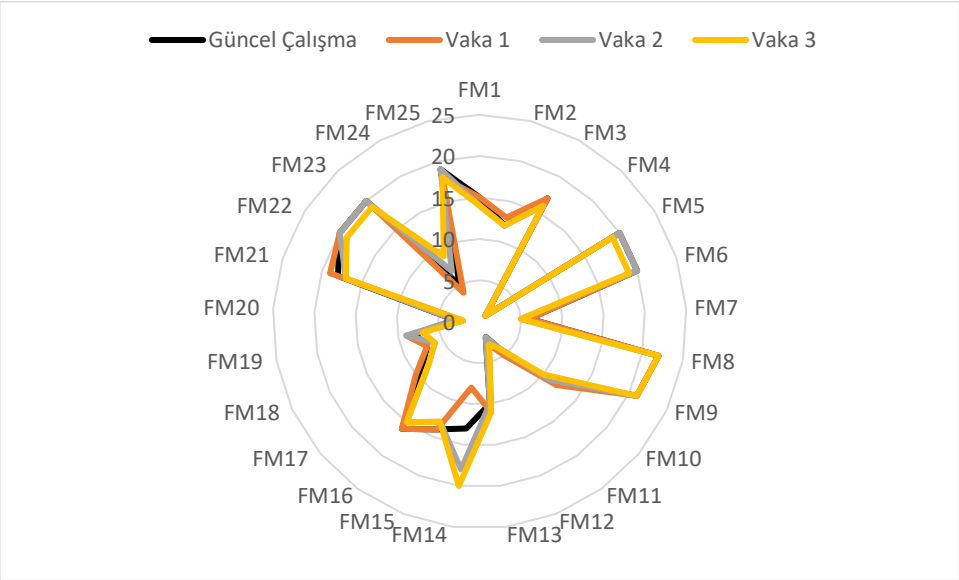
Tablo 12. Tüm vakalar için RÖS sıralaması ve Q değeri

	Güncel Çalışma		Vaka 1		Vaka 2		Vaka 3	
Tehlike/Hata Modları	**Sıralama**	**Q Değeri**	**Sıralama**	**Q Değeri**	**Sıralama**	**Q Değeri**	**Sıralama**	**Q Değeri**
FM1	15	0.778	15	0.786	14	0.667	14	0.664
FM2	12	0.617	13	0.629	12	0.517	12	0.519
FM3	17	0.869	17	0.886	16	0.736	16	0.727
FM4	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0
FM5	20	0.931	20	0.941	20	0.805	19	0.795
FM6	20	0.931	20	0.941	20	0.805	19	0.795
FM7	6	0.265	6	0.265	5	0.251	5	0.245
FM8	22	1.0	22	1.0	22	0.884	22	0.875
FM9	21	0.960	21	0.970	21	0.835	21	0.824
FM10	11	0.512	12	0.531	11	0.444	10	0.407
FM11	4	0.216	5	0.208	4	0.212	4	0.209
FM12	2	0.162	3	0.165	2	0.137	3	0.159
FM13	10	0.460	11	0.458	10	0.401	11	0.414
FM14	13	0.664	8	0.403	18	0.781	20	0.804
FM15	14	0.744	14	0.753	13	0.650	13	0.647
FM16	16	0.833	16	0.850	15	0.717	15	0.708
FM17	9	0.422	10	0.446	8	0.342	8	0.346
FM18	7	0.346	7	0.350	6	0.298	6	0.263
FM19	8	0.420	9	0.438	9	0.343	7	0.293
FM20	3	0.164	2	0.157	3	0.157	2	0.149
FM21	18	0.912	19	0.935	17	0.776	17	0.762
FM22	20	0.931	20	0.941	20	0.805	19	0.795
FM23	20	0.931	20	0.941	20	0.805	19	0.795
FM24	5	0.258	4	0.171	7	0.337	9	0.362
FM25	19	0.913	18	0.921	19	0.788	18	0.780

Şekil 16 ve Şekil 17 radar haritasında gösterildiği gibi farklı ağırlık katsayıları ile incelenen vakalara göre, tüm vakaların sıralamalarının küçük farklar dışında yakın olduğu görülmüştür. Küçük değişiklikler dışında, mevcut çalışmadaki ve diğer vakalardaki tehlikelerin/risklerin sıralamaları birbirine yakındır ve önemli farklılıklar yoktur. Sonuç olarak, gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçları ile önerilen entegre modelin yüksek güvenilirlik ve tutarlılık gösterdiği söylenebilir.



Şekil 16. Tüm vakalar için tehlike/hata modlarının grafiksel gösterimi



Şekil 17. Tüm vakalar için tehlike/hata modlarının radar haritası

4.2.2. Karşılaştırma Analizi

Adım 13 'te, önerilen entegre yaklaşımın vaka sonuçlarını doğrulamak için karşılaştırma analizi yapılmıştır. Geleneksel FMEA yöntemi ve PFVIKOR dokuz noktalı dilsel ölçek yöntemi ile önerilen entegre yaklaşım karşılaştırılmıştır. Tüm

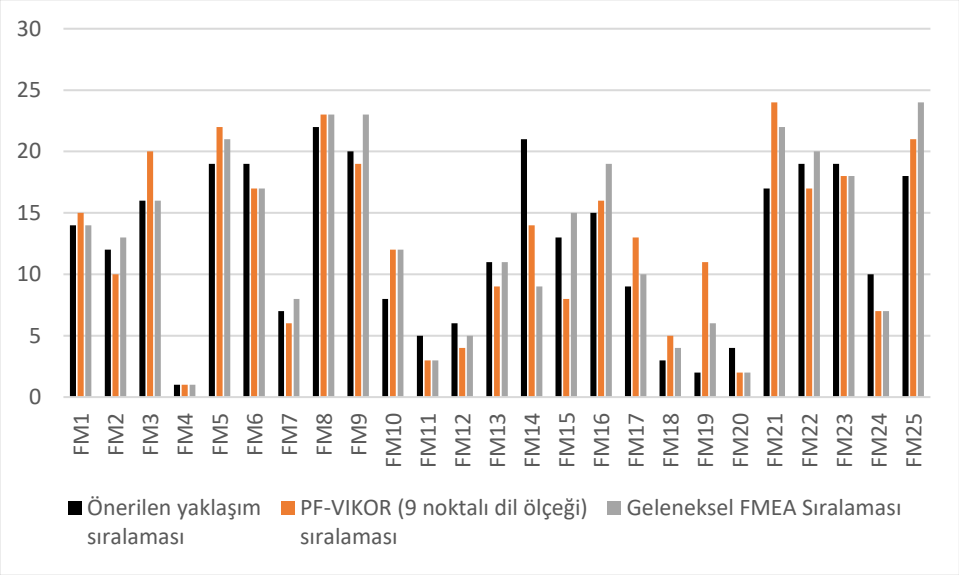
yöntemler için aynı girdi değişkenleri (karar vericilerin ağırlıkları ve risk parametreleri) kullanılmıştır.

Önerilen yeni entegre yaklaşımın etkinliğini ve tutarlılığını doğrulamak için karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırılan yöntemlerin sonucu olarak sıralama ve "Q" değerlerinde dramatik bir fark yoktur. Sonuçlar oldukça sabit ve yakındır. Tablo 13, Şekil 18 ve Şekil 19 radar haritasından görüleceği üzere, üç farklı yöntem için de en yüksek öncelikli risk/tehlike FM4 olurken; en düşük risk/tehlike önerilen yeni yaklaşım ve dokuz noktalı dilsel ölçek yönteminde FM8; geleneksel FMEA yönteminde FM25 'tir.

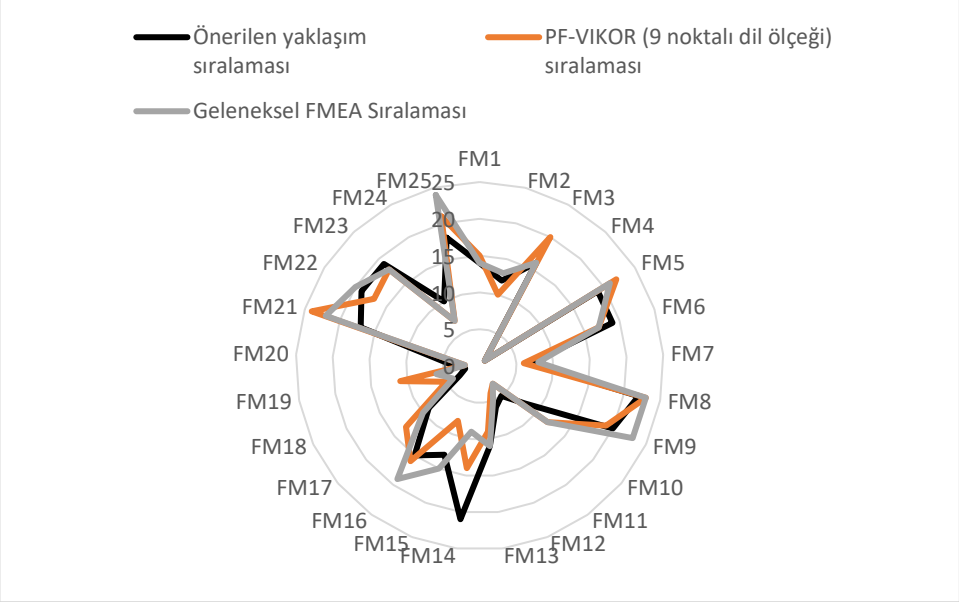
Tablo 13. Farklı yaklaşımlara göre sıralamaların karşılaştırılması

Tehlike/Hata Modları	Önerilen yaklaşım	PF-VIKOR (9 noktalı dil ölçeği)	Geleneksel FMEA
FM1	14	15	14
FM2	12	10	13
FM3	16	20	16
FM4	1	1	1
FM5	19	22	21
FM6	19	17	17
FM7	7	6	8
FM8	22	23	23
FM9	20	19	23
FM10	8	12	12
FM11	5	3	3
FM12	6	4	5
FM13	11	9	11
FM14	21	14	9
FM15	13	8	15
FM16	15	16	19
FM17	9	13	10
FM18	3	5	4
FM19	2	11	6
FM20	4	2	2
FM21	17	24	22
FM22	19	17	20

FM23	19	18	18
FM24	10	7	7
FM25	18	21	24



Şekil 18. Tüm yöntemler için tehlike/hata modları sıralamalarının karşılaştırılması



Şekil 19. Farklı yöntem sıralamalarının karşılaştırma analizi radar haritası

Karşılaştırma analizi dahilinde farklı yöntem sonuç sıralamalarının güvenirliği ve tutarlılığı ilave olarak Spearman Korelasyon analizi ile de doğrulanmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 14, Tablo 15 ve Tablo 16 ‘da gösterildiği gibi Spearman Korelasyon analizi ile doğrulanmıştır.

Spearman Korelasyon analizi, önerilen entegre yaklaşım ile PF-VIKOR dokuz noktalı dil ölçeği ve geleneksel FMEA sıralaması arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Tüm p-değerleri .0001'den küçüktür.

Spearman Korelasyon analizi JASP yazılım uygulaması (JASP Team, 2023) ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 14. Spearman rho ve p-değerleri

Spearman Korelasyonu

Değişken		**Önerilen yaklaşım**	**PF-VIKOR (9 noktalı)**	**Geleneksel FMEA**
1. Önerilen yaklaşım sıralaması	Spearman's rho	—		
	p-value	—		
2. PF-VIKOR (9 noktalı dil ölçeği) sıralaması	Spearman's rho	0.840	—	
	p-value	< .001	—	
3. Geleneksel FMEA Sıralamas	Spearman's rho	0.848	0.922	—
	p-value	< .001	< .001	—

Tablo 15. Üç yaklaşım için Spearman rho değerleri

Spearman Korelasyonu

Değişken		**Önerilen yaklaşım**	**PF-VIKOR (9 noktalı)**	**Geleneksel FMEA**
1. Önerilen yaklaşım sıralaması	Spearman's rho	—		
	p-value	—		

Spearman Korelasyonu

Değişken		Önerilen yaklaşım		PF-VIKOR (9 noktalı)		Geleneksel FMEA
2. PF-VIKOR (9 noktalı dil ölçeği) sıralaması	Spearman's rho	0.840	***	—		
	p-value	< .001		—		
3. Geleneksel FMEA Sıralaması	Spearman's rho	0.848	***	0.922	***	—
	p-value	< .001		< .001		—

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Tablo 16. Korelasyon anlamlılık dereceleri

Spearman Korelasyonu

			Spearman's rho		p
Önerilen yaklaşım sıralaması	-	PF-VIKOR (9 noktalı dil ölçeği) sıralaması	0.840	***	< .001
Önerilen yaklaşım sıralaması	-	Geleneksel FMEA Sıralaması	0.848	***	< .001
PF-VIKOR (9 noktalı dil ölçeği) sıralaması	-	Geleneksel FMEA Sıralaması	0.922	***	< .001

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Tablo 17, üç yaklaşımın sonuçlarına dayalı sıralamaların ısı haritasını göstermektedir. Sıralama skalası 1-25 arasında olduğu için, riskin önceliğine göre 3 renkli (kırmızı, sarı, yeşil) ölçeklendirme yapılmıştır. Renklendirme ölçeği, önerilen entegre yaklaşımın tutarlı olduğunu ve diğer yaklaşımların sonuçlarıyla yakınsadığını göstermektedir.

Tablo 17. 3 yaklaşım için sıralamaların ısı haritası

Tehlike/Hata Modları	Önerilen yaklaşım	PF-VIKOR (9 noktalı dil ölçeği)	Geleneksel FMEA
FM1	14	15	14
FM2	12	10	13
FM3	16	20	16

FM4	1	1	1
FM5	19	22	21
FM6	19	17	17
FM7	7	6	8
FM8	22	23	23
FM9	20	19	23
FM10	8	12	12
FM11	5	3	3
FM12	6	4	5
FM13	11	9	11
FM14	21	14	9
FM15	13	8	15
FM16	15	16	19
FM17	9	13	10
FM18	3	5	4
FM19	2	11	6
FM20	4	2	2
FM21	17	24	22
FM22	19	17	20
FM23	19	18	18
FM24	10	7	7
FM25	18	21	24

5. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Önerilen entegre yaklaşımın bulguları, FM4'ün (COVID-19 virüsü taşıyan/taşıma şüphesi olan hastanın diğer poliklinik ve servislere gitmesi) en yüksek ve öncelikli risk olduğunu, FM19 (Acil servislerin yeterli kapasiteye sahip olmaması) ve FM18'in (Servislerin yeterli kapasiteye sahip olmaması) ise ikinci ve üçüncü en yüksek, öncelikli riskler olduğunu göstermektedir. Bunun yanında, en düşük risk FM8 (Pandemi ile mücadelede sağlık çalışanlarına gerekli ve yeterli eğitimlerin verilmemesi) olarak belirlenirken, FM14 (İlgili birimlerde görevli sağlık personeli harici bilgi dışında sağlık çalışanlarının bulunması) ve FM9 (Pandemi ile mücadelede sağlık çalışanlarına gerekli ve yeterli KKD sağlanmaması) sırasıyla ikinci ve üçüncü en düşük risklerin olduğu görülmektedir.

Vaka analizleri sonucunda elde edilen bulgular, pandemi döneminde sağlık kuruluşlarında tespit edilebilecek en yüksek öncelikli riskin, COVID-19 virüsü taşıyan

veya taşıma şüphesi olan hastanın diğer poliklinik ve servislere gitmesi olduğunu göstermektedir. FRAM analizi ile oluşturulan etkileşimli süreç haritasında FM4'ün önkoşul, girdi, çıktı ve kontrol parametreleri “FM1” (Hastane giriş ve çıkışlarında HES kodu kontrolu sağlanmaması), “FM5” (Hastanede pandemi ile mücadele için ayrı ve özel alanların, yolların olmaması) ve “FM6” 'ya (Pandemi ile mücadelede işaretleme, levha vb. ile yönlendirmelerin eksik ve yetersiz olması) bağlanmıştır. FM4 'ün risk derecesi FM5 ve FM6 için alınacak aksiyonlarla düşürülebilmektedir.

Öte yandan bulgu sonuçları dahilinde, FM8'in en düşük risk derecesine sahip olduğu, sağlık tesislerindeki sağlık çalışanlarının pandemiyle mücadele için gerekli ve yeterli eğitimi aldığını göstermektedir. Bununla birlikte; ilgili birimlerde çoğunlukla görevli ve rotasyon dahilinde olan sağlık çalışanlarının olduğu ve sağlık çalışanları için gerekli ve yeterli kişisel koruyucu donanım sağlandığı görülmektedir.

Önerilen entegre yaklaşım, kontrol ve önleyici stratejiler için önem teşkil eden risk öncelik skorunun tayininde optimizasyon sağlar. Bu önceliklendirme sonucunda, alınacak kontrol ve önlem faaliyetleri belirlenebilir. Örneğin, FM4'ün etkisini azaltmak ve kontrol etmek için; "Acil durum ve pandemi koşullarında, hastane yönetimi için senaryolar belirlenebilir ve bu bağlamda organizasyonlar oluşturulabilir. Bütünsel olarak ele alınan tüm süreçleri ve bu süreçlere bağlı tehlike/hata modlarının belirlenmesine, risklerin de derecelendirilmesine ve önceliklendirmesine rehberlik sunar.

FRAM ile yapılan analizde, her bir alt süreç/fonksiyon için alınması gereken kontrol faaliyetleri, o sürecin/fonksiyonun ön koşulu, girdisi, çıktısı, kaynakları bileşenlerinin belirlenebilir. Bu yöntem ile elde edilen etkileşimli süreç haritası sonucu, birbiri ile ilişkisinin tespitinin zor olduğu süreçler, kritik yollar ve değişken senaryolar belirlenebilir. Örneğin; sağlık kuruluşlarında pandemi döneminde özel ayrı servis ve alanların belirlenmesi, yolların ayrılması ve işaretlenmesi, ilgili hizmet ve ekipmanlar sunulması, diğer birimlerden izole edilmiş ve ayrılmış giriş-çıkış bölgeleri, kat düzeni, yollar, asansörler kullanılması, gerekli talimat, yönerge ve kılavuzların hazırlanması, KKD gibi gerekli ekipman, donanım, ilaç, teçhizat ve kapasitenin sağlanması, çalışanlara gerekli eğitimlerin verilmesi, rotasyon, konaklama, ulaşım gibi çalışan organizasyonun sağlanması ve benzeri gibi kontrol faaliyetleri belirlenebilir.

Önerilen FRAM-FMEA tabanlı Pisagor bulanık VIKOR entegre yönteminin etkinliğini göstermek için duyarlılık ve karşılaştırma analizleri yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, çıkan sonuçlar arasında dramatik bir fark olmadığı, son derece küçük sıralama farklılıkları olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Önerilen entegre yaklaşım bu tez çalışmasında ana hatlarıyla açıklanmış ve uygulanmıştır. Bu çalışmada FRAM-FMEA tabanlı Pisagor Bulanık Mantık VIKOR entegre yöntemine dayalı yeni bir risk analizi ve değerlendirmesi yaklaşımı sunulmuştur. Bu entegre yöntem literatürde ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Çalışma evreni ve veri toplama gerçek verilerle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, karar vericilerle yapılan beyin fırtınası sonucunda, pandemi döneminde sağlık kuruluşlarında risk yönetimi için 25 hata modu belirlenmiştir. Önerilen yeni entegre yaklaşımla, karar vericiler için belirli dinamiklere ve ölçeklere sınırlı kalmayıp, daha esnek, daha dinamik ve sonuçları optimize eden bir yaklaşım ile süreçler, süreçlere bağlı riskler ve risk öncelik skorları belirlenmektedir. Bu skorlama ve sıralama sonucunda alınacak ve önceliklendirilecek kontrol ve önlem faaliyetleri belirlenebilmektedir.

FRAM, bir sistemin süreçlerini ve bu faaliyetler arasındaki bağlantıları anlamak ve incelemek için etkili bir yöntemdir. FRAM, süreçlerin karşılıklı ilişkisini ve bütünsel etkileşimini inceleyerek kritik yolların bulunmasını sağlar. PFVIKOR, FMEA analizinde risk önceliğini belirlemek amacıyla karar vericilerin değerlendirmelerini optimize etmek için kullanılır. Önerilen entegre yaklaşımla, risklerin etkilerini azaltmak için risk önceliklendirmesinin bir sonucu olarak etkili kontrol ve önleyici eylemler belirlenebilir.

Günümüz endüstrisinde karmaşık sistemlerin artışı ve olası felaket senaryolarının tehdidi karar verme alanında, özellikle de birden fazla kriter söz konusu olduğunda, sistematik değerlendirmeler sunan yöntemleri çok değerli hale getirmiştir.

Önerilen entegre yaklaşım ile uygulanan bu çalışma, pandemi gibi felaket senaryoları sırasında, sağlık kuruluşları için ilgili süreçleri ve bu süreçlere bağlı tehlikeleri, riskleri önceliklendirmek için kullanılmıştır. Bu çalışma, önerilen entegre yaklaşımın çeşitli karmaşık sistemler için uygulanabilirliğini ve pandemi gibi felaket senaryolarına da uygulanabilirliğini göstermektedir. Pandemi ve karmaşık sistemler gibi felaket senaryoları için, önerilen model, risk analizi ve değerlendirmesine yeni ve çok boyutlu esnek ve güçlü bir yaklaşım sunmaktadır.

Salgın hastalıkların günümüzde ve gelecekte birçok yönden yaşantımızın kaçınılmaz bir parçası olması beklenmektedir. Sonuç olarak, bu riskleri ve tehlikeleri önlemek ve güvenli koşulları korumak hayati önem taşımaktadır. Gelecekteki çalışmalar FMEA-FRAM tabanlı PFVIKOR uygulamasını içerecek şekilde genişletilebilir.

KAYNAKÇA

Atanassov, K. T. (1994). New operations defined over the intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets and Systems, 61(2), 137-142.

Aven, T. (2003). Foundations of Risk Analysis. John Wiley & Sons Ltd., New York, NY.

Aven, T. (2008). Risk Analysis Assessing Uncertainties beyond Expected Values and Probabilities, 9.

Aven, T. (2012). The risk concept-historical and recent development trends. Reliability Engineering and System Safety, 33–44.

Aven, T. and Vinnem, J.E. (2007). Risk Management, with Applications from the Offshore Oil and Gas Industry. Springer Verlag.

Bavel, J.J.V., Baicker, K., Boggio, P.S. et al. (2020). Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response. Nature Human Behaviour, 4, 460–471.

BSI. (2011). BS ISO 31100: Risk management- code of practice and guidance for the implementation of BS ISO 31000, London: British Standards Institution.

BSI. (2012). BS EN ISO 14971: Medical devices- application of risk management to medical devices, London: British Standards Institution.

Cabinet Office. (2002). Risk: improving government's capability to handle risk and uncertainty. Strategy Unit Report.

Campbell, S. (2005). Determining overall risk. J. Risk Res., 8, 569–581.

Cui, F. B., You, X. Y., Shi, H., & Liu, H. C. (2018). Optimal siting of electric vehicle charging stations using Pythagorean fuzzy VIKOR approach. Mathematical Problems in Engineering.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method,Computers & Operations Research,Volume 22, Issue 7,Pages 763-770.

Driankov, D., Hellendoorn, H., & Reinfrank, M. (1993). An introduction to fuzzy control. Springer-Verlag.

Fattahi R., and Khalilzadeh M. (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. Saf Sci 102: 290–300.

FRAM Model Visualiser Pro (2014). Version 0.1.2 (Bilgisayar yazılımı).

Garg, H. (2016). A novel accuracy function under interval-valued Pythagorean fuzzy environment for solving multicriteria decision making problem. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 31(1), 529–540.

Han, X., Rani, P. (2022). Evaluate the barriers of blockchain technology adoption in sustainable supply chain management in the manufacturing sector using a novel Pythagorean fuzzy-CRITIC-CoCoSo approach, Operations Management Research (2022) 15:725–74, https://doi.org/10.1007/s12063-021-00245-5

Hollnagel, E. (2004). Barriers and Accident Prevention. Ashgate.

Hollnagel, E. (2012). FRAM, the Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems. Ashgate.

Hollnagel, E. (2018). Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety

Management. CRC Press.

Huang, B., Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., Tan, W., & China Novel Coronavirus Investigating and Research Team (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. The New England journal of medicine, 382(8), 727–733. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017

Ireson, G., Coombs, W., Clyde, F. and Richard, Y.M. (1995). Handbook of Reliability Engineering and Management, 2nd ed., McGraw-Hill Professional, New York, NY.

ISO 31000:2009. (2009) Risk Management - Principles and Guidelines.

JASP Team (2023). JASP Version 0.17.2 (Bilgisayar yazılımı).

Kabir, S., Yazdi, M., Aizpurua, J. I., & Papadopoulos, Y. (2018). Uncertainty-aware dynamic reliability analysis framework for complex systems. IEEE Access. https://doi.org/10.1109/ACC ESS.2018.2843166.

Legido-Quigley, H., Asgari, N., Teo, Y.Y. et al. (2020). Are high-performing health systems resilient against the COVID-19 epidemic? The Lancet, 395(10227), 848-850.

Leveson, N. (2011). Engineering a safer world: systems thinking applied to safety, MIT Press.

Liu Y., Fan ZP., Yuan Y. et al. (2014). FTA-based method for risk decisionmaking in emergency response. Computers & Operations Research. 42, 49-57.

Mamdani, E.H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1-13.

NPSA. (2007). Healthcare risk assessment made easy, London: National Patient Safety Agency.

OHSAS 18001. (2007). Risk tanımı. Madde 3.21.

Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A

comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, 156(2), 445-455.

Oxford Çevrimiçi Sözlük. Riskin tanımı. https://www.oed.com/search/dictionary/?scope=Entries&q=risk

Pamuk, Ş. (2007). "The Black Death and the origins of the 'Great Divergence'", European Review of Economic History, pp. 289-317.

Pennycook, G., McPhetres, J., Zhang, Y., & Rand, D., (2020). Fighting Covid-19 misinformation on social media: Experimental evidence for a scalable accuracy nudge intervention. Psychological Science, online first, doi: 10.1177/0956797620939054

Perez-Dominguez L, Rodriguez-Picon LA, Alvarado-Iniesta A, et al. (2018). MOORA under Pythagorean fuzzy set for multiple criteria decision making. Complexity. doi:10.1155/2018/2602376

Polack, F., Thomas, S., Kitchin, N., Absalon, J., Gurtman, A., Lockhart, S., Perez, J., Marc, G., Moreira, E., Zerbini, C., Bailey, R., Swanson, K., Roychoudhury, S., Koury, K., Li, P., Kalina, W., Cooper, D., Frenck, R., Hammitt, L., Türeci, Ö., Nell, H., Schaefer, A., Ünal, S., Tresnan, D., Mather, S., Dormitzer, P., Şahin, U., Jansen, K. & Gruber, W. (2020). Safety and efficacy of the BNT162b2 mRNA COVID-19 vaccine. New England Journal of Medicine, b383, 2603-2615. https://doi.org/10.1056/NEJMoa203457

Poole, J. C. F. & Holladay, A. J. (1979). Thucydides and the Plague of Athens. Classical Quarterly 29 (2):282-300.

PyCharm Community Edition (2023). Version 2023.1.1 (Bilgisayar yazılımı).

Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M. ve Tarokh, M. J. (2011), "A Fuzzy VIKOR Method For Supplier Selection Based on Entropy Measure for Objective Weighting", Expert Systems with Applications, 38, 12160–12167.

Stamatis, D. H. (2003). Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. ASQ Quality Press.

T.C Sağlık Bakanlığı, (2020). https://covid19.saglik.gov.tr/

Tarakçı, E., Ensari Özay, M., Sakallı, A. E., & Can, E. (2020). Understanding Covid-19 Management Process in Health Care Facilities Using Functional Resonance Analysis Method. Journal of Health, Medicine and Nursing, 80, 96–101. https://doi.org/10.7176/jhmn/80-13

Villemeur, A. (1992). Reliability, Availability, Maintainability, and Safety Assessment: Methods and Techniques. Wiley-Interscience.

Walls, R. M., & Adams, J. G. (2020). Supporting the health care workforce during the COVID-19 global epidemic. JAMA, 323, 1439. https://doi.org/10.1001/jama.2020.3972

Wang W., Liu X., Qin Y., et al. (2018). A risk evaluation and prioritization method for FMEA with prospect theory and Choquet integral. Saf Sci 110:152–163.

Willis, H.H. (2007). Guiding resource allocations based on terrorism risk. Risk Anal., 27(3), 597–606.

World Health Organization (WHO), (2011). “Pandemic phase descriptions and main actions by phase". http://www.who.int/csr/disease/influenza/GIPA3AideMemoire.pdf

World Health Organization (WHO), (2020a). Director-General’s remarks at the media briefing on 2019-nCoV. 2020 February 11. https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-sremarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020

World Health Organization (WHO), (2020b). Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020 https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-Covid-19---11-march-2020

World Health Organization (WHO), (2020c). https://www.who.int/

Worldometers, (2023). https://www.worldometers.info/coronavirus/

Yager, R. R. (2013). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making.

IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 22(4), 958-965.

Yager, R. R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 22(4), 958–965.

Yazdi, M. (2018). Footprint of knowledge acquisition improvement in failure diagnosis analysis. Quality and Reliability Engineering International. https://doi.org/10.1002/qre.2408.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338-353.

Zadeh, L.A. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3, 28-44. https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575

Zeng, S., Chen, J., & Li, X. (2016). A hybrid method for pythagorean fuzzy multiple-criteria decision making. International Journal of Information Technology&Decision Making, 15(02), 403–422.

Zhang, X., & Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets. International Journal of Intelligent Systems, 29(12), 1061–1078.

Zhao H., You JX., and Liu HC. (2017). Failure mode and effect analysis using MULTIMOORA method with continuous weighted entropy under interval-valued intuitionistic fuzzy environment. Soft Comput 21(18):5355–5367.

Zimmermann, H.J. (1987). Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems. International Series in Management Science/Operations Research, vol 10. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3249-4_2

Zumla A, Hui DS, Perlman S. (2015). Middle East respiratory syndrome. Lancet.;386:995–1007. doi:10.1016/S0140-6736(15)60454-8.