

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR YAZILIM PROJESİNİN RİSKLERİNİN YÖNETİLEBİLMESİ
İÇİN BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAR İLE ENTEGRE EDİLMİŞ
BULANIK GRİ HATA MODU VE ETKİLERİ ANALİZİ
UYGULAMASI**

Barbaros ERBAY

DOKTORA TEZİ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN

Mayıs, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR YAZILIM PROJESİNİN RİSKLERİNİN YÖNETİLEBİLMESİ İÇİN
BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAR İLE ENTEGRE EDİLMİŞ BULANIK
GRİ HATA MODU VE ETKİLERİ ANALİZİ UYGULAMASI**

Barbaros ERBAY tarafından hazırlanan tez çalışması 28.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Alev Taşkın GÜMÜŞ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Selçuk ALP, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Berk AYVAZ, Üye

İstanbul Ticaret Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bir Yazılım Projesinin Risklerinin Yönetilebilmesi için Bulanık Bilişsel Haritalar ile Entegre Edilmiş Bulanık Gri Hata Modu ve Etkileri Analizi Uygulaması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Barbaros ERBAY

İmza

Aileme



TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu dönemde yaptığım çalışmalar sırasında bana yardımcı olan herkese teşekkürlerimi sunmak isterim. Bu tez, bu kişilerin desteği ile çok daha anlamlı bir şekilde tamamlandı.

Tez danışmanım Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN'a özel olarak teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Kuşkusuz ki, onun rehberliği, vizyonu ve danışmanlığı olmadan, bu tez bu şekilde tamamlanamazdı.

Komisyon üyeleri Prof. Dr. Alev Taşkın GÜMÜŞ'e, Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN'a, Doç. Dr. Selçuk ALP'e ve Doç. Dr. Berk AYVAZ'a da teşekkürü bir borç bilirim. Onların değerli önerilerinin ve bilgilerinin sayesinde bu çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanması kaçınılmazdı.

Sonunda, elbette, özellikle ağabeyime, anneme, babama ve tüm aileme teşekkür etmek istiyorum. Her zaman olduğu gibi yanımdaydılar ve beni sürekli desteklediler.

Barbaros ERBAY

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	24
1.3 Hipotez	26
2 Entegre Edilmiş Metodoloji.....	27
1.1 Modül 1: Bulanık Gri FMEA.....	27
2.1 Modül 2: FCM ile Entegre Bulanık Gri FMEA	30
3 Vaka Analizi.....	34
3.1 Veri Toplama.....	34
3.2 Yeni Bir Yöntemin Gelişimi: Bulanık Gri FMEA.....	36
3.3 Bulanık Gri FMEA'nın Kararlılığı	58
3.4 Bütünleşik Yöntem: FCM ile Entegre Bulanık Gri FMEA.....	59
4 Sonuç ve Öneriler	83
A Olasılık Değeri İçin Uzmanların Görüşleri.....	87
B Şiddet Değeri İçin Uzmanların Görüşleri.....	89
C Saptanabilirlik Değeri İçin Uzmanların Görüşleri	91
D Çıktı Kuralları.....	93
Kaynakça.....	100

Tezden Üretilmiş Yayınlar.....	107
--------------------------------	-----



SEMBOL LİSTESİ

O	Olasılık Değeri
S	Şiddet Değeri
D	Saptanabilirlik Değeri
RPN	Risk Öncelik Sayısı
COG	Ağırlık Merkezi
$\mu_A(x)$	Bulanık kümedeki x elementinin üyelik derecesi
$\otimes G$	Gri bir sayı
$\overline{G}$	Gri bir sayının üst limiti
$\underline{G}$	Gri bir sayının alt limiti
$\ell(\otimes G)$	Gri bir sayının uzunluğu
δ	Beyazlatma katsayısı
x_i	Düğüm i
x_j	Düğüm j
w_{ij}	Snaptik öncesi düğüm i ile snaptik sonrası düğüm j arasındaki ilişkinin yoğunluğu
A	Bitişiklik Matrisi
C^0	Başlangıç durumu vektörü
C_j^{t+1}	$t + 1$ anında snaptik sonrası düğüm j 'nin değeri
$f(x)$	Aktivasyon fonksiyonu
C_i^t	t anında snaptik öncesi düğüm i 'nin değeri
A^{AUG}	Bütünleşik Matris
$\tanh(x)$	Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu
φ	Düğümlerin alt limitleri

δ_j	Düğüm j 'nin son vektör değeri
RPN_j'	Risk j 'nin yeni RPN değeri
$\bar{O}$	Olasılık değerinin aritmetik ortalaması
$\bar{S}$	Şiddet değerinin aritmetik ortalaması
$\bar{D}$	Saptanabilirlik değerinin aritmetik ortalaması
E_k^O	Uzman k tarafından oluşturulmuş Olasılık değeri
E_k^S	Uzman k tarafından oluşturulmuş Şiddet değeri
E_k^D	Uzman k tarafından oluşturulmuş Saptanabilirlik değeri
$\otimes COG^{[i]}$	Risk i 'nin beyazlaştırma değeri
$f(\delta^{[i]})$	Risk i 'nin katsayı fonksiyonu
$\phi(\otimes COG^{[i]})$	Risk i 'nin Grilik değeri
$ \ell(\otimes COG^{[i]}) $	Risk i 'nin beyazlaştırma için aralığının gerçek değeri
$\ell(\psi)$	Maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark
g'	Risklerin grilik değerinin ortalaması

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 FMEA yöntemi.....	3
Şekil 1.2 Bulanık mantık süreci	8
Şekil 1.3 Üçgen bulanık üyelik fonksiyonu	10
Şekil 1.4 Bilişsel haritaların elemanları	20
Şekil 1.5 Örnek bilişsel harita.....	21
Şekil 1.6 Bulanık bilişsel harita örneği.....	22
Şekil 2.1 Bulanık FMEA ana modüller	27
Şekil 2.2 Bulanık Gri FMEA ana modüller	27
Şekil 2.3 Bulanık Gri FMEA süreci.....	28
Şekil 2.4 Bulanık Bilişsel Haritalı FMEA süreci ana modüller	31
Şekil 2.5 Bulanık Bilişsel Haritalı FMEA süreci.....	31
Şekil 2.6 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık FMEA süreci ana modüller	31
Şekil 2.7 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık FMEA süreci	32
Şekil 2.8 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık Gri FMEA süreci ana modüller	32
Şekil 2.9 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık Gri FMEA süreci	33
Şekil 3.1 Bulanık FMEA modeli	39
Şekil 3.2 Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları.....	39
Şekil 3.3 Çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonları	40
Şekil 3.4 Çıktı kuralları oluşturma akış şeması.....	46
Şekil 3.5 Uzman A'nın Bulanık Bilişsel Haritası	60
Şekil 3.6 Uzman B'nin Bulanık Bilişsel Haritası	61
Şekil 3.7 Uzman C'nin Bulanık Bilişsel Haritası	61
Şekil 3.8 Bütünleştirilmiş Bulanık Bilişsel Harita	61
Şekil 3.9 IT risklerinin Bulanık Bilişsel Haritası	63
Şekil 3.10 Simülasyonun grafiksel notasyonları.....	67

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Olasılık / Oluşum (O) değerinin skalası	3
Tablo 1.2 Başarısızlığın şiddetinin skalası (S)	4
Tablo 1.3 Hatayı tespit edememe ihtimalinin ölçeği (D)	5
Tablo 3.1 IT projesinin riskleri.....	34
Tablo 3.2 Ortalama değerler	36
Tablo 3.3 FMEA'nın sonuçları	37
Tablo 3.4 Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları	41
Tablo 3.5 Çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonları.....	43
Tablo 3.6 Ağırlık merkezi değerleri	44
Tablo 3.7 Bulanık FMEA'nın sonuçları.....	49
Tablo 3.8 Bulanık Gri girdiler.....	52
Tablo 3.9 Bulanık Gri çıktılar	55
Tablo 3.10 Bulanık Gri FMEA'nın sonuçları.....	56
Tablo 3.11 Simülasyon adımları	65
Tablo 3.12 FCM entegreli FMEA'nın sonuçları (O, S, D değerleri)	70
Tablo 3.13 FCM entegreli FMEA'nın sonuçları (karşılaştırma).....	71
Tablo 3.14 FCM entegreli Bulanık FMEA'nın sonuçları.....	73
Tablo 3.15 FCM'in son iterasyonunun katsayı değerleri.....	75
Tablo 3.16 FCM entegreli Bulanık Gri FMEA'nın girdileri.....	78
Tablo 3.17 FCM entegreli Bulanık Gri FMEA'nın çıktıları	79
Tablo 3.18 FCM entegreli Bulanık Gri FMEA'nın sonuçları.....	80

Bir Yazılım Projesinin Risklerinin Yönetilebilmesi İçin Bulanık Bilişsel Haritalar ile Entegre Edilmiş Bulanık Gri Hata Modu ve Etkileri Analizi Uygulaması

Barbaros ERBAY

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN

Yazılım projelerinin yüksek belirsizlik içermesinden dolayı başarısız olma durumlarıyla karşılaşılması sık görülen bir durumdur. Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA), risk öncelik numarasını (RPN) kullanarak riskleri önem sıralarına göre değerlendirme fırsatı veren geniş çapta kullanılan bir yöntemdir. Risk değerlendirmede kullanılan bilgiler genellikle işin uzmanlarından alınan bilgilerdir. İnsan yargılarına dayanarak yapılan çözümlemelerde risk değerlendirmesini yanlış sonuçlara neden olabilmektedir. Bulanık mantık (FL), risk öncelik numarası ataması yaparken bu tür eksikliklerin ve tutarsızlıkların üstesinden gelmek için literatürde geniş çapta kullanılmaktadır. Buna karşın hala tutarsızlıklar bulunmaktadır. Bu tutarsızlıkların da üstesinden gelmek için Gri Sistem Teorisi (GST), bulanık FMEA'nın içine entegre edilmiştir. GST odaklı olan Bulanık Gri FMEA yöntemi, yüksek belirsizliğin, kesik küçük ve tam olmayan veri kümelerinin olduğu ortamlarda problemleri çözmek için bir teori olarak ortaya çıkmıştır. Bütün bunlara rağmen geliştirilen yöntemin hala zayıflığı bulunmaktadır. Buraya kadar ki yöntemler bir projenin risk değerlendirmesini yaparken riskler

arasındaki ilişkileri göz önünde bulundurmamaktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için, bu yöntemlere Bulanık Bilişsel Haritalar (FCMs) yönteminin entegre edilmesi önerilmiştir. Sonuç olarak da risklerin birbirleriyle olan ilişkilerini göz önünde bulunduran, bilginin ulaşılmasının zor ve yetersiz olduğu ortamlarda risk değerlendirmesi yapmak için kapsamlı bir metodoloji geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hata modu ve etkileri analizi, Gri sistem teorisi, Bulanık mantık, Bulanık bilişsel haritalar, Risk analizi.



Fuzzy Grey Failure Mode and Effect Analysis Application Combined with Fuzzy Cognitive Maps to Manage the Risks of a Software Project

Barbaros ERBAY

Department of Industrial Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN

The failure of software projects is very frequent, since they include high level of uncertainty. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is an extensive method that is used for identifying the importance level of risks in a project by using risk priority numbers (RPN). These risk assessment data are generally attained by utilizing cognitive skills of experts. Since the source of data is generally human judgments, risk assessments can lead to inaccurate conclusions in the final risk ranking. Fuzzy logic is widely employed to handle these inaccuracies and inconsistencies in the literature while assigning risk priority numbers. However, there are still some deficiencies about extension of risks. In order to overcome some of these deficiencies, Grey System Theory (GST) is embedded into the Fuzzy FMEA. The proposed extension, Fuzzy Grey FMEA is totally based on GST, which has become a worthy theory for solving problems within domains with high uncertainty, under discrete small and incomplete data sets. After all, we explored another uncovered weaknesses of the proposed method. FMEA, Fuzzy FMEA and Fuzzy Grey FMEA do not consider the relationships among the risks of a project. To

overcome this disadvantage, we proposed to integrate the idea of cognitive maps to all three methods. Finally, we propose a comprehensive risk assessment methodology by considering the relationships among the risks under ambiguous circumstances.

Keywords: FMEA, Grey system theory, Fuzzy logic, Fuzzy cognitive maps, Risk analysis.



1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Hata Modu ve Etkileri Analizi ve Metodolojisi

Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA – Failure Mode and Effect Analysis), ürün yaşam döngülerinin çeşitli aşamalarında üretim sanayisinde geniş çapta kullanılmaktadır ve günümüzde hizmet endüstrisinde de kullanım alanlarının olduğu görülmektedir [1]. Güvenilirlik bağlantılı problemlerin çözümlerine yardımcı olmak için, FMEA çeşitli üretim alanlarında geniş çaplı olarak uygulanmaktadır [2]. Son yıllarda FMEA etki alanını arttırdı ve hizmet sektöründe de uygulanmaya başladı [3]. FMEA, hizmet sektöründe, sistem FMEA, tasarım FMEA ve hizmet FMEA ile birlikte servis ortamına uygulanması için gerekli genel kuralları sağlayarak önerildi [4]. Hizmet sektöründe yer alan bilişim projelerine (IT) FMEA yöntemi uygulanmış ve onlardan yorumlanabilir sonuçlar alınmıştır.

Bununla birlikte, FMEA literatürdeki diğer yöntemlere entegre edilmiştir. Braglia (2000) [5], FMEA yöntemini genişletmiş ve Çok Nitelikli Hata Modu Analizi (MAFMA) olarak adlandırmıştır. Yazar, başarısızlık modlarının önem düzeylerini tanımlamak için FMEA'yı Analitik Hiyerarşi Sürecine (AHP) yerleştirmiştir. Pillay ve Wang (2003) [6] yeni bir yaklaşım önermişlerdir ve bu yaklaşım, FMEA ile bulanık mantığı ve gri teoriyi kapsamaktadır. Risk faktörü değerlerini ölçmek için Chang (2009) [7], FMEA'daki başarısızlık modlarını önceliklendirmek için sıralı geometrik ortalama yöntemi (OWGA) ve karar verme deneyi ve değerlendirme laboratuvar yöntemini (DEMATEL) önermiştir.

FMEA, risklerin etkilerini en aza indirmek için meydana gelmeden önce potansiyel hataları tanımlamak için kullanılan bir güvenilirlik aracıdır [14] [15]. Hataları olasılıklarına ve benzerliklerine göre sınıflandıran FMEA, bir sistemin başarısızlık türlerini analiz etmek için bir yönetim prosedürüdür. FMEA'nın temel fikri, başarısızlıkların erken fark edilmesi ve başarısızlıkların nedenlerini tasarım aşamasının başlangıcından değerlendirerek önlenmesidir. Bu nedenle, FMEA,

başarısızlıkların etkilerini başlama aşamasına transfer etmesini önlemeye olanak sağlar.

FMEA, tüm sisteme veya sistemin belirli bir bölümüne odaklanabilir. Eğer bir hata gerçekleşirse, FMEA, sistem üzerindeki muhtemel etkileri tespit eder: Sistemin bu hatadan nasıl etkilendiğini, muhtemel sonuçlarını, etkilerin analizini vs.

FMEA'nın ana adımları şu şekilde özetlenebilir:

- Her başarısızlığın etkilerini ve sonuçlarını tanımlar.
- Potansiyel hataları ana hatlarıyla açıklar.
- Üç ölçüme göre hataları önceliklendirir: Oluşma olasılığı, etkilerin şiddeti ve saptanabilirlik
- Hataların izlenmesini kolaylaştırır ve hata tespit işlemlerini önerir.

FMEA, tipik olarak üretim ve hizmet için 4 tip modellerde çeşitlenmiştir. Bunlar:

1. Sistem FMEA, sistem ve alt sistemleri analiz ederek sistem fonksiyonları arasındaki olası hata modlarını tanımlamaya odaklanır.
2. Tasarım FMEA, tasarım hatalarından dolayı hata modlarına yönelik üretime başlamadan önce ürünleri analiz etmek için kullanılır.
3. Süreç FMEA, imalat ve montaj süreçlerini analiz etmek ve üretim ve montaj süreçlerinin zayıflığından kaynaklanan hata modlarını ortadan kaldırmaya odaklanmaktadır.
4. Servis FMEA bir organizasyondaki arızaları / hataları analiz eder. Buna göre, FMEA bir organizasyonun kalitesini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlamaktadır.

Bir FMEA ekibi, şirketin fonksiyonel sorumluluğu ve organizasyon düzeyindeki bir kesitini temsil etmelidir, FMEA ekibinin bu ana soruşturmalar üzerinde çalışması gerekmektedir: analiz edilmesi gereken konunun işlevi, başarısızlık yapma potansiyeli, Bu hatanın etkileri, bu hatanın muhtemel nedenleri, sebeplerin tespit edilebilmesi ve bu nedenlerin önlenmesi.

FMEA, bir ürün veya sürecin öngörülebilir hatalarını belirleyerek insanların deneyimini ve teknolojiyi analitik olarak birleştirir [16]. FMEA süreci Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 FMEA yöntemi

FMEA yönteminde değerlendirmenin amacı, sayısal olarak oluşacak risklerin tanımlanması ve önceliklendirilmesidir. Bu aşamada, her riskin kritikliği bağımsız olarak tanımlanır. Geleneksel FMEA'da, bir bileşen/sürecin risk düzeyini değerlendirmek için bir risk öncelik numarası (RPN) hesaplanır. RPN, (1.1)'de verildiği gibi üç faktörün çarpımının bulunmasıyla elde edilir:

$$RPN = O * S * D \quad (1.1)$$

O, başarısızlığın olasılığını / oluşumunu gösterir, S başarısızlığın şiddetini gösterir ve D, hatayı tespit etme olasılığını (saptayabilme zorluğunu) gösterir.

Literatürde, FMEA iki farklı ölçek kullanılarak uygulanmıştır: 5 puanlık skala ve 10 puanlık skala. 5 puanlık skala, bazı durumlarda duyarsızlık noktasından dolayı yetersiz olduğundan, 10 puanlık skala daha genel kullanımdadır.

Olasılık / Oluşum (O) değerinin skalası aşağıdaki gibidir (Tablo 1.1):

Tablo 1.1 Olasılık / Oluşum (O) değerinin skalası

Oluşumun Tanımı	Olasılık	Değerlendirme
Çok Yüksek: Kaçınılmaz Hata	½'den Daha fazla	10
	1/3	9
Yüksek: Tekrar ve Tekrar Hata	1/8	8
	1/20	7

Orta: Ara Sıra Hata	1/80	6
	1/400	5
Düşük: Nispeten az Hata	1/2000	4
	1/15000	3
Çok Düşük	1/150000	2
Neredeyse olmaz	1/1500000'den Daha az	1

Şiddet (S) değerinin skalası aşağıdaki gibidir (Tablo 1.2):

Tablo 1.2 Başarısızlığın şiddetinin skalası (S)

Şiddetin Etkisi	Değerlendirme
Sistemi "çok yüksek" düzeyde etkileyen potansiyel hata	10
Sistemi "yüksek" düzeyde etkileyen potansiyel hata	9
Sistemi "düşük yüksek" seviyede etkileyen olası hata	8
Sistemi "yüksek orta" düzeyde etkileyen potansiyel hata	7
Sistemi "orta" düzeyde etkileyen potansiyel hata	6
Sistemi "düşük orta" seviyede etkileyen olası hata	5
Sistemi "yüksek düşük" seviyede etkileyen potansiyel hata	4
Sistemi "düşük" seviyede etkileyen potansiyel hata	3
Sistemi "çok düşük" seviyede etkileyen potansiyel hata	2
Etkisi yok	1

Hatayı tespit edememe ihtimalinin ölçeği (D) aşağıdaki gibidir (Tablo 1.3):

Tablo 1.3 Hatayı tespit edememe ihtimalinin ölçeği (D)

Saptanabilirlik	Değerlendirme
Hatanın tespit edilebilirliği neredeyse imkansız	10
Hatanın tespit edilebilirliği çok zor	9
Hatanın tespit edilebilirliği zor	8
Hatanın tespit edilebilirliği düşük	7
Hatanın tespit edilebilirliği çok düşük	6
Hatanın tespit edilebilirliği orta	5
Hatanın tespit edilebilirliği yüksek orta	4
Hatanın tespit edilebilirliği yüksek	3
Hatanın tespit edilebilirliği çok yüksek	2
Hatanın tespit edilebilirliği neredeyse belli	1

Bu faktörler altında analiz yapılır ve sonuçlar kaydedilir. Amaç kritik öneme sahip vakaları önlemektir. RPN değerleri hesaplandıktan sonra sonuçlar azalan düzende sıralanır. RPN değerinin yüksek olması, ilişkili riskin daha kritik olduğu anlamına geldiğinden, ortaya çıkan sıra analistin hazırlık için çözümleri araştırmasına ve risk oluşmadan önce önleme ve / veya azaltma planlarını belirlemesine yardımcı olur.

FMEA yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve kullanıldığında çok şey kazandırır. FMEA'nın avantajları aşağıdaki gibidir:

- Servis sürecinde hatalar nedeniyle küçük bir kayıp olmasını önlemek için, FMEA hata modlarını sistematik olarak gözden geçirir.
- FMEA, her başarısızlığı ve bu süreci veya hizmeti etkileme potansiyeli olan etkilerini tanımlar.
- FMEA, hangi hatanın süreç veya hizmet üzerinde daha etkili olduğunu belirler ve bu şekilde FMEA en büyük olası hasarı tanımlar.
- Bir işlemde, FMEA, montaj olasılığını ve montajdan önce nedenlerini tanımlar.

- FMEA, başarısızlık oranlarını ve modlarını tanımlayarak gerekli bakım uygulamalarını oluşturmayı sağlar.
- Bir süreçte veya hizmette FMEA, değiştirildikten sonra yeni bir ürünün etkilerini tanımlar.
- FMEA, yüksek riskli bileşenlerin nasıl güvenilir hale getirilebileceğini tanımlar.
- FMEA, bir başarısızlık oluştuğunda nasıl aşılması gerektiğini tanımlar.

Yukarıda belirtildiği gibi, FMEA'nın birçok avantajı vardır, ancak FMEA'nın bazı zayıf yönleri vardır. Bazılarını özetlemek için:

- RPN elemanlarının eşit ağırlıkta olduğu varsayımı aşırı sadeleştirmeye yol açmaktadır [17]. O, S ve D arasındaki göreceli önemi ihmal eder. Üç faktörün de aynı öneme sahip olduğu varsayılmaktadır. FMEA sürecinin pratik bir uygulaması düşünüldüğünde bu durum böyle olmayabilir [6].
- RPN elemanlarının birçok yinelenen numarası vardır [17]. Geleneksel FMEA'nın bir risk sıralaması elde etmek için kullandığı yöntem eleştirel olarak tartışılmaktadır. Riski önem sırasına göre sıralamanın amacı, sınırlı kaynakları en ciddi risk kalemlerine atamaktır. Çeşitli O, S ve D kümeleri aynı RPN değeri üretebilir; Bununla birlikte, risk uygulaması tamamen farklı olabilir. Örneğin, O, S ve D için sırasıyla 3, 5, 2 ve 2, 3, 5 değerlerine sahip iki farklı olayı düşünün. Bu olayların her ikisinde de RPN değerleri aynı olacaktır ($RPN_1 = 3 * 5 * 2 = 30$ and $RPN_2 = 2 * 3 * 5 = 30$), ancak bu iki olayın risk sonuçları mutlaka aynı olmayabilir. Bu, kaynakların ve zamanın boşa harcanmasına neden olabilir veya bazı durumlarda yüksek riskli bir olay fark edilmeyebilir [6].
- RPN ölçeğinin kendisi sezgisel olmayan istatistiksel özelliklere sahiptir. Güvenlik açısından sadece üç faktörden türetilmiştir ve konvansiyonel RPN metodu, bileşenler arasındaki dolaylı ilişkileri dikkate almamıştır [17].

Bir başarısızlık meydana geldiğinde, bu başka bir başarısızlığın nedeni olabilir. FMEA, hata modları arasındaki ilişkileri ve bunların birbirleri üzerindeki etkilerini dikkate almaz. Bu bir FMEA sınırlamasıdır. Özellikle bu çalışmada bunun üstesinden geleceğiz.

1.1.2 Bulanık FMEA ve Metodolojisi

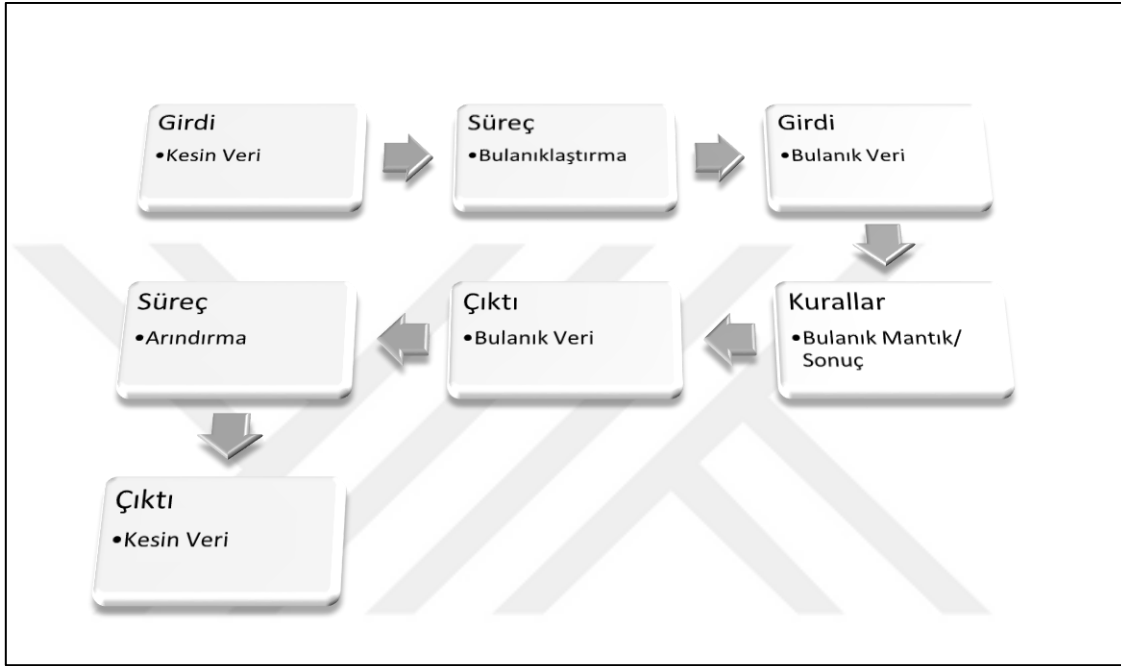
Geleneksel risk önceliklendirme sayısının (RPN – Risk Priority Number) eksikliklerinin üstesinden gelmek için FMEA literatüründe önemli uygulamalar yapılmıştır. Bulanık FMEA mantığı, bulanık dilbilimsel terimleri kullanarak O, S ve D risk faktörlerini tanımlayan uzmanların görüşlerini kullanır. O, S ve D'nin üç risk faktörünü değerlendirmek için dilsel değişkenler kullanılır. Bowles ve Pelaez, O, S ve D'yi ve başarısızlık risklerini tanımlamak için bulanık dilbilim terimlerini kullanan FMEA'daki başarısızlıkları önceliklendirmek için bulanık mantık temelli bir yaklaşımı tanımladılar [8]. Uzman bilgisine göre, bulanık “eğer-öyleyse” (if-then) kuralları elde edilmiş ve her risk için, bir risk ile o riskin O, S ve D değerleri arasındaki ilişkiyi bulma konusunda uzmanlık sağlanmıştır. Bulanıklaştırma işlemi, her bir olası eğer-öyleyse kuralın öncülünü eşleştirmek için O, S ve D adına net derecelendirmeler için çalıştırıldı. Onların önermesinde herhangi bir gerçeği olan bütün kurallar, bulanık sonuca katkıda bulunmak için soru yağmuruna tutuldu. Bulanık sonuca ulaşmak için, Arındırma (bulanık değerleri bulanıklıktan kurtarma) süreci uygulandı.

Pillay ve Wang [6], geleneksel RPN kullanımını önlemek için bulanık bir kural tabanı yaklaşımı önermişlerdir. Üç risk faktörün olan O, S ve D'nin üyelik fonksiyonlarını kurmaya çalışmışlardır. Üyelik fonksiyonları geliştirilmiş ve FMEA, beyin fırtınası teknikleri kullanılarak geleneksel şekilde uygulanmıştır. Her bir hata moduna, üç risk faktörünün her biri için bir dilbilimsel terim atanır. Bu üç dilbilimsel terim, dikkat çekme adına önceliğini temsil eden bir dilbilimsel terim oluşturmak için oluşturulan bulanık kural tabanı kullanılarak bütünleştirilmiştir. Bu dilbilimsel terim, hata modunun risk sıralamasını temsil eder.

Bulanık mantık, kesin olmayan, yaklaşık olarak mantıklı olan mantığın üstesinden gelmek için bulanık küme teorisinden elde edilen çok değerli bir formdur. Bulanık mantık değişkeni, yalnızca 0 veya 1 değil, aynı zamanda 0 ve 1 arasında bir değerde bir üyelik değerine sahip olabilir. Bulanık mantıkta bir ifadenin doğruluk derecesi 0 ile 1 arasında değişebilir ve klasik önermesel mantıkta olduğu gibi iki doğruluk değeriyle sınırlandırılmaz {true (1), false (0)}. Kesin ya da tam olmayan bir muhakeme olan yaklaşık muhakeme, bulanık mantık tarafından sağlanan bir

temeldir. Bulanık mantık, geleneksel iki değerli mantığa göre muhakeme için dünyaya daha aşağı bir çerçeve önerir.

“Bulanık mantık” adı, Lotfi Zadeh [18] tarafından bulanık kümeler teorisinin gelişiminin bir sonucu olarak ortaya çıkarılmıştır. 1965 yılında Zadeh bulanık küme teorisini [18] önerdi ve daha sonra bulanık kümelere dayalı bulanık mantık oluşturdu. Bulanık mantık süreci Şekil 1.2’de [1] verilmiştir.



Şekil 1.2 Bulanık mantık süreci

Açıklanan bulanık mantık algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir:

1. Başlatma: Dilsel değişkenleri ve terimleri tanımla
2. Başlatma: Üyelik fonksiyonunu oluştur
3. Başlatma: Kural tabanını oluştur
4. Bulanıklaştırma: Üyelik fonksiyonlarını kullanarak net giriş verilerini bulanık değerlere dönüştür
5. Çıkarım: Kuralları değerlendir
6. Çıkarım: Her kuralın sonuçlarını birleştir
7. Arındırma: Çıktı verilerini bulanık olmayan değerlere dönüştür

Bulanık mantık, dilsel değişkenleri, değerleri sayısal değerler yerine doğal bir dilden elde edilen kelimeler veya cümleler olan sistemin giriş veya çıkış değişkenleri olarak kullanır. Dilsel değişken genellikle dilsel terimler kümesine

ayrılır. Bulanık olmayan giriş değerlerini bulanık dilsel terimlerle ve bulanık çıktı değerlerini bulanık olmayan dilsel terimlerle eşleştirmek için, üyelik fonksiyonları bulanık mantık sisteminin (FLS) bulanıklaştırma (fuzzification) ve arındırma (defuzzification) adımlarında kullanılır. Dilbilimsel bir terimi ölçmek için bir üyelik fonksiyonu kullanılır. Bu bulanık değerlendirmeler, üçgensel, yamuk, parça parça doğrusal, Gauss ve Singleton gibi farklı üyelik fonksiyonlarında temsil edilebilir.

Bulanık mantık kavramını matematiksel olarak ifade edelim. X boş olmayan bir küme olsun. Bir üyelik fonksiyonu, X 'deki bulanık küme A 'yı karakterize eder. $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ ve $\mu_A(x)$, her $x \in X$ için bulanık küme A 'daki x elemanının üyelik derecesi olarak yorumlanır. A 'nın, $A = \{(u, \mu_A(u)) | u \in X\}$ kümesi tarafından tamamen belirlendiği açıktır. $\mu_A(x)$ yerine sık sık $A(x)$ kullanılır. X 'deki tüm bulanık kümelerin ailesi $F(X)$ ile gösterilir.

Eğer $X = (x_1, \dots, x_n)$ sonlu bir küme ve A , X 'de bulanık bir küme ise, aşağıdaki gösterim sıklıkla kullanılır.

$$A = \frac{\mu_1}{x_1} + \dots + \frac{\mu_n}{x_n} \quad (1.2)$$

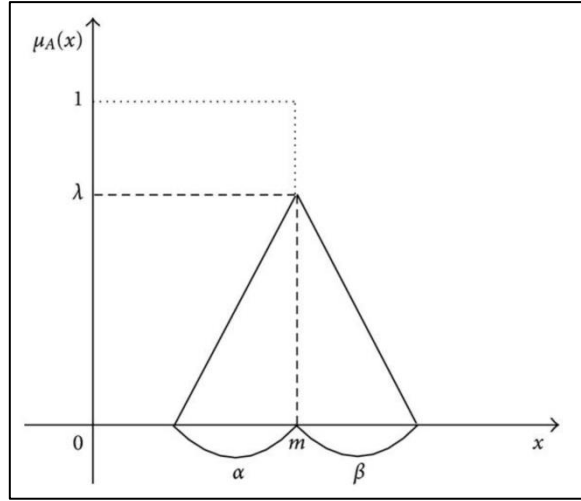
burada $\mu_i/x_i, i = 1, \dots, n$ terimi μ_i 'nin A 'da x_i üyeliği olduğu ve artı işareti, birliği temsil ettiği anlamına gelir.

Çeşitli üyelik fonksiyonları arasından Üçgen olanı aşağıda gibi örneklendirmek gerekir.

Eğer üyelik fonksiyonu aşağıdaki özelliklere sahipse, bulanık bir küme olan A , tepesi (veya ortası) m , sol genişliği $\alpha > 0$ ve sağ genişliği $\beta > 0$ olan üçgen bulanık sayı olarak adlandırılır:

$$\begin{aligned} & \{\underline{\mu}_G(x): x \rightarrow [0,1]\} \\ A(t) = & \begin{cases} 1 - \frac{m-t}{\alpha}, & \text{eğer } m - \alpha \leq t \leq m \\ 1 - \frac{t-m}{\beta}, & \text{eğer } m \leq t \leq m + \beta \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \end{aligned} \quad (1.3)$$

ve burada $A = (m, \alpha, \beta)$ notasyonunu kullanıyoruz. Üçgen bir bulanık üyelik fonksiyonu Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Üçgen bulanık üyelik fonksiyonu

Merkezi m olan üçgen bulanık bir sayı, “ x yaklaşık olarak m 'ye eşittir” gibi bulanık bir miktar olarak görülebilir.

Çıkış değişkenini kontrol etmek için, bulanık mantık sistemi içinde bir kural tabanının oluşturulması gerekir. Bulanık bir kural, koşul ve sonucu olan basit bir EĞER-ÖYLEYSE (IF-THEN) kuralıdır. Kesin bir sonuç elde etmek için, bu sonuçların her kuralın sonucunu değerlendirdikten sonra birleştirilmesi gerekir. Bu işleme “çıkarım” denir. Bireysel kuralların sonuçları farklı şekillerde birleştirilebilir:

- Maksimum
- Sınırlı toplam
- Normalleştirilmiş toplam

Sonucun biçimine bağlı olarak, iki ana kural tabanlı bulanık model türü seçilmiştir [19]:

- Mamdani dilbilimsel bulanık model: Hem öncül hem de sonuç, bulanık önermelerdir.
- Takagi – Sugeno bulanık modeli: Öncül bulanık bir önermedir; Sonuç net bir fonksiyondur.

Bulanık çıkarım tekniği olarak en çok kullanılan Mamdani yöntemidir [20].

Çıkarım adımından sonra, genel sonuç olarak bulanık bir değer elde edilir. Kesin bir net çıktı elde etmek için, bu sonucun çıktı değişkeninin üyelik fonksiyonuna

göre gerçekleştirilerek arındırılması gerekir. Bu, bir bulanık mantık sürecinin arındırıcı bileşeninin amacıdır. Arındırma için farklı algoritmalar vardır [21], [22]]:

- Ağırlık merkezi
- Singletons için Ağırlık Merkezi
- Alanın Merkezi
- Maksimum Solda
- Maksimum Sağda

Ağırlık merkezi (centroid) tekniği bu algoritmalar arasında en popüler olanıdır. Dikey bir çizginin, bütün bir seti iki eşit kütleyle dilimleyeceği noktayı bulur. Matematiksel olarak bu ağırlık merkezi (COG) şu şekilde ifade edilebilir:

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x)xdx}{\int_a^b \mu_A(x)dx} \quad (1.4)$$

Centroid arındırma yöntemi, bulanık küme A'nın ağırlık merkezini temsil eden bir noktayı $[a, b]$ aralığında bulur. Bulanık mantık, kontrol teorisinden yapay zekaya kadar farklı alanlara uygulanmıştır. Bu aşamada bulanık mantık yöntemine devam etmeden, okuyucunun üzerinde temel bir anlayışa sahip olması gerekir.

Önerilen yaklaşımda, aynı RPN değerlerine sahip, ancak farklı risk çıkarımlarına sahip olacak olan FMEA içinde tanımlanan potansiyel nedenleri sıralamak için bulanık bir kural tabanı kullanılmaktadır. Yaklaşım daha sonra analizi, dilsiz terimleri kullanarak O , S ve D için ağırlıklandırma faktörlerini içerecek şekilde genişletir.

Bulanık mantık algoritması şöyledir:

1. Her risk için ortalama O , S , D değerlerini hesaplayın ($\bar{O}, \bar{S}, \bar{D}$).

Örneğin (R10 riski için);

$$\bar{O} = \frac{1}{n}(E_1^O + \dots + E_n^O) = \frac{1}{5}(4 + 2 + 3 + 4 + 2) = 3,0$$

$$\bar{S} = \frac{1}{n}(E_1^S + \dots + E_n^S) = \frac{1}{5}(7 + 6 + 4 + 4 + 7) = 5,6$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n}(E_1^D + \dots + E_n^D) = \frac{1}{5}(1 + 5 + 4 + 3 + 3) = 3,2$$

2. Her bir risk giriş değişkeni için üyelik fonksiyonlarını ve fonksiyon seviyelerini bulun.

R10 için;

$\bar{O}$ 'nun üyelik fonksiyonu:

$$\text{Düşük} \quad \mu(x) = (4-x)/(3/2) \quad 2,50 \leq x \leq 4,00$$

$$\text{Orta} \quad \mu(x) = (x-3)/2 \quad 3,00 \leq x \leq 5,00$$

$\bar{S}$ 'nin üyelik fonksiyonu:

$$\text{Orta} \quad \mu(x) = (7-x)/2 \quad 5,00 \leq x \leq 7,00$$

$\bar{D}$ 'nin üyelik fonksiyonu:

$$\text{Düşük} \quad \mu(x) = (4-x)/(3/2) \quad 2,50 \leq x \leq 4,00$$

$$\text{Orta} \quad \mu(x) = (x-3)/2 \quad 3,00 \leq x \leq 5,00$$

3. Kullanılan üyelik fonksiyonuna göre sonuçları elde edin.

R10 için;

$\bar{O}$ için fonksiyon sonucu:

$$\mu_{low}(3) = (4 - 3)/(3/2) = 0,67$$

$$\mu_{med}(3) = (3 - 3)/2 = 0$$

$\bar{S}$ için fonksiyon sonucu:

$$\mu_{med}(5,6) = (7 - 5,6)/2 = 0,70$$

$\bar{D}$ için fonksiyon sonucu:

$$\mu_{low}(3,2) = (4 - 3,2)/\left(\frac{3}{2}\right) = 0,53$$

$$\mu_{med}(3,2) = (3,2 - 3)/2 = 0,10$$

4. Mamdani min / maks çıkarım mekanizmasını kullanın ve her risk için $\bar{O}, \bar{S}, \bar{D}$ değerleri arasındaki fonksiyon seviyelerini ve minimum giriş değerini bulun.

R10 için;

$$\max(\bar{O}_{low}; \bar{O}_{med}) = \max(0,67; 0,00) = 0,67 \text{ Low}$$

$$\max(\bar{S}_{med}) = \max(0,70) = 0,70 \text{ Medium}$$

$$\max(\bar{D}_{low}; \bar{D}_{med}) = \max(0,53; 0,10) = 0,53 \text{ Low}$$

$$\min(\bar{O}; \bar{S}; \bar{D}) = \min(0,67; 0,70; 0,53) = 0,53$$

5. Çıkış kuralları tablosunu kullanarak çıktı fonksiyonu için fonksiyon seviyelerini bulun.

R10 için;

<u>O</u>	<u>S</u>	<u>D</u>	<u>Bulanık Çıktı</u>
Düşük	Orta	Düşük	Düşük

6. Ağırlık merkezi yöntemini kullanarak sonuçları arındırın.

R10 için;

$$CoG_{(R10)} = \frac{\int_2^{2,53} (x-2)x dx + \int_{2,53}^{3,47} x dx + \int_{3,47}^4 (4-x)x dx}{\int_2^{2,53} (x-2) dx + \int_{2,53}^{3,47} dx + \int_{3,47}^4 (4-x) dx}$$

$$CoG_{(R10)} = \frac{(x^3/3 - x^2)|_2^{2,53} + (x^2/2)|_{2,53}^{3,47} + (2x^2 - x^3/3)|_{3,47}^4}{(x^2/2 - 2x)|_2^{2,53} + (x)|_{2,53}^{3,47} + (4x - x^2/2)|_{3,47}^4} = 3,00$$

Önerilen bulanık kural temelli yaklaşımın FMEA'ya uygulanması için avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Bir FMEA çalışmasında kullanılmak üzere uzman bilgisi ve deneyimini birleştirmek için organize bir yöntem sağlar. Bu yaklaşım, RPN skoru ile şiddet, oluşma ve tespit edilememe skorları arasındaki ilişkinin, geleneksel RPN modelinde olduğu gibi doğrusal değil, doğrusal olmadığını varsaymaktadır.

2. Bulanık yaklaşımda dilbilimsel terimlerin kullanılması, uzmanların, dikkate alınan faktörler için daha anlamlı bir değer belirlemesini ve dolayısıyla FMEA'nın uygulanabilirliğini geliştirmesini sağlar. Bu, dikkat önceliği göz önüne alındığında, belirlenen olayların göz ardı edilmemesini (düşük RPN nedeniyle) sağlar.
3. FMEA'daki her bir faktöre ağırlık atama esnekliği, çalışılan sistemdeki/bileşendeki zayıf alanları tanımlamak için bir araç sağlar [6].
4. Modellemede girdi faktörlerinin (önem derecesi, oluşumu ve tespit edilmemesi) kombinasyonunu dikkate alır. Örneğin, eğer bulanık IF-THEN kuralları şeklinde açıklanan belirli bir şiddet, oluşma ve tespit edilemem puanları kombinasyonu yerine getirilmişse, bir başarısızlık ancak yüksek bir RPN puanına sahip olacaktır. Bu, RPN puanının gerçek başarısızlık riskini yansıtmadığı durumlar için bir çözüm olabilir.
5. Bulanık çıkarım teknikleri, insan/uzman bilgisini içerebilir, böylece bilgiler modelleme sürecinde belirsiz ve kesin olmayan ifadelerle açıklanır. Bulanık çıkarım tekniklerinin davranışı insanlar tarafından kolayca yorumlanabilen bir dille ifade edilir. Bu, RPN modelinin FMEA kullanıcıları tarafından kolay ve anlaşılır bir şekilde özelleştirilmesine yol açmaktadır [23].

FMEA, bir ürünün veya sürecin potansiyel hata modlarını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir risk değerlendirme aracıdır. Düzeltici faaliyet için öncelikleri başarısızlıkların etkilerine göre sıralayarak, başarısızlık şansı azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Bununla birlikte, geleneksel FMEA'nın yürütülmesi sırasında, doğal dildeki öznel ve niteliksel açıklama, risk derecelendirmeleri arasındaki göreceli önem, aynı derecelendirmeler arasındaki risk temsili farkı ve FMEA ekibi üyeleri arasında paylaşılan bilgiler gibi çeşitli zorluklar olabilir. Dolayısıyla bu çalışmada bu zorluklarla başa çıkmak için bulanık teoriye dayalı yeni bir risk değerlendirme sistemi önerilmiştir.

1.1.3 Gri Sistem Teorisi ve Bulanık Gri FMEA ve Metodolojisi

Julong Deng (1982), ilk kez kısmen bilinen ve kısmen bilinmeyen bilgilerle karakterize edilen durumlarla başa çıkmak için Gri Teori'yi sundu [9]. İnsan toplumu ve doğasında Gri Teori üç tip sistemi içerir: beyaz, siyah ve gri sistem. Bir sistem kısmen açık veya kısmen belirsiz bilgi içeriyorsa, buna "gri sistem" denir.

Gri sistem her bir stokastik değişkeni, belirli bir aralık içinde değişen gri bir miktar olarak koyar. Son yirmi yılda Gri Sistem Teorisi (GST), birçok araştırmacının dikkatini çekmeyi başardı ve hızla ilerledi.

Endüstriyel, ulaştırma, sosyal, ekonomi, tıp, vb. Gibi çeşitli sistemlerde GST hakkında önemli ve yaygın uygulamalar bulunmaktadır. Finansal alandaki bazı araştırma çalışmaları aşağıdaki gibidir: Bir çalışmada bulanıklaştırma teknikleri ile gri sistem teorisinin kombinasyonunun (adaptif adım boyutuna sahip GM (1, 1) model) hisse senedi fiyatlarını öngörmek için önerildiği ve yaklaşımın çok verimli olduğu gösterilmiştir [10]. Bir başka çalışmada, Huang ve Jane (2009) [11], hibrit yöntemin GM (1, 1) yönteminden daha büyük bir tahmin doğruluğuna sahip olduğunu kanıtlamak için, hareketli ortalama otoregresif eksojen (ARX) tahmin modelini zaman tahminine yönelik gri tahmincilerle birleştirmiştir. Destek serisi regresyon (SVR) öğrenme algoritmasını ve gri sistem teorisini birleştiren bir destek vektör regresyon gri modeli (SVRGM), Chang ve Tsai (2008) [12] tarafından zaman serisi tahminine daha iyi bir yaklaşım elde etmek amacıyla tanıtılmıştır. Başka bir çalışmada, Bulanık Gri Bilişsel Haritalar (FGCM) adı verilen Gri Sistemler Teorisi ve Bulanık Bilişsel Haritalara dayanan yenilikçi ve esnek bir model, Salmeron (2010) tarafından önerilmiştir [13]. Özellikle çoklu anlam temelli ortamlarda çok çeşitli sorunlara uyarlanabilir ve benzer araçlarla karşılaştırıldığında bazı avantajlar sunar.

Gri Sistem Teorisi (GST), çok belirsiz, ayrık küçük ve eksik veri setleri olan çevresel koşullar altında problem çözerken çok etkili bir yöntemdir [24]. Yetersiz bilgiye sahip olan küçük örneklerin sorunlarını incelemek için GST, sanayi, ulaştırma, işletme, enerji, meteoroloji, jeoloji, hidroloji bilimi, tıp, askeri bilim, tarım ve benzeri alanlarda başarılı uygulamalarla geliştirilmiştir [13].

GST, çoklu anlamdaki (gri) ortamla daha iyi uyar ve bu GST'nin bulanık yaklaşımlara göre avantajlarından biridir [25], [18]. Doğru değerlerin eksikliği bu tür bir belirsizlik yaratır. Örneğin, cümle olarak "Bir yazılım uygulamasının bir bakım projesinin beklenen maliyeti 0.1 ila 0.5 milyon dolar arasındadır" belirsizliği cümlelerin çoklu anlamı ile ortaya çıkmaktadır. Maliyet (çoklu anlam veya gri değişken) 0,1 veya 0,2 veya 0,5 milyona kadar olan herhangi bir değer olabilir. Yani, bu bilgiden sadece [0.1, 0.5] aralığını biliyoruz, ancak tam maliyeti

bilmiyoruz. Dahası, GST bulanıklığın durumunu da dikkate almaktadır. Yani, belirsizlik durumuyla esnek bir şekilde başa çıkabilir [26], [27], [28].

Gri sistemler objektif verilerle ilgilenir. Bulanık sistemler gibi daha önceden hiçbir bilgiye ihtiyaç duymazlar. Bulanık matematik genellikle deneyime dayalı önceki bazı bilgileri tutar [29].

Araştırılan nesnelerin yoğunluk ve kapsam özelliği, bulanık kavram ve gri sistemler kavramının en önemli farkıdır [29].

- Gri Sistemler (net kapsam, belirsiz yoğunluk)
- Bulanık Teori (net yoğunluk, belirsiz kapsam)

Bulanık teori, bilişsel belirsizlikler ile ilgili problemlerin araştırılmasında kendi gücüne sahiptir. Bulanık mantık kullanılarak incelenen tüm nesneler, açık bir kapsam olmadan net bir yoğunluğa sahip olma özelliğine sahiptir [29]. Örneğin, “eski” kavramı bulanık bir kavramdır. Çünkü tüm insanlar “eski” bir nesnenin anlamını bilirler. Bununla birlikte, bir nesnenin “eski” mantığının içinde olduğu ve “eski” mantığının dışında olduğu bir zaman aralığı tanımlamak son derece zor veya imkansız olacaktır. Bulanık teorisinin ana fikri deneyimlere dayanır.

GST’de, bilinen bilgilerin derecesine göre, eğer sistem bilgisi tam olarak biliniyorsa (tam bir anlayış), sistem “beyaz” bir sistem olarak adlandırılırken, sistem bilgisi tamamen bilinmiyorsa, “siyah” sistem olarak adlandırılır. Kısmi bilinen bilgiye sahip bir sistem ve kısmi bilinmeyen bilgiye sahip bir sistem “gri” sistemdir [13].

U evrensel küme olsun. Daha sonra U ’nun gri bir kümesi olan G , onun her iki eşleşmesi olan $\overline{\mu}_G(x)$ ve $\underline{\mu}_G(x)$ tanımlanır. Sonra;

$$\begin{cases} \overline{\mu}_G(x): x \rightarrow [0,1] \\ \underline{\mu}_G(x): x \rightarrow [0,1] \end{cases}$$

$\underline{\mu}_G(x) \leq \overline{\mu}_G(x)$ olarak belirlenir ve buradaki $\overline{\mu}_G(x)$ ve $\underline{\mu}_G(x)$, G ’ye ait üyelik fonksiyonlarının üst ve alt limitlerini temsil eder. Ek olarak, GST bulanıklığı göz önünde bulundurduğunda ($\overline{\mu}_G(x) = \underline{\mu}_G(x)$), gri olan G kümesi bulanık bir kümeye dönüşür.

Gri bir sayı, doğru değeri bilinmeyen bir sayıdır, ancak değer içindeki aralığın dahil edildiği bilinmektedir. Uygulamalarda, genel olarak gri bir sayı bir aralık veya

genel bir sayı kümesidir. Gri bir sayıyı $\otimes G$ olarak gösteririz. Hem alt limiti ($\underline{G}$) hem de üst limiti ($\overline{G}$) olan gri renkli bir sayı, aralıklı bir gri sayı olarak adlandırılır [27] ve $\otimes G \in [\underline{G}, \overline{G}]$, $\underline{G} \leq \overline{G}$ olarak gösterilir.

Siyah bir sayı $\otimes G \in (-\infty, +\infty)$, beyaz bir sayı $\otimes G \in [\underline{G}, \overline{G}]$, $\underline{G} = \overline{G}$ şeklinde ifade edilecektir. Siyah sayılar hakkında herhangi bir bilgiye sahip olmazken, beyaz sayılar hakkında net bir bilgiye sahibizdir.

Gri bir sayısının uzunluğunu $\ell(\otimes G) = |\overline{G} - \underline{G}|$ şeklinde tanımlarız. Bu anlamda, gri sayısının uzunluğu sıfırsa ($\ell(\otimes G) = 0$), bu bir beyaz sayıdır. Diğer yandan, eğer $\ell(\otimes G) = \infty$ ise, gri sayı tam anlamıyla bir siyah sayı değildir. Çünkü tek limitli (üst limitli veya alt limitli) bir gri sayının uzunluğu ($\otimes G \in [\underline{G}, +\infty)$ veya $\otimes G \in (-\infty, \overline{G}]$) sonsuzdur fakat siyah bir sayı değildir [27].

Ayrıca, $\otimes G_1 \in [\underline{G}_1, \overline{G}_1]$ ve $\otimes G_2 \in [\underline{G}_2, \overline{G}_2]$ olmak üzere iki tane gri numaramız varsa, aralarındaki matematiksel işlemler aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 \in [\underline{G}_1 + \underline{G}_2, \overline{G}_1 + \overline{G}_2] \quad (1.5)$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 \in [\underline{G}_1 - \underline{G}_2, \overline{G}_1 - \overline{G}_2] \quad (1.6)$$

$$\otimes G_1 * \otimes G_2 \in \left[\min \left(\underline{G}_1 * \underline{G}_2, \underline{G}_1 * \overline{G}_2, \overline{G}_1 * \underline{G}_2, \overline{G}_1 * \overline{G}_2 \right), \max \left(\underline{G}_1 * \underline{G}_2, \underline{G}_1 * \overline{G}_2, \overline{G}_1 * \underline{G}_2, \overline{G}_1 * \overline{G}_2 \right) \right] \quad (1.7)$$

$$\frac{\otimes G_1}{\otimes G_2} \in \left[\min \left(\frac{\underline{G}_1 * \frac{1}{\underline{G}_2}, \underline{G}_1 * \frac{1}{\overline{G}_2}}{\underline{G}_1 * \frac{1}{\underline{G}_2}, \underline{G}_1 * \frac{1}{\overline{G}_2}}, \max \left(\frac{\underline{G}_1 * \frac{1}{\underline{G}_2}, \underline{G}_1 * \frac{1}{\overline{G}_2}}{\underline{G}_1 * \frac{1}{\underline{G}_2}, \underline{G}_1 * \frac{1}{\overline{G}_2}} \right) \right] \quad (1.8)$$

Beyaz olanlarda gri sayıların dönüştürme sürecine, “beyazlaştırma” denir [27]. Bu işlem için iki tür gri sayı göz önüne alıyoruz. İlki, bir baz değerinin (λ) etrafında sallanan gri sayı olan $\otimes G(\lambda)$. Beyazlatma değeri λ ve titreşim değeri ε_λ 'dir. Eğer $\varepsilon_\lambda = 0$ ise $\otimes G(\lambda) = \lambda$ eşitliği oluşur ve bu beyaz bir sayıdır.

$$\otimes G(\lambda) = \lambda + \varepsilon_\lambda \quad (1.9)$$

İkinci gri sayı türü, daha önce ayrıntılı olarak verilen aralıklı gri sayıdır. Beyazlaşma değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\widehat{\otimes} G = \delta \underline{G} + (1 - \delta) \overline{G} \quad \delta \in [0,1] \quad (1.10)$$

Eğer $\delta = 1/2$ ise, beyazlatma değeri eşit ortalama ağırlıklı beyazlatma olarak adlandırılır [27]. Her halükarda, bir baz değer etrafında titreyen gri sayılar, aşağıdaki gibi aralıklı gri sayılar olarak genelleştirilebilir.

$$\otimes G(\lambda) \in [\underline{b - \varepsilon_\lambda}, \overline{b + \varepsilon_\lambda}] \quad (1.11)$$

Bizim görüşümüze göre, uzman bilgilerinin zayıflıklarının üstesinden gelmek için Bulanık FMEA'ya Gri Sistem Teorisi uyguladık. Örneğin, bir uzman, Olasılık (O) değeri için 1 - 10 arasında bir sayı verebilir fakat uzman bir çelişki içinde olduğunda o zaman uzman bir aralık değeri verebilir. Uzman, 7 yerine bu sayının 6 ile 8 arasında olduğunu söyleyebilir. Bu, Olasılık değerinin, uzmana göre 6, 7 ve 8 olabileceği anlamına gelir. Bu şekilde, uzmanların bu tür çelişkilerini ortadan kaldırmayı ve bir aralıktaki riskleri değerlendirmeyi amaçladık.

Bulanık Gri FMEA Algoritması

1. Her risk için O, S, D bileşenlerinin alt değerlerini alın.

R10 riski için örnek;

$$\underline{G}_{O,S,D}^{[10]} = (2; 4; 1)$$

2. Alt değerler için “Bulanık FMEA Algoritması” nı kullanın ve bulanık değerleri alt çıktı değeri olarak belirleyin.

$$\underline{G}^{[10]} = 3$$

3. Her risk için O, S, D bileşenlerinin üst değerlerini alın.

$$\overline{G}_{O,S,D}^{[10]} = (4; 7; 5)$$

4. Üst değerler için “Bulanık FMEA Algoritması” nı kullanın ve bulanık değerleri üst çıktı değeri olarak belirleyin.

$$\overline{G}^{[10]} = 6$$

5. Alt ve üst çıktıları arasındaki “Uzunluğu” hesaplayın.

$$\ell(\otimes COG^{[i]}) = |\underline{G}^{[i]} - \overline{G}^{[i]}|$$

$$\ell(\otimes COG^{[10]}) = |3 - 6| = 3$$

6. Her risk için “Grilik” değerini hesaplayın.

$$\phi(\otimes COG^{[i]}) = \frac{|\ell(\otimes COG^{[i]})|}{\ell(\otimes \psi)}$$

$$\phi(\otimes COG^{[10]}) = \frac{3}{10 - 1} = 0,33$$

7. Her risk için “Katsayı” değerini hesaplayın.

$$g' = \frac{\sum_{i=1}^n \phi(\otimes COG^{[i]})}{n}$$

$$f(\delta^{[i]}) = \begin{cases} 0,5, & \phi(\otimes COG^{[i]}) \leq g' \\ 0,5 - 0,5 * \phi(\otimes COG^{[i]}), & \phi(\otimes COG^{[i]}) > g' \end{cases}$$

$$g' = 0,32$$

$$f(\delta^{[10]}) = 0,5 - 0,5 * 0,33 = 0,335$$

8. Her risk için “Beyazlaşma” değerini hesaplayın.

$$\otimes COG^{[i]} = f(\delta^{[i]})\underline{G}^{[i]} + (1 - f(\delta^{[i]}))\overline{G}^{[i]} \quad \delta^{[i]} \in [0,1]$$

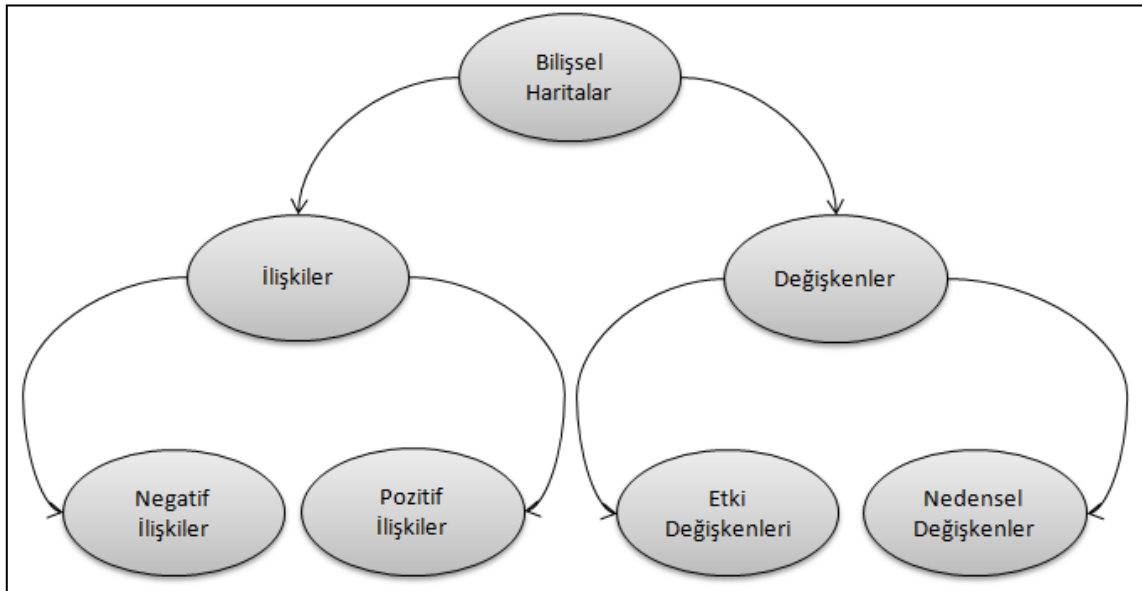
$$\otimes COG^{[10]} = 0,335 * 3 + (1 - 0,335) * 6 = 4,995$$

1.1.4 Bulanık Bilişsel Haritalar ve Metodolojisi

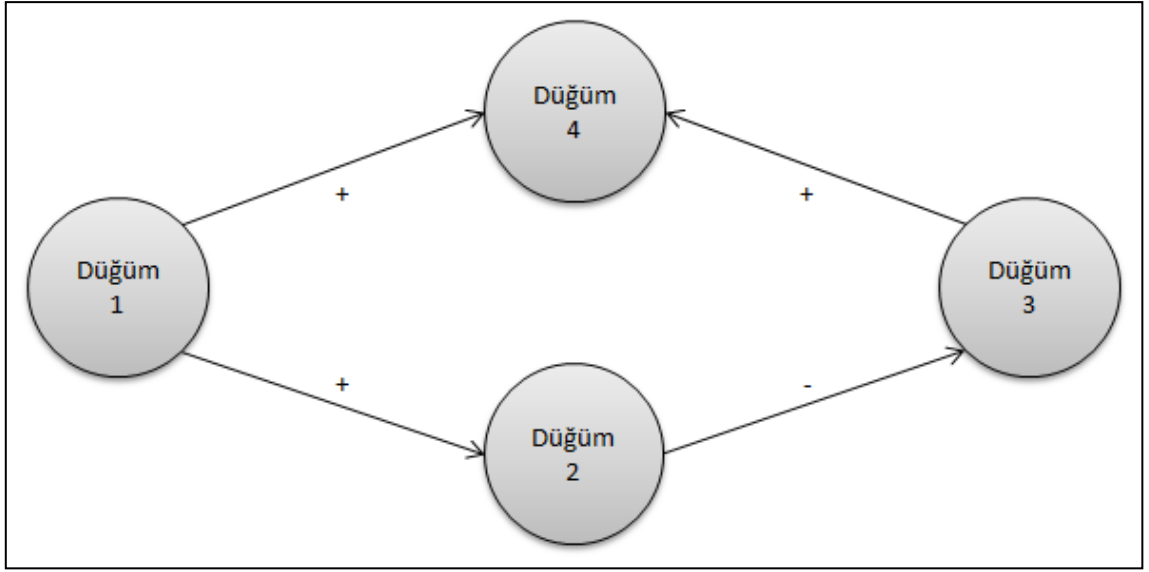
FCM'lerin kökeni, ilk önce Tolman tarafından önerilen Bilişsel Haritalar (CMs) kavramıdır [30]. Politik ve sosyal bilimlerde belirli bir çevrenin unsurları arasındaki ilişkileri ve sebep ilişkisini temsil etmek için CM'ler uygulanmıştır [30] [31]. Sonra Axelrod, "+" ve "-" nedensellik değerine sahip olan CM'nin insanın

bilme yetisini simüle etmek için yeterli olduğunu ve bu karar vericilerin problemleri çözmek için daha karmaşık ilişkiler dizisini tercih etme eğiliminde olmadıklarını iddia etti [31].

CMs yöntemi, karmaşık sistemleri modellemek için kullanılan ve karmaşık sistemlerin bileşenleri arasındaki neden-sonuç ilişkilerini temsil eden bir tekniktir. Uzmanların haritalarla stratejik karar verme konusundaki görüşlerini gösteren CM metotları, elemanların sistemlerdeki veya problemlerdeki ilişkilerinin ve bu unsurlardan herhangi birindeki herhangi bir değişikliğin yönünü de (nedensellik değeri "+" ve "-") sunar. Axelrod [32], belli bir problemdeki kavramları bilişsel haritalarla göstermeye ve grafiksel olarak bu kavramlar arasında sebep-sonuç ilişkisini göstermeye yönelmişti. Böylece bilişsel haritalar, uzmanların görüşlerini birleştirerek karmaşık bir konunun yapısının anlaşılması ve analizi için güvenilir bir yol olarak kullanılan yerleşik bir yöntem haline gelmiştir. CM'lerin iki unsuru vardır: kavramlar ve nedensel inanç. Kavramlar, bir insanın inanç sistemini temsil eden değişkenlerdir ve nedensel inanç bu değişkenler arasındaki nedensel kararlardan oluşur [32]. Haritada kavramlar düğüm olarak gösterilmiş ve kavramlar arasındaki nedensel ilişkiler işaretli ve yön okları olarak gösterilmiştir. Şekil 1.4 CM'lerin elemanlarını göstermektedir.



Şekil 1.4 Bilişsel haritaların elemanları



Şekil 1.5 Örnek bilişsel harita

Şekil 1.5, düğümleri (değişkenleri) ve bağlantıları (nedensel ilişki) içeren basit bir CM örneğinin grafiksel bir gösterimini göstermektedir. Düğüm 1'den Düğüm 2'ye olan bağlantı pozitifdir. Bu, Düğüm 1'de bir artış olursa, Düğüm 2'de bir artışa neden olur ve Düğüm 1'de bir düşüş olursa, Düğüm 2'de bir düşüşe neden olur. Düğüm 2'den Düğüm 3'e olan bağlantı negatifdir. Bu, Düğüm 1'de bir artış olursa, Düğüm 2'de bir düşüşe neden olur ve Düğüm 1'de bir düşüş olursa, Düğüm 2'de bir artışa neden olur. Öte yandan, bir tür etki daha vardır ve bu dolaylı etkidir. Örneğin, Düğüm 2 ve Düğüm 4 arasında dolaylı olarak olumsuz bir etki vardır.

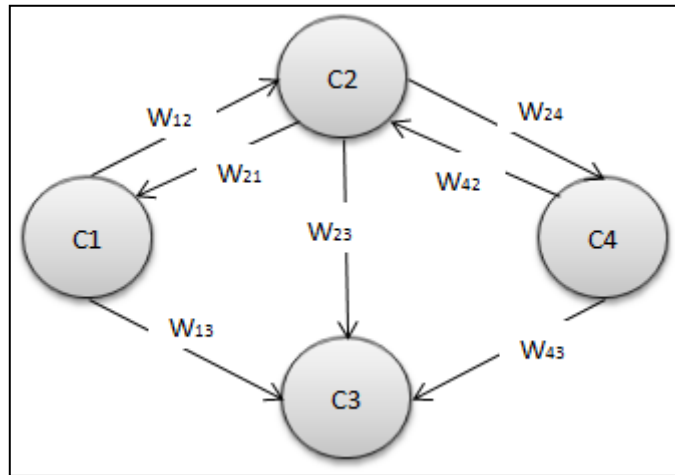
Bir neden değişkeninin bir etki değişkeni üzerindeki toplam etkisi, neden değişkenden etki değişkenine tüm dolaylı etkilerin toplanmasıyla hesaplanabilir. Şekil 1.5'e göre, $C2$ değişkeninin $C4$ değişkenine toplam etkisi $T(C2, C4)$, $C2$ 'den $C4$ 'e dolaylı etkisinin toplamıdır; bu, $P(C2, C3, C4)$ yolu ile negatif anlamına gelir [16].

Bununla birlikte, CM'ler ile, sadece kavramların merkezîliği olabilir ve bir kavramın diğerine etkisinin yönleri analiz edilir [33]. Değişkenler arasındaki ilişkilerin ölçülmesinin imkansızlığı, CM'lerin temel sınırlamasıdır [34], [33]. Daha spesifik ve bilgi bakımından zengin olan CM'ler yalnızca işaretli yönleri göstermemeli, aynı zamanda değişimin büyüklüğünü de göstermelidir [35]. CM'lerin bulanık ağırlıklarla tartılması, bu zayıflığa [31], [34] ve negatif veya pozitif etkilerin sonucu olan toplam etkinin belirlenmesinin imkansız olduğu

işaretili haritaların belirsizlik problemini ortadan kaldırarak bir çözüm sunar [36]. Kosko [37], bu iki önemli durumdan dolayı bir CM modelini geliştirmek için Bulanık Bilişsel Haritalar (FCMs) tekniğini önermiştir.

Bulanık mantık, düğümler arasında farklı yoğunluklara sahip olan geçici ilişkiler kurabilir. Kesin bir değer yerine belirsiz bir değer daha çok tercih edilir. Bu nedenle Kosko [38], bir CMs modelini geliştirmek için Bulanık Bilişsel Haritalar (FCMs) tekniğini önermiştir. Bu modeldeki bulanık bir sayı, her ikisi de dahil olmak üzere 0 ile 1 veya -1 ve 1 arasında bir değere sahip olabilir. Aralıktaki her sayısal değer, bulanık kümeye üyeliğin derecesini gösterir; burada 0 üye olmayan ve 1 tam üyedir [39]. Bunlara ek olarak, FCM'lerde, 0 anında başlangıç değerleri içeren bir ilk düğüm vektörü vardır ve model, bu vektörü sabit bir vektöre erişinceye kadar, (t) anına kadar simüle eder. Dolayısıyla bu teknik, üzerinde çalışmakta olan bir sistemin gelecekteki davranışlarını tahmin edebilir. Ek olarak, FCM'ler tahmin alıştırmaları geliştirmek için mükemmel mekanizmalar sağlar. Spesifik olarak, bu teknik, kritik karar vermeyi destekleyen "eğer öyleyse" (what-if) analizini geliştirmemizi sağlar [40].

FCM'ler CM modellerini, bulanık mantığı ve sinir ağlarını içerir. Düğüm ve bağlantılardan oluşan grafiksel bir gösterime sahiptir. Şekil 1.6 bir FCM modelinin bir örneğini göstermektedir.



Şekil 1.6 Bulanık bilişsel harita örneği

Düğümmler dinamik bir sistemde dinamik değişkenleri gösterir. Bağlantılar değişkenler arasındaki geçici ilişkinin yönünü ve yoğunluğunu gösterir. Her neden

onun yoğunluğu olan w_{ij} ile gösterilir. Burada i snaptik öncesi düğüm (neden düğümü) ve j snaptik sonrası düğüm (etki düğümü) olarak belirtilir. w_{ij} değerleri, $n \times n$ (n düğüm sayısıdır) matrisinde “bitişik matris (A)” olarak adlandırılan matrisle temsil edilir.

$$A = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & w_{ij} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (1.12)$$

Düğümmler arasında üç olası nedensel ilişki türü vardır:

- $w_{ij} > 0$. Bu, x_i ve x_j düğümleri arasındaki pozitif nedenselliği gösterir. Başka bir deyişle, x_i değerindeki bir artış (azalış), x_j değerinde bir artışa (azalışa) yol açar.
- $w_{ij} < 0$. Bu, x_i ve x_j düğümleri arasındaki negatif nedenselliği gösterir. Başka bir deyişle, x_i değerindeki bir artış (azalış), x_j değerinde bir azalışa (artışa) yol açar.
- $w_{ij} = 0$. Bu, x_i ve x_j düğümleri arasında nedensel bir ilişki bulunmadığını gösterir. Başka bir deyişle, x_i değerindeki bir artış (azalış) x_j değerini değiştirmez.

FCM örneğine karşılık gelen bitişik matris (Şekil 1.6) aşağıdaki gibidir:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & w_{12} & w_{13} & 0 \\ w_{21} & 0 & w_{23} & w_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_{42} & w_{43} & 0 \end{pmatrix}$$

Tahmini alıştırmalar geliştirmek, özellikle de FCM'lerde what-if analizi yapmak mümkündür. Bu amaçla, $t = 0$ anındaki what-if senaryoları tanımlanmıştır. Bu şekilde, tüm FCM düğümlerinin değerleri $1 \times n$ başlangıç durumundaki bir C^t vektörüne girilir (1.13). Giriş vektöründeki her bir düğümün değeri 1 (eleman aktif edilir) veya 0 (eleman aktif değildir) olabilir.

$$C^t = (C_1^t, C_2^t, \dots, C_i^t, \dots, C_n^t) \quad (1.13)$$

C^t ilk vektör durumudur (t anında) ve C_i^t , i düğümünün başlangıç değeridir (t anında).

Daha sonra, senaryolar

(1.12) ve

(1.13) ve

(1.14) çalıştırılarak simüle edilir.

Sigmoid, hiperbolik tanjant gibi aktivasyon fonksiyonları FCM çıkarım işleminde kullanılabilir [41], [42], [43].

$$C_j^{t+1} = f \left(\sum_{i \neq j} C_i^t * w_{ij} \right) \quad (1.14)$$

Burada $f(x)$ aktivasyon fonksiyonudur. C_j^{t+1} , $t + 1$ anındaki snaptik sonrası (etki) düğüm j 'nin değeri, C_i^t , t anındaki snaptik öncesi (neden) düğüm i 'nin değeri ve w_{ij} , snaptik öncesi (neden) düğüm i ve snaptik sonrası (etki) düğüm j 'nin arasındaki ilişkinin yoğunluğudur.

Doğrusal olmayan fonksiyon f , aktivasyonun izin verilen bir değeri almasına izin verir. Fonksiyon tipi değişir, ancak en yaygın seçenekler aşağıdaki gibidir:

- bivalent

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases} \quad (1.15)$$

- trivalent

$$f(x) = \begin{cases} -1, & x \leq -0.5 \\ 0, & -0.5 < x < 0.5 \\ 1, & x \geq 0.5 \end{cases} \quad (1.16)$$

- lojistik

$$f(x) = 1/(1 + e^{-Cx}) \quad (1.17)$$

burada C , fonksiyonun uygun şeklini belirlemek için kullanılan bir parametredir.

- Sigmoid (hiperbolik tanjant)
(kavramsal değerler negatif olduğunda)

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (1.18)$$

1.2 Tezin Amacı

Bilgi teknolojilerinin iş hayatında önemli bir rolü vardır. Diğer şirketlerle rekabet edebilmek için, bir şirketin başarılı bir bilgi teknolojisine (IT) sahip olması gerekir.

Başarılı bir IT projesi sonrasında başarılı bir IT yapısı gerçekleşebilir. IT projeleri yüksek riskli, karmaşık, pahalı ve belirsizlik koşullarına sahiptir. Bu nedenlerden dolayı IT projeleri başarısız olma konusunda yüksek bir orana sahiptir.

Şirketler, yüksek belirsizliklerin, ayrık küçük ve eksik veri setlerinin ve bilgi eksikliğinin olduğu ortam koşullarında IT projelerinin risklerini iyi yönetmelidirler. Literatürde riskleri yönetmenin bazı yöntemleri vardır. Bunlardan biri Hata Modu ve Etkileri Analizi'dir (FMEA). FMEA, risk değerlendirmesi yapmak için etkili ve yüksek oranda kullanılan bir yöntemdir. FMEA, Oluşma değerini (O), Şiddet değerini (S) ve Saptanabilirlik değerini (D) ortaya koyarak risk önceliklendirmesi yapmak için uzmanların görüşlerini kullanır. FMEA, O, S ve D değerlerini çarparak Risk Öncelik Sayısını (RPN) hesaplar ve RPN değerine göre büyükten küçüğe doğru sıralar. Bu durum IT projesinin risklerini yönetmek için analistlere yardımcı olur. Analistler artık hangi riskin öncelikli olarak ele alınması gerektiğinin kolaylıkla farkına varırlar fakat FMEA'nın da risk ataması yaparken eksik kaldığı zayıflıkları vardır.

Bulanık Mantık, insan akıl yürütmesine benzeyen bir akıl yürütme yöntemidir. Bulanık mantık, eksik, belirsiz veya yanlış girdilere yanıt olarak kabul edilebilir ancak kesin bir çıktı üretir. FMEA'nın zayıflıklarının üstesinden gelmek için, literatürde bulanık mantık ve FMEA içeren birçok başarılı uygulama bulunmaktadır.

Gri sistem teorisi, belirsizlik ve eksik bilgi sorunlarının üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır. Bulanık mantık ve FMEA'ya yardımcı olmak için, bu çalışmada gri sistem teorisi kullanılmıştır. Bulanık mantık, "açık yoğunluk" ve "belirsiz uzantı"lara sahip koşullar altında geçerli olmakla birlikte, gri teori, "açık uzantı" ve "belirsiz yoğunluk" olan koşullar altında geçerlidir. Bu yeni yöntem, tüm eksikliklere ve belirsizliklere karşı IT projelerinin risklerini yönetmeyi amaçlamaktadır. Öte yandan bu yöntem, riskler arasındaki ilişkileri ele almadığı için bir zayıflığa sahiptir. Bulanık Bilişsel Haritalar (FCMs) karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve karmaşık sistemlerin bileşenleri arasındaki neden ve sonuç ilişkilerinin temsil edilmesinde kullanılan bir tekniktir. Bu çalışmada, Bulanık Gri Hata Modu ve Etkileri Analizi (Fuzzy Grey FMEA) yönteminin zayıflığının üstesinden gelmek için FCMs yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen son metodun adı

şöyledir: Bulanık Bilişsel Haritalar Entegre Edilmiş Bulanık Gri Hata Modu ve Etkileri Analizi (BGFMEA/FCMs). Bu yöntem, bir IT projesinde riskler arasındaki ilişkileri göz önünde bulundurarak risk yönetimini amaçlamaktadır.

1.3 Hipotez

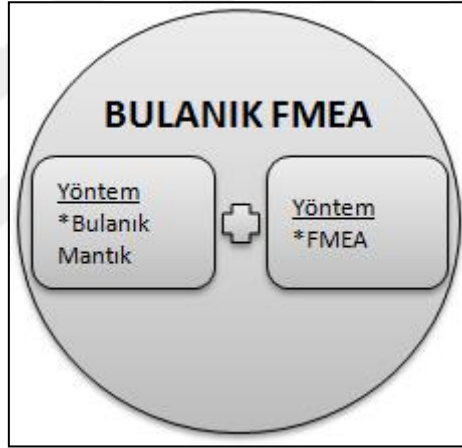
Literatürde, FMEA ve Bulanık FMEA uygulanabilir yöntemler olup yaygın olarak kullanılmaktadır. Gri Sistem Teorisi ve Bulanık Mantık'ın birlikte kullanıldığı bazı yöntemler vardır. Bu çalışmada, GST, ilk olarak bazı eksikliklerin giderilmesi ve analistin daha iyi bir risk değerlendirmesi yapmasına yardımcı olunması için Bulanık FMEA'ya entegre edilmiştir.

Bulanık Gri FMEA vakaya uyguladıktan sonra BGFMEA/FCMs adında yeni bir yöntem daha araştırılmıştır. Bulanık Bilişsel Haritalar FMEA'ya, Bulanık FMEA'ya ve Bulanık Gri FMEA'ya entegre edilmiş ve yeni yöntemin uygulanabilir olup olmadığını görecektir sonuçlar elde edilmiştir.

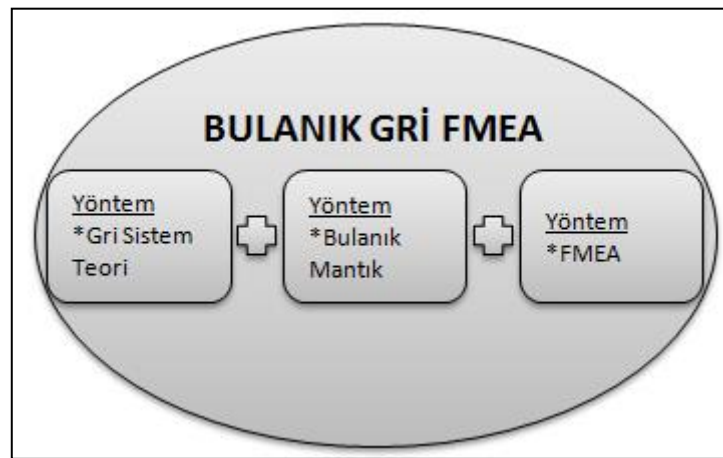
Burada çalışmamızı, ilk olarak literatürde var olan benzer çalışmalardan ayıran Gri sistem teorisinin risk değerlendirilmesi için uzman görüşlerine net bir kapsam kazandırılmasıdır. Uzmanlar tek bir değer vermek yerine kapsamı daha belirli bir şekilde görüşlerini bildirecekleri bir ortam oluşturulmuştur. Buna ek olarak kapsam arttırılmasına rağmen bu yöntemlerin farklı bir eksikliği olarak birbirleriyle olan ilişkilerinin göz ardı edilmesi diğer bir deyişle bir risk gerçekleştiği zaman diğer risk ya da riskleri nasıl etkileyeceğinin göz ardı edilmesi durumunun giderilmesi amaçlanmıştır. Buna istinaden de Bulanık Bilişsel Haritalar ile riskler arasındaki ilişkilerin durumu araştırılmış, üç yönteme de farklı farklı uygulanmış ve literatürde var olan risk değerlendirme metodolojilerden farklı bir metodoloji olarak literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

1.1 Modül 1: Bulanık Gri FMEA

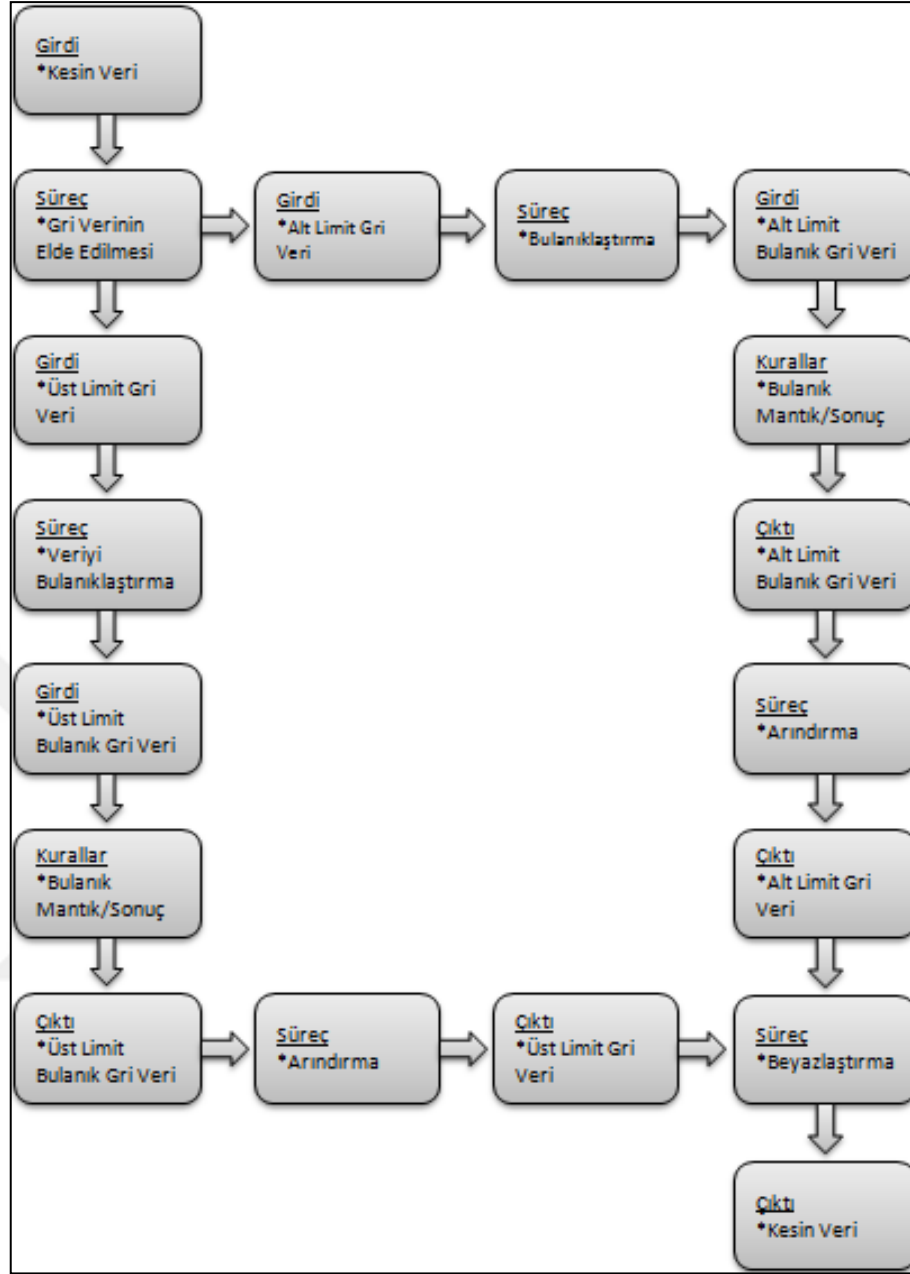
Bulanık Gri FMEA; FMEA, Bulanık Mantık ve Gri Sistem Teorisi'nden oluşan bir yöntemdir. Bulanık mantık entegre edilmiş FMEA sürecine, GST sürecini de entegre ederek bu yöntem elde edilmiştir. Bu yöntemin gelişim sürecinin ana modüllerle belirtilişi aşağıdaki şekillerle verilmiştir (Şekil 2.1 Bulanık FMEA ana modüller, Şekil 2.2 Bulanık Gri FMEA ana modüller). Bununla birlikte Bulanık Gri FMEA sürecinin akış şeması da detaylı bir şekilde Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Bulanık FMEA ana modüller



Şekil 2.2 Bulanık Gri FMEA ana modüller



Şekil 2.3 Bulanık Gri FMEA süreci

Örneğin, Bulanık FMEA’da “neredeyse hiç” seviyesinin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\mu_{AN}(x) = \frac{2-x}{2}, \quad x \leq 2$$

Bu fonksiyon, aşağıdaki fonksiyonla Bulanık Gri FMEA'da bir forma dönüşür:

$$\otimes \mu_{AN}(x) \in [\underline{\mu_{AN}(x)}, \overline{\mu_{AN}(x)}]$$

$$\otimes \mu_{AN}(x) \in \left[\underline{\mu_{AN}}(x) = \frac{2-x}{2}, x \leq 2, \overline{\mu_{AN}}(x) = \frac{2-x}{2}, x \leq 2 \right]$$

Bulanık mantıkta, ağırlık merkezi (COG) şu şekilde ifade edilebilir:

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx}$$

Bulanık Gri FMEA'da COG şu şekilde ifade edilebilir:

$$\otimes COG \in \left[\frac{\int_a^b \underline{\mu_A}(x) x dx}{\int_a^b \underline{\mu_A}(x) dx}, \frac{\int_a^b \overline{\mu_A}(x) x dx}{\int_a^b \overline{\mu_A}(x) dx} \right] \quad (2.1)$$

2.1 Modül 2: FCM ile Entegre Bulanık Gri FMEA

FMEA, Bulanık FMEA ve Bulanık Gri FMEA süreçleri, projelerin risklerinin önemini tanımlamak için kullanılır, ancak tüm bu süreçlerin bir zayıflığı vardır: Onlar projelerin riskler arasındaki ilişkiyi dikkate almaz. Bu zayıflığın üstesinden gelmek için bu süreçleri genişleterek Bulanık Bilişsel Haritaları kullandık. Bu genişletme için, Bulanık Bilişsel Haritalar kullanarak bir projenin riskleri birbirlerini etkilediğinde yeni bir Şiddet (S) değeri tanımlamak için bir genişletme katsayısına ulaşmayı amaçladık. Bu şekilde riskler arasındaki ilişkilerin, FMEA, Bulanık FMEA ve Bulanık Gri FMEA'nın zayıflığının üstesinden geldiği düşünülmektedir. Bu genişletmeden sonra, diğer süreçler aynı şekilde uygulanır.

Son C_j^t değeri j düğümünün etkisini gösterir. FCM işleminin sonunda her düğüm etkilenen bir değere ulaşır. Uygulayıcı tarafından seçilen aktivasyon fonksiyonuna göre, düğümlerin bir alt sınırı vardır. Bu, eğer j düğümünün başlangıç değeri sıfıra eşitse, sonuç, alt sınıra eşit olacaktır. FCM işleminin sonunda elde edilen bu değerlere göre, her düğüm için katsayı değeri hesaplanır. Her riskin bir katsayı değerine sahip olacağı ve her riskin şiddet değerinin bu katsayı değerleriyle hesaplanacağı anlamına gelir.

$$\lambda_j = \delta_j - \varphi \quad (2.2)$$

φ düğümlerin alt sınırıdır. δ_j , j düğümünün son C^t değeridir. λ_j , j riskinin katsayı değeridir. Yeni bir Şiddet değeri (2.3) tarafından elde edilir.

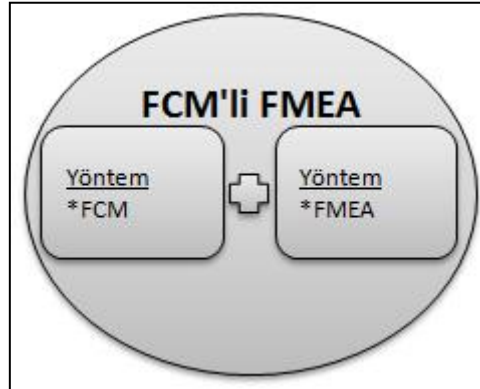
$$S'_j = \begin{cases} S_j * (1 + \lambda_j), & S_j * (1 + \lambda_j) < 10 \\ 10, & S_j * (1 + \lambda_j) \geq 10 \end{cases} \quad (2.3)$$

S'_j , yeni önem seviyelerini FMEA, Bulanık FMEA ve Bulanık Gri FMEA ile hesaplamak için kullanılacak yeni şiddet değeridir. Örneğin, FMEA'daki RPN değeri (2.4) ile hesaplanmaktadır.

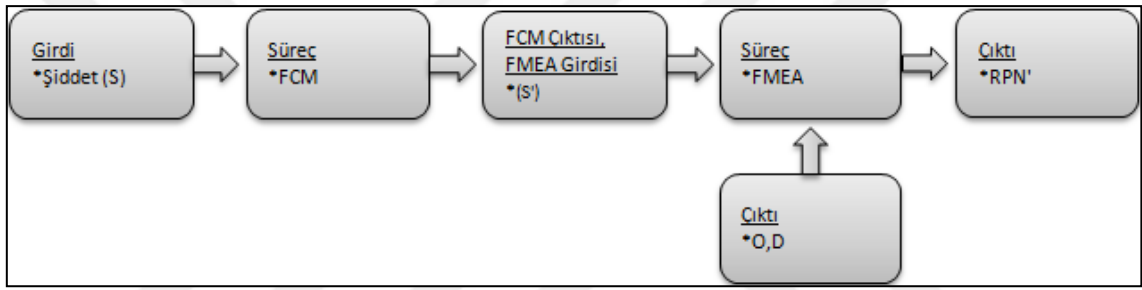
$$RPN'_j = O_j * S'_j * D_j \quad (2.4)$$

FMEA süreci Şekil 1.1'de verilmişti. FMEA süreci Bulanık Bilişsel Haritalar ile genişletildikten sonra, yeni FMEA sürecinin ana modüllü gösterimi Şekil 2.4

Bulanık Bilişsel Haritalı FMEA süreci ana modüller ile, akış şeması ise Şekil 2.5 ile verilmektedir.

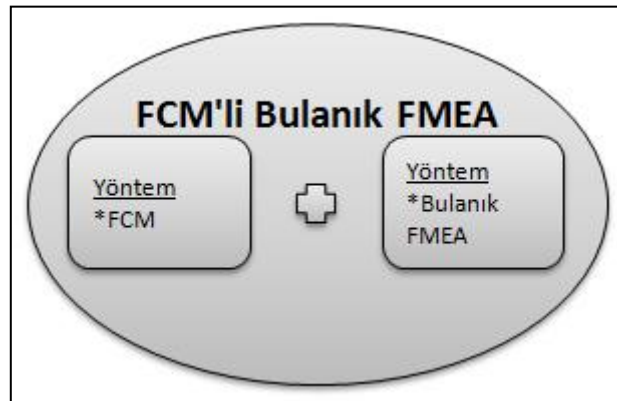


Şekil 2.4 Bulanık Bilişsel Haritalı FMEA süreci ana modüller

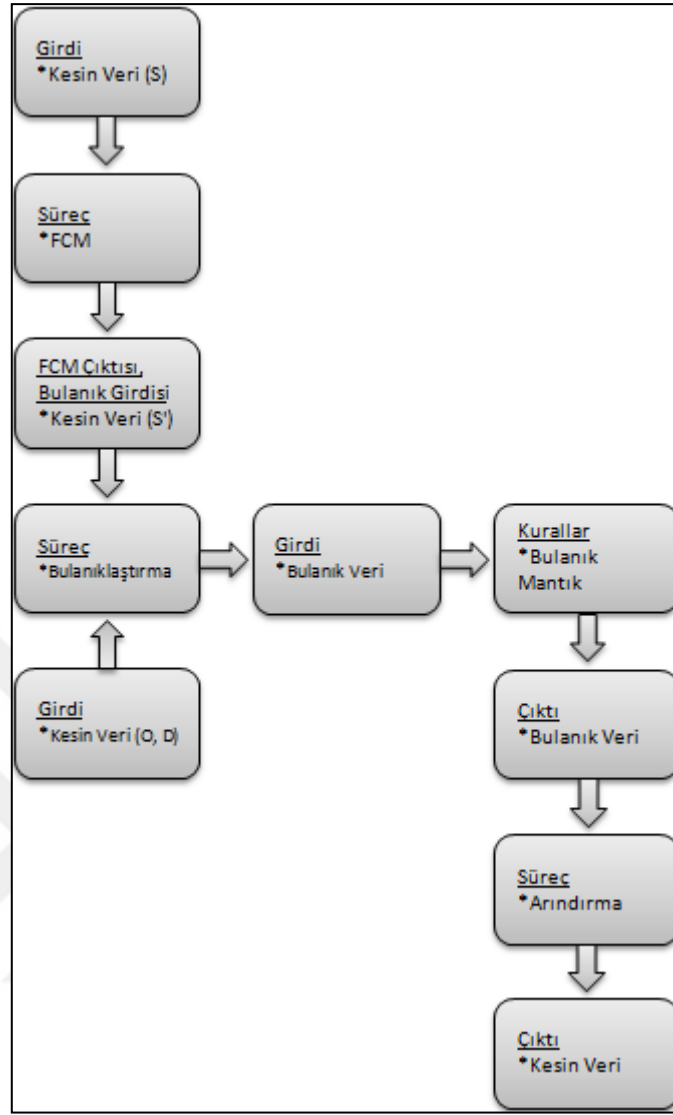


Şekil 2.5 Bulanık Bilişsel Haritalı FMEA süreci

Bulanık FMEA süreci, Şekil 1.2'de verilmiştir. Bulanık FMEA işlemi Bulanık Bilişsel Haritalar ile genişletildikten sonra, yeni FMEA işleminin, ana modüllü gösterimi Şekil 2.6 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık FMEA süreci ana modüller ile, detaylı akış şeması ise Şekil 2.7 ile verilmektedir.

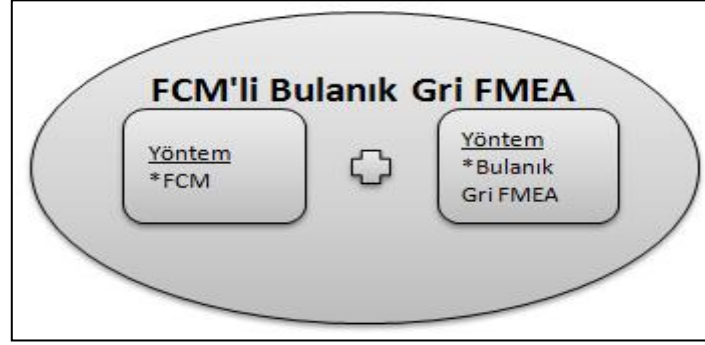


Şekil 2.6 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık FMEA süreci ana modüller

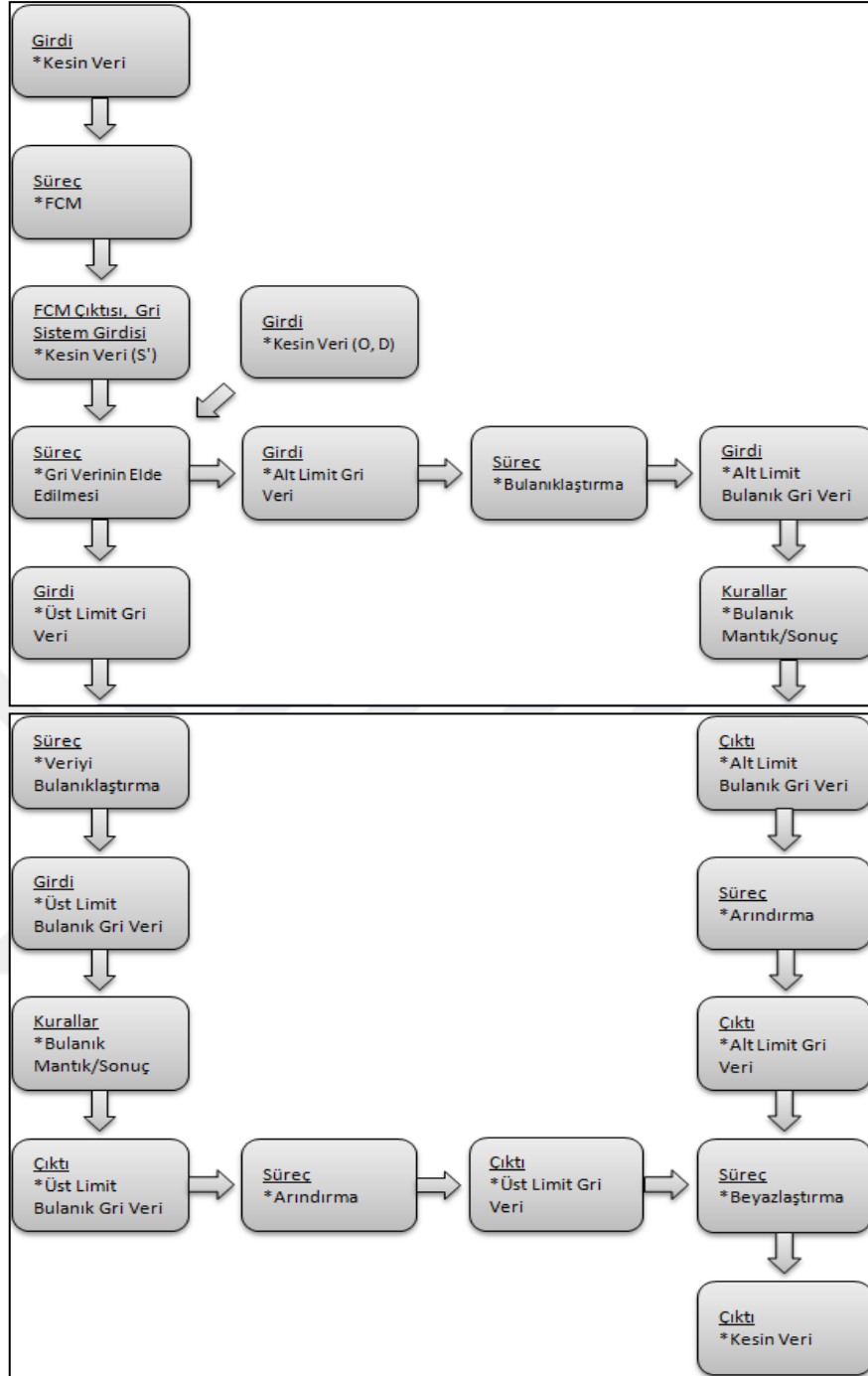


Şekil 2.7 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık FMEA süreci

Bulanık Gri FMEA süreci, Şekil 2.3'de verilmiştir. Bulanık Gri FMEA süreci Bulanık Bilişsel Haritalar ile genişletildikten sonra, yeni FMEA sürecinin, ana modüllü gösterimi Şekil 2.8 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık Gri FMEA süreci ana modüller ile, detaylı akış şeması ise Şekil 2.9 ile verilmektedir.



Şekil 2.8 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık Gri FMEA süreci ana modüller



Şekil 2.9 Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık Gri FMEA süreci

3.1 Veri Toplama

BT yazılım projeleri, proje yöneticileri tarafından yönetilmesi için riskli, karmaşık ve anlaşılması zor yapılar içermektedir. Bu nedenle risk yönetimi, projelerin hedeflerine başarılı bir şekilde ulaşmak için önemli bir rol oynamaktadır.

Bu araştırmada gerçek bir IT yazılım projesinin riskleri araştırılmıştır. Bir şirketin üst yönetimi tarafından, görevler atamak, kullanıcıların görevlerini takip etmek, mevcut durumu izlemek ve bu görevler hakkında raporlar almak için yeni bir yazılım uygulamasına ihtiyaç duyulmaktadır. BT departmanı tarafından gereksinimlerini karşılayacak bir şirket içi proje geliştirmeye karar verilmiştir. Bu yüzden tüm bu süreçlerin riskleri vardır ve bu risklerin yönetilmesi gerekmektedir. Bu araştırmanın sonunda bu riskler önem sırasına göre sıraya koyulmuştur ve daha sonra yöneticilere bu projeyi yönetmeleri için önerilerde bulunulmuştur. Bu araştırmada FMEA ve Bulanık FMEA bilinen yöntemler olarak kullanılmış ve ayrıca Bulanık Gri FMEA yeni bir yöntem olarak kullanılmıştır. Bu yöntemlerin risk önceliklendirmeleri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Buna ek olarak, riskler arasındaki ilişkileri dikkate almak için Bulanık Bilişsel Haritalar her yönteme dahil edilmiştir ve değişen risklerin önceliklerini gözlemlemek için tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu proje için aşağıdaki gibi 23 adet risk belirlenmiştir (Tablo 3.1) [44] [45] [46]:

Tablo 3.1 IT projesinin riskleri

Risk Kodu	Risk
R1	Organizasyon ve danışmanlar/satıcılar arasındaki çatışmalar
R2	Yüksek sistem özelleştirme oranı
R3	Veri yönetimi sorunları

R4	Yetersiz eğitim ve öğretim
R5	Yetersiz kullanıcı katılımı
R6	Etkili olmayan iletişim sistemi
R7	Departmanlar arası iç çatışmalar
R8	Yetersiz değişim yönetimi
R9	Performans ölçüm sistemi eksikliği
R10	Örgüt kültürü ve ERP sistemi arasındaki uyumsuzluk
R11	Organizasyon yapısı ile ERP sistemi arasındaki uyumsuzluk
R12	BT ile işletme stratejileri arasındaki uyumsuzluklar
R13	Çevresel baskılar
R14	Kötü iş süreci yeniden yapılanması
R15	Kötü Danışmanlık
R16	Kötü proje yönetimi
R17	Kötü risk yönetimi
R18	Zayıf üst yönetim desteği
R19	IT Teknik konular
R20	Dil engelleri
R21	Kötü proje ekibi
R22	Zayıf bilgi aktarımı
R23	Düşük test kalitesi

Bu riskler, vakanın özelliğine göre tanımlanmıştır. Bu yüzden diğer projeler için risklerin, durumun veya sorunun koşullarına göre karakterize edilmesi gerekir.

3.2 Yeni Bir Yöntemin Gelişimi: Bulanık Gri FMEA

3.2.1 FMEA Uygulaması

Hata modlarının değerlendirilmesi, Olasılık (O), Şiddet (S) ve Saptanabilirlik (D) risk faktörlerinin puanlandırılmasıyla gerçekleştirilir. Bu amaçla, genellikle 10 seviyeli ölçekler kullanılmaktadır. Risk faktörlerini puanlarken, çeşitli istatistik teknikleri veya uzman görüşüne değinilir. Bu çalışmada, tüm risk faktörleri uzman görüşüne dayandırılmıştır, çünkü risk faktörleri hakkında yeterli veri yoktur ve bazı faktörler belirsizdir.

Bu projede 5 uzmanımız var ve onlara her risk için O, S, D değerleri sorduk ve nihayet, onları FMEA uygulamasında kullanmak için düşüncelerinin aritmetik ortalamasını hesapladık. Uzman görüşleri Ekler bölümünde verilmiştir.

$$\bar{O} = \frac{1}{n}(E_1^O + \dots + E_n^O) \quad (3.1)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{n}(E_1^S + \dots + E_n^S) \quad (3.2)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n}(E_1^D + \dots + E_n^D) \quad (3.3)$$

Ortalama değerler aşağıdaki gibidir:

Tablo 3.2 Ortalama değerler

<u>Riskler</u>	<u>O</u>	<u>S</u>	<u>D</u>
R1	2,4	7,2	7,0
R2	6,8	9,2	8,2
R3	2,0	8,8	7,2
R4	2,0	6,4	2,2
R5	4,8	5,8	6,0

R6	4,6	6,2	4,2
R7	6,6	4,8	4,0
R8	8,2	8,6	9,4
R9	2,2	9,2	8,6
R10	3,0	5,6	3,2
R11	4,8	6,6	3,2
R12	3,2	6,4	3,6
R13	5,4	8,8	4,4
R14	5,8	9,0	6,0
R15	4,8	6,0	2,2
R16	5,4	7,2	5,2
R17	5,8	7,0	6,8
R18	5,4	7,0	2,4
R19	6,0	8,8	6,4
R20	1,4	4,4	2,2
R21	4,8	8,4	6,6
R22	6,8	7,0	5,8
R23	6,8	7,4	7,8

FMEA yöntemi risklere uygulandığında, sonuçlar aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır:

Tablo 3.3 FMEA'nın sonuçları

<i>Riskler</i>	<i>O</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>	<i>Öncelik</i>
R8	8,20	8,60	9,40	662,89	1
R2	6,80	9,20	8,20	512,99	2

R23	6,80	7,40	7,80	392,50	3
R19	6,00	8,80	6,40	337,92	4
R14	5,80	9,00	6,00	313,20	5
R17	5,80	7,00	6,80	276,08	6
R22	6,80	7,00	5,80	276,08	7
R21	4,80	8,40	6,60	266,11	8
R13	5,40	8,80	4,40	209,09	9
R16	5,40	7,20	5,20	202,18	10
R9	2,20	9,20	8,60	174,06	11
R5	4,80	5,80	6,00	167,04	12
R3	2,00	8,80	7,20	126,72	13
R7	6,60	4,80	4,00	126,72	14
R1	2,40	7,20	7,00	120,96	15
R6	4,60	6,20	4,20	119,78	16
R11	4,80	6,60	3,20	101,38	17
R18	5,40	7,00	2,40	90,72	18
R12	3,20	6,40	3,60	73,73	19
R15	4,80	6,00	2,20	63,36	20
R10	3,00	5,60	3,20	53,76	21
R4	2,00	6,40	2,20	28,16	22
R20	1,40	4,40	2,20	13,55	23

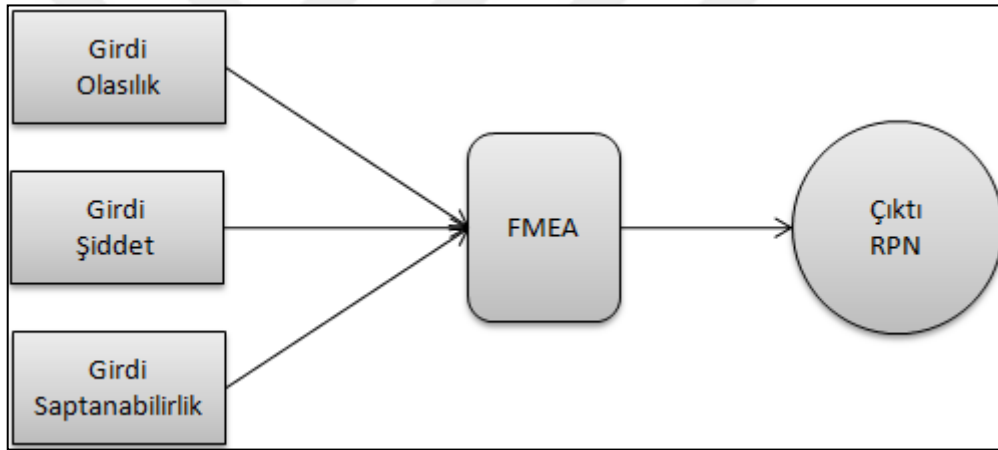
FMEA sonuçlarına göre, proje yöneticileri riskleri göz önünde bulundururken, R8, R2, R23, R19 ve R14'e dikkat edilmesi gerekmektedir. RPN değerlerinin 300'ün

üzerinde olduğu risklerin önemli olduğunu varsayarsak, bu risklerin FMEA yöntemine göre kritik öneme sahip olduğunu söyleyebiliriz.

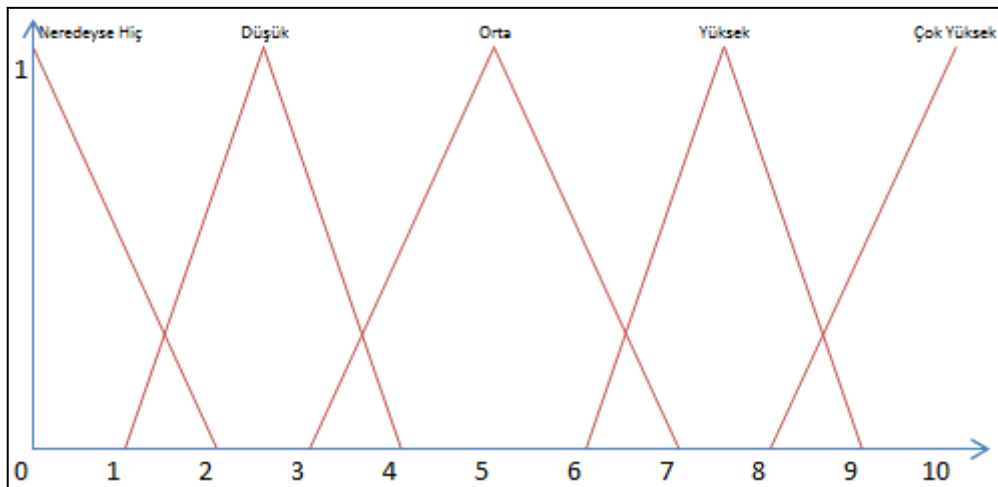
R17 - R22 ve R3 - R7 risk grupları kendi içinde farklı risk faktörü değerlerine sahiptir, ancak RPN değerleri aynıdır. Farklı değerlere sahip olmalarına rağmen aynı seviyede değerlendirilmeleri gerektiği anlamına gelir.

3.2.2 Bulanık FMEA Uygulaması

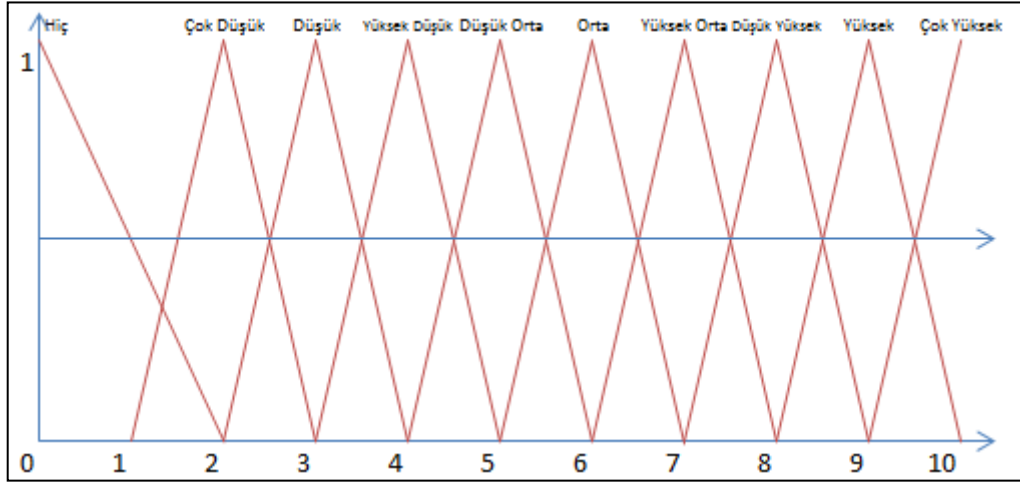
FMEA tekniği için 3 giriş ve 1 çıkış değişkenine sahip bir model oluşturulmuş ve Şekil 3.1’te verilmiştir. RPN değerleri, ilişkili 3 giriş faktörü birleştirilerek hesaplanmıştır. Olasılık, Şiddet ve Saptanabilirlik giriş değişkenleri için 5 seviyeli ve RPN çıkış değişkeni için 10 seviyeli üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır (Şekil 3.2, Şekil 3.3).



Şekil 3.1 Bulanık FMEA modeli



Şekil 3.2 Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları



Şekil 3.3 Çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonları

Rakamlardan da anlaşılacağı gibi, giriş değerleri için üyelik fonksiyonları oluştururken, 10 seviyeli ölçek 5 farklı bölgeye ayrılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonlarıyla temsil edilen bu alt bölgeler sırasıyla "hemen hemen hiçbir, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek" dir. RPN çıkış değişkeni için, 10 seviyeli ölçek (ondalık ölçek) 10 farklı bölüme ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla "hiçbiri, çok düşük, düşük, yüksek düşük, düşük-orta, orta, yüksek-orta, düşük-yüksek, yüksek ve çok yüksek" dir.

Risklerin O, S ve D değerleri, uzman görüşleri yardımıyla ve özel olarak belirlenen 125 karar kuralına dayanan bir veri tabanı kullanılarak belirlenmiştir (bkz. Ek A). Kurallar, olası tüm durumları göz önünde bulundurmak için tasarlanmıştır. Örnek olarak bazı kurallar verilmiştir.

- Olasılık “neredeyse hiç” ve şiddet “neredeyse hiç” ve saptanabilirlik “neredeyse hiç” değerine eşitse; o zaman RPN değeri “hiçbiri” değerine eşit olacaktır.
- Olasılık “neredeyse hiç” ve şiddet “orta” ve saptanabilirlik “yüksek” değerine eşitse; o zaman RPN değeri “yüksek düşük” değerine eşit olacaktır.
- Olasılık “orta” ve şiddet “düşük” ve saptanabilirlik “çok yüksek” değerine eşitse; o zaman RPN değeri “orta” değerine eşit olacaktır.
- Olasılık “yüksek” ve şiddet “çok yüksek” ve saptanabilirlik “orta” değerine eşitse; o zaman RPN değeri “yüksek orta” değerine eşit olacaktır.

Çıktı Kuralları Nasıl Oluşturulur

Çıktı değerlerini elde etmek için yeni bir mantık geliştirilmiştir. Bu şekilde, her bir çıktı değeri matematiksel bir hesaplama ve diğerleri ile aynı mantığa sahip olması hedeflenilmiştir.

Öncelikle, girdi değişkenlerinin “düşük”, “orta” ve “yüksek” fonksiyonları iki yan fonksiyona ayrılmıştır ve sonra giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının matematiksel gösterimleri tanımlanmıştır.

Girdi değişkenlerinin üyelik işlevleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Tablo 3.4 Girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları

<u>Üyelik</u>	<u>Fonksiyon</u>	<u>Limitler</u>
Neredeyse Hiç	$\mu(x) = (2-x)/2$	$0,00 \leq x \leq 2,00$
Düşük 1	$\mu(x) = (x-1)/(3/2)$	$1,00 \leq x \leq 2,50$
Düşük 2	$\mu(x) = (4-x)/(3/2)$	$2,50 \leq x \leq 4,00$
Orta 1	$\mu(x) = (x-3)/2$	$3,00 \leq x \leq 5,00$
Orta 2	$\mu(x) = (7-x)/2$	$5,00 \leq x \leq 7,00$
Yüksek 1	$\mu(x) = (x-6)/(3/2)$	$6,00 \leq x \leq 7,50$
Yüksek 2	$\mu(x) = (9-x)/(3/2)$	$7,50 \leq x \leq 9,00$
Çok Yüksek	$\mu(x) = (x-8)/2$	$8,00 \leq x \leq 10,00$

Fonksiyonlar elde edildikten sonra, her giriş fonksiyonunun CoG değerleri (ağırlık merkezini) hesaplanılmıştır.

Neredeyse Hiç (AN)

$$CoG_{(AN)} = \frac{\int_0^2 (\frac{2-x}{2}) x dx}{\int_0^2 (\frac{2-x}{2}) dx} = \frac{(\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6}) \Big|_0^2}{(x - \frac{x^2}{4}) \Big|_0^2} = \frac{(\frac{2^2}{2} - \frac{2^3}{6}) - (\frac{0^2}{2} - \frac{0^3}{6})}{(2 - \frac{2^2}{4}) - (0 - \frac{0^2}{4})} = \frac{2 - 4/3}{2 - 1} = \frac{2}{3} = 0,67$$

Düşük (L)

$$CoG_{(L_1)} = \frac{\int_1^{2,5} (\frac{x-1}{3/2}) x dx}{\int_1^{2,5} (\frac{x-1}{3/2}) dx} = 2,00$$

$$CoG_{(L_2)} = \frac{\int_{2,5}^4 (\frac{4-x}{3/2}) x dx}{\int_{2,5}^4 (\frac{4-x}{3/2}) dx} = 3,00$$

$$CoG_{(L)} = \frac{CoG_{(L_1)} + CoG_{(L_2)}}{2} = 2,50$$

Orta (M)

$$CoG_{(M_1)} = \frac{\int_3^5 (\frac{x-3}{2})x dx}{\int_3^5 (\frac{x-3}{2}) dx} = 4,33$$

$$CoG_{(M_2)} = \frac{\int_5^7 (\frac{7-x}{2})x dx}{\int_5^7 (\frac{7-x}{2}) dx} = 5,67$$

$$CoG_{(M)} = \frac{CoG_{(M_1)} + CoG_{(M_2)}}{2} = 5,00$$

Yüksek (H)

$$CoG_{(H_1)} = \frac{\int_6^{7,5} (\frac{x-6}{3/2})x dx}{\int_6^{7,5} (\frac{x-6}{3/2}) dx} = 7,00$$

$$CoG_{(H_2)} = \frac{\int_{7,5}^9 (\frac{9-x}{3/2})x dx}{\int_{7,5}^9 (\frac{9-x}{3/2}) dx} = 8,00$$

$$CoG_{(H)} = \frac{CoG_{(H_1)} + CoG_{(H_2)}}{2} = 7,50$$

Çok Yüksek (VH)

$$CoG_{(VH)} = \frac{\int_8^{10} (\frac{x-8}{2})x dx}{\int_8^{10} (\frac{x-8}{2}) dx} = 9,33$$

Girdi değişkenleri işlendikten sonra, çıkış değişkenlerinin “hiçbiri” ve “çok yüksek” fonksiyonlarını iki taraflı fonksiyonlara bölündük ve daha sonra çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının matematiksel gösterimleri tanımlanmıştır.

Tablo 3.5 Çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonları

<u>Üyelik</u>	<u>Fonksiyon</u>	<u>Limitler</u>
---------------	------------------	-----------------

Hiç	$\mu(x) = (2 - x)/2$	$0,00 \leq x \leq 2,00$
Çok Düşük 1	$\mu(x) = x - 1$	$1,00 \leq x \leq 2,00$
Çok Düşük 2	$\mu(x) = 3 - x$	$2,00 \leq x \leq 3,00$
Düşük 1	$\mu(x) = x - 2$	$2,00 \leq x \leq 3,00$
Düşük 2	$\mu(x) = 4 - x$	$3,00 \leq x \leq 4,00$
Yüksek Düşük 1	$\mu(x) = x - 3$	$3,00 \leq x \leq 4,00$
Yüksek Düşük 2	$\mu(x) = 5 - x$	$4,00 \leq x \leq 5,00$
Düşük Orta 1	$\mu(x) = x - 4$	$4,00 \leq x \leq 5,00$
Düşük Orta 2	$\mu(x) = 6 - x$	$5,00 \leq x \leq 6,00$
Orta 1	$\mu(x) = x - 5$	$5,00 \leq x \leq 6,00$
Orta 2	$\mu(x) = 7 - x$	$6,00 \leq x \leq 7,00$
Yüksek Orta 1	$\mu(x) = x - 6$	$6,00 \leq x \leq 7,00$
Yüksek Orta 2	$\mu(x) = 8 - x$	$7,00 \leq x \leq 8,00$
Düşük Yüksek 1	$\mu(x) = x - 7$	$7,00 \leq x \leq 8,00$
Düşük Yüksek 2	$\mu(x) = 9 - x$	$8,00 \leq x \leq 9,00$
Yüksek 1	$\mu(x) = x - 8$	$8,00 \leq x \leq 9,00$
Yüksek 2	$\mu(x) = 10 - x$	$9,00 \leq x \leq 10,00$
Çok Yüksek	$\mu(x) = x - 9$	$9,00 \leq x \leq 10,00$

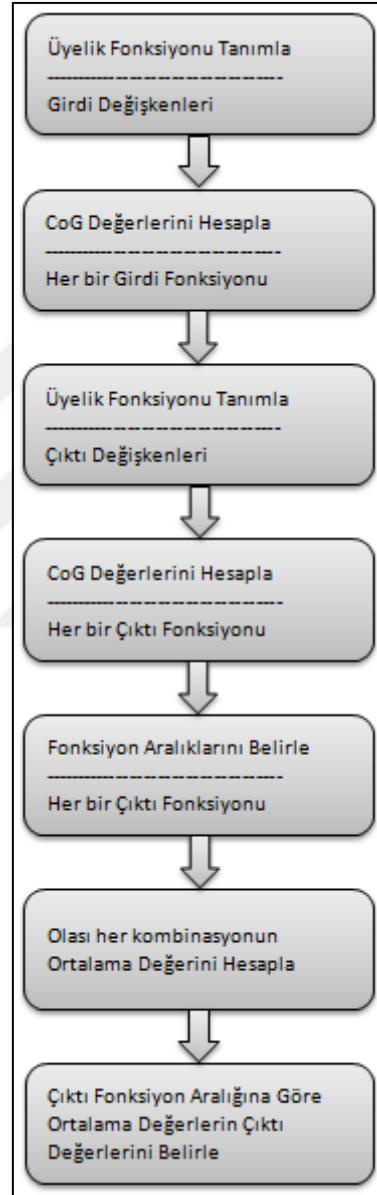
Çıkış fonksiyonlarının aralıklarının tanımlanması için her çıkış fonksiyonunun CoG değerleri (ağırlık merkezi) hesaplanmıştır.

Tablo 3.6 Ağırlık merkezi değerleri

<u>Çıktı Değişkenleri</u>	<u>CoG</u>	<u>Aralıklar</u>
Hiç	0,67	0,00 – 1,33

<i>Çok Düşük</i>	2,00	1,33 – 2,67
<i>Düşük</i>	3,00	2,67 – 3,33
<i>Yüksek Düşük</i>	4,00	3,33 – 4,67
<i>Düşük Orta</i>	5,00	4,67 – 5,33
<i>Orta</i>	6,00	5,33 – 6,67
<i>Yüksek Orta</i>	7,00	6,67 – 7,33
<i>Düşük Yüksek</i>	8,00	7,33 – 8,67
<i>Yüksek</i>	9,00	8,67 – 9,33
<i>Çok Yüksek</i>	9,67	9,33 – 10,00

CoG'leri ve fonksiyon aralıklarını hesapladıktan sonra her kombinasyonun ortalamaları alınmış ve daha sonra ortalama değerlere göre her kombinasyonun bulanık çıktı fonksiyonu bulunmuştur. Çıktı kuralları tablosu Ekler bölümünde verildiği gibi oluşturulmuştur (Çıktı Kuralları Tablosu). Çıktı kurallarının oluşturulmasının akış şeması aşağıdaki gibi verilmiştir (Şekil 3.4 Çıktı kuralları oluşturma akış şeması).



Şekil 3.4 Çıktı kuralları oluşturma akış şeması

Bulanık FMEA Algoritması

1. Her risk için ortalama O, S, D değerlerini hesaplayın ($\bar{O}, \bar{S}, \bar{D}$).

R10 riski için örnek;

$$\bar{O} = \frac{1}{n}(E_1^O + \dots + E_n^O) = \frac{1}{5}(4 + 2 + 3 + 4 + 2) = 3,0$$

$$\bar{S} = \frac{1}{n}(E_1^S + \dots + E_n^S) = \frac{1}{5}(7 + 6 + 4 + 4 + 7) = 5,6$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n}(E_1^D + \dots + E_n^D) = \frac{1}{5}(1 + 5 + 4 + 3 + 3) = 3,2$$

2. Her risk girdi değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonlarını ve fonksiyon seviyelerini bulun.

R10 için;

$\bar{O}$ 'nun üyelik fonksiyonu;

Düşük	$\mu(x) = (4-x)/(3/2)$	$2,50 \leq x \leq 4,00$
Orta	$\mu(x) = (x-3)/2$	$3,00 \leq x \leq 5,00$

$\bar{S}$ 'nin üyelik fonksiyonu;

Orta	$\mu(x) = (7-x)/2$	$5,00 \leq x \leq 7,00$
------	--------------------	-------------------------

$\bar{D}$ 'nin üyelik fonksiyonu;

Düşük	$\mu(x) = (4-x)/(3/2)$	$2,50 \leq x \leq 4,00$
Orta	$\mu(x) = (x-3)/2$	$3,00 \leq x \leq 5,00$

3. Kullanılan üyelik fonksiyonuna göre sonuçları elde edin.

R10 için;

$\bar{O}$ 'nun fonksiyon sonucu;

$$\mu_{low}(3) = (4 - 3)/(3/2) = 0,67$$

$$\mu_{med}(3) = (3 - 3)/2 = 0$$

$\bar{S}$ 'nin fonksiyon sonucu;

$$\mu_{med}(5,6) = (7 - 5,6)/2 = 0,70$$

$\bar{O}$ 'nun fonksiyon sonucu;

$$\mu_{low}(3,2) = (4 - 3,2)/(3/2) = 0,53$$

$$\mu_{med}(3,2) = (3,2 - 3)/2 = 0,10$$

4. Mamdani min / max çıkarım methodunu kullanın ve her risk için $\bar{O}, \bar{S}, \bar{D}$ değerleri arasındaki fonksiyon seviyelerini ve minimum girdi değerini bulun.

R10 için;

$$\max(\bar{O}_{low}; \bar{O}_{med}) = \max(0,67; 0,00) = 0,67 \text{ Low}$$

$$\max(\bar{S}_{med}) = \max(0,70) = 0,70 \text{ Medium}$$

$$\max(\bar{D}_{low}; \bar{D}_{med}) = \max(0,53; 0,10) = 0,53 \text{ Low}$$

$$\min(\bar{O}; \bar{S}; \bar{D}) = \min(0,67; 0,70; 0,53) = 0,53$$

5. Çıktı kuralları tablosunu kullanarak çıktı fonksiyonu için fonksiyon seviyelerini bulun.

R10 için;

<u>O</u>	<u>S</u>	<u>D</u>	<u>Bulanık Çıktı</u>
Düşük	Orta	Düşük	Düşük

6. Ağırlık merkezi yöntemini kullanarak sonuçları çözümleyin (bulanıklıktan kurtarın).

R10 için;

$$CoG_{(R10)} = \frac{\int_2^{2,53} (x - 2)x \, dx + \int_{2,53}^{3,47} x \, dx + \int_{3,47}^4 (4 - x)x \, dx}{\int_2^{2,53} (x - 2) \, dx + \int_{2,53}^{3,47} dx + \int_{3,47}^4 (4 - x) \, dx}$$

$$CoG_{(R10)} = \frac{(x^3/3 - x^2)|_2^{2,53} + (x^2/2)|_{2,53}^{3,47} + (2x^2 - x^3/3)|_{3,47}^4}{(x^2/2 - 2x)|_2^{2,53} + (x)|_{2,53}^{3,47} + (4x - x^2/2)|_{3,47}^4} = 3,00$$

Bulanık FMEA Sonuçları

Hata türlerine gelince, modelde verilen bulanık RPN değerleri, klasik FMEA'nın RPN değerleri ile karşılaştırıldığında Tablo 3.7'de azalan bir sırada verilmiştir. Aynı RPN değerlerini içeren hata tipleri, oluşma, şiddet ve saptanabilirlik (öncelik sıraları) değerlerine göre düzenlenmiştir.

Tablo 3.7 Bulanık FMEA'nın sonuçları

Riskler	O	S	D	RPN	FMEA Önceliklendirme	Bulanık RPN	Bulanık Önceliklendirme
R8	8,20	8,60	9,40	662,89	1	9,000	1
R2	6,80	9,20	8,20	512,99	2	8,000	2
R23	6,80	7,40	7,80	392,50	3	8,000	3
R17	5,80	7,00	6,80	276,08	6	7,000	4
R22	6,80	7,00	5,80	276,08	7	7,000	5
R21	4,80	8,40	6,60	266,11	8	7,000	6
R9	2,20	9,20	8,60	174,06	11	7,000	7
R19	6,00	8,80	6,40	337,92	4	6,000	8
R14	5,80	9,00	6,00	313,20	5	6,000	9
R13	5,40	8,80	4,40	209,09	9	6,000	10
R16	5,40	7,20	5,20	202,18	10	6,000	11
R3	2,00	8,80	7,20	126,72	13	6,000	12
R7	6,60	4,80	4,00	126,72	14	6,000	13
R1	2,40	7,20	7,00	120,96	15	6,000	14

R5	4,80	5,80	6,00	167,04	12	5,000	15
R6	4,60	6,20	4,20	119,78	16	5,000	16
R11	4,80	6,60	3,20	101,38	17	5,000	17
R18	5,40	7,00	2,40	90,72	18	5,000	18
R12	3,20	6,40	3,60	73,73	19	4,000	19
R15	4,80	6,00	2,20	63,36	20	4,000	20
R10	3,00	5,60	3,20	53,76	21	3,000	21
R4	2,00	6,40	2,20	28,16	22	3,000	22
R20	1,40	4,40	2,20	13,55	23	3,000	23

Sonuçlara göre, ilk 3 riskin öncelikleri ve son 6 riskin öncelikleri değişmedi, ancak diğer riskler için bazı önceliklendirme varyasyonları var, ancak genel sonuçlarda iki yöntemin de benzer risk önceliklerine sahip olduğunu gösteriyor. Bulanık FMEA'da, R17 (6 → 4), R22 (7 → 5) ve R21 (8 → 6) öncelikleri FMEA'ya göre iki aşamalı olarak artmıştır.

R9, R19 ve R14 için, iki yönteme kıyasla en büyük değişikliklerin olduğunu söyleyebiliriz. R9 önceliğini 11'den 7'ye yükseltirken, R19 ve R14 önceliklerini dört adım olarak azaltmıştır (R19: 4 → 8, R14: 5 → 9). Buna ek olarak, R5 önceliğini üç adım olarak azaltmıştır. R13, R16, R3, R7 ve R1'in öncelikleri için sadece bir aşamalı değişiklik vardır. Genel olarak, önemli bir değişiklik olmadığını söyleyebiliriz.

Örnek olarak, R3 ve R7, farklı risk faktörü değerlerine ($R3: 2,00 \cdot 8,80 \cdot 7,20 = 126,72$, $R7: 6,60 \cdot 4,80 \cdot 4,00 = 126,72$) sahipken aynı RPN değerlerine (126,72) sahiptir. FMEA'ya göre, bu iki risk aynı risk seviyesinde değerlendirilmeleri gerekiyor. Bulanık FMEA, bu iki riskin her biri için yeni risk seviyeleri belirledi, ancak yine de birbirlerini takip ediyorlar. Diğer bir deyişle önemli derecede bir değişim gerçekleşmedi. Buna karşın bu risklerin davranışlarını Bulanık Gri FMEA'da da inceleyeceğiz ve nasıl hareket ettirildiklerini gözlemleyeceğiz.

Sonuç olarak Bulanık FMEA, bir riskin önceliğini sabit tutabilir veya azaltabilir / artırabilir.

Bu çalışmada risklere öncelik verirken dikkatli olmalıyız. Örneğin, aynı Bulanık RPN değerlerine (6,00) sahip olmalarına rağmen R19 (337,92) ve R1'in (120,96) FMEA RPN değerleri arasındaki fark 216,96'dır. Bu çalışma için bunun oldukça farklı olduğunu söyleyebiliriz. Riski, yalnızca Bulanık RPN değerlerine bakarak önceliklendirirsek, rastgele bir öncelik olur ve sonuç olarak öncelikleri 2 ile 8 arasında herhangi bir sayı değeri alır. Riskleri öncelik sırasına koyarken, risklerin FMEA önceliklerini göz önünde bulunduruyoruz. Öncelikle Bulanık RPN değerlerine göre riskleri sıralıyoruz, ardından tekrar FMEA önceliklerine göre sıralıyoruz.

3.2.3 Bulanık Gri FMEA Uygulaması

Belirsizliği yüksek olan ortamlarda, ayrık küçük ve eksik veri kümeleri altında, Bulanık Gri FMEA adlı yeni bir yöntem önerilmiştir.

Bu modelde, Olasılık, Şiddet ve Saptanabilirlik girdi değişkenleri, Gri Sistem Teorisindeki değerler kullanılarak Alt ve Üst limitleri olmak üzere aralıklara sahip olurlar.

Her risk için uzmanların görüşlerinin minimum değerleri “Çıktı Alt Değeri” ve maksimum değerleri “Çıktı Üst Değeri” olarak belirlenir. Uzmanların görüşleri FMEA bölümünde verilmiştir. Örneğin, bu veri setine göre, ilk riskin uzman görüşlerine göre Olasılık değerleri (R1) [4, 1, 2, 1, 4] olarak belirtilmiştir. Bu durumda çıktı alt değeri 1, çıktı üst değeri 4 olarak belirlenecektir.

Bulanık Gri FMEA ve Bulanık FMEA, giriş değişkenleri ve çıkış değişkenlerinin aynı üyelik fonksiyonlarını kullanır. Böylece iki metodun sonuçları, aynı şartlar altında karşılaştırılabilir. Bulanık Gri FMEA'nın kararlılığı bir sonraki bölümde ayrıca tanıtılacaktır.

Sonunda Bulanık Gri FMEA Metodu için alt ve üst değerler elde edilmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8 Bulanık Gri girdiler

<i>Riskler</i>	<i>O</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>Alt Limit Değerleri</i>			<i>Üst Limit Değerleri</i>		
R1	2,40	7,20	7,00	1,00	6,00	6,00	4,00	9,00	8,00
R2	6,80	9,20	8,20	5,00	8,00	7,00	8,00	10,00	9,00
R3	2,00	8,80	7,20	1,00	7,00	5,00	4,00	10,00	9,00
R4	2,00	6,40	2,20	1,00	5,00	1,00	4,00	9,00	4,00
R5	4,80	5,80	6,00	4,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
R6	4,60	6,20	4,20	4,00	4,00	2,00	6,00	8,00	6,00
R7	6,60	4,80	4,00	5,00	3,00	3,00	8,00	7,00	6,00
R8	8,20	8,60	9,40	7,00	7,00	8,00	9,00	10,00	10,00
R9	2,20	9,20	8,60	1,00	8,00	8,00	3,00	10,00	9,00

R10	3,00	5,60	3,20	2,00	4,00	1,00	4,00	7,00	5,00
R11	4,80	6,60	3,20	3,00	5,00	2,00	7,00	8,00	4,00
R12	3,20	6,40	3,60	1,00	5,00	1,00	5,00	9,00	5,00
R13	5,40	8,80	4,40	4,00	6,00	3,00	7,00	10,00	5,00
R14	5,80	9,00	6,00	4,00	7,00	5,00	8,00	10,00	7,00
R15	4,80	6,00	2,20	4,00	3,00	1,00	6,00	7,00	3,00
R16	5,40	7,20	5,20	3,00	6,00	3,00	7,00	8,00	7,00
R17	5,80	7,00	6,80	3,00	6,00	6,00	8,00	8,00	8,00
R18	5,40	7,00	2,40	4,00	5,00	1,00	7,00	8,00	4,00
R19	6,00	8,80	6,40	5,00	8,00	5,00	8,00	10,00	8,00
R20	1,40	4,40	2,20	1,00	2,00	1,00	2,00	6,00	4,00
R21	4,80	8,40	6,60	3,00	8,00	6,00	6,00	9,00	8,00
R22	6,80	7,00	5,80	4,00	4,00	5,00	8,00	8,00	7,00
R23	6,80	7,40	7,80	5,00	7,00	6,00	8,00	8,00	10,00

Grilik

Bulanık Gri FMEA içerisinde, $(\phi(\otimes COG^{[i]}))$ ile gösterilen belirsizlik ölçüsü olarak “Grilik” bulunmaktadır. Daha yüksek grilik değerleri, sonuçların daha yüksek bir belirsizlik derecesine sahip olduğu anlamına gelir. Aşağıdaki gibi hesaplanır ve gösterilir:

$$\phi(\otimes COG^{[i]}) = \frac{|\ell(\otimes COG^{[i]})|}{\ell(\otimes \psi)} \quad (3.4)$$

$|\ell(\otimes COG^{[i]})|$, $\otimes COG^{[i]}$ risk değerinin uzunluğunun mutlak değeridir ve $\ell(\psi)$, alanın maksimum ve minimum değerleri arasındaki mesafedir.

Eğer $\ell(\otimes COG) = 0$ ise; $|\ell(\psi)|$ 'nin her değeri için grilik sıfırdır ($\phi(\otimes COG) = 0$). Bu durumda, $\otimes C$ beyaz bir sayı olacaktır ve onunla ilgili gri belirsizlik olmayacaktır.

Eğer $\ell(\otimes COG) = 1$ ise; grilik 1 olacaktır ($\phi(\otimes COG) = 1$). $\otimes C$ siyah bir sayı olacaktır ve bu alt değerinin alandaki minimum değere, üst değerin de alandaki maksimum değere eşit olacağı anlamına gelmektedir.

Değişkenlerin Beyazlaştırma Değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\otimes COG^{[i]} = \underline{\delta G^{[i]}} + (1 - \delta) \overline{G^{[i]}} \quad \delta \in [0,1] \quad (3.5)$$

Beyazlaştırma katsayısı (δ) 0,5'e eşittir.

Bu çalışmada beyazlaştırma değerleri alınırken bir kural daha vardır. Her riskin farklı grilik seviyesi olabilir. Bu çeşitliliği göz önüne bulundurmak için, grilik değeri ile beyazlaşma katsayısı arasında bir bağlantı kurulmuştur. Bu nedenle, beyazlaştırma değerleri alınırken her riskin belirsizliği göz önünde bulundurulmaktadır. Bunun için;

$$f(\delta^{[i]}) = \begin{cases} \delta, & \phi(\otimes COG^{[i]}) \leq g' \\ \delta - \delta * \phi(\otimes COG^{[i]}), & \phi(\otimes COG^{[i]}) > g' \end{cases} \quad (3.6)$$

$$g' = \frac{\sum_{i=1}^n \phi(\otimes COG^{[i]})}{n} \quad (3.7)$$

g' , risklerin grilik değerlerinin ortalamasıdır. Eğer bir riskin grilik değeri ortalama değerden yüksekse, riskin karamsar bir yaklaşımla daha fazla dikkat çekmesini

sağlamak için beyazlaştırma değeri üst değere yaklaştırılır. Bu yaklaşımdan sonra yeni beyazlatma formülü şöyle oluşur:

$$\otimes COG^{[i]} = f(\delta^{[i]})\underline{G}^{[i]} + (1 - f(\delta^{[i]}))\overline{G}^{[i]} \quad \delta^{[i]} \in [0,1]$$

Örneğin; ilk risk için grilik değeri şu şekilde hesaplanacaktır:

$$\phi(\otimes COG^{[1]}) = \frac{|7 - 4|}{10 - 1} = \frac{3}{9} = 0,33$$

Ortalama değer 0,33'tür. Bu durum, bu risk için karamsar bir yaklaşım kullanmamız gerektiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle yeni bir beyazlaştırma değeri elde edilir:

$$\delta^{[1]} = 0,5 - 0,5 * 0,33 = 0,335$$

$$\otimes COG^{[1]} = 0,335 * 4 + (1 - 0,335) * 7 = 5,995$$

İlk risk için beyazlaştırma değeri 5,5 ($= 0,5 * 4 + (1 - 0,5) * 7$) olacaktı ancak görüldüğü üzere biz değerini arttırarak 5,995 olarak belirledik. Bu, IT departmanı için bu riski daha dikkat çekici yapmak istediğimiz anlamına gelmektedir.

Bulanık yaklaşım kullanılarak girdi değişkenlerine göre, çıktı değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

Tablo 3.9 Bulanık Gri çıktılar

<u>Riskler</u>	<u>Alt Limit Çıktı</u>	<u>Üst Limit Çıktı</u>	<u>Uzunluk</u>	<u>Grilik</u>	<u>Beyazlık</u>
R1	4,000	7,000	3,000	0,330	5,995
R2	7,000	9,000	2,000	0,220	8,000
R3	4,000	8,000	4,000	0,440	6,880
R4	2,000	6,000	4,000	0,440	4,880
R5	5,000	7,000	2,000	0,220	6,000
R6	4,000	6,000	2,000	0,220	5,000
R7	3,000	7,000	4,000	0,440	5,880

R8	8,000	9,667	1,667	0,190	8,833
R9	5,000	7,000	2,000	0,220	6,000
R10	3,000	6,000	3,000	0,330	4,995
R11	3,000	7,000	4,000	0,440	5,880
R12	2,000	6,000	4,000	0,440	4,880
R13	4,000	7,000	3,000	0,330	5,995
R14	6,000	8,000	2,000	0,220	7,000
R15	3,000	5,000	2,000	0,220	4,000
R16	3,000	8,000	5,000	0,560	6,900
R17	4,000	8,000	4,000	0,440	6,880
R18	4,000	7,000	3,000	0,330	5,995
R19	6,000	8,000	2,000	0,220	7,000
R20	0,630	4,000	3,370	0,370	2,938
R21	5,000	7,000	2,000	0,220	6,000
R22	5,000	8,000	3,000	0,330	6,995
R23	6,000	8,000	2,000	0,220	7,000

Bulanık Gri FMEA'nın Sonuçları

Bu bilgiler ışığında Bulanık Gri FMEA'nın sonuçları aşağıdaki gibi oluşturulur:

Tablo 3.10 Bulanık Gri FMEA'nın sonuçları

Riskler	FMEA Önceliği	Bulanık RPN	Bulanık Önceliği	Bulanık Gri RPN	Bulanık Gri Önceliği
R8	1	9,000	1	8,833	1
R2	2	8,000	2	8,000	2
R23	3	8,000	3	7,000	3

R19	4	6,000	8	7,000	4
R14	5	6,000	9	7,000	5
R22	7	7,000	5	6,500	6
R17	6	7,000	4	6,000	7
R21	8	7,000	6	6,000	8
R9	11	7,000	7	6,000	9
R5	12	5,000	15	6,000	10
R3	13	6,000	12	6,000	11
R13	9	6,000	10	5,500	12
R16	10	6,000	11	5,500	13
R1	15	6,000	14	5,500	14
R18	18	5,000	18	5,500	15
R7	14	6,000	13	5,000	16
R6	16	5,000	16	5,000	17
R11	17	5,000	17	5,000	18
R10	21	3,000	21	4,500	19
R12	19	4,000	19	4,000	20
R15	20	4,000	20	4,000	21
R4	22	3,000	22	4,000	22
R20	23	3,000	23	2,315	23

Bulanık Gri FMEA yöntemi, bazı RPN değerlerini aynı tutmuş (R6, R11, R2, R12, R3, R15), bazılarını arttırmış (R4, R19, R5, R14, R18, R10) ve bazılarını da azaltmıştır (R8, R17, R23, R21, R22, R9, R13, R16, R1, R7, R20). Sonuç olarak Bulanık Gri FMEA, bir riskin önceliğini sabit tutabilir veya azaltabilir / artırabilir.

Sonuçlara göre, FMEA ve Bulanık Gri FMEA yöntemleri arasındaki ilk 8 risk ve son 2 risk için ve Bulanık FMEA ve Bulanık Gri FMEA arasındaki ilk 3 risk ve son 2 risk için öncelikler aynıdır. Kalan riskler için bazı öncelik değişiklikleri vardır. R5'i daha önemli risk haline getirmesine rağmen, R7'yi öncekinden daha az önemli risk haline getirmiştir.

R17 ve R22 risklerini göz önüne aldığımızda, Bulanık Gri FMEA'da farklı RPN değerleri vardır. FMEA ve Bulanık FMEA'da aynı RPN değerlerine sahipler, ancak Gri Sistem Teorisini uyguladığımız zaman, bu R22'yi R17'den biraz daha önemli hale getirmektedir. Bu durum R3 ve R7 riskleri için aynıdır. FMEA ve Bulanık FMEA'da aynı RPN değerlerine sahiptirler ancak Bulanık Gri FMEA'da RPN değerleri farklıdır. Bu GST'nin R3'ü R7'den daha belirgin bir risk haline getirdiği anlamına gelir. Bu iki risk çifti (R17 - R22 ve R3 - R7), GST'yi risklerin önceliklendirilmesinin nasıl etkileneceğini anlamak için iyi örneklerdir.

Sonuç olarak, sonuçlar Bulanık Gri FMEA'nın belirsiz küçük ve eksik veri setleri altında yüksek belirsizlik içeren ortamlarda uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bu sadece bir adet vaka analizi uygulamasıdır. Bu yöntem stabilitesini göstermek için bir sonraki bölümde çok fazla rastgele vakaya uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.3 Bulanık Gri FMEA'nın Kararlılığı

FMEA, Bulanık Mantık ve Gri Sistem Teorisi içeren Bulanık Gri FMEA, yetersiz bilgi içeren koşullar altında bir projenin risklerinin önemini araştırmak için yeni bir yöntemdir. Bu nedenle, vakamıza uygulamadan önce bu yeni yöntemin kararlılığının araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla 5 risk grubu göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar 10'lu risk grubu, 20'li risk grubu, 30'lu risk grubu, 40'lı risk grubu ve 50'li risk grubudur. Her bir risk grubu için rastgele değerler üretilerek bu 100 kez simüle edilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Aşağıdaki link aracılığıyla bütün örneklerle ulaşabilirsiniz.

<https://drive.google.com/file/d/0B-OGfN4no-TNWU0SkJuakQtYzA/view?usp=sharing>

Sonuçlardan görülebileceği gibi, Bulanık Gri FMEA'nın önceliklendirmesi, FMEA ve Bulanık FMEA olan diğer yöntemlerle çok benzerdir. Risk grubu üyeleri artarken metodlar arasında öncelik farkları artsa da metodların önceliklendirilmesi yine de güçlü benzerlikler göstermektedir.

3.4 Bütünleşik Yöntem: FCM ile Entegre Bulanık Gri FMEA

Önceliklendirmeyi yapmak için Bulanık Gri FMEA adlı yeni bir yöntem kullanılmıştır ve uygulanabilir olup olmadığının stabilitesi de araştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, belirsiz, küçük ve eksik veri setleri ve belirsizliği yüksek koşullar altında olan projeler için riskleri değerlendirmenin uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir. Sonuçta, bu yöntemin hala FMEA'nın doğasından gelen bir zayıflığı vardır. Bu zayıflık, riskler arasındaki ilişkileri görmezden gelmesidir. Bu çalışmadaki bulanık mantık ve gri sistem teorisi bu zayıflığın üstesinden gelmek için yeterli değildir. Yukarıda da belirtildiği gibi, riskler arasındaki ilişkileri değerlendirmek için Bulanık Bilişsel Haritalar kullanılmıştır.

FCM'lerin diğer yöntemler üzerindeki etkilerini ölçmek için önce FCM, FMEA'ya uygulanmış ve iki yöntemin sonuçları kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Sonra ikinci olarak Bulanık FMEA'ya uygulanmış ve yine iki yöntemin sonuçlarını kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Sonunda Bulanık Gri FMEA'ya uygulanmıştır. Bulanık Bilişsel Haritalar ile entegre Bulanık Gri FMEA, ulaşılmak istenen hedeftir. Her çift yönteminin kendi içindeki karşılaştırmaları da entegrasyon sürecinin uygulanabilir bir süreç olduğunu göstermektedir.

3.4.1 Bulanık Bilişsel Haritalar

Bu yaklaşım, her uzman tarafından FCM çiziminin eklenmesinden oluşur. Çalışmamıza katılmak için bir grup uzman dikkatlice seçilmiştir. Her uzman, BT projelerindeki bilgisini temsil eden kendi FCM modelini bireysel olarak tasarladı. Böylece hangi risklerin projelerinin riskini tehdit ettiği belirtildi. Uzmanlar ayrıca BT proje risk düğümleri arasında var olan etkileşimleri de çizdiler. Yani, düğümler arasında var olan geçici ilişkilerin türünü ve yoğunluğunu belirlediler. Uzmanlar,

dilsel değişkenleri veya gerçek sayıları kullanarak nedensel bağlantıları gösterebilirler. Bu çalışmaya katılanlar, $[-1, 1]$ aralığında sayısal bir değer ile tüm ilişkileri ifade etmişlerdir. Böylece bu ifadelerin sonunda her uzman için bir bitişik matris elde edilmiş oldu.

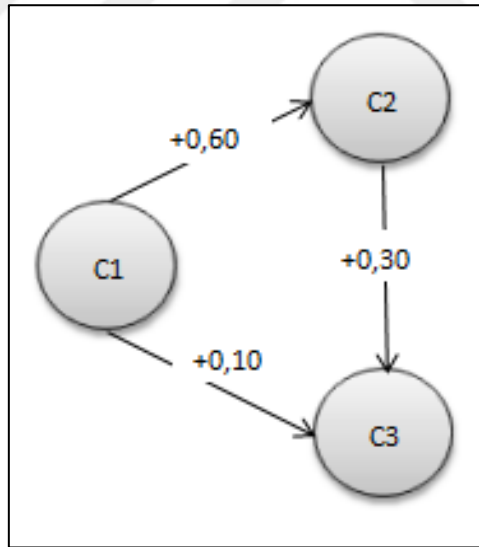
Bütünleştirilmiş FCM yöntemi, her birinin bitişik matrislerini ekleyerek bitirilir. Bu, ortak düğümlerin olup olmadığına bağlıdır. Ortak riskler yoksa, bitişik matrisler yalnızca eklenilir. Aksi takdirde, ortak düğümler varsa, artırılmış matristeki $(A^{AUG}) w_{ij}^{AUG}$ elemanları aşağıdakilere göre hesaplanır:

$$w_{ij}^{AUG} = \frac{\sum_{k=1}^m w_{ij}^k}{m} \quad (3.8)$$

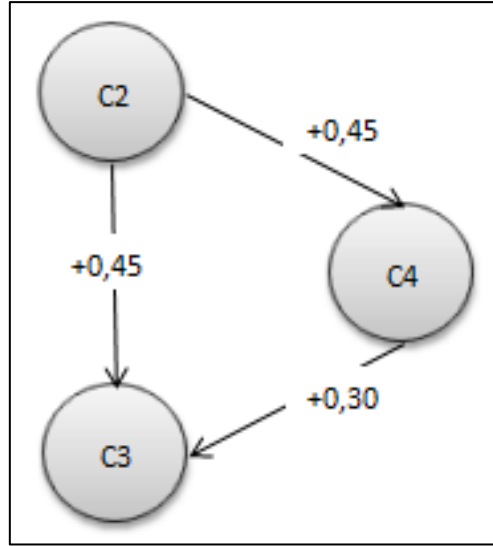
m , eklenen her bir uzman başına bir FCM sayısıdır, k , her bir FCM için tanımlayıcıdır ve i ve j , bağlantıların tanımlayıcılarıdır.

Uzmanların FCM ortak düğümleri olduğundan A^{AUG} öğelerini

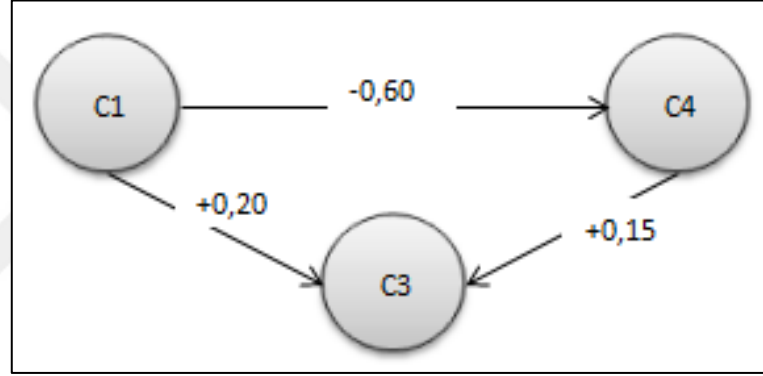
(3.8) kullanarak hesapladık. Şekil 3.8, bütünleştirilmiş FCM değerlerimizi nasıl elde ettiğimizin açıklayıcı bir örneğini göstermektedir.



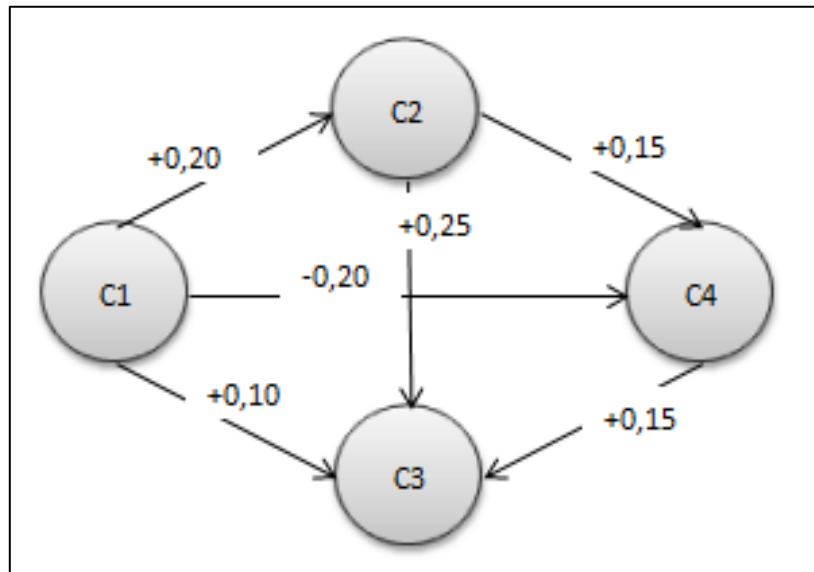
Şekil 3.5 Uzman A'nın Bulanık Bilişsel Haritası



Şekil 3.6 Uzman B'nin Bulanık Bilişsel Haritası



Şekil 3.7 Uzman C'nin Bulanık Bilişsel Haritası



Şekil 3.8 Bütünleştirilmiş Bulanık Bilişsel Harita

$$A^{Expert_A} = \begin{pmatrix} 0,00 & 0,60 & 0,10 \\ 0,00 & 0,00 & 0,30 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{pmatrix}$$

$$A^{Expert_B} = \begin{pmatrix} 0,00 & 0,45 & 0,45 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,30 & 0,00 \end{pmatrix}$$

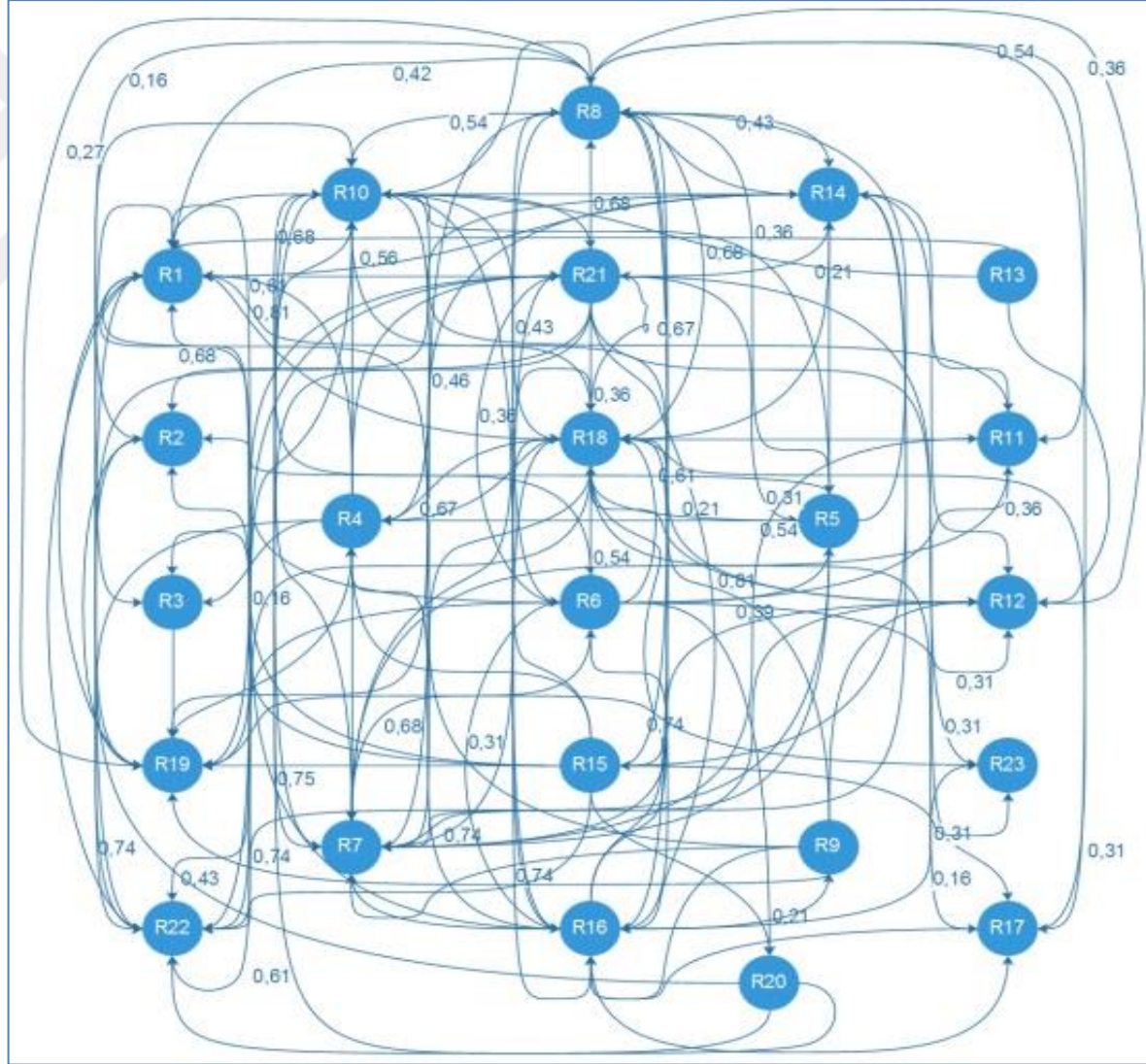
$$A^{Expert_C} = \begin{pmatrix} 0,00 & 0,20 & -0,60 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,15 & 0,00 \end{pmatrix}$$

$$A^{AUG} = \begin{pmatrix} 0,00 & 0,20 & 0,10 & -0,20 \\ 0,00 & 0,00 & 0,25 & 0,15 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,15 & 0,00 \end{pmatrix}$$

Tüm uzmanların görüşlerine aşağıdaki linkten ulaşabilirsiniz:

[https://drive.google.com/file/d/0B-OGfN4no -
TVmw4TTNmMUt0cjg/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/0B-OGfN4no-TVmw4TTNmMUt0cjg/view?usp=sharing)

Daha sonra, mantıksal geçerliliği garanti etmek için araştırma kavramsal çerçevesine göre elde edilen FCM karşılaştırıldı. Şekil 3.9 modelin kısmi grafik gösterimini göstermektedir.



Şekil 3.9 IT risklerinin Bulanık Bilişsel Haritası

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,21 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,54 & 0 & 0 & ,54 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,31 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,74 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,67 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,31 & 0 & ,74 & 0 & 0 & 0 & ,74 & 0 & 0 & ,56 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,74 & ,36 & 0 & ,54 & ,75 & 0 \\ 0 & ,81 & 0 & ,61 & 0 & 0 & ,46 & ,54 & 0 & ,61 & 0 & 0 & 0 & ,16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,21 & 0 \\ ,68 & 0 & 0 & 0 & ,39 & 0 & ,68 & 0 & 0 & ,68 & ,36 & ,31 & 0 & 0 & 0 & ,31 & 0 & ,61 & 0 & ,21 & 0 & ,43 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,27 & 0 & ,21 & ,49 & ,31 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,39 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,42 & 0 & ,16 & 0 & ,36 & ,43 & ,46 & 0 & 0 & ,54 & ,54 & ,36 & 0 & ,43 & 0 & ,21 & ,31 & ,68 & ,27 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,16 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,61 & 0 & 0 & 0 & ,60 & 0 & ,21 & ,36 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,46 & 0 & 0 & ,43 & 0 & 0 & ,67 & ,61 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,27 & 0 & ,67 & 0 & 0 & ,21 & ,67 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,54 & 0 & 0 & ,31 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,31 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,27 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,61 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,56 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,68 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,36 & 0 & ,60 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ,67 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,54 & ,54 & 0 & ,68 & ,81 & ,27 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,54 & ,74 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,54 & ,67 & 0 & ,56 & 0 & 0 & 0 & ,54 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,68 & 0 & 0 & 0 & ,54 & ,81 & ,61 & 0 & ,67 & ,74 \\ ,60 & 0 & 0 & ,42 & 0 & ,67 & ,61 & ,27 & ,16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,67 & ,61 & 0 & 0 & ,16 & 0 & ,21 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,54 & 0 & ,16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ ,81 & 0 & 0 & ,67 & ,54 & ,54 & ,74 & 0 & 0 & ,56 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,74 & ,74 & ,16 & 0 & 0 & 0 & ,67 & ,61 & 0 \\ 0 & ,54 & ,54 & 0 \\ ,36 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,74 & 0 \\ ,61 & 0 & 0 & 0 & ,31 & ,36 & ,75 & ,68 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,21 & 0 & ,81 & ,31 & ,36 & ,16 & 0 & 0 & ,74 & ,31 \\ ,54 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ,86 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Bu şekilde, hiperbolik tanjant fonksiyonu (1.18), FCM simülasyonlarında 1'e eşit bir fonksiyon eğimiyle (λ) uygulandı. FCM düğümlerinin değeri [0, 1] aralığında yer almaktadır, çünkü riskleri pozitif nedenselliğe göre veya nedensellik olmaması durumuna göre seçmiyoruz. Düğümler arasında olumsuz bir nedensellik yoktur. Ek olarak, bu genellikle diğer aktivasyon fonksiyonlarına kıyasla stabil bir senaryoya ulaşmak için daha az sayıda etkileşimi gerektirir.

Bu çalışmada başlangıç vektörü, risklerin RPN değerlerine bakarak tanımlandı. Bir riskin RPN değeri 250'nin üzerindeyse, başlangıç değerini 1 olarak belirleriz, aksi takdirde başlangıç değeri 0 olarak belirlenir.

$$C_1 = (0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 1)$$

Sonunda, tüm simülasyonlar bir denge eşiğine ulaşır. Tablo 3.11 ayrıca her simülasyonun sonunda elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo 3.11 Simülasyon adımları

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
R1	0,000	0,827	0,986	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
R2	1,000	0,770	0,860	0,888	0,897	0,898	0,899	0,899
R3	0,000	0,668	0,732	0,789	0,795	0,796	0,796	0,796
R4	0,000	0,500	0,876	0,908	0,913	0,914	0,914	0,914
R5	0,000	0,662	0,760	0,803	0,811	0,812	0,812	0,812
R6	0,000	0,687	0,820	0,858	0,865	0,866	0,866	0,866
R7	0,000	0,852	0,992	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998
R8	1,000	0,771	0,906	0,941	0,947	0,948	0,948	0,948
R9	0,000	0,500	0,534	0,537	0,539	0,539	0,539	0,539
R10	0,000	0,822	0,969	0,984	0,986	0,986	0,986	0,986
R11	0,000	0,794	0,834	0,867	0,875	0,876	0,876	0,876

R12	0,000	0,652	0,823	0,848	0,853	0,854	0,854	0,854
R13	0,000	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
R14	1,000	0,654	0,741	0,789	0,797	0,798	0,798	0,798
R15	0,000	0,500	0,653	0,675	0,677	0,677	0,677	0,677
R16	0,000	0,826	0,908	0,942	0,947	0,947	0,948	0,948
R17	1,000	0,652	0,749	0,785	0,794	0,795	0,795	0,795
R18	0,000	0,850	0,987	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996
R19	1,000	0,942	0,971	0,985	0,988	0,988	0,988	0,988
R20	0,000	0,500	0,610	0,638	0,643	0,643	0,643	0,643
R21	1,000	0,500	0,759	0,815	0,820	0,820	0,820	0,820
R22	1,000	0,678	0,968	0,988	0,989	0,990	0,990	0,990
R23	1,000	0,578	0,668	0,713	0,722	0,722	0,723	0,723

Bulanık Bilişsel Haritalar, tüm simülasyonlar kararlılık eşiğine ulaştığında sona erer. Bu, kararlılıktan sonra düğümlerin değerlerinin değişmediği anlamına gelir.

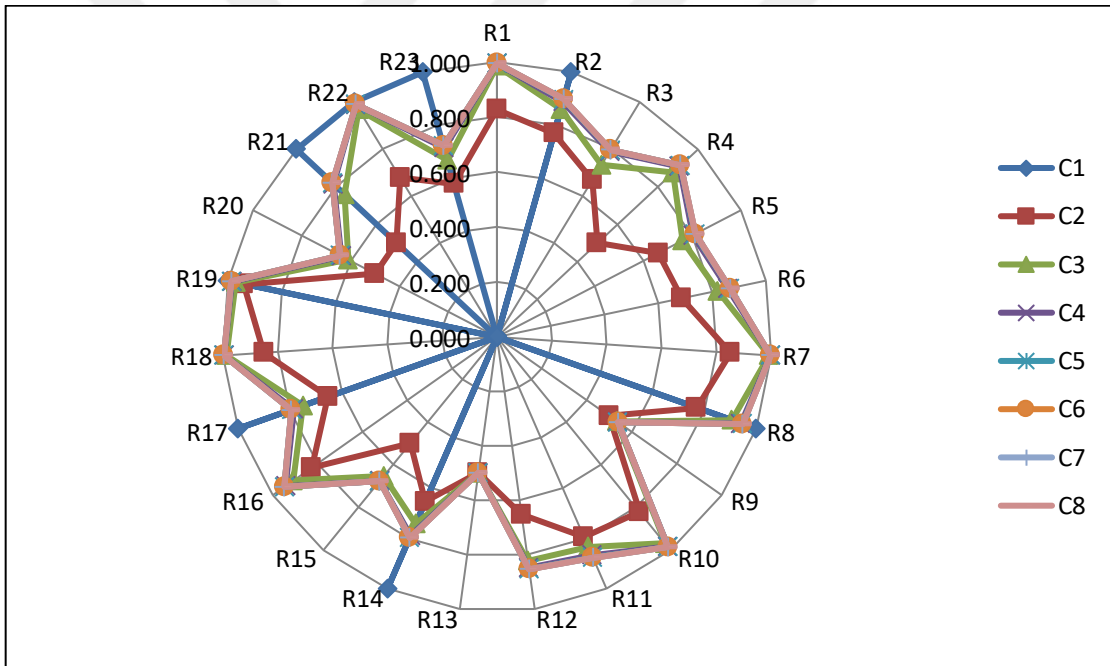
Şekil 3.10, simülasyonun her adımını grafik nota olarak göstermektedir.

Bu final değerleri, risklerin diğerlerinden nasıl etkilendiğini göstermektedir. Bulgular, bu etkilerin 0,500 ile 0,998 arasında olduğunu göstermektedir. Ortalama etki 0,842'dir. Bu, aktif risklerin geri kalanı üzerinde makul ve olumlu bir etkiye sahip olduğunu gösterir. En fazla etkilenen dokuz değer, değerlerinin 0,900'den fazla olması nedeniyle şöyledir: R7 (0.998), R18 (0.996), R1 (0.995), R22 (0.990), R19 (0.988), R10 (0.986), R8 (0.948), R16 (0.948) ve R4 (0.914).

R13 (0.500) etkisizdir, çünkü etkileşim olmazsa, düğümün değeri 0.500 olacaktır. Bu, uygulama için seçtiğimiz fonksiyon yönteminin bir tür sonucudur (sigmoid işlevi). Bütünleştirilmiş matris negatif değerler içeriyorsa, sonuç olarak 0.500 altındaki etkileşim değerlerini görürüz. Ancak yukarıda belirtildiği gibi, artırılmış matrisi belirlerken değerleri sadece pozitif nedenselliğe ya da neden ilişkisi olmaması durumuna göre verdik, çünkü bir projede bir risk meydana geldiğinde,

projeyi olumsuz etkileyebilir ve risk, başka bir riski tetiklediğinde, ilk riskten etkilenen bu risk projeyi de olumsuz etkileyecektir. Bu iki risk arasında pozitif bir nedensellik yaratır. Tüm riskler bu mantığa dayanarak seçilmiştir. Fonksiyon yöntemine göre, düğümlerin etkileşimleri $[0,1]$ içinde bulunmaktadır:

1. İki düğüm arasındaki etkileşim değeri < 0.500 . Negatif nedenselliğin, diğer düğümlerden etkilenen düğüm için pozitif nedensellikten daha fazla olduğu anlamına gelir.
2. İki düğüm arasındaki etkileşim değeri > 0.500 . Pozitif nedenselliğin, diğer düğümlerden etkilenen düğüm için negatif nedensellikten daha fazla olduğu anlamına gelir.
3. İki düğüm arasındaki etkileşim değeri $= 0,500$. Düğüm için nedensellik olmadığı anlamına gelir.



Şekil 3.10 Simülasyonun grafiksel notasyonları

3.4.2 Bulanık Bilişsel Haritalarla Entegre FMEA

Proje riskleri arasındaki ilişkileri değerlendirmek için öncelikle FCM FMEA'ya uygulandı ve FMEA sonuçları üzerindeki etkileri karşılaştırıldı.

Öncelikle, etkileşimli olmayan bir düğüm sınırı belirlendi. Bu 0,500 ve sigmoid fonksiyonunun bir özelliğidir. Daha sonra etkileşimsizlik sınırı

(3.9) kullanılarak bulunur ve

(3.10),

(3.11) kullanılarak yeni Şiddet (S') ve RPN (RPN ') değerleri elde edildi.

R1 için Örnek;

$$\varphi = 0,500$$

$$j = 1$$

$$\lambda_1 = \delta_1 - \varphi \quad (3.9)$$

$$\lambda_1 = 0,995 - 0,500 = 0,495$$

$$S'_1 = \begin{cases} S_1 * (1 + \lambda_1), & S_1 * (1 + \lambda_1) < 10 \\ 10, & S_1 * (1 + \lambda_1) \geq 10 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$S'_1 = \begin{cases} 7,2 * (1 + 0,495), & 7,2 * (1 + 0,495) < 10 \\ 10, & 7,2 * (1 + 0,495) \geq 10 \end{cases}$$

Bu örnekte, yeni Şiddet değeri 10'dan fazla olacaktır ancak FMEA'da O, S, D değerlerinin aralığı 1 ile 10 arasındadır. Bu nedenle, değer 10'dan fazla olduğunda değeri 10'a sabitlenmiştir.

$$S'_1 = 10 \quad (10,764 \geq 10)$$

$$RPN'_1 = O_1 * S'_1 * D_1 \quad (3.11)$$

$$RPN'_1 = 3 * 10 * 6 = 180$$

Bu bilgilere göre, yeni S değerleri tüm riskler için şu şekilde oluşturulmuştur:

$S = (7,2 \ 9,2 \ 8,8 \ 6,4 \ 5,8 \ 6,2 \ 4,8 \ 8,6 \ 9,2 \ 5,6 \ 6,6 \ 6,4 \ 8,8 \ 9,0 \ 6,0 \ 7,2 \ 7,0 \ 7,0 \ 8,8 \ 4,4 \ 8,4 \ 7,0 \ 7,4)$

S'
 $= (10 \ 10 \ 10 \ 9,051 \ 7,611 \ 8,471 \ 7,190 \ 10 \ 9,557 \ 8,324 \ 9,085 \ 8,667 \ 8,800 \ 10 \ 7,062 \ 10 \ 9,065 \ 10 \ 10 \ 5,031 \ 10 \ 10 \ 9,047)$

Ek olarak, bir düğümün değeri tüm simülasyonların sonunda 0,500'ün altında olsaydı, katsayı değeri negatif olur ve düğümün yeni şiddet değerini eski şiddet değerinden daha düşük yapardı.

Tablo 3.12 FCM entegreli FMEA'nın sonuçları (O, S, D değerleri)

<i>Risks</i>	<i>O</i>	<i>S</i>	<i>Re-S</i>	<i>S Üzerindeki Etkisi</i>	<i>D</i>
R8	8,20	8,60	10,00	1,400	9,40
R2	6,80	9,20	10,00	0,800	8,20
R23	6,80	7,40	9,047	1,647	7,80
R22	6,80	7,00	10,00	3,000	5,80
R19	6,00	8,80	10,00	1,200	6,40
R17	5,80	7,00	9,065	2,065	6,80
R14	5,80	9,00	10,00	1,000	6,00
R21	4,80	8,40	10,00	1,600	6,60
R16	5,40	7,20	10,00	2,800	5,20
R5	4,80	5,80	7,611	1,811	6,00
R13	5,40	8,80	8,800	0,000	4,40
R7	6,60	4,80	7,190	2,390	4,00
R9	2,20	9,20	9,557	0,357	8,60
R1	2,40	7,20	10,00	2,800	7,00
R6	4,60	6,20	8,471	2,271	4,20
R3	2,00	8,80	10,00	1,200	7,20
R11	4,80	6,60	9,085	2,485	3,20
R18	5,40	7,00	10,00	3,000	2,40
R12	3,20	6,40	8,667	2,267	3,60

R10	3,00	5,60	8,324	2,724	3,20
R15	4,80	6,00	7,062	1,062	2,20
R4	2,00	6,40	9,051	2,651	2,20
R20	1,40	4,40	5,031	0,631	2,20

Tablo 3.13 FCM entegreli FMEA'nın sonuçları (karşılaştırma)

<i>Risks</i>	<i>Eski RPN</i>	<i>Eski Öncelik</i>	<i>Yeni RPN</i>	<i>RPN'e Etkisi</i>	<i>Yeni Öncelik</i>
R8	662,888	1	770,800	107,912	1
R2	512,992	2	557,600	44,608	2
R23	392,496	3	479,834	87,338	3
R22	276,08	7	394,400	118,320	4
R19	337,92	4	384,000	46,080	5
R17	276,08	6	357,539	81,459	6
R14	313,2	5	348,000	34,800	7
R21	266,112	8	316,800	50,688	8
R16	202,176	10	280,800	78,624	9
R5	167,04	12	219,188	52,148	10
R13	209,088	9	209,088	0,000	11
R7	126,72	14	189,819	63,099	12
R9	174,064	11	180,824	6,760	13
R1	120,96	15	168,000	47,040	14
R6	119,784	16	163,669	43,885	15
R3	126,72	13	144,000	17,280	16
R11	101,376	17	139,539	38,163	17

R18	90,72	18	129,600	38,880	18
R12	73,728	19	99,847	26,119	19
R10	53,76	21	79,910	26,150	20
R15	63,36	20	74,574	11,214	21
R4	28,16	22	39,824	11,664	22
R20	13,552	23	15,496	1,944	23

Önceliklendirme yaparken eski önceliği dikkate aldık. Aksi takdirde, RPN değerlerinin birbirine eşit olan riskler kendiliğinden rastgele sıralanırdı.

Sonuçlara göre, 100'ün üzerinde iki önemli etki vardır (R8: 107,912 ve R22: 118,320), bu "FCM entegrasyonu" ile R22'nin önceliğini değiştirmiştir. Önceliğini 7'den 4'e çıkarmıştır. Bu, FCM'nin entegrasyonunun onu daha önemli bir risk olarak gördüğü anlamına geliyor. R22 gibi bir risk daha var ama bu sefer FCM'in entegrasyonu önceliğini 13'ten 16'ya (R3) değiştirerek daha az önemli bir risk haline getirdi. Bu iki risk, diğer risklerin değişikliklerine göre en büyük değişikliklere ($7-4 = 3 = 16-13$) sahiptir. Bu, FCM'nin çarpıcı bir değişiklik yapmadığı anlamına gelmektedir.

FMEA'da, R17 ve R22 aynı RPN değerlerine sahiptir ve öncelikleri sırasıyla 6 ve 7'dir. FCM'nin entegrasyonundan sonra, R17 aynı yerde (6) kalmıştır, ancak R22 yukarıda belirtildiği gibi daha önemli bir risk (4) haline gelmiştir. R3 ve R7 için biraz farkla bir benzer durum vardır. FMEA'da, RPN değerleri aynıdır ve öncelikleri sırasıyla 13 ve 14'tür. FCM'den sonra R7 önceliğini 14'ten 12'ye yükseltirken, R3 önemini bir miktar yitirmiş ve 13'den 16'ya yükselmiştir. Riskler arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurduğumuzda, bu uygulamanın risklerin önceliklerini değiştirebildiği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, FCM entegrasyonunun riskleri üç şekilde etkileyebileceği sonucuna varabiliriz:

- FCM risklerin önem seviyesini artırabilir
 - R22 (7→4), R16 (10→9), R5 (12→10), R7 (14→12), R1 (15→14), R6 (16→15), R10 (21→20)
- FCM risklerin önem seviyesini azaltabilir

- R19 (4→5), R14 (5→7), R13 (9→11), R9 (11→13), R3 (13→16), R15 (20→21)
- FCM aynı risklerin önem seviyesini koruyabilir
 - R8 (1→1), R2 (2→2), R23 (3→3), R17 (6→6), R21 (8→8), R11 (17→17), R18 (18→18), R12 (19→19), R4 (22→22), R20 (23→23)

3.4.3 Bulanık Bilişsel Haritalarla Entegre Bulanık FMEA

FCM'nin birleştirilmesinin Bulanık FMEA sonuçlarını nasıl etkilediğini araştırmak için önceki bölümden elde edilen yeni Şiddet (S') değerlerine sahibiz. Bu sadece yeni şiddet değerleri ile Bulanık FMEA yöntemini uygulamak içindir. Üyelik fonksiyonları, bulanık çıktı için kural tabanı ve Bulanıktaki yöntemler aynıdır.

Tablo 3.14 FCM entegreli Bulanık FMEA'nın sonuçları

Risk	O	S	Yeni S	D	Bulanık RPN	Eski Öncelik	Yeni Bulanık RPN	Yeni Öncelik
R8	8,2	8,6	10,00	9,4	9,000	1	9,000	1
R2	6,8	9,2	10,00	8,2	8,000	2	8,000	2
R23	6,8	7,4	9,047	7,8	8,000	3	8,000	3
R22	6,8	7	10,00	5,8	7,000	5	7,000	4
R17	5,8	7	9,065	6,8	7,000	4	7,000	5
R21	4,8	8,4	10,00	6,6	7,000	6	7,000	6
R7	6,6	4,8	7,190	4	6,000	13	7,000	7
R9	2,2	9,2	9,557	8,6	7,000	7	7,000	8
R19	6	8,8	10,00	6,4	6,000	8	6,000	9
R14	5,8	9	10,00	6	6,000	9	6,000	10
R16	5,4	7,2	10,00	5,2	6,000	11	6,000	11
R5	4,8	5,8	7,611	6	5,000	15	6,000	12

R13	5,4	8,8	8,800	4,4	6,000	10	6,000	13
R1	2,4	7,2	10,00	7	6,000	14	6,000	14
R6	4,6	6,2	8,471	4,2	5,000	16	6,000	15
R3	2	8,8	10,00	7,2	6,000	12	6,000	16
R11	4,8	6,6	9,085	3,2	5,000	17	6,000	17
R18	5,4	7	10,00	2,4	5,000	18	6,000	18
R12	3,2	6,4	8,667	3,6	4,000	19	6,000	19
R15	4,8	6	7,062	2,2	4,000	20	5,000	20
R4	2	6,4	9,051	2,2	3,000	22	5,000	21
R10	3	5,6	8,324	3,2	3,000	21	4,000	22
R20	1,4	4,4	5,031	2,2	3,000	23	3,000	23

Sonuçlara göre, R8, R2, R23, R21, R16, R1, R11, R18, R12, R15 ve R20 aynı Bulanık RPN değerlerine ve önceliklerine sahiptir. FCM'nin Bulanık FMEA'ya entegrasyonu, bazı risklerin önem seviyelerini arttırdı: R22, R7, R5, R6 ve R4, ancak bazı risklerin de önem seviyelerini düşürdü: R17, R9, R19, R14, R13, R3, R10.

Özet olarak, R7 riski en büyük ölçüde değişkendir. 13 olan önceliği 7 oldu. Bu, öncekinden çok daha önemli bir risk haline geldiği anlamına gelmektedir. Ayrıca Bulanık RPN değerleri 6.000'den 7.000'e yükselmiştir. Bununla birlikte, R3 riski iki yöntemde de aynı Bulanık RPN değerlerine sahiptir, ancak önceliği 12'den 16'ya geri düşmüştür. Bu iki risk aynı RPN değerlerine ve aynı Bulanık RPN değerlerine sahiptir. Ancak riskler arasındaki ilişkiler göz önüne alındığında farklı pozisyonlar ve davranışlar almaktadırlar.

Bununla birlikte, FCM ile entegre olan FMEA'nın yanı sıra çarpıcı bir değişiklik olmadığı sonucuna varabiliriz.

RPN değerleri (Bulanık RPN ve Yeni Bulanık RPN) kendi başlarına eşit olsalar da bazı öncelik değişiklikleri vardır. Örneğin, R9 aynı RPN değerlerine (7.000) sahiptir, ancak öncelik sayısı Bulanık FMEA'da 7 iken, FCM ile entegre olan Bulanık

FMEA'da 8'dir. Bulanık FMEA'da önceliklendirme yaparken, yukarıda belirtildiği gibi FMEA önceliklendirmesini dikkate aldık. Bu aynı zamanda FCM'li Bulanık FMEA için de geçerlidir. Önceliklendirme yaparken, FMEA'nın FCM ile önceliklendirilmesini de düşündük. Bu yüzden bu riskin önceliği farklıdır.

3.4.4 Bulanık Bilişsel Haritalarla Entegre Bulanık Gri FMEA

FCM'yi Bulanık Gri FMEA'ya entegre etmek, FCM'yi Bulanık FMEA'ya entegre etmekten biraz farklıdır. Hesaplama adımları aynıdır ancak işlem şekli farklıdır.

Yukarıda belirtildiği gibi, Bulanık Gri FMEA için alt limit ve üst limit olmak üzere risk değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. FCM'yi Bulanık Gri FMEA'ya entegre etmek istediğimizde, risklerin S bileşenlerinin alt limit değerleri ve üst limit değerleri için ayrı ayrı FCM işleminin çalıştırılması gerekir. Bu, her risk için FCM işlemini iki kez çalıştıracığımız anlamına gelmektedir. Risklerin O ve D bileşenlerinin alt ve üst değerleri Bulanık Gri FMEA ile aynıdır. FCM mantığı tamamen aynıdır. İlk işlevler, bütünleştirilmiş matris ve FCM için kullanılan fonksiyon yukarıda belirtilenlerle aynıdır.

Örneğin; R1 riski için, S'nin alt limit değeri 6'dır. Bu riskin yeni alt limit değerinin elde edilmesi için öncelikle bu değere (6) FCM'e uygulanır, sonra sırasıyla

(3.9) ve

(3.10) uygulanır. Sonunda 8,973 olarak

alt limit değeri elde edilir. Üst limit değerlerini elde etme süreci aynıdır.

FCM'nin son iterasyonunun katsayı değerlerini hatırlayalım ve risklerin S bileşenlerinin alt ve üst limit değerleri için FCM işlemini uygulayalım:

Tablo 3.15 FCM'in son iterasyonunun katsayı değerleri

	C8
R1	0,995
R2	0,899
R3	0,796
R4	0,914

R5	0,812
R6	0,866
R7	0,998
R8	0,948
R9	0,539
R10	0,986
R11	0,876
R12	0,854
R13	0,500
R14	0,798
R15	0,677
R16	0,948
R17	0,795
R18	0,996
R19	0,988
R20	0,643
R21	0,820
R22	0,990
R23	0,723

Bu bilgilere göre, S değerlerinin yeni alt ve üst limit değerleri tüm riskler için aşağıdaki gibi oluşur:

$$S_L = (6,0 \quad 8,0 \quad 7,0 \quad 5,0 \quad 4,0 \quad 4,0 \quad 3,0 \quad 7,0 \quad 8,0 \quad 4,0 \quad 5,0 \quad 5,0 \quad 6,0 \quad 7,0 \quad 3,0 \quad 6,0 \quad 6,0 \quad 5,0 \quad 8,0 \quad 2,0 \quad 8,0 \quad 4,0 \quad 7,0)$$

$$S'_L = (8,973 \quad 10 \quad 9,075 \quad 7,071 \quad 5,249 \quad 5,465 \quad 4,494 \quad 10 \quad 8,311 \quad 5,946 \quad 6,882 \quad 6,771 \quad 6 \quad 9,088 \quad 3,531 \quad 8,685 \quad 7,770 \quad 7,481 \quad 10 \quad 2,287 \quad 10 \quad 5,959 \quad 8,558)$$

$$S_U = (9,0 \quad 10,0 \quad 10,0 \quad 9,0 \quad 7,0 \quad 8,0 \quad 7,0 \quad 10,0 \quad 10,0 \quad 7,0 \quad 8,0 \quad 9,0 \quad 10,0 \quad 10,0 \quad 7,0 \quad 8,0 \quad 8,0 \quad 8,0 \quad 10,0 \quad 6,0 \quad 9,0 \quad 8,0 \quad 8,0)$$

$$S'_U = (10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 9,185 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 8,239 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 10 \quad 6,861 \quad 10 \quad 10 \quad 9,780)$$

FCM'nin entegrasyon süreci Bulanık Gri FMEA için de aynıdır. Yeni üst ve alt limit değerleri aynı kurallarla kullanılmıştır. FCM ile bütünleşik Bulanık Gri FMEA için önceliklendirme yaparken diğer iki yöntemin öncelikleri göz önünde bulundurulmaktadır.

Tablo 3.16 FCM entegreli Bulanık Gri FMEA'nın girdileri

<i>Riskler</i>	<i>O</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>Alt Limit Değerleri</i>			<i>Üst Limit Değerleri</i>		
R1	2,40	10,000	7,00	1,00	8,973	6,00	4,00	10,000	8,00
R2	6,80	10,000	8,20	5,00	10,000	7,00	8,00	10,000	9,00
R3	2,00	10,000	7,20	1,00	9,075	5,00	4,00	10,000	9,00
R4	2,00	9,051	2,20	1,00	7,071	1,00	4,00	10,000	4,00
R5	4,80	7,611	6,00	4,00	5,249	5,00	6,00	9,185	8,00
R6	4,60	8,471	4,20	4,00	5,465	2,00	6,00	10,000	6,00
R7	6,60	7,190	4,00	5,00	4,494	3,00	8,00	10,000	6,00
R8	8,20	10,000	9,40	7,00	10,000	8,00	9,00	10,000	10,00
R9	2,20	9,557	8,60	1,00	8,311	8,00	3,00	10,000	9,00
R10	3,00	8,324	3,20	2,00	5,946	1,00	4,00	10,000	5,00
R11	4,80	9,085	3,20	3,00	6,882	2,00	7,00	10,000	4,00
R12	3,20	8,667	3,60	1,00	6,771	1,00	5,00	10,000	5,00
R13	5,40	8,800	4,40	4,00	6,000	3,00	7,00	10,000	5,00
R14	5,80	10,000	6,00	4,00	9,088	5,00	8,00	10,000	7,00
R15	4,80	7,062	2,20	4,00	3,531	1,00	6,00	8,239	3,00
R16	5,40	10,000	5,20	3,00	8,685	3,00	7,00	10,000	7,00
R17	5,80	9,065	6,80	3,00	7,770	6,00	8,00	10,000	8,00
R18	5,40	10,000	2,40	4,00	7,481	1,00	7,00	10,000	4,00

R19	6,00	10,000	6,40	5,00	10,000	5,00	8,00	10,000	8,00
R20	1,40	5,031	2,20	1,00	2,287	1,00	2,00	6,861	4,00
R21	4,80	10,000	6,60	3,00	10,000	6,00	6,00	10,000	8,00
R22	6,80	10,000	5,80	4,00	5,959	5,00	8,00	10,000	7,00
R23	6,80	9,047	7,80	5,00	8,558	6,00	8,00	9,780	10,00

Greyness ve beyazlatma işlemlerinin hesaplanması, Bulanık Gri FMEA'daki gibidir

(3.4), (3.5),

(3.6),

(3.7).

Tablo 3.17 FCM entegreli Bulanık Gri FMEA'nın çıktıları

<i>Risks</i>	<i>Alt Limit Çıktı</i>	<i>Üst Limit Çıktı</i>	<i>Uzunluk</i>	<i>Grilik</i>	<i>Beyazlık</i>
R1	5,000	7,000	2,000	0,220	6,000
R2	7,000	9,000	2,000	0,220	8,000
R3	5,000	8,000	3,000	0,330	6,995
R4	3,000	6,000	3,000	0,330	4,995
R5	5,000	7,000	2,000	0,220	6,000
R6	4,000	6,000	2,000	0,220	5,000
R7	4,000	7,000	3,000	0,330	5,995
R8	8,000	9,667	1,667	0,190	8,833
R9	5,000	7,000	2,000	0,220	6,000
R10	3,000	6,000	3,000	0,330	4,995
R11	4,000	7,000	3,000	0,330	5,995
R12	3,000	6,000	3,000	0,330	4,995

R13	4,000	7,000	3,000	0,330	5,995
R14	6,000	8,000	2,000	0,220	7,000
R15	3,000	5,000	2,000	0,220	4,000
R16	5,000	8,000	3,000	0,330	6,995
R17	5,000	8,000	3,000	0,330	6,995
R18	4,000	7,000	3,000	0,330	5,995
R19	6,000	8,000	2,000	0,220	7,000
R20	0,630	5,000	4,370	0,490	3,886
R21	6,000	7,000	1,000	0,110	6,500
R22	5,000	8,000	3,000	0,330	6,995
R23	6,000	9,000	3,000	0,330	7,995

Tablo 3.18 FCM entegreli Bulanık Gri FMEA'nın sonuçları

Risk	Bulanık Gri RPN	Bulanık Gri Öncelik	Yeni FMEA Öncelik	Yeni Bulanık Gri Öncelik	Yeni Bulanık Gri RPN	Yeni Bulanık Gri Öncelik
R8	8,833	1	1	1	8,833	1
R2	8,000	2	2	2	8,000	2
R23	7,000	3	3	3	7,500	3
R19	7,000	4	5	9	7,000	4
R14	7,000	5	7	10	7,000	5
R22	6,500	6	4	4	6,500	6
R17	6,000	7	6	5	6,500	7
R21	6,000	8	8	6	6,500	8

R16	5,500	13	9	11	6,500	9
R3	6,000	11	16	16	6,500	10
R5	6,000	10	10	12	6,000	11
R9	6,000	9	13	8	6,000	12
R1	5,500	14	14	14	6,000	13
R13	5,500	12	11	13	5,500	14
R7	5,000	16	12	7	5,500	15
R11	5,000	18	17	17	5,500	16
R18	5,500	15	18	18	5,500	17
R6	5,000	17	15	15	5,000	18
R12	4,000	20	19	19	4,500	19
R10	4,500	19	20	22	4,500	20
R4	4,000	22	22	21	4,500	21
R15	4,000	21	21	20	4,000	22
R20	2,315	23	23	23	2,815	23

Sonuçlara göre, FCM'i Bulanık Gri FMEA'ya uyguladıktan sonra, ilk 8 riskin önceliklendirilmesinde değişiklik olmamıştır. Bu karşılaştırma "FCM ile entegre Bulanık Gri FMEA" ve "Bulanık Gri FMEA" arasındadır. İlk 8 risk için, bazıları RPN değerlerini arttırmış olsalar da önceliklerini aynı tutmuşlardır. Ancak, R16 riski için aynı şeyleri söyleyemeyiz. FCM'den önce, 5.500 RPN değerine sahipti ve öncelik numarası 13'dü. FCM'den sonra, önem seviyesi dört aşama arttı ve 9'a yükseldi ve ayrıca RPN değeri 6.500'e yükseldi. Ek olarak, R9 riskini göz önünde bulundurursak, RPN değeri 6.000 ve öncelik numarası 9'du. FCM'den sonra, RPN değeri aynı kalmasına rağmen, önem seviyesi üç aşama düştü ve 12 numaraya geriledi. İki yöntem karşılaştırıldığında, risklerin çoğu FCM nedeniyle RPN değerlerini arttırmıştır. Beklenen şey buydu çünkü riskler arasındaki ilişkileri araştırırken pozitif nedenselliğe önem veriyorduk. Eğer bir risk diğerini

etkiliyorsa, bu durumda etkilenen riskin değeri bir öncekinden daha önemli olacak şekilde bir değere sahip olacaktır.

FCM'yi üç yöntemle uyguladıktan sonra (FMEA, Bulanık FMEA ve Bulanık Gri FMEA) ilk 3 risk pozisyonlarını korudu. Bu durum R12 ve R20 için de aynıdır. Başka bir bakış açısı olarak, R19 FMEA'da bir pozisyon aldı (5). Bulanık mantık uygulandıktan sonra dört adım önemini yitirdi (9), ancak Gri Sistem Teorisi eski önemini beş adım daha geri getirdi (4). Bu durum R14 ($7 \rightarrow 10 \rightarrow 5$), R16 ($9 \rightarrow 11 \rightarrow 9$), R5 ($10 \rightarrow 12 \rightarrow 11$) için de aynıdır. FMEA ve Bulanık FMEA'da R22 ve R6 aynı öncelik numaralarına (sırasıyla 4 ve 15) sahiptir, ancak gri sistem teorisinden sonra önemlerini yitirdiler ve sırasıyla 6 ve 18 konumlarını aldılar. Öte yandan R3, R1, R11 ve R18 aynı öncelik numaralarına sahiptirler (sırasıyla 16, 14, 17 ve 18) ancak gri sistem teorisinden sonra daha fazla önem kazandılar ve sırasıyla 10, 13, 16 ve 17 pozisyonlarını aldılar.

Tüm süreçleri özetlersek; önce bir vaka belirlenmiştir ve sırasıyla bu vakaya üç yöntem de (FMEA, Bulanık FMEA ve Bulanık Gri FMEA) uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu üç yöntemin bir zayıflığı vardı. Bu yöntemler, riskler arasındaki ilişkileri göz önünde bulundurmuyorlardı. Bu nedenle, bu üç yöntemin bu zayıflığının üstesinden gelinilmesi için Bulanık Bilişsel Haritaların kendilerine entegre edilmesine karar verilmiştir. Daha sonra bu yöntemlerin her birine FCM entegre edilerek uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Genel olarak sonuçlar, uygulayıcılar tarafından tüm yöntemlerin kullanılabileceği ve riskler arasındaki ilişkileri göz önünde bulundurarak riskleri daha iyi değerlendirmek için bazı öncelik değişiklikleri yapılabileceği gösterilmiştir.

FMEA, risk önceliklendirmesini yapmak için kabul edilmiş bir tekniktir. Literatürde bulanık mantık, FMEA'nın bazı eksikliklerini etkin bir yöntem olarak ele almak için kullanılmaktadır ve bizim tarafımızdan bu Bulanık FMEA olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada bu iki yöntem (FMEA ve Bulanık FMEA) vakaya uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki yöntemin sonuçlarının birbirine benzer olduğunu gözlemlenmiştir.

Bir boyut daha eklemek için Bulanık FMEA'ya Gri Sistem Teori uygulanmış ve Bulanık Grey FMEA olarak adlandırılmıştır. Uzmanlar O, S ve D değerleri hakkında karar vermekte kararsız kaldıklarında, değerler hakkında bir aralık vermeyi düşünebilirler. Örneğin, FMEA ve Bulanık FMEA'da uzmanlar, 1 ile 10 arasında yalnızca 7 gibi bir değer söylemek zorundadır, ancak Bulanık Gri FMEA'da uzmanlar, 7 yerine 6 ve 8 gibi bir aralık değeri verebilirler. Bu durum analistlere, uzmanları, riskleri ve problemleri anlamada fırsatlar ve avantajlar sağlar. Sonunda Bulanık Gri FMEA'nın sonuçları alınmış ve bunlar FMEA ve Bulanık FMEA'nın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, önceliklendirme konusunda bazı değişiklikler olduğu ancak büyük değişikliklerin olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak, bazı risklerde daha büyük değişiklikler gözlemlenmiştir.

Bu değişikliklerin nedeni değerin özelliklerine, girdilerin ve çıktıların üyelik fonksiyonlarına ve gri değerlerin boyutuna bağlıdır.

Bütün bunlara ek olarak, bu üç yöntemin bir zayıflığı daha belirlenir: riskler arasındaki ilişkilerin göz ardı edilmesi. Bulanık Bilişsel Haritalar (FCM'ler), ilişkileri değerlendirmek için literatürde etkili ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. FCM üç yöntemle ayrı ayrı uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ilişkiler için içine katıldığında bazı değişikliklerin olduğunu ancak benzer sonuçların elde edildiğini göstermiştir. Sonuçlarla ayrıca, FCM'lerle bu yöntemlerin pratikte uygulanabilir yöntemler olduğu ancak FCM'li Bulanık Gri FMEA'nın diğerleri arasında en kapsamlı yöntem olduğu gösterilmiştir.

Sonuç olarak, analistler tarafından riskler ve risklerin etkileri kolayca anlaşılabilir, riskler yönetilebilir ve risk değerlendirmesi doğru şekilde yapılabilir. Bu yöntemler, projelerin başarılı oranlarının artmasına, risklerden kaynaklanan maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olur.

Sonuç olarak, Bulanık Bilişsel Haritalı Bulanık Gri FMEA uygulamasının önem sırasına göre sonuçlar aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir:

- En çok önem verilmesi gereken risk *yetersiz değişim yönetimidir*. Bunun anlamı, yazılımın geliştirilmesi esnasında gelen taleplerin sistem içine entegre edilmesi, beraberinde proje başarısını önemli derecede etkileyecek sonuçları da getirdiğini göstermektedir.
- *Yüksek sistem özelleştirme oranı*, sistemin, sistem uyumunun ve tutarlılığının göz ardı edilerek kullanıcı taleplerine göre şekillendirilip geliştirilmesidir. Bu durum üstüne gidildikçe proje başarısını olumsuz yönde etkileyecek ve projeye zaman kaybı, ek maliyetler ve sistem performansının yavaşlaması gibi sonuçlar doğurtacaktır.
- *Düşük test kalitesi*, projenin hayata geçirilmesinde çok önemli bir risk olarak kendini göstermiştir. Yapılan testler ne kadar iyi olursa proje başarısı da o kadar olumlu etkilenecek ve hayata geçirilirken gerçekleşmesi beklenen durumların daha önceden karşılaşılması sağlanacaktır.
- *IT teknik konular*, proje başarısında teknik bilginin yeterliliğinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Teknik yetersizlik yine proje başarısını önemli ölçüde olumsuz olarak etkileyecektir.

- *Kötü iş süreci yeniden yapılanması*, yeniden yapılandırma süreçleri ek geliştirme kodlarının yazılmasına ve yeni yazılan kodların da sistem açısından uyum sürecinin yeniden yapılandırılmasına neden olacaktır. Bu nedenle iş sürecinin yeniden yapılandırılmasının kalitesi proje başarısını da olumlu yönde etkileyecek öneme sahiptir.
- *Zayıf bilgi aktarımı*, yazılım geliştirmesi yapılırken rol olan ekipler arasında (yönetim, kullanıcılar, analistler, yazılımcılar, test ekibi vs.) önemli bir role sahiptir. Bilgi aktarımı ne kadar iyi olursa yeniden yapılandırma süreçleri o denli azalacaktır. Bu da proje başarısını olumlu yönde etkileyecektir.
- *Kötü risk yönetimi*, risklere verilmesi gereken önemin doğru bir şekilde verilmemesi ve gerçekleşmesi durumunda oluşacaktır. Proje başarısını ve kalitesini önemli derecede etkileyen bir faktördür. Bu tip çalışmalarla desteklenmesi ve risklerin etkilerinin minimize edilmesi proje başarısını olumlu yönde etkileyecektir.
- *Kötü Proje ekibi*, proje ekibinin yetersizliği gösterilmektedir. Ele alınan vakada mevcut proje ekibinin yeterlilik seviyesi proje başarısı açısından önem arz etmektedir ve dikkat edilmesi gereken bir risk olarak ele alınılması gerektiği gösterilmektedir.
- *Kötü proje yönetimi*, yönetim biriminin, süreçleri doğru planlaması, yönlendirmesi, takip etmesi gibi işlemlerde yeterlilik seviyesini göstermektedir. Proje yönetiminin yetersiz olması riski yine bu vakada dikkat edilecek öneme sahip riskler arasında yer almaktadır. Burada yönetim ekibini bilgi birikimi ve tecrübesi ön plana çıkacaktır.
- *Veri yönetimi sorunları*, proje başarısını doğrudan etkileyecek öneme sahiptir. Verinin doğru bir şekilde işlenip saklanması ve doğru bir şekilde kullanılması proje açısından önemli bir role sahiptir. Ne kadar sorun yaşanırsa, proje başarısı da önemli derecede olumsuz yönde etkilenecektir.
- *Yetersiz kullanıcı katılımı, performans ölçüm sistemi eksikliği, organizasyon ve danışmanlar/satıcılar arasındaki çatışmalar, çevresel baskılar, departmanlar arası iç çatışmalar, organizasyon yapısı ile ERP sistemi arasındaki uyumsuzluk, zayıf üst yönetim desteği, etkili olmayan iletişim sistemi* riskleri ele alınan vaka için orta düzeyde öneme sahip riskler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu risklerin herhangi birinin gerçekleşmesi ya da

içlerinden bazılarının gerçekleşmesi durumunda, proje başarısı yine olumsuz yönde etkilenecek ancak etki büyüklüğü yukarıda bahsedilen riskler kadar olmayacaktır. Başka bir vaka için bulunulan şartlar altında bu riskler daha çok öneme sahip de olabilir ya da bazıları başka bir projede hiç olmayabilirler.

- *BT ile işletme stratejileri arasındaki uyumsuzluklar, örgüt kültürü ve ERP sistemi arasındaki uyumsuzluk, yetersiz eğitim ve öğretim, kötü danışmanlık, dil engelleri riskleri proje başarısını olumsuz yönde etkileyecek riskler olsa da yönetim açısından diğer risklerin etkileri minimize edildikten sonra ele alınacak riskler olarak belirlenmişlerdir.*

Öneri olarak; uzman görüşüne dayalı olan bu uygulamaların sonuçlarında matematiksel olarak elde edilen veriler kullanılarak proje maliyetlerine olan etkilerinin sayısal olarak hesaplamaları yapılabilir. Diğer bir deyişle riskler gerçekleştiği zaman projeye maliyet olarak ne kadarlık bir etkisinin olacağı hesaplanabilir. Bununla birlikte riskler gerçekleşmesi durumunda ne kadarlık gecikmelere yol açabileceği de hesaplayacak yöntemler geliştirilebilir.

Olasılık Değeri İçin Uzmanların Görüşleri

Riskler	Uzman #1	Uzman #2	Uzman #3	Uzman #4	Uzman #5
R1	4	1	2	1	4
R2	5	7	7	8	7
R3	3	1	1	4	1
R4	1	3	1	1	4
R5	6	4	4	5	5
R6	5	4	4	4	6
R7	8	5	7	8	5
R8	9	9	7	7	9
R9	3	1	2	3	2
R10	4	2	3	4	2
R11	7	4	3	6	4
R12	2	3	5	5	1
R13	6	4	6	4	7
R14	5	7	8	5	4
R15	5	5	6	4	4
R16	7	4	6	7	3
R17	3	8	5	6	7
R18	4	4	5	7	7
R19	8	6	5	6	5

R20	1	1	2	2	1
R21	6	6	5	3	4
R22	8	4	7	8	7
R23	5	8	5	8	8



Şiddet Değeri İçin Uzmanların Görüşleri

Riskler	Uzman #1	Uzman #2	Uzman #3	Uzman #4	Uzman #5
R1	9	6	6	7	8
R2	8	9	10	9	10
R3	7	10	10	9	8
R4	9	6	6	5	6
R5	4	7	7	4	7
R6	8	7	6	4	6
R7	3	7	7	4	3
R8	10	9	7	9	8
R9	9	10	10	8	9
R10	7	6	4	4	7
R11	5	8	8	6	6
R12	6	5	5	9	7
R13	6	9	10	10	9
R14	7	10	9	9	10
R15	3	7	6	7	7
R16	7	7	8	6	8
R17	7	7	8	6	7
R18	5	8	7	8	7
R19	10	8	8	8	10

R20	6	2	6	6	2
R21	8	8	9	9	8
R22	8	4	7	8	8
R23	7	7	8	8	7



Saptanabilirlik Değeri İçin Uzmanların Görüşleri

Riskler	Uzman #1	Uzman #2	Uzman #3	Uzman #4	Uzman #5
R1	7	7	7	6	8
R2	7	9	9	9	7
R3	8	9	5	9	5
R4	2	2	1	2	4
R5	5	6	8	6	5
R6	4	2	6	3	6
R7	3	4	3	6	4
R8	8	10	10	9	10
R9	9	8	8	9	9
R10	1	5	4	3	3
R11	3	4	3	2	4
R12	5	5	1	5	2
R13	5	3	5	5	4
R14	5	6	5	7	7
R15	1	3	1	3	3
R16	6	5	5	7	3
R17	8	7	6	7	6
R18	4	1	2	1	4
R19	5	6	8	5	8

R20	1	3	1	4	2
R21	8	6	6	7	6
R22	6	7	5	5	6
R23	6	10	7	7	9



D

Çıktı Kuralları

<u>O</u>	<u>S</u>	<u>D</u>	<u>Ağırlıklar</u>			<u>Ort.</u>	<u>Bulanık Çıktı</u>
Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	0,667	0,667	0,667	0,667	Hiç
Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	Düşük	0,667	0,667	2,500	1,278	Hiç
Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	Orta	0,667	0,667	5,000	2,111	Çok Düşük
Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	Yüksek	0,667	0,667	7,500	2,944	Düşük
Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	0,667	0,667	9,333	3,556	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Düşük	Neredeyse Hiç	0,667	2,500	0,667	1,278	Hiç
Neredeyse Hiç	Düşük	Düşük	0,667	2,500	2,500	1,889	Çok Düşük
Neredeyse Hiç	Düşük	Orta	0,667	2,500	5,000	2,722	Düşük
Neredeyse Hiç	Düşük	Yüksek	0,667	2,500	7,500	3,556	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Düşük	Çok Yüksek	0,667	2,500	9,333	4,167	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Orta	Neredeyse Hiç	0,667	5,000	0,667	2,111	Çok Düşük
Neredeyse Hiç	Orta	Düşük	0,667	5,000	2,500	2,722	Düşük

Neredeyse Hiç	Orta	Orta	0,667	5,000	5,000	3,556	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Orta	Yüksek	0,667	5,000	7,500	4,389	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Orta	Çok Yüksek	0,667	5,000	9,333	5,000	Düşük Orta
Neredeyse Hiç	Yüksek	Neredeyse Hiç	0,667	7,500	0,667	2,944	Düşük
Neredeyse Hiç	Yüksek	Düşük	0,667	7,500	2,500	3,556	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Yüksek	Orta	0,667	7,500	5,000	4,389	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Yüksek	Yüksek	0,667	7,500	7,500	5,222	Düşük Orta
Neredeyse Hiç	Yüksek	Çok Yüksek	0,667	7,500	9,333	5,833	Orta
Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	0,667	9,333	0,667	3,556	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	Düşük	0,667	9,333	2,500	4,167	Yüksek Düşük
Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	Orta	0,667	9,333	5,000	5,000	Düşük Orta
Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	Yüksek	0,667	9,333	7,500	5,833	Orta
Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	Çok Yüksek	0,667	9,333	9,333	6,444	Orta
Düşük	Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	2,500	0,667	0,667	1,278	Hiç
Düşük	Neredeyse Hiç	Düşük	2,500	0,667	2,500	1,889	Çok Düşük

Düşük	Neredeyse Hiç	Orta	2,500	0,667	5,000	2,722	Düşük
Düşük	Neredeyse Hiç	Yüksek	2,500	0,667	7,500	3,556	Yüksek Düşük
Düşük	Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	2,500	0,667	9,333	4,167	Yüksek Düşük
Düşük	Düşük	Neredeyse Hiç	2,500	2,500	0,667	1,889	Çok Düşük
Düşük	Düşük	Düşük	2,500	2,500	2,500	2,500	Çok Düşük
Düşük	Düşük	Orta	2,500	2,500	5,000	3,333	Düşük
Düşük	Düşük	Yüksek	2,500	2,500	7,500	4,167	Yüksek Düşük
Düşük	Düşük	Çok Yüksek	2,500	2,500	9,333	4,778	Düşük Orta
Düşük	Orta	Neredeyse Hiç	2,500	5,000	0,667	2,722	Düşük
Düşük	Orta	Düşük	2,500	5,000	2,500	3,333	Düşük
Düşük	Orta	Orta	2,500	5,000	5,000	4,167	Yüksek Düşük
Düşük	Orta	Yüksek	2,500	5,000	7,500	5,000	Düşük Orta
Düşük	Orta	Çok Yüksek	2,500	5,000	9,333	5,611	Orta
Düşük	Yüksek	Neredeyse Hiç	2,500	7,500	0,667	3,556	Yüksek Düşük
Düşük	Yüksek	Düşük	2,500	7,500	2,500	4,167	Yüksek Düşük
Düşük	Yüksek	Orta	2,500	7,500	5,000	5,000	Düşük Orta
Düşük	Yüksek	Yüksek	2,500	7,500	7,500	5,833	Orta
Düşük	Yüksek	Çok Yüksek	2,500	7,500	9,333	6,444	Orta
Düşük	Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	2,500	9,333	0,667	4,167	Yüksek Düşük

Düşük	Çok Yüksek	Düşük	2,500	9,333	2,500	4,778	Düşük Orta
Düşük	Çok Yüksek	Orta	2,500	9,333	5,000	5,611	Orta
Düşük	Çok Yüksek	Yüksek	2,500	9,333	7,500	6,444	Orta
Düşük	Çok Yüksek	Çok Yüksek	2,500	9,333	9,333	7,056	Yüksek Orta
Orta	Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	5,000	0,667	0,667	2,111	Çok Düşük
Orta	Neredeyse Hiç	Düşük	5,000	0,667	2,500	2,722	Düşük
Orta	Neredeyse Hiç	Orta	5,000	0,667	5,000	3,556	Yüksek Düşük
Orta	Neredeyse Hiç	Yüksek	5,000	0,667	7,500	4,389	Yüksek Düşük
Orta	Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	5,000	0,667	9,333	5,000	Düşük Orta
Orta	Düşük	Neredeyse Hiç	5,000	2,500	0,667	2,722	Düşük
Orta	Düşük	Düşük	5,000	2,500	2,500	3,333	Düşük
Orta	Düşük	Orta	5,000	2,500	5,000	4,167	Yüksek Düşük
Orta	Düşük	Yüksek	5,000	2,500	7,500	5,000	Düşük Orta
Orta	Düşük	Çok Yüksek	5,000	2,500	9,333	5,611	Orta
Orta	Orta	Neredeyse Hiç	5,000	5,000	0,667	3,556	Yüksek Düşük
Orta	Orta	Düşük	5,000	5,000	2,500	4,167	Yüksek Düşük
Orta	Orta	Orta	5,000	5,000	5,000	5,000	Düşük Orta
Orta	Orta	Yüksek	5,000	5,000	7,500	5,833	Orta
Orta	Orta	Çok Yüksek	5,000	5,000	9,333	6,444	Orta
Orta	Yüksek	Neredeyse Hiç	5,000	7,500	0,667	4,389	Yüksek Düşük

Orta	Yüksek	Düşük	5,000	7,500	2,500	5,000	Düşük Orta
Orta	Yüksek	Orta	5,000	7,500	5,000	5,833	Orta
Orta	Yüksek	Yüksek	5,000	7,500	7,500	6,667	Orta
Orta	Yüksek	Çok Yüksek	5,000	7,500	9,333	7,278	Yüksek Orta
Orta	Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	5,000	9,333	0,667	5,000	Düşük Orta
Orta	Çok Yüksek	Düşük	5,000	9,333	2,500	5,611	Orta
Orta	Çok Yüksek	Orta	5,000	9,333	5,000	6,444	Orta
Orta	Çok Yüksek	Yüksek	5,000	9,333	7,500	7,278	Yüksek Orta
Orta	Çok Yüksek	Çok Yüksek	5,000	9,333	9,333	7,889	Düşük Yüksek
Yüksek	Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	7,500	0,667	0,667	2,944	Düşük
Yüksek	Neredeyse Hiç	Düşük	7,500	0,667	2,500	3,556	Yüksek Düşük
Yüksek	Neredeyse Hiç	Orta	7,500	0,667	5,000	4,389	Yüksek Düşük
Yüksek	Neredeyse Hiç	Yüksek	7,500	0,667	7,500	5,222	Düşük Orta
Yüksek	Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	7,500	0,667	9,333	5,833	Orta
Yüksek	Düşük	Neredeyse Hiç	7,500	2,500	0,667	3,556	Yüksek Düşük
Yüksek	Düşük	Düşük	7,500	2,500	2,500	4,167	Yüksek Düşük
Yüksek	Düşük	Orta	7,500	2,500	5,000	5,000	Düşük Orta
Yüksek	Düşük	Yüksek	7,500	2,500	7,500	5,833	Orta
Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	7,500	2,500	9,333	6,444	Orta
Yüksek	Orta	Neredeyse Hiç	7,500	5,000	0,667	4,389	Yüksek Düşük

Yüksek	Orta	Düşük	7,500	5,000	2,500	5,000	Düşük Orta
Yüksek	Orta	Orta	7,500	5,000	5,000	5,833	Orta
Yüksek	Orta	Yüksek	7,500	5,000	7,500	6,667	Orta
Yüksek	Orta	Çok Yüksek	7,500	5,000	9,333	7,278	Yüksek Orta
Yüksek	Yüksek	Neredeyse Hiç	7,500	7,500	0,667	5,222	Düşük Orta
Yüksek	Yüksek	Düşük	7,500	7,500	2,500	5,833	Orta
Yüksek	Yüksek	Orta	7,500	7,500	5,000	6,667	Orta
Yüksek	Yüksek	Yüksek	7,500	7,500	7,500	7,500	Düşük Yüksek
Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	7,500	7,500	9,333	8,111	Düşük Yüksek
Yüksek	Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	7,500	9,333	0,667	5,833	Orta
Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	7,500	9,333	2,500	6,444	Orta
Yüksek	Çok Yüksek	Orta	7,500	9,333	5,000	7,278	Yüksek Orta
Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	7,500	9,333	7,500	8,111	Düşük Yüksek
Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	7,500	9,333	9,333	8,722	Yüksek
Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	Neredeyse Hiç	9,333	0,667	0,667	3,556	Yüksek Düşük
Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	Düşük	9,333	0,667	2,500	4,167	Yüksek Düşük
Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	Orta	9,333	0,667	5,000	5,000	Düşük Orta
Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	Yüksek	9,333	0,667	7,500	5,833	Orta
Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	Çok Yüksek	9,333	0,667	9,333	6,444	Orta
Çok Yüksek	Düşük	Neredeyse Hiç	9,333	2,500	0,667	4,167	Yüksek Düşük

Çok Yüksek	Düşük	Düşük	9,333	2,500	2,500	4,778	Düşük Orta
Çok Yüksek	Düşük	Orta	9,333	2,500	5,000	5,611	Orta
Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	9,333	2,500	7,500	6,444	Orta
Çok Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	9,333	2,500	9,333	7,056	Yüksek Orta
Çok Yüksek	Orta	Neredeyse Hiç	9,333	5,000	0,667	5,000	Düşük Orta
Çok Yüksek	Orta	Düşük	9,333	5,000	2,500	5,611	Orta
Çok Yüksek	Orta	Orta	9,333	5,000	5,000	6,444	Orta
Çok Yüksek	Orta	Yüksek	9,333	5,000	7,500	7,278	Yüksek Orta
Çok Yüksek	Orta	Çok Yüksek	9,333	5,000	9,333	7,889	Düşük Yüksek
Çok Yüksek	Yüksek	Neredeyse Hiç	9,333	7,500	0,667	5,833	Orta
Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	9,333	7,500	2,500	6,444	Orta
Çok Yüksek	Yüksek	Orta	9,333	7,500	5,000	7,278	Yüksek Orta
Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek	9,333	7,500	7,500	8,111	Düşük Yüksek
Çok Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	9,333	7,500	9,333	8,722	Yüksek
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Neredeyse Hiç	9,333	9,333	0,667	6,444	Orta
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	9,333	9,333	2,500	7,056	Yüksek Orta
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta	9,333	9,333	5,000	7,889	Düşük Yüksek
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek	9,333	9,333	7,500	8,722	Yüksek
Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	9,333	9,333	9,333	9,333	Çok Yüksek

- [1] M. Kumru ve P. Y. Kumru, "Fuzzy FMEA Application to Improve Purchasing Process in a Public Hospital", *Applied Soft Computing*, cilt 13, p. 721-733, 2013.
- [2] S. J. Rhee ve K. Ishii, "Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability", *J. Adv. Eng. Inf.*, cilt 17, pp. 179-188, 2003.
- [3] P. T. Chuang, "Combining service blueprint and FMEA for service design", *Serv. Ind. J.*, cilt 27, p. 91-104, 2007.
- [4] D. H. Stamatis, "Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution", *ASQC Quality Press*, 2003.
- [5] M. Braglia, "MAFMA: multi-attribute failure mode analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, cilt 17, p. 1017-1033, 2000.
- [6] A. Pillay ve J. Wang, "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", *Reliability and System Safety*, cilt 79, p. 69-85, 2003.
- [7] K. H. Chang, "Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN methodology", *Microelectronics Reliability*, cilt 49, p. 1586-1596, 2009.
- [8] S. Narayanagounder ve K. Gurusami, "A new approach for prioritization of failure modes in design FMEA using ANOVA", *Proceedings of world academy of Sci. Eng. Techn.*, 2009.
- [9] J. Puente, R. Pino, P. Priore ve D. de la Fuente, "A decision support system for applying failure mode and effects analysis", *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, cilt 19, pp. 137-150, 2002.
- [10] D. Besterfield, C. M. Besterfield, G. H. Besterfield ve M. S. Besterfield, *Total Quality Management*, New Jersey: Pearson Education, 2003, p. 377-405.
- [11] K. H. Chang ve C. H. Cheng, "A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA", *International Journal of Systems Science*, cilt 41, no. 12, p. 1457-1471, 2010.
- [12] J. B. Bowles ve C. E. Pelaez, "Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis", *Reliability Engineering and System Safety*, cilt 50, p. 203-213, 1995.
- [13] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Information and Control*, cilt 8, no. 3, p. 338-353,

1965.

- [14] R. Babuska, "Fuzzy Systems", *Modeling and Identification*, 2012.
- [15] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic Systems", *IEEE Transactions on Computers*, cilt 26, no. 12, p. 1182–1191, 1977.
- [16] J. M. Mendel, "Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial", *Proceedings of the IEEE*, cilt 83, no. 3, p. 345–377, 1995.
- [17] H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory–and its Applications*, Norwell, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [18] K. M. Tay ve C. P. Lim, "Application of fuzzy inference techniques to FMEA", *Advances in Intelligent and Soft Computing*, cilt 34, p. 161–171, 2006.
- [19] J. L. Deng, "Control problems of grey systems", *Systems and Control Letters*, pp. 288-94, 1982.
- [20] Y. F. Wang, "Predicting stock price using fuzzy grey prediction system", *Expert Systems with Applications*, cilt 22, pp. 33-39, 2002.
- [21] K. Y. Huang ve C. J. Jane, "A hybrid model for stock market forecasting and portfolio selection based on ARX, grey system and RS theories", *Expert Systems with Applications*, cilt 36, p. 5387–5392, 2009.
- [22] B. R. Chang ve H. F. Tsai, "Forecast approach using neural network adaptation to support vector regression grey model and generalized auto-regressive conditional heteroscedasticity", *Expert Systems with Applications*, cilt 34, p. 925–934, 2008.
- [23] J. L. Salmeron, "Modelling grey uncertainty with Fuzzy Grey Cognitive Maps", *Expert Systems with Applications*, cilt 37, p. 7581–7588, 2010.
- [24] J. L. Deng, "Introduction to grey system theory", *The Journal of Grey System*, cilt 1, pp. 1-24, 1989.
- [25] R. E. Bellman ve L. A. Zadeh, "Decision-making in a fuzzy environment", *Management Science*, cilt 17, no. 4, p. 141–164, 1970.
- [26] G. Li, D. Yamaguchia ve M. Nagaib, "A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem", *Mathematical and Computer Modelling*, cilt 46, no. 3-4, p. 573–581, 2007.
- [27] S. Liu ve Y. Lin, "Grey information", *Springer*, 2006.
- [28] D. Yamaguchi, G. Li, L. Chen ve M. Nagai, "Reviewing crisp, fuzzy, grey and

- rough mathematical models”, %1 içinde *In Proceedings of the IEEE international conference on grey systems and intelligent services*, 2007.
- [29] S. X. Wu, M. Q. Li, L. P. Cail ve S. F. Liu, “A comparative study of some uncertain information theories”, %1 içinde *In Proceedings of the international conference on control and automation*, 2005.
- [30] E. C. Tolman, “Cognitive maps in rats and men”, *Psychological Review*, cilt 55, p. 189–208, 1948.
- [31] K. C. Lee, J. S. Kim, N. H. Chung ve S. J. Kwon, “Fuzzy cognitive map approach to web-mining inference amplification”, *Expert Systems with Applications*, cilt 22, p. 197–211, 2002.
- [32] R. Axelrod, *Structure of decision: The cognitive maps of political elites*, Princeton: Princeton University Press, 1976.
- [33] O. Feyzioglu, G. Buyukozkan ve M. S. Ersoy, “Supply chain risk analysis with fuzzy cognitive maps”, %1 içinde *In CD Proceeding of the IEEE international conference on industrial engineering and engineering management*, Singapore, 2007.
- [34] S. Bueno ve J. L. Salmeron, “Fuzzy modeling enterprise resource planning tool selection”, *Computer Standards and Interfaces*, cilt 30, p. 137–147, 2008.
- [35] L. Rodriguez-Repiso, R. Setchi ve J. L. Salmeron, “Modelling IT projects success with fuzzy cognitive maps”, *Expert Systems with Applications*, cilt 32, p. 543–559, 2007.
- [36] L. Rodriguez-Repiso, R. Setchi ve J. Salmeron, “Modelling IT projects success: emerging methodologies reviewed”, *Technovation*, cilt 27, no. 10, p. 582–594, 2007.
- [37] B. Kosko, “Fuzzy cognitive maps”, *International Journal of Man–Machine Studies*, cilt 24, pp. 65–75, 1986.
- [38] B. Kosko, “Neural networks and fuzzy systems”, *Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall*, 1992.
- [39] G. Xirogiannis ve M. Glykas, “Intelligent modeling of e-business maturity”, *Expert Systems with Applications*, cilt 32, p. 687–702, 2007.
- [40] E. I. Papageorgiou, “A new methodology for decisions in medical informatics using fuzzy cognitive maps based on fuzzy rule-extraction techniques”, *Applied Soft Computing*, cilt 11, p. 500–513, 2011.
- [41] S. Bueno ve J. L. Salmeron, “Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps”, *Expert Systems with Applications*, cilt 36, p. 5221–5229, 2009.

- [42] D. Grant ve K. Osei-Bryson, "Using fuzzy cognitive maps to assess MIS organizational change impact", %1 içinde *38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2005.
- [43] D. Yaman ve S. Polat, "A fuzzy cognitive map approach for effect-based operations: an illustrative case", *Information Sciences*, cilt 179, p. 382–403, 2009.
- [44] F. Chao ve M. Franck, "A simulation-based risk network model for decision support in project", *Decision Support Systems*, p. 635–644, 2012.
- [45] R. V. Wyk, P. Bowen ve A. Akintoye, "Project risk management practice: The case of a South African utility company", *International Journal of Project Management*, cilt 26, p. 149–163, 2008.
- [46] S. M. Neves, C. E. Silva, V. A. Salomon, A. F. Silva ve B. E. Sotomonte, "Risk management in software projects through Knowledge Management techniques: Cases in Brazilian Incubated Technology-Based Firms", *International Journal of Project Management*, 2013.
- [47] Y. M. Wang, K. S. Chin, G. K. Poon ve J. B. Yang, "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean", *Expert Systems with Applications*, cilt 36, p. 1195–1207, 2009.
- [48] G. Büyükoçkan ve Z. Vardaloğlu, "Analyzing of CPFR success factors using fuzzy cognitive maps in retail industry", *Expert Systems with Applications*, cilt 39, pp. 10438-10455, 2012.
- [49] P. Bannerman, "Risk and risk management in software projects: a reassessment", *Journal of Systems and Software*, cilt 81, no. 12, p. 2118–2133, 2008.
- [50] K. Bakker, A. Boonstra ve H. Wortmann, "Risk managements' communicative effects influencing IT project success", *International Journal of Project Management*, cilt 30, pp. 444-457, 2012.
- [51] K. Bakker, A. Boonstra ve H. Wortmann, "Does risk management contribute to IT project success? A meta-analysis of empirical evidence", *International Journal of Project Management*, cilt 28, p. 493–503, 2010.
- [52] H. Asher, *Causal Modeling 2*, Beverly Hills: Sage, 1983.
- [53] S. Alhawari, L. Karadsheh, A. N. Talet ve E. Mansour, "Knowledge-Based Risk Management framework for Information Technology project", *International Journal of Information Management*, cilt 32, pp. 50-65, 2012.
- [54] R. Charette, "Why software fails", *IEEE Spectrum*, cilt 42, no. 9, pp. 42-49,

2005.

- [55] K. Gotoh ve T. Yamaguchi, "Fuzzy Associative Memory Application to a Plant Modeling", %1 içinde *Proceedings of 1991 International Conference on Artificial Neural Networks*, Espoo, Finland, 1991.
- [56] K. Gotoh, J. Murakami, T. Yamaguchi ve Y. Yamanaka, "Application of Fuzzy Cognitive Maps to supporting for Plant Control", %1 içinde *Proceedings of SICE Joint Symposium of 15th Syst. Symp. and 10th Knowledge Engineering Symposium*, Sapporo, Japan, 1989.
- [57] N. Gil ve B. S. Tether, "Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity", *Research Policy*, cilt 40, p. 415–428, 2011.
- [58] V. C. Georgopoulos, G. A. Malandraki ve C. D. Stylios, "A fuzzy cognitive map approach to differential diagnosis of specific language impairment", *Artificial Intelligence in Medicine*, cilt 29, p. 261–278, 2003.
- [59] C. Eden ve F. Ackermann, "Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems", *European Journal of Operational Research*, cilt 15, no. 3, p. 673–686, 2004.
- [60] J. A. Dickerson ve B. Kosko, "Fuzzy Virtual Worlds", *AI Expert*, pp. 25-31, 1994.
- [61] A. Konar ve U. K. Chakraborty, "Reasoning and unsupervised learning in a fuzzy cognitive map", *Information Sciences*, cilt 170, p. 419–441, 2005.
- [62] G. J. Klir ve B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, NY: Prentice Hall, 1995.
- [63] H. S. Kim ve K. C. Lee, "Fuzzy implications of fuzzy cognitive map with emphasis on fuzzy causal relationship and fuzzy partially causal relationship", *Fuzzy Sets and Systems*, cilt 97, p. 303–313, 1998.
- [64] D. Kardaras ve B. Karakostas, "The use of fuzzy cognitive maps to simulate the information systems strategic planning process", *Information and Software Technology*, cilt 41, p. 197–210, 1999.
- [65] I. Kang, S. Lee ve J. Choi, "Using fuzzy cognitive map for the relationship management in airline service", *Expert Systems with Applications*, cilt 26, p. 545–555, 2004.
- [66] L. Jun, W. Quizhen ve M. Qingguo, "The effects of project uncertainty and risk management on IS development project performance: A vendor perspective", *International Journal of Project Management*, cilt 29, p. 923–933, 2011.
- [67] B. J. Juliano, "Fuzzy Cognitive Structures for Automating Human Problem

- Solving Skills Diagnosis”, *Proceedings of the 9th Annual NAFIPS Conference*, 1990.
- [68] S. Lee ve H. Ahn, “Fuzzy cognitive map based on structural equation modeling for the design of controls in business-to-consumer e-commerce web-based systems”, *Expert Systems with Applications*, cilt 36, p. 10447–10460, 2009.
 - [69] E. Lee, Y. Park ve J. G. Shin, “Large engineering project risk management using a Bayesian belief network”, *Expert Systems with Applications*, cilt 36, p. 5880–5887, 2009.
 - [70] C. Lopez ve J. L. Salmeron, “Dynamic risks modelling in ERP maintenance projects with FCM”, 2012.
 - [71] C. Lopez ve J. L. Salmeron, “Dynamic risks modelling in ERP maintenance projects with FCM”, 2012.
 - [72] C. Lopez ve J. L. Salmeron, “Dynamic risks modelling in ERP maintenance projects with FCM”, 2012.
 - [73] C. E. Pelaez ve J. B. Bowles, “Using Fuzzy Cognitive Maps as a system model for failure models and effects analysis”, *Information Sciences*, cilt 88, p. 177–199, 1996.
 - [74] C. E. Pelaez ve J. B. Bowles, “Applying Fuzzy Cognitive-Maps Knowledge—Representation to Failure Modes Effects Analysis”, %1 içinde *Proceedings of IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Washington, DC, 1995.
 - [75] E. I. Papageorgiou, C. D. Stylios ve P. P. Groumpos, “Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps”, *International Journal of Approximate Reasoning*, p. 219–249, 2004.
 - [76] E. I. Papageorgiou, P. P. Spyridonos, C. D. Stylios, P. Ravazoula, P. P. Groumpos ve G. N. Nikiforidis, “Advanced soft computing diagnosis method for tumour grading”, *Artificial Intelligence in Medicine*, cilt 36, pp. 59-70, 2006.
 - [77] J. Pinto, “Project Management, Achieving Competitive Advantage”, *Pearson–Prentice Hall, Upper Saddle River*, 2007.
 - [78] V. Rai ve D. Kim, “Principal–agent problem: a cognitive map approach”, *Electronic Commerce Research and Applications*, cilt 1, p. 174–192, 2002.
 - [79] S. Simister, “Qualitative and quantitative risk management”, *The Wiley Guide to Managing Projects*, pp. 30-47, 2004.
 - [80] J. Wang, W. Lin ve Y. H. Huang, “A performance-oriented risk management framework for innovative R*D projects”, *Technovation*, cilt 30, p. 601–611, 2010.

- [81] J. R. Turner ve R. A. Cochrane, "Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them", *International Journal of Project Management*, cilt 11, no. 2, pp. 93-102, 1993.
- [82] A. Tsadiras, K. Margaritis ve B. Mertzios, "Strategic planning using extended Fuzzy Cognitive Maps", *Studies in Informatics and Control*, cilt 4, no. 3, p. 237–245, 1995.
- [83] C. D. Stylios, V. C. Georgopoulos ve P. P. Groumpos, "The Use of Fuzzy Cognitive Maps in Modeling Systems", %1 içinde *Proceeding of 5th IEEE Mediterranean Conference on Control and Systems*, Paphos, Cyprus, 1997.
- [84] C. D. Stylios ve P. P. Groumpos, "The challenge of modeling supervisory systems using Fuzzy Cognitive Maps", *Journal of Intelligent Manufacturing*, cilt 9, 1998.
- [85] S. Ward ve C. Chapman, "Making risk management more effective", *The Wiley Guide to Managing Projects*, p. 852–875, 2004.
- [86] W. Zhang ve S. S. Chen, "A logical Architecture for Cognitive Maps", %1 içinde *Proceedings 2nd IEEE International Conference on Neural Networks*, San Diego, CA, 1988.
- [87] W. Zhang, S. S. Chen ve J. C. Besdek, "a generic system for cognitive map development and decision analysis", *IEEE Transactions on Systems*, cilt 19, no. 1, p. 31–39, 1989.
- [88] W. Zhang, S. S. Chen, W. Wang ve R. S. King, "A Cognitive-Map-based approach to the co-ordination of distributed cooperative agents", *IEEE Transactions on Systems*, cilt 22, no. 1, p. 103–114, 1992.

İletişim Bilgisi: barbaros.erbay@gmail.com

Makaleler

1. B. Erbay, C. Özkan, “Fuzzy FMEA Application Combined with Fuzzy Cognitive Maps to Manage the Risks of a Software Project”, *European Journal of Engineering and Formal Sciences*, cilt 2, no. 2, p. 6–21, 2018.

