



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE RİSK BİLEŞENLERİNİN ETKİ ANALİZİ
İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ**

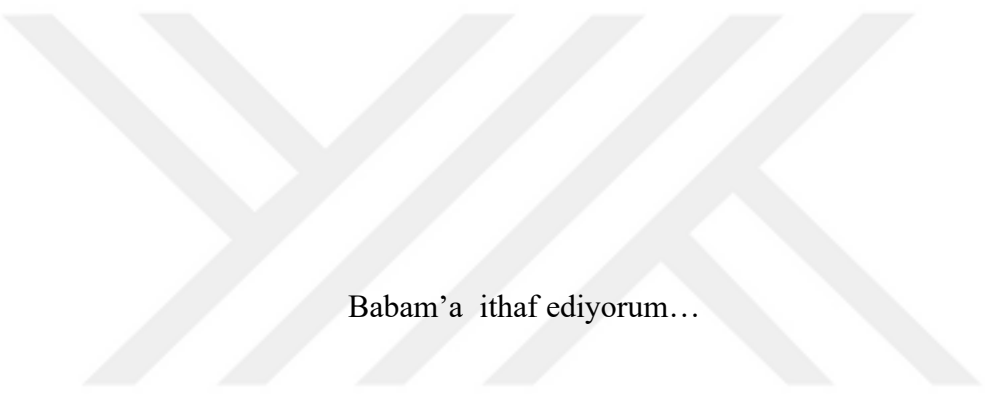
Hasibe Berfu ÖZTÜRK

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Şule ÖNSEL EKİCİ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği, Doktora Programı

Eylül, 2024



Babam'a ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE RİSK BİLEŞENİNİN ETKİSİNİN ANALİZİ: BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu süreçte tüm bilgi ve birikimini büyük bir sabır ile aktaran, bu zorlu yolda tüm içtenliği ile desteğini üzerimden eksik etmeyen, kendisini her daim örnek aldığım, bu hayattaki en büyük şanslarımdan biri olan çok değerli danışman hocam Sayın Prof.Dr.Şule ÖNSEL EKİCİ'ye, tez izleme komitemde yer alan, bilgi ve deneyimlerinden her daim yararlandığım hocalarım Sayın Doç.Dr.Fatih TÜYSÜZ'e ve Sayın Prof.Dr.Yusuf İlker TOPCU'ya, bilgisini ve değerli vaktini her daim benimle paylaşan Sayın Prof.Dr.Cengiz KAHRAMAN'a, her zaman yanımda olan ve bilgisini esirgemeyen Sayın Dr.Öğr.Üyesi Selin YALÇIN'a, anlayışından dolayı eşim Taygun Okay ÖZTÜRK'e, tezimin yazım aşamasında yanımdan ayrılmayan kedim Latte'ye, her anımda yanımda olan canım kardeşim Gizem HAVUZ'a ve hayatım boyunca maddi-manevi her daim yanımda olan, her kararında beni yüreklendiren, bana matematiği çok sevdiren, hayatını eğitim-öğretime adanmış emekli matematik öğretmeni biricik babam Sırrı DEMİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Eylül 2024

Hasibe Berfu ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. TEZİN AMACI	1
1.2. ORJİNAL KATKI.....	2
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. TEDARİK ZİNCİRİ	3
2.2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....	4
2.3. RİSK KAVRAMI	5
2.4. TEDARİK ZİNCİRİ RİSK YÖNETİMİ.....	9
2.5. LİTERATÜR ÖZETİ.....	11
2.5.1. Tedarik Zinciri Risk Yönetimi Literatür Taraması.....	13
2.5.2. Bulanık Bilişsel Haritalar Literatür Taraması.....	16
2.5.3. Bayes Ağı Literatür Taraması	17
2.5.4. Bulanık Bilişsel Haritalar ve Bayes Ağlarının Etkileşimli Kullanımını İçeren Öncü Çalışmalar	18
3. YÖNTEM.....	22
3.1. BİLİŞSEL HARİTALAR	22
3.2. BULANIK MANTIK.....	24
3.2.1. Bulanık Mantığın Tanımı.....	24
3.2.2. Bulanık Kümeler	26
3.2.3. Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonlar.....	27
3.2.3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu	27
3.2.3.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu	28
3.2.3.3. Çan Eğrisi (Gauss) Üyelik Fonksiyonu.....	28
3.2.3.4. Genelleştirilmiş, Çan Üyelik Fonksiyon	28

3.2.3.5. Sigmoid Üyelik Fonksiyonu.....	29
3.2.4. Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyon Özellikleri.....	29
3.2.5. Bulanık Kümelerde Durulaştırma.....	29
3.2.5.1. En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemi.....	30
3.2.5.2. Sentroid Yöntemi (Ağırlık Merkezi Yöntemi)	31
3.2.5.3. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi	31
3.2.5.4. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi	32
3.3. BULANIK KÜME UZANTILARI	33
3.3.1. Bulanık Küme Uzantılarının Tarihçesi.....	33
3.3.2. Sezgisel Bulanık Küme.....	35
3.3.3. Kararsız Bulanık Küme.....	36
3.3.4. Tip-2 Bulanık Küme	36
3.3.5. Aralık Değerli Bulanık Kümeler.....	37
3.4. BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAR	37
3.5. BAYES YAKLAŞIMI VE BAYES AĞLARI	39
3.5.1. Bayes Teoremi	39
3.5.2. Bayes Ağı	40
3.5.3. Bayes Ağlarının Avantajları ve Sınırlamaları	42
3.6. KOŞULLU OLASILIKLARIN ÇIKARIMI	43
3.6.1. Olabilirlikten Olasılığa Geçiş (Possibility to Probability).....	43
3.6.2. Durum Olasılık Tablolarının Oluşturulması.....	46
4. BULGULAR	48
4.1. DOKÜMAN KODLAMA İLE DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ	48
4.2. BULANIK ÜYELİK FONKSİYONUNUN BELİRLENMESİ	52
4.3. BULANIK AĞIRLIKLİ ORTALAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI.....	53
4.4. SEZGİSEL BULANIK KÜME İLE BULANIK BİLİŞSEL HARİTANIN OLUŞTURULMASI.....	57
4.5. SENARYO ANALİZLERİ.....	61
4.5.1. Senaryo 1	62
4.5.2. Senaryo 2.....	63
4.5.3. Senaryo 3.....	64
4.6. OLASILIK YOĞUNLUK ÖRNEK TABLO OLUŞTURULMASI	64
4.7. TÜM DEĞİŞKENLER İÇİN DURUM OLASILIK TABLOLARININ OLUŞTURULMASI	69
4.8. BAYES AĞI VE MODELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	82
4.8.1. Model Sonuçlarının Yorumlanması.....	87
4.8.2. Duyarlılık Analizi.....	89
4.8.2.1. Duyarlılık Analizi ve Türev İlişkisi.....	93
4.8.3. Senaryoların Model Uygulaması	96
5. TARTIŞMA	108

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	118
EKLER	133
İNTİHAL RAPOR İLK SAYFASI	135
ETİK KURUL YAZISI.....	136
KURUM İZNİ YAZILARI	137
ÖZGEÇMİŞ	138



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Tedarik Zinciri Akış Şeması [1]; s.18	4
Şekil 2.2: Tedarik Zinciri Risk Yönetimi Yapısı [2]; s.54	10
Şekil 2.3: Tedarik Zinciri Risk Çalışmaları Sektör Dağılımı (2013-2023 Yılları Arası)	12
Şekil 2.4: Tedarik Zinciri Risk Çalışmalarına Ait Bulanık Küme Seçimi (2013-2023 Yılları Arası)	13
Şekil 3.1: Klasik ve Bulanık Kümenin Venn Şeması ve Grafik Olarak Gösterimi [3]; s.104	27
Şekil 3.2: Üyelik Fonksiyon Özellikleri [4]; s.85	30
Şekil 3.3: En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.95	30
Şekil 3.4: Sentroid Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.95	31
Şekil 3.5: Ağırlıklı Ortalama Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.96	32
Şekil 3.6: Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.99	33
Şekil 3.7: Bulanık Küme Uzantıları [5], [6]; s.19	34
Şekil 3.8: Bulanık Bilişsel Harita Örneği [7]; s.3	38
Şekil 3.9: Komşuluk Matrisi [7]; s.11	40
Şekil 3.10: Bayes Ağ Yapısı [8]; s.25	42
Şekil 3.11: Olasılık Dağılımı [9]; s.507	45
Şekil 4.1: Çalışmanın Akış Şeması	49
Şekil 4.2: FCM Expert Program Çıktısı	60
Şekil 4.3: BBH Ağ Diyagramı	62
Şekil 4.4: Senaryo 1 Sonuçları	64
Şekil 4.5: Senaryo 2 Sonuçları	64
Şekil 4.6: Senaryo 3 Sonuçları	65
Şekil 4.7: Bayes Ağı Düğümleri Örnek Gösterimi	83
Şekil 4.8: Örnek Olasılık Dağılımı	84
Şekil 4.9: Bayes Ağ Modelinin GeNIe Programında Oluşturulmuş Görseli	85

Şekil 4.10: Model Final Düğümü Duyarlılık Analizi	91
Şekil 4.11: Tedarik Zinciri Riskini Etkileyen Temel Değişkenler.....	92
Şekil 4.12: Tedarik Zinciri Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi	98
Şekil 4.13: Tedarik Zinciri Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi-Netica Uygulaması	100
Şekil 4.14: Operasyonel Risk Değişkeni Duyarlılık Analizi	101
Şekil 4.15: Tedarikçi Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi	102
Şekil 4.16: Dağıtım Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi.....	103
Şekil 4.17: Tedarik Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi	105
Şekil 4.18: Çevresel Risk Değişkeni Duyarlılık Analizi	106
Şekil 4.19: Ürün Risk Değişkeni Duyarlılık Analizi.....	107

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Risk Türleri ve Tedarikçi Belirleme Yöntemleri (2013-2023 Yılları Arası)	11
Tablo 2.2: Risk Türleri ve Tedarikçi Belirleme Yöntemleri (2013-2023 Yılları Arası)	12
Tablo 2.3: Bayes Ağı Literatür Taraması.....	18
Tablo 2.3: Bayes Ağı Literatür Taraması (Devamı)	19
Tablo 3.1: Doküman Kodlama Örnek Gösterimi.....	23
Tablo 4.1: Değişkenlerin Sınıflandırılması	51
Tablo 4.1: Değişkenlerin Sınıflandırılması (Devamı)	52
Tablo 4.2: Üçgensel Bulanık Sayılar	53
Tablo 4.3: Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayılar	53
Tablo 4.4: Uzman Görüşleri ile Bulanık Ağırlıklı Ortalama Hesabı	56
Tablo 4.4: Uzman Görüşleri ile Bulanık Ağırlıklı Ortalama Hesabı (Devamı).....	57
Tablo 4.4: Uzman Görüşleri ile Bulanık Ağırlıklı Ortalama Hesabı (Devamı)	58
Tablo 4.5: Giriş, Çıkış ve Merkeziyet Dereceleri	60
Tablo 4.6: Etkileşim Matrisi	61
Tablo 4.7: Denge Durumu için Senaryo Analiz Sonuçları	63
Tablo 4.8: C6-C7 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu	67
Tablo 4.9: C6-C3 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu	67
Tablo 4.10: C6-C4 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu	68
Tablo 4.11: C6-C5 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu	68
Tablo 4.12: C6-C3-C4-C5-C7 Değişkenleri için Nihai Durum Olasılık Tablosu	69
Tablo 4.13: Çalışan Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu	69
Tablo 4.14: Dağıtım Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu	69
Tablo 4.15: Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu	70
Tablo 4.16: Finansal Performans ve Arz Risk Olasılık Durum Tablosu	70
Tablo 4.17: Finansal Performans ve Tedarik Zinciri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu.....	70

Tablo 4.18: Finansal Performans Olasılık Durum Tablosu	70
Tablo 4.19: Tedarik Zinciri Entegrasyonu ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu	70
Tablo 4.20: Tedarikçi Entegrasyonu ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu	71
Tablo 4.21: Çevresel Riski ve Finansal Risk Olasılık Durum Tablosu	71
Tablo 4.22: Çevresel Risk ve Politik Risk Olasılık Durum Tablosu	71
Tablo 4.23: Çevresel Risk Olasılık Durum Tablosu	71
Tablo 4.24: Tedarik Riski ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu	71
Tablo 4.25: Tedarik Riski ve Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu	72
Tablo 4.26: Tedarik Riski ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu	72
Tablo 4.27: Tedarikçi Riski ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu	72
Tablo 4.28: Tedarik Riski Nihai Olasılık Durum Tablosu.....	72
Tablo 4.29: İnovasyon Performansı ve Tedarikçi Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu.....	72
Tablo 4.30: Müşteri Entegrasyonu ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu	72
Tablo 4.31: Envanter Riski ve Çevresel Riski Olasılık Durum Tablosu.....	73
Tablo 4.32: Envanter Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu	73
Tablo 4.33: Envanter Risk Olasılık Durum Tablosu	73
Tablo 4.34: Üretim Riski ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu	73
Tablo 4.35: Üretim Riski ve Üretim Esnekliği Olasılık Durum Tablosu.....	73
Tablo 4.36: Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu.....	74
Tablo 4.37: Ürün Riski ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu.....	74
Tablo 4.38: Ürün Riski ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu	74
Tablo 4.39: Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu	74
Tablo 4.40: Tedarik Zinciri Performansı ve Arz Riski Olasılık Durum Tablosu	74
Tablo 4.41: Tedarik Zinciri Performansı ve Bilgi Riski Olasılık Durum Tablosu.....	74
Tablo 4.42: Tedarik Zinciri Performansı ve Müşteri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu.....	75
Tablo 4.43: Tedarik Zinciri Performansı ve Tedarik Riski Olasılık Durum Tablosu	75
Tablo 4.44: Tedarik Zinciri Performansı Nihai Olasılık Durum Tablosu	75
Tablo 4.45: Tedarikçi Riski ve Finansal Risk Olasılık Durum Tablosu	75
Tablo 4.46: Tedarikçi Riski ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu.....	75
Tablo 4.47: Tedarikçi Risk ve Çevresel Riski Olasılık Durum Tablosu.....	76

Tablo 4.48: Tedarikçi Riski Nihai Olasılık Durum Tablosu	76
Tablo 4.49: Lojistik Performansı ve Tedarik Zinciri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu.....	76
Tablo 4.50: Lojistik Performansı ve Tedarik Riski Olasılık Durum Tablosu	76
Tablo 4.51: Lojistik Performansı ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu	76
Tablo 4.52: Lojistik Performansı Nihai Olasılık Durum Tablosu	77
Tablo 4.53: Organizasyonel Performans ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu	77
Tablo 4.54: Organizasyonel Performans ve İç Entegrasyon Olasılık Durum Tablosu	77
Tablo 4.55: Organizasyonel Performans ve Müşteri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu.....	77
Tablo 4.56: Organizasyonel Performans ve Tedarik Zinciri Riski Olasılık Durum Tablosu	77
Tablo 4.57: Organizasyonel Performans ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu	77
Tablo 4.58: Organizasyonel Performans Nihai Olasılık Durum Tablosu	78
Tablo 4.59: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Bilgi Riski Olasılık Durum Tablosu	78
Tablo 4.60: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Finansal Risk Olasılık Durum Tablosu.....	78
Tablo 4.61: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Strateji Riski Olasılık Durum Tablosu	78
Tablo 4.62: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Politik Risk Olasılık Durum Tablosu	78
Tablo 4.63: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu	79
Tablo 4.64: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu	79
Tablo 4.65: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu.....	79
Tablo 4.66: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu	79
Tablo 4.67: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı Nihai Olasılık Durum Tablosu.....	79
Tablo 4.68: Tedarik Zinciri Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu.....	80
Tablo 4.69: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu	80
Tablo 4.70: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarik Zinciri Belirsizliği Olasılık Durum Tablosu.....	80
Tablo 4.71: Tedarik Zinciri Riski ve Çevresel Risk Olasılık Durum Tablosu	80
Tablo 4.72: Tedarik Zinciri Riski ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu	80
Tablo 4.73: Tedarik Zinciri Riski ve Müşteri Performansı Olasılık Durum Tablosu	80
Tablo 4.74: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarik Riski Olasılık Durum Tablosu.....	81
Tablo 4.75: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarik Zinciri Yeniliği Olasılık Durum Tablosu	81
Tablo 4.76: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarikçi Performansı Olasılık Durum Tablosu.....	81
Tablo 4.77: Tedarik Zinciri Riski ve Müşteri Performansı Olasılık Durum Tablosu	81

Tablo 4.78: Tedarik Zinciri Riski ve Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu	81
Tablo 4.79: Tedarik Zinciri Riski Nihai Olasılık Durum Tablosu	81
Tablo 4.80: Bayes Ağı Ebeveyn ve Çocuk Düğümleri	83
Tablo 4.81: Mevcut Durumun İlk Olasılık Değerleri	86
Tablo 4.82: Etkili Düğümlerin Azalış Etkisi	93
Tablo 4.83: Senaryoların Duyarlılık Analiz Sabitleri	96
Tablo 4.84: Tedarik Zinciri Değişkeni Duyarlılık Analizi Varyans Azalım Sonucu.....	99



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

$\mu_A(x)$	: Bulanık Kümeye Üye Olma Derecesi
$\nu_A(x)$	: Bulanık Kümeye Üye Olmama Derecesi
$\pi_A(x)$	: Bulanık A Kümesinin Tereddüt Derecesi
$\rightarrow$	: İse
$\Sigma(x)$	: Toplama Sembolü

Kısaltmalar

Açıklama

<i>TZ</i>	: Tedarik Zinciri
<i>TZY</i>	: Tedarik Zinciri Yönetimi
<i>TZRY</i>	: Tedarik Zinciri Risk Yönetimi
<i>BBH</i>	: Bulanık Bilişsel Harita
<i>BA</i>	: Bayes Ağı
<i>TZE</i>	: Tedarik Zinciri Entegrasyonu
<i>YYM</i>	: Yorumlayıcı Yapısal Modelleme
<i>AHP</i>	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
<i>CPT</i>	: Koşullu Olasılık Tablosu
<i>DAG</i>	: Döngüsel Olmayan Grafik
<i>SCI</i>	: Tedarik Zinciri Entegrasyonu
<i>IFS</i>	: Sezgisel Bulanık Küme
<i>IoT</i>	: Nesnelerin İnterneti
<i>MALFCMS</i>	: Bulanık Bilişsel Harita ile Deniz Kazası Öğrenimi
<i>FMEA</i>	: Hata Modu ve Etkileri Analizi

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE RİSK BİLEŞENLERİNİN ETKİ ANALİZİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ

Hasibe Berfu ÖZTÜRK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Şule ÖNSEL EKİCİ

Küreselleşme, rekabet koşullarındaki artış, tedarik zinciri ortakları arasındaki ilişkilerin güçlenmesi, teknolojiye gelişmeler gibi çeşitli faktörler tedarik zincirlerinin giderek karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Bu durum, şirketleri olumsuz etkileyen artan belirsizlikler ve ortaya çıkan yeni riskler ile ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle, bu risklerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesi uzun vadede kârlı, rekabetçi ve sürdürülebilir bir tedarik zinciri kurmak için esastır. Tedarik zinciri risk yönetimi (TZRY), bu risklerin yönetimi için kritik bir araştırma ve uygulama alanıdır. Bu tez çalışmasının da öncelikli hedefi, tedarik zinciri risklerini öngörmeyi amaçlayan bir model oluşturmaktır. Bu bağlamda öncelikle tedarik zinciri risk yönetimine duyulan gerekliliğin ve bu alandaki ilerlemelerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Çalışmada, tedarik zinciri risk yönetimi (TZRY) konusundaki eğilimler, bütünsel bir bakış açısıyla ve Bulanık Bilişsel Haritalar ile Bayes Ağlarından yararlanılan bütünsel bir yöntem ile incelenmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde bayes ağları yaklaşımının, tedarik zinciri risk yönetimi modellemesi için kullanıldığı çalışmalar mevcuttur fakat bu tez çalışmasında doküman kodlama yöntemi ile birlikte tedarik zinciri yönetiminde risk bileşenleri etkisinin analizi için öncelikle Bulanık Bilişsel Haritalar yöntemi kullanılmıştır. Sonrasında ise bilişsel haritadan elde edilen bilgiler dönüştürülerek koşullu olasılık değerlerine odaklanan Bayes Ağı kurulmuş ve analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında önerilen bütünleşik model ile daha uygun bir çözüm hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçların iş uygulamalarına katkısıyla birlikte literatürdeki önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Eylül 2024, 160 sayfa.

Anahtar kelimeler: Tedarik Zinciri, Tedarik Zinciri Risk Yönetimi, Doküman Kodlama, Bulanık Bilişsel Harita, Bayes Ağı



SUMMARY

Ph.D. THESIS

AN INTEGRATED MODEL PROPOSAL FOR IMPACT ANALYSIS OF RISK COMPONENTS IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Hasibe Berfu ÖZTÜRK

İstanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Şule ÖNSEL EKİCİ

Globalization, increasing competition, strengthening relationships among supply chain partners, and advancements in technology are among the various factors causing supply chains to become increasingly complex. This situation is associated with increasing uncertainties and emerging new risks that negatively affect companies. Therefore, identifying, assessing, and managing these risks is essential to establishing a profitable, competitive, and sustainable supply chain in the long term. Supply chain risk management (SRM) is a critical area of research and practice for managing these risks. The primary goal of this thesis is to create a model that aims to predict supply chain risks. In this context, it is primarily aimed to reveal the need for supply chain risk management and the advances in this field. In the study, trends in supply chain risk management (SCRM) were examined using a hybrid method that employs a holistic perspective along with fuzzy cognitive maps and Bayesian networks. When similar studies in the literature are examined, there are studies in which the Bayesian network approach is used for supply chain risk management modeling. Still, in this thesis study, an integrated model has been established to analyze the effect of risk components in supply chain management together with the document coding method. When similar studies in the literature are examined, it is observed that there are studies using the Bayesian networks approach for supply chain risk management modeling. However, in this thesis, the fuzzy cognitive maps method was initially used to analyze the impact of risk components in supply chain management along with the document coding method. Subsequently, the information obtained from the cognitive map was transformed, and a Bayesian Network focusing on conditional probability values was established and analyzed.

A more suitable solution is aimed at the integrated model proposed within the scope of the study. The obtained results are thought to fill an important gap in the literature with their contribution to business applications.

September 2024, 160 pages.

Keywords: Supply Chain, Supply Chain Risk Management (SCRM), Document Coding, Intuitionistic Fuzzy Cognitive Map (iFCM), Bayesian Network



1. GİRİŞ

1.1. TEZİN AMACI

2019 yılında başlayan pandemi, tüm sektörler üzerinde doğrudan veya dolaylı bir etkiye sahip olmuştur. En çok etkilenen alanların başında ise tedarik zinciri gelmektedir. Dolayısıyla, tedarik zinciri ve ilgili konuların daha da önemli bir durum haline geldiği oldukça açıktır. Tedarik zincirine olan etkilerin bazıları geçicidir fakat yaşadığımız sosyal, ekonomik ve psikolojik ortam köklü değişiklikleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu değişikliklere hazırlıklı olup stratejik adımlar atmayı başarabilen firmalar varlıklarını uzun vadede sürdürme şansına sahiptir. Bu bakış açısından yola çıkılarak, bu tezin temelini tedarik zinciri risk yönetimi oluşturmaktadır. Literatürde tedarik zinciri risk yönetimi ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur fakat bu çalışmaların çoğu genel olarak; çok kriterli karar verme yöntemleri ile düşük riskli tedarikçi seçimi [10], tedarik zinciri risk yönetimi stratejilerinin istatistiksel yöntemler ile incelenmesi [11], risk kaynaklarının önceliklendirilmesi [12], risk faktörlerinin tanımlaması ve değerlendirilmesi [13], tedarik zinciri risk faktörleri ile performans kriterleri arasındaki ilişkilerin anlaşılması [14] ve risklerin tedarik zinciri üzerindeki etkilerin belirlenmesi [15] vb. şeklindedir. Bu nedenle bu çalışmada, tedarik zinciri risk yönetimi ile ilgili problemlere sistem yaklaşımı ile daha fazla odaklanılmış olup gerçek hayata daha uygun bir model kurabilmek için eksik görülen noktalar tespit edilerek, Bulanık Bilişsel Harita (BBH) ve Bayes Ağı (BA) ile birlikte bütünleşik bir model kurulmuştur. Bu amaçla, çalışmada hem uzman görüşlerinden hem de senaryo analizlerinden yararlanılmıştır. Bu bağlamda bu tezin, tedarik zincirlerinde yer alan risklerin belirlenmesi, değerlendirilmesi için çeşitli senaryo analizleri ile yol göstermesi hedeflenmiştir.

1.2. ORİJİNAL KATKI

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde Bayes Ağı yönteminin tedarik zinciri risk yönetimi alanında kullanıldığı çalışmalar mevcuttur ancak bu çalışmaların hemen hepsi şirket özelinde anket yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, özgün olarak veri oluşturma aşaması için doküman kodlama yöntemi kullanılmıştır. Bu aşama için öncelikle geniş kapsamda literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın kapsamı ile ilişkili olduğu belirlenen makale çalışmaları detaylı şekilde incelenmiştir. İnceleme aşamasında değişkenlerin aralarındaki ilişki ve bu ilişkinin yönü ayrı ayrı belirlenmiştir. Doküman kodlama yöntemi sonrasında ise uzman görüşleri alınmıştır. Diğer bir özgünlük ise; Bulanık Bilişsel Harita yardımıyla Bayes Ağının oluşturulmasıdır. Bulanık Bilişsel Haritadan elde edilen ağırlık değerleri Bayes ağının oluşturulmasında gerekli olan olasılık değerlerine dönüştürülmüştür. Böylece, tedarik zinciri yönetiminde risk bileşen etkisinin analizi için Bulanık Bilişsel Harita ve Bayes Ağından oluşan bütünlük bir model oluşturulmuştur. Tez kapsamında önerilen bütünlük model ile risk faktörlerinin daha da genişletilmesi ve tedarik zincirinin bütününe bakılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, bu tezin önemli bir akademik orijinallik sağlayacağına inanılmaktadır.

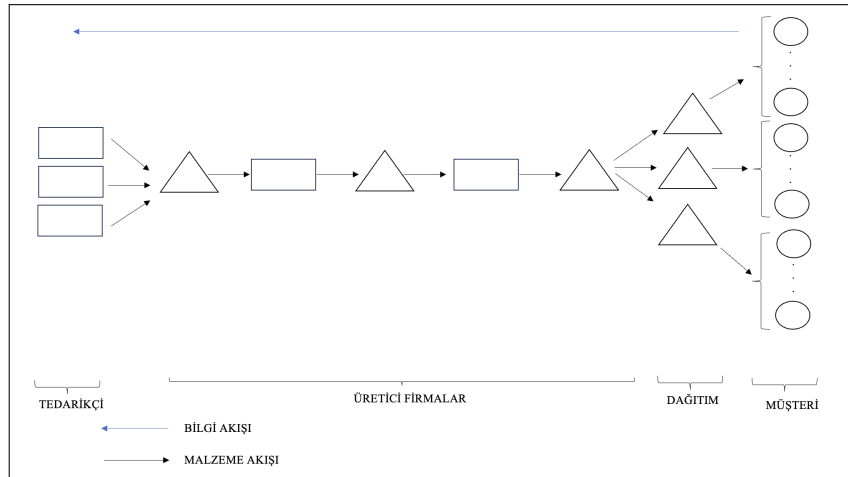
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. TEDARİK ZİNCİRİ

Tedarik zinciri; hammadde temininden başlayarak nihai ürün aşamasına kadar olan süreçte, ürünlere değer katılarak perakendeciye ve nihayet müşterilere dağıtımını sağlamak için bir dizi iş sürecinin uyumlu bir şekilde bir araya gelip etkileşimde bulunduğu bir sistemdir [1]. Diğer bir tanım ise, kaynaktan müşteriye kadar olan ürün, hizmet, finans ve bilginin akışında doğrudan yer alan birden fazla kuruluştan oluşan bir dizi olduğu şeklindedir [16].

Çeşitli tedarik, üretim ve dağıtım tesislerini içeren büyük ölçekli ve karmaşık bir sistem olan tedarik zinciri [17], temel ürünlerden nihai ürünün son müşteriye ulaşmasına ve kullanılmış ürünün geri dönüştürülmesine kadar uzanmaktadır [18]. Sadece üretici ve tedarikçileri değil aynı zamanda nakliyecileri, depoları, perakendecileri ve müşterileri de içermektedir [19]. Ayrıca bu kavram, ürün veya hizmetleri son müşterilere ulaştırmayı amaçlayan tedarikçiler, üreticiler, lojistik sağlayıcılar, toptancılar, distribütörler ve perakendecileri içeren ve birbirine bağlı olan organizasyon ağı olarak tanımlanmaktadır [20].

Daha anlaşılır olması açısından tedarik zincirinin unsurları ve genel akış şeması Şekil 2.1’de belirtilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere, tedarik zincirinin temel yapısı tedarikçi, müşteri, üretici firmalar ve dağıtım unsurlarını kapsamaktadır. Ayrıca, bu aşamalar arasındaki bilgi ve malzeme akışını temsil etmektedir.



Şekil 2.1: Tedarik Zinciri Akış Şeması [1]; s.18

2.2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Son yıllarda küreselleşme ve teknolojik ilerlemelerin hız kazanmasıyla birlikte günümüz işletmeleri dünya çapında üretim süreçlerine sahip olmaya başlamıştır. Bu durum neticesinde çok uluslu üretim zincirleri, serbestleşen küresel pazarda rekabet etmek zorunda kalmaktadır. Bununla birlikte, işletmeler varlıklarını sürdürmek ve kâr elde etmek amacıyla üretim zincirlerini sorunsuz ve düşük maliyet ile yönetmeye çalışmaktadır. Bu çabaların başarılı olabilmesi için tedarik zinciri süreçlerini etkili bir şekilde kullanmaya ve bu karmaşık zincir yapısını etkili bir şekilde yönetmeye odaklanmaktadır. Bu bağlamda, tedarik zinciri yönetimi'nin temel unsuru 'yönetim' olarak belirtilmektedir [21]. 1980'li yılların sonlarında ortaya çıkan bu kavram 1990'lı yıllarda ise yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. İşletmeler bu zaman dilimi öncesinde tedarik zinciri yönetimi yerine lojistik veya operasyon yönetimi gibi terimleri kullanmışlardır [22]. 1998 yılında ise Lojistik Yönetimi Konseyi bu iki terimin eşanlamı olmadığına karar vermiştir ve tedarik zinciri yönetiminin bir alt kümesi olarak lojistik tanımını değiştirmiştir [23].

Tedarik zinciri yönetimi; tedarik, satın alma ve lojistik yönetim faaliyetlerini içeren tüm etkinliklerin planlanması ve yönetilmesidir. Bu süreç aynı zamanda tedarikçiler, araçlar, üçüncü taraf hizmet sağlayıcıları ve müşteriler gibi kanal ortakları ile koordinasyon ve işbirliğini içermektedir [24] Ayrıca TZY; malzeme, bilgi ve finansal akışlar ile birbirine

bağlanan iki veya daha fazla organizasyondan oluşmaktadır. Bu organizasyonlar; parçalar, bileşenler, son ürün üreten firmalar, lojistik hizmet sağlayıcılar ve nihai müşterinin kendisi olabilmektedir [25]. Satın alma ve lojistik gibi birçok farklı alandan etkilenen TZY, süreç entegrasyonu perspektifinden daha yeni bir sistemik ve stratejik bakış açısına doğru evrilmektedir [26].

Tedarik zinciri yönetiminin amacı; yüksek müşteri hizmeti, düşük envanter yönetimi ve düşük birim maliyeti gibi birbiriyle çelişen hedefler arasında denge kurmak amacıyla müşterinin gereksinimlerini tedarikçilerden gelen malzeme akışı ile senkronize etmektir [16]. Diğer bir amacı ise; nihai tüketiciye ait olan ürün veya hizmet biçiminde değer üreten farklı süreç ve faaliyetlere dahil olan organizasyonların ağını temsil etmektir [25].

2.3. RİSK KAVRAMI

Risk teriminin yaygın sözlük tanımı, uygun olmayan bir olayın ya da durumun meydana gelme olasılığıdır [20]. Diğer bir tanımı ise, istatistiksel olarak bir sonuç ile ilişkili olan maruz kalma anlamına gelmektedir [27]. Risk, gerçekleşmesi belirsiz olan gelecekteki olaylar ve bunların bir dizi olası değere sahip sonuçları ile ilgilidir. Dolayısıyla hem olaylar hem de sonuçları ile ilgili belirsizlik içermektedir [20]. Sıklıkla belirsizlik kavramı ile aynı anlamda kullanılan bu kavram, oluşması beklenen durumdan sapma olasılığıdır [28]. Tanım olarak halen belirsiz olması ile birlikte çoğu zaman kötü bir ifade olarak tanımlanmıştır. Her ne kadar bu terim günlük dilde sıklıkla kullanılsa ve kolay anlaşılrsa da risk kavramını tanımlamak ve değerlendirmek oldukça zordur. Risk için kullanılan tanımlarının çeşitli olmasının nedeni, evrimi ve kullanım amacının sürekli değişmesidir [27].

Literatürde yer alan temel riskler alt başlık şeklinde ifade edilmiştir.

Envanter Riski

Günümüzde, piyasaya sürülen yeni ürünlerin çeşitliliği hızla artmaktadır ve ürün çevrim süreleri azalmaktadır. Bu durum müşteri talebi ile tedarik dengesini her geçen gün daha da

zorlaştırmaktadır. Bu nedenle şirketler talebi karşılayamama, oluşan stok fazlalığı, belirsiz talepten kaynaklanan fazla veya yetersiz kapasite kararları ve yüksek envanter maliyetleri gibi olumsuz durumlar ile karşılaşmaktadır [29].

Stratejik Risk

Stratejik risk, iş hedeflerinin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkan riskler olarak tanımlanmaktadır. Pek çok stratejik konu için hedefler takip edildiği sürece stratejik risklerin ortaya çıkabileceği belirsizlik durumları oluşmaktadır [30].

Arz-Talep Riski

Talep miktarında öngörülemeyen değişimler, üretim miktarlarında ve teslim zamanlarında oluşan dalgalanmalar, beklenmedik sipariş iptalleri vb. olaylar üretici ve tedarikçi işletmeleri zor durumda bırakmaktadır. Dolayısıyla talep riski hem hacim hem de ürün karmasındaki belirsizlikleri içermektedir [28]. Talep belirsizliği, tedarik zinciri belirsizliklerinin başlıca kaynaklarından biridir [31].

Üretim Riski

Üretim sırasında herhangi bir kesintinin meydana gelmesi, malzeme eksikliği, makine arızası, makinenin kullanılamazlık durumu, kazayla veya insan kaynaklı herhangi bir türden rahatsızlık vb. olaylar üretim riskine dahil olmaktadır [32].

Üretim riskine ait diğer gruplandırma ise; üretim hızı belirsizlikleri, üretim döngüsündeki dalgalanmalar, kapasite riski ve yetersiz üretim şeklindedir [33].

Ürün Riski

Ürün tasarımına yönelik ortaya çıkan bakış açısı, iş dünyasında stratejik ve rekabetçi bir role sahiptir. Bu önemli durum, özellikle tüketici tercihlerinin hızlı ve öngörülemez bir şekilde değişebildiği, perakendecilerin ve üreticilerin bu değişikliklere zamanında uyum sağlamaları gerektiği veya pazar başarısızlığı riskinin bulunduğu hızlı hareket eden pazarlarda geçerlidir.

Bu durumda yalnızca müşterinin isteğini tanımlayabilen tasarım yeterliliğine sahip olmak yeterli değildir. Aynı zamanda tedarikçilerin isteklerini de doğru zamanda, doğru kalitede ve doğru maliyet ile teslim edebilmelerini sağlamak için tedarikçiler ile birlikte çalışabilme becerisinin de sağlanması gerekmektedir [34]. Aynı şekilde ürünün eskimesi, kısa ürün yaşam döngüsü, yeni ürün geliştirme sorunları ve ürün değişiklikleri de ürün riski ile ilişkilidir [33].

Dağıtım Riski

Dağıtım riski, lojistik süreci boyunca firmanın veya ortaklarının lojistik sistemlerinde gecikmelere veya kesintilere neden olan bir faktör olarak görülmektedir [35]. Arızalar, yol çalışması, grev, sel, deprem vb. doğal afetler nedeniyle ulaşım sisteminde meydana gelebilecek her türlü kesinti dağıtım riskine aittir [32]. Bilgi akışındaki başarısızlıklar ve farklı ulaştırma paydaşları arasındaki yanlış iletişim, tedarik zinciri ağı içindeki akışı etkileyebilmektedir. Ayrıca lojistik hizmet sağlayıcılarının uygun şekilde seçilmemesi tedarik ağının genel ulaştırma akışını olumsuz etkilemektedir [32]. Taşımadaki aksaklıklar, tüm tedarik zincirini etkileyerek operasyonların durmasına, satış kayıplarına, geç teslimatlara ve itibar kaybı gibi sorunlara yol açabilmektedir [36].

Finansal Risk

Finansal risk, para akışı ile ilişkili olup ödemeler, nakit akışları, borçlar, yatırımlar, muhasebe sistemleri vb. temel konuları içermektedir. Bu risklerden bazıları; yatırımın düşük getirisi, aşırı maliyetler, ödenmemiş faturalar, nakit sıkıntısı ve eksik hesaplar şeklindedir [37].

Ekonomik risk olarak da adlandırılan finansal risk, çevrimiçi satın alma sırasında parasal kayıp olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile herhangi bir ürün veya hizmetin satın alınması sonucu oluşan para kayıpları olarak tanımlanmaktadır [38]. Tedarik zincirindeki finansal sorunların odağı sadece işletmeler ile sınırlı olmayıp tedarikçileri ve müşterileri de kapsamaktadır [36].

Çalışan Riski

Çalışan riski, iş gücü kaynaklı riskler olarak tanımlanmaktadır. İş gücü devamsızlığı, grevler, iş gücü kaynaklı hatalar, nitelikli iş gücünün kaybedilmesi veya yetersizliği gibi problemleri içeren çalışan riski yönetilmesi gereken bir risk faktörüdür [36].

Politik Risk

Politik risk; firmaların nakit akışının hükümet eylemleri sonucu olumsuz etkilenmesi nedeniyle ortaya çıkan risk olarak ifade edilmektedir [39]. Ayrıca, işletmelerin kamu otoritelerinin etkisizliği veya etkisi sonucu yaşayabileceği ekonomik kayıpların toplamı olarak ifade edilmektedir [40].

Operasyonel Riski

Operasyonel risk, tedarik zincirlerinde kaçınılmaz olarak var olan doğal belirsizlikler olarak tanımlanmaktadır. Belirsiz maliyet, belirsiz müşteri talebi ve belirsiz arz en temel operasyonel riskler arasındadır [41]. Diğer bir deyişle işletmelerin mal ve hizmet üretme kabiliyetini etkileyebilecek risklerdir [42]. Ayrıca belirsiz müşteri talebi, belirsiz arz ve belirsiz maliyet gibi günlük operasyonlardan kaynaklanan doğal belirsizlikleri de ifade etmektedir [43].

Bilgi Riski

Bilgi riski; sistem ve bilgi akışları ile ilişkili olan bu risk grubu veri aktarımı, bilgi işlemesi, pazar istihbaratı, sistem arızası vb. riskleri içermektedir [37]. İlave olarak; bilgi sistemleri, iletişim sistemleri, teknoloji ile ilgili gelişmeleri kapsamaktadır [28].

Çevresel Risk

Çevresel risk, işletme dışı faktörlerden kaynaklanan ve kontrol edilemeyen olayları içermektedir. Tedarik zincirinden ve çevresel etkileşimlerden kaynaklanan belirsizliklerden oluşmaktadır. Doğal afetler, savaş veya terör faaliyetleri çevresel risklere verilemeyecek en

temel örnekler arasındadır [28]. Çevresel risk belirsizlikleri sektörler arasında genel ticari bağlamı etkileyen değişkenlerdir ve etkileme derecesi farklı sektör kollarında değişkenlik gösterebilmektedir [42].

Tedarik Riski

Tedarik riski, yeni bir ürünün piyasaya sürülmesini engelleyen veya üretimini aksatabilecek olası bir durum olarak tanımlanmaktadır [44].

Tedarikçi Riski

Tedarikçiler, birbiriyle çelişen gereksinimlere sahip olan tedarik zincirinin parçalarıdır ve bu durum ek maliyet, zaman ve katma değeri olmayan faaliyetler ile sonuçlanabilmektedir. Etkin bir tedarik zinciri için tüm tedarikçilerin iyi şekilde koordine edilmesi gerekmektedir [45].

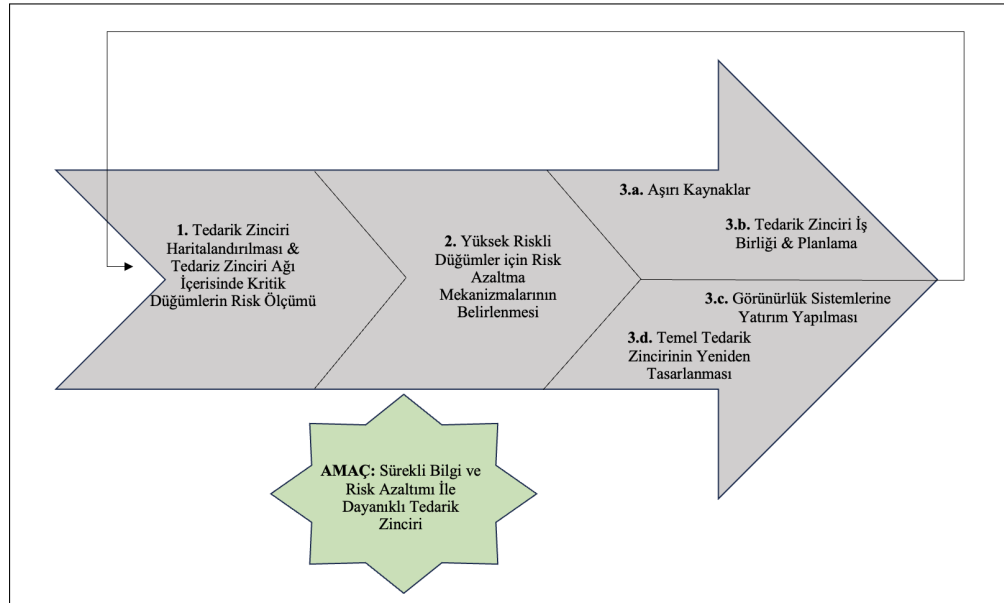
2.4. TEDARİK ZİNCİRİ RİSK YÖNETİMİ

Tedarik zinciri riskinin literatürde farklı tanımları bulunmaktadır ancak en sık kullanılan tanımı "şirketler için olası kayıp miktarının tedarik zinciri performans ölçümündeki istenmeyen sapmalar veya kesintilerdir" şeklindedir [20]. Diğer bir tanım ise; olası tedarik zinciri sonuçlarının dağılımındaki, olasılıklarındaki ve öznel değerlerindeki değişiklikler olarak tanımlanmaktadır [46].

Rekabet ortamında tedarik zincirleri, başarıya ulaşabilmek için maruz kaldıkları riskleri etkili ve verimli bir şekilde yönetebilmelidir. Bu ihtiyaç, tedarik zincirinde risk yönetimi (TZRY) kavramını ortaya çıkarmıştır [37]. Tedarik zinciri risk yönetimi, dinamik ve belirsiz bir iş ortamının zorluklarının aşılmasında önemli bir rol oynamaktadır ve artan sorunların çözümü için şirketler tarafından yaygın olarak benimsenmektedir [47]. TZRY hedeflerini şu şekilde ifade etmek mümkündür:

- Tedarik zincirinin planlandığı şekilde çalışmasına devam etmesini sağlamak
- Tedarik zinciri risk yönetimi için uygun kaynak, sistem, olanak ve altyapı oluşumunu güvence altına almak
- Sürekli olarak performans izlemek ve kullanılan yöntemleri geliştirmek
- Tedarik zincirinin kırılganlığı azaltmak
- Tedarik zincirinin sürdürülebilirliğini geliştirmek

Tedarik zinciri risk yönetiminin yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Bu yapıda ilk adım olarak, tedarik zinciri ağının haritalandırılması ve kritik düğümlerin risk ölçümü yapılmaktadır. Daha sonra, yüksek risk taşıyan düğümler için risk azaltma mekanizmaları belirlenmektedir. Üçüncü aşamada, kritik düğümler için aşırı kaynak sağlanmaktadır. Ayrıca tedarik zinciri boyunca iş birliği ile planlama süreçleri geliştirilmektedir, görünürlük sistemlerine yatırım yapılmaktadır ve mevcut tedarik zinciri yapısı gözden geçirilerek yeniden tasarlanmaktadır. Bu adımların genel amacı, sürekli bilgi akışı ve risk azaltma ile dayanıklı bir tedarik zinciri oluşturmaktır.



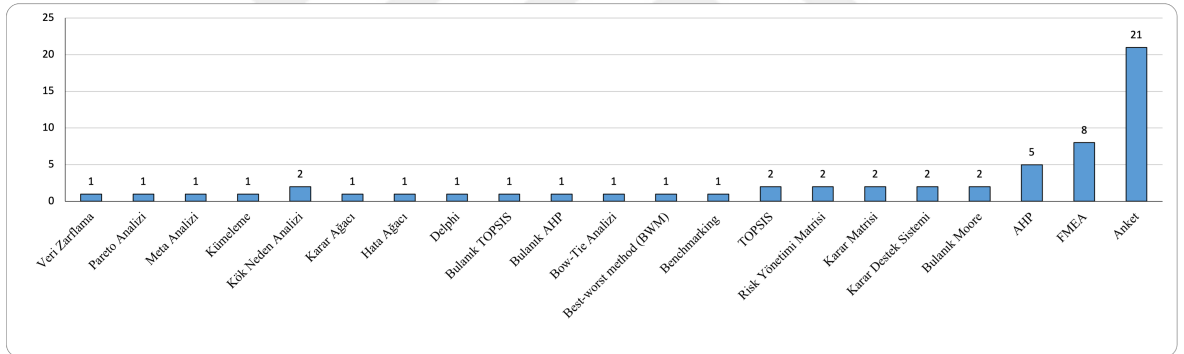
Şekil 2.2: Tedarik Zinciri Risk Yönetimi Yapısı [2]; s.54

2.5. LİTERATÜR ÖZETİ

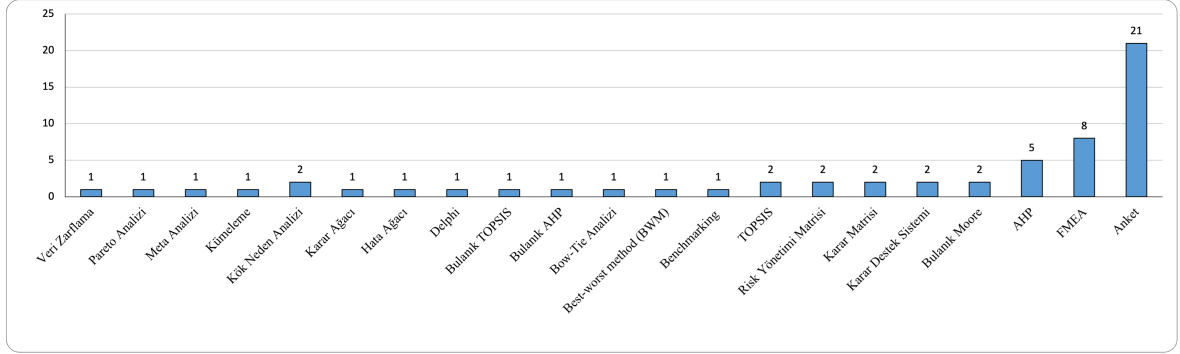
Bu bölümde literatürdeki TZRY çalışmalarının ayrıntılı incelemesi sunulmuştur. İlk olarak ele alınan çalışmaların yöntem ve araştırma alanlarına göre dağılımı Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bu değerlendirmeye dayanarak tezin kapsamı ve yöntemine ilişkin ayrıntılı literatür taraması yapılmıştır. Sonrasında ise literatürde yer alan tedarik zinciri risk yönetimi çalışmalarında kullanılan bulanık kümelerin adet bazında değerlendirilmesinin sonucu Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.1'de görüleceği üzere 2013-2023 yılları arasında risk türleri ve tedarikçi belirleme konuları ile ilgili olan çalışmalarda anketin en çok kullanılan yöntem olduğu belirlenmiştir. Sonrasında ise AHP ve FMEA (Hata Modu ve Etkileri Analizi) yöntemleri gelmektedir.

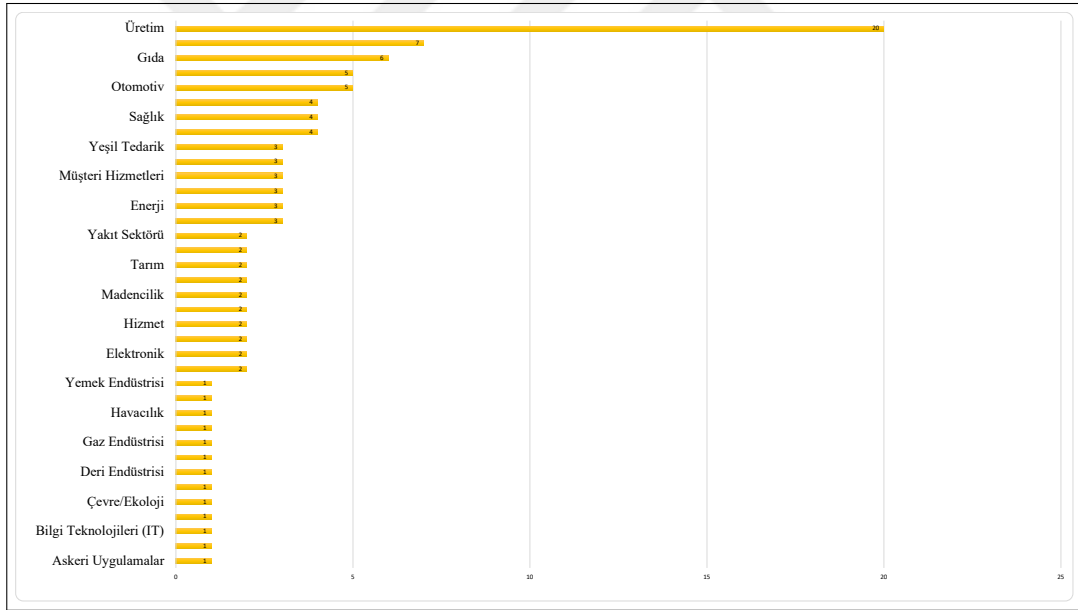
Tablo 2.1: Risk Türleri ve Tedarikçi Belirleme Yöntemleri (2013-2023 Yılları Arası)



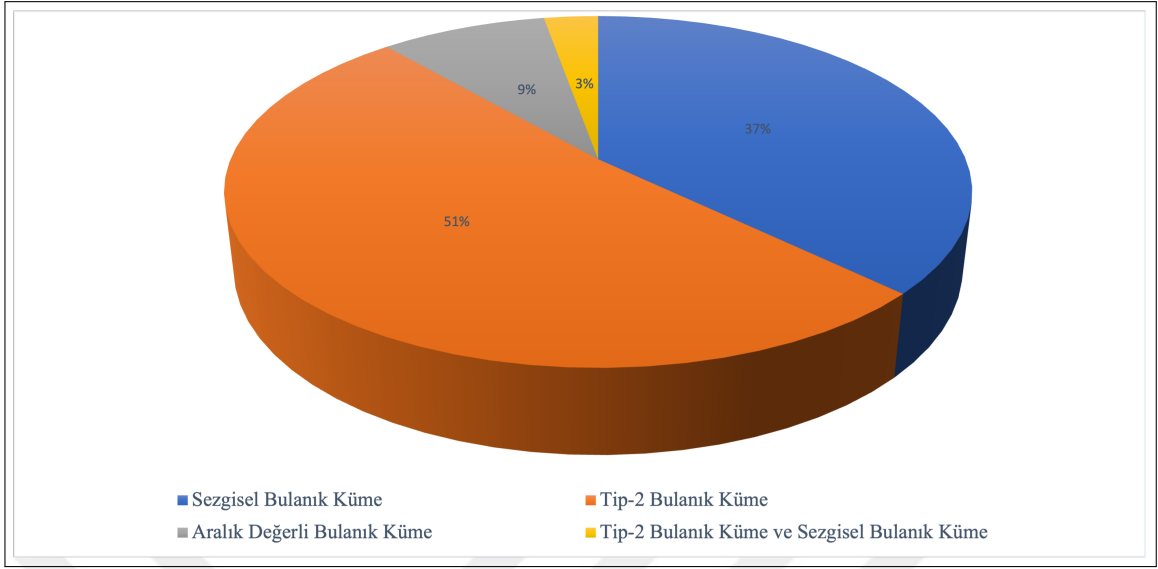
Tablo 2.2'de belirtildiği üzere, 2013-2023 yılları arasında risk değerlendirme konuları ile ilgili olan çalışmalarda en çok kullanılan yöntemlerin başında Bayes ağları, Bilişsel haritalar ve Yapısal Eşitlik Modellemesi gelmektedir.

Tablo 2.2: Risk Türleri ve Tedarikçi Belirleme Yöntemleri (2013-2023 Yılları Arası)

Tedarik zinciri risk çalışmalarının uygulama alanlarının daha uygun şekilde belirlenmesi açısından ilgili olan çalışmalara ait sektörel ayrımları Şekil 2.3'te detaylı olarak gösterilmiştir. Buradan görüleceği üzere üretim, gıda ve otomotiv sektörleri ilk sıralarda yer almaktadır.

**Şekil 2.3:** Tedarik Zinciri Risk Çalışmaları Sektör Dağılımı (2013-2023 Yılları Arası)

Tez çalışmasının bulanık küme seçiminde yol gösterici olması amacıyla 2013-2023 yılları arasında risk alanında yapılan çalışmalarda kullanılan bulanık kümeler türlerinin yüzde değerleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, bu çalışmaların %51'i tip-2 bulanık kümeye aittir. Sezgisel bulanık küme ise % 37 ile ikinci sırada yer almaktadır.



Şekil 2.4: Tedarik Zinciri Risk Çalışmalarına Ait Bulanık Küme Seçimi (2013-2023 Yılları Arası)

2.5.1. Tedarik Zinciri Risk Yönetimi Literatür Taraması

Bu bölümde, tedarik zinciri risk yönetimi alanında yapılan çeşitli çalışmalar incelenerek mevcut literatürdeki önemli bulgular ve yöntemler özetlenmektedir.

Tedarik zinciri risk yönetimi üzerine yapılan çalışmalar, risk bileşenlerinin farklı yöntemlerle analiz edildiği çeşitli yaklaşımları içermektedir. Teuteberg [48], tedarik zinciri risk aşamalarını vurgulamış ve risk erken önleme sistemlerine dikkat çekmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, tedarik zinciri risk yönetimi konseptini sinir ağı yaklaşımı kullanarak geliştirmektir. Faisal [49], tedarik zincirlerinde kurumsal sosyal sorumluluğun önündeki engelleri belirlemeyi ve bunların karşılıklı ilişkilerini anlamayı amaçlamış, hiyerarşi tabanlı bir model önererek yorumlayıcı yapısal modelleme (ISM) kullanmıştır.

Speier ve arkadaşları [50], tedarik zinciri süreçlerindeki olası aksamalar için genel bir çerçeve sunarken, Noorai ve Parast [51] ise tedarik zinciri görünürlüğü ve riski arasındaki ilişkiyi inceleyerek tam sayılı modeller yardımıyla risk ve maliyet üzerine odaklanmışlardır. Kauppi ve arkadaşları [52], gecikme risklerinin birleşik risk yönetimi ve dış tedarik zinciri entegrasyonu uygulamalarıyla olan ilişkisini araştırmış ve bu birleşimlerin operasyonel

performansa olan etkilerini incelemiştir.

Chowdhury ve arkadaşları [53] tedarik zinciri risklerinin etkileşimlerini analiz ederek, sonuçların risklerin azaltılması konusunda iyileştirici önlemler alınması için yol gösterici olacağını vurgulamışlardır. Benzer şekilde Kara ve arkadaşları [54], tedarik zincirlerinde farklı risk türlerinin veri madenciliği tabanlı bir çerçeve ile değerlendirilip azaltılmasını önermişlerdir.

Munir ve arkadaşları [47], tedarik zinciri entegrasyonu (SCI) ve risk yönetimi arasındaki ilişkiyi değerlendirerek operasyonel performansı iyileştirmeye yönelik hipotezleri kovaryans tabanlı yapısal eşitlik modellemesi ile test etmişlerdir. Senthil ve Muthukannan [55], yalın düşünce sisteminin tedarik zinciri risk yönetimi üzerindeki önemini vurgulamışlardır. Nayal ve arkadaşları [56] ise yapay zekanın tedarik zinciri riskini azaltma üzerindeki etkisini doğrulamayı hedeflemiştir.

COVID-19 pandemisinin etkileri üzerine yapılan çalışmalardan biri olan Tamtam ve Tourabi [57], Fas otomotiv ekosistemindeki belirsizlikleri incelemiş ve esnek tedarik zincirlerinin yönetilmesi gerektiğini savunmuştur. Tedarikçiler arasındaki ilişkilerin analizinde ISM ve MICMAC yöntemleri kullanılmıştır. Manhart ve arkadaşları [11] ise tedarik zinciri risk yönetimi stratejilerini inceleyerek bu risklerin etkilerini belirlemeye çalışmışlardır.

Vankatesh ve arkadaşları [58], perakende sektöründe kontrol edilebilir riskler üzerine odaklanmış ve Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (ISM) yöntemiyle bu riskler arasındaki ilişkileri kurmuşlardır. Dai ve Liu [59], ampirik analizle tedarik zinciri risk faktörlerini sıralayarak, uzman değerlendirmelerine dayalı yeni bir risk sıralaması önermişlerdir. Aqlan ve Lam [60] ise risklerin ölçülmesi ve azaltılması amacıyla Bow-Tie analizi ve optimizasyon tekniklerini içeren bir metodoloji geliştirmiştir.

Son olarak, Korucuk ve Memiş [12], tedarik zincirinde yer alan risk faktörlerini Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile önceliklendirmişlerdir. Yolaç ve arkadaşları [61] ise tedarik zinciri risklerinin işletme performansı üzerindeki etkilerini araştırmış ve anket

verileri ışığında İstanbul'da çeşitli sektörlerdeki işletmelerde bu etkileri incelemiştir.

Bu literatür taraması, tedarik zinciri risk yönetimi alanında uygulanan mevcut yöntemleri kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Literatürdeki mevcut yöntemlerin sınırlamaları ve eksiklikleri doğrultusunda, bu tez çalışmasında hangi yönlerin geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Özellikle, bu çalışmaların yetersiz kaldığı noktalar göz önüne alınarak, özgün araştırmamızın yöntemsel çerçevesi ve analiz stratejileri oluşturulmuştur. Böylece, literatürdeki boşlukları doldurmayı ve risk yönetimi süreçlerinde daha etkili çözümler sunmayı amaçlayan bir yol haritası belirlenmiştir.

2.5.2. Bulanık Bilişsel Haritalar Literatür Taraması

Bu literatür taramasında, Bulanık Bilişsel Haritanın geniş uygulama alanının ve etkinliğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

TZRY ile ilgili literatür taraması sonuçlarına göre Bilişsel harita bu alanda yararlanılan yöntemlerden biridir. Ayrıca, zaman içindeki bazı değişimler nedensel ilişkiler üzerinden simüle edebilen Bulanık Bilişsel Harita (BBH) yönteminin geliştirilmesine dayanmaktadır. Literatürde, BBH'nin çeşitli uygulama alanlarına dair çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Erkan ve arkadaşları [62], az sayıda kısıtlayıcı varsayıma dayanan ve tekrarlı ölçüm gerektirmeyen bir dinamik konumlandırma yöntemi geliştirerek, zaman içerisindeki değişimlerin nedensel ilişkiler üzerinden simüle edilebilmesi için Bulanık Bilişsel Harita (BBH) yöntemini kullanmışlardır. Benzer şekilde, Uygun ve arkadaşları [63] yeşil tedarik zinciri yönetimi açısından işletmeleri değerlendiren bir model önermiş ve bu modelde bulanık mantık ve bilişsel harita temelli BBH yöntemini kullanarak uzman görüşlerine dayalı ilişki haritalar oluşturmuşlardır. Aynı doğrultuda, Kiraz ve arkadaşları [64] firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini öngörmek amacıyla IMPULS model kriterleri ve BBH'yi bir araya getirerek bir model geliştirmişlerdir.

Umut ve Kadaifçi [65] ise kurumsallaşma sürecinde etkili kavramları belirlemek amacıyla literatür taraması ve uzman görüşlerine dayalı bir model sunmuşlardır. Bu modelde uzmanlardan elde edilen dilsel ifadeler kullanılarak kavramlar arasındaki ilişkiler tanımlanmış, ardından bu ilişkiler bulanık mantık aracılığıyla sayısal değerlere dönüştürülmüş ve BBH algoritması ile üç farklı senaryoya göre analiz edilmiştir. Benzer bir yaklaşımla, Chen ve Chiu [66] BBH uygulama adımlarında faktörler arasındaki etkileşim ağırlıklarını belirlemek için öğrenme algoritmalarını kullanmış ve dilsel değerlendirmeler yardımıyla dinamik bir BBH modeli geliştirmişlerdir. Bu modeli, Tayvan'daki Nesnelerin İnterneti (IoT) endüstrisinin gelişim olasılığını incelemek için bir vaka çalışmasıyla sunmuşlardır.

Son olarak, Homenda ve arkadaşları [67] BBH'yi zaman serisi modellemeye yönelik yeni bir yaklaşımla ele almış ve üç farklı zaman serisi üzerinde yapılan analiz sonuçlarını detaylandırarak diğer zaman serisi modelleme yaklaşımlarıyla karşılaştırmışlardır.

Bu literatür taraması, bulanık bilişsel harita yönetiminin uygulama alanının kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Ancak, mevcut çalışmalar genellikle belirli sektörel bağlamlarda uygulanan yöntemlerin etkilerini ve sınırlamalarını ele almıştır. Ayrıca, mevcut risk yönetimi stratejileri, dinamik ve hızlı değişen risk ortamlarına uyum sağlama konusunda sınırlamalar göstermektedir. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında, mevcut yöntemlerin sınırlamalarını aşmayı ve yenilikçi risk değerlendirme teknikleri geliştirilmesi hedeflenmiştir. Özellikle, bulanık bilişsel harita yöntemini kullanarak risk yönetimi süreçlerindeki belirsizliğin ve karmaşıklığın daha etkili bir şekilde modellenmesi amaçlanmıştır.

2.5.3. Bayes Ağı Literatür Taraması

Tedarik zinciri risk yönetimi ve Bayes Ağına ilişkin literatürde yer alan çalışmalar Tablo 2.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere, Bayes ağları çeşitli alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu alanlardan başlıcalarına risk değerlendirmesi, hidrojen yakıt ikmal istasyonları modellemesi, dinamik tedarik zinciri risklerinin ölçülmesi, rafineri

yangın ve patlama olaylarının risk analizleri örnekleri verilebilmektedir. Ayrıca, COVID-19 pandemisi sırasında tedarik zinciri risklerini belirleme, yorumlayıcı yapısal modelleme ve çevresel risk değerlendirmesi gibi spesifik uygulamalarda da yer almaktadır. Bayes Ağı, bu çalışma alanlarında risk faktörlerini tanımlama ve analiz etme gibi süreçlerde önemli katkı sağlamaktadır.

Bu bölümde Bayes Ağı yönetiminin uygulama alanının kapsamlı bir şekilde literür taraması gerçekleştirilmiştir. Sektör, çalışma alanı ve yöntem bazında farklılık gösteren bu çalışmalardan yola çıkılmıştır. Tablo 2.3'te görüldüğü üzere, mevcut risk yönetimi yöntemleri ve stratejileri detaylı bir şekilde sunulmuştur. Ancak, tabloda bütünsel bir modelin mevcut olmadığı, mevcut yöntemlerin genellikle ayrı ayrı ele alındığı ve belirli alanlarda sınırlı uygulama alanlarına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum bu çalışmada bu boşlukları dolduracak ve daha kapsamlı bir yaklaşım sunacak şekilde bir bütünsel model geliştirilmiştir.

Tablo 2.3: Bayes Ağı Literatür Taraması

REF.	YÖNTEM	AMAÇ
[68]	Bayes Ağı, Balık Kılçığı	Su sistemleri için Lejyonella Yüksek Düzeyli Risk Değerlendirmesi (LHLRA) modeli geliştirmişlerdir. Sonrasında ise belirsizliği azaltmak için iki yinelemeli Bayes Ağı modeli önermişlerdir
[69]	Bayes Ağı	Hidrojen yakıt ikmal istasyonunu Bayes Ağı ile modellemenin faydaları araştırılmıştır.
[14]	Bayes Ağı, FMEA	Risk azaltma stratejileri arasındaki karşılıklı bağımlılığı yakalayan ve risk yönetimi sürecinin tüm aşamalarını entegre eden Bayes ağının teorik çerçevesine dayanan entegre tedarik zinciri risk yönetim sürecini tanıtmışlardır.
[70]	Bayes Ağı, Beklenen Fayda Teorisi	İlk olarak performans ölçütlerini tanımlamışlar ardından bu ölçütleri riskler ile ilişkilendirmişlerdir. Birbirine bağlı risklerin tanımlanan tüm ölçütler üzerindeki yayılma etkisini yansıtmak için Bayes Ağını kullanmışlardır.
[71]	Bayes Ağı	Dinamik tedarik zinciri risklerinin yayılımını ölçmek için risk yayılım ontolojisi tabanlı Bayes Ağı modeli geliştirmişlerdir.
[72]	Bayes Ağı	Çalışmada, risk profillerini modellemek ve değerlendirmek için bir metodoloji sunmuşlardır. Otomotiv şirketine ait olan veriler Bayes Ağı kullanılarak analiz edilmiştir.
[73]	Bayes Ağı	Rafinerilerin yangın ve patlama olaylarına yönelik risk göstergelerini ölçmek amacıyla olasılıklı bir model geliştirmek için Bayes Ağını kullanmışlardır.
[74]	Bayes Ağı	Ürün risk değerlendirmesi için gelişmiş ve sistematik bir yöntem sağlamak için Bayes Ağı modeli geliştirmişlerdir
[75]	Bayes Ağı, FMEA, Bulanık Mantık	Bayes Ağı ile bulanık mantık yaklaşımının birleştirilmesi ile birlikte, denizcilik alanında tedarik zincirlerinin risk faktörlerini değerlendirmek için yeni bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Dünyanın önde gelen konteyner taşımacılığı firmasının gerçek bir vakası incelenmiştir.

Tablo 2.3: Bayes Ağı Literatür Taraması (Devamı)

REF.	YÖNTEM	AMAÇ
[76]	Bayes Ağı	Risk olayları arasındaki bağlantıları betimlemek ve ilişkili kümülatif riskleri ölçmek için nedensel Bayes modeli geliştirmişlerdir.
[77]	Bayes Ağı	COVID-19 pandemi döneminde tedarik zinciri risk olaylarını belirlemek ve kesintilerin sonuçlarını ölçmek için kullanılabilecek çok katmanlı bir Bayes Ağı modeli geliştirmişlerdir.
[78]	Bayes Ağı, Yorumlayıcı Yapısal Modelleme	Yorumlayıcı yapısal modelleme (YYM) ve Bayes Ağı (BA) yaklaşımlarını temel almışlardır. Risk faktörleri veya kaza nedenleri arasındaki ilişkileri ve etkileşim güçlerini analiz etmek için kapsamlı bir uygulama gerçekleştirmişlerdir.
[79]	Bayes Ağı	Risk faktörleri elde etmek ve nedensel ilişkileri belirlemek için Bayes Ağı kullanmışlardır.
[80]	Bayes Ağı, Noisy-OR Gate Modeli	Sezgisel bulanık teoriye dayalı Bayes ağ yöntemi önermişlerdir. Çalışmanın ana katkısı; belirsizlik göz önünde bulundurularak sezgisel bulanık sayıların standartlara göre tanımlanmasıdır.
[80]	Bayes Ağı	Bayes Ağı ile çevresel risk değerlendirilmesi gerçekleştirmişlerdir.
[81]	Bulanık Bayes Ağı	Çalışma için incelenen firmanın iflasına sebep olan başarısızlık nedenlerini belirlemişlerdir. Sonrasında ise bu nedenlerin olasılıksal ilişkilerini bulanık Bayes Ağı yaklaşımı ile niteliksel ve niceliksel olarak göstermişlerdir.
[82]	Bayes Ağı, Bulanık AHP, Hata Ağacı	Süreçteki risk değerlendirmesi için kapsamlı bir çerçeve önermişlerdir. Belirsiz arıza gösterimleri ile karmaşık sistemlerin risk değerlendirmesini sağlamak amacıyla Bayes Ağı modellemesi kullanmışlardır.
[83]	Bayes Ağı, Makine Öğrenmesi	COVID-19 pandemi sürecinde firmaları etkileyen riskleri belirlemek ve kontrol etmek için Bayes Ağı temelli sistematik karar destek modeli sunmuşlardır.
[84]	Bayes Ağı, Kök Neden Analizi	Tedarik zinciri risklerini kapsamlı bir şekilde modellemek ve incelemek için Bayes Ağı kullanmışlardır.

2.5.4. Bulanık Bilişsel Haritalar ve Bayes Ağlarının Etkileşimli Kullanımını İçeren Öncü Çalışmalar

Literatürde yer alan tedarik zinciri risk yönetimi ile ilgili olan çalışmalar incelendiğinde Bulanık Bilişsel Harita ve Bayes Ağı ile birlikte gerçekleştirilen öncü çalışmaların beş adet olduğu görülmektedir.

Nadkarni ve Shenoy [85] araç satın alım aşamasında değerlendirilen kriterleri ele almışlardır. Seçilen beş adet firma için Bayes nedensel haritalar ile bilgi işlem uygulaması gerçekleştirmişlerdir.

Sedki ve De Beafort [86] gerçek bir problemi ele almış olup balıkçılık sektörü ile ilgili on beş adet değişkeni analize dahil etmişlerdir. Çalışmanın ana katkısı; problem üzerinde oluşturulmuş bilişsel harita yardımıyla Bayes nedensel ağ haritası oluşturmaktır.

Wee ve diğ. [87] çalışmanın ilk aşamasında, Bayes Ağı ile kök neden analizi için nedensel bilgi modeli oluşturmuşlardır. Yöntemin ikinci aşamasında, önerilen geçiş çerçevesi uygulanarak Bayes ağ tabanlı nedensel bilgi modelinden BBH kullanan sezgisel bir arayüz oluşturmuşlardır. Otomobil start-up program problemi ile vaka çalışmasının ardından otomobil motorunun ilk çalışma anında meydana gelen temel sorunlar belirlenmiştir. En önemli faktör ve/veya faktörlerin nedensel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı; Bayes Ağının uzman görüşü olmaksızın nedensel modelin probleme dahil edilmesidir. Çalışmada Bayes Ağından Bulanık Bilişsel Haritalara geçiş yapılmıştır.

Azar ve Dolatabad [88] risk azaltma faaliyetlerini planlamak için Bayes Ağı (BA) tercih etmişlerdir. Çalışma, karmaşık problemlerin BA ile çözülmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca Bulanık Bilişsel Haritadan Bayes Ağına geçiş sağlanmıştır fakat sadece operasyonlar riskler ele alınmıştır.

Maya ve diğ. [89], 2011 ve 2016 yılları arasında meydana gelen 16 adet deniz kazasından elde edilen veriler yardımıyla deniz kazalarına etkisi olduğu düşünülen dokuz adet insan

faktörü belirlemişlerdir. Bulanık Bilişsel Harita ile deniz kazası öğrenimi (MALFCMs) yöntemi yardımıyla faktörlerin ağırlıklarını belirlemişler ve Bayes ağları ile bu faktörlerin meydana gelme olasılıklarını hesaplamışlardır. Çalışmada Bulanık Bilişsel Haritalardan Bayes Ağlarına geçiş yapılmıştır fakat sadece insan faktörleri göz önüne alınmıştır.

Bu bağlamda bu tez çalışmasında, mevcut literatürdeki boşluklar hedeflenmiştir ve Bulanık Bilişsel Haritadan Bayes Ağına geçiş süreci daha geniş bir kapsamda ele alınmıştır. Çalışmada, hem operasyonel hem de diğer riskleri kapsayan kapsamlı bir modelin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Böylece, literatürdeki mevcut yöntemlerin sınırlamaları aşarak bütünlük ve kapsamlı bir tedarik zinciri risk yönetimi yaklaşımının sunulması amaçlanmıştır.

3. YÖNTEM

3.1. BİLİŞSEL HARİTALAR

Bilişsel haritalar, 1950'li yıllarda George Kelly tarafından geliştirilen Bilişsel Kurgu Teorisi'ne dayanmaktadır. Bu teoriye göre her birey dünyayı ve olayları anlamaya çalışmaktadır. Bu çabanın bir ürünü olarak ise kendi zihninde dünyayı yorumladığı sırada çeşitli şemalar oluşturmaktadır. Yöntemin mantığı bu oluşan bilişsel şemalara dayanmaktadır [90]. Diğer bir yaklaşım ise Axelrod'un karar yapısı teorisidir. Axelrod, bilişsel haritaları öncelikle politik karar verme alanında dokümanları ve röportajları incelemek için kullanmıştır. Yöntemin amacı, çerçevesi belirli olan herhangi bir problem içerisindeki kavramları ve bu kavramlar arasındaki neden-sonuç ilişkilerini grafiksel olarak göstermektir [91]. Böylece karmaşık olan nitel verilerin yapılandırılmasına ve analiz edilmesine olanak sağlanmaktadır [90]. Yöntem, karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve sistemlerin bileşenleri arasındaki neden-sonuç ilişkilerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Şekilsel olarak modellenen problem veya sistem içerisindeki kavramların birbirleriyle ilişkisinin yönünü ve bu kavramlarda meydana gelebilecek olan değişimin sistemi nasıl etkilediğini göstermektedir. Ayrıca stratejik karar verme alanında çalışma ile ilgili kişilerin görüşlerini ifade etmeye yardımcı olmaktadır [91].

Anket, doküman kodlama ve röportaj olmak üzere bu üç yöntemin yardımıyla oluşturulan bilişsel haritalar [91]; deneyimler ile ilgili zihinsel süreci tanımlayan, bilgi toplayan ve bilişsel soyutlamaları bireysel filtre aracılığıyla tanımlayabilen bir kavram haritası olarak düşünülmektedir [92].

Bilişsel haritanın oluşumuna yardımcı olan başlıca yöntemler şu şekildedir:

Doküman Kodlama Kodlama, bilişsel harita oluşturma'nın ilk adımıdır. Bilişsel harita, karar vericiler tarafından savunulan fikirlerin analizi için kullanılmaktadır. Kodlama

terminolojisinde en temel yapı: Nedensel Kavram / Bağlantı / Etki Kavramı şeklindedir. Neden ve sonuç kavramı değişkenler olarak temsil edilmektedir.

Bilişsel harita oluşturma'nın ilk adımı nedensel kavramların tanımlanmasını ve bunların etki kavramları ile ilişkilendirilmesini içermektedir [91]. Doküman kodlama bu süreçte kullanılan ve karar vericilerin savunduğu fikirlerin analizine olanak sağlayan bir tekniktir [93].

Doküman kodlamanın en büyük tehlikesi ise, kodlayıcının kendi varsayımlarını kodlamaya dahil etmesidir. Metinde hiçbir temeli olmayan ilişkileri oluşturma'nın tehlikesi iki yönlüdür. İlki, kodlayıcı yanlılığının meydana gelmesidir. Bu yanlılıklar, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyebilmektedir. İkincisi ise, karşılaştırmalı kodlayıcı uyumsuzluğunun oluşmasına yol açmaktır [93].

Tablo 3.1'de örnek bir doküman kodlama gösterilmiştir. Bavarsad ve diğ. [41] çalışmalarında, tedarik zinciri riskinin organizasyonel performansı olumsuz ve güçlü bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir. Makaleden alınan ifade şu şekildedir: "Model sonuçları, tedarik zinciri riskinin organizasyonel performans üzerinde negatif ve anlamlı (-0,63) bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir". Bu şekilde belirlenen bilgilerin kodlaması şu şekilde yapılmıştır:

Tablo 3.1: Doküman Kodlama Örnek Gösterimi

Nedensel Kavram	Bağlantı Yönü	Bağlantı Derecesi	Etki Kavramı
Tedarik Zinciri Riski	Negatif	Güçlü	Organizasyonel Performans

Anket Yöntemi

Kişilerden sözlü veya yazılı bilgi edinmek amacıyla anketler kullanılmaktadır. Bir kişinin talep ettiği bilgiler, kendisine, çevresine veya kurumuna ilişkin farklı türde niceliksel ve niteliksel verileri içerebilir. Anket, hem nicel hem de nitel ölçümler ve analizlerin gerçekleştirilmesinde yardımcı bir tekniktir [94].

Uzman Görüşü

Uzmanlar, belirli bir konu, sistem veya alan hakkında bilgi ve deneyime sahip kişilerdir [95]. Uzman görüşü, uzmanın eğitim ve deneyimine dayalı olarak bilgilendirilmiş bir görüşü ifade etmektedir. Uzmanlar genellikle bilgi, kanıt ve değerlendirme sağlamaktadır [96]. Uzmanların belirlenmesi ise, uzman görüşü sürecinin kritik bir parçasıdır [95]. Kişileri uzman olarak seçmek için kullanılan kriterler arasında yargılama yapma ve karar alma deneyimi, dereceler, araştırmalar, yayınlar, pozisyonlar ve deneyim, ödüller gibi uzmanlık kanıtları, topluluktaki itibar, katılım için müsaitlik ve isteklilik, tarafsızlık, öz güven ve uyumluluk gibi içsel nitelikler yer almaktadır [95]. Farklı risk değerlendirme yaklaşımları uzman görüşü açısından farklı ihtiyaçlara sahiptir. Özellikle istatistiksel modellerde, tüm belirsizlikler parametrelere bağlıdır ve özellikle uzman görüşünden gelen kanıtlar modeli güncellemek için kullanılmaktadır [97].

3.2. BULANIK MANTIK

3.2.1. Bulanık Mantığın Tanımı

Bulanık mantık teorisi, düşünme ve akıl yürütme gibi bilişsel süreçler ile ilgili belirsizlikleri ortaya koymak amacı ile matematiksel etki sağlamaktadır. Klasik mantık teorisine göre daha esnek bir yapıya sahip olmakla beraber olayları $[0,1]$ ve aralığında belirlemiş olduğu dereceler ile açıklamaktadır [98]. Belirsizlik içeren durumların çözümünde önemli bir rol oynayan bu teori, Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya koyulmuştur. Bulanık mantığın öncüsü olarak kabul edilen Lotfi A. Zadeh, bu alanda birçok kavram ve ilkeye katkıda bulunmuştur. Bulanık koşullarda karar verme, bulanık küme, akıl yürütme kuramı ile dilbilimsel değişkenler kuramı gibi birçok teori ve yaklaşım ortaya koymuştur [99]. Bulanık mantık, belirsizlik durumunda derin bir etki oluşturmaktadır. Bu durumun temel nedeni, bulanık mantığın belirsizliği olasılık teorisinden farklı olarak tek temsilci olarak görmemesidir. Diğer bir etki ise olasılık teorisinin temelini klasik ikili mantığın oluşturmasıdır.[4]. Bu etkilerin yanı sıra sadece mühendislik ve diğer sayısal alanlarda

değil aynı zamanda sosyal bilimler alanında da kullanılmaktadır. Sosyal bilimlerde yapılan araştırmalarda belirsizliklerin varlığı ve kesin bir dil kullanmanın zorlukları bulanık mantığın önemini ortaya koymaktadır. Bilginin belirsiz olduğu durumlarda tutarlı sonuçlar elde etmek için bulanık mantık önerilmektedir. Bu sayede sosyal bilimlerdeki karmaşık ve belirsiz durumlar daha etkili bir şekilde ele alınabilmektedir. [99].

Bulanık mantık teorisi ile gerçekleştirilen uygulamaların içerdiği bazı avantaj ve dezavantajlar mevcuttur. Bunları aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür [100]:

Avantajlar:

- Az miktarda değer, kural ve karar gereklidir.
- Gözlemlenen çok miktarda değişken değerlendirilebilmektedir.
- Dilsel değişkenler kullanılmaktadır ve bu değişkenler insan düşünce yapısına benzemektedir.
- Girdi ile çıktı arasında bağlantı kurulabilmektedir ve geleneksel kontrol sistemlerine göre daha hassas sistemlerin tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.
- Anlaşılır yapısı daha önceden çözülememiş problemlerin çözümüne olanak sağlamaktadır.
- Bilgi kazanımını ve gösterimini kolaylaştırmaktadır.
- Karmaşık durumlar için az sayıda kural içermektedir.

Dezavantajlar:

- Bulanık sistem ile model geliştirmek zordur.
- Geleneksel sistemler aracılığıyla daha kolay ve hızlı prototip oluşturulmaktadır ancak bulanık sistemlerin kullanım öncesi detay ayarlarının yapılması gerekmektedir [100].

3.2.2. Bulanık Kümeler

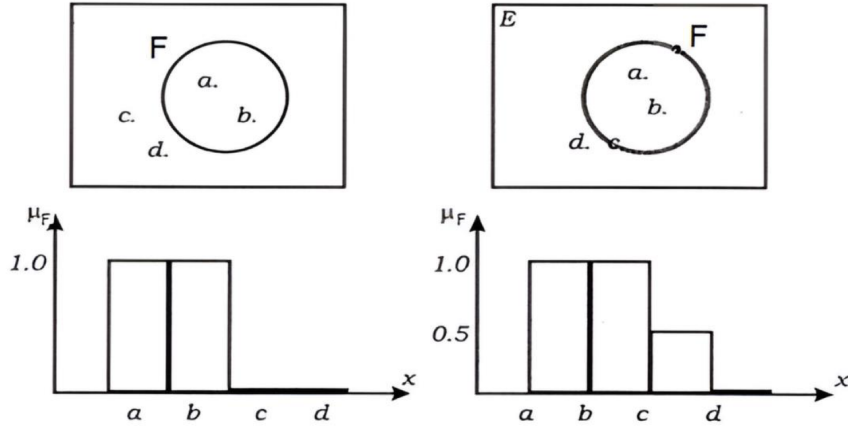
Bulanık mantık teorisi, bulanık küme üzerine kurulmuştur ve klasik küme teorisinin doğal bir uzantısı şeklindedir [99]. Kümeler, klasik kümeler veya bulanık kümeler olarak iki grupta incelenmektedir [4]. Klasik küme teorisi, bir ögenin bir küme içinde tam olarak bulunup bulunmadığını belirten 0 veya 1 değerlerini kabul eden iki değerli doğruluk işlevi ile tanımlanmaktadır. Bulanık mantık teorisi ise, üyelik fonksiyonları aracılığıyla $[0, 1]$ arasında gerçel değerler alan yaklaşım benimsemektedir. Bu üyelik fonksiyon değerleri bir ögenin bir bulanık küme içindeki üyeliğini yani temsil ettiği kavrama ne ölçüde ait olduğunu ifade etmektedir. Bu durum belirsizlik ile başa çıkabilme ve karmaşık durumları daha hassas bir şekilde modelleme yeteneği sağlamaktadır [99]. 0 ve 1 uç noktalarının sırayla üye olmama ve tam üyelik ile uyumlu olduğu bu aralık, evrendeki herhangi bir öge olan x için kümedeki üyelik derecelerini temsil eden sonsuz sayıda değer içerebilmektedir. Bu kümeler, Zadeh tarafından bulanık kümeler olarak adlandırılmıştır [4].

Her üye fonksiyon, klasik evrensel kümenin elemanlarının $[0, 1]$ aralığındaki bir sayıya karşılık gelen fonksiyondur. U boş olmayan bir küme olsun ve U kümesindeki bulanık A kümesi;

$$\forall x \in U, \mu_A : U \rightarrow I = [0, 1]$$

fonksiyonu ile verilmektedir. Bu şekilde tanımlanan bulanık küme U ile gösterilmektedir. Bu eşitlikte $\mu_A(x)$, bulanık kümeye karşılık gelen üyelik fonksiyonudur ve bulanık $\mu_A(x)$ kümesi U 'daki her elemanın üyelik derecesiyle birlikte oluşturduğu küme olarak tanımlanmaktadır. Burada eğer U evrensel küme yerine reel sayılar seçilecek olur ise elde edilen yeni bulanık kümeye bulanık sayı denir [101].

Şekil 3.1'de klasik küme ve bulanık mantık kümelerinin venn şematik gösterimi mevcuttur. Klasik mantıkta evrensel küme içerisindeki c elemanı F kümesinin dışında yer alırken bulanık mantıkta c elemanı F kümesinin sınırında yer almaktadır [3].



Şekil 3.1: Klasik ve Bulanık Kümenin Venn Şeması ve Grafik Olarak Gösterimi [3]; s.104

3.2.3. Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonlar

Literatürde sıklıkla kullanılan üyelik fonksiyonları ve ilgili bulanık sayıları, alt başlıklarda ayrı ayrı açıklanmıştır.

3.2.3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen bulanık sayılar, üç adet gerçek sayı ile tanımlanmış bulanık sayıların özel bir çeşidi olarak tanımlanmaktadır. İfade şekilleri $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ şeklinde olan parametreleri sırasıyla en küçük olası değeri, en olası değeri ve en büyük olası değeri ifade etmektedir. Tanımlanan üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu şu şekilde ifade edilmektedir [4]:

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise, } (x - a_1) / (a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise, } (a_3 - x) / (a_3 - a_2) \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise, } 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

3.2.3.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ve α_4) parametreleri ile tanımlanmaktadır. Bu üyelik fonksiyonu şu şekilde ifade edilmektedir [4]:

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise, } (x - a_1) / (a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise, } 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 & \text{ise, } (a_4 - x) / (a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ veya } x < a_1 & \text{ise, } 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

3.2.3.3. Çan Eğrisi (Gauss) Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu c ve σ parametreleri ile tanımlanmaktadır. Aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [102]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - c}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3.3)$$

3.2.3.4. Genelleştirilmiş Çan Üyelik Fonksiyon

Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu a, b ve c şeklinde üç parametre ile tanımlanmaktadır [102]:

$$\Omega(x; a, b, c) = \left\{ \frac{1}{1 + \left| \frac{(x-c)}{a} \right|^{2b}} \right\} \quad (3.4)$$

3.2.3.5. Sigmoid Üyelik Fonksiyonu

Sigmoidal üyelik fonksiyonu α ve β olmak üzere 2 parametreye sahip asimptotik bir eğri ile şu şekilde tanımlanmaktadır [4]:

$$\text{sig}(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - c)]} \quad (3.5)$$

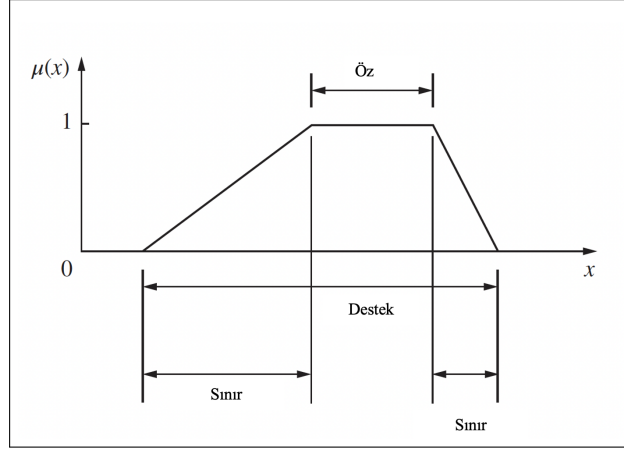
3.2.4. Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyon Özellikleri

Bulanık kümenin içerdiği tüm bilgiler üyelik fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonun özellikleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir [4].

Üyelik dereceleri 1’e eşit olan öğelerin toplandığı alt küme kısmına o bulanık kümenin özü (core) denilmektedir. Sembolik olarak bir kavramın üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ olarak gösterilmektedir. Şekil 3.2’deki gibi üçgen bir üyelik fonksiyonunda bir adet ögenin üyelik derecesi 1’e eşit olduğundan dolayı üçgen üyelik fonksiyonlarının özü bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun aksine, bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o alt kümenin dayanağı veya desteği (support) adı verilmektedir. Destek aralığında bulunan her ögenin 0 ile 1 arasında üyelik dereceleri mevcuttur ve matematiksel olarak $\mu(x) > 0$ biçiminde gösterilmektedir [103]. Bununla birlikte, bir bulanık $\tilde{A}$ kümesi, ancak ve ancak, $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ olması durumunda normaldir. Ayrıca bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi ancak ve ancak $\forall x \in U$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ olduğu durumda boş küme olarak tanımlanabilmektedir [103].

3.2.5. Bulanık Kümelerde Durulaştırma

Durulaştırma işlemi, bulanık sayıyı kesin bir değere veya sayıya dönüştüren bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bulanık modellemede ve kontrol sistemlerinde kullanılan bu süreç, sistemlerden gelen bulanık çıktıları kesin değerlere dönüştürmek için kullanılmaktadır [104]. Literatürde sıklıkla kullanılan durulaştırma yöntemleri alt başlıklarda verildiği gibidir.



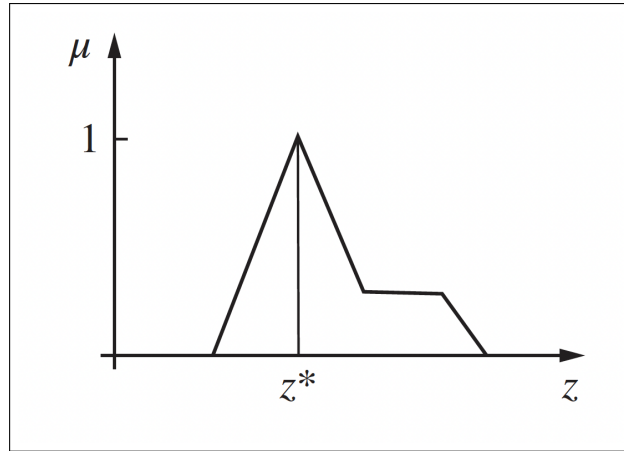
Şekil 3.2: Üyelik Fonksiyon Özellikleri [4]; s.85

3.2.5.1. En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemi

Bu yöntem bulanık çıkarım kümesindeki en yüksek üyelik derecesine sahip öge değerini vermektedir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için tepe noktaları olan bir bulanık çıkarım kümesine ihtiyaç duyulmaktadır. En büyük üyelik ilkesi yöntemi matematiksel olarak,

$$\mu(z^*) \geq \max\{\mu(z), z \in Z\} \quad (3.6)$$

biçiminde ifade edilmektedir [4]. Şekil 3.3'te en büyük üyelik ilkesi yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.



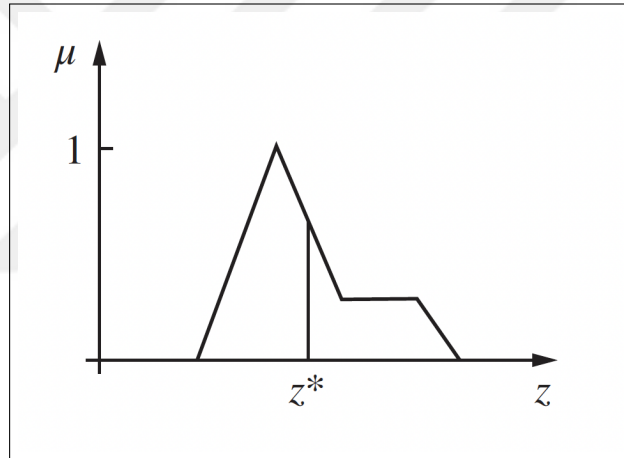
Şekil 3.3: En Büyük Üyelik İlkesi Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.95

3.2.5.2. Sentroid Yöntemi (Ağırlık Merkezi Yöntemi)

Ağırlık merkezi yöntemi olarak da adlandırılan sentroid yöntemi, Sugeno tarafından 1985 yılında geliştirilmiştir. Geliştirildiği zamandan günümüze kadar en yaygın olarak kullanılan durulaştırma yöntemidir. Sentroid yöntemi,

$$z^* = \frac{\int \mu(z) \cdot z dz}{\int \mu(z) dz} \quad (3.7)$$

biçiminde ifade edilmektedir [103]. Şekil 3.4'te sentroid yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Sentroid Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.95

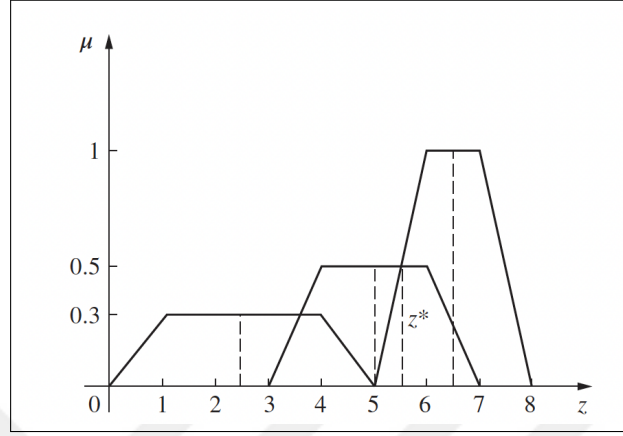
3.2.5.3. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bulanık çıkarım kümesinden elde edilen çıktıda her uyelik fonksiyonunun en büyük uyelik değeri ile ağırlıklandırılması olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için, simetrik üyelik fonksiyonunun belirlenmiş olması gerekmektedir. Yukarıda ifade edilen durum matematiksel olarak,

$$z^* = \frac{\sum_i \mu_i z_i}{\sum_i \mu_i} \quad (3.8)$$

biçiminde ifade edilmektedir.

Burada μ_i, i . bulanık kümenin en büyük üyelik fonksiyonu değerini ifade ederken z_i değeri i . bulanık kümenin yatay ekseninde oluşturduğu aralığın orta değeridir [103]. Şekil 3.5'te ağırlıklı ortalama yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Ağırlıklı Ortalama Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.96

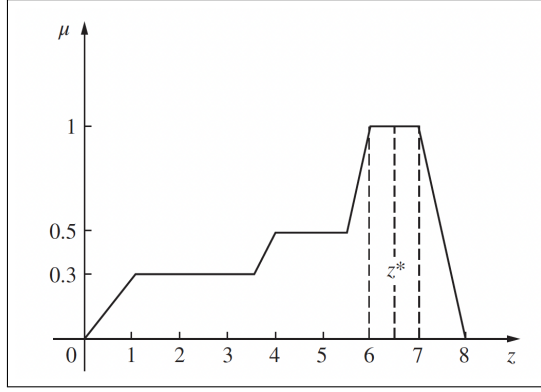
3.2.5.4. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi

En büyük üyelik ilkesi yönteminde bulanık çıkarım kümesinin tek bir tepe noktası olduğu varsayılmaktadır ve ona göre durulaştırma işlemi yapılmaktadır. Ancak bazı durumlarda durulaştırma işlemi yapılacak olan bulanık çıkarım kümesinde tek bir tepe noktasının yerine Şekil 3.6'da olduğu gibi birden çok tepe noktasının yer aldığı düz bir plato kısmı bulunmaktadır. Bu tarz bulanık çıkarım kümelerinde durulaştırma işlemi ortalama en büyük üyelik ilkesi yöntemine göre yapılmaktadır. Şekil 3.6'da yer alan a ve b değerleri üyelik fonksiyonu değeri 1'e eşit olan uç değerleri göstermektedir. Ortalama en büyük üyelik yöntemi ile durulaştırılmış değer,

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.9)$$

işlemi ile bulunmaktadır [103].

Şekil 3.6'da ortalama en büyük üyelik yöntemi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi ile Durulaştırma [4]; s.99

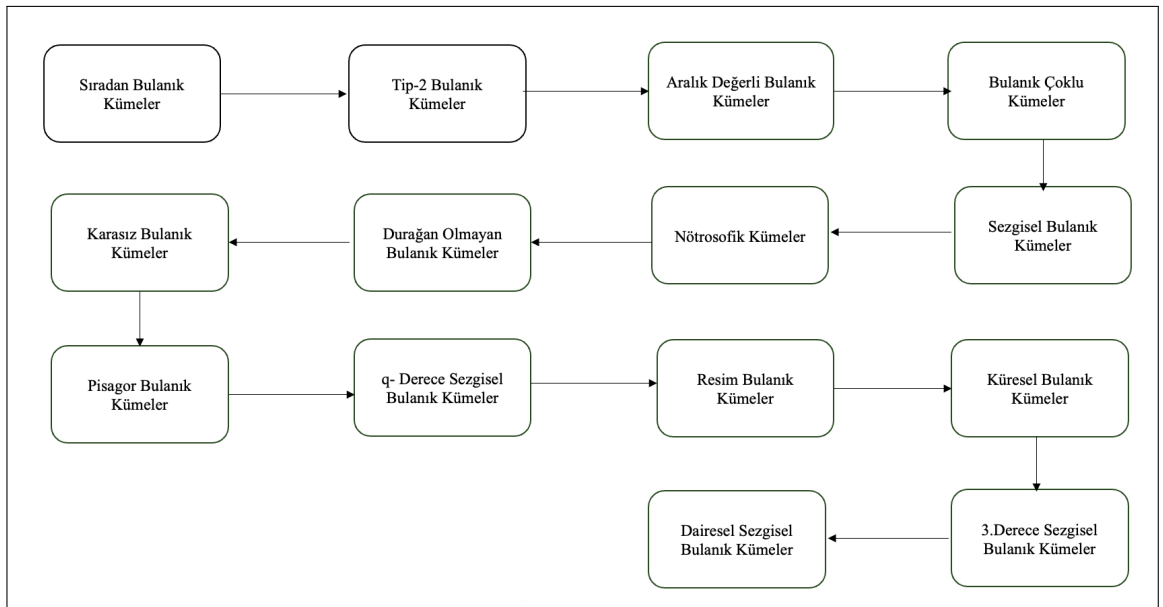
3.3. BULANIK KÜME UZANTILARI

3.3.1. Bulanık Küme Uzantılarının Tarihçesi

Zadeh [5] bulanık küme kavramını literatüre tanıtmalarının ardından problemlerin daha doğru bir şekilde modellenmesi için bulanık kümeye dayalı birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan ve geliştirilmiş bulanık küme tanımlarına literatürde bulanık küme uzantıları denilmektedir. Literatürde yer aldıkları kronolojik sıra ile Şekil 3.7'de sunulmuştur. Buradan da görüleceği üzere ilk olarak, Sıradan Bulanık Kümeler tanıtılmıştır. 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Bu kümeler, elemanların üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değiştiği kümelerdir. Bu temel üzerinde birçok uzantı ve geliştirme yapılmıştır. Bu temelden yola çıkarak, Tip-2 Bulanık Kümeler geliştirilmiştir. Bu kümeler, üyelik derecelerinin kendisinin de bulanık olduğu daha karmaşık yapılar sunmaktadır. Daha sonra, Aralık Değerli Bulanık Kümeler ortaya çıkmıştır. Bu uzantıda, üyelik dereceleri kesin bir değer yerine bir aralık olarak tanımlanmaktadır, böylece belirsizlik daha esnek bir şekilde ifade edilmektedir. Bu gelişmelerden sonra, Bulanık Çoklu Kümeler tanıtılmıştır. Bu kümelerde, bir eleman birden fazla üyelik derecesine sahip olabilir, böylece belirsizliğin farklı yönleri yakalanabilir. Diğer yandan, Kararsız Bulanık Kümeler geliştirilmiştir. Bu kümeler, bir elemanın bir kümeye ait olup olmama konusunda birden fazla üyelik derecesine sahip olabileceği durumları ifade etmektedir. Kararsız Bulanık Kümelerden sonra, Pisagor Bulanık Kümeler ortaya çıkmıştır. Bu kümelerde, üyelik ve üyelik dışı derecelerinin karelerinin toplamı 1'den küçük olmalıdır. Bunu takiben,

q-Derece Sezgisel Bulanık Kümeler geliştirilmiştir. Bu uzantı, daha fazla esneklik sağlayarak belirsizliği daha iyi temsil etmektedir. Tip-2 Bulanık Kümelerden gelişen bir başka uzantı, Durağan Olmayan Bulanık Kümelerdir. Bu kümeler, üyelik derecelerinin zamanla değişebileceği dinamik sistemlerdir. Bu süreçte, Nötrsofik Kümeler de geliştirilmiştir. Bu kümeler, doğruluk, yanlışlık ve belirsizlik derecelerini birlikte değerlendirir ve karmaşık belirsizlikleri modellemek için kullanılmaktadır. Sezgisel Bulanık Kümeler ise, üyelik ve üyelik dışı derecelerine ek olarak bir belirsizlik derecesi içermektedir. Bu gelişmelerden sonra, Resim Bulanık Kümeler ortaya çıkmıştır. Bu kümeler, üyelik, üyelik dışı ve belirsizlik derecelerine ek olarak bir de karşıt üyelik derecesi içermektedir. Son olarak, Küresel Bulanık Kümeler tanıtılmıştır. Bu kümeler, 3-boyutlu belirsizliği modellemek için geliştirilmiş küresel bir yapıdır. Daha ileri bir uzantı olarak, Dairesel Sezgisel Bulanık Kümeler geliştirilmiştir. Bu kümelerde, üyelik ve üyelik dışı dereceler dairesel olarak tanımlanmaktadır. Son olarak ise, 3. Derece Sezgisel Bulanık Kümeler ve Dairesel Sezgisel Bulanık Kümeler geliştirilmiştir. Bu uzantı, daha karmaşık belirsizlik durumlarını modellemek için tasarlanmıştır [5], [105].

Bu şekilde, bulanık kümeler teorisi zaman içinde gelişerek daha karmaşık ve belirsiz durumları modellemek için çeşitli uzantılar ile zenginleştirilmiştir.



Şekil 3.7: Bulanık Küme Uzantıları [5], [6]; s.19

Bu bölümde literatürde sıklıkla kullanılan ve risk kavramı ile yakından ilişkili olan sezgisel bulanık küme, tip-2 bulanık küme, kararsız bulanık küme ve aralık değerli bulanık küme ele alınmıştır.

3.3.2. Sezgisel Bulanık Küme

Sezgisel bulanık küme, K. Atanassov tarafından 1986 yılında ortaya koyulmuştur [106]. Sezgisel bulanık küme teorisinde üyelik fonksiyonu ile üye olmama fonksiyonunun toplamı 0 ile 1 arasında yer alan bir değerdir [107]. Bu durumda üyelik derecesi hesaplamaya dahil edilmektedir ve üye olmama derecesi, üyelik derecesinin tamamlayıcısı olarak tanımlanmaktadır. Ancak gerçek hayatta oluşabilen dilsel olumsuzlama, mantıksal olumsuzlamanın yerini almamaktadır. Üyelik fonksiyonu tanımlanırken bir takım tereddütler oluşabilmektedir. Dolayısıyla, tereddüt nedeniyle üye olmama derecesi, üyelik derecesinin tümleyeninden küçük veya ona eşittir. Böylece farklı üyelik fonksiyonları ile farklı sonuçlar elde edilebilmektedir [4]. Bu nedenle Atanassov, üyelik fonksiyonunu tanımlarken bir tür tereddüt veya bilgi eksikliğini de göz önüne alarak üye olmama derecesinin üyelik derecesinin tümleyenine eşit olmadığı sezgisel bir bulanık küme önermiştir. Klasik bulanık küme teorisi ile karşılaştırıldığında, sezgisel bulanık küme daha fazla belirsizliği dikkate almaktadır [4], [108]. Bu durum neticesinde üyelik fonksiyonu üzerindeki bazı belirsizliklerin modellenmesine izin veren bir avantaja sahiptir. Diğer bir ifade ile bulanık kümeler, referans kümesindeki her bir öge için üyelik derecesi gerektirirken, sezgisel bulanık küme ise bu değer üzerinde bazı tereddütlerin dahil edilmesine izin vermektedir [109].

Sonlu bir X kümesindeki sezgisel bulanık küme olan A kümesi matematiksel olarak Eşitlik 3.10'da ifade edildiği şekilde temsil edilmektedir:

$$A = \{x, \mu(x), \nu(x) | x \in X\} \quad (3.10)$$

$$0 \leq \mu(x) + \nu(x) \leq 1 \quad (3.11)$$

Tereddüt derecesinin koşulu ise Eşitlik 3.12’de ifade edilmiştir.

$$\mu(x) + \nu(x) + \pi(x) = 1 \quad (3.12)$$

3.3.3. Kararsız Bulanık Küme

Kararsız bulanık kümeler, farklı üyelik fonksiyonlarının mümkün olduğu düşünülen durumları temsil etmesine izin veren bulanık kümenin bir türüdür [106]. Bulanık kümenin genellemesi olan bu küme, üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında olası birkaç değer ile ifade edilmesine olanak sağlamaktadır [110]. Birden fazla uzmanın dahil olduğu ve karar verme zorunluluğunun meydana geldiği durumların temsil edilmesine olanak sağlayan bu küme [111] bazı durumlarda probleme katkı sağlayan karar vericiler veya uzmanlar için bir dizi olası değer durumu oluşmaktadır. Bu nedenle, birden fazla olası değeri göz önüne aldıkları için tercihlerini ve değerlendirmelerini ifade etmek için tek veya aralıklı bir değer kullanımı mümkün olmamaktadır. Böyle bir durumda, bulanık kümenin diğer uzantıları uygun olmazken kararsız bulanık küme bu sorunu uygun şekilde çözebilmektedir [110]. Bu bulanık kümenin avantajı, bir ögenin bir kümeye üyeliğini belirlemenin zorluklar barındırdığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Çünkü; bu tür durumlarda bu zorluğun birkaç farklı değer arasındaki belirsizlikten kaynaklanıyor olması gerçeği mevcuttur [111].

3.3.4. Tip-2 Bulanık Küme

Tip-2 bulanık küme kavramı [5] tarafından Tip 1 veya sıradan bulanık kümenin bir uzantısı olarak tanımlanmıştır. Tip-2 bulanık küme, tip-1 bulanık kümesindeki üyelik değerlerindeki belirsizliği modelleyebilen bulanık küme çeşididir. Bunun sebebi; üyelik derecelerindeki belirsizliği modellemeyi mümkün kılan ek bir serbestlik derecesi sağlamasıdır. Böylece tam

olarak üyelik fonksiyonu belirlemenin zor olduğu durumlarda kullanımı oldukça uygundur [5].

Tip-1 bulanık küme ile karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterme potansiyeline sahip olduğunu söylemek mümkündür. Bunun nedeni, tip-1 bulanık kümelerde yanlış ölçüm ve üyelik değerlerinin, verilerin uygun üyelik değerleri ile uyumsuzluğu gibi farklı belirsizlik kaynakları mevcuttur [112]. Ayrıca Tip-1 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları iki boyutlu iken tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları üç boyutludur [113].

3.3.5. Aralık Değerli Bulanık Kümeler

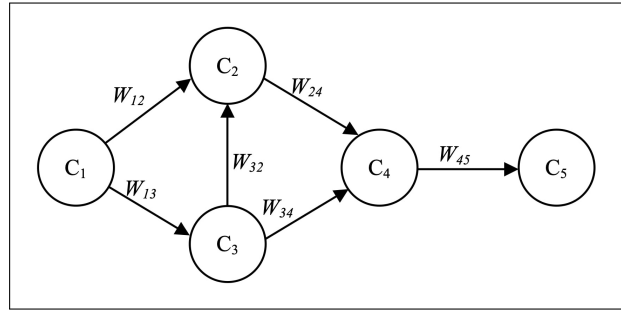
Aralık değerli bulanık kümelerde üyelik dereceleri aralık değeri ile temsil edilmektedir [114]. Bazı problemlerde karar vericiler, kesin olarak üyelik derecesini veya üye olmama derecesini belirleme konusunda zorluk yaşamaktadır. Bu nedenle karar verme durumlarında makul olan aralık değerleri ile çözüm sağlamak mümkündür [115]. Nitel bilgiler ile çalışılması durumunda bilgi kaybını önlemek amacıyla karar verme modellerinin esnekliğini ve uygulanabilirliğini artırmak için aralık değerli bulanık küme kullanılmaktadır [115].

3.4. BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAR

Bulanık Bilişsel Haritalar, karmaşık sistemlerin tanımlanmasına yardımcı olan ve sistemin farklı yönlerini gösteren kavramlardan oluşmaktadır. Birbirleriyle etkileşim içinde olan bu kavramlar sistemin dinamiklerini ifade etmektedir. Ayrıca karmaşık sistemler hakkında birikmiş bilgiler yardımıyla sistemin davranışını tanımlamanın basit bir yolu olan BBH, bilgiyi sembolik bir şekilde temsil etmektedir [116]. Başka bir ifadeyle, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birleşimi olan ve düğümlerin kavramları temsil ettiği bulanık yönlendirilmiş grafiklerdir [117]. Son yıllarda Bulanık Bilişsel Haritalar sosyal bilimler, mühendislik, bilgi teknolojisi, uzman sistemler, tıp ve eğitim gibi önemli çalışma alanlarında kullanılmaktadır [118]. Bilişsel haritalar, karmaşık sistemleri modellemek için bazı durumlarda kısıtlayıcı olabilmektedir. Buna karşılık Bulanık Bilişsel Harita, ilişkilerin

derecesini ve yönünü belirtmek için bulanık mantığı kullanmaktadır ve böylece kavramlar arasındaki bağlantıların daha şekillendirilebilir olmasına olanak sağlamaktadır [119]. Kosko [119] ile Zadeh [120] tarafından ortaya koyulan ve bulanık mantığa dayanan bu yöntem; modelleme, karar verme, analiz, tahmin, sınıflandırma vb. amaçlar doğrultusunda karmaşık sistemleri analiz etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [121].

BBH'de kavramlar arasındaki nedensel etkileşimin üç biçimi mevcuttur. Burada W_{ij} değeri, C_i kavramının C_j kavramını ne kadar güçlü etkilediğini göstermektedir [7]. Diğer bir ifadeyle, W_{ij} , C_i ve C_j arasındaki ağırlık ilişkisini göstermektedir [117]. W_{ij} işareti C_i ve C_j kavramları arasındaki ilişkinin pozitif mi yoksa negatif mi olduğunu göstermektedir. Kavramsal ilişkiler için pozitif nedensellik ($W_{ij} > 0$), negatif nedensellik ($W_{ij} < 0$) ya da hiç ilişki olmaması ($W_{ij}=0$) olmak üzere üç durum mevcuttur [7]. Bulanık Bilişsel Haritalar oklarının çift yönlü yapısı, değişkenler arasındaki karşılıklı etkileşimleri ifade etmektedir. Bu yapı, geri bildirim döngülerini ve sistemin dinamik doğasını modellemek için önemlidir [119]. Örnek BBH gösterimi Şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3.8: Bulanık Bilişsel Harita Örneği [7]; s.3

Tüm bu ilişkilerin ve ağırlıkların hesaplamaya dahil edildiği BBH çıkarım algoritması mevcuttur. Her kavramsal değişken C_i için A_i^t 'nin değeri [119] tarafından kullanılan aktivasyon fonksiyonundan türetilen denklem olan Eşitlik (3.13) ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde f aktivasyon fonksiyonu olmak üzere; A_i^t kavramsal değişken C_i 'nin t zamanındaki değerini temsil etmektedir. A_i^t , C_i 'yi etkileyen ve C_j 'den etkilenen değişkeninin t zamanındaki değerini yansıtmaktadır. İlişkili olmayan kavramlar için formülasyondan dolayı negatif bir ilişki ortaya çıkabilmektedir. Bunun için diğer aktivasyon

fonksiyonlarından türetilmiş denklemlerden farklı olarak Eşitlik (3.13) tercih edilmiştir. Böylece bu durumun oluşumuna engel olunmuştur ve modeli en iyi şekilde ifade eden denklem kullanılmıştır.

$$A_i^t = f \left(\sum_j A_j^{t-1} W_{ji} + A^{t-1} \right) \quad (3.13)$$

Sistem yapısının oluşturulmasının ardından BBH algoritmasının çalışması aşağıdaki gibidir [119]:

- Mevcut sistemin durumunu gösteren $A^{(k)}$ vektörü tanımlanmaktadır.
- $A_i^{(t+1)} = f \left(\left(2 \times A_i^{(t)} - 1 \right) + \sum_{j=1, j \neq i} N_j W_{ji} \times A_j^{(t)} \right)$ ve kullanılacak eşik fonksiyon formülü yardımıyla $A^{(t+1)}$ tanımlanmaktadır.
- Tanımlanan $A^{(t+1)}$, bir sonraki adımın yeni $A^{(t)}$ vektörü olarak tanımlanmaktadır.

Bulanık Bilişsel Harita yönteminde kullanılan değerleri belirli bir sayısal aralığa dönüştürmek için literatürde yaygın olarak kullanılan dört farklı dönüşüm fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar iki değerli (bivalent), üç değerli (trivalent), sigmoid ve tanjant hiperbolik (tanh) eşik fonksiyonlarıdır. Bu tez çalışmasında Eşitlik (3.14)'te yer alan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

$$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (3.14)$$

Modelin oluşturulması ve metriklerin hesaplanmasının ardından BBH denklemi denge durumuna ulaşincaya kadar yinelemeli işleme tabi tutulmaktadır. Beş değişkenin yer aldığı ve yapısı Şekil 3.8'de verilen ilişkilerin ağırlıklarını içeren örnek komşuluk matrisi Şekil

3.9’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere; örneğin 1. ve 2. değişken arasındaki ilişkinin ağırlığı W_{12} şeklinde gösterilmiştir. Diğer değişkenlerin arasındaki ağırlık değerleri aynı şekilde ifade edilmiştir.

$$E = \begin{bmatrix} 0 & W_{12} & W_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_{24} & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & W_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.9: Komşuluk Matrisi [7]; s.11

3.5. BAYES YAKLAŞIMI VE BAYES AĞLARI

3.5.1. Bayes Teoremi

Bayes teoremi, matematiksel istatistikte önemli bir teoremdir ve birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Bu teorem, evrensel gerçeklerle gözlemleri bir araya getirerek her duruma model oluşturmayı amaçlar. Temel olarak Bayes teoremi, klasik istatistiksel yöntemlerden farklı olarak kesinlik içermeyen bilgilerin değerlendirilmesinde gözlem ve görüşlerin kullanılmasına odaklanmaktadır [122]. Bu teorem; herhangi bir durumun modelini oluşturmada evrensel doğruları ve gözlemleri kullanarak sonuçlar üretmeyi amaçlamaktadır. Kesin olmayan bilginin tahmininde, gözlemleri ve subjektif görüşleri kullanması ise bu yaklaşımı, klasik istatistiksel yöntemlerden ayırmaktadır [123]. Klasik mantıktan farklı olarak, Bayes yaklaşımında değer 0 veya 1 olmak yerine 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu durum, bir hipotezin kabul edilmesinin veya reddedilmesinin olasılığına göre belirlenmediği anlamına gelmektedir. Bu esneklik, Bayes teoreminin gerçek dünya problemlerine daha iyi uyum sağlamasını sağlamaktadır [122].

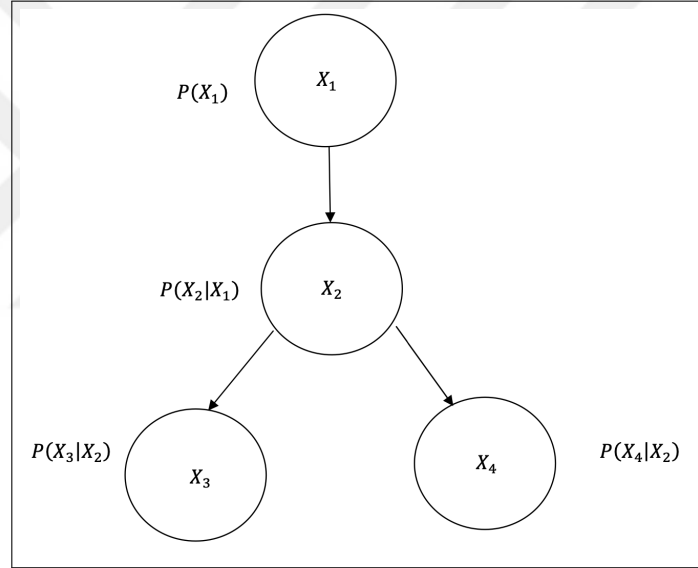
3.5.2. Bayes Ağı

Bayes Ağı, düğümlerin değişkenleri temsil ettiği ve değişkenler arasındaki olasılık ilişkilerinin yön oklarıyla gösterildiği tek yönlü, döngüsel olmayan olasılıksal ağlardır [124]. Niteliksel ve niceliksel olmak üzere iki düzeyde temsil edilmektedir. Niteliksel düzeyde, düğümlerin değişkenleri temsil ettiği, yönlendirilmiş okların modele dahil edildiği ve koşullu bağımsızlık ilişkilerinin tanımlandığı yönlendirilmiş, döngüsel olmayan bir grafiği temsil etmektedir [85]. Bu bağlamda, yöneticilere ve karar vericilere tavsiyelerde bulunmak amacıyla belirsizlikler ve karmaşıklıklar hakkında daha iyi bir anlayış kazanmak için bir sistemi veya problemi modellemeye yarayan yararlı bir araçtır [125]. Problemin modelini oluşturmak için kullanılan bir dizi değişken üzerindeki olasılık dağılımının üst düzey bir temsidir [126]. Yönlendirilmiş Döngüsel Olmayan Grafik (DAG) ve Koşullu Olasılık Tablosu (CPT) ile bir dizi değişken arasındaki bağımlılıkları açıkça tanımlayan bir tür olasılıksal grafik modelidir [127]. Olasılık teorisi ve ağ oluşturma tekniklerine dayanarak geliştirilen bu yöntem, bilgiyi temsil etmek için güçlü bir çerçeve sunan ve matematiksel çıkarım hesaplaması ile birleştirilmiş olasılık değerlerinin grafiksel bir sunumudur. Ayrıca rastgeleliği modelleme ve doğrusal olmayan nedensel ilişkileri belirleme konusunda da iyi bir çerçeveye sahiptir. Böylece kesin olmayan ve belirsiz bilgilere dayalı çıkarımlar yapılabilir [75]. Bayes Ağı yönteminin, değişkenler arasındaki bağımlılık ilişkilerinin görsel olarak temsil edilmesi, tek bir çıktı değişkeninden bağımsız çıkarımlar yapılması ve bu çıkarımların diğer istatistiksel modellere göre güncellenmesi gibi özellikleri nedeniyle birçok farklı alanda kullanımı giderek artmaktadır [128]. Çeşitli alanlardaki mevcut sorunlara potansiyel çözümler sunan bu yöntem, karmaşık problemler için temsil aracı olarak kullanılabilir [126].

Bayes Ağı, düğümlerden ve oklardan oluşmaktadır. Her düğüm, modellenecek alandaki ilgi değişkenlerini temsil etmektedir. Her düğümün arkasında ise o düğüm fonksiyonunun durumlarına ait olasılık dağılımını temsil eden bir fonksiyon bulunmaktadır. Bu fonksiyon,

CPT tabloları ile ifade edilmektedir [129]. Bu tablolar, düğümün değerlerini belirleyen koşullar altındaki olasılıkları göstermektedir. Bu durumda her bir koşulun altında düğümün olasılık değeri bulunmaktadır ve her durum için evet/hayır ya da artar/azalır gibi iki durumu içeren ifadeler mevcuttur [130]. Yönlendirilmiş döngüsel grafik, düğümler ve yönlendirilmiş oklardan oluşmaktadır. Düğümler değişkenleri temsil ederken oklar ise düğümleri bağlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca oklar ve düğümler arasında nedensel bir etki veya istatistiksel ilişki olduğunu varsayılmaktadır [127].

Okların yönüne göre değişkenler ebeveyn ve çocuk düğümleri isimlerini almaktadır [8]. Ebeveyn ve çocuk düğümü ilişkisi Şekil 3.10'da örnek bir şema ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.10: Bayes Ağ Yapısı [8]; s.25

Burada, $P(X_1|X_2)$ ile X_1 verildiğinde X_2 'nin koşullu olasılığı ifade edilmektedir. Oluşturulan ağda, X_1 rasgele değişkeni X_2 rasgele değişkeninin ebeveyni, X_2 rasgele değişkeni ise X_1 rasgele değişkeninin çocuğudur. Aynı şekilde X_3 ve X_4 rasgele değişkenleri X_2 rasgele değişkeninin çocuğudur.

Ağda yer alan koşullu olasılıkların çarpımı ağın ortak olağılık dağılımını vermektedir. Ağda yer alan değişken sayısı n olmak üzere ortak olağılık dağılımı Eşitlik (3.14)'te ifade

edilmektedir.

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{Ebeveyn}(X_i)) \quad (3.15)$$

3.5.3. Bayes Ağlarının Avantajları ve Sınırlamaları

Veri analizi için birçok teknik bulunmaktadır. Bunlar arasında kural tabanları, karar ağaçları ve yapay sinir ağları gibi birçok yöntem bulunmaktadır. Bayes ağları, bu yöntemlere kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Nedensellik açısından, karmaşık sistemlerdeki olguların nedensel gösteriminde sıkça kullanılmaktadır ve değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri öğrenmeyi kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, subjektif ve objektif veriyi birleştirme becerisine sahip olan bu yöntem, modelin güvenilirliğini artırmaktadır.

Klasik istatistikte kullanılan tahmin modelleri genellikle yetersiz veri veya nedensel açıklama konusunda sınırlı kalmaktadır. Bayes ağlarında geriye doğru çıkarsama mümkündür, bu da değişkenler arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Ayrıca hesaplama maliyetini azaltmakta ve modelin boyutunu kontrol etmede etkili olmaktadır. Diğer bir avantajı ise veri sınırlamalarını aşarak belirsizlikleri gidermeye ve gözlemleri, model simülasyonunu ve uzman bilgisini birleştirmeye olanak tanımaktadır [131]. Bayes ağları; eksik verilerin üstesinden gelmek ve değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri öğrenmek için başarıyla uygulanabilecek bir yöntemdir [132].

Bayes ağlarının sınırlamaları ise uzmanlık gereksinimi, veri toplama zorlukları, hesaplama karmaşıklığı, sürekli değişkenler ile başa çıkma zorluğu, modelin hesaplama karmaşıklığı gibi faktörleri içermektedir [133].

3.6. KOŞULLU OLASILIKLARIN ÇIKARIMI

U adlı bir kümede değer alan X değişkeninin olasılık dağılımı, U 'dan $[0, 1]$ 'e kadar olan ve $\pi_x(u)$ ile gösterilen bir fonksiyondur. Eğer $X = u$ biliniyor ise, o zaman $X = u$ verildiğinde Y 'nin koşullu olasılık dağılımı $\pi_{y|x}(v | u)$ şeklindedir. Burada $\pi(y | x)$ neden-sonuç ilişkisinin gücü ile neden değişkeninin değer çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Koşullu olasılık dağılımı, etki değişkeninin her durumunu ve neden değişkeninin ise belirli bir durumu ile ilişkilendirilmiştir.

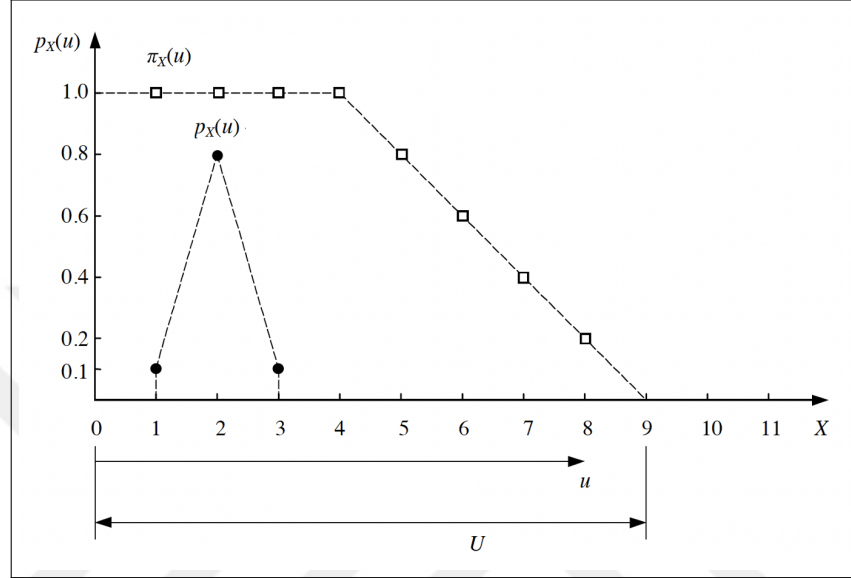
Klasik olasılık çıkarımından farklı olarak nedensel ilişkilerin gücünü ve her değişkenin farklı durumlarını belirlemek için üçgen bulanık sayılar kullanılmaktadır. Eğer $\tilde{M} = (m, a, b)$ üçgensel bulanık sayı, X ve Y arasındaki nedensel ilişkinin gücünü temsil ediyor ise $X = \tilde{s}_i$ burada $\tilde{s}_i = (n, a', b')$ verildiğinde $\pi(y | x = \tilde{s}_i)$ Eşitlik (3.15)'te ifade edildiği şekilde hesaplanmaktadır [88].

$$\pi(y | x = \tilde{s}_i) = \begin{cases} 1 - \frac{m \cdot n - y}{n \cdot a + m \cdot a'} & m \cdot n - (n \cdot a + m \cdot a') \leq y \leq m \cdot n \\ 1 - \frac{y - m \cdot a}{n \cdot b + m \cdot b'} & m \cdot n \leq y \leq m \cdot n + (n \cdot b + m \cdot b') \\ 0 & \text{Diğer durum} \end{cases} \quad (3.16)$$

3.6.1. Olabilirlikten Olasılığa Geçiş (Possibility to Probability)

Bu iki kavramın doğru bir şekilde anlaşılması ve karşılaştırılması için literatürde örnek olarak sunulan yumurta örneği mevcuttur . Örneğin, bir kişi sabah kahvaltısı için yumurta yemeyi düşünmektedir. 'Possibility' (olasılık) kavramı, bu kişinin yumurta yeme isteme olasılığını ifade etmektedir. Kişi genellikle yumurta sever ise, yumurta yeme olasılığı yüksek olacaktır. Ancak bu bir kesinlik değildir, çünkü kişi belki o gün farklı bir kahvaltı tercih edebilmektedir. Diğer yandan, 'probability' (olasılık) kavramı, yumurta yeme olasılığının sayısal bir ifadesidir. Örneğin, kişinin son bir haftada her gün yumurta yediği bir durum ele alınsın. Bu durumda, yumurta yeme olasılığı çok yüksek bir sayısal değere sahip olacaktır, çünkü bu olasılık geçmiş deneyimlere dayanarak hesaplanabilmektedir [9].

Bu örnekte, 'possibility' genel bir düşünce veya istek seviyesini ifade ederken, 'probability' sayısal bir olasılığı ifade etmektedir. 'Possibility' daha subjektif ve genel bir kavram iken, 'probability' daha spesifik ve sayısal bir değer ile temsil etmektedir. Şekil 3.11'de bu iki kavramın olasılık dağılımları gösterilmiştir [9].



Şekil 3.11: Olasılık Dağılımı [9]; s.507

Tüm bu bakış açısından yararlanılarak Bayes Ağına ait tabloların oluşturulması için olasılık dönüşümüne ihtiyaç vardır. İlk olarak [134] tarafından ortaya atılan olasılık derecesini dönüştürmek için [135], olabilirlik-olasılık (possibility-probability) tutarlılığı ilkesini önermiştir ve bu prensibe ilave olarak bazı varsayımlarda bulunmuştur [88]. Öncelikle;

$$\pi(x) \succ \pi(x') \Leftrightarrow p(x) \succ p(x') \quad (3.17)$$

olmak üzere $p(x)$ hesabı Eşitlik (3.17) ile hesaplanmaktadır.

$$\forall x \in [a, b], p(x) = \int_0^{\pi(x)} d\alpha / |A_\alpha| \quad (3.18)$$

Bu denklemde yer alan $|A_\alpha|$ alfa kesim genişliğidir ve $|A_\alpha| = M_\alpha - m_\alpha$ ile hesaplanmaktadır.

Bulanık küme teorisinde bulanık kümelerin netleştirilmesi ve kesinleştirilmesinde rol oynayan alfa kesim fonksiyonu, olasılık fonksiyon ile aralık değerleri hesaplanırken kullanılmaktadır. Tanım olarak ise alfa kesim, bulanık kümenin bir elemanın üyelik derecesini 0 veya 1 arasında belirli bir değerde kesen fonksiyondur. Belirli bir kesim seviyesi, bulanık kümenin net bir sınıflandırmaya tabi tutulması için belirleyici olabilmektedir. Bu durum, bulanık mantık sisteminin daha kesin ve anlaşılır çıkarımlar yapmasına olanak tanımaktadır [130]. $\tilde{M} = (m, a, b)$ ise X ve Y arasındaki nedensel ilişkinin gücünü temsil etmektedir ve Eşitlik (3.18) ve Eşitlik (3.19) ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} m_\alpha &= (m \cdot n - m \cdot a' - n \cdot a) + (m \cdot a' + n \cdot a) \alpha \\ M_\alpha &= (m \cdot n + m \cdot b' + n \cdot b) - (m \cdot b' + n \cdot b) \alpha \\ |A_\alpha| &= (m \cdot a' + n \cdot a + m \cdot b' + n \cdot b) (1 - \alpha) \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\pi(y | x = \tilde{s}_i) = \begin{cases} 1 - \frac{m \cdot n - y}{n \cdot a + m \cdot a'} & m \cdot n - (n \cdot a + m \cdot a') \leq y \leq m \cdot n \\ 1 - \frac{y - m \cdot n}{n \cdot b + m \cdot b'} & m \cdot n \leq y \leq m \cdot n + (n \cdot b + m \cdot b') \\ 0 & \text{Diğer durumlar} \end{cases} \quad (3.20)$$

Daha sonra ise $\pi(y | x = \tilde{s})$ ve $p(y | x = \tilde{s})$ dönüşümü Eşitlik (3.20) ile sağlanmaktadır.

$$\begin{aligned} p(y | x = \tilde{s}_i) &= \int_0^{\pi(y|x)} \frac{d\alpha}{(m \cdot a' + n \cdot a + m \cdot b' + n \cdot b) (1 - \alpha)} \\ i &= 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (3.21)$$

Sağ ve sol taraf fonksiyonları, her bir koşullu olasılık fonksiyonunun dahil edilmesi sonucunda oluşmaktadır.

$$p(y | x = \tilde{s}_i) = \begin{cases} -\frac{1}{(m \cdot a' + n \cdot a + m \cdot b' + n \cdot b)} \log \left| \frac{m \cdot n - y}{n \cdot a + m \cdot a'} \right| \\ m \cdot n - (n \cdot a + m \cdot a') \leq y \leq m \cdot n \\ -\frac{1}{(m \cdot a' + n \cdot a + m \cdot b' + n \cdot b)} \log \left| \frac{y - m \cdot n}{n \cdot b + m \cdot b'} \right| \\ m \cdot n \leq y \leq m \cdot n + (n \cdot a + m \cdot a') \end{cases} \quad (3.22)$$

Burada $\tilde{s}_i = (n, a', b')$ verildiğinde nihai olasılık hesabı Eşitlik (3.22) ve Eşitlik (3.23) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$p(y = \tilde{s}_j | x = \tilde{s}_i) = \int_{r-c}^{r+d} -\frac{1}{(m \cdot a' + n \cdot a + m \cdot b' + n \cdot b)} \log \left| \frac{m \cdot n - y}{n \cdot a + m \cdot a'} \right| \quad (3.23)$$

ve/veya

$$p(y = \tilde{s}_j | x = \tilde{s}_i) = \int_{r-c}^{r+d} -\frac{1}{(m \cdot a' + n \cdot a + m \cdot b' + n \cdot b)} \log \left| \frac{y - m \cdot n}{n \cdot b + m \cdot b'} \right| \quad (3.24)$$

3.6.2. Durum Olasılık Tablolarının Oluşturulması

Her bir düğümünün genellikle birden fazla ebeveyni bulunmaktadır. Bundan dolayı tüm ebeveynlere bağlı olma olasılığının ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Örnek ile ifade edilecek olursa; A düğümünün iki ebeveyni B ve C olduğunu varsayalım, B ve C'ye bağlı olasılığının hesaplanması $p(A | B, C) = \alpha p(A | B) p(A | C)$ şeklindedir. Formülde yer alan α ise normalizasyon faktörü olup en önemli nokta ise $\sum_{a \in A} p(a | B, C) = 1$ olmasıdır. Verilen m durum ve n ebeveyn için belirli bir y değişkeninin $x_1 = \tilde{s}_{1i}, x_2 = \tilde{s}_{2i}, \dots, x_n = \tilde{s}_{ni}$ koşuluna bağlı $y = \tilde{s}_j$ hesabı Eşitlik (3.24)'te belirtilmiştir [88],[130].

$$p(y = \tilde{s}_j | x_1 = \tilde{s}_{1i}, x_2 = \tilde{s}_{2i}, \dots, x_n = \tilde{s}_{ni}) = \alpha p(y = \tilde{s}_j | x_1 = \tilde{s}_{1i}) \times p(y = \tilde{s}_j | x_2 = \tilde{s}_{2i}) \dots p(y = \tilde{s}_j | x_n = \tilde{s}_{ni}) \quad (3.25)$$

Sonraki adım ise $\alpha = 1/k$ için Eşitlik (3.25)'te gösterildiği şekilde her bir düğümün tüm durumları hesaba dahil edilmektedir [88],[130].

$$k = \sum_{j=1}^m [p(y = \tilde{s}_j | x_1 = \tilde{s}_{1i}) \cdot p(y = \tilde{s}_j | x_2 = \tilde{s}_{2i}) \dots p(y = \tilde{s}_j | x_n = \tilde{s}_{ni})] \quad (3.26)$$

Tüm değişkenler için ayrı ayrı normalizasyon faktör hesapları Eşitlik (3.26), Eşitlik (3.27) ve Eşitlik (3.28) ile hesaplanmaktadır [88],[130] .

$$\begin{aligned} p(y = \tilde{s}_1 | x_1 = \tilde{s}_{1i}, x_2 = \tilde{s}_{2i}, \dots, x_n = \tilde{s}_{ni}) &= \frac{1}{k} \cdot p(y = \tilde{s}_1 | x_1 = \tilde{s}_{1i}) \cdot \\ &\times p(y = \tilde{s}_1 | x_2 = \tilde{s}_{2i}) \dots p(y = \tilde{s}_1 | x_n = \tilde{s}_{ni}) \end{aligned} \quad (3.27)$$

$$\begin{aligned} p(y = \tilde{s}_2 | x_1 = \tilde{s}_{1i}, x_2 = \tilde{s}_{2i}, \dots, x_n = \tilde{s}_{ni}) &= \frac{1}{k} \cdot p(y = \tilde{s}_2 | x_1 = \tilde{s}_{1i}) \cdot \\ &\times p(y = \tilde{s}_2 | x_2 = \tilde{s}_{2i}) \dots p(y = \tilde{s}_2 | x_n = \tilde{s}_{ni}) \end{aligned} \quad (3.28)$$

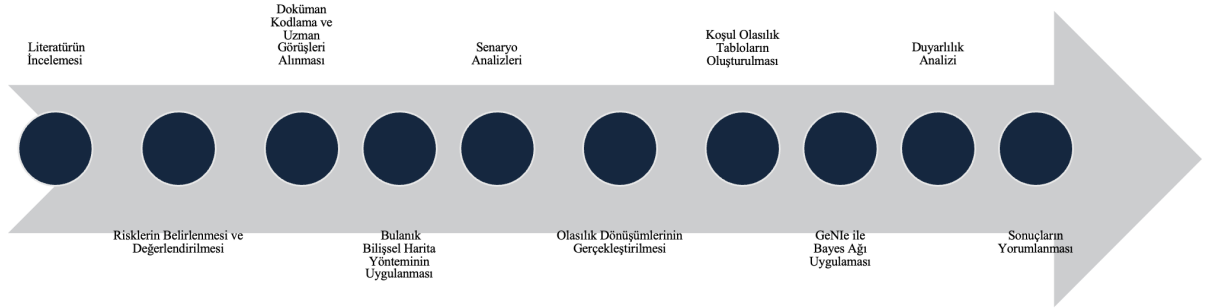
$$\begin{aligned} p(y = \tilde{s}_m | x_1 = \tilde{s}_{1i}, x_2 = \tilde{s}_{2i}, \dots, x_n = \tilde{s}_{ni}) &= \frac{1}{k} \cdot p(y = \tilde{s}_m | x_1 = \tilde{s}_{1i}) \cdot \\ &\times p(y = \tilde{s}_m | x_2 = \tilde{s}_{2i}) \dots p(y = \tilde{s}_m | x_n = \tilde{s}_{ni}) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Bir değişkenin farklı durumlarına ilişkin olasılıkların, tüm ebeveynlerinin belirli bir kombinasyonuna bağlı olarak toplamı Eşitlik (3.29) ile hesaplanmaktadır [88],[130].

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^m p(y = \tilde{s}_j | x_1 = \tilde{s}_{1i}, x_2 = \tilde{s}_{2i}, \dots, x_n = \tilde{s}_{ni}) \\ &= \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^m [p(y = \tilde{s}_j | x_1 = \tilde{s}_{1i}) \cdot p(y = \tilde{s}_j | x_2 = \tilde{s}_{2i}) \dots p(y = \tilde{s}_j | x_n = \tilde{s}_{ni})] \quad (3.30) \\ &= \frac{1}{k} \cdot k = 1 \end{aligned}$$

4. BULGULAR

Bu bölümde, çalışmanın ana bulguları ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Bulgular bölümü, çalışmanın veri analizi sürecini detaylı bir şekilde içermekte olup her bir alt bölümde farklı analiz adımları ve sonuçları açıklanmıştır. Çalışmanın akış şeması Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, öncelikle literatür taraması yardımıyla belirlenen referans makalelerin detaylı incelenmesi sağlanmıştır. İnceleme sonrası tez çalışması ile ilişkili olan temel riskler ve değişkenler belirlenmiştir. Ardından Bölüm 3.1’de yer alan doküman kodlama yöntemi ile birlikte belirlenen değişkenlerin nihai hali elde edilmiştir. SCOR modeli ve uzman görüşleri ile birlikte bu değişkenler sınıflandırılmıştır. Bulanık Bilişsel Harita ve Bayes Ağının sırayla uygulanmasının ardından duyarlılık analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçların senaryo analizleri ile birlikte çalışmanın adımları tamamlanmıştır.



Şekil 4.1: Çalışmanın Akış Şeması

4.1. DOKÜMAN KODLAMA İLE DEĞİŞKENLERİN BELİRLENMESİ

Tez çalışması kapsamında tedarik zinciri riski ile ilişkili seksen beş adet makale çalışması incelenmiştir. Her bir makale ayrı ayrı ele alınmış ve doküman kodlama kuralları ile değerlendirilmiştir. Kodlamanın tamamlanması ile birlikte altmış dört adet değişken olduğu gözlenmiştir. Bu durumun Bulanık Bilişsel Haritanın oluşturulmasını karmaşık hale getireceği öngörülmüştür. Bu karmaşıklığın giderilmesi için değişkenlerin sınıflandırılması

gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sürecinde, alt risk grupları ve göstergeler, makale çalışmalarının detaylı incelenmesiyle belirlenmiş; örneğin, ürün riskinin alt grupları olarak kalite, servis ve bozulma riskleri tanımlanmış, bozulma riski için de ürün akış engeli ve ürün çeşitliliğini sağlayamama göstergeleri yine bu incelemeler sonucunda kararlaştırılmıştır. Bu bağlamda konu kapsamında tecrübeli iki uzmanın görüşü alınmıştır. Uzmanlar öncelikle kodlamanın doğruluğunu incelemiştir ve değişkenlerin sınıflandırılması için konu hakkında görüşlerini paylaşmıştır. Değerlendirme sonrası elde edilen risk gruplarının SCOR Modeli (Supply Chain Operations Reference Model) yardımıyla nihai olarak temel ve alt sınıflandırma ayrımı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise ortak değişkenlere (nedensel veya etki değişkenleri aynı olan) sahip olan makaleler belirlenmiştir. Örneğin; nedensel değişkeni kalite riski; etki değişkeni ise kesinti riski olarak kodlanan bir makale elde edilmiştir. Bu makaleye ait iki değişkenin sınıflandırma neticesinde hem nedensel hem etki değişkenlerinin üretim riski grubuna ait olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu makale çalışmaya dahil edilmemiştir. Bu bakış açısı yardımıyla tüm makale çalışmaları ayrı ayrı incelenmiştir. Sınıflandırma sonucunda 30 adet değişken belirlenmiştir. Değişkenlerin nihai hali alt risk grubu ve göstergeler de dahil olmak üzere Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Değişkenlerin Sınıflandırılması

Ana Değişkenler	Alt Risk Grubu	Gösterge(ler)
Envanter riski	Talep riski	*
	Müşteri riski	Müşteri memnuniyetsizliği & müşteri değer eksikliği & müşteri tatminsizliği Müşteri kaynaklı tedarik süre sorunu Müşteri ve tedarikçi entegrasyonu eksikliği Müşteri aksaklıkları Beklenmeyen müşteri talebi Arz eksikliği Arz kesintisi
Strateji riski	*	*
Arz riski	Tedarik riski	Tedarik piyasasındaki kapasite farklılıkları ve/veya darboğazları Tedarik süre sorunu ve/veya süre kesintisi
	Tedarikçi riski	Tedarikçi konumunun yanlış seçimi Tedarikçinin kısa süreli üretim duruşları Tedarikçilerin azaltılması Tedarikçinin istikrarsızlığı Yanlış tedarikçi seçimi
	Malzeme riski	*
Üretim riski	Teknolojik risk	*
	Kesinti riski	*
	Tahmin riski	*
	Kapasite riski	*
	Gecikme riski	*
	Ekipman riski	Çevrim süresindeki olumsuz etki Kısa süreli üretim duruşları Makine arızası
Ürün riski	Kalite riski	*
	Servis riski	*
	Bozulma Riski	Ürün akış engeli Ürün çeşitliliklerini sağlayamama
Finansal risk	*	İş riski Borsa & Fiyat dalgalanması Düşük pazar payı & pazar riski Düşük kar marjları Azalan gelir Fiyatlandırma hataları Maliyet Fiyat riski Finansal performans Ekonomik etkiler Satın alma süreç ve anlaşmalarındaki eksiklikler

*: Alt risk grubu ve/veya gösterge mevcut değildir.

Tablo 4.1: Değişkenlerin Sınıflandırılması (Devamı)

Ana Değişkenler	Alt Risk Grubu	Gösterge(ler)
Bilgi riski	*	Bilgi paylaşım riski
Politik risk	*	Hükümet değişiklikleri ve/veya tutarsızlıkları
		Devlet politikası değişiklikleri ve/veya tutarsızlıkları
Operasyonel risk	*	Düşük operasyonel performans
		Operasyonel risk
Çevresel risk	*	Küreselleşme
		Sosyal faktör etkileri
	*	Küresel kaynak bulma riski
		İklim faktör etkileri
Tedarik zinciri riski	*	Tedarik zincirinde yaşanan kesinti
Dağıtım riski	Aksama riski	*
	Lojistik riski	Teslimat gecikmesi
		Dağıtımdaki kayıplar
		Ulaşım ekipman kapasite eksikliği
		Nakliye ekipman kapasite eksikliği
		Taşımacılık operasyonlar hataları
		Düşük lojistik performansı
		Aksama süresi
		Akış kesintileri
		Dış kaynak kullanımı
	Tesis riski	Tesis arıza riski
İç entegrasyon	*	*
Müşteri entegrasyonu	*	*
Tedarikçi entegrasyonu	*	*
Tedarik esnekliği	*	*
Üretim esnekliği	*	*
Tedarik zinciri dağıtım kabiliyeti	*	*
Tedarik performansı	*	*
Lojistik performansı	*	*
Tedarik zinciri performansı	*	*
Finansal performans	*	*
Tedarikçi performansı	*	*
Müşteri performansı	*	*
Organizasyonel performans	*	*

*: Alt risk grubu ve/veya gösterge mevcut değildir.

4.2. BULANIK ÜYELİK FONKSİYONUNUN BELİRLENMESİ

Birçok risk değerlendirme yaklaşımı sayısal değer yerine dilsel değerlendirmelerin kullanılmasına dayanmaktadır. Bulanık kümeler teorisi [136] ile veriler; düşük olasılık, ciddi etki veya yüksek risk gibi dilbilimsel terimler ile tanımlanabilmektedir. Böylece bu terimlerin matematiksel mantıkta resmi olarak tanımlanabileceği araçlar sağlanmaktadır [137].

Bu tez çalışması için dilsel değişkenlerin üçgensel bulanık sayılar ile ifadesi Tablo 4.2’de gösterildiği gibi yapılmıştır. Bu değişkenlere ilave olarak uzmanlara yöneltilen güvenilirlik düzeylerine ait üçgensel sezgisel bulanık sayılar ise Tablo 4.3’te sunulmuştur. Güven düzeyini belirleme aşamasında örneğin; arz riski ve finansal riski arasında pozitif ve çok güçlü ilişki olduğu bilgisi doküman kodlama ve uzman görüşü sonrasında belirlenmiş olsun. Seçilen uzmanlara, bu ilişkiye Tablo 4.3’te belirtilmiş olan dilsel değişkene ne derece güvendiği sorulmuştur. Bu şekilde tüm değişkenler arası ilişkilerin tereddüt dereceleri belirlenmiş olup durulaştırmaya dahil edilmiştir.

Tablo 4.2: Üçgensel Bulanık Sayılar

Dilsel Değişkenler	Üçgensel Bulanık Sayılar
Çok Güçlü	$\langle 0,7;0,8;0,9 \rangle$
Güçlü	$\langle 0,6;0,7;0,8 \rangle$
Orta Derece Güçlü	$\langle 0,5;0,6;0,7 \rangle$
Zayıf	$\langle 0,4;0,5;0,6 \rangle$
Çok Zayıf	$\langle 0,3;0,4;0,5 \rangle$

Tablo 4.3: Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayılar

Dilsel Değişkenler	Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayılar
Kesinlikle Yüksek Güvenilirlik	$\langle 0,95;0,025 \rangle$
Çok Yüksek Güvenilirlik	$\langle 0,9;0,05 \rangle$
Yüksek Güvenilirlik	$\langle 0,85;0,1 \rangle$
Güçlü Güvenilirlik	$\langle 0,8;0,1 \rangle$
Normal Güvenilirlik	$\langle 0,75;0,15 \rangle$

Değişkenler arasındaki ilişkilerin bulanık sayılar ile belirlenmesinin ardından bu bulanık ilişkiler kullanılarak bir Bulanık Bilişsel Harita oluşturulmuştur. Bulanık Bilişsel Harita, değişkenler arasındaki etkileşimleri ve bu etkileşimlerin yönlerini ve ağırlıklarını bulanık sayılarla ifade eden bir modeldir. Bu aşamada, değişkenlerin aktivasyon düzeylerini belirlemek için Sigmoid eşik değer fonksiyonu kullanılmıştır. Sigmoid fonksiyonu, herhangi bir girdiyi 0 ile 1 arasında yer alan olasılık değerlerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu fonksiyonun kullanılmasının ana nedeni, çıktının olasılık olarak ifade edildiği durumlar için uygun olmasıdır. Sigmoid fonksiyonu, özellikle doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri modellemek için ideal bir araçtır, çünkü her türlü girdi değerini alarak bu değeri 0 ile 1 arasındaki bir olasılığa dönüştürmektedir [63],[138]. Bu da, Bulanık Bilişsel Haritaların belirsizlik ve bulanıklık içeren sistemleri modellemede daha etkili kullanılmasını sağlamaktadır.

Bulanık Bilişsel Haritanın oluşturulmasından sonra, değişkenlerin analiz edilmesi ve yorumlanabilmesi için FCMapper yazılımı kullanılmıştır [139]. FCMapper, Bulanık Bilişsel Haritaların görselleştirilmesi ve analiz edilmesi için geliştirilmiş bir araçtır. Bu yazılım, haritadaki tüm değişkenlere ait giriş, çıkış ve merkezîyet derecelerini hesaplayarak, değişkenlerin sistem içerisindeki önemini ve etkilerini belirlemeye yardımcı olur. Giriş derecesi, bir değişkenin diğer değişkenler tarafından ne kadar etkilendiğini gösterirken, çıkış derecesi, bir değişkenin diğer değişkenleri ne kadar etkilediğini gösterir. Böylece, Bulanık Bilişsel Harita ve FCMapper kullanılarak, sistemdeki tüm değişkenlerin dinamikleri ve birbirleriyle olan ilişkileri ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir.

4.3. BULANIK AĞIRLIKLIL ORTALAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Risklerin modellenmesi ve değerlendirilmesi için amaçlanan bulanık çıkarım sisteminin başarılı bir şekilde işleyişini sağlamak için ortaya çıkan bulanık kümenin durulaştırılması üyelik fonksiyonunun değerlerine bağlıdır. Bu nedenle, öncelikle aynı etki ve nedensel değişkenlere sahip olan dokümanlar için bulanık ağırlıklı ortalama operatörü yardımıyla

nihai ağırlık belirlenmiştir. Sonrasında ise Eşitlik 4.1’de ifade edilen formülde yer alan ω uzman görüş ağırlığı ile birlikte [140] işlemlere devam edilmiştir. Uzman görüş adeti n olmak üzere görüş ağırlığı ω , $1/n$ şeklinde hesaplanmaktadır. Çalışmada ise uzman görüşü yerine aynı etki ve nedensel değişkenlere sahip olan doküman sayısının hesaplamaya sağladığı ağırlığı ifade etmektedir. Böylece daha objektif bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir. Hesaplama aşamasında dokümanlardan elde edilen ilişkilerden yola çıkılarak uzman görüşleri ağırlık bazında hesaplamaya dahil edilmiştir ve tereddüt dereceleri de formülde yer almaktadır. Üyelik fonksiyon değeri $\tilde{a} = ([a, b, c]; \mu_{\tilde{a}}, \nu_{\tilde{a}})$ olmak üzere birden fazla dokümandan gelen değişkenler için öncelikle Eşitlik 4.1 yardımıyla bulanık ağırlıklı ortalama değeri hesaplanmıştır. Her bir değişken için nihai $\mu_{\tilde{a}}, \nu_{\tilde{a}}$ değerleri elde edildikten sonra Eşitlik 4.2’de verilen beklenen değer yardımıyla durulaştırma yapılmıştır. Tüm değişkenler için nihai dilsel değişken ağırlıkları yardımıyla hesaplanmıştır. Ayrıntılı hesaplama sonuçları Tablo 4.4’te verilmiştir.

$$\left(\left[\sum_{j=1}^n a_j \omega_j, \sum_{j=1}^n b_j \omega_j, \sum_{j=1}^n c_j \omega_j, \sum_{j=1}^n d_j \omega_j \right]; 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{\tilde{a}_j})^{\omega_j}, \prod_{j=1}^n (\nu_{\tilde{a}_j})^{\omega_j} \right) \quad (4.1)$$

$$I(\tilde{a}) = \frac{1}{8} \times [(a + 2b + c) \times (1 + \mu_{\tilde{a}} - \nu_{\tilde{a}})] \quad (4.2)$$

Tablo 4.4: Uzman Görüşleri ile Bulanık Ağırlıklı Ortalama Hesabı

Nedensel Değişken	Etki Değişkeni	Uzmanlar	a	b	c	μ	σ	a	b	c	μ	σ	a	b	c	μ	σ
Arz riski	Finansal performans	1.uzman	0,4	0,5	0,6	0,75	0,15	0,4	0,5	0,6	0,806	0,1223	0,4	0,5	0,6	0,806	0,1223
		2.uzman	0,4	0,5	0,6	0,85	0,1										
Bilgi riski	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,929	0,0353	0,6	0,7	0,8	0,929	0,0353
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Bilgi riski	Tedarik zinciri performansı	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Çalışan riski	Operasyonel riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Çevresel risk	Tedarikçi riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										
Çevresel risk	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,0353	0,666666667	0,766666667	0,866666667	0,920629947	0,039685026
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Çevresel risk	Envanter riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Çevresel risk	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Dağıtım riski	Operasyonel riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
Dağıtım riski	Tedarik riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										
Dağıtım riski	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Dağıtım riski	Tedarikçi entegrasyonu	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Dağıtım riski	Tedarik zinciri entegrasyonu	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Dağıtım riski	Müşteri entegrasyonu	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Finansal Risk	Tedarikçi riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,5	0,6	0,7	0,75	0,15										
		2.uzman	0,5	0,6	0,7	0,75	0,15										
Envanter riski	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
Finansal risk	Çevresel risk	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Finansal risk	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,666666667	0,766666667	0,866666667	0,92	0,039
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Ürün riski	Tedarikçi riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039
2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05												
Ürün riski	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										
Ürün riski	Tedarik zinciri performansı	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Müşteri entegrasyonu	Finansal performans	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,666666667	0,766666667	0,866666667	0,92	0,039
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Müşteri entegrasyonu	Organizasyonel performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05												
Müşteri entegrasyonu	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05												
Müşteri entegrasyonu	Envanter riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
Müşteri riski	Ürün riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										

Tablo 4.4: Uzman Görüşleri ile Bulanık Ağırlıklı Ortalama Hesabı (Devamı)

Nedenleri Değişken		Etki Değişkeni		Uzmanlar					a					b					c					d					e				
				1.uzman	2.uzman	3.uzman	4.uzman	5.uzman	6.uzman	7.uzman	8.uzman	9.uzman	10.uzman	11.uzman	12.uzman	13.uzman	14.uzman	15.uzman	16.uzman	17.uzman	18.uzman	19.uzman	20.uzman	21.uzman	22.uzman	23.uzman	24.uzman						
Müşteri riski	Tedarikçi riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
Operasyonel risk	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Operasyonel risk	Envanter riski	1.uzman	0,4	0,5	0,6	0,75	0,15	0,4	0,5	0,6	0,75	0,15	0,4	0,5	0,6	0,75	0,15	0,4	0,5	0,6	0,75	0,15	0,4	0,5	0,6	0,75	0,15						
		2.uzman	0,4	0,5	0,6	0,75	0,15																										
Politik risk	Çevresel risk	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Politik risk	Tedarik zinciri	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Strateji riski	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
Envanter riski	Organizasyonel performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
Tedarik riski	Dağıtım riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
Tedarik riski	Lojistik performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
Tedarik riski	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Tedarik riski	Tedarik zinciri performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
Tedarik zinciri entegrasyonu	Lojistik performans	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
Tedarik zinciri yeniliği	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Tedarik zinciri belirsizliği	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
Tedarik zinciri riski	Organizasyonel performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Tedarik zinciri riski	Finansal risk	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Tedarik zinciri riski	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
Tedarici entegrasyonu	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
Tedarici entegrasyonu	Finansal performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Tedarici entegrasyonu	İnovasyon performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Tedarikçi riski	Finansal risk	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
Tedarikçi riski	Tedarik riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05																										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,0355339	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039						
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025						
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025																										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0																								

Tablo 4.4: Uzman Görüşleri ile Bulanık Ağırlıklı Ortalama Hesabı (Devamı)

Nedensel Değişken	Etki Değişkeni	Uzmanlar	a	b	c	μ	σ	a	b	c	μ	σ	a	b	c	μ	σ
Üretim riski	Dağıtım riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Üretim riski	Kalite riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Üretim riski	Çevresel risk	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Üretim riski	Lojistik performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,877	0,707	0,6	0,7	0,8	0,877	0,707
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,85	0,1										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Üretim riski	Tedarik zinciri	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,65	0,75	0,85	0,914	0,042
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Üretim riski	Organizasyonel performans	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Ürün riski	Tedarik riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039	0,6	0,7	0,8	0,92	0,039
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Ürün riski	Tedarikçi riski	1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039	0,7	0,8	0,9	0,92	0,039
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,8	0,1										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
Ürün riski	Tedarik zinciri riski	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,65	0,75	0,85	0,914	0,042
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Arz riski	Tedarik zinciri performansı	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Müşteri entegrasyonu	Tedarik zinciri performansı	1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
		2.uzman	0,6	0,7	0,8	0,9	0,05										
		1.uzman	0,6	0,7	0,8	0,95	0,025										
Finansal risk	Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	1.uzman	0,4	0,5	0,6	0,7	0,15	0,4	0,5	0,6	0,7	0,15	0,6	0,7	0,8	0,88	0,057
		2.uzman	0,4	0,5	0,6	0,7	0,15										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,05										
		2.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										
		1.uzman	0,7	0,8	0,9	0,95	0,025										

4.4. SEZGİSEL BULANIK KÜME İLE BULANIK BİLİŞSEL HARİTANIN OLUŞTURULMASI

Uzman görüşleri ve bulanık ağırlıklı ortalama hesaplamaları sonucu elde edilen nihai ağırlıklar ile oluşturulan etkileşim matrisi sonrasında elde edilen ağırlıklar, FCMapper yardımıyla yorumlanmıştır. iFCM'deki her değişkenin giriş, çıkış ve merkezilik dereceleri Tablo 4.5'te ifade edilmiştir. Etkileşim matrisinin nihai hali ise Tablo 4.6'de gösterilmiştir.

Merkezilik derecesi, bir değişken ile sistemin geri kalanı arasındaki tüm bağlantıları bünyesinde barındırmaktadır, bu nedenle kavramın sisteme katkısını göstermektedir [91]. Tablo 4.6 incelendiğinde; merkezilik puanı yüksek olan değişken, modelde en önemli (merkezi) değişkeni işaret etmektedir. Bu durumda tedarik zinciri riski toplam derecesi ile en kritik değişkendir (8,72). Daha sonra ise sırayla; dağıtım riski, tedarikçi riski ve üretim riski değişkenleri gelmiştir. Çalışmanın temel amacı; risklerin tedarik zincirine olan etkisinin değerlendirilmesi olduğundan modelin alıcı değişken bakımından çıktısı çalışma için oldukça anlamlıdır. Verici (transmitter) değişkenler, sistemi kontrol eden ancak sistemden etkilenmeyen değişkenler olarak kabul edilebilirler. Bu nedenle nedensel ilişkileri

iyi işlenmiş bir bilişsel haritada verici değişken sayısının az olması beklenmektedir [141]. Geliştirilen modelde diğer değişkenleri etkileyen on adet verici değişken vardır ve bu değişkenler herhangi bir değişkenden etkilenmemektedir. Bu değişkenler; arz riski, bilgi riski, çalışan riski, iç entegrasyon, müşteri performansı, politik risk, strateji riski, tedarik zinciri belirsizliği, tedarikçi performansı ve üretim esnekliği şeklindedir. Bu değişkenlerin sistemi etkileyen ve dolayısıyla üzerlerinde yapılacak değişikliklerin tüm diğer değişkenleri etkileyeceği temel politika değişkenleri olduğu söylenebilir.

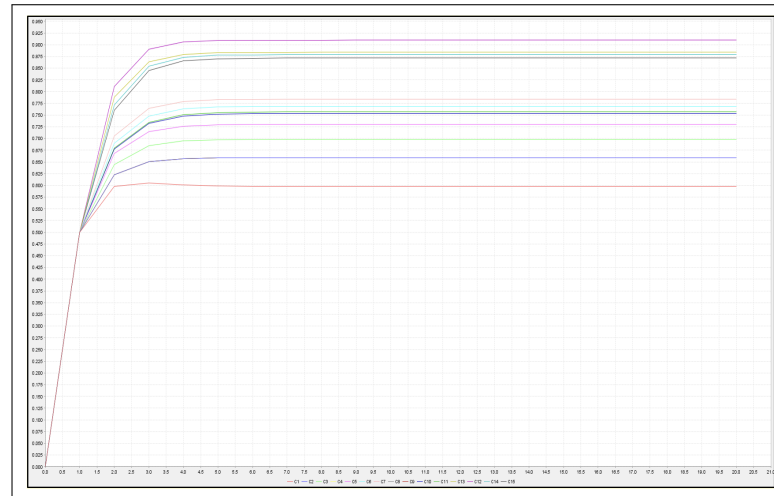
Sistemdeki alıcı değişkenler ise, sistemin amacını ifade etmektedir. Diğer değişkenler alıcı değişkeni etkilemektedir, ancak alıcı değişken hiçbir değişkeni etkilememektedir. Alıcı değişkenler sistemin stratejik kavramlarıdır [141]. Geliştirilen modelde, finansal performans, lojistik performansı, inovasyon performansı, organizasyonel performans, tedarik zinciri performansı ve tedarik zinciri dayanıklılığı değişkenleri olmak üzere altı alıcı değişken bulunmaktadır. Değişkenlerin geri kalanları ise sıradan değişkenler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu değişkenler sistemdeki diğer tüm değişkenlerden etkilenmektedir ve onları etkilemektedir.

Son olarak, bir bilişsel yapının ne derece karmaşık olduğunu ölçmeye yardımcı bir değer olan karmaşıklık puanı (alıcı değişkenlerin verici değişkenlere oranı) 0,6 olarak hesaplanmıştır. Daha yüksek bir karmaşıklık puanı, genellikle daha karmaşık bir bilişsel yapıyı temsil etmektedir. Bu, daha fazla alt bileşene, daha karmaşık ilişkilere ve daha derin bir anlayış gerektiren bir yapıya işaret etmektedir. Öte yandan, daha düşük bir karmaşıklık puanı, bilgi yapısının daha anlaşılır ve daha az derinlemesine olduğunu göstermektedir. Bu bakış açısı yardımıyla, elde edilen bilişsel haritanın anlaşılır olduğu yorumu yapılabilmektedir. Şekil 4.2, [142] bakış açısı ile yorumlanacak olursa; tüm değişkenlerin etkileri birbirine çok yakındır. Değişkenlerin birbirine yakın olmasının nedeni, tüm bu faktörlerin diğerleri üzerinde pozitif nedenselliği olmasıdır. Şekil 4.2 detaylı incelendiğinde ise; çevresel risk, tedarik zinciri performansı, tedarik riski ve tedarik zinciri riski değişkenlerin yakınlık derecesi en fazla olarak belirlenmiştir. Değişkenlerden politik riskinin oldukça ayrı olduğu gözlenmiştir. Operasyonel ve bilgi riskleri de ikili olarak

en yakın ilişkide değişkenlerdir. Eğer bu değişkenlerden biri veya birçoğu başka bir yönde artış veya azalış göstermesi durumunda bu diğerlerinin değişiminden duyarsız olarak yorumlanmaktadır. Tüm değişkenlere ait nihai ağırlık hesaplandıktan sonra Mental Modeler yardımıyla Bulanık Bilişsel Harita oluşturulmuştur. Bulanık Bilişsel Haritanın nihai hali Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Giriş, Çıkış ve Merkeziyet Dereceleri

Değişkenler	Çıktı Değerleri	Girdi Değerleri	Merkeziyet	Verici Değişkenler	Alıcı Değişkenler	Sıradan Değişkenler
Arz riski	1,07	0	1,07	1		
Bilgi riski	1,31	0	1,31	1		
Çalışan riski	0,65	0	0,65	1		
Çevresel risk	2,76	1,96	4,72			1
Dağıtım riski	4,13	2,66	6,79			1
Envanter riski	3,43	1,06	4,49			1
Finansal performans	0	107	1,07		1	
Finansal risk	2,69	1,93	4,62			1
İç entegrasyon	0,65	0	0,65	1		
İnovasyon performansı	0	1,3	1,3		1	
Lojistik performansı	0	2,07	2,07		1	
Müşteri entegrasyonu	1,94	0,65	2,59			1
Müşteri performansı	0,65	0	0,65	1		
Operasyonel risk	1,13	1,41	2,54			1
Organizasyonel performans	0	3,28	3,28		1	
Politik risk	1,29	0	1,29	1		
Strateji riski	0,66	0	0,66	1		
Tedarik riski	2,66	2,66	5,32			1
Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	0	5,69	5,69		1	
Tedarik zinciri belirsizliği	0,76	0	0,76	1		
Tedarik zinciri entegrasyonu	1,42	0,65	2,07			1
Tedarik zinciri performansı	0	2,62	2,62		1	
Tedarik zinciri riski	1,31	7,41	8,72			1
Tedarik zinciri yeniliği	0,66	0,72	1,38			1
Tedarikçi entegrasyonu	1,96	0,65	2,61			1
Tedarikçi performansı	0,65	0	0,65	1		
Tedarikçi riski	3,5	2,9	6,4			1
Üretim esnekliği	0,66	0	0,66	1		
Üretim riski	4,61	1,33	5,93			1
Ürün riski	2,87	1,42	4,29			1



Şekil 4.2: FCM Expert Program Çıktısı

Tablo 4.6: Etkileşim Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30
C1 Arz riski							-0,42															-0,648								
C2 Bilgi riski																			-0,66			-0,648								
C3 Çalışan riski														0,65																
C4 Çevresel risk						0,647																	0,648	-0,721			0,74			
C5 Dağıtım riski												-0,648	0,76					0,76			-0,6475		0,674		-0,648					
C6 Envanter riski															-0,66		0,48	-0,77									0,758			0,758
C7 Finansal performans																														
C8 Finansal risk				0,662	0,662														-0,721								0,648			
C9 İç entegrasyon															0,64															
C10 İnovasyon performansı																														
C11 Lojistik performansı																														
C12 Müşteri entegrasyonu															0,6475							0,6475								
C13 Müşteri performansı																							-0,648							
C14 Operasyonel risk						0,41																	0,721							
C15 Organizasyonel performans																														
C16 Politik risk				0,6475																-0,65										
C17 Strateji riski																				-0,66										
C18 Tedarik riski					0,673						-0,662											-0,674	0,648							
C19 Tedarik zinciri ve dayanıklılığı																														
C20 Tedarik zinciri belirsizliği																							0,758							
C21 Tedarik zinciri entegrasyonu										0,77																				
C22 Tedarik zinciri performansı																														
C23 Tedarik zinciri riski								0,648							-0,663															
C24 Tedarik zinciri yeniliği																							-0,663							
C25 Tedarikçi entegrasyonu						0,64				0,6475																				
C26 Tedarikçi performansı																							-0,648							
C27 Tedarikçi riski					0,659			0,64										-0,76	-0,77				0,648						0,66	
C28 Üretim esnekliği																													-0,66	
C29 Üretim riski				0,652	0,663			0,632		-0,632					-0,663				-0,70											0,66
C30 Ürün riski																	0,66	-0,76					0,6938				0,758			

Şekil 4.3: BBH Ağ Diyagramı

4.5. SENARYO ANALİZLERİ

Senaryo analizi, Bulanık Bilişsel Haritaların en önemli özelliklerinden biridir. Senaryolar, birbirini etkileyen faktörlerden oluşan karmaşık bir ağ temelinde, gelecekteki olası bir durumun kapsamlı bir tanımını vermektedir. Aynı zamanda senaryolar daha iyi kararlar almak ve olası durumlar hakkında düşünmeyi teşvik etmek için faydalıdır [143]. Senaryo analizlerinin, bilişsel haritaların sağladığı olanaklar arasında önemli bir yer tuttuğunu belirtmek gerekmektedir. Bu analizler, BBH sonuçlarının doğrulanması ve modelin doğru kurulması açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, hangi önlemlerin riskleri azaltacağı konusunda bilgi vermesi açısından da oldukça önemlidir. Bu amaçla bu model için de senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarının doküman kodlamada elde edilen bilgiler ve BBH ile ne derece uyumlu olduğunun belirlenmesi de amaçlanmaktadır. Bu bağlamda modelin denge halinde elde edilen sonuçları Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

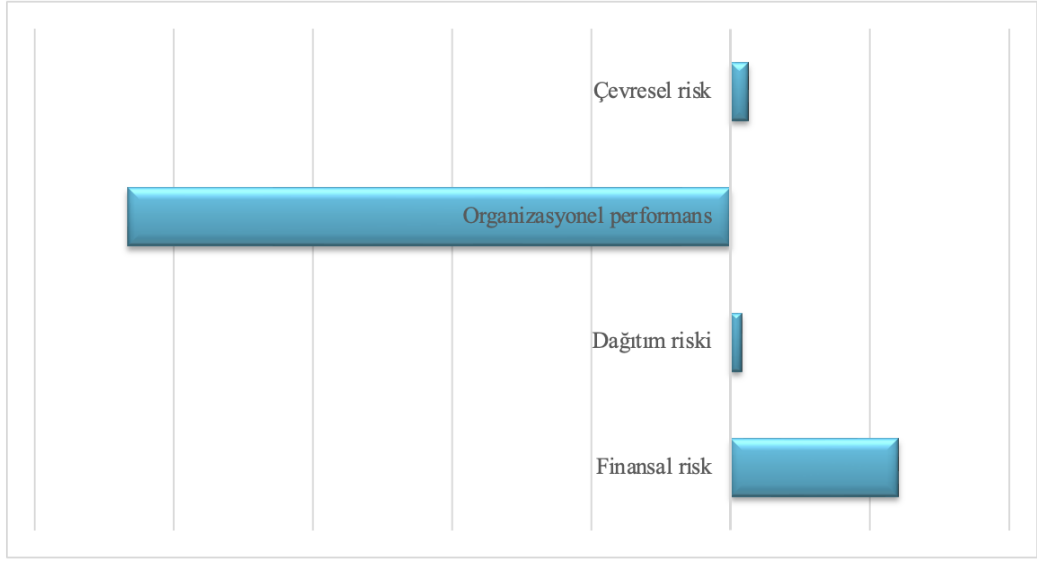
Tablo 4.7: Denge Durumu için Senaryo Analiz Sonuçları

Değişkenler	Sonuçlar
<i>Arz riski</i>	0,6590461
<i>Bilgi riski</i>	0,659046068
<i>Çalışan riski</i>	0,659046068
<i>Çevresel risk</i>	0,919151585
<i>Dağıtım riski</i>	0,96620778
<i>Envanter riski</i>	0,860809859
<i>Finansal performans</i>	0,664606216
<i>Finansal risk</i>	0,932519
<i>İç entegrasyon</i>	0,659046
<i>İnovasyon performansı</i>	0,801357
<i>Lojistik performansı</i>	0,420248
<i>Müşteri entegrasyonu</i>	0,458257
<i>Müşteri performansı</i>	0,659046
<i>Operasyonel risk</i>	0,885345
<i>Organizasyonel performans</i>	0,356489
<i>Politik risk</i>	0,659046
<i>Strateji riski</i>	0,659046
<i>Tedarik riski</i>	0,968791
<i>Tedarik zinciri ve dayanıklılığı</i>	0,010513
<i>Tedarik zinciri belirsizliği</i>	0,659046
<i>Tedarik zinciri entegrasyonu</i>	0,458257
<i>Tedarik zinciri performansı</i>	0,283806
<i>Tedarik zinciri riski</i>	0,943570
<i>Tedarik zinciri yeniliği</i>	0,446036
<i>Tedarikçi entegrasyonu</i>	0,458257
<i>Tedarikçi performansı</i>	0,659046
<i>Tedarikçi riski</i>	0,972796
<i>Üretim esnekliği</i>	0,659046
<i>Üretim riski</i>	0,715814
<i>Ürün riski</i>	0,881665

4.5.1. Senaryo 1

İlk senaryo değişkenler arasındaki merkezilik derecesi en yüksek değişken yani tedarik zinciri riski değişkenine 1,00 değeri atanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu durumdan en çok etkilenen değişkenler Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere, tedarik zinciri riskinde değişkenindeki artış en güçlü ve negatif şekilde organizasyonel performansı etkilemiştir. Aynı şekilde tedarik zinciri riski; finansal risk, çevresel risk ve dağıtım riskinde güçlü ve pozitif değişime neden olmuştur.

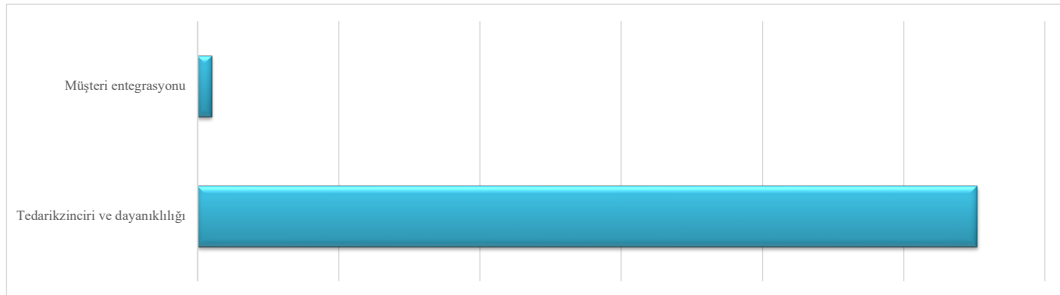
Bu bulgulara paralel olarak [144] tedarik zinciri riski ve finansal risk arasında pozitif ve çok güçlü bir ilişkinin var olduğunu ifade etmişlerdir. Bavarsad ve diğ. [41] ise, operasyonel performans ve tedarik zinciri arasında çok negatif ve güçlü ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Bu bağlamda, güçlü bir organizasyon performansına sahip, dayanıklı bir tedarik zincirine, tedarik zinciri riskini en aza indirerek ulaşmanın mümkün olacağı açıktır.



Şekil 4.4: Senaryo 1 Sonuçları

4.5.2. Senaryo 2

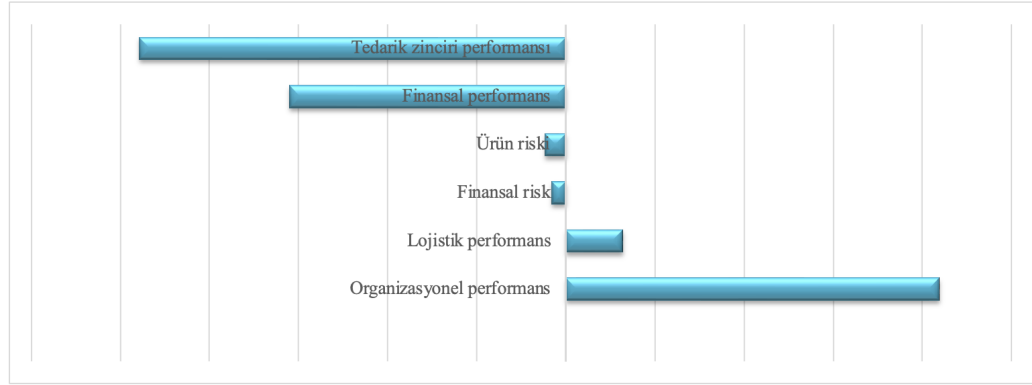
Senaryo 2, çalışmanın merkezi odağına yani tedarik zinciri kavramına dayalı olarak yürütülmüştür. Senaryo analizi tedarik zinciri performansı değişkenine 1,00 değeri atanarak gerçekleştirilmiştir. Tedarik zinciri performansı değişkenindeki bir artış, tedarik zinciri ve dayanıklılığında güçlü ve pozitif değişime neden olmuştur. Bu bulgulara paralel olarak [145] tedarik zinciri performansı ve tedarik zinciri dayanıklılığı arasında pozitif ve güçlü bir ilişki olduğunu vurgulamıştır. Şekil 4.5'te değişim etkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Senaryo 2 Sonuçları

4.5.3. Senaryo 3

Üçüncü senaryo kötümser senaryo olarak gerçekleştirilmiş olup verici değişkenler temel alınmıştır. Arz riski, bilgi riski, çalışan riski, politik risk, strateji riski, tedarik zinciri belirsizliği değişkenlerinin değerinin artması ile birlikte iç entegrasyon, müşteri performansı, tedarikçi performansı ve üretim esnekliği değişkenlerinin değerinin azalması gerçekleştirilmiştir. Burada meydana gelen artışın ve azalışın etkileri Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Bu değişimin negatif ve en güçlü etkisi tedarik zinciri performansında meydana gelmektedir.



Şekil 4.6: Senaryo 3 Sonuçları

Bu bulgulara paralel olarak [61] bilgi riski ve tedarik zinciri performansı arasında negatif bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca [146] arz riski ve finansal performans arasında negatif bir ilişki olduğunu ifade etmiştir. Diğer bir çalışma olan [147] ise iç entegrasyon ve operasyonel performans arasında pozitif ve güçlü ilişki olduğunu vurgulamıştır.

4.6. OLASILIK YOĞUNLUK TABLOLARININ OLUŞTURULMASI

4.6.1. Olasılık Yoğunluk Örnek Tablo Oluşturulması

Daha önce ifade edildiği üzere bir olayın gerçekleşme durumu evet ya da hayır şeklindedir. Bu bağlamda ilk olarak, her bir değişken için meydana gelme ya da gelmeme durumları için hesaplama yapılmıştır. Örnek olarak ele alınan C3, C4, C5, C6 ve C7 değişkenleri

için ilk olarak ayrı ayrı daha sonra ise bu değişkenlerin birbirleri ile ilişkili oldukları durumların olasılık değerleri hesaplanmıştır. Örnek olması açısından C6-C7 değişkenleri için olasılık hesaplamaları yapılmıştır. Ayrı iki durum için değişkenler arası belirlenen bulanık üçgensel sayılar yardımıyla iki taraflı olasılık fonksiyonu hesaplanmıştır. Böylece bulanık sayılardan olasılık değerlerine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşümde [135] çalışmasında bahsedilen ilkelere dayalı dönüşüm kuralı temel alınmıştır. Buradaki amaç olabilirlikten olasılığa geçiş mantığını uygulamaktır. Öncelikle, C6 değişkenin evet olması yani gerçekleşmesi durumunda C7 değişkeni için iki taraflı fonksiyon ile birlikte fonksiyon aralıkları hesaplanmıştır. Bu süreç, aralık değerli olasılıktan nokta değerli olasılığa geçişi sağlamaktadır ve bu dönüşümü bulanık sayılar gerçekleştirmektedir.

Formülde yer alan integral içeren denklemler için hesaplama doğruluğu ve kolaylığı nedeniyle etkileşimli, tamamen bulut tabanlı, kullanımı kolay ve ortak çalışmaya dayalı programlama ortamı olan Colaboratory kullanılmıştır. İntegral hesabı için Tablo 4.3'te yer alan üçgensel sezgisel dilsel değişkenler kullanılmıştır. Nihai sonuçları aşağıda belirtilmiştir. Bu hesaplamalar alfa-kesim 0,6 olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

$$\Pi(C1 \mid C6 = \text{Artar}) = \begin{cases} \int -\frac{100}{47} \log \left| \frac{C6-0,7}{0,9} \right| \\ \int -\frac{100}{47} \log \left| \frac{0,7-C6}{1,32} \right| \\ \int -\frac{100}{42} \log \left| \frac{C6}{0,9} \right| \\ \int -\frac{100}{42} \log \left| \frac{0,7-C6}{0,42} \right| \end{cases}$$

Dört durum için belirlenen aralık değerleri ise şu şekildedir:

$$0 \leq C6 \leq 0,7$$

$$0,7 \leq C6 \leq 1$$

$$0 \leq C6 \leq 0,6$$

$$0 \leq C6 \leq 0,6$$

Dört durumu içeren nihai olasılık fonksiyonları ve sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

$$\begin{aligned} \int_{0,4}^{0,6} -\frac{100}{47} \log |(C6)/0,9| dC6 &= 0,055 \\ \int_{0,4}^{0,7} -\frac{100}{47} \log |(C6 - 0,7)/0,9| dC6 + \int_{0,7}^1 -\frac{100}{47} \log |(0,7 - C6)/1,32| dC6 &= 0,647 \\ \int_0^{0,6} -\frac{100}{42} \log |(C6/0,9)| dC6 &= 0,916 \\ \int_0^{0,6} -\frac{100}{42} \log |0,7 - C6/0,42| dC6 &= 0,233 \end{aligned}$$

İlişkili olasılık değerlerinin hesaplanabilmesi için tüm durumlar göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle her bir değişkenin normalizasyon faktörü tüm durumlar için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Normalizasyon faktörü, verilerin bir aralığa ölçeklendirilmesine yardımcı olan bir matematiksel katsayıdır [148]. Bu aşamada olasılık fonksiyonları ve alfa kesim değeri yardımıyla her bir değişkene ait dört durum için hesaplama yapılmıştır. C6 ve C7 değişkenleri için normalizasyon sonucu elde edilen olasılık değerleri Tablo 4.8'de belirtilmiştir.

Tablo 4.8: C6-C7 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu

	C7	Azalır	Artar
C6	Azalır	0,9166	0,233
	Artar	0,0556	0,647

Aynı hesaplamalar ayrı ayrı olmak üzere C3, C4 ve C5 değişkenleri için gerçekleştirilmiş olup elde edilen olasılık değerleri Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de sırayla gösterilmiştir.

Tablo 4.9: C6-C3 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu

	C3	Azalır	Artar
C6	Azalır	1,07143	0,5341
	Artar	0,0449	0,5838

Örnek teşkil etmesi açısından C6 değişkenin ve diğer tüm değişkenlerin hayır olduğu durum için normalizasyon faktör hesabı yapılmıştır. Burada "k" faktör değeri olmakla beraber tüm durumların gerçekleşme olasılığı Eşitlik 3.29 yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 4.10: C6-C4 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu

	C4	Azalır	Artar
C6	Azalır	0,6	0,34
	Artar	0,0425	0,314

Tablo 4.11: C6-C5 Değişkenleri için Durum Olasılık Tablosu

	C5	Azalır	Artar
C6	Azalır	0,9166	0,233
	Artar	0,0556	0,647

$$k=(1,07143 * 0,6 * 0,916 * 0,916)+(0,049 * 0,0425 * 0,0556 * 0,0556)$$

$$k=0,540$$

$$\alpha=1 / k$$

$$\alpha=1 / 0,540$$

$$\alpha=1,85$$

Elde edilen normalizasyon faktörü ile birlikte;

$$p (C6=Azalır \mid C3 = Azalır, C4= Azalır, C5= Azalır, C7= Azalır) = \alpha \cdot p(C6 = Azalır \mid C3=Azalır)$$

$$* p (Azalır) * p(C6=Azalır \mid C5=Azalır) * p(C6=Azalır \mid C7=Azalır)$$

$$p (C6= Azalır \mid C3= Azalır, C4= Azalır, C5= Azalır, C7= Azalır)$$

$$= 1,85 * 0,0449 * 0,0425 * 0,0556 * 0,0556$$

$$= 0,000010956$$

$$p (C6=Azalır \mid C3= Azalır, C4= Azalır, C5= Azalır, C7= Azalır)$$

$$= 1,85 * 1,07143 * 0,6 * 0,916 * 0,916$$

$$= 0,99890$$

olarak belirlenmiştir. Normalizasyon faktörü beş değişken için ayrı ayrı olmak üzere hesaplanmıştır. Sonrasında ise her durum için değişkenlerin azalır ve artar durumuna göre satır bazında hesaplama yapılmıştır. C6 değişkeni için nihai durum olasılık tablosu Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12: C6-C3-C4-C5-C7 Değişkenleri için Nihai Durum Olasılık Tablosu

C3	C4	C5	C7	EVET	HAYIR
E	E	E	E	0,19376126	0,806238737
E	E	E	H	0,88931067	0,110689327
E	E	H	E	0,88931067	0,110689327
E	E	H	H	0,99629068	0,003709316
E	H	E	E	0,75813733	0,241862672
E	H	E	H	0,99054739	0,00945261
E	H	H	E	0,99054739	0,00945261
E	H	H	H	0,99971463	0,00028537
H	E	E	E	0,38504665	0,614953352
H	E	E	H	0,95440501	0,045594985
H	E	H	E	0,95440501	0,045594985
H	E	H	H	0,99857301	0,001426986
H	H	E	E	0,99635061	0,003649395
H	H	E	H	0,99635061	0,003649395
H	H	H	E	0,99635061	0,003649395
H	H	H	H	0,99890450	0,00109551

4.7. TÜM DEĞİŞKENLER İÇİN DURUM OLASILIK TABLOLARIN OLUŞTURULMASI

Bu bölümde değişkenlerin birbirleri ile ilişkileri baz alınarak hesaplanan olasılık yoğunluk tabloları sunulmuştur. İlk olarak, operasyonel risk değişkeninin çalışan riski ve dağıtım riski ile birlikte oluşturulan nihai durum olasılık tablosu Tablo 4.13 ve Tablo 4.14 yardımıyla Tablo 4.15’te ifade edilmiştir.

Tablo 4.13: Çalışan Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu

	Çalışan Riski	Azalı	Artar
Operasyonel Risk	Azalı	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.14: Dağıtım Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu

	Dağıtım Riski	Artar	Artar
Operasyonel Risk	Artar	0,9166	2,0857
	Artar	0,0556	0,3051

Finansal performans değişkeni için ise ayrı ayrı arz riski ve tedarik zinciri entegrasyonu ile ilişkisine dair olasılık hesaplaması yapılmıştır. Finansal performans için Tablo 4.18’de nihai

Tablo 4.15: Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu

	Çalışan Riski	Hayır		Artar	
	Dağıtım Riski	Azalır	Artar	Azalır	Artar
Operasyonel Risk	Azalır	0,99574	0,98978	0,98166	0,9569
	Artar	0,00426	0,01022	0,01834	0,0431

durum olasılık tablosu gösterilmiştir.

Tablo 4.16: Finansal Performans ve Arz Risk Olasılık Durum Tablosu

	Arz Riski	Azalır	Artar
Finansal Performans	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.17: Finansal Performans ve Tedarik Zinciri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Zinciri Entegrasyonu	Azalır	Artar
Finansal Performans	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,0556	0,3051

Tablo 4.18: Finansal Performans Olasılık Durum Tablosu

	Arz Riski	Azalır		Artar	
	TZ Entegrasyonu	Azalır	Artar	Azalır	Artar
Finansal Performans	Azalır	0,99574	0,98978	0,98166	0,95690
	Artar	0,00426	0,01022	0,01834	0,0431

Tedarik zinciri entegrasyonu ve tedarikçi entegrasyonunun ayrı ayrı olmak üzere sadece dağıtım riski ile bağlantısı vardır bu nedenler ayrı tablolar olacak şekilde durum olasılık tabloları Tablo 4.19 ve Tablo 4.20’de gösterilmiştir.

Tablo 4.19: Tedarik Zinciri Entegrasyonu ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu

	Dağıtım riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Entegrasyonu	Azalır	0,9340	0,7646
	Artar	0,0569	0,2353

Tablo 4.20: Tedarikçi Entegrasyonu ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu

	Dağıtım Riski	Azalır	Artar
Tedarikçi Entegrasyonu	Azalır	0,9340	0,7646
	Artar	0,0569	0,2353

Finansal risk ve politik risk ile ilişkili olan çevresel riskin nihai durum olasılık tablosu Tablo 4.21’de ve Tablo 4.22’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.23’te sunulmuştur.

Tablo 4.21: Çevresel Riski ve Finansal Risk Olasılık Durum Tablosu

	Finansal Risk	Azalır	Artar
Çevresel Risk	Hayır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.22: Çevresel Risk ve Politik Risk Olasılık Durum Tablosu

	Politik Risk	Azalır	Artar
Çevresel Risk	Azalır	0,9340	0,2353
	Artar	0,0659	0,2353

Tablo 4.23: Çevresel Risk Olasılık Durum Tablosu

	Finansal risk	Hayır		Artar	
	Politik risk	Azalır	Artar	Azalır	Artar
Çevresel Risk	Hayır	0,99505	0,97874	0,97874	0,91345
	Artar	0,00495	0,02126	0,02126	0,08655

Dağıtım riski, ürün riski, envanter riski ve tedarikçi riski ile ilişkili olan tedarik riskinin nihai durum olasılık değerleri Tablo 4.24, Tablo 4.25, Tablo 4.26 ve Tablo 4.27’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.28’de sunulmuştur.

Tablo 4.24: Tedarik Riski ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu

	Dağıtım Riski	Azalır	Artar
Tedarik Riski	Azalır	0,7234	2,144
	Artar	0,05107	0,6600

Tablo 4.25: Tedarik Riski ve Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu

	Ürün Risk	Azalır	Artar
Tedarik Riski	Azalır	0,7234	2,144
	Artar	0,05107	0,6600

Tablo 4.26: Tedarik Riski ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu

	Envanter Riski	Azalır	Artar
Tedarik Riski	Azalır	0,6	0,34
	Artar	0,0425	0,3141

Tablo 4.27: Tedarikçi Riski ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi riski	Azalır	Artar
Tedarik Riski	Azalır	0,916	2,0857
	Artar	0,05566	0,3051

Tablo 4.28: Tedarik Riski Nihai Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Riski							
Dağıtım Riski	Azalır				Artar			
Envanter Riski	Azalır				Azalır			
Tedarikçi Riski	Azalır		Artar		Azalır		Artar	
Ürün Riski	Azalır	Artar	Azalır	...	....	Artar	Azalır	Artar
Hayır	0,999979	0,999906	0,999906	...	...	0,99708	0,99708	0,9874
Evet	0,000021	0,0000934	0,0000934	...	...	0,00292	0,00292	0,0126

İnovasyon performansı ve tedarikçi entegrasyonu olasılık durum tablosu Tablo 4.29’da; müşteri entegrasyonu ve dağıtım riski olasılık durum tablosu ise Tablo 4.30’da belirtilmiştir.

Tablo 4.29: İnovasyon Performansı ve Tedarikçi Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi Entegrasyonu	Azalır	Artar
İnovasyon Performansı	Azalır	0,9340	0,7646
	Artar	0,06595	0,2353

Tablo 4.30: Müşteri Entegrasyonu ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu

	Dağıtım Riski	Azalır	Artar
Müşteri Entegrasyonu	Azalır	0,9340	0,7646
	Artar	0,06595	0,2353

Çevresel risk ve operasyonel risk ile ilişkili olan envanter riskinin nihai durum olasılık tablosu, Tablo 4.31’de ve Tablo 4.32’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.33’te sunulmuştur.

Tablo 4.31: Envanter Riski ve Çevresel Riski Olasılık Durum Tablosu

	Çevresel Risk	Azalır	Artar
Envanter Risk	Hayır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.32: Envanter Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu

	Operasyonel risk	Azalır	Artar
Envanter Risk	Hayır	1,2395	2,4558
	Artar	0,0282	0,4402

Tablo 4.33: Envanter Risk Olasılık Durum Tablosu

	Çevresel risk	Azalır		Artar	
	Operasyonel Risk	Hayır	Artar	Azalır	Artar
Envanter Risk	Hayır	0,9983	0,9875	0,9903	0,9477
	Artar	0,001604	0,01248	0,00695	0,05224

Tedarikçi riski ve üretim esnekliği ile ilişkili olan üretim riskinin nihai olasılık durum tablosu Tablo 4.34’te ve Tablo 4.35’te yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.36’da sunulmuştur.

Tablo 4.34: Üretim Riski ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi Riski	Azalır	Artar
Üretim Risk	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.35: Üretim Riski ve Üretim Esnekliği Olasılık Durum Tablosu

	Üretim Esnekliği	Azalır	Artar
Üretim Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Üretim riski ve envanter riski ile ilişkili olan ürün riskinin nihai olasılık durum tablosu Tablo 4.37’de ve Tablo 4.38’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.39’da sunulmuştur.

Tablo 4.36: Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi Riski	Azalır		Artar	
	Üretim Esnekliği	Azalır	Artar	Azalır	Artar
Üretim Riski	Azalır	0,99504	0,97873	0,97873	0,913459
	Artar	0,00495	0,02126	0,02126	0,0430969

Tablo 4.37: Ürün Riski ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu

	Üretim Riski	Azalır	Artar
Ürün Riski	Hayır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.38: Ürün Riski ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu

	Envanter Riski	Azalır	Artar
Ürün Riski	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.39: Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu

	Envanter Riski	Hayır		Artar	
	Üretim Riski	Azalır	Artar	Azalır	Artar
Ürün Riski	Azalır	0,99573	0,9816	0,9897	0,9569
	Artar	0,00426	0,01834	0,01022	0,04309

Arz riski, bilgi riski, müşteri entegrasyonu ve tedarik riski ile ilişkili olan ürün riskinin nihai olasılık durum tablosu Tablo 4.40, Tablo 4.41, Tablo 4.42 ve Tablo 4.43'te yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.44'te sunulmuştur.

Tablo 4.40: Tedarik Zinciri Performansı ve Arz Riski Olasılık Durum Tablosu

	Arz Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Performansı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.41: Tedarik Zinciri Performansı ve Bilgi Riski Olasılık Durum Tablosu

	Bilgi Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Performansı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.42: Tedarik Zinciri Performansı ve Müşteri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu

	Müşteri Entegrasyonu	Hayır	Artar
Tedarik Zinciri Performansı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.43: Tedarik Zinciri Performansı ve Tedarik Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Performansı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.44: Tedarik Zinciri Performansı Nihai Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Zinciri Performansı							
Arz Riski	Azalır				Artar			
Bilgi Riski	Azalır				Azalır			
Müşteri Enteg.	Azalır		Artar		Azalır		Artar	
Tedarik Riski	Azalır	Artar	Azalır	....	....	Artar	Azalır	Artar
Hayır	0,9999752	0,999892	0,999892	...	...	0,99795	0,99795	0,991104
Evet	0,0000248	0,000108	0,000108	...	...	0,00205	0,00205	0,008896

Finansal risk, envanter risk ve çevresel risk ile ilişkili olan tedarikçi riskinin nihai olasılık durum tablosu Tablo 4.45, Tablo 4.46 ve Tablo 4.47’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.48’de sunulmuştur.

Tablo 4.45: Tedarikçi Riski ve Finansal Risk Olasılık Durum Tablosu

	Finansal Risk	Azalır	Artar
Tedarikçi Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.46: Tedarikçi Riski ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu

	Envanter Riski	Azalır	Artar
Tedarikçi Riski	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.47: Tedarikçi Risk ve Çevresel Riski Olasılık Durum Tablosu

	Çevresel Risk	Azalır	Artar
Tedarikçi Riski	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.48: Tedarikçi Riski Nihai Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi Riski							
Çevresel Riski	Azalır				Artar			
Envanter Riski	Azalır		Artar		Azalır		Artar	
Finansal Risk	Azalır	Artar	Azalır	...	...	Artar	Azalır	Artar
Hayır	0,9974	0,999372	0,998867	...	...	0,998491	0,99728	0,99346
Evet	0,00026	0,000628	0,001133	...	...	0,001509	0,00272	0,00654

Tedarik zinciri entegrasyonu, tedarik riski ve üretim riski ile ilişkili olan lojistik performansının nihai durum olasılık tablosu Tablo 4.49, Tablo 4.50 ve Tablo 4.51’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.52’de sunulmuştur.

Tablo 4.49: Lojistik Performansı ve Tedarik Zinciri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu

	TZ Entegrasyonu	Azalır	Artar
Lojistik Performansı	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.50: Lojistik Performansı ve Tedarik Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Riski	Azalır	Artar
Lojistik Performansı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.51: Lojistik Performansı ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu

	Üretim Riski	Azalır	Artar
Lojistik Performansı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Envanter riski, iç entegrasyon, müşteri entegrasyonu, tedarik zinciri riski ve üretim riski ile ilişkili olan organizasyonel performansın nihai durum olasılık tablosu Tablo 4.53, Tablo 4.54, Tablo 4.55, Tablo 4.56 ve Tablo 4.57’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.58’de sunulmuştur.

Tablo 4.52: Lojistik Performansı Nihai Olasılık Durum Tablosu

	Lojistik Performansı							
Tedarik Riski	Azalır				Azalır			
TZ Enteg.	Azalır		Artar		Azalır		Artar	
Üretim Risk	Azalır	Artar	Azalır	..	..	Artar	Azalır	Artar
Hayır	0,99698	0,998668	0,99868	..	..	0,996831	0,996831	0,98633
Evet	0,000302	0,0013177	0,0013177	..	..	0,00316	0,00316	0,001367

Tablo 4.53: Organizasyonel Performans ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu

	Envanter Riski	Azalır	Artar
Organizasyonel Performans	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.54: Organizasyonel Performans ve İç Entegrasyon Olasılık Durum Tablosu

	İç Entegrasyon	Azalır	Artar
Organizasyonel Performans	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.55: Organizasyonel Performans ve Müşteri Entegrasyonu Olasılık Durum Tablosu

	Müşteri Entegrasyonu	Azalır	Artar
Organizasyonel Performans	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.56: Organizasyonel Performans ve Tedarik Zinciri Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Zinciri Riski	Azalır	Artar
Organizasyonel Performans	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.57: Organizasyonel Performans ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu

	Üretim Riski	Azalır	Artar
Organizasyonel Performans	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Bilgi risk, envanter riski, finansal risk, politik risk, strateji riski, tedarikçi riski, üretim risk ve ürün riski ile ilgili olan tedarik zinciri ve dayanıklılığı değişkeninin nihai durum olasılık tablosu Tablo 4.59, Tablo 4.60, Tablo 4.61, Tablo 4.62, Tablo 4.63, Tablo 4.64, Tablo 4.65 ve

Tablo 4.58: Organizasyonel Performans Nihai Olasılık Durum Tablosu

	Organizasyonel Performans							
Envanter Riski	Azalır				Artar			
İç Entegrasyon	Azalır				Artar			
Müşteri Entegrasyonu	Azalır				Artar			
Tedarik Zinciri Riski	Azalır				Artar			
Üretim Riski	Azalır	Artar	.....	.....	.....	.....	Azalır	Artar
Azalır	0,99725	0,99937	.....	.....	.....	.....	0,9999924	0,9999983
Artar	0,00275	0,00063	.....	.....	.....	.....	0,0000076	0,0000017

Tablo 4.66’da yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.67’de sunulmuştur.

Tablo 4.59: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Bilgi Riski Olasılık Durum Tablosu

	Bilgi Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.60: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Finansal Risk Olasılık Durum Tablosu

	Finansal Risk	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.61: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Strateji Riski Olasılık Durum Tablosu

	Strateji Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.62: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Politik Risk Olasılık Durum Tablosu

	Politik Risk	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tedarik riski, tedarikçi riski, çevresel risk, dağıtım riski, operasyonel risk, tedarik zinciri yeniliği, tedarikçi performansı ve ürün riski ile ilgili olan tedarik zinciri riski değişkeninin nihai durum olasılık tablosu Tablo 4.68, Tablo 4.69, Tablo 4.70, Tablo 4.71, Tablo 4.72, Tablo 4.73, Tablo 4.74, Tablo 4.75, Tablo 4.76, Tablo 4.77 ve Tablo 4.78’de yer alan olasılık değerleri yardımı ile Tablo 4.79’da sunulmuştur.

Tablo 4.63: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Envanter Riski Olasılık Durum Tablosu

	Envanter Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.64: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.65: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Üretim Riski Olasılık Durum Tablosu

	Üretim Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.66: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı ve Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu

	Ürün Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.67: Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı Nihai Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Zinciri ve Dayanıklılığı							
Bilgi Riski	Azalır				Artar			
Envanter Riski	Azalır				Artar			
Finansal Risk	Azalır				Artar			
Politik Risk	Azalır				Artar			
Strateji Riski	Azalır				Artar			
Tedarikçi Riski	Azalır				Artar			
Üretim Riski	Azalır		Artar		Azalır		Artar	
Ürün riski	Azalır	Artar	.....	.....	.....	.....	Azalır	Artar
Azalır	0,99725	0,99937	.....	.....	.....	.....	0,9999924	0,9999983
Artar	0,00275	0,00063	.....	.....	.....	.....	0,0000076	0,0000017

Tablo 4.68: Tedarik Zinciri Riski ve Operasyonel Risk Olasılık Durum Tablosu

	Operasyonel risk	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.69: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarikçi Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.70: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarik Zinciri Belirsizliği Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Zinciri Belirsizliği	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,9166	2,0857
	Artar	0,05566	0,30518

Tablo 4.71: Tedarik Zinciri Riski ve Çevresel Risk Olasılık Durum Tablosu

	Çevresel Risk	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.72: Tedarik Zinciri Riski ve Dağıtım Riski Olasılık Durum Tablosu

	Dağıtım Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.73: Tedarik Zinciri Riski ve Müşteri Performansı Olasılık Durum Tablosu

	Müşteri Performansı	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.74: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarik Riski Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.75: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarik Zinciri Yeniliği Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Zinciri Yeniliği	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.76: Tedarik Zinciri Riski ve Tedarikçi Performansı Olasılık Durum Tablosu

	Tedarikçi Performansı	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.77: Tedarik Zinciri Riski ve Müşteri Performansı Olasılık Durum Tablosu

	Müşteri Performansı	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,7234	2,1444
	Artar	0,0510	0,6600

Tablo 4.78: Tedarik Zinciri Riski ve Ürün Riski Olasılık Durum Tablosu

	Ürün Riski	Azalır	Artar
Tedarik Zinciri Riski	Azalır	0,8991	0,0942
	Artar	0,06089	0,6600

Tablo 4.79: Tedarik Zinciri Riski Nihai Olasılık Durum Tablosu

	Tedarik Zinciri Riski					
Tedarik Riski	Azalır			Artar		
Tedarikçi Riski	Azalır			Artar		
Müşteri Performansı	Azalır			Artar		
Çevresel Risk	Azalır			Artar		
Dağıtım Riski	Azalır			Artar		
Operasyonel Risk	Azalır			Artar		
TZ Yeniliği	Azalır			Artar		
Tedarikçi Performansı	Azalır		..	..	Artar	
Ürün Riski	Azalır	Artar	..	..	Azalır	Artar
Azalır	0,999960762	0,999991	..	..	0,999999995710	0,999999999016
Artar	3,924E-5	9E-6	..	..	4,3E-9	1E-9

4.8. BAYES AĞI VE MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ

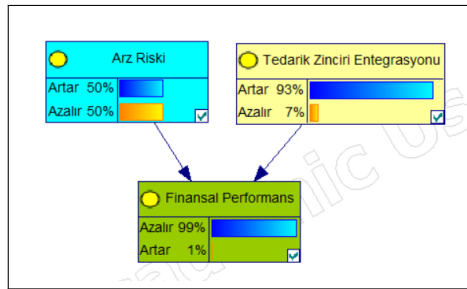
Bölüm 3.5’te detaylı şekilde anlatıldığı üzere çocuk ve ebeveyn düğümleri, aralarındaki koşullu olasılık bağlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada Bayes Ağı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen ağ yapısının çıkarılması sürecinden sonra, koşullu olasılıkların hesaplanmasıyla değişkenlere ait nihai olasılık değerleri elde edilmiştir ve bu değerlerle birlikte olasılık dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, modeldeki her değişkenin önemini ve olasılık dağılımlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Bayes ağları, modeldeki değişkenler arasındaki olasılıksal ilişkileri temsil ederek, olası senaryoların ve belirsizliklerin daha iyi yönetilmesine olanak tanımaktadır. Böylece modelin tam anlamıyla çalışabilmesi için gerekli olan verilerin sisteme doğru bir şekilde yüklenmesini sağlamıştır.

Bu bölümde, Bayes Ağının yapısal ve olasılık temelli çıktıları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tablo 4.80’de modele dahil olan değişkenlerin ebeveyn ve çocuk düğümleri gösterilmiştir. Bu tablo, modelde yer alan değişkenlerin hangi düğümlerin ebeveyni ve hangi düğümlerin çocuğu olduğunu belirtmiştir ve Bayes Ağının yapısal ilişkilerini anlamak için kritik bir öneme sahiptir. Tablo 4.80’de belirtilen bilgiler doğrultusunda, grafik modelinin düğümleri ve düğümler arasındaki ilişkileri gösteren oklar GeNIe’ye aktarılmıştır. Bu süreç, Bayes Ağının görsel olarak temsil edilmesini ve modelin daha anlaşılır hale gelmesini sağlamıştır. GeNIe’ye aktarılan olasılık değerleri yardımıyla değişkenlerin görsel olarak ifade edilmesi sağlanmıştır.

Örnek olarak göstermek amacıyla; modelde yer alan üç değişkenin ebeveyn ve çocuk düğüm ilişkisi örnek olması açısından Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.80: Bayes Ağı Ebeveyn ve Çocuk Düğümleri

Düğüm Adı	Kısaltma	Ebeveyn Düğümü	Çocuk Düğümü
Arz riski	AR	-	FP, TZP
Bilgi riski	BR	-	TZP, TZD
Çalışan riski	ÇR	-	OR
Çevresel risk	ÇVR	PR	ER, TZR, TZY
Dağıtım riski	DR	-	ME, OR, TR, TZE, TZR, TE
Envanter riski	ER	ÇR, OR,	OP, TR, TZD, TÇR, ÜRR
Finansal performans	FP	AR, TZE	-
Finansal risk	FR	-	ÇVR, DR, TZD, TZB
İç entegrasyon	İE	-	OP
İnovasyon performansı	İP	TE	-
Lojistik performansı	LP	TZE, TR, ÜR	-
Müşteri entegrasyonu	ME	DR	OP, TZP
Müşteri performansı	MP	-	TZR
Operasyonel risk	OR	ÇR	ER, TZR
Organizasyonel performans	OP	İE, ME, MP, ÜR, ER	-
Politik risk	PR	-	ÇVR, OP
Strateji riski	SR	-	TZD
Tedarik riski	TR	DR	DR, LP, TZP, TZR
Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	TZD	BR, PR, SR	-
Tedarik zinciri belirsizliği	TZB	-	TZR
Tedarik zinciri entegrasyonu	TZE	DE, DR	LP
Tedarik zinciri performansı	TZP	AR	-
Tedarik zinciri riski	TZR	TR, TZE, OR, DR, ÇR, MP, TP, TZY, TZB, ÜR	FR, OP
Tedarik zinciri yeniliği	TZY	-	TZR
Tedarikçi entegrasyonu	TE	DR	LP
Tedarikçi performansı	TP	-	TZR
Tedarikçi riski	TÇR	TZB	DR, FR, SR, TZD, TZR, ÜR
Üretim esnekliği	ÜE	-	ÜR
Üretim riski	ÜR	ÜE, TR	CVR, DR, FR, LP, OP, TZD, ÜRR
Ürün riski	ÜRR	ÜR, ER	TR, TZD, TZR, TÇR



Şekil 4.7: Bayes Ağı Düğümleri Örnek Gösterimi

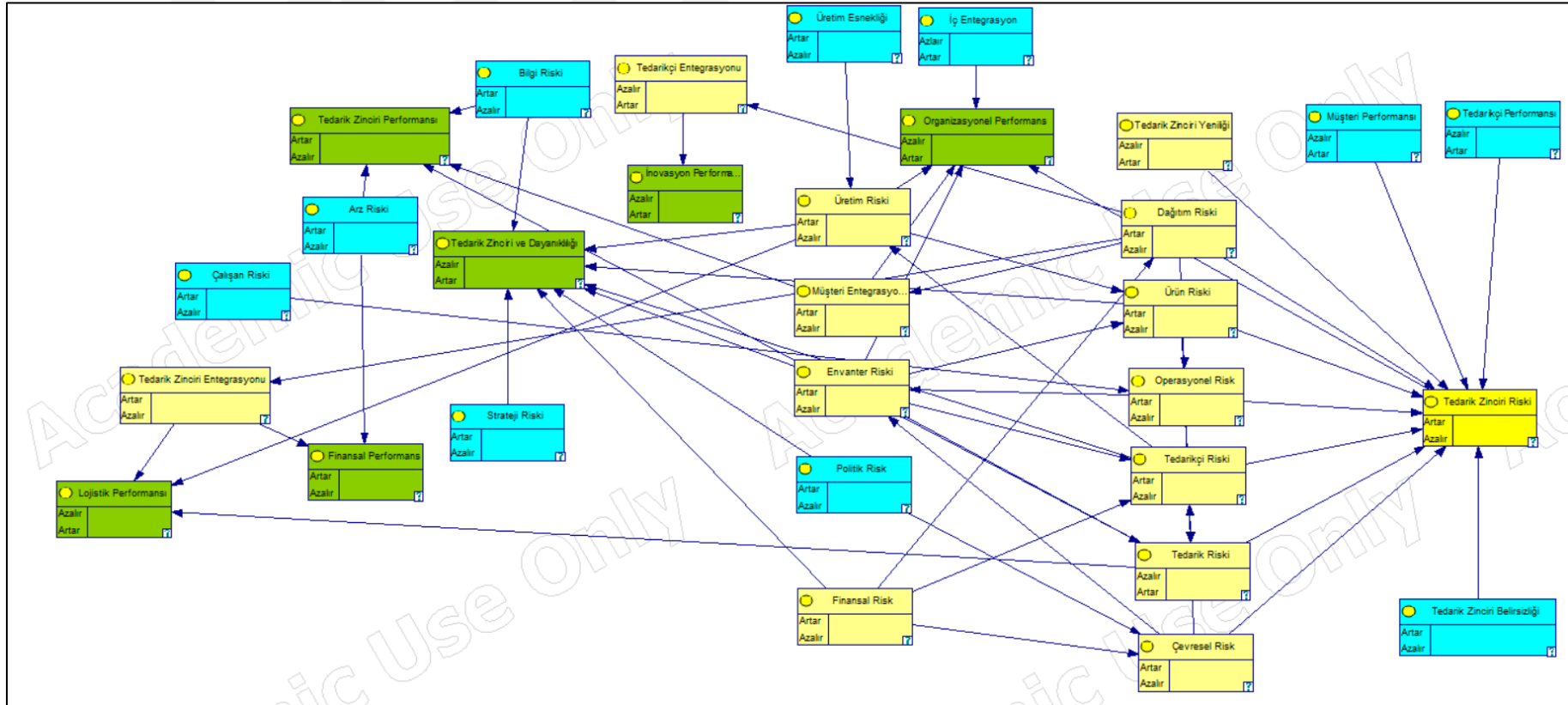
Bu değişkenlere ait girilen olasılık değerlerinin GeNIe'deki arayüzü ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Değişken sayısına bağlı olmakla beraber tabloların içerdiği olasılık değerlerin sayısı artmaktadır. Şekil 4.8'de yer alan örnekte üç ilişki için 2^3 yani sekiz değer mevcuttur. Şekil 4.8, tedarik zinciri entegrasyonunun arz riskine olan etkilerini ve bu etkilerin olasılıklarını göstermektedir. Tedarik zinciri entegrasyonu azaldığında, arz

riskinin artma olasılığı %0,0016041, azalması olasılığı ise %0,99839587'dir. Öte yandan, tedarik zinciri entegrasyonu arttığında, arz riskinin artma olasılığı %0,0069561, azalması olasılığı ise %0,99304381'dir. Tedarik zinciri entegrasyonunun azalması durumunda arz riskinin artma olasılığı %0,012486694, azalması olasılığı ise %0,98751331'dir. Benzer şekilde, entegrasyonun artması durumunda arz riskinin artma olasılığı %0,052247543, azalması olasılığı ise %0,94775246 olarak hesaplanmıştır. Tüm değişkenler için bu olasılık hesaplamaları ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar tablo halinde GeNIe'ye aktarılmıştır. Bu sayede, tüm değişkenlerin etkileri görsel olarak da analiz edilebilmiştir.

Arz Riski	Artar		Azalır	
Tedarik Zinciri Entegrasyonu	Artar	Azalır	Artar	Azalır
► Azalır	0.99839587	0.99304381	0.98751331	0.94775246
► Artar	0.0016041...	0.0069561...	0.012486694	0.052247543

Şekil 4.8: Örnek Olasılık Dağılımı

Şekil 4.9'da görüleceği üzere, Bayes Ağ Modelinin GeNIe Programında oluşturulmuş görseli yer almaktadır. Bu görselde, tedarik zinciri riskinin çeşitli diğer değişkenlerle olan ilişkileri gösterilmektedir. Grafikte her bir düğüm, modeldeki bir değişkeni temsil ederken, düğümler arasındaki oklar bu değişkenler arasındaki koşullu olasılık ilişkilerini ifade etmektedir. "Tedarik Zinciri Riski" düğümü, grafiğin merkezinde yer almakta ve birçok farklı değişken ile doğrudan ilişkilidir. Bu ilişkiler, tedarik zinciri riskinin çok boyutlu ve çeşitli faktörler tarafından etkilenen bir yapı olduğunu göstermektedir. Grafikteki oklar, hangi değişkenlerin tedarik zinciri riskini artırdığı veya azalttığı hakkında bilgi vermektedir. Örneğin, finansal performansın düşük olması, tedarik zinciri riskini artırabilirken, yüksek operasyonel performansın riski azaltabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, lojistik performans, üretim esnekliği ve organizasyonel performans gibi faktörler de tedarik zinciri riskini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen önemli değişkenlerdir. Bu grafik, tedarik zinciri riskinin nasıl oluştuğunu ve hangi faktörler tarafından etkilendiğini görselleştirmektedir. Böylece, tedarik zinciri yönetiminde risklerin yönetimi için hangi alanlara odaklanılması gerektiği konusunda stratejik kararlar alınmasına yardımcı olur. Model, karmaşık ilişkileri basit bir görselleştirme ile sunarak performans iyileştirme süreçlerinde etkili bir araç sağlamaktadır.



Şekil 4.9: Bayes Ağ Modelinin GeNIe Programında Oluşturulmuş Görseli

Oluşturulan ağda mevcut durum olasılık değerleri ise Tablo 4.81’de ifade edilmiştir. Buradan yola çıkarak modelin nihai durumunda, örneğin arz riskinin %51 olasılıkla artış yönünde, %49 olasılıkla azalış yönünde olacağı öngörülmektedir. Bu şekilde tüm değişkenler için yorumlama yapmak mümkündür.

Tablo 4.81: Mevcut Durumun İlk Olasılık Değerleri

Değişken	Değişken Durumu	
	Artar	Azalır
Arz riski	51%	49%
Bilgi riski	57%	43%
Çalışan riski	51%	49%
Çevresel risk	91%	9%
Dağıtım riski	83%	17%
Envanter riski	99%	1%
Finansal performans	96%	4%
Finansal risk	50%	50%
İç entegrasyon	50%	50%
İnovasyon performansı	93%	7%
Lojistik performansı	99%	1%
Müşteri entegrasyonu	89%	11%
Müşteri performansı	57%	43%
Operasyonel risk	97%	3%
Organizasyonel performans	99%	1%
Politik risk	55%	45%
Strateji riski	48%	52%
Tedarik riski	99%	1%
Tedarik zinciri ve dayanıklılığı	99%	1%
Tedarik zinciri belirsizliği	53%	447%
Tedarik zinciri entegrasyonu	91%	9%
Tedarik zinciri performansı	99%	1%
Tedarik zinciri riski	71%	29%
Tedarik zinciri yeniliği	59%	41%
Tedarikçi entegrasyonu	91%	9%
Tedarikçi performansı	49%	51%
Tedarikçi riski	98%	2%
Üretim esnekliği	55%	45%
Üretim riski	98%	2%
Ürün riski	99%	1%

4.8.1. Model Sonuçlarının Yorumlanması

Bu bölümde model sonuçlarından elde edilen veriler yorumlanmıştır. İlk olarak modelin doğruluğu için k-katmanlı çapraz doğrulama gerçekleştirilmiştir.

Çapraz doğrulama, bir modelin sağlamlık derecesini, yani yeni durumlara uygulandığında doğruluğunu ve sınıflandırma başarısını ortaya çıkarmaya yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda bir modelin ne kadar uyum sağladığını belirlemenin de anahtarıdır [149]. Çapraz doğrulama tipi yöntemleri ise, model tahminini kolaylaştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır ve varyans tahminlerini önemli ölçüde azaltmaktadır [150]. Bu bakış açısından yola çıkılarak kontrol edilebilir hatalar iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; "yanlılık" ve "varyans" şeklindedir. Tahmin hatasının yanlılık bileşeni, modelin gözlemlerini yöneten sistematik modelleri temsil etme konusundaki yetersizliğini yansıtmaktadır. Tahmin hatasının varyans bileşeni, modelin farklı veri setlerinde tahminlerinin ne kadar değiştiğini göstermektedir [151]. Bu yöntemlerden biri olan k-katmanlı çapraz doğrulama, veri setini eğitim seti ve test seti olarak ayırmaktır. Test seti, eğitim seti üzerine oluşturulan modeli test etmek için kullanılmaktadır. Bu, verilerin büyük bir kısmı için tekrar tekrar yapılmaktadır. Test prosedürlerinin sonuçları ise uygun şekilde birleştirilmektedir [152]. Bu yaklaşımda ilk olarak, her bir yanıt değişkenlerinin değerlerine sahip n adet vakadan oluşan bir veri dosyası derlenmektedir. Vaka dosyası genellikle rastgele sıralanmakta ve k eşit parçaya bölünmektedir. İlk k segmenti, n/k vakadan oluşan bir kısım olup belirli bir yerde tutulmaktadır ve modelin geriye kalan $(n - n/k)$ vakaları ise parametreler yardımıyla tanımlanmaktadır. Ardından, model sonuçları her vakadaki bilinen sonuçlar ile karşılaştırılarak ilk segment için sınıflandırma hatası oranlarına göre test edilmektedir. Sonraki adımda, vaka dosyasından ikinci k segmenti ayrılmaktadır ve model kalan vakalar ile parametrize edilerek ikinci segment için test edilmektedir. Bu süreç tüm k segmentleri için tekrarlanmaktadır. Her bir segment için yapılan bu işlem, modelin genel performansını daha doğru bir şekilde değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Mevcut k değerleri $[2, n -$

1] aralığında değişebilmektedir. Burada, $k=2$, vaka dosyasının veri setinin ikiye bölünmesini ifade ederken, $k=n-1$ ise birinin dışarıda kalma yaklaşımını (leave-one-out cross-validation) ifade etmektedir. Bu yöntem, modelin her bir veri noktasını test etmesine olanak tanıyarak daha güvenilir ve genellenebilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [149].

K-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi, modelin her bir segment için eğitilip test edilmesini içermekte olup bu süreç aşağıdaki adımları izlemektedir [149]:

Veri Setinin Bölünmesi: İlk olarak, veri seti rastgele sıralanır ve k eşit parçaya bölünür. Her bir parça, yaklaşık olarak eşit sayıda vakadan oluşmaktadır.

Model Eğitimi ve Testi: İlk segment (n/k) test verisi olarak ayrılırken, geri kalan ($n - n/k$) veriler eğitim için kullanılır. Model, eğitim verileri ile eğitilir ve ardından test segmenti üzerinde test edilmektedir.

Hata Oranlarının Hesaplanması: Her bir segment için modelin hata oranları hesaplanır. Bu, modelin performansının değerlendirilmesi açısından kritiktir.

Tekrar Aşaması: İkinci segment test verisi olarak ayrılır ve kalan vakalar ile model eğitilir. Bu adım, tüm k segmentleri için tekrarlanmaktadır.

Performans Değerlendirmesi: Tüm segmentlerin sonuçları birleştirilerek modelin genel performansı değerlendirilmektedir.

Böylece modelin eğitim ve test aşamalarında daha dengeli ve kapsamlı bir değerlendirme sağlanmaktadır. Bu yöntem, özellikle küçük veri setlerinde modelin performansını daha güvenilir bir şekilde ölçmek için idealdir [152].

4.8.2. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, modelin girdilerindeki değişikliklerin modelin çıktılarını nasıl etkilediği ile ilgilidir [153]. Ayrıca model çıktılarındaki genel belirsizliğe katkıda bulunan

önemli parametreleri ve süreçleri tanımlamak için sayısal modellemede önemli bir araç olarak kullanılmaktadır [154]. Matematiksel bir modelin duyarlılık analizi, modelin parametrelerindeki değişimin çıktı üzerindeki etkilerini araştırmak için kullanılmaktadır. Bu amaçla modelin parametre değerleri sistemli bir şekilde değiştirilebilmektedir [155].

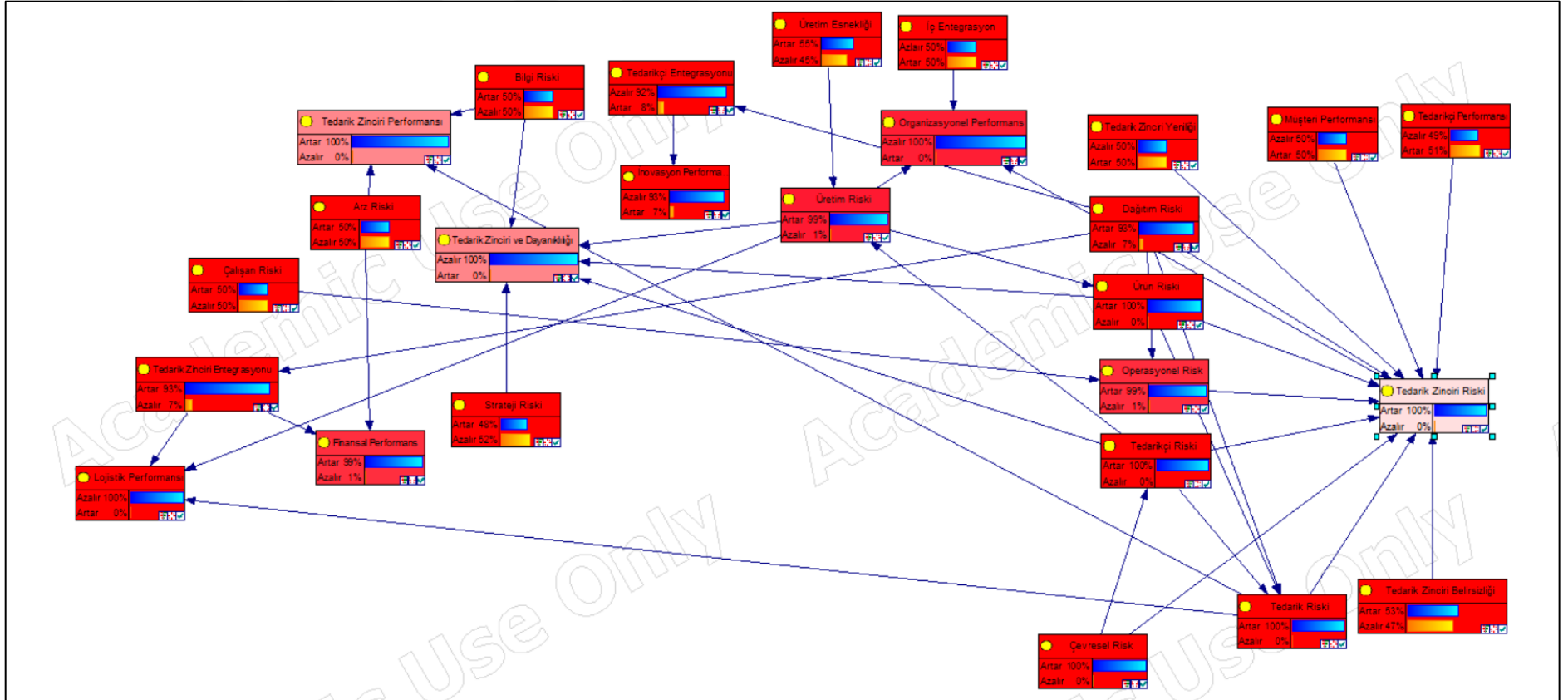
Bayes Ağı için duyarlılık analizi ise, ağın niceliksel kısmının bir veya daha fazla koşullu olasılıkları için değerlendirilmesi ve olasılık üzerindeki etkilerinin araştırılması ile gerçekleştirilmektedir [155]. Böylece modelin önsel ayarlarının, sonuçlar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amaçlamaktadır. Bu analizin aşamaları şu şekildedir [156], [157]:

- **Modelin Belirlenmesi:** İncelenen probleme uygun Bayes Ağı modeli seçim aşamasıdır.
- **Önsel Ayarların Belirlenmesi:** Model için kullanılacak önsel ayarlar belirlenmektedir. Bu önsel ayarlar, değişkenlerin dağılımları veya değişkenler arasındaki ilişkiler hakkındaki öncül bilgileri temsil etmektedir.
- **Alternatif Önsellerin Seçilmesi:** Duyarlılık analizi için alternatif önsel ayarlar belirlenmektedir. Bu ayarlar, önceden belirlenen önsel ayarlardan farklı olabilir ve farklı öncül bilgileri temsil edebilmektedir.
- **Modelin Uygulanması ve Sonuçların Yorumlanması:** Modelin çalıştırılması ve sonuçların elde edilmesi aşamasıdır. Bu sonuçlar, öncül bilgilerin değişmesinin model tahminlerine nasıl etki ettiğini göstermektedir. Sonrasında ise duyarlılık analizinin sonuçları yorumlanmaktadır. Bu aşama, önsel ayarlarının belirli sonuçları nasıl etkilediğini ve modelin ne kadar duyarlı olduğunu belirlemeyi içermektedir.

Modelin çalıştırılmasının ardından duyarlılık analizi kapsamında çalışmaya ait olan ana değişken baz alınmıştır ve bu nedenle “tedarik zinciri riski” final düğümü sabit tutulmuştur. Modelin final düğümünün duyarlılık analizi Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Hedef düğümün

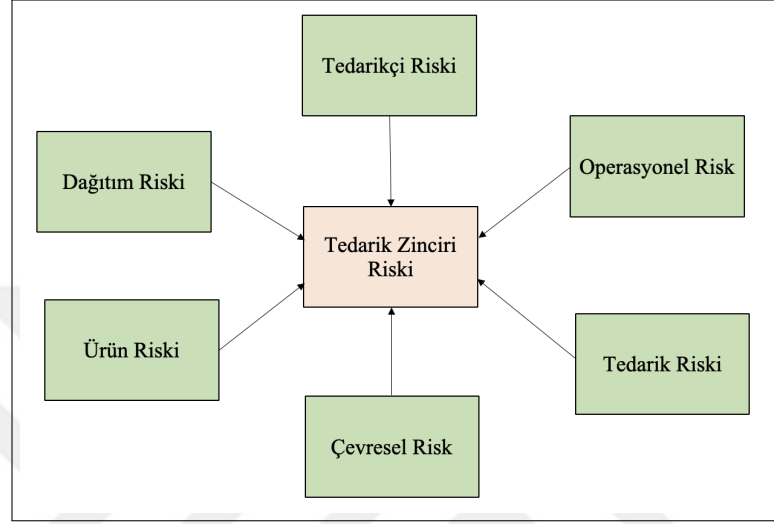
seçilmiş bir durumu için en duyarlı parametreler, en hassastan en aza doğru sıralanmış şekilde gösterilmektedir. Çıktısı olarak incelendiğinde; kırmızı renkli düğümler, hedef olarak işaretlenen düğümlerdeki sonsal olasılık dağılımlarının hesaplanması için önemli olan parametreleri içermektedir.





Şekil 4.10: Model Final Düzümü Duyarlılık Analizi

Şekil 4.11’de ise modeli daha ayrıntılı incelemek amacıyla “tedarik zinciri risk” düğümünü doğrudan olarak etkileyen temel risk değişkenleri gösterilmiştir. Bu değişkenler; tedarikçi riski, operasyonel risk, tedarik riski, çevresel risk, ürün riski ve dağıtım riskidir. Böylece modelin değişimindeki en etkili değişkenlere odaklanılması hedeflenmiştir.



Şekil 4.11: Tedarik Zinciri Riskini Etkileyen Temel Değişkenler

Şekil 4.11’den elde edilen bilgi doğrultusunda Şekil 4.10’da “tedarik zinciri risk” düğümü hedef düğüm olarak seçilmiştir ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Buna ilişkin duyarlılık analizinde değişimlerin önem sırası aşağıdaki gibidir:

- Dağıtım riski, çevresel risk, ürün riski, operasyonel risk, tedarik riski ve tedarikçi riski en önemli değişkenlerdir. Bu değişkenlerin belirli bir organizasyon üzerindeki etkisinin analizi, risk yönetimi sürecinde hangi alanlara odaklanılması gerektiğini belirlemeye yardımcı olabilmektedir.
- Tedarik zinciri yeniliği ikinci sırada bulunmaktadır. Bu durum, tedarik zinciri yönetimindeki yeniliklerin organizasyon üzerindeki etkisinin önemli olduğunu ve diğer risk faktörleriyle birlikte değerlendirildiğinde, risk yönetimi stratejisinin bir parçası olarak önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

- Aynı şekilde modele katkı sağlayan tedarikçi performansı, müşteri performansı ve tedarik zinciri belirsizliği değişkenleri ise üçüncü sırada bulunmaktadır. Tedarik zinciri performansı ve envanter riski ise son sıradadır.

En önemli değişkenler arasında ise GeNle programında ayrı ayrı olmak üzere hedef olay seçilmiştir ve %100 azalma durumlarında tedarik zinciri risk değişkeninde meydana gelen % değerince azalma oranları belirlenmiştir ve Tablo 4.82’de gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere yüzde bazında en etkili değişkenin çevresel risk olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.82: Etkili Düğümlerin Azalış Etkisi

Düğüm Adı	Etki Yüzdesi (Azalır)
Çevresel risk	33%
Ürün riski	31%
Tedarik riski	31%
Tedarikçi riski	31%
Operasyonel risk	31%
Dağıtım riski	30%

4.8.2.1. Duyarlılık Analizi ve Türev İlişkisi

Bir fonksiyonun türevi, fonksiyonun herhangi bir değişkenindeki değişikliğin çıktı üzerinde ne kadar etkiye neden olduğunu göstermektedir. Duyarlılık analizi, türev kullanılmasını içermektedir dolayısıyla bir fonksiyonun türevi, fonksiyonun herhangi bir değişkenin çıktı üzerinde ne kadar etkiye neden olduğunu göstermektedir. Bir fonksiyonun türevi, bu fonksiyonun belirli bir değişkenindeki değişikliklerin sonuç üzerindeki etkisini göstermektedir. Dolayısıyla, duyarlılık analizi yaparken, türevler genellikle bir sistemin çeşitli girdi veya parametrelerine olan duyarlılığını ölçmek için kullanılmaktadır [158].

Örnek ile açıklamak gerekirse, tedarik zincirindeki bir bileşenin maliyeti, tedarikçi fiyatlarından, üretim sürecinden ve lojistik maliyetlerden etkilenebilmektedir. Duyarlılık analizi, bu faktörlerin her birinin değişimlerinin tedarik zinciri maliyetlerine nasıl yansıdığını belirlemeye yardımcı olabilmektedir. Kısacası, türev ve duyarlılık analizi, bir sistemdeki değişkenlerin ve parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisini anlamak için temel araçlardır

ve birbirleriyle yakından ilişkilidirler. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse duyarlılık analizi algoritması dört sabit ile hesaplanmaktadır. Bu ifade, duyarlılık analizi algoritmasının dört sabit kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmektedir.

Bu dört sabit şu şekildedir [159]:

- a: Ana etki katsayısı olarak tanımlanır ve hedef değişkenin mevcut değerinin temelini oluşturmaktadır. Bu katsayı, hedef değişkenin başlangıç durumunu belirleyen bir katsayıdır.
- b: Bu sabit, değişkenin artış veya azalışının hedef değişken üzerindeki doğrudan etkisini göstermektedir.
- c: Değişkenler arasındaki etkileşimlerin etkisini tanımlamaktadır. Farklı değişkenlerin birlikte bir etkisinin hedef değişken üzerinde nasıl bir etki yarattığını gösteren bir katsayıdır.
- d: Sabit terim olarak adlandırılmaktadır. Bu terim, diğer tüm değişkenlerin etkisi sıfır olduğunda hedef değişkenin beklenen değerini temsil etmektedir. Tüm diğer değişkenler sabit olduğunda hedef değişkenin alacağı varsayılan değeri ifade etmektedir.

Verilen sabitlerin türev ve duyarlılık analizi bakış açısından incelenmesi, modelin hangi değişkenlerin çıktıyı nasıl etkilediğini anlamamıza yardımcı olabilmektedir [160]. Burada a , b ve c sabitleri, modeldeki katsayıları veya ölçek faktörlerini temsil ederken, d küçük bir değer olup matematiksel hesaplamaları dengelemek için kullanılmaktadır. Bu sabitlerin değerleri ve analizleri, modelin belirli parametrelerine ve özelliklerine olan hassasiyetini ve etkisini belirleyerek, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmemize yardımcı olmaktadır. Özellikle, olasılık değerlerindeki farklar, modelin güçlü veya zayıf yönlerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır, böylece modelin iyileştirilmesi ve daha güvenilir hale getirilmesi için gereken adımlar atılabilmektedir [161].

Bu dört sabit, duyarlılık analizi algoritmasının temelini oluşturmaktadır ve değişkenler arasındaki ilişkileri açıklamak için kullanılmaktadır. Bu sabitler hesaplandıktan sonra değişkenin türevi alınmaktadır ve hedef sonsal olasılık hesaplanmaktadır. Bu türev hesabı

Eşitlik 4.3 ile gerçekleştirilmektedir [162].

$$H = \frac{a \times p + b}{c \times p + d} \quad (4.3)$$

Türev, hedef hücrenin sonsal olasılık H 'ın senaryodaki p parametresine olan ilk türevinin aldığı değerdir. Sonsal olasılık ise, Eşitlik 4.4 ile ifade edilmektedir [162].

$$D = \frac{a \times d - b \times c}{(c \times p + d)^2} \quad (4.4)$$

a , b , c ve d katsayılarına bağlı olarak hesaplanan türev, geliştirilen ağın numerik parametrelerinin ne kadar net olduğu konusunda bilgi vermektedir. Parametre p 'nin türevi büyük ise p tutarındaki minik değişimler dahi hedef hücrenin sonsalında büyük değişimlere neden olmaktadır [162]. Olasılık hesabı öncesi model tamamlanmıştır ve daha sonra hedef (H) hücre olarak “tedarik zinciri risk” değişkeni seçilmiştir ve model için duyarlılık testi GeNIe tarafından sunulan test özelliği ile gerçekleştirilmiştir.

Senaryo analizleri neticesinde oluşan durumları yorumlamadan önce senaryoların türev açısından duyarlılık analizi sonuçları Tablo 4.83'te sunulmuştur. Bu yorumlama, her senaryonun 1.durumlarından yola çıkılarak yapılmıştır. Bunun nedeni ise; bu temel durumların model üzerindeki etkisinin fazla olmasıdır. Tablodan da anlaşılabacağı üzere, Senaryo 1'e ait durum 1'de "b" katsayısının 0,926272 olarak hesaplanması, tüm senaryolar arasında en yüksek değere sahip olduğunu göstermektedir. Bu, tedarik zinciri risk değişkeniyle ilişkili senaryonun, hedef değişken ve verilen modelin önemi üzerinde en büyük doğrudan etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır. Senaryo 1'den sonraki ikinci yüksek değer ise Senaryo 6'da yer alan çevresel risk değişkenine ait olup "b" katsayısı 0,76302'dir. Tablo 4.83 sonuçları dikkate alındığında, tedarik zinciri riski değişkeni üzerinde en büyük yüzde

etkiye sahip olan değişkenin çevresel risk olduğu görülmektedir.

Tablo 4.83: Senaryoların Duyarlılık Analiz Sabitleri

	Katsayılar		
	a	b	c
Senaryo 1	0,0073723	0,926272	8,44E – 13
Senaryo 2	0,467028	0,52922	8,33E – 11
Senaryo 3	0,492993	0,506663	–1,87E – 13
Senaryo 4	0,5	0,382322	0
Senaryo 5	0,8443567	0,156424	4,28E – 131
Senaryo 6	0,225	0,76302	1,11E – 16
Senaryo 7	0,82977	0,0167528	1,12E – 16

Modele ait olan türev sabitlerinin incelenmesinin ardından hedeflenen değişkenler üzerinden senaryo analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.8.3. Senaryoların Model Uygulaması

Bu bölümde, gerçekleştirilen duyarlılık analiz sonuçlarından yola çıkılarak senaryo analizleri ele alınmıştır. Sonuçların ifade edilmesinden önce anlaşılabilirlik açısından senaryo analizinin açıklanmasının daha doğru olacağı düşünülmüştür.

Senaryo analizi, karar vericilerin gelecekteki olası durumlar hakkında daha bilinçli kararlar almalarına yardımcı olan disiplinli bir yöntem olarak tanımlanmaktadır [163]. Farklı belirsizlikler ve beklenmedik olayların olasılıkları göz önüne alındığında gelecekteki potansiyel çözümleri içeren çeşitli senaryoların oluşturulmasını sağlayarak, şirketlerin riskleri yönetmelerine yardımcı olacak kararlar almalarına olanak tanımaktadır [132]. Ayrıca belirsizlik ile başa çıkma, uzun vadeli planlama, risk yönetimi ve yaratıcılığı teşvik etme gibi bir dizi avantaj sunmaktadır [163].

Şekil 4.10’da hedef hücre olarak belirlenen tedarik zinciri riskine etki eden hücrelerin duyarlılık derecesi gösterilmiştir. Buradan yola çıkılarak duyarlılık testleri sonucunda elde edilen tornado diyagramları sunulmuştur. Hassasiyet seviyeleri görsel olarak görüntülenebilmesinin yanında simge düğümlerin üzerinde hareket ettirildiğinde önem derecesi de dijital olarak görüntülenebilmektedir. Böylece renkleri birbirine çok yakın olan

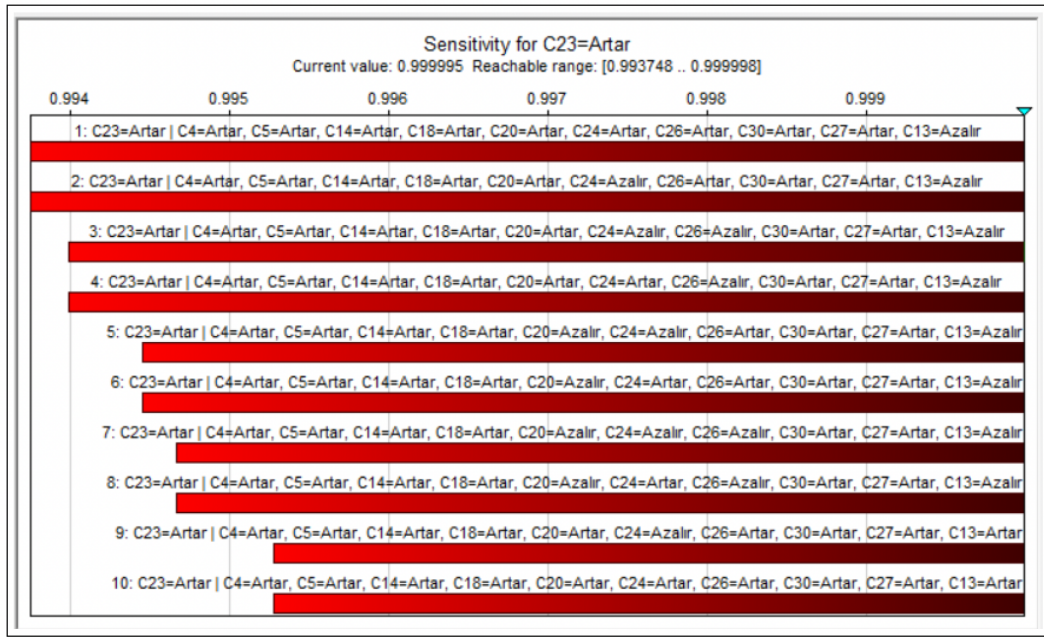
iki düğümün sınıflandırılması ve duyarlılıklarının karşılaştırılması mümkün olmaktadır. Parametreler kendi aralığında değiştikçe hedef durumdaki değişikliklerin aralığı da değişmektedir. Çubuğun rengi hedef durumdaki değişimin yönünü göstermektedir. Kırmızı negatif değişimi, yeşil ise pozitif değişimi ifade etmektedir. Böylelikle hedef olarak belirlenen değişken sabit tutulduğunda bu değişkene etki eden değişkenlerin önem sıralaması yapılabilmektedir. Ayrıca grafikte en uzun çubuk, sonuç üzerinde en büyük etkiye sahip olan değişkeni göstermektedir. Çubuklar genellikle grafiğin üst kısmında sıralanmaktadır ve etkisi azalan değişkenler alt sıralarda yer almaktadır [159].

Öncelikle tedarik zinciri riskinin arttığı durum için inceleme sağlanmıştır. Ardından Şekil 4.11’de gösterildiği üzere tedarik zinciri riskini en fazla etkileyen değişkenler için ayrı ayrı olmak üzere duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Senaryo-1: Tedarik Zinciri Risk Değişken Etkisi

Bu analiz, tedarik zinciri risk yönetiminde hangi risklerin ve performans göstergelerinin daha kritik olduğunu belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Senaryo 1’de tedarik zinciri riskinin arttığı durum temel alınmıştır. Bu amaçla ön risklerin gerçekleşme olasılıkları gözlemlenmiştir ve bu olasılıkların önem düzeyleri ile kendi aralarındaki sıralamaları elde edilmiştir. Şekil 4.12’de Senaryo 1 için sonuçlar gösterilmiştir.

Bu senaryoda C4 (Çevresel Risk), C5 (Dağıtım Riski), C14 (Operasyonel Risk), C18 (Tedarik Riski), C20 (Tedarik Zinciri Belirsizliği), C24 (Tedarik Zinciri Yeniliği), C26 (Tedarikçi Performansı), C30 (Ürün Riski) ve C27 (Tedarikçi Riski) değişkenlerinin değerinin artması durumunda ve C13 (Müşteri Performansı) değişkeninin değerinin azalması durumunda toplam sonuç üzerinde en büyük değişiklik gerçekleşmektedir. Belirtilen değişkenlerin değerinin artması veya azalması tedarik zinciri riski üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. İfade edilen değişkenlerin değerinin artması tedarik zinciri riskini önemli ölçüde artırırken, C13 değişkenindeki değer azalışı bu riski daha da arttırmaktadır. C13 değişkeninin değerinin azalması, bu değişkenin negatif etkisini göstermektedir.



Şekil 4.12: Tedarik Zinciri Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi

Bu senaryoya ait olan olasılık değeri ise 0,999995 olarak hesaplanmıştır ki, bu yüksek değer, bu kombinasyonun model üzerinde çok güçlü bir etkiye sahip olduğunu doğrulamakta ve modelin güçlü ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Bu, modelin tedarik zinciri riski üzerinde tahmin yaparken yüksek doğruluğa sahip olduğunu belirtmektedir.

Diğer durumlarda ise meydana gelen çeşitli değişimler mevcuttur. Ancak, bu değişkenlerin değerinin artmasının yada azalmasının toplam sonuç üzerinde birinci duruma göre daha az etkili olduğu belirlenmiştir. Gözlemlenebilir şekilde farklı olarak üçüncü ve dördüncü durumlarda; bir önceki durumlardan farklı olarak değeri azalan değişkenler arasında C26 yer almaktadır. Tedarikçi performansındaki azalış tedarik zinciri riskinde oluşan negatif etkiyi azaltmıştır. Ancak bu değişim diğer değişkenlerin etkisi ile birleşince 0,999991'lik bir etkiye yol açmıştır. C26 değişkeninin değerinin azalması, depolama veya operasyonel risklerdeki bir düşüşü ifade etmektedir. Diğer değişkenlerin değerinin artması tedarik zinciri riskini artırsa da, C26 değişkeninin değerinin azalması bu artışı bir miktar dengelemektedir.

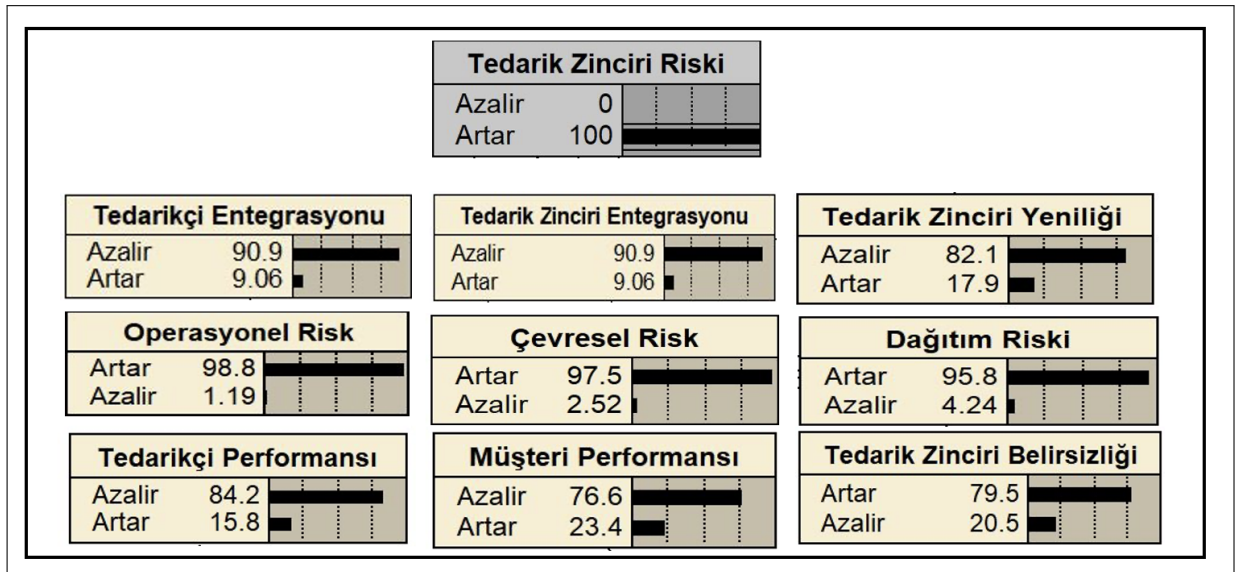
Tedarik zinciri risk değişkeni için aynı zamanda Netica yazılım ile uygulama gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç varyans değişiminin hesaplanmasıdır. Netica duyarlılık analizi çıktısı, yüzde varyans azaltımı ile ölçülen her bir düğümün göreceli önemini Bayes

Ağı için göstermektedir. Daha yüksek bir azaltım yüzdesi, ilgili değişkenin daha önemli olduğunu belirtmektedir [164]. Varyans azalım değerleri, bir girdi değişkeninin sahip olduğu değere bağlı olarak seçilen çıktı değişkeninin varyansında beklenen azalma olarak tanımlanmaktadır. Duyarlılık analizinde bir hedef değişken belirlenir ve bu değişken üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda en yüksek varyans azalım değerine sahip olduğu tespit edilen girdi değişkeninin, hedef değişkenin durumları üzerindeki etkilerinin en yüksek derecede değişmesini sağlaması beklenmektedir [165]. Bu bakış açısından yola çıkılarak Tablo 4.84'te, ağda yer alan otuz değişken üzerinde Netica yazılımı ile yapılmış duyarlılık analizi sonuçlarına göre belirlenen en yüksek dokuz varyans azalım değerine sahip girdi değişkenleri listelenmiştir. Tabloda sadece tedarik zinciri riski üzerinde en belirleyici değişkenlere yer verilmiştir. Bunlar; operasyonel riski, çevresel risk, dağıtım riski, tedarik zinciri entegrasyonu, tedarikçi entegrasyonu, tedarikçi performansı, tedarik zinciri yeniliği, tedarik zinciri belirsizliği ve müşteri performansı değişkenleridir.

Tablo 4.84: Tedarik Zinciri Değişkeni Duyarlılık Analizi Varyans Azalım Sonucu

Değişken	Varyans Azalımı (%)
Operasyonel Risk	9,49
Çevresel Risk	8,17
Dağıtım Riski	6,77
Tedarik Zinciri Entegrasyonu	5,41
Tedarikçi Entegrasyonu	2,36
Tedarikçi Performansı	0,502
Tedarik Zinciri Yeniliği	0,214
Tedarik Zinciri Belirsizliği	0,133
Müşteri Performansı	0,0781

Bu değişkenlerin tedarik zinciri riskine olasılık olarak etkisi ise Şekil 4.13,'te gösterilmiştir. Bu şekilde, tedarik zinciri riskinin çeşitli faktörlere bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmiştir. Örneğin; tedarik zinciri riski azaldığında, tedarikçi entegrasyonu %90,9 oranında artmakta, artış durumunda ise %9,06 oranında artmaktadır. Diğer değişkenler için de aynı şekilde yorum yapmak mümkündür. Bu analiz, tedarik zincirindeki risklere hangi alanların daha duyarlı olduğunu ve hangi alanlarda iyileştirme yapılması gerektiğini göstermektedir.



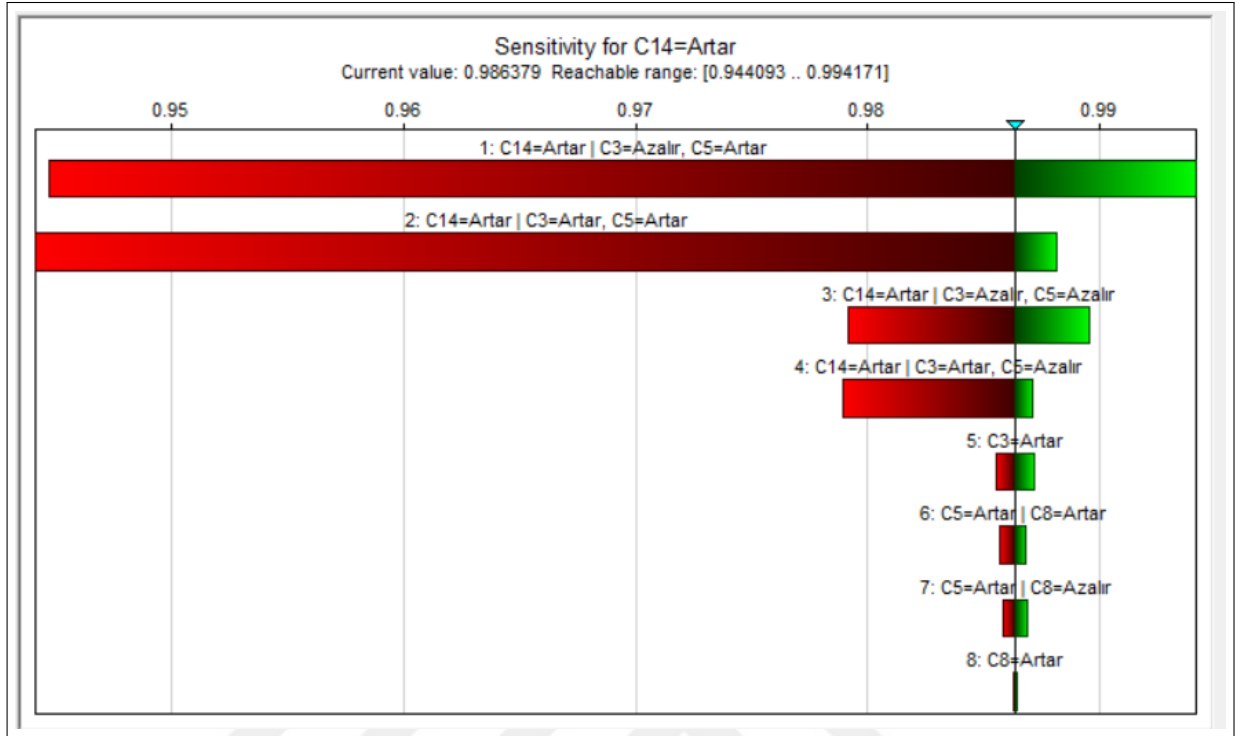
Şekil 4.13: Tedarik Zinciri Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi-Netica Uygulaması

Genel bir ifadeyle; her bir durum farklı tedarik zinciri risk değişkeninin ve bu değişkenlerin değer artış veya azalış durumlarının toplam sonuç üzerindeki etkisini temsil etmektedir. Bu analizlerin, şirketin tedarik zinciri stratejilerini belirleme ve maliyetlerini optimize etme sürecinde faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca kritik değişkenlerin belirlenmesi, kaynakların daha verimli dağıtılmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, kritik ve etkili olan değişkenlerin kontrolü için daha fazla kaynak ayırmak uygun olacaktır çünkü bu değişkenlerin değişimi sonuca büyük etki yapmaktadır.

Senaryo-2: Operasyonel Risk Değişken Etkisi

Bu analiz, operasyonel risk değişiminin etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Senaryo 2'de operasyonel riskin arttığı durum temel alınmıştır. Bu amaçla ön risklerin gerçekleşme olasılıkları gözlemlenmiştir. Bu olasılıkların önem düzeyleri ile kendi aralarındaki

sıralamaları elde edilmiştir. Duyarlılık analiz sonuçları Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14: Operasyonel Risk Değişkeni Duyarlılık Analizi

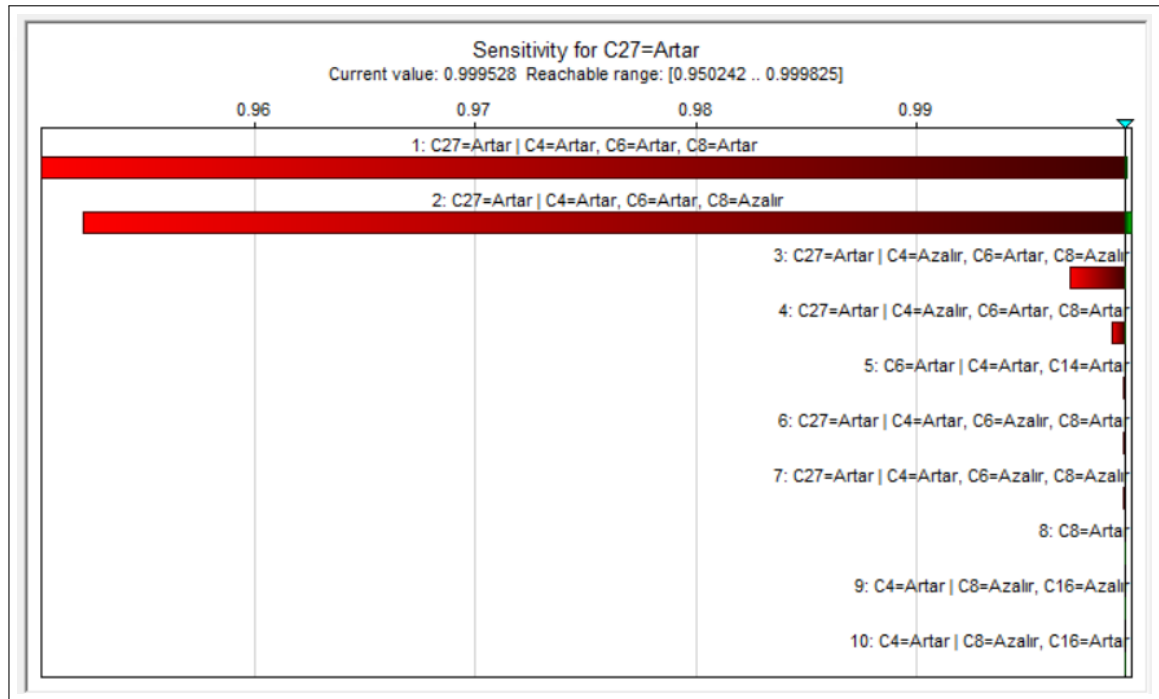
Bu senaryoda, C5 (Dağıtım Riski) değişkeninin değerinin artması ve C3 (Çalışan Riski) değişkeninin değerinin azalması durumunda, toplam sonuç üzerinde en büyük değişiklik gerçekleşmektedir. Burada, C5 değişkeninin değerinin artması tedarik zincirinde aksamalara yol açarak ürün teslimatlarında gecikmelere, maliyet artışlarına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olabilmektedir [166]. Bu durumda stok yönetimini iyileştirmek, tedarik zinciri esnekliğini artırmak ve risk yönetim planları geliştirmek şeklinde bazı stratejiler uygulanmalıdır. Bu duruma ait olasılık değeri ise 0,98768 olarak hesaplanmıştır. Bu değer yüksek bir olasılık değeri olup modelin sonucunun oldukça güvenilir olduğunu ve tahmin edilen sonucun yüksek bir doğruluk ile gerçekleşeceğine işaret etmektedir. Diğer durumlar arasında belirgin olarak ikinci durumda bir önceki duruma göre negatif yönde artış daha fazla meydana gelmiştir bunun nedeni C3 değişkeninin değerinin artmasıdır.

Sonuç olarak, bu risklerin minimize edilmesi için mevcut stratejilerin gözden geçirilmesini ve optimize edilmesini gerekmektedir. Genel bir ifadeyle; kritik değişkenlerin belirlenmesi, kaynakların daha verimli kullanılmasına ve doğru stratejilerin belirlenmesine olanak

sağlamaktadır. Bu nedenle operasyonel risklerin yönetilmesi hususunda çalışan ve dağıtım risklerine daha fazla kaynak ayırmak uygun olacaktır.

Senaryo-3: Tedarikçi Riski Değişken Etkisi

Bu analiz, tedarikçi risk değişiminin etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ön risklerin gerçekleşme olasılıkları gözlemlenmiştir ve bu olasılıkların önem düzeyleri ile kendi aralarındaki sıralamaları elde edilmiştir. Şekil 4.15'te Senaryo 3 için sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Tedarikçi Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi

Bu senaryoda, C4 (Çevresel Risk), C6 (Envanter Riski) ve C8 (Finansal Risk) değişkenlerinin değerinin artması durumunda toplam sonuç üzerinde en büyük değişiklik gerçekleşmektedir.

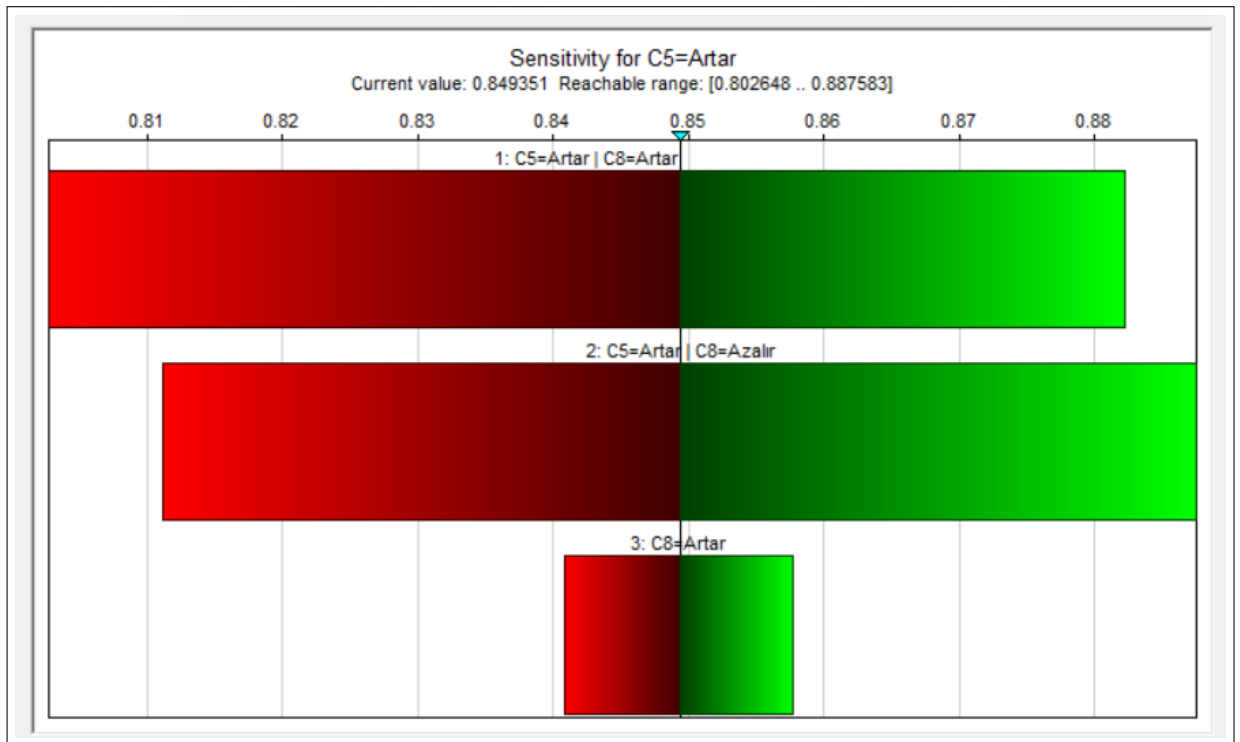
Tedarikçi riskinde meydana gelen bu artış durumu özellikle; tedarik zincirinde kesintilere, maliyet artışlarına, kalite sorunlarına, müşteri memnuniyetsizliğine ve finansal risklere yol açabilmektedir [167]. Bu temel durum için olasılık değeri 0,999738 olup bu kombinasyonun model üzerinde çok güçlü bir etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır.

Şekil 4.15'ten görüleceği üzere ikinci duruma kıyasla üçüncü durumda, C27 değişkeni için olasılık olarak çok fazla bir azalış meydana gelmiştir. Bunun temel nedeni C4 değişkeninde meydana gelen değişimdir. Buradan yola çıkarak, çevresel riskin tedarikçi riski üzerindeki etkisinin, finansal riskle ilişkisine kıyasla daha fazla olduğunu söylemek mümkündür.

Dördüncü durumda ise; C4 değişkeninin değerinin azalması ve C6 ile C8 değişkenlerinin değerinin artması ile birlikte toplam sonuç üzerindeki dördüncü en büyük etki görülmektedir. Buradaki en önemli gösterge sadece C4 değişkeninin değerinin azalmasıdır böylece etki daha net ortaya çıkmıştır. Bu durum, dikkatle izlenmesi gereken bir durum oluşturmaktadır.

Senaryo-4: Dağıtım Risk Değişken Etkisi

Bu analiz, dağıtım risk değişiminin etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Senaryo 4'te dağıtım riskinin arttığı durum temel alınmıştır. Bu amaçla ön risklerin gerçekleşme olasılıkları gözlemlenmiştir ve bu olasılıkların önem düzeyleri ile kendi aralarındaki sıralamaları elde edilmiştir. Duyarlılık analiz sonuçları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Dağıtım Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi

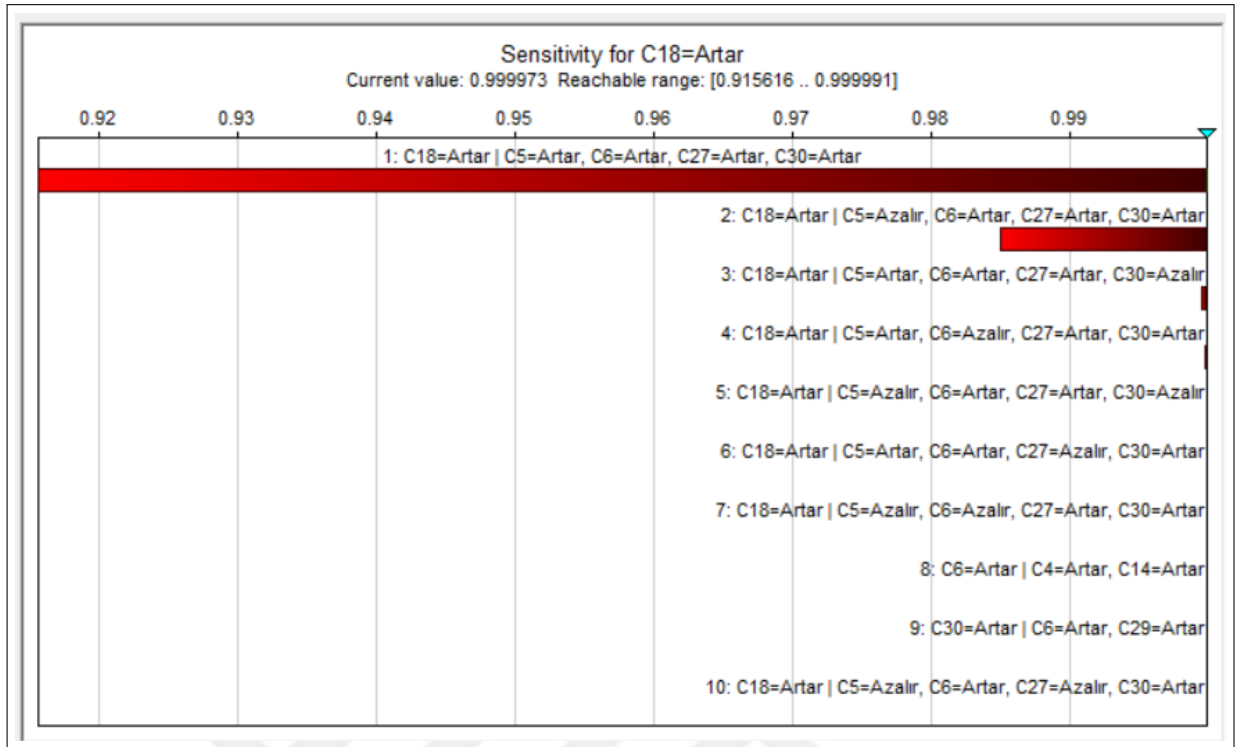
Bu senaryoda, C8 (Finansal Risk) değişkeninin değerinin artması durumunda toplam sonuç üzerindeki en büyük etki görülmektedir. Burada C8 değişkeninin değerinin artışı, C5 değişkeninin değerinin artışına neden olmaktadır ve toplam sonuç üzerinde önemli bir pozitif etki yaratmaktadır. Bu duruma ait olasılık değeri ise 0,849351 olarak hesaplanmıştır. Bu olasılık değerinin diğer senaryo sonuçları ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu gözlenmiştir. Fakat bu değer modelin sonucunun güvenilir olduğunu ve tahmin edilen sonucun yüksek bir doğruluk ile gerçekleşeceğine işaret etmektedir. Genel bir ifade ile; dağıtım riski ve finansal risk arasındaki ilişkiyi iyileştirmek için stok yönetimi, tedarik zinciri çeşitlendirmesi, finansal risk yönetimi stratejileri, etkili risk yönetim sistemleri kurulumu ve iş sürekliliği planlaması gibi konular kritik önem taşımaktadır.

Senaryo-5: Tedarik Riski Değişken Etkisi

Bu analiz, tedarik risk değişiminin etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Bu senaryoda tedarik riskinin arttığı durum temel alınmıştır. Bu amaçla ön risklerin gerçekleşme olasılıkları gözlemlenmiştir ve bu olasılıkların önem düzeyleri ile kendi aralarındaki sıralamaları elde edilmiştir. Duyarlılık analiz sonuçları Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

Bu senaryoda, C5 (Dağıtım Riski), C6 (Envanter Riski), C27 (Tedarikçi Riski) ve C30 (Ürün Riski) değişkenlerinin değerlerinin artması ile toplam sonuç üzerindeki en büyük etki görülmektedir. Bu temel durum için olasılık değeri 0,999973 şeklinde hesaplanmıştır. Bu olasılık değeri model açısından yüksek bir güvenilirliği ifade etmektedir. Belirtilen değişkenlerin değerinin artması tedarik riski üzerinde oldukça fazla bir etkiye sahiptir.

Şekil 4.17’de görüldüğü üzere, ikinci durumda C18 değişkeninin değerinin artması, C6, C27 ve C30 değişkenlerinin değerlerinin artmasına, ancak C5 değişkeninin değerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu değişiklikler, toplam sonuç üzerindeki ikinci en büyük etkiyi oluşturmaktadır. Bu kombinasyonun etkisi, birinci çubuktan çok daha azdır ancak negatif yönde değişimi oldukça azaltmıştır bu nedenle önemli bir etkiye sahiptir. Birinci durumdan ikinci duruma geçişte C5 değişkeninin değerinde meydana gelen artış yerine azalma gözlemlenmiştir. Diğer değişkenlerin (C6, C27, C30) aynı şekilde değerinin artmasına



Şekil 4.17: Tedarik Riski Değişkeni Duyarlılık Analizi

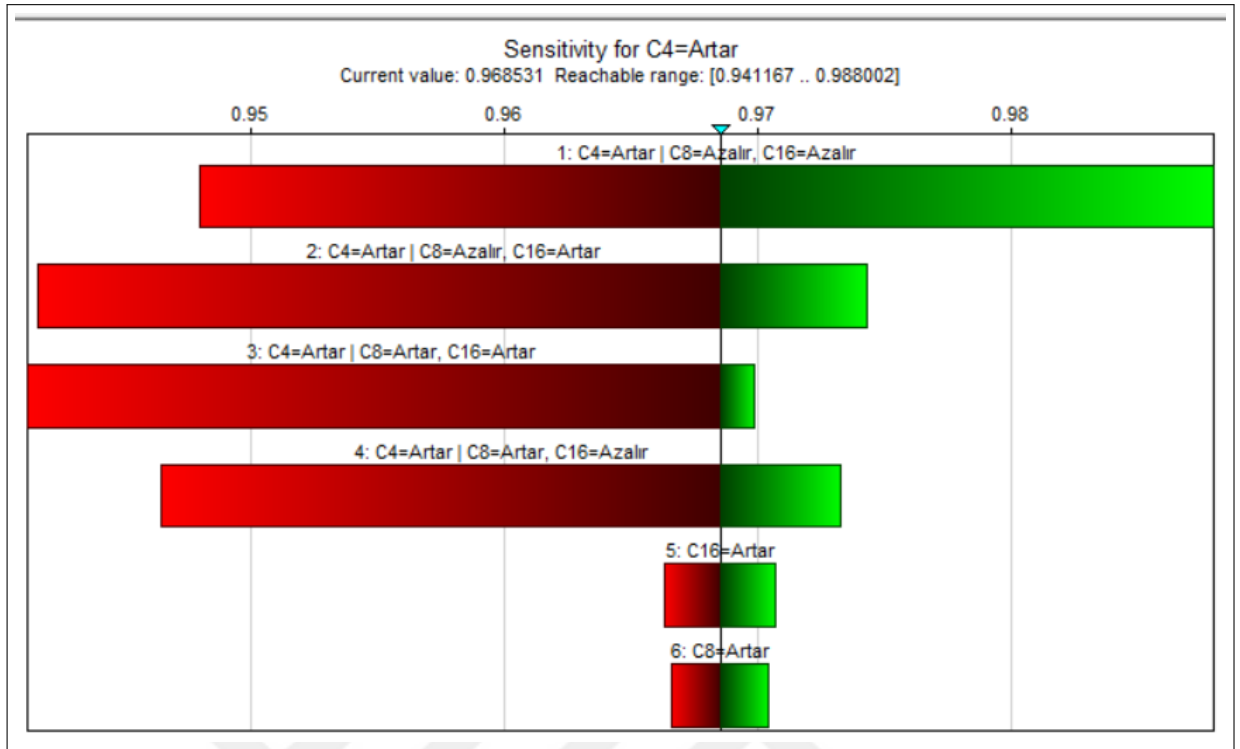
kıyasla C5 değişkeninin değerinin azalması genel sonucu negatif yönde etkilemektedir. Bu nedenle, C5'in durumu kritik bir faktör olarak değerlendirilebilir.

Senaryo-6: Çevresel Risk Değişken Etkisi

Bu analiz çevresel riskin arttığı durum temel alınmıştır. Bu amaçla ön risklerin gerçekleşme olasılıkları gözlemlenmiştir bu olasılıkların önem düzeyleri ile kendi aralarındaki sıralamaları elde edilmiştir. Duyarlılık analiz sonuçları Şekil 4.18'de gösterilmiştir.

Bu senaryoda, C8 (Finansal Risk) ile C16 (Politik Risk) değişkenlerinin değerinin azalması durumunda toplam sonuç üzerindeki en büyük değişiklik gerçekleşmektedir. Değişkenlerden C8 ve C16 risk faktörlerinin değerinin azalmasının C4 değişkeni üzerinde pozitif yönde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu temel durum için olasılık değeri 0,968531 olup bu kombinasyonun model üzerinde çok güçlü bir etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır.

İkinci durumda ise, C4 değişkeninin değerinin artması durumunda C8 değişkeninin değerinin azalması ve C16 değişkeninin değerinin artması ile toplam sonuç üzerindeki ikinci en büyük



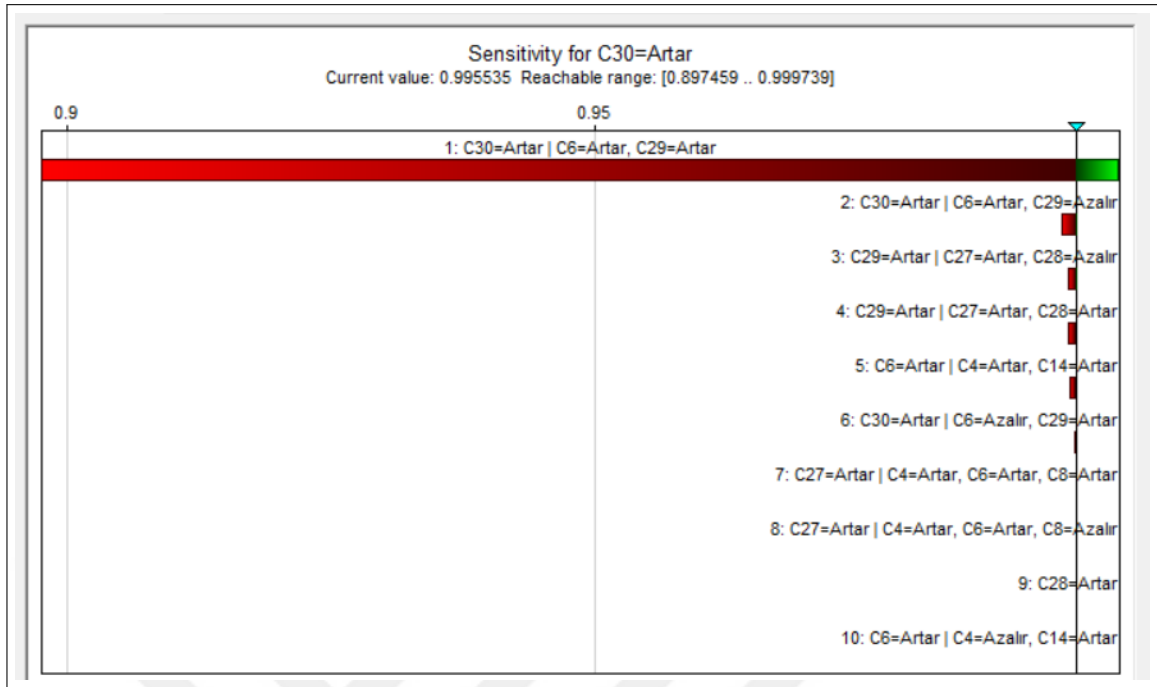
Şekil 4.18: Çevresel Risk Değişkeni Duyarlılık Analizi

etki görülmektedir. Burada, birinci durumdan farklı olarak C16 değişkeninin artar durumda olmasıdır. Buradan yola çıkılarak politik riskin finansal riske oranla çevresel riski daha fazla negatif yönde etkilediği ortaya çıkmaktadır. Bu durumu doğrular nitelikte olan [168] çalışmalarında, şirketlerin karbon yönetimi stratejilerinin maliyet azaltma gibi yöntemlerle hem ekonomik avantajlar hem de çevresel sürdürülebilirlik sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Senaryo-7: Ürün Riski Değişken Etkisi

Bu analiz, ürün risk değişiminin etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Bu senaryoda operasyonel riskin arttığı durum temel alınmıştır. Bu amaçla ön risklerin gerçekleşme olasılıkları gözlemlenmiştir bu olasılıkların önem düzeyleri ile kendi aralarındaki sıralamaları elde edilmiştir. Duyarlılık analiz sonuçları Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Bu senaryoda, C6 (Envanter Riski) ve C29 (Üretim Riski) değişkenlerinin değerinin artması ile toplam sonuç üzerindeki en büyük etki görülmektedir. Bu duruma ait olasılık değeri 0,995535 şeklinde hesaplanmıştır. Bu değer modelin çok güçlü ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Burada diğer durumlara kıyasla değişim bazında en fazla etkinin mevcut



Şekil 4.19: Ürün Risk Değişkeni Duyarlılık Analizi

olduğu durum yer almaktadır. Bunun nedeni üretim riski ve envanter riskinin artışının ürün riskinin artışında çok etkili olmasıdır. Paul ve diğ. [169] üretim-envanter ve tedarik zinciri sistemlerinde risk yönetimi üzerine gerçekleştirmiş oldukları çalışmada bu ilişkinin önemine değinmiştir. İkinci durumda, C6 değişkeninin değerinin artması ve C29 değişkeninin değerinin azalması ile toplam sonuç üzerindeki ikinci en büyük etki görülmektedir. Bu kombinasyonun etkisi, birinci çubuktan çok daha azdır. Meydana gelen negatif yönde artışın fazlaca düşmesinin nedeni üretim riskinin azalmasıdır. Genel bir ifade ile; özellikle C6 ve C29 değişkenlerinin durumları, C30 değişkeninin değerinin artışında kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle bu değişkenlerin değişimlerinin gözlemlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

5. TARTIŞMA

Son yıllarda, tedarik zinciri riski konusu risk yönetimi alanında giderek artan bir öneme sahip olmuştur. Uluslararası organizasyonlar ve şirketler arasındaki etkileşimlerin karmaşıklığı, tedarik zinciri riskleri ile ilişkilendirilen zorlukları daha da artırmaktadır, bundan dolayı bu riskleri etkili bir şekilde anlamak ve yönetmek oldukça önemlidir. Tedarik zincirleri daha karmaşık hale geldikçe mal ve hizmetlerin teslimatını engelleyebilecek çok sayıda risk ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, organizasyonların tedarik zinciri risklerini belirlemeleri, değerlendirmeleri ve bu riskleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için uygun önlemleri almaları esastır. Bu bağlamda, tedarik zinciri risk faktörlerini anlamak ve bu faktörler arasındaki ilişkileri yorumlamak önemlidir.

Literatürde, genellikle tedarik zinciri riskini tanımlama ve ölçme üzerine odaklanmış çalışmalar mevcut olsa da [29], bu çalışma tedarik zinciri riski ile diğer etkileyici faktörler arasındaki ilişkileri bir sistem yaklaşımı perspektifiyle ve bütünlük bir yöntem ile analiz etmeye odaklanmıştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında, tedarik zincirindeki risklerine dair kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bu bağlamda literatürdeki boşluk iyi bir şekilde analiz edilerek, bu boşluğun doldurulması için yeni katkılara yer verilmiştir.

Risk değerlendirme çalışmaları genellikle Bayes Ağları, Yapısal Eşitlik Modelleme, Bilişsel Haritalar vb. yöntemleri içermektedir ve bu yöntemler, karmaşık sistemlerdeki belirsizliklerin modellenmesi ve analiz edilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Bayes Ağları, değişkenler arasındaki olasılık temelli ilişkileri ve nedensellikleri anlamada etkili bir yöntem sunarken [70], Bulanık Bilişsel Haritalar ise değişkenler arasındaki etkileşimleri bulanık mantık yaklaşımı ile ortaya koyarak belirsizliklerin analizini mümkün kılmaktadır [4]. Ancak bu yöntemler çoğunlukla tek başlarına kullanıldığında tedarik zinciri dinamiklerini yeterince kapsamlı ve bütünsel bir perspektiften değerlendiremeyebilir. Bu nedenle, bu çalışmada Bayes Ağları ve Bulanık Bilişsel Haritaları entegre eden bütünlük bir model geliştirilmiştir.

Bütünleşik modelin tercih edilmesinin temel nedeni, tedarik zinciri risklerinin çok boyutlu yapısını daha doğru bir şekilde anlamak ve belirsizliklerin etkili bir biçimde yönetilmesini sağlamaktır. Bayes Ağları'nın olasılık temelli analiz gücü ve Bulanık Bilişsel Haritalar'ın belirsizlikleri ve karmaşık ilişkileri temsil etme kapasitesini birleştiren bu yaklaşım, tedarik zinciri risklerini daha derinlemesine ve kapsamlı bir şekilde değerlendirmeye olanak tanıyarak literatüre önemli bir katkı sunmuştur. Buradan yola çıkılarak bu çalışmanın temel amacı, tedarik zinciri riskini etkileyen faktörlerin modelleme ve analizi için doküman kodlama yönteminin Sezgisel Bulanık Bilişsel Harita ve Bayes Ağı ile entegre edilmesidir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, son on yılda tedarik zinciri risk yönetimi üzerine detaylı bir literatür taraması sunulmuştur. Bu inceleme sonucunda, tedarik zinciri risk faktörlerinin belirlenebilmesi için daha kapsamlı modellere ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, TZRY için bütünleşik bir modelin kurulmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür. Daha önce de ifade edildiği üzere, literatürde tedarik zinciri risk yönetimiyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, Bulanık Bilişsel Harita ve Bayes Ağı kullanılarak gerçekleştirilen öncü çalışmaların beş adet olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmaların güçlü ve zayıf yönleri incelenmiş ve bu çalışmalardan hareketle problemin çözümü için uygulanacak modelde dikkat edilmesi gereken noktalar belirlenmiştir. Sonrasında bu farklılıkları karşılayacak çözüm önerileri üzerinde durularak bütünsel bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Model, belirsizliklerin ve karmaşık ilişkilerin daha etkili bir şekilde yönetilmesini ve analiz edilmesini mümkün kılmıştır. İlk olarak çalışmanın da özgünlüğüne destek sağlayan doküman kodlama tekniği kullanılarak belirlenen seksen beş makale çalışması yardımıyla değişkenler belirlenmiştir ve sonrasında bu değişkenlerin aralarındaki nedensel ilişkiler tespit edilmiştir. Sonrasında, altmış dört adet değişken belirlenmiştir ve bu durumun analizi karmaşık hale getireceği düşünülerek, konu hakkında tecrübeli iki uzmanın yardımıyla sınıflandırma yapılmıştır. Elde edilen nihai otuz adet değişken ile birlikte kavramlar arasındaki nedensel ilişkilerin daha doğru şekilde belirlenmesi için tekrar uzman görüşü alınmıştır. Bu doğrultuda, kavramlar arasındaki nedenselliği doğru bir şekilde ifade etmek için üçgen bulanık sayılar ile temsil edilen dilsel değişkenler tasarlanmıştır ve uzmanlardan

bu değişkenler arası ilişkiler için güvenilirlik düzeyi talep edilmiştir. Bu yaklaşım, belirsizlik ögesinin hem matematiksel hem de analitik olarak sistematik bir şekilde ele alınmasını kolaylaştırmıştır.

Bu sürecin ardından etkileşim matrisini oluşturmak amacıyla beklenen değer yöntemi ile birlikte durulaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durulaştırma işlemi, Kahraman ve diğ. [170] çalışmalarında yer vermiş olduğu matematiksel eşitlikler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Durulaştırma işlemi sonucunda elde edilen nihai ağırlık değerleriyle Bulanık Bilişsel Harita formüle edilmiştir. Geliştirilen model simüle edilmiş ve eşik fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyon kullanılmıştır. Tüm değişkenler durağan duruma ulaşana kadar simülasyon süreci yirmi iterasyonun ardından sonlandırılmıştır. Daha sonra Bulanık Bilişsel Harita indeksleri hesaplanmış ve model parametreleri değerlendirilmiştir. Son olarak, modelin dinamik davranışını gözlemlemek ve diğer değişkenlerin değerlerinin artması veya azalmasına nasıl tepki verdiklerini anlamak için senaryo analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda üç alternatif senaryo oluşturulmuştur ve elde edilen sonuçlar ile literatürde yer alan ilgili çalışmalar ile karşılaştırma yapılmıştır. İlk senaryoda, tedarik zinciri riski arttıkça organizasyonel performansın, finansal performansın, inovasyon performansının ve lojistik performansının olumsuz etkilendiği gözlenmiştir, bu da risk yönetiminin önemini vurgulamaktadır. İkinci senaryoda, tedarik zinciri performansının artmasıyla tedarik zinciri dayanıklılığı güçlenmiştir, bu da risklere karşı daha dirençli bir yapı oluşturulabileceğini göstermektedir. Üçüncü senaryoda ise talep riski ve bilgi riskinin tedarik zinciri performansını olumsuz etkilediği, ancak iç entegrasyonun operasyonel performansı artırdığı belirlenmiştir. Bu bulgular, tedarik zinciri risk yönetiminin, özellikle bilgi riskinin azaltılması ve iç entegrasyonun sağlanması yoluyla, genel performansı ve dayanıklılığı artırmak için kritik olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu senaryo analizlerinin temel amacı bir tür "doğrulama" yapmaktır. Literatüre bakıldığında bu bilgileri doğrular nitelikte [144], [41], [145], [61], [146], [147] olmak üzere bazı çalışmalar mevcuttur. Bu nedenle bilişsel haritanın ürettiği sonuçlar ile literatür bulguları kapsamında değerlendirilmiş ve BBH'nin düzgün çalıştığı sonucuna varılmıştır.

Daha sonra, çalışmanın özgünlüğünü ortaya çıkaran bir diğer aşama olarak BBH yaklaşımından Bayes Ağına geçiş yapılmıştır. BBH'den elde edilen ağırlık değerleri olasılık değerlerine dönüştürülmüştür. Her değişken için ayrı ayrı olmak üzere iki taraflı olasılık fonksiyonları hesaplanmıştır. Böylece bulanık sayılardan olasılık değerlerine dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Her değişken için ayrı ayrı hesaplanan olasılık değerleri ile birlikte durum olasılık tabloları oluşturulmuştur. Literatürü incelediğimizde; Azar ve diğ. [88] çalışmasında olasılık dönüşümleri aşamasında doğrudan sezgisel bulanık sayılar kullanmıştır. Bu tez çalışmasında ise güven düzeylerini de içeren sezgisel bulanık sayılardan yararlanılmıştır. Diğer bir farklılık, değişken kapsamında ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, [89] çalışmasıyla kıyaslandığında, bu tez çalışması tüm tedarik zinciri risk yönetimi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, tablolardaki değerlerin ve değişkenlerin ilişkileri GeNie programına aktarılmıştır. GeNie programına aktarılan olasılık değerleri sayesinde değişkenlerin görsel olarak gösterimi gerçekleştirilmiştir. Ardından, model çalıştırılmış ve çalışmanın duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümünde, model hedeflerinin ve model kararlarının çeşitli katsayıların değişimine karşı duyarlılığı analiz edilmiştir. Çalışmada GeNie programına ilave olarak Netica programına da yer verilmiştir. Böylece modelin doğrulanması sağlanmıştır. Bu modelde; lojistik performansı, tedarik zinciri entegrasyonu, çalışan riski, çevresel risk, arz riski, strateji riski, bilgi risk, tedarikçi entegrasyonu, inovasyon performansı, üretim esnekliği, iç entegrasyon, müşteri entegrasyonu, envanter riski, politik risk, finansal risk, tedarik zinciri yeniliği, ürün riski, tedarik riski, müşteri performansı, tedarikçi performansı ve tedarik zinciri belirsizliği değişkenleri model için en duyarlı değişkenler olarak belirlenmiştir. Tedarik zinciri performansı, tedarik zinciri ve dayanıklılığı, operasyonel performans ve finansal performans ise diğer değişkenlere göre daha az hassas olarak gözlemlenmiştir.

Çalışmanın son aşaması ise duyarlılık analizlerinden oluşmaktadır. Uygulanan yedi duyarlılık analizinin sonuçları, tedarik zinciri risk değişkeni başta olmak üzere diğer temel değişkenler için önemli değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu değerlendirmeler şu şekildedir:

İlk değerlendirmede; çalışan riskinin artmasının, operasyonel riski dağıtım riskine oranla daha fazla artırdığı görülmüştür. Literatürde de bu bilgiyi doğrulayan çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Sanford ve Moosa'nın [171] çalışmaları, operasyonel risk ve çalışan riski arasında pozitif yönde ve güçlü bir ilişki olduğunu vurgulamaktadır.

Müşteri performansındaki düşüşün, müşteri memnuniyeti ve sadakatini azaltarak tedarik zinciri riskini artırdığı ve genel performansı olumsuz etkilediği görülmektedir. Bu nedenle, müşteri odaklı stratejilerin gözden geçirilip optimize edilmesi kritik öneme sahiptir [167].

Bir diğer değerlendirme, tedarikçi riski ve çevresel riski arasındaki ilişkiye dairdir. Çevresel risk değişkeninin azalmasının, tedarikçi riski üzerinde meydana gelen artışı önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durumu doğrulayan literatürdeki çalışmalar arasında Banerjee ve arkadaşlarının [172] çalışması dikkat çekmektedir; bu çalışma, üstün çevresel performansa sahip tedarikçi firmaların çevresel standartları belirlemede ve endüstrinin gelecekteki çevresel düzenlemelerine yn vermede etkili olduğunu belirtmiştir. Aynı şekilde Vachon ve Klassen [173], tedarikçi risklerinin azaltılmasında evre yönetimi uygulamaları kapsamında tedarikçilerle işbirliğinin önemini vurgulamışlardır.

Chopra ve arkadaşları [174] çalışmalarında, tedarik zincirinin genelinden yola çıkarak dağıtım riski ile tedarik riski arasındaki ilişkinin önemine ve bu ilişkinin tedarik süreçlerine olan etkisine dikkat çekmişlerdir.

Son olarak, sonuçlardan elde edilen bir diğer değerlendirme, ürün riski ve üretim riski arasında çok güçlü bir ilişki olduğudur. Lin ve Zhou [175], balık kılçığı yöntemi ile ürün riski ve tedarikçi risklerinin yanı sıra ürün tasarımınnın dolaylı olarak üretimi etkileyen değişkenlerini incelemişlerdir. Bu alışma, ürün tasarımında meydana gelebilecek risklerin öncelikle üretim süreçlerindeki etkisine dikkat çekmekte ve ardından genel etkileri bazında tedarik zinciri riskine olan etkisini incelemektedir.

Bu tez çalışmasının nc çalışmalar ile kıyaslaması ise; Nadkarni ve Shenoy (2004), araç satın alım sürecinde değerlendirilen kriterler için Bayes nedensel haritalar kullanarak beş

firma üzerinde bir bilgi işlem uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Sedki ve De Beafort (2012), balıkçılık sektörüne ilişkin on beş değişkeni analiz ederek, bilişsel haritadan Bayes nedensel ağ haritasına geçiş yapmışlardır. Wee ve diğ. (2015), kök neden analizi için Bayes Ağı tabanlı bir model oluşturmuş, ardından Bulanık Bilişsel Haritalara (BBH) geçiş yaparak otomobil start-up programını incelemişlerdir. Azar ve Dolatabad (2019), Bayes Ağı ile operasyonel riskleri ele almış, ancak bu çalışmada BBH'den BA'ya sadece operasyonel riskler bağlamında geçiş yapılmıştır. Maya ve diğ. (2020) ise deniz kazalarına etki eden insan faktörlerini analiz ederek Bulanık Bilişsel Haritalardan Bayes Ağlarına geçiş sağlamışlardır, ancak çalışmada yalnızca insan faktörlerine odaklanılmıştır şeklindedir.

Bu çalışmalardan farklı olarak, mevcut tez çalışmasında, Bulanık Bilişsel Haritalardan Bayes Ağlarına geçiş yapılmış olup, risk değişkenleri daha kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

Modelin genel kapsamda incelenen bulgularından elde edilen genel sonuçlar ise aşağıda sunulmuştur:

- Modelin doğruluk oranı %80,72 (0,8072) olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek doğruluk oranı, modelin belirsizlik ve karmaşıklık içeren verilerle etkili bir şekilde başa çıkabildiğini ve güvenilir sonuçlar üretebildiğini göstermektedir. Modelin uygulama alanına göre farklılık gösteren doğruluk oranları, %80'lik bir doğruluğun oldukça iyi performans gösterebileceğini göstermektedir [176].
- Modeli en fazla etkileyen değişkenler arasında tedarik zinciri riski, çevresel risk, dağıtım riski, operasyonel risk, tedarik risk ve tedarikçi riski öne çıkmaktadır. Bu değişkenlerin artışı toplam sonuç üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Özellikle tedarik zinciri riski ve çevresel risk değişkenlerinin kontrolü, sonuçlar üzerindeki büyük etkileri nedeniyle kritik önem taşımaktadır.
- Tedarik zinciri riskine ise etki eden en temel riskler; çevresel risk, ürün riski, tedarik riski, tedarikçi riski, operasyonel risk ve dağıtım riski şeklindedir. Tüm bu değişkenler

arasında ise model kapsamında çevresel riskin tedarik zinciri riskinin artışı üzerinde en fazla etkisi olan faktör olduğu tespit edilmiştir.

- Farklı risk senaryolarında, belirli değişkenlerin artışı veya azalması modele önemli etkilerde bulunmaktadır. Operasyonel risk, tedarik riski, çevresel risk ve ürün riskinin durumu risk senaryolarında toplam sonucu büyük ölçüde etkilemiştir.
- Yapılan senaryo analizleri, stratejik planlama süreçlerinde çeşitli senaryoların etkilerini öngörmeyi ve bu senaryolara yönelik hazırlık yapmayı kolaylaştırmıştır.
- Modelin dinamik yapısı, risk değerlendirmesinin ve senaryo analizinin sürekli olarak güncellenebilmesini ve değişen koşullara uyum sağlayabilmesini mümkün kılmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geliştirilen tedarik zinciri risk yönetimi modeli, hem literatüre hem de endüstriye çeşitli katkılarda bulunabilmektedir. Literatürde, model yeni yaklaşımlar ve metodolojiler sunarak mevcut teorilere farklı bir bakış açısı kazandırabilmektedir. Ayrıca, tedarik zinciri risk yönetimi alanındaki mevcut boşlukları doldurarak, teorik bilgiler ile pratik uygulamalar arasında köprü kurabilir ve gelecekteki araştırmalar için yeni konular önereceği öngörülmektedir. Endüstride ise model, risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olarak karar destek araçları sağlayabilmektedir. Şirketler, bu model sayesinde riskleri daha iyi analiz edebilir, operasyonel verimliliklerini artırabilir ve rekabet avantajı elde edebilir.

Bulanık bilişsel harita ve Bayes ağı kullanılarak oluşturulan model, tedarik zinciri risk yönetiminde karar destek süreçlerini güçlendiren yenilikçi bir yaklaşımdır. Model, risk faktörleri arasındaki karmaşık ilişkileri bulanık bilişsel harita ile görselleştirirken, Bayes ağları aracılığıyla olasılık hesaplamaları yaparak belirsizlikleri daha etkin bir şekilde yönetmeyi sağlamaktadır. Bu iki yöntemin entegrasyonu, risklerin daha doğru öngörülmesine ve karar süreçlerinde güvenilirliğin artırılmasına imkan tanımaktadır.

Model, 2013-2023 yılları arasındaki tedarik zinciri riskleri ile ilişkili değişkenleri ele alarak, her birinin tedarik zinciri performansına etkisini analiz etmiştir. Böylece firmaların daha proaktif ve etkili risk yönetimi stratejileri geliştirmelerine olanak sağlamıştır. Dinamik ve belirsiz ortamlara uyarlanabilir bir çözüm sunarak hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara önemli katkılar sağlamaktadır. Bulgular, modelin teorik ve pratik anlamda daha doğru risk analizlerine ve daha etkili risk yönetim süreçlerine katkı sağladığını göstermektedir.

Gelecekteki araştırmalar için önerilen adımlar ise şunlardır:

1. Değişkenlerin Sayısının Artırılması: Tedarik zinciri kapsamındaki değişkenlerin sayısının

artırılması ve veri setinin genişletilmesi, çalışmanın kapsamını daha da genişleterek farklı risk faktörlerini ve etkileşimlerini daha kapsamlı bir şekilde değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Böylece, daha fazla değişken ile risklerin yönetimi üzerine daha derinlemesine analizler yapılabilme olanağı sağlanmaktadır.

2. Uzman Grubunun Genişletilmesi: Araştırmanın kapsamını artırmak amacıyla daha geniş bir uzman grubunun projeye dahil edilmesi önerilmektedir. Farklı alanlardan gelen uzmanlar, çalışmanın sonuçlarına çeşitli bakış açıları kazandırarak, elde edilen verilerin yorumlanmasını zenginleştirebilir ve potansiyel önyargıları minimize edebilir.

3. Farklı Endüstri Sektörlerine Uygulama: Kullanılan metodolojik çerçevenin çeşitli endüstri sektörlerine uygulanabilirliğinin araştırılması, çalışmanın geçerliliğini güçlendirecektir. Bu yaklaşım, metodolojinin farklı sektörlerde nasıl işlediğini ve sektöre özgü risk yönetim stratejilerinin nasıl uyarlanabileceğini incelemeyi içermektedir. Böylece, çalışmanın elde ettiği bulgular, sektörel bazda daha geniş bir uygulama alanı bulabilmektedir.

4. Tedarik Zinciri Risk Yönetimi İçin Uyarlanabilir Çözümler: Çalışmada geliştirilen yöntemlerin sektörel bazda uyarlanabilir çözümler sunması, farklı endüstrilere yönelik spesifik risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanıyabilmektedir. Bu, özellikle tedarik zinciri yönetiminin sektöre özgü zorluklarına cevap verecek çözümlerin ortaya koyulmasını sağlayabilmektedir.

5. Her firma için tedarik zinciri risk yönetimi (TZRY) süreci, firmanın tedarik zincirine özgü riskler göz önünde bulundurularak spesifik bir şekilde ele alınabilir. Bu bağlamda, her firmanın sektörü, operasyonel yapısı, tedarikçi ilişkileri ve coğrafi konumu gibi faktörler, risk yönetimi stratejilerinin belirlenmesinde kritik rol oynar. Firma bazında gerçekleştirilen bu analizlerde, risk faktörlerinin tanımlanması ve yönetilmesi, firmanın ihtiyaçlarına uygun özelleştirilmiş yöntemler ve stratejiler kullanılarak yapılabilir.

6. Bu çalışma, tedarik zinciri risk yönetimi konusunda sunduğu sınıflandırma ve metodolojik yaklaşım sayesinde, farklı sektörlerdeki benzer risk yönetimi uygulamalarına uyarlanabilir.

Özellikle, Bayes ağları gibi olasılık temelli modellerin kullanımı, çeşitli endüstrilerdeki belirsizliklerin ve risk faktörlerinin daha etkin bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın tedarik zinciri risk yönetimi literatürüne katkıda bulunması ve elde edilen sonuçların birçok şirkete tedarik zinciri riski ile başa çıkma konusunda yardımcı olması beklenmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, D. (2016) Tedarik zinciri yönetimi süreçlerini etkileyen faktörler. *International Journal of Social and Economic Sciences*, 6(1), pp. 17–24.
- [2] Handfield, R. and McCormack, K. P. (2007) Supply chain risk management: minimizing disruptions in global sourcing. *Auerbach Publications*.
- [3] Yılmaz, H. and Şahin, M. E. (2023) Bulanık mantık kavramına genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 11(1), pp. 94–129.
- [4] Ross, T. J. (2009) Fuzzy logic with engineering applications. *John Wiley & Sons*.
- [5] Zadeh, L. A. (1988) *Fuzzy logic*. *Computer*, 21(4), pp. 83–93.
- [6] Gördebil, M., 2020. *Bulanık küme uzantıları ile çoklu kriter altında grupta karar verme* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 206 s).
- [7] Glykas, M. (2010) Fuzzy cognitive maps: Advances in theory, methodologies, tools and applications, volume 247. *Springer*.
- [8] Köksal Babacan, E. and Karaduman, M. Ö. (2018) Bayes ağları-k2 algoritması üzerine bir çalışma. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), pp. 24–38.
- [9] Piegat, A. (2005) On practical problems with the explanation of the difference between possibility and probability. *Control and Cybernetics*, 34(2), pp. 505–524.
- [10] Chen, P.-S. and Wu, M.-T. (2013) A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), pp. 634–642.
- [11] Manhart, P., Summers, J. K. and Blackhurst, J. (2020) A meta-analytic review of supply chain risk management: assessing buffering and bridging strategies and firm performance. *Journal of Supply Chain Management*, 56(3), pp. 66–87.
- [12] Korucuk, S. and Memiş, S. (2018) Tedarik zinciri yönetimindeki risk faktörlerinin ahp ile ölçülmesi: Erzurum ili örneği. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), pp. 1036–1051.
- [13] Xing, L., Chen, Q., Liu, Y. and He, H. (2024) Evaluating the accessibility and equity of urban health resources based on multi-source big data in high-density city. *Sustainable Cities and Society*, 100, p. 105049.

- [14] Qazi, A., Dickson, A., Quigley, J. and Gaudenzi, B. (2018) Supply chain risk network management: A bayesian belief network and expected utility based approach for managing supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 196, pp. 24–42.
- [15] Chowdhury, N. A., Ali, S. M., Mahtab, Z., Rahman, T., Kabir, G., and Paul, S. K. (2019) A structural model for investigating the driving and dependence power of supply chain risks in the readymade garment industry. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 51, pp. 102–113.
- [16] Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., and Zacharia, Z. G. (2001) Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), pp. 1–25.
- [17] Garcia, D. J. and You, F. (2015) Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 81, pp. 153–170.
- [18] Harrison, A., Skipworth, H., van Hoek, R. I., and Aitken, J. (2019) *Logistics management and strategy*. Pearson UK.
- [19] Chopra, S., Meindl, P., and Kalra, D. V. (2013) Supply chain management: strategy, planning, and operation (vol. 232). MA: Pearson Boston.
- [20] Hudnurkar, M., Deshpande, S., Rathod, U., and Jakhar, S. K. (2017) Supply chain risk classification schemes: A literature review. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 10(4), pp. 182–199.
- [21] Keskin, M. H. (2006) Lojistik. Ankara, Turkey: Tedarik Zinciri Yönetimi, Nobel Yayın Dağıtım.
- [22] Hugos, M. H. (2018) Essentials of supply chain management. John Wiley & Sons.
- [23] Swanson, D., Goel, L., Francisco, K., and Stock, J. (2018) An analysis of supply chain management research by topic. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(3), pp. 100–116.
- [24] Wisner, J. D., Tan, K.-C., Leong, K., et al. (2021) Principles of supply chain management: A balanced approach. *South-Western, Cengage Learning*.
- [25] Stadtler, H. (2014) Supply chain management: An overview. Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software, and case studies, pp. 3–28.
- [26] Laczynski de Souza Miguel, P. and Ledur Brito, L. A. (2011) Supply chain management measurement and its influence on operational performance.
- [27] Burt, B. A. (2001) Definitions of risk. *Journal of Dental Education*, 65(10), pp. 1007–1008.

- [28] Tepe Küçükoğlu, M. (2020) Tedarik zincirinde risk değerlendirme: Risklerin tanımlanması, gruplandırılması ve önceliklendirilmesi üzerine bir çalışma. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(2), pp. 2126–2141.
- [29] Er Kara, M. and Fırat, S. Ü. (2015) Tedarik zinciri risk yönetiminin gelişmesini tetikleyen risk olayları üzerine bir inceleme. *IV. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi*, pp. 21–23.
- [30] Emblemşvåg, J. and Kjølstad, L. E. (2002) Strategic risk analysis—a field version. *Management Decision*, 40(9), pp. 842–852.
- [31] Güzel, D. and Korkmaz, G. (2020) Belirsizlik ve tedarik zinciri riski: Risk azaltımında tedarik zinciri esnekliğinin aracı rolü. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(3), pp. 1045–1064.
- [32] Paul, S. K., Sarker, R., and Essam, D. (2016) Managing risk and disruption in production-inventory and supply chain systems: A review. *Journal of Industrial and Management Optimization*.
- [33] Er Kara, M. and Oktay Fırat, S. Ü. (2017). Tedarik zinciri riskleri: Literatür taraması ve yeni bir sınıflandırma. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- [34] Khan, O., Christopher, M., and Burnes, B. (2008) The impact of product design on supply chain risk: a case study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), pp. 412–432.
- [35] Shahbaz, M. S., Soomro, M. A., Bhatti, N. U. K., Soomro, Z., and Jamali, M. Z. (2019) The impact of supply chain capabilities on logistic efficiency for the construction projects. *Civil Engineering Journal*, 5(6), pp. 1249–1256.
- [36] Çıkmak, S. and Urgan, M. C. (2021) Otomotiv sektöründeki tedarik zinciri riskleriyle ilgili bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(4), pp. 1710–1737.
- [37] Waters, D. (2011) Supply chain risk management: vulnerability and resilience in logistics. *Kogan Page Publishers*.
- [38] Husain, J. et al. (2011) Customer risk perceptions of internet banking—a study in Turkey. *In Conferences Proceedings-Rothenbur*.
- [39] Qian, X. and Qiu, S. (2023) Political risk and corporate international supply chain. *Journal of International Money and Finance*, p. 102899.
- [40] Mervener, E. (2022) Management of political risks in international business and political risk insurance. *Hitit Ekonomi ve Politika Dergisi*, 2(2), pp. 238–242.
- [41] Bavarsad, B., Boshagh, M., and Kayedian, A. (2014) A study on supply chain risk factors and their impact on organizational performance. *International Journal of Operations and Logistics Management*, 3(3), pp. 192–211.

- [42] Üstündağ, A. and Urgan, M. C. (2021) Bölüm VII: Covid-19 sürecinde tedarik zinciri risk yönetimi. *COVID-19 Pandemisinde İşletme Yönetiminin Dönüşümü*, 107.
- [43] Han, M. and Chen, J. (2007) Managing operational risk in supply chain. In 2007 *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 4919–4922. IEEE.
- [44] Zsidisin, G. A. (2003) A grounded definition of supply risk. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(5-6), pp. 217–224.
- [45] Sinha, P. R., Whitman, L. E., and Malzahn, D. (2004) Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain. *Supply Chain Management: an International Journal*, 9(2), pp. 154–168.
- [46] Heckmann, I., Comes, T., and Nickel, S. (2015) A critical review on supply chain risk–definition, measure and modeling. *Omega*, 52, pp. 119–132.
- [47] Munir, M., Jajja, M. S. S., Chatha, K. A., and Farooq, S. (2020) Supply chain risk management and operational performance: The enabling role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 227, p. 107667.
- [48] Teuteberg, F. (2008) Supply chain risk management: A neural network approach. In *Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management*, pp. 99–118.
- [49] Faisal, M. N. (2009) Prioritization of risks in supply chains. In *Managing Supply Chain Risk and Vulnerability: Tools and Methods for Supply Chain Decision Makers*, pp. 41–66.
- [50] Speier, C., Whipple, J. M., Closs, D. J., and Voss, M. D. (2011) Global supply chain design considerations: Mitigating product safety and security risks. *Journal of Operations Management*, 29(7-8), pp. 721–736.
- [51] Nooraie, S. V. and Parast, M. M. (2016) Mitigating supply chain disruptions through the assessment of trade-offs among risks, costs and investments in capabilities. *International Journal of Production Economics*, 171, pp. 8–21.
- [52] Kauppi, K., Longoni, A., Caniato, F., and Kuula, M. (2016) Managing country disruption risks and improving operational performance: risk management along integrated supply chains. *International Journal of Production Economics*, 182, pp. 484–495.
- [53] Chowdhury, M. M. H., Quaddus, M., and Agarwal, R. (2019) Supply chain resilience for performance: role of relational practices and network complexities. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(5), pp. 659–676.
- [54] Er Kara, M., Oktay Firat, S. Ü., and Ghadge, A. (2020) A data mining-based framework for supply chain risk management. *Computers & Industrial Engineering*, 139, p. 105570.

- [55] Senthil, J. and Muthukannan, M. (2021) Prediction of construction risk management in modified historical simulation statistical methods. *Ecological Informatics*, 66, p. 101439.
- [56] Nayal, K., Raut, R. D., Queiroz, M. M., Yadav, V. S., and Narkhede, B. E. (2021) Are artificial intelligence and machine learning suitable to tackle the covid-19 impacts? An agriculture supply chain perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 34(2), pp. 304–335.
- [57] Tamtam, F. and Tourabi, A. (2021) Interpretive structural modeling of supply chain leagility during covid-19. *IFAC-PapersOnLine*, 54(17), pp. 12–17.
- [58] Venkatesh, V. G., Rathi, S., and Patwa, S. (2015) Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using interpretive structural modeling. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 26, pp. 153–167.
- [59] Dai, M. & Liu, L., 2020. Risk assessment of agricultural supermarket supply chain in big data environment. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 28, p.100420.
- [60] Aqlan, F. & Lam, S.S., 2015. A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment. *International Journal of Production Economics*, 161, pp.54–63.
- [61] Yolaç, G., Tuzcuoğlu, A. & Şahin, M., 2019. Tedarik zincirinde risk yönetimi ve performans ilişkisi: İstanbul ilinde bir araştırma. *Ekoist: Journal of Econometrics and Statistics*, (31), pp.95–106.
- [62] Erkan, E.F., Uygun, Ö. & Kiraz, A., 2018. Kurumsallaşma analizi için bulanık bilişsel haritalar temelli yeni bir yaklaşım. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), pp.557–571.
- [63] Uygun, Ö., Erkan, E.F. & Topçuoğlu, B., 2016. Bulanık bilişsel haritalar temelli yeşil tedarik zinciri yönetimi değerlendirme modeli. In: *3rd International Symposium on Environment and Morality (ISEM2016)*, 4-6 Nov 2016, Alanya/Antalya-Turkey.
- [64] Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E.F. & Uygun, Ö., 2019. Impuls kriterleri ile Endüstri 4.0 eğiliminin değerlendirilmesi: Bir bulanık bilişsel harita uygulaması. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(1), pp.14–23.
- [65] Asan, U. & Kadaifçi, Ç., 2019. Bulanık bilişsel haritalara dayalı yeni bir ürün konumlandırma yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), pp.1047–1062.
- [66] Chen-Tung, C. & Yen-Ting, C., 2021. A study of dynamic fuzzy cognitive map model with group consensus based on linguistic variables. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, p.120948.

- [67] Homenda, W., Jastrzebska, A. & Pedrycz, W., 2014. Modeling time series with fuzzy cognitive maps. In: *2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, pp.2055–2062. IEEE.
- [68] Lockamy III, A., 2011. Benchmarking supplier risks using Bayesian networks. *Benchmarking: An International Journal*, 18(3), pp.409–427.
- [69] Haugom, G.-P. & Friis-Hansen, P., 2011. Risk modelling of a hydrogen refuelling station using Bayesian network. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(3), pp.2389–2397.
- [70] Qazi, A., Quigley, J., Dickson, A. & Önsel Ekici, S., 2017. Exploring dependency based probabilistic supply chain risk measures for prioritising interdependent risks and strategies. *European Journal of Operational Research*, 259(1), pp.189–204.
- [71] Cao, S., Bryceson, K. & Hine, D., 2019. An ontology-based Bayesian network modelling for supply chain risk propagation. *Industrial Management & Data Systems*, 119(8), pp.1691–1711.
- [72] Lockamy III, A. & McCormack, K., 2012. Modeling supplier risks using Bayesian networks. *Industrial Management & Data Systems*, 112(2), pp.313–333.
- [73] Mkrtchyan, L., Straub, U., Giachino, M., Kocher, T. & Sansavini, G., 2022. Insurability risk assessment of oil refineries using Bayesian belief networks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 74, p.104673.
- [74] Hunte, J.L., Neil, M. & Fenton, N.E., 2024. A hybrid Bayesian network for medical device risk assessment and management. *Reliability Engineering & System Safety*, 241, p.109630.
- [75] Wan, C., Yan, X., Zhang, D., Qu, Z. & Yang, Z., 2019. An advanced fuzzy Bayesian-based FMEA approach for assessing maritime supply chain risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, pp.222–240.
- [76] Lawrence, J.-M., Ullah Ibne Hossain, N., Jaradat, R. & Hamilton, M., 2020. Leveraging a Bayesian network approach to model and analyze supplier vulnerability to severe weather risk: A case study of the US pharmaceutical supply chain following Hurricane Maria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, p.101607.
- [77] Hosseini, S. & Ivanov, D., 2022. A multi-layer Bayesian network method for supply chain disruption modelling in the wake of the COVID-19 pandemic. *International Journal of Production Research*, 60(17), pp.5258–5276.
- [78] Huang, W., Zhang, Y., Kou, X., Yin, D., Mi, R. & Li, L., 2020. Railway dangerous goods transportation system risk analysis: An interpretive structural modeling and Bayesian network combining approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 204, p.107220.

- [79] Senol, Y.E. & Yasli, F., 2021. A risk analysis study for chemical cargo tank cleaning process using fuzzy Bayesian network. *Ocean Engineering*, 235, p.109360.
- [80] Yu, J., Wu, S., Yu, Y., Chen, H., Fan, H., Liu, J. & Ge, S., 2021. Process system failure evaluation method based on a noisy-OR gate intuitionistic fuzzy Bayesian network in an uncertain environment. *Process Safety and Environmental Protection*, 150, pp.281–297.
- [81] Kamal, B. & Aydın, M., 2022. Application of fuzzy Bayesian approach on bankruptcy causes for container liner industry. *Research in Transportation Business & Management*, 43, p.100769.
- [82] Singh, K., Kaushik, M. & Kumar, M., 2022. Integrating α -cut interval based fuzzy fault tree analysis with Bayesian network for criticality analysis of submarine pipeline leakage: A novel approach. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, pp.189–201.
- [83] Shen, J., Liu, F., Xu, M., Fu, L., Dong, Z. & Wu, J., 2022. Decision support analysis for risk identification and control of patients affected by COVID-19 based on Bayesian networks. *Expert Systems with Applications*, 196, p.116547.
- [84] Amundson, J., Brown, A., Shuaib, M., Badurdeen, F., Jawahir, I.S., Goldsby, T. & Iyengar, D., 2013. Bayesian methodology for supply chain risk analysis: Concept and case studies. In: IIE Annual Conference. Proceedings, p.3944. *Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE)*.
- [85] Nadkarni, S. & Shenoy, P.P., 2004. A causal mapping approach to constructing Bayesian networks. *Decision Support Systems*, 38(2), pp.259–281.
- [86] Sedki, K. & Bonneau De Beaufort, L., 2012. Cognitive maps for knowledge representation and reasoning. In: *2012 IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, vol. 1, pp.1035–1040. IEEE.
- [87] Wee, Y.Y., Cheah, W.P., Tan, S.C. & Wee, K.K., 2015. A method for root cause analysis with a Bayesian belief network and fuzzy cognitive map. *Expert Systems with Applications*, 42(1), pp.468–487.
- [88] Azar, A. & Mostafae Dolatabad, K., 2019. A method for modelling operational risk with fuzzy cognitive maps and Bayesian belief networks. *Expert Systems with Applications*, 115, pp.607–617.
- [89] Navas de Maya, B., Babaleye, A.O. & Kurt, R.E., 2020. Marine accident learning with fuzzy cognitive maps (MALFCMs) and Bayesian networks. *Safety in Extreme Environments*, 2, pp.69–78.

- [90] Emel, G.G., Saraç, M. & Kabak, C., 2012. Stratejik karar almada iki aşamalı bir model: Senaryoların bilişsel haritalar ile etkinleştirilmesi ve otomotiv endüstrisinde bir uygulama. *Anadolu University Journal of Social Sciences*, 12(4).
- [91] Karaali, F.Ç. & Ülengin, F., 2011. Yapay sinir ağları ve bilişsel haritalar kullanılarak işsizlik oranı öngörü çalışması. *İTÜDERGİSİ/d*, 7(3).
- [92] Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Marcucci, G. & Mazzuto, G., 2020. Fuzzy cognitive maps analysis of green supply chain management: A case study approach. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), pp.17481–17486.
- [93] Axelrod, R., 2015. Structure of decision: The cognitive maps of political elites. *Princeton University Press*.
- [94] Arıkan, R., 2018. Anket yöntemi üzerinde bir değerlendirme. *Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), pp.97–159.
- [95] Cooke, R.M. & Goossens, L.H.J., 2000. *Procedures Guide for Structured Expert Judgment*.
- [96] Skjong, R. & Wentworth, B.H., 2001. Expert judgment and risk perception. In: *ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference*, pp. ISOPE–I. ISOPE.
- [97] Rosqvist, T. et al., 2003. On the use of expert judgement in the qualification of risk assessment. *VTT Technical Research Centre of Finland*.
- [98] Kaya, A., 2018. *Bulanık kümeleme analizinde bulanık kümeleme algoritmalarının karşılaştırılması* (Master's thesis, Anadolu University (Turkey)).
- [99] Özdemir, O. & Kalıncara, Y., 2020. Bulanık mantık: 2000-2020 yılları arası tez ve makale çalışmalarına yönelik bir içerik analizi. *Acta Infologica*, 4(2), pp.155–174.
- [100] McNeill, D., McNeill, D. & Freiburger, P., 1994. Fuzzy logic: The revolutionary computer technology that is changing our world. *Simon and Schuster*.
- [101] Aktaş, H. & Çağman, N., 2005. Bulanık ve yaklaşık kümeler. Çankaya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi-*Journal of Arts and Sciences*, p.1.
- [102] Karataş, F., Koyuncu, İ., Tuna, M. & Alçın, M., 2020. Bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının FPGA üzerinde gerçekleştirilmesi. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), pp.1–9.
- [103] Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N. & Özceylan, E., 2013. Bulanık matematiksel programlamaya giriş: Bulanık küme teorisi. *Nobel Akademik Yayıncılık*.
- [104] Kumar, H., 2017. Some recent defuzzification methods. In: *Theoretical and practical advancements for fuzzy system integration*, pp.31–48. *IGI Global*.

- [105] Yalçın, S., 2022. *Bulanık küme uzantılarının süreç yeterliliği üzerine etkisinin analizi*. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- [106] Ejegwa, P.A., Akubo, A.J. & Joshua, O.M., 2014. Intuitionistic fuzzy set and its application in career determination via normalized Euclidean distance method. *European Scientific Journal*, 10(15).
- [107] Tugrul, F., Gezercan, M. & Citil, M., 2017. Application of intuitionistic fuzzy set in high school determination via normalized Euclidean distance method. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets*, 23(1), pp.42–47.
- [108] Szmidt, E. & Kacprzyk, J., 2004. Medical diagnostic reasoning using a similarity measure for intuitionistic fuzzy sets. *Note IFS*, 10(4), pp.61–69.
- [109] Torra, V., 2010. Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), pp.529–539.
- [110] Bustince Sola, H., Barrenechea Tartas, E., Pagola Barrio, M., Fernández Fernández, F.J., Xu, Z., Bedregal, B., Montero, J., Hagraas, H., Herrera, F. & de Baets, B., 2016. A historical account of types of fuzzy sets and their relationships. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 24(1), pp.1–16.
- [111] Torra, V. & Narukawa, Y., 2009. On hesitant fuzzy sets and decision. In: *2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp.1378–1382. IEEE.
- [112] Chaira, T., 2019. Fuzzy set and its extension: The intuitionistic fuzzy set. *John Wiley & Sons*.
- [113] Mendel, J.M. & Bob John, R.I., 2002. Type-2 fuzzy sets made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(2), pp.117–127.
- [114] Lee, K.-M., Lee, K.-M. & Cios, K.J., 2001. Comparison of interval-valued fuzzy sets, intuitionistic fuzzy sets, and bipolar-valued fuzzy sets. In: *Computing and Information Technologies: Exploring Emerging Technologies*, pp.433–439. *World Scientific*.
- [115] Zhang, M., Zheng, T., Zheng, W. & Zhou, L., 2020. Interval-valued Pythagorean hesitant fuzzy set and its application to multi-attribute group decision-making. *Complexity*, 2020, pp.1–26.
- [116] Groumpos, P.P., 2010. Fuzzy cognitive maps: Basic theories and their application to complex systems. In: *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*, pp.1–22.
- [117] Jairak, R. & Praneetpolgrang, P., 2010. Using fuzzy cognitive map based on structural equation modeling for designing optimal control solution for retaining online customers. In: *The 3rd National Conference on Information Technology*, pp.28–29.

- [118] Papageorgiou, E.I. & Salmeron, J.L., 2012. A review of fuzzy cognitive maps research during the last decade. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 21(1), pp.66–79.
- [119] Kosko, B., 1986. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1), pp.65–75.
- [120] Zadeh, L.A., 1975. Fuzzy logic and approximate reasoning: In memory of Grigore Moisil. *Synthese*, 30, pp.407–428.
- [121] Bakhtavar, E., Valipour, M., Yousefi, S., Sadiq, R. & Hewage, K., 2021. Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: A comprehensive review. *Complex & Intelligent Systems*, 7, pp.621–637.
- [122] Çelebi, V., 2019. Bayes teoremi bağlamında olasılıkçı Bayes epistemolojisinin kapsamı üzerine bir inceleme. *FLSF Felsefe ve Sosyal Bilimler Dergisi*, (28), pp.319–343.
- [123] Akar, M. & Gündoğdu, S., 2014. The usage of Bayes theory in fisheries sciences.
- [124] Pearl, J., 1988. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*.
- [125] Marcot, B.G. & Penman, T.D., 2019. Advances in Bayesian network modelling: Integration of modelling technologies. *Environmental Modelling & Software*, 111, pp.386–393.
- [126] Mittal, A. & Kassim, A., 2007. Bayesian Network Technologies: Applications and Graphical Models. *IGI Global*.
- [127] Hunte, J.L., Neil, M. & Fenton, N.E., 2022. A causal Bayesian network approach for consumer product safety and risk assessment. *Journal of Safety Research*, 80, pp.198–214.
- [128] Çinicioğlu, E.N., Önsel Ekici, Ş. & Ülengin, F., 2015. Bayes ağ yapısının oluşturulmasında farklı yaklaşımlar: Nedensel Bayes ağları ve veriden ağ öğrenme.
- [129] Sanford, A.D. & Moosa, I.A., 2012. A Bayesian network structure for operational risk modelling in structured finance operations. *Journal of the Operational Research Society*, 63, pp.431–444.
- [130] Dubois, D., Prade, H. & Sandri, S., 1993. On possibility/probability transformations. In: *Fuzzy Logic: State of the Art*, pp.103–112. *Springer*.
- [131] Hatipoğlu, F.B., Finansal piyasa dinamiklerinin Bayes ağ modelleri ile değerlendirilmesi.
- [132] Çıkmak, S., 2020. Tedarik zinciri risklerinin ve risk azaltma stratejilerinin Bayes ağlarıyla modellenmesi.
- [133] Darwiche, A., 2009. Modeling and Reasoning with Bayesian Networks. *Cambridge University Press*.
- [134] Zadeh, L.A., 1978. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), pp.3–28.

- [135] Dubois, D. & Prade, H., 1993. Fuzzy sets and probability: Misunderstandings, bridges and gaps. In: [Proceedings 1993] *Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp.1059–1068. IEEE.
- [136] Zadeh, L.A., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—i. *Information Sciences*, 8(3), pp.199–249.
- [137] Nieto-Morote, A. & Ruz-Vila, F., 2011. A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, 29(2), pp.220–231.
- [138] Emir, O. & Önsel Ekici, Ş., 2023. An integrated assessment of food waste model through intuitionistic fuzzy cognitive maps. *Journal of Cleaner Production*, 418, p.138061.
- [139] Fcmappers, 2024. Introduction to our news system. Available at: https://www.fcmappers.net/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=69:introduction-to-our-news-system&catid=3:latest-news-and-short-news&Itemid=18 [Accessed 26 Jul. 2024].
- [140] Wei, G., 2010. Some arithmetic aggregation operators with intuitionistic trapezoidal fuzzy numbers and their application to group decision making. *J. Comput.*, 5(3), pp.345–351.
- [141] Özesmi, U. & Özesmi, S.L., 2004. Ecological models based on people's knowledge: A multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling*, 176(1-2), pp.43–64.
- [142] Azadeh, A., Salehi, V., Arvan, M. & Dolatkah, M., 2014. Assessment of resilience engineering factors in high-risk environments by fuzzy cognitive maps: A petrochemical plant. *Safety Science*, 68, pp.99–107.
- [143] Shokouhyar, S., Pahlevani, N. & Mir Mohammad Sadeghi, F., 2019. Scenario analysis of smart, sustainable supply chain on the basis of a fuzzy cognitive map. *Management Research Review*, 43(4), pp.463–496.
- [144] Hendricks, K.B. & Singhal, V.R., 2005. An empirical analysis of the effect of supply chain disruptions on long-run stock price performance and equity risk of the firm. *Production and Operations Management*, 14(1), pp.35–52.
- [145] Noman, M., 2023. Effective risk management in supply chain using advance technologies.
- [146] Chen, H.L., 2018. Supply chain risk's impact on corporate financial performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(3), pp.713–731.
- [147] Pham, H.T., Testorelli, R. & Verbano, C., 2023. The impact of operational risk on performance in supply chains and the moderating role of integration. *Baltic Journal of Management*, 18(2), pp.207–225.

- [148] Chin, K.S., Tang, D.-W., Yang, J.-B., Wong, S.Y. & Wang, H., 2009. Assessing new product development project risk by Bayesian network with a systematic probability generation methodology. *Expert Systems with Applications*, 36(6), pp.9879–9890.
- [149] Marcot, B.G. & M.Hanea, A., 2021. What is an optimal value of k in k-fold cross-validation in discrete Bayesian network analysis? *Computational Statistics*, 36(3), pp.2009–2031.
- [150] Jung, Y. & Hu, J., 2015. A k-fold averaging cross-validation procedure. *Journal of Nonparametric Statistics*, 27(2), pp.167–179.
- [151] Brighton, H. & Gigerenzer, G., 2015. The bias bias. *Journal of Business Research*, 68(8), pp.1772–1784.
- [152] Friedl, H., Stampfer, E., El-Shaarawi, A.H. & Piegorsch, W.W., 2002. Cross-validation. In: *Encyclopedia of Environmetrics*, 1, pp.452–460.
- [153] Almseidin, M., Alzubi, M., Kovacs, S. & Alkasassbeh, M., 2017. Evaluation of machine learning algorithms for intrusion detection system. In: *2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*, pp.000277–000282. IEEE.
- [154] Oakley, J.E. & O'Hagan, A., 2004. Probabilistic sensitivity analysis of complex models: A Bayesian approach. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 66(3), pp.751–769.
- [155] Dai, H., Chen, X., Ye, M., Song, X., Hammond, G., Hu, B. & Zachara, J.M., 2019. Using Bayesian networks for sensitivity analysis of complex biogeochemical models. *Water Resources Research*, 55(4), pp.3541–3555.
- [156] Ünlü, B., *Bayes ağları ile endüstri rekabet senaryolarının oluşturulması: Bulaşık makinesi sektörü uygulaması*. Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [157] Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S. & Rubin, D.B., 1995. Bayesian Data Analysis. *Chapman and Hall/CRC*.
- [158] Scutari, M. & Denis, J.-B., 2021. Bayesian Networks: With Examples in R. *Chapman and Hall/CRC*.
- [159] Johnson, R.A. & Wichern, D.W., 2002. *Applied Multivariate Statistical Analysis*.
- [160] LLC BayesFusion, 2024. GeNIe Modeler: Sensitivity Analysis. Available at: <https://www.bayesfusion.com> [Accessed 25 May 2024].
- [161] Smith, J., 2017. Türev analizi ve model parametrelerinin etkisi. *Journal of Mathematical Modeling*, pp.15–28.
- [162] Jones, A., 2019. Model sabitlerinin önemi ve duyarlılık analizi. *Mathematical Sciences Review*, pp.42–56.

- [163] ORAK, N.H., 2020. Coğrafi sosyo-ekonomik mahrumiyetin ve hava kirleticilerinin bebek doğum ağırlığı üzerindeki etkisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences (Online)*, 32(1), pp.79–88.
- [164] Schoemaker, P.J.H., 1995. Scenario planning: A tool for strategic thinking. *MIT Sloan Management Review*.
- [165] Christopher, M. & Peck, H., 2004. Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), pp.1–14.
- [166] Graham, K., Gilligan, D., Brown, P., van Klinken, R.D., McColl, K.A. & Durr, P.A., 2021. Use of spatio-temporal habitat suitability modelling to prioritise areas for common carp biocontrol in Australia using the virus CYHV-3. *Journal of Environmental Management*, 295, p.113061.
- [167] Çinicioğlu, E.N., Atalay, M. & Yorulmaz, H., 2013. Trafik kazaları analizi için Bayes ağları modeli. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 6(2), pp.41–52.
- [168] Cakanyildirim, M., 2004. All you ever wanted to know about supply chains: Supply chain management by S. Chopra and P. Meindl. *INFORMS Transactions on Education*, 4(2), pp.51–53.
- [169] Sanford, A. & Moosa, I., 2015. Operational risk modelling and organizational learning in structured finance operations: A Bayesian network approach. *Journal of the Operational Research Society*, 66, pp.86–115.
- [170] Banerjee, S., Chang, X., Fu, K., Li, T. & Wong, G., 2014. Corporate environmental risk and the customer-supplier relationship. Available at SSRN 2533471.
- [171] Vachon, S. & Klassen, R.D., 2008. Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 111(2), pp.299–315.
- [172] Chopra, S. & Sodhi, M.S., 2004. Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *MIT Sloan Management Review*.
- [173] Busch, T. & Hoffmann, V.H., 2011. How hot is your bottom line? Linking carbon and financial performance. *Business & Society*, 50(2), pp.233–265.
- [174] Paul, S.K., Sarker, R. & Essam, D., Managing risk and disruption in production-inventory and supply chain systems.
- [175] Thornton, A.C., 2003. Variation Risk Management: Focusing Quality Improvements in Product Development and Production. *John Wiley & Sons*.

- [176] Abdel-Basset, M., Gunasekaran, M., Mohamed, M. & Chilamkurti, N., 2019. A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain. *Future Generation Computer Systems*, 90(1), pp.489–502.
- [177] Azhdari, B., 2018. Integrating fuzzy cognitive mapping and Bayesian network learning for supply chain causal modeling. In: *ICORES*, pp.59–70.
- [178] Chu, C.-Y., Park, K. & Kremer, G.E., 2020. A global supply chain risk management framework: An application of text-mining to identify region-specific supply chain risks. *Advanced Engineering Informatics*, 45, p.101053.
- [179] Habermann, M., Blackhurst, J. & Metcalf, A.Y., 2015. Keep your friends close? Supply chain design and disruption risk. *Decision Sciences*, 46(3), pp.491–526.
- [180] Hendricks, K.B., Singhal, V.R. & Zhang, R., 2009. The effect of operational slack, diversification, and vertical relatedness on the stock market reaction to supply chain disruptions. *Journal of Operations Management*, 27(3), pp.233–246.
- [181] Jamshidi, A., Ait-Kadi, D., Ruiz, A. & Rebaiaia, M.L., 2018. Dynamic risk assessment of complex systems using FCM. *International Journal of Production Research*, 56(3), pp.1070–1088.
- [182] Kurdi, B., Alzoubi, H., Alshurideh, M., Alquqa, E. & Hamadneh, S., 2023. Impact of supply chain 4.0 and supply chain risk on organizational performance: An empirical evidence from the UAE food manufacturing industry. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), pp.111–118.
- [183] Kwak, D.-W., Seo, Y.-J. & Mason, R., 2018. Investigating the relationship between supply chain innovation, risk management capabilities and competitive advantage in global supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(1), pp.2–21.
- [184] Liu, Z., Cruz, J.M. & Liu, Z., 2012. Supply chain networks with corporate financial risks and trade credits under economic uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 137(1), pp.55–67.
- [185] Liu, M., Liu, Z., Chu, F., Zheng, F. & Chu, C., 2021. A new robust dynamic Bayesian network approach for disruption risk assessment under the supply chain ripple effect. *International Journal of Production Research*, 59(1), pp.265–285.
- [186] McMaster, M., Nettleton, C., Tom, C., Xu, B., Cao, C. & Qiao, P., 2020. Risk management: Rethinking fashion supply chain management for multinational corporations in light of the COVID-19 outbreak. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(8), p.173.

- [187] Özgüner, M. & Özgüner, Z., 2019. Tedarik zinciri riskleri'nin lojistik performans üzerindeki etkisinin yapısal eşitlik modellemesi ile belirlenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(1), pp.67–82.
- [188] Pourhejazy, P., Kwon, O.K., Chang, Y.-T. & Park, H., 2017. Evaluating resiliency of supply chain network: A data envelopment analysis approach. *Sustainability*, 9(2), p.255.
- [189] Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P. & Parthiban, P., 2011. A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(1), pp.458–474.
- [190] Soleymani, M. & Oveysi Nejad, M., 2018. Supply chain risk management using expert systems. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8(04), pp.2–8.
- [191] Thun, J.-H. & Hoenig, D., 2011. An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 131(1), pp.242–249.
- [192] Wiengarten, F., Humphreys, P., Gimenez, C. & McIvor, R., 2016. Risk, risk management practices, and the success of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 171, pp.361–370.
- [193] Jajja, M.S.S., Chatha, K.A. & Farooq, S., 2018. Impact of supply chain risk on agility performance: Mediating role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 205, pp.118–138.
- [194] Negreiros de Oliveira, F., Leiras, A. & Ceryno, P., 2019. Environmental risk management in supply chains: A taxonomy, a framework and future research avenues. *Journal of Cleaner Production*, 232, pp.1257–1271.
- [195] Shahbaz, M.S., Othman, B.A., Salman, P.M., Memon, D.A. & Raja Mohd Rasi, R.Z., 2020. A proposed conceptual action plan for identification, assessment and mitigation of supply chain risks. *International Journal of Advanced Operations Management*, 12(1), pp.65–80.
- [196] Sreedevi, R. & Saranga, H., 2017. Uncertainty and supply chain risk: The moderating role of supply chain flexibility in risk mitigation. *International Journal of Production Economics*, 193, pp.332–342.
- [197] Zhao, L., Huo, B., Sun, L. & Zhao, X., 2013. The impact of supply chain risk on supply chain integration and company performance: A global investigation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(2), pp.115–131.
- [198] Trkman, P. & McCormack, K., 2009. Supply chain risk in turbulent environments a conceptual model for managing supply chain network risk. *International Journal of Production Economics*, 119(2), pp.247–258.

EKLER

EK 1. Neden-Sonuç Kavramlarının Nihai Listesi

Referans	Nedensel Kavram	Bağlantı	Bağlantı Ağırlığı	Etki Kavram
[176]	Müşteri riski	Pozitif	Güçlü	Envanter riski
[176]	Ürün riski	Pozitif	Güçlü	Tedarik riski
[176]	Politik risk	Pozitif	Güçlü	Çevresel risk
[176]	Finansal risk	Pozitif	Güçlü	Çevresel risk
[176]	Tedarikçi riski	Pozitif	Güçlü	Finansal risk
[176]	Tedarikçi riski	Pozitif	Güçlü	Tesis riski
[88]	Dağıtım riski	Pozitif	Çok Güçlü	Operasyonel riski
[177]	Tedarik zinciri entegrasyonu	Pozitif	Çok Güçlü	Lojistik performans
[41]	Tedarik zinciri riski	Negatif	Güçlü	Organizasyonel performans
[15]	Üretim riski	Pozitif	Güçlü	Finansal risk
[15]	Üretim riski	Pozitif	Güçlü	Dağıtım riski
[15]	Üretim riski	Pozitif	Güçlü	Kalite riski
[15]	Üretim riski	Pozitif	Güçlü	Dağıtım riski
[15]	Üretim riski	Pozitif	Güçlü	Çevresel riski
[178]	Çevresel risk	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarikçi riski
[178]	Çevresel risk	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[31]	Tedarik riski	Pozitif	Güçlü	Dağıtım riski
[179]	Tedarikçi riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik riski
[179]	Müşteri riski	Pozitif	Çok Güçlü	Ürün riski
[179]	Dağıtım riski	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarik riski
[179]	Tedarikçi riski	Pozitif	Güçlü	Dağıtım riski
[179]	Tedarikçi riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[179]	Müşteri riski	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarikçi riski
[179]	Tedarikçi riski	Negatif	Güçlü	Dağıtım riski
[180]	Tedarik zinciri riski	Pozitif	Güçlü	Finansal risk
[77]	Envanter riski	Pozitif	Orta Derece	Tedarik riski
[181]	Kalite riski	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarikçi riski
[181]	Ürün riski	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarikçi riski
[12]	Kalite riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[12]	Finansal risk	Negatif	Zayıf	Tedarik zinciri
[182]	Operasyonel risk	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri riski
[183]	Tedarik zinciri yeniliği	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[184]	Ekonomik risk	Pozitif	Güçlü	Tedarikçi riski
[185]	Tedarikçi riski	Pozitif	Güçlü	Üretim riski
[186]	Çevresel risk	Pozitif	Güçlü	Envanter riski
[47]	Tedarikçi entegrasyonu	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[47]	Müşteri entegrasyonu	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[187]	Üretim riski	Negatif	Güçlü	Lojistik performans
[187]	Tedarik riski	Negatif	Güçlü	Lojistik performans

EKLER

EK 1. Neden-Sonuç Kavramlarının Nihai Listesi (Devam)

Referans	Nedensel Kavram	Bağlantı	Bağlantı Ağırlığı	Etki Kavram
[188]	Tedarik zinciri riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri dayanıklılığı
[189]	Talep riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[189]	Üretim riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[189]	Envanter riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[128]	Operasyonel risk	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri riski
[128]	Çalışan riski	Pozitif	Güçlü	Operasyonel riski
[190]	Çevresel risk	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[190]	Finansal risk	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[190]	Strateji riski	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri
[190]	Bilgi riski	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri
[190]	Üretim riski	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri
[48]	Malzeme riski	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[191]	Tedarikçi riski	Pozitif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[191]	Çevresel risk	Pozitif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[191]	Dağıtım riski	Pozitif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[191]	Tedarik riski	Pozitif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[191]	Ürün riski	Pozitif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[58]	Finansal risk	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[75]	Finansal risk	Pozitif	Güçlü	Dağıtım riski
[75]	Ürün riski	Pozitif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri riski
[192]	Müşteri entegrasyonu	Pozitif	Güçlü	Finansal performans
[192]	Tedarikçi entegrasyonu	Pozitif	Güçlü	Finansal performans
[61]	Tedarik riski	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri performansı
[61]	Bilgi riski	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri performansı
[61]	Üretim riski	Negatif	Güçlü	Organizasyonel performans
[61]	Talep riski	Negatif	Güçlü	Organizasyonel performans
[61]	Müşteri entegrasyonu	Pozitif	Güçlü	Organizasyonel performans
[61]	İç entegrasyon	Pozitif	Güçlü	Organizasyonel performans
[193]	Tedarikçi performansı	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[193]	Müşteri performansı	Pozitif	Güçlü	Tedarik zinciri riski
[194]	Çevresel risk	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri
[195]	Envanter riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri
[39]	Politik risk	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri
[196]	Tedarik esnekliği	Pozitif	Güçlü	Tedarik riski
[10]	Operasyonel risk	Pozitif	Zayıf	Talep riski
[10]	Arz riski	Negatif	Zayıf	Finansal performans
[197]	Dağıtım riski	Negatif	Güçlü	Tedarikçi entegrasyonu
[197]	Dağıtım riski	Negatif	Güçlü	Müşteri entegrasyonu
[197]	Dağıtım riski	Negatif	Güçlü	Tedarik zinciri entegrasyonu
[198]	Tedarikçi riski	Negatif	Çok Güçlü	Tedarik zinciri

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

14% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çıkarılan kaynaklar da dâhil tüm eşleşmelerin kombine toplamı.

Rapordan Filtrelenen

- Bibliyografya

Ön Sıradaki Kaynaklar

- 11%  İnternet kaynakları
- 8%  Yayınlar
- 5%  Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Bütünlük Bayrakları

İnceleme için 2 Bütünlük Bayrağı

-  **Değiştirilen Karakterler**
6 sayfada 12 şüpheli karakter
Harfler başka bir alfabeden benzer karakterlerle değiştirilir.
-  **Gizli Metin**
1 sayfada 12 şüpheli karakter
Metin, belgenin beyaz arka planına karıştırılmak üzere değiştirilir.

Sistemimizin algoritmaları bir belgede, onu normal bir gönderiden ayırabilecek her türlü tutarsızlığı derinlemesine inceler. Tuhaf bir şey fark edersek incelemeniz için bayrak ekleriz.

Bir Bayrak mutlaka bir sorun olduğunu göstermez. Ancak daha fazla inceleme için dikkatinizi vermenizi öneririz.