



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TEDARİK ZİNCİRİNDE RİSK YÖNETİMİ İÇİN ÇOK AMAÇLI
MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ**

Nazlı Ceren ŞAHİN

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nazlı Ceren ŞAHİN tarafından hazırlanan “TEDARİK ZİNCİRİNDE RİSK YÖNETİMİ İÇİN ÇOK AMAÇLI MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ” adlı tez çalışması 21/10/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ahmet PEKER

.....

Danışman

Prof. Dr. Yakup KARA

.....

Üye

Prof. Dr. Turan PAKSOY

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Nazlı Ceren ŞAHİN

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TEDARİK ZİNCİRİNDE RİSK YÖNETİMİ İÇİN ÇOK AMAÇLI MATEMATİKSEL MODEL ÖNERİLERİ

Nazlı Ceren ŞAHİN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yakup KARA

2021, 184 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ahmet PEKER

Prof. Dr. Yakup KARA

Prof. Dr. Turan PAKSOY

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Son yıllarda firmalar, artan rekabet koşullarına ayak uydurmak ve sürdürülebilirliklerini sağlamak için ürün kalitesini, ürün çeşidini arttırmak, maliyeti düşürmek ve ürün teslimat süresini azaltmak yoluna gitmişlerdir. Bunları yapmak için en başta tedarik zincirinin iyi yönetilmesi gerekmektedir. Tedarik zincirinin yönetiminde de risk yönetimi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada Tedarik Zinciri Risk Yönetimi (TZRY) için iki aşamadan oluşan entegre bir model önerilmiştir.

İlk aşamada, otomotiv sektöründe yer alan uluslararası bir firma için tedarik zinciri risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Başlangıç safhası olarak, uygulamanın yapıldığı firmanın en sık karşılaştığı on risk kriteri belirlenmiş ve Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak risk kriterlerinin ağırlıklandırılması yapılmıştır. İkinci safhada ise, ilk safhada elde edilen ağırlıklar Sezgisel Bulanık TOPSIS ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımına entegre edilmiştir. Bu iki yöntemle göre firmanın çalıştığı beş tedarikçinin risk ağırlıkları elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, farklı tedarikçiler arasında satın alma miktarlarının mümkün olan en iyi kombinasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda toplam maliyet minimizasyonu, tedarikçi risk minimizasyonu ve tedarikçi dağıtım performansı maksimizasyonunu içeren Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama (ÇATDP) modeli önerilmiştir. Bu model miktar indirimli, çok ürünlü ve çok tedarikçili olarak modellenmiştir. Ayrıca önerilen bu modeldeki talep ve teslimat süresi kısıtları stokastik parametrelere sahip olabileceği için Şans Kısıtlı ÇATDP modeli olarak yeniden düzenlenmiştir. Önerilen deterministik ve stokastik bu iki model Bulanık ÇATDP, Hedef Programlama ve Bulanık Hedef Programlama yöntemleri kullanılarak GAMS IDE 34/CPLEX paket programında ayrı ayrı çözülmüş ve karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar firmanın amaçları doğrultusunda hangi tedarikçiden, hangi üründen ne miktarda satın alınacağını gösteren bir sipariş planının hazırlanmasına yol gösterici olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bulanık kümeler, Çok Kriterli Karar Verme, Otomotiv Endüstrisi, Şans Kısıtlı Programlama, Tedarik Zinciri Risk Yönetimi.

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

MULTI-OBJECTIVE MATHEMATICAL MODELS FOR RISK ASSESSMENT IN THE SUPPLY CHAIN

Nazlı Ceren ŞAHİN

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering

Advisor: Prof. Dr. Yakup KARA

2021, 184 Pages

Jury

Prof. Dr. Ahmet PEKER
Prof. Dr. Yakup KARA
Prof. Dr. Turan PAKSOY
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

In recent years, companies have tried to increase product quality, product variety, reduce cost and reduce product delivery time in order to keep up with increasing competition conditions and ensure their sustainability. To do this, the supply chain must be managed well. Risk management and evaluation are also an important issue in the management of the supply chain. In this study, an integrated model consisting of two stages is proposed for Supply Chain Risk Management (SCRM).

In the first stage, a supply chain risk assessment was made for an international company in the automotive industry. As an initial phase, the ten most common risk criteria faced by the company where the application was made were determined and the risks were weighted using the Pythagorean Fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) method. In the second phase, the weights obtained in the first phase were integrated into the Intuitive Fuzzy TOPSIS and Paksoy et al. (2019) approach. According to these two methods, the risk criteria weights of the five suppliers that the firm works with were obtained.

In the second stage of the study, it is aimed to make the best possible combination of purchasing quantities among different suppliers. For this purpose, Multi-Objective Integer Linear Programming (MOILP) model including total cost minimization, supplier risk minimization and supplier distribution performance maximization has been proposed. This model is modeled as quantity discount, multi-product and multi-supplier. In addition, since the demand and delivery time constraints in this proposed model may have stochastic parameters, it has been rearranged as the Chance Constrained MOILP model. These two proposed deterministic and stochastic models were solved separately in the GAMS IDE 34/CPLEX program using Fuzzy MOILP, Goal Programming and Fuzzy Goal Programming methods and comparative analyzes were made. The results obtained have guided the company to prepare an order plan that shows which product to purchase from which supplier and in what quantity, in line with the objectives of the company.

Keywords: Automotive Industry, Chance Constrained Programming, Fuzzy Sets, Multi-Criteria Decision Making, Supply Chain Risk Management.

ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmamın yürütülmesi sırasında konu seçiminden araştırmanın yürütülmesine dek her konuda bana destek olan, bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle her daim paylaşan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Yakup KARA'ya; bana zaman ayırarak kıymetli yorumları ve katkıları için jüri üyelerim Prof. Dr. Turan PAKSOY ve Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Üniversiteye araştırma görevlisi olarak beraber başladığımız, yanımda olan desteğini her zaman hissettiğim canım arkadaşım Arş. Gör. Dr. Deniz KATIPOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, tüm hayatım boyunca beni destekleyen ve moral veren annem Saliha Özden ÇETİN, babam Hasan ÇETİN, kardeşim Ece ÇETİN, ananem Suzan KALELİOĞLU ve dayım Mehmet Ferda KALELİOĞLU'na ve son olarak yoğun çalışmalarım sırasında sabır gösterdiği ve destek olduğu için sevgili eşim Ali ŞAHİN'e sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Nazlı Ceren ŞAHİN
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER	ix
ÇİZELGELER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tedarik Zinciri	1
1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi	2
1.3. Risk Yönetimi ve Değerlendirmesi.....	3
1.4. Tedarik Zincirinde Risk Yönetimi	4
1.4.1. Risk tanımlama	5
1.4.2. Risk değerlendirme	5
1.4.3. Risk azaltma.....	5
1.4.4. Risk izleme.....	6
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Firma tanıtımı ve tedarikçilerin belirlenmesi.....	23
3.2.2. Tedarik zincirindeki risk kriterlerinin belirlenmesi	24
3.2.3. Tedarik zincirindeki risk kriter ağırlıklarının hesaplanması.....	24
3.2.3.1. Bulanık kümeler.....	25
3.2.3.2. Pisagor Bulanık AHP	30
3.2.4. Tedarikçi risk ağırlıklarının belirlenmesi.....	33
3.2.4.1. Sezgisel Bulanık TOPSIS	33
3.2.4.2. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı.....	38
3.2.5. Tedarik zincirinin çok amaçlı optimizasyonu.....	39
3.2.5.1. Çok amaçlı doğrusal programlama	44
3.2.5.2. Bulanık çok amaçlı tamsayılı doğrusal programlama.....	49
3.2.5.3. Hedef programlama	51
3.2.5.4. Bulanık hedef programlama.....	55
3.2.5.5. Stokastik programlama	65
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	76
4.1. Tedarik Zincirinde Risk Kriterlerinin ve Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	76
4.1.1. Pisagor Bulanık AHP	79
4.1.2. Sezgisel Bulanık TOPSIS	85
4.1.3. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı.....	92
4.2. Tedarik Zincirinin Çok Amaçlı Optimizasyonu ve Çözüm Sonuçları.....	97
4.2.1. Önerilen Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli ve çözüm sonuçları	97
4.2.2. Önerilen Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli ve çözüm sonuçları	98
4.2.3. Önerilen Ağırlıklı Hedef Programlama ve çözüm sonuçları	103
4.2.4. Önerilen Minmax Hedef Programlama ve çözüm sonuçları.....	104
4.2.5. Önerilen Bulanık Hedef Programlama ve çözüm sonuçları	105
4.2.6. Önerilen yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması	115

4.3. Şans Kısıtlı Programlama.....	118
4.3.1. Önerilen Şans Kısıtlı Çok Amaçlı Tamsayı Doğrusal Programlama ve çözüm sonuçları	122
4.3.2. Önerilen Şans Kısıtlı Bulanık Çok Amaçlı Tamsayı Doğrusal Programlama ve çözüm sonuçları	123
4.3.3. Önerilen Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama ve çözüm sonuçları	128
4.3.4. Önerilen Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama ve çözüm sonuçları	129
4.3.5. Önerilen Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama ve çözüm sonuçları	130
4.3.6. Önerilen yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması	139
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	142
KAYNAKLAR	145
EKLER	165
EK-1. Her bir kritere göre tedarikçilerin önem ağırlıkları.....	165
EK-2. ÇATDP GAMS Modeli	175
EK-3. Şans Kısıtlı ÇATDP GAMS Modeli.....	180

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Tedarik zinciri prosesi (Beamon, 1998)	2
Şekil 3.1. İzlenecek prosedür aşamaları	23
Şekil 3.2. Bulanık küme kronolojisi	25
Şekil 3.3. Yamuk aralık tip-2 bulanık kümenin üyelik fonksiyonu.....	29
Şekil 3.4. Pisagor Bulanık AHP hiyerarşisi.....	31
Şekil 3.5. Sezgisel Bulanık TOPSIS hiyerarşisi	34
Şekil 3.6. Paksoy ve ark., (2019) yaklaşımı hiyerarşisi.....	38
Şekil 3.7. TZRY nicel yöntemler.....	41
Şekil 3.8. $AX_i \leq b_i$ üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği	56
Şekil 3.9. $AX_i \geq b_i$ üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği	56
Şekil 3.10. $AX_i = b_i$ üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği	57
Şekil 3.11. Doğrusal içbükey fonksiyon (Yang ve ark., 1991)	62
Şekil 3.12. Doğrusal içbükey olmayan fonksiyon (Yang ve ark., 1991).....	62
Şekil 4.1. Tedarik zinciri riskleri	77
Şekil 4.2. Kriterlerin nihai önem ağırlıkları	84
Şekil 4.3. İki yöntemin sonuçlarının sütun grafiği	94
Şekil 4.4. Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları.....	96
Şekil 4.5. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı için duyarlılık analizi sonuçları	96
Şekil 4.6. $W_1(x)$ için üyelik fonksiyonu	98
Şekil 4.7. $W_2(x)$ için üyelik fonksiyonu	98
Şekil 4.8. $Z_1(x)$ için üyelik fonksiyonu	99
Şekil 4.9. W_1 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu	106
Şekil 4.10. W_2 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu	108
Şekil 4.11. Z_1 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu.....	110
Şekil 4.12. Tedarikçi 1'in ürün teslimat süreleri	119
Şekil 4.13. Tedarikçi-2'nin ürün teslimat süreleri	119
Şekil 4.14. Tedarikçi-3'ün ürün teslimat süreleri	120
Şekil 4.15. Tedarikçi-4'ün ürün teslimat süreleri	120
Şekil 4.16. Tedarikçi-5'in ürün teslimat süreleri	121
Şekil 4.17. Aylık talep miktarları	122
Şekil 4.18. $W_1(x)$ için üyelik fonksiyonu	124
Şekil 4.19. $W_2(x)$ için üyelik fonksiyonu	124
Şekil 4.20. $Z_1(x)$ için üyelik fonksiyonu	125
Şekil 4.21. W_1 için hedeflerin üyelik fonksiyonu	131
Şekil 4.22. W_2 için hedefinin üyelik fonksiyonu	133
Şekil 4.23. Z_1 için hedefinin üyelik fonksiyonu.....	134

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. TZRY alanında yapılan çalışmalar için kaynak araştırması.....	14
Çizelge 2.2. TZRY uygulama alanları.....	17
Çizelge 3.1. Önerilen ÇATDP modeli kısıtları için veriler	20
Çizelge 3.2. Tedarikçi verileri	21
Çizelge 3.3. Ürün teslimat süreleri	21
Çizelge 3.4. Yıllara göre talep verileri (adet)	21
Çizelge 3.5. Minimum sipariş miktarları (adet)	22
Çizelge 3.6. Sipariş maliyeti verileri (TL).....	22
Çizelge 3.7. Taşıma maliyeti verileri (TL).....	23
Çizelge 3.8. Pisagor Bulanık AHP ağırlıklandırma ölçeği (İlbarhar ve ark. 2018).....	32
Çizelge 3.9. Karar vericilerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler.....	35
Çizelge 3.10. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler	35
Çizelge 3.11. Dilsel değişkenler ve aralık tip-2 yamuk sayılar olarak karşılıkları (Chen ve Lee, 2010).....	39
Çizelge 4.1. Risk kriterlerinin ikili karşılaştırılması.....	80
Çizelge 4.2. Uzmanların birleştirilmiş ikili karşılaştırma değerlendirmesi.....	81
Çizelge 4.3. Fark matrisi.....	82
Çizelge 4.4. Aralıklı çarpım matrisi	83
Çizelge 4.5. Kararlılık değeri matrisi	84
Çizelge 4.6. Normalizasyondan önce ağırlık matrisi.....	84
Çizelge 4.7. Karar vericilerin değerlendirilmesi	85
Çizelge 4.8. Tedarikçilerin risk kriterlerine göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi.....	86
Çizelge 4.9. Tedarikçilerin risk kriterlerine göre değerlendirilmesinin sezgisel bulanık sayı karşılıkları.....	87
Çizelge 4.10. Birleştirilmiş karar matrisi.....	88
Çizelge 4.11. Kriterlerin önem ağırlıkları	89
Çizelge 4.12. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi	90
Çizelge 4.13. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm (A*).....	91
Çizelge 4.14. Negatif sezgisel bulanık ideal çözüm (A-).....	91
Çizelge 4.15. Pozitif ayırım ölçüleri (Si+) ve negatif ayırım ölçüleri (Si-).....	92
Çizelge 4.16. Her bir alternatif için yakınlık katsayısı.....	92
Çizelge 4.17. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımının sonuçları.....	93
Çizelge 4.18. Sezgisel Bulanık TOPSIS sonuçları	93
Çizelge 4.19. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımının sonuçları.....	93
Çizelge 4.20. C6 kriterine göre tüm kriterlerin ağırlık değerleri.....	95
Çizelge 4.21. Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminde her senaryo için tedarikçi önem ağırlıkları	95
Çizelge 4.22. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımında her senaryo için tedarikçi önem ağırlıkları	95
Çizelge 4.23. Pozitif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler	97
Çizelge 4.24. Bulanık ÇATDP Faz I modeli optimal sipariş miktarları.....	100
Çizelge 4.25. Bulanık ÇATDP model sonuçları.....	101
Çizelge 4.26. Bulanık ÇATDP Faz II optimal sipariş miktarları	102
Çizelge 4.27. Bulanık ÇATDP Faz II sonuçları	102
Çizelge 4.28. Ağırlıklı Hedef Programlama optimal sipariş miktarları	104
Çizelge 4.29. Ağırlıklı Hedef Programlama sonuçları	104
Çizelge 4.30. Minmax Hedef Programlama optimal sipariş miktarları.....	105

Çizelge 4.31. Minmax Hedef Programlama sonuçları	105
Çizelge 4.32. Pozitif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler	106
Çizelge 4.33. Negatif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler	106
Çizelge 4.34. W1 hedefinin üyelik değerleri.....	106
Çizelge 4.35. W2 hedefinin üyelik değerleri.....	108
Çizelge 4.36. Z1 hedefinin üyelik değerleri	109
Çizelge 4.37. Bulanık Hedef Programlama optimal sipariş miktarları.....	112
Çizelge 4.38. Bulanık Hedef Programlama sonuçları	112
Çizelge 4.39. Bulanık Hedef Programlama Faz II optimal sipariş miktarları	114
Çizelge 4.40. Bulanık Hedef Programlama Faz II sonuçları	114
Çizelge 4.41. Yöntemlerin karşılaştırmalı sonuçları	115
Çizelge 4.42. Önerilen yöntemlere göre değişken sonuçlarının karşılaştırılması	117
Çizelge 4.43. Teslimat süresi için normallik testi sonucu	121
Çizelge 4.44. Ürün teslimat süresi detayları.....	121
Çizelge 4.45. Talep için normallik testi sonucu	122
Çizelge 4.46. Ürün talep miktarları detayları	122
Çizelge 4.47. Üstün olmayan çözümler tablosu	123
Çizelge 4.48. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz I optimal sipariş miktarları	126
Çizelge 4.49. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz I model sonuçları	126
Çizelge 4.50. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz II optimal sipariş miktarları.....	128
Çizelge 4.51. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz II sonuçları.....	128
Çizelge 4.52. Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama optimal sipariş miktarları	129
Çizelge 4.53. Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama model sonuçları.....	129
Çizelge 4.54. Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama optimal sipariş miktarları	130
Çizelge 4.55. Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama sonuçları	130
Çizelge 4.56. Pozitif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler	131
Çizelge 4.57. Negatif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler	131
Çizelge 4.58. W1 hedefinin üyelik değerleri.....	131
Çizelge 4.59. W2 hedefinin üyelik değerleri.....	133
Çizelge 4.60. Z1 için hedefinin üyelik değeri.....	134
Çizelge 4.61. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz I optimal sipariş miktarları	137
Çizelge 4.62. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz I sonuçları.....	137
Çizelge 4.63. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz II optimal sipariş miktarları	139
Çizelge 4.64. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz II sonuçları	139
Çizelge 4.65. Şans kısıtlı yöntemlerin karşılaştırmalı sonuçları	140
Çizelge 4.66. Önerilen şans kısıtlı yöntemlere göre değişken sonuçlarının karşılaştırılması.....	141

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

\sim : Bulanık

$P(\cdot)$: Olasılık Ölçüsü

T_j : j tedarikçisinin başarısız olması için gereken süre

Z_j^L : ilgili amaç fonksiyonunun alt sınırı

Z_j^U : ilgili amaç fonksiyonunun üst sınırı

$\mu_{Z_j}(\mathbf{x})$: üyelik fonksiyonu

a_{ij} : teknolojik katsayı

x_n : karar değişkenleri

b_i : sağ taraf sabiti

w_i^- : negatif sapmalarla ilişkilendirilen ağırlık değeri

w_i^+ : pozitif sapmalarla ilişkilendirilen ağırlık değeri

g_i : i. hedefin sayısal değeri

t_k : maksimizasyon yönlü amaçlar için normalizasyon sabiti

t_s : minimizasyon yönlü amaçlar için normalizasyon sabiti

D : minimum değeri araştırılan maksimum sapma miktarı

λ : tatminkarlık derecesi

λ_j : i-inci hedefin tatminkarlık derecesi

$(AX)_i$: i-inci hedef kısıtı

p_i : pozitif sapma değişkeni

n_i : negatif sapma değişkeni

t : rampanın eğimi

s : üyelik fonksiyonunu kesen değer

$(Cx)_s$: içbükey doğrusal fonksiyon

μ_{si} : parçalı üyelik fonksiyonları

a_{ij} : rassal değişken

$E(a_{ij})$: ortalama

$Var(a_{ij})$: varyans

d_i : rassal değişken

Cov : covaryans

A_i i-inci kovaryans matris

ϕ : standart normal dağılımın kümülatif yoğunluk fonksiyonu

z_{1-ai} : standart normal değer

$Z(\mathbf{x})$: amaç fonksiyonu

I^U : pozitif ideal çözüm kümesi

I^L : negatif ideal çözümler kümesi

$W_1(\mathbf{x})$: Birinci amaç için üyelik fonksiyonu

$W_2(\mathbf{x})$: İkinci amaç için üyelik fonksiyonu

$Z_1(\mathbf{x})$: Üçüncü amaç için üyelik fonksiyonu

Sig: significance (anlamlılık)

i : parçaların kümesi ($i_i = 1,2,3 \dots, m$)

j : tedarikçilerin kümesi ($j_i = 1,2,3 \dots, n$)

k : miktar indirimlerine göre fiyatlandırma seviyesi ($k = 1,2 \dots, K$)

Q_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden sağlanan i parçasının miktarı

Y_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden i parçasının tedarik edilip edilmediğine göre değişen ikili değişken
 C_j : j tedarikçisinin üretim kapasitesi
 D_i : i parçasının talebi
 S_j : j tedarikçisinin teslimat performans yüzdesi
 G^* : j tedarikçisi için istenen güvenlik seviye yüzdesi
 G_j : j tedarikçisinin güvenlik seviye yüzdesi
 R_j : j tedarikçisinin tedarik risk yüzdesi
 P_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden alınan i parçasının satın alma maliyeti
 T_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden alınan i parçasının taşıma maliyeti
 H^* : kabul edilen hatalı parça sayısı (ppm)
 H_j : j tedarikçisinden alınan hatalı parça sayısı
 E^* : müşterinin belirlediği teslimat zamanı
 E_j : j. tedarikçinin ortalama ürün teslimat zamanı
 m_{ij} : j tedarikçisinden alınan i parçasının minimum sipariş miktarı
 U_{ijk} : i ürünü için j tedarikçisinin k miktar indirim aralığının üst sınırı
 L_{ijk} : i ürünü için j tedarikçisinin k miktar indirim aralığının alt sınırı
 N : büyük bir sayı
 M : firmanın aynı ürün için en az çalışacağı tedarikçi sayısı
 P : pisagor bulanık küme
 X : söylem evreni
 $\mu_p(x)$: Üyelik derecesi
 $v_p(x)$: Üye olmama derecesi
 $\pi_p(x)$: Belirsizlik derecesi
 β_1, β_2 : Bulanık sayılar
 λ : Tatminkârlık derecesi
 α ve β : tip-2 bulanık kümenin düşük üyelik fonksiyonunun maksimum üyelik dereceleri
 u_U : üst üyelik fonksiyonunun mümkün olan en büyük değeri
 l_U : üst üyelik fonksiyonunun mümkün olan en düşük değeri
 m_{1U}, m_{2U} : üst üyelik fonksiyonunun ikinci ve üçüncü parametreleri
 u_L : düşük üyelik fonksiyonunun mümkün olan en büyük değeridir
 l_L : alt üyelik işlevinin mümkün olan en düşük değeri
 m_{1L}, m_{1L} : alt üyelik işlevinin ikinci ve üçüncü parametreleri
 A, B : sezgisel bulanık küme
 X : boş olmayan bir küme
 $\mu_A(x)$: X elemanının A kümesine ait olma derecesi
 $v_A(x)$: X elemanının A kümesine ait olma derecesi
 $\pi_A(x)$: X elemanının tereddüt derecesi
 KV : karar verici
 d_{ikL} : fark matrisi
 s_{ikL} : aralıklı çarpım matrisi
 τ_{ik} : kararlılık değeri
 t_{ik} : normalizasyondan önce ağırlık matrisi
 W_i : normalize edilmiş kriter ağırlıkları
 S : tedarikçiler kümesi
 C : kriterler kümesi
 D : k. karar vericinin önem derecesini gösteren bir sezgisel bulanık sayı
 R : birleştirilmiş karar matrisi

R': ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi
J₁ : fayda kriteri,
J₂: maliyet kriteri
A*: pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm
A⁻: negatif sezgisel bulanık ideal çözüm
S_{i+} : pozitif ideal ayırım ölçüsü
S_{i-} : negatif ideal ayırım ölçüsü
C_{i*}: her bir alternatif için yakınlık katsayısı
P_{ij}: i. tedarikçinin j kriterlerine göre değerlendirme puanı
RS_i: i. tedarikçinin risk seviyesi
r_{ij}^(k) : sezgisel bulanık değer
DTriT: yamuk aralık tip-2 bulanık sayının durulaştırılmış değeri

Kısaltmalar

AAP: Analitik Ağ Prosesi
AHP: Analitik Hiyerarşi Prosesi
BWM : En İyi En Kötü Yöntem
CRITIC: Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (Korelasyon yoluyla kriterlerin önemi)
ÇATDP: Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama
ÇKKV: Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV: Çok Nitelikli Karar Verme
ÇAKV: Çok Amaçlı Karar Verme
DEA: Veri zarflama analizi
DEMATEL: The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
ELECTRE: Elemination and Choice Translating Reality English (Eliminasyon ve Gerçeği Yansıtan Seçim)
FMEA: Failure Mode Effect Analysis (Hata Modu ve Etkileri Analizi)
HAZOP: Hazard and Operability (Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi)
IFS: Sezgisel Bulanık Küme
KTDP: Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
MULTIMOORA: Multi-objective Optimization By Ratio Analysis
PROMETHEE: The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
RMCGP : Revize Edilmiş Çoktan Seçmeli Hedef Programlama
SWOT: Güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler
TOPSIS: Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerlik Gösteren Sipariş Tercihi İçin Bulanık Teknik)
TZRY : Tedarik Zincirinde Risk Yönetimi
TZY: Tedarik Zinciri Yönetimi
VIKOR: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (Çoklu Kriter Optimizasyonu ve Uzlaşma Çözümü)
SBK: Sezgisel bulanık kümeler
SBK2: Sezgisel tip-2 bulanık kümeler

1. GİRİŞ

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ve küreselleşmenin sonucu olarak yoğun rekabet ortamı doğmuştur. Firmalar rekabet edilebilirliklerini arttırmak için maliyetlerini minimize eden ve ürün kalitelerini arttıran stratejiler geliştirmektedir. Bu stratejilerden biri de Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY)'dir. Değişimlere karşı esnek, risklere karşı hazırlıklı ve etkin olmayan tedarik zincirleri firma içinde kısa ve uzun vadede kayıplara yol açabilmektedir (Kırılmaz, 2014).

Tedarik zincirinin performansını artırmak için olası tedarik zinciri kesintilerinin önüne geçmek gereklidir. Tedarik zinciri kesintilerinde de ilk sırayı tedarikçilerden kaynaklanan riskler almaktadır. Tedarik Zincirinde Risk Yönetimi (TZRY) firmaların karar alma süreçlerinde göz önünde bulundurulması gereken stratejik ve hayati öneme sahip olduğu konulardan biridir. Bu bağlamda olayları kontrol etmek ve/veya azaltmak için TZY alanında risk yönetimi çalışmalarına son yıllarda literatürde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Örneğin; 1996-2000 yılları arasında yapılmış olan çalışmalarda daha çok yerel firmalar bazında risk tanımlaması ve finansal risk analizi yapılmıştır. 2001-2005 yılları arasında yapılan çalışmaların odağında ise küresel risk unsurları bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, firmaların stok politikaları, arz ve talep parametreleri ve kapasite planlamaları incelenmiştir. 2006 yılından günümüze kadar ise uluslararası ilişkiler, bilgi paylaşımı ve güvenlik, kapsamlı tedarik zinciri risk yönetim programı, çeviklik ve esneklik konularında yapılan çalışmalarda artış gözlenmiştir (Hendricks ve Singhal, 2005).

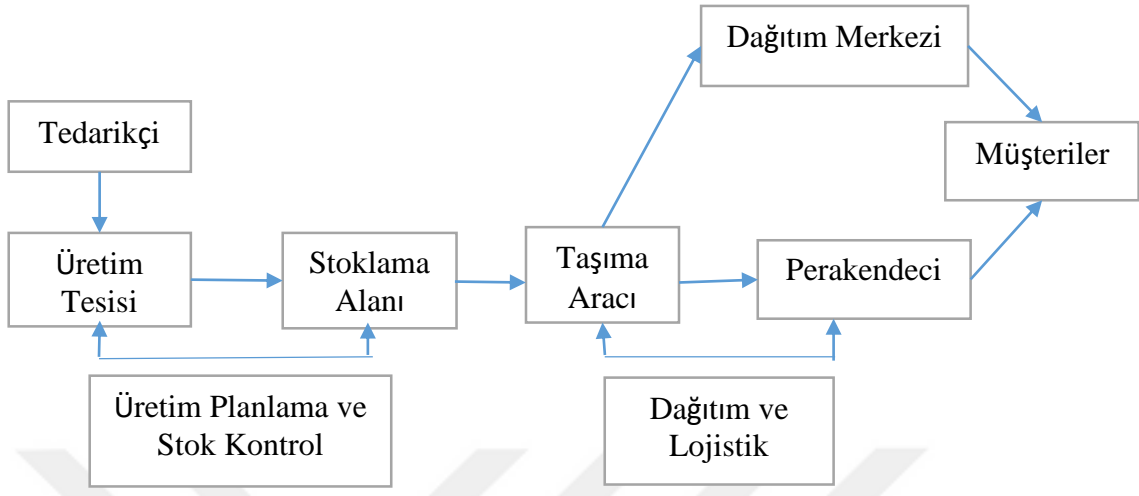
1.1. Tedarik Zinciri

Anderson ve ark. (1997) tedarik zincirini; tedarikçileri, lojistik hizmet sağlayıcılarını, üreticileri, dağıtıcıları ve perakendecileri içine alan ve bunlar arasında malzeme, ürün ve bilgi akışı olan bir elemanların bütünü olarak ifade etmiştir. Tedarik zinciri, bir müşteri talebinin alınması ve yerine getirilmesi ile ilgili tüm fonksiyonları içerir (Chopra ve Meindl, 2007). Elemanlar arasında yakın bir ilişki ve iş birliği bulunmaktadır. Bir tedarik zincirinin elemanları şunlardır (Kazançoğlu, 2008):

- Tedarikçiler (yan sanayi, taşeron, ana sanayi, imalat atölyeleri)
- Ana sanayi (nihai ürünü üreten)
- Dağıtım kanalı (genel distribütörler, toptancılar), bayiler (perakendeciler)

- Müşteriler (tüketici)

Şekil 1.1 'de tedarik zincirinin elemanlarıyla birlikte prosesi gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Tedarik zinciri prosesi (Beamon, 1998)

Bir tedarik zinciri iki temel, entegre süreçten oluşur: Üretim planlama ve envanter kontrol süreci ile dağıtım ve lojistik süreci. Üretim planlama, üretimdeki bütün proseslerin yönetimini (hammaddelerin teminini ve çizelgelemesini, imalat prosesinin tasarımını, malzeme taşıma sistemlerinin tasarımını ve kontrolünü) içermektedir. Envanter kontrolü prosesi, hammaddenin, nihai ürünün ve proses içinde oluşan stokların depolama politikalarını ve stok prosedürlerini yönetmekten oluşmaktadır. Dağıtım ve lojistik ise; nihai ürünlerin depodan perakendeciye olan taşıma sisteminin belirlenmesidir. Ürünler direkt taşınabildiği gibi ilk dağıtım merkezine de taşınabilir. Bu süreçler, entegre bir tedarik zinciri üretmek için birbirleriyle etkileşim halindedir. Bu süreçlerin tasarımı ve yönetimi, tedarik zincirinin gereken performans hedeflerini karşılayacak bir birim olarak ne ölçüde çalıştığını belirler (Beamon, 1998).

1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

TZY; ürün geliştirme, üretim, çevrim sürelerinde ve stokların yerine konma sürelerinde azalma, müşteri taleplerine etkin yanıt verme, maliyetleri düşürme ve müşteri memnuniyetini arttırmaya yönelik tüm faaliyetlerin koordinasyonunu sağlayan, tedarik ve talebi senkronize eden bir süreçtir (Russell, 2007). TZY'ni oluşturan süreçler ise Tedarik Zinciri Konseyi tarafından ortaya koyulan tedarik zinciri işlemleri referans modelinde aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır (Kazançoğlu, 2008):

- Planlama: Arz ve talep dengesini dikkate alarak tedarik zincirinin planlaması ve yönetimini içermektedir. Diğer süreçlerin temelini oluşturur.
- Kaynak oluşturma: Stoklanacak, sipariş edilecek, geliştirilecek mal ve hizmetlerin karşılanma sürecidir.
- Uygulama: Stok ve sipariş geliştirme işlemlerinin gerçekleştirilmesini içermektedir.
- Teslimat: Bu süreç, müşterinin onaylanmış siparişiyle başlar ve müşteri bilgilerinin üretim ve tedarik süreçleri için sorumlu bölümlere doğru şekilde iletilmesini sağlar. Buna ek olarak malların depolanmasını, nakliyesini ve teslimatını da içerir.
- Geri Dönüş: Bir nedenle hammadde ve bitmiş ürünlerin geri alınması ile ilgili işlemleri içermektedir.

TZY'nin amacı; müşteri memnuniyetini arttırmak, rekabetçi bir altyapı oluşturmak, arz ve talep dengesini sağlamak, çevrim süresini azaltmak, toplam lojistik maliyetlerini azaltmak, ürün hatalarını en aza indirerek kaliteli ürün ve hizmet sunmak, taşımaların optimizasyonunu sağlamak, birim zamanda yapılan iş miktarının iyilenmesini sağlamak, sipariş karşılama oranını yükseltmek, tedarikçilerin performansını arttırmak ve riskleri azaltmak olarak sıralanabilir (Kazançoğlu, 2008).

Bu amaçları gerçekleştirebilmek için, bütün bir tedarik zincirinde firmaların tedarikçileri ve müşterileri arasındaki haberleşme ve bilgi paylaşımını artırması gerekmektedir. Böylece tedarik zinciri etkinliği, sürdürülebilirlik ve rekabet edilebilirlik artırılabilir. Küreselleşen dünyada artık firmaların sadece kendi aralarındaki rekabetten söz edilmemektedir. Rekabet artık firmaların içinde yer aldığı tedarik zincirleri arasında olmaktadır (Kehoe ve Boughton, 2001).

1.3. Risk Yönetimi ve Değerlendirmesi

Bugün risk kavramı birçok farklı alanda ve “tehlike”, “tehdit”, “meydan okuma” veya “belirsizlik” gibi çeşitli farklı kelimelerle benimsenmiştir (Zou ve ark., 2017). Risk yönetimi ve değerlendirme ise, alternatifler arasında seçim yapma, faaliyetlerin ve ürünlerin kabulü, risk azaltıcı önlemlerin uygulanması vb. konularda karar desteği sağlamaktadır. Risk bilgisinin üretilmesi genellikle maliyet-fayda analizi, maliyet-

etkililik analizi ve çok nitelikli analiz gibi karar analizi araçları ile desteklenir (Aven, 2016).

Tüm risk düzenlemeleri; belirsizliklerin, risklerin ve olası sürprizlerin karşılanması için bazı prensiplere dayanmaktadır. Risk analiz sürecinde ilk önce risk yönetimi faaliyetlerinin amacı tanımlanır, hedefler ve kriterleri belirtilir. İkinci olarak tanımlanan hedefleri etkileyebilecek durum ve olaylar belirlenir, daha sonra olayların nedenleri ve sonuçları analiz edilir. Bu analiz sonucuna göre bir risk karakteristiği oluşturulur ardından riskin önemini belirlemek için risk değerlendirilir ve son olarak risk ortadan kaldırılır. (Aven, 2016).

1.4. Tedarik Zincirinde Risk Yönetimi

Jutner ve ark. (2003) TZRY'ni, tedarik zinciri hedeflerine ulaşmak için tedarik zinciri üyeleri arasında koordineli bir yaklaşımla tedarik zincirindeki riskleri belirleme ve yönetme süreci olarak tanımlamaktadır. Tedarik zincirinde risk, arz tarafında, talep tarafında veya süreç tarafında olmaktadır (Khojasteh-Ghamari ve Irohara, 2018). Hudnurkar ve ark. (2017)'ye göre tedarik zinciri riskleri, öncelikle tedarik zinciri içindeki iç ortamdan, yani tedarik zinciri yönetim süreçleri ve tedarik zinciri altyapısından, tedarik zinciri ile faaliyet gösterdiği dış çevre arasındaki etkileşimden, tedarik zincirini oluşturan ve işleten kuruluşlar ile insan kaynakları tarafından ele alınan ürünün özelliklerinden dolayı ortaya çıkmaktadır.

Özellikle Covid-19 pandemisi nedeniyle TZRY'nin önemi daha da iyi anlaşılmıştır. Pandemi, risk yönetimi tanımlamalarında gerçekleşme ihtimali düşük ve etki düzeyi yüksek risk grubunda yer almaktadır (Karli ve Tanyaş, 2020). Hükümetler, firmalar ve bireysel tüketiciler aniden temel ürün ve malzemeleri tedarik etmek için mücadele etmiş ve modern tedarik zincirinin kırılganlığıyla yüzleşmek zorunda kalmışlardır (www.weforum.org). Tedarik zincirlerinin karşılaştıkları bu gibi risklerden daha az etkilenmesi için tedarik zinciri tasarım aşamasında potansiyel riskler belirlenmeli, olasılıklarının ve etkilerinin değerlendirilmeleri gerekmektedir. Olasılık senaryolarıyla başa çıkmak için iş sürekliliği, acil durum planları ve geçici çözümler önceden oluşturulmalıdır (Zsidisin ve Ritchie, 2008). Jüttner ve ark. (2003) TZRY sürecinin safhalarını şu şekilde tanımlamışlardır:

1.4.1. Risk tanımlama

Risk, tedarik zincirinin bir noktasında istenmeyen bir olayın meydana gelme olasılığı ve bu olayın tedarik zincirinin performansı üzerindeki ilgili sonuçları olarak düşünülebilir (Yu ve Goh, 2014). Verimlilik için sürekli artan itici güçle birlikte, bugün tedarik zincirleri giderek daha fazla riskli hale gelmektedir. Risk tanımlama karar vericilerin belirsizliğe neden olan olayları anlamasına ve bu senaryoları proaktif olarak yönetmelerine izin vermektedir (Hallikas ve ark., 2004). Tummala ve Schoenherr (2011) bu safhanın potansiyel tedarik zinciri risklerinin kapsamlı ve yapılandırılmış bir şekilde belirlenmesini içerdiğini öne sürmektedir.

1.4.2. Risk değerlendirme

Risk değerlendirme, riskleri tarihsel verileri (basit ve niceliksel süreç) veya uzmanların öznel değerlendirmelerini kullanarak olasılık ve etkilerine göre değerlendirmeyi ve önceliklendirmeyi amaçlar (Norman ve Jansson, 2004). Risk değerlendirme aşamasında daha önce ölçümü yapılmış olan riskler önem sırasına göre sıralanır. En kritik riskten değerlendirmeye başlanır risk değerlendirme aşaması Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) sürecini içerir ve sonuca göre firmanın belirlediği risk kriteri esas alınarak ya riskten kaçınılır ya da risk kabul edilir (Kırılmaz, 2014).

1.4.3. Risk azaltma

Bu safhada ilk olarak riskleri yönetecek stratejiler belirlenir. Bu stratejiler; olasılık, etki veya her ikisine odaklanarak bireysel risklerin aktarılması, ortadan kaldırılması, azaltılması, paylaşılması veya analiz edilmesinden oluşmaktadır (Hallikas ve ark., 2004).

Risk azaltma stratejisinde, sebep-sonuç ilişkisi yardımıyla riske sebep olan faktörler incelendikten sonra sebeplerin olasılığını veya risk sonucunun etkisini azaltma üzerine çözümler bulunabilir. Risk azaltma stratejisi uygulayacak olan firmalar özelliklerine ve maruz kaldıkları risklere göre kendi stratejisini belirlemelidir. Riskin şiddetini azaltıcı tedbirler stratejik (örn. alternatif tedarikçiler), taktik (örn. geliştirilmiş talep tahmini) veya operasyonel (örn. iş süreklilik planı) seviyede olabilir veya birden fazla risk azaltma tedbiri uygulanabilir. Bu durumda tüm tedbirler değerlendirilmeli ve kıyaslanarak en iyi hareket tarzı tespit edilmelidir. En iyi stratejinin seçiminde, olasılık

ve etkiyi azaltma gücünün yanında yaratacağı maliyet de değerlendirilmelidir. Sonuç olarak tedbirin yaratacağı fayda ile maliyet kıyaslanacaktır (Jüttner ve Ziegenbein, 2009).

TZRY azaltma stratejilerinden bir tanesi de, tedarik zinciri optimizasyonu ile tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemlerini çözmektir. Tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemini karmaşık hale getiren iki temel unsurdan biri tedarikçi tarafından sunulan fiyat indirimlerinin varlığıdır. Tedarikçiler, firmaların çoklu ürün siparişlerinde satın alma hacmine bağlı olarak indirim uygulamayı daha anlamlı bulmaktadır (Xia ve Wu, 2007). Diğer bir unsur ise, karar verme sürecinde çeşitli kriterlerin dikkate alınmasını gerektirmesidir. Bu kriterlerin analizi 1960'lardan beri birçok araştırmacı ve satın alma uygulayıcısının odak noktası haline gelmiştir (Benyoucef ve ark., 2003). İlk olarak Dickson (1966) tedarikçi seçim süreci için farklı önem seviyelerine sahip 23 farklı kriter tanımlamıştır. Daha sonra Dempsey (1978), Roa ve Kiser (1980) ve Bache ve ark. (1987) tedarikçi seçimi için farklı yeni kriterler belirlemiştir. Satın alma durumlarının birçoğunda, firma belirlemiş olduğu kriterlere göre birbiriyle ilişkili iki temel karar vermelidir. Bu kararlar firmanın, hangi tedarikçilerle çalışacağı ve her tedarikçiden belirlenen ürün için ne kadar sipariş vereceğidir (Ravindran ve ark., 2010). Moore ve Fearon (1973) tedarikçi seçim problemlerinin Doğrusal Programlama modeli olarak düzenlenebileceğini önermiştir. İlk başlarda tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi için genellikle maliyetin tek amaç olarak dikkate alındığı ve diğer kriterlerin kısıtlamalar olarak ele alındığı modeller oluşturulmuştur (Xia ve Wu, 2007). Buffa ve Jackson (1983) tarafından bir tedarikçi seçim problemi Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) Yöntemlerinden Hedef Programlama ile ilk kez formüle edilmiştir. Tedarik zinciri problemleri yapısı gereği birbiriyle çelişen birden çok kriter içerdiğinden, son yıllarda tedarikçi seçimi için risk yönetimi konularını da ele alan çok kriterli matematiksel modeller ve yöntemler geliştirilmektedir (Ravindran ve ark., 2010; Hamdi ve ark., 2016).

1.4.4. Risk izleme

Risk izleme safhası, değerlendirilen riskler için bulunan çözümlerin ve bunların iş performansı üzerindeki etkilerini izleme, kontrol etme ve yönetme adımlarından oluşmaktadır (Zsidisin ve Ritchie, 2008). Firma ve çevresi statik değildir ve dolayısıyla risk durumu da değişir. Risk durumunun sürekli olarak değişmesi sonucu gerekli değişikliklerin yapılması durumunda kararlar alınır. Ayrıca yeni önemli risk faktörleri

ortaya çıkabilir. Bunları belirlemek için risk değerlendirmesinin güncellenmesi gerekmektedir (Hallikas ve ark., 2004).

1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, ilk olarak TZRY aşamalarından Tedarik Zinciri Risk Tanımlama ve Değerlendirmesi için, uygulama çalışması yapılan firmanın en sık karşılaştığı risk kriterlerini belirlemek ve belirlenen risklerin bulanık ortamda Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) yöntemlerini kullanarak önem derecelerini ve tedarikçilerin risk ağırlıklarını hesaplamaktır. Buna ek olarak Tedarik Zinciri Risk Azaltması için, ÇAKV yöntemlerini uygulayarak tedarik zincirinin çok amaçlı optimizasyonu gerçekleştirmek amaçlanmıştır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Tedarik Zinciri, TZY, Risk Yönetimi ve Değerlendirmesi ve TZRY konuları ele alınmıştır. Tedarik zinciri tanımlaması ve elemanlarından bahsedilmiş, TZY tanımlaması yapılmış ve aşamaları anlatılmış, Risk Yönetimi ve Değerlendirmesi tanımları verilmiş son olarak TZRY tanımlamaları, amaçları ve aşamalarına değinilmiştir.

İkinci bölümde, son on yılda TZRY alanında yapılan çalışmalar için bir kaynak araştırması yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmalarda; kullanılan ÇKKV yöntemlerine göre, ele alınan risk kriterlerine göre ve bu çalışmaların uygulama alanlarına göre detaylı bir sınıflandırma yapılmıştır.

Bu çalışmanın üçüncü bölümünde; firmadan elde edilen, önerilen ÇATDP modelinin amaç ve kısıtları için kullanılacak olan sayısal verilere yer verilmiş ve TZRY için uygulanacak prosedür adımları detaylı olarak anlatılmıştır. İlk olarak firma tanıtımı ve tedarikçilerin belirlenmesi prosedürü anlatılmış, daha sonra tedarik zinciri risk kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılacak olan bulanık kümelere, dilsel değişkenlere ve Pisagor Bulanık AHP adımlarına yer verilmiştir. Daha sonra tedarik zinciri risk kriter ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılan Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı adımları anlatılmıştır.

Son olarak, Tedarik Zincirinin Çok Amaçlı Optimizasyonu ve çözüm sonuçları başlığı altında Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama (ÇATDP), Bulanık ÇATDP Hedef Programlama, Bulanık Hedef Programlama ve Şans Kısıtlı Programlama yöntemleri açıklanmış ve matematiksel model formülasyonları verilmiştir. Son olarak

önerilen ÇATDP modelinin indisleri, karar değişkenleri ve parametreleri detaylı olarak verilmiştir.

Dördüncü bölümde, firmanın en sık karşılaştığı risk kriterleri belirlenmiş ve tanımlamaları yapılmıştır. Belirlenen risk kriterleri kullanılarak Pisagor Bulanık AHP yöntemi uygulanmış ve risk kriterlerinin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen risk kriter ağırlıkları daha sonra Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı kullanılarak tedarikçilerin risk ağırlıkları hesaplanmış, sıralanmış ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. Uygulanan Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi ile Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı için duyarlılık analizi yapılmış ve yöntemlerin tutarlılığı test edilmiştir. Buna ek olarak elde edilen tedarikçilerin risk ağırlıkları amaç fonksiyonuna maliyet cinsinden yazmak yerine yeni bir amaç fonksiyonu katsayıları olarak önerilen matematiksel modele eklenmiştir. Ayrıca maliyetin minimize edilmesi ve tedarikçilerin dağıtım performansının maksimize edilmesi amaçları da dikkate alınarak ÇATDP modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelde ürünlerin talep verileri ve teslimat süreleri stokastik olarak değerlendirilmiş ve Şans Kısıtlı olarak modellenmiştir. Bu iki model her bir amaca göre GAMS IDE 34/CPLEX paket programında ayrı ayrı çözümlenerek üstün olmayan çözümler tablosu oluşturulmuştur. Daha sonra bu tablo yardımıyla Bulanık ÇATDP’da; Zimmermann (1978) ve Lee ve Li (1993) yaklaşımı; Hedef Programlamada, Ağırlıklı ve Minmax Hedef Programlama yaklaşımı; Bulanık Hedef Programlamada ise Yang ve ark. (1991) yaklaşımı kullanılarak önerilen matematiksel modeller ayrı ayrı GAMS IDE 34/CPLEX paket programında çözülmüştür. Ayrıca Yang ve ark. (1991) yaklaşımı kullanılarak Bulanık Hedef Programlamasının çözümü için iki fazlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen iki fazlı yaklaşım kullanılarak önerilen iki modelin çözümü yapılmıştır. Son olarak amaç fonksiyon değerleri ve optimal sipariş miktarları hesaplanmış ve karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise, sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

TZRY üzerine yapılan çalışmalar 1990'lı yıllardan sonra görülmeye başlansa da daha çok 2000 yılından sonra hız kazanmıştır. İlk yıllarda yapılmış olan çalışmalar daha çok risk tanımlaması ve risk yönetiminin temel prensipleri üzerinedir. Gün geçtikçe çalışmalar risk azaltılmasıyla ilgili olmaya başlamıştır (Kırılmaz, 2014). Yapılan kaynak araştırması TZRY'ne yönelik çalışmaları kapsamaktadır ve son on yıla ait olmak üzere kronolojik olarak aşağıda verilmiştir.

Berenji ve Anantharaman (2011) Bulanık AAP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak tedarik zincirindeki riskleri belirlemek ve değerlendirmek üzere çalışma yapmışlardır. Amid ve ark. (2011) AHP yöntemi ile tedarikçilerin ağırlıklarını belirlemişlerdir. Daha sonra her tedarikçiye uygun siparişin belirlenmesi için Bulanık Ağırlıklı Hedef Programlama modeli geliştirmişlerdir. Shaw ve ark. (2012) Bulanık AHP ve Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (ÇADP) modelini kullanarak, tedarik zincirinde uygun tedarikçiye seçmek için entegre bir yaklaşım sunmuşlar ve bulanık ortamda çözmüşler. Kenarroudi (2012) miktar indirimi ortamlarında tedarikçi seçimi ile çok ürünlü, çok dönemli parti boyutlandırma için Bulanık AHP ve Bulanık Çok Amaçlı Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (ÇAKTDP)'nin bütünleşik bir yaklaşımı önermiştir.

Chen ve Wu (2013) tedarik zinciri riskinin perspektifinden yeni tedarikçileri seçmek için modifiye bir Hata Modu ve Etki Analizi (FMEA) önermişler ve tedarikçi seçimi için her bir kriterin ve alt kriterin ağırlığını belirlemek için AHP yöntemini kullanmışlar. Ganguly ve Guin (2013) tedarik risklerini ürün bazında değerlendirmek için çalışmalarında Bulanık AHP yöntem kullanmışlardır. Aggarwal ve Sharma (2013) çeşitli çoklu risk özelliklerine öncelik vermek için Bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Samvedi ve ark. (2013) otomotiv sektöründe tedarik zincirindeki risklerini ölçmek için Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır.

Nazari-Shirkouhi ve ark. (2013) etkileşimli iki aşamalı Bulanık ÇADP modeli kullanarak tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi yapmıştır. Li ve ark. (2013) iki aşamadan oluşan entegre bir model önermişler. İlk aşamada, tedarikçi seçimi için Bulanık AHP yöntemi kullanışlar; ikinci aşamada, dinamik bir tedarikçi kapasitesindeki kısıtlamalara tabi olarak tedarikçi sıralamasına göre bir sipariş tahsis modeli oluşturmuşlardır. Kannan ve ark. (2013) en iyi yeşil tedarikçileri seçmek için Bulanık

AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemini uygulamışlar. Ardından optimum sipariş miktarlarını aralarında paylaşmak için Bulanık ÇADP modeli kullanmışlardır.

Badea ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada etkin bir tedarik zinciri iş birliğini olumsuz etkileyen potansiyel riskleri AHP yöntemi ile belirlemişlerdir. Radivojević ve Gajović (2014) tedarik zinciri risk kategorilerini sıralamak, toplam risk içindeki payını belirlemek ve tedarik zinciri risk değerlendirmesi için AHP ve Bulanık AHP yöntemlerini uygulamışlardır. Yu ve Goh (2014) Bulanık ÇADP yöntemini kullanarak tedarik zinciri için maliyet, risk ve görünürlük gibi üç hedefi stratejik olarak yerine getirmek zorunda olan bir parça tedarikçisinin seçimini ve sipariş tahsisini yapmışlardır. Govindan ve Jepsen (2015) tedarikçi risklerini ELECTRE ile analiz etmişlerdir.

Kazemi ve ark. (2014) bulanık bir ortamda miktar indirimleri altında çok amaçlı bir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemini incelemektedir. İlk olarak, tedarikçileri değerlendirmek için bulanık tercih programlama ve aralık tabanlı TOPSIS'in bir kombinasyonu önermiştir. İkinci olarak, ilk adımda elde edilen puanlara dayalı olarak bulanık çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Rouyendegh ve Saputro (2014) önerilen entegre Bulanık TOPSIS ve Çok Seçimli Hedef Programlama yöntemini uygulayarak tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi için optimum karar vermeyi ele almıştır. Mangla ve ark. (2015) yeşil tedarik zincirinde belirlenen riskleri Bulanık AHP ile önceliklendirmişlerdir.

Dong ve Cooper (2016) makalesinde tedarik zinciri risklerini etkileyen maddi ve manevi unsurların karşılaştırılmasını mümkün kılmak için, büyük ölçekli bir AHP tabanlı tedarik zinciri risk değerlendirme modeli geliştirmiş ve uygulamışlardır. Prasanna ve Goh (2016) kesinti riski altında tedarikçileri, Bulanık AHP ve Bulanık PROMETHEE entegre yöntemlerini değerlendirilmiş ve sıralamışlardır. Daha sonra seçilen tedarikçilere uygun sipariş miktarı tahsisini bulmak için çok amaçlı bir KTDP modeli formüle etmişlerdir. Wang ve Hao (2016) taze tarım ürünlerinin tedarik zinciri risk değerlendirmesini incelemek için geliştirilmiş Entropi yöntemini TOPSIS yöntemi ile birleştirip önermişlerdir.

Çebi ve Otay (2016) tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemine iki aşamalı bulanık bir yaklaşım geliştirmişlerdir. İlk aşamada, tedarikçileri değerlendirmek ve seçmek için Bulanık MULTIMOORA kullanmışlardır. Daha sonra ikinci aşamada, fiyat indirimleri altında seçilen tedarikçilere tahsis edilen sipariş miktarını belirlemek için Bulanık ÇADP modelini kullanılmışlardır. Afzali ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada ilk olarak Aralıklı Sezgisel Bulanık TOPSIS ile tedarikçilerin ağırlıklarını elde

edilmiştir. Daha sonra elde edilen ağırlıkların kullanılması ile tedarikçi seçim problemi, her bir tedarikçi için uygun sipariş miktarlarını belirleyen Bulanık ÇADP modeli çözülmüştür.

Hamdan ve Cheaitou (2017) çok dönemli yeşil tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi sorununu tüm birim miktar indirimleriyle çözmeyi amaçlamışlardır. AHP yöntemiyle kriter ağırlıklarını belirlemişler ve Bulanık TOPSIS kullanarak potansiyel tedarikçileri sıralamışlardır. Daha sonra tek ürünlü, iki amaçlı bir Tamsayı Doğrusal Programlama modeli oluşturularak tedarikçiler için sipariş tahsisi yapmışlardır. Rostamzadeh ve ark. (2018) sürdürülebilir TZRY değerlendirmesi için TOPSIS ve CRITIC yöntemlerini kullanmışlardır. Bakeshlou ve ark. (2017) yeşil tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi için Bulanık ANP ve Bulanık ÇADP'nin bir karışımı sunmuştur.

Bello ve ark. (2018) otomotiv endüstrisinde risk değerlendirmesi yapmak için Bulanık AHP modeli kullanmışlardır. Senthil ve ark. (2018) tersine lojistik ile ilgili belirledikleri riskleri hibrit AHP- Bulanık TOPSIS yöntemi, hibrit AHP- PROMETHEE ve hibrit AHP- diyagraf ve matris yöntemleri kullanarak önceliklendirilmesi yapmışlar ve bu üç yöntemin sonucunu karşılaştırmışlardır.

Cheraghalipour ve Farsad (2018) sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemini çözmek için En İyi En Kötü Yöntemi (BWM) kullanmışlar, ardından Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modeli önermişler ve oneline modeli çözmek için Revize Edilmiş Çoktan Seçmeli Hedef Programlama (RMCGP) yöntemini uygulamışlardır. Prakash ve ark. (2018) otomobil endüstrisinin tedarik zincirinde karşılaşılan önemli riskleri değerlendirmek için Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Umarusman (2018) tedarikçi seçim problemi için Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama (ÇATDP) modeli oluşturmuş ve bu modeli Global Kriter Yöntemi, Uzlaşık Programlama, Minmax Hedef Programlama ve STEP yöntemleri ile çözmüştür.

Mohammed (2018) ilk olarak sürdürülebilir kriterlere göreceli ağırlıkları atamak için Bulanık AHP yöntemini, tedarikçileri sürdürülebilir performanslarına göre derecelendirmek için Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Daha sonra ÇADP modelini seçilen tedarikçilere en uygun miktar tahsislerini elde etmek için formüle etmiştir. Park ve ark. (2018) ilk aşamada, Çok Özellikli Fayda Teorisi aracılığıyla sürdürülebilir tedarikçi bölgelerini tanımlamışlardır. İkinci aşamada, birinci aşamada seçilen bölgeler için tedarikçi seçimini Ağırlıklı Toplam Metod ile yapmışlar ve son aşamada optimal sipariş miktarlarını bulmak için ÇATDP modeli önermişlerdir. Lo ve

ark. (2018) yeşil tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisindeki sorunları çözmek için BWM, Bulanık TOPSIS ve Bulanık ÇADP modelini entegre eden yeni bir model önermektedir.

Mirzaee ve ark. (2018) hem alıcılar hem de tedarikçiler için çok dönemli, çok ürünlü, çok tedarikçili, çok amaçlı durumların yanı sıra bütçe ve kapasite sınırlamalarına tabi miktar indirimi ile sipariş tahsisi problemini matematiksel olarak KTDP modeli ile formüle etmişler ve Öncelikli Hedef Programlama ile çözmüşlerdir. Hadian ve ark. (2018) AHP yöntemi ile tedarikçilerin önem ağırlıklarını belirlemişler ve miktar indirimi altında ÇAKTDP modeli ile, farklı satın alma politikalarını içeren farklı yönlerdeki ek kısıtlamalar dikkate alınarak birden çok tedarikçiye tahsis edilecek en uygun siparişleri belirlemişlerdir.

Nourmohamadi Shalke ve ark. (2018) tedarikçileri değerlendirmek için Bulanık TOPSIS yöntemi uygulamışlar. Daha sonra, tedarikçilerin indirim politikaları baz alınarak RMCGP yöntemini, her bir ürün kalemi için her dönemde tedarikçilere sipariş miktarını tahsis etmek için kullanmışlardır. Abdel-Basset ve ark. (2019) tedarik zincirindeki riskleri ölçmek için nötrozofik AHP ve nötrozofik TOPSIS ile entegre bir yöntem uygulamışlardır. Butdee ve Phuangsale (2019) otobüs gövdesi imalatı tedarik zinciri için riskleri değerlendirmek için AHP ve Bulanık AHP yöntemlerini uygulamışlardır.

Ozturkoglu ve ark. (2019) gemi endüstrisindeki riskleri önceliklendirmek ve bu risk faktörleri arasındaki nedensel bağlantıyı analiz etmek için Bulanık DEMATEL yöntemini kullanmışlardır. Ramesh ve ark. (2019) Hindistan elektronik tedarik zincirinin, arz-risk skorunu geliştirmek ve risk göstergelerini önceliklendirmek için hibrit DEMATEL ve AAP yöntemlerini kullanmışlardır. Paksoy ve ark. (2019) tedarikçilerin risklerini çeşitli kriterlere göre değerlendirmek için yeni dilsel değişkenler yardımıyla Bulanık AHP yöntemini kullanmıştır.

Durić ve ark. (2019) otomotiv endüstrisi tedarik zincirinde ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik için risk seviyesini Bulanık AHP yöntemiyle belirlemişler. Pitchaijah vd; (2020) otomobil üretimi için hibrit AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile belirlenen tedarik risklerinin önceliklendirilmesini yapmıştır. Alegoz ve Yapicioglu (2019) birlikte çalışılacak uygun tedarikçiyi / tedarikçileri entegere Bulanık TOPSIS ve yamuk tip-2 Bulanık AHP yöntemleri ile belirlemişler ve miktar indirimi altında Hedef Programlamaya dayalı hibrit bir yaklaşım ile tedarikçiler arasında sipariş tahsisi yapmışlardır. Hosseini ve ark. (2019) bozulma riski altında tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi için stokastik bir iki amaçlı KTDP modeli önermiştir.

Nasr ve ark. (2020) kapalı döngü tedarik zincirinde yeni bir iki aşamalı bulanık tedarikçi seçimi ve sipariş tahsis modeli sunmuşlardır. Birinci aşamada en uygun tedarikçileri seçmek için Bulanık BWM yöntemini, ikinci aşamada sipariş tahsisi için ÇAKTDP modeli kullanmışlardır. Feng ve Gong (2020) döngüsel bir ekonomide tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi için dilsel entropi ağırlık yöntemini ÇADP ile birleştiren entegre bir model önermiştir ve bulanık ortamda çözmüştür. Kilic ve Yalcin (2020) klasik ve yeşil kriterler belirlendikten sonra her bir malzeme türüne ilişkin alternatiflerin klasik ve yeşil puanlarını elde etmek için aralıklı Bulanık TOPSIS ve aralıklı Bulanık VIKOR yöntemini uygulamıştır. Daha sonra en uygun yeşil tedarikçilerin çeşitli zaman dilimlerinde onlara tahsis edilen miktarların belirlenmesi için iki aşamalı bir Bulanık Hedef Programlama modeli önermişlerdir.

Al-Husain ve Khorramshahgol (2020), tedarik zinciri sürücülerinin verimlilik ve yanıt verme performans ağırlıklarını AHP yöntemi ile belirlemişlerdir. Daha sonra yeni bir tedarik zinciri tasarımı için Ağırlıklı Hedef Programlama modelini önermişlerdir. Moktadir ve ark. (2021) deri işletmesi tedarik zincirinde en uygun risk faktörünü değerlendirmek için BWM'yi benimsemiştir. Bakioglu ve Atahan (2021) otonom araçlarda riskleri önceliklendirmeyi amaçlamışlardır. Bulanık ortamda Pisagor AHP, TOPSIS ve VIKOR hibrit yöntemleri ile sürücüsüz araçlarda ilgili risklerin önceliklendirilmesini yapmışlardır.

Kaur ve Singh (2021) tedarikçi segmentasyonu, seçimi ve sipariş tahsisi için çok aşamalı bir hibrit model önermiştir. Tedarikçileri, Veri Zarflama Analizi (DEA) kullanarak değerlendirmiş ve Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS kullanarak önceliklendirmiştir. Optimal sipariş tahsisi için bir KTDP modeli önermişlerdir. Tayyab ve Sarkar (2021) tedarikçi seçimi ve boyama kimyasalları ve yardımcıların miktar tahsisi için yeşil tekstil tedarik zincirinin tasarlanmasında KTDP modeli oluşturmuş ve Ağırlıklı Bulanık Hedef Programlama ile çözmüştür. Ebrahimi Qazvini ve ark. (2021) yeşil tedarik zincirinde tedarikçileri seçmek ve sipariş tahsisini yapmak için Bulanık AHP ve ÇAKTP'ya dayalı entegre iki aşamalı bir yaklaşım geliştirmiş ve Bulanık Doğrusal Programlama yaklaşımı ile çözmüştür.

Kaynak araştırması yapılan, TZRY alanında kullanılan yöntemlerin özeti Çizelge 2.1'de, kullanılan yöntemlerin uygulama alanlarına göre özeti Çizelge 2.2'de ve belirlenen risk kriterlerinin sınıflandırılması Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. TZRY alanında yapılan çalışmalar için kaynak araştırması

Yazar(lar)	ÇKKV													
	Doğrusal	Tamsayılı	Karına Tamsayılı	ÇAKV					ÇNKV				Bulamıklık	Miktar İndirimli
				Bulamık Doğrusal Prog.	Hedef Prog. Yaklaşım.	Bulamık Hedef Prog.	Diğer Yöntemler	Şans Kısıtlı	AHP	TOPSIS	Diğer yöntemler			
Berenji ve Anantharaman (2011)										*	*	*	*	
Amid ve ark. (2011)					*					*	*		*	
Shaw ve ark. (2012)	*			*						*			*	
Kenarroudi (2012)			*	*						*			*	*
Chen ve Wu (2013)										*		*		
Ganguly ve Guin (2013)										*			*	
Aggarwal ve Sharma (2013)										*			*	
Samvedi ve ark. (2013)										*	*		*	
Li ve ark. (2013)										*			*	
Kannan ve ark. (2013)	*			*						*	*		*	
Nazari-Shirkouhi ve ark. (2013)	*			*							*			*
Kazemi (2014)	*			*										
Badea ve ark. (2014)										*				
Radivojević ve Gajović (2014)										*			*	
Rouyendegh ve Saputro (2014)					*						*		*	
Yu ve Goh (2014)	*			*									*	
Nazam ve ark. (2015)										*	*		*	
Mangla ve ark. (2015)										*			*	
Afzali ve ark. (2016)	*			*							*		*	
Govindan ve Jepsen (2016)												*		
Çebi ve Otay (2016)	*											*	*	
Prasanna ve Goh (2016)			*							*		*	*	
Wang ve Hao (2016)											*	*		
Bakeshlou ve ark. (2017)	*			*								*	*	

Çizelge 2.1. Devamı

Yazar(lar)	ÇKKV														
	Doğrusal	Tamsayılı	Karıma Tamsayılı	Bulanık Doğrusal Prog.	Hedef Prog. Yak.	ÇAKV				ÇNKV				Bulanıklık	Miktar İndirimli
						Bulanık Hedef Prog.	Diğer Yöntemler	Şans Kısıtlı	AHP	TOPSIS	Diğer yöntemler				
Hamdan ve Cheaitou (2017)		*												*	
Mohammed ve ark. (2018)	*					*					*	*		*	
Park ve ark. (2018)		*				*							*		
Senthil ve ark. (2018)											*	*	*	*	
Cheraghalipour ve Farsad (2018)	*				*								*		
Mirzaee ve ark. (2018)			*		*										*
Nourmohamadi Shalke ve ark. (2018)					*						*		*	*	
Rostamzadeh ve ark. (2018)											*	*	*		
Umarusman (2018)		*			*			*					*		
Bello ve ark. (2018)										*			*		
Prakash ve ark. (2018)										*			*		
Abdel-Basset ve ark. (2019)										*	*		*		
Alegoz ve Yapicioglu (2019)		*			*					*	*		*	*	*
Ozturkoglu ve ark. (2019)												*	*		
Ramesh ve ark. (2019)											*		*		
Paksoy ve ark. (2019)										*			*		
Đurić ve ark. (2019)										*			*		
Alegoz ve Yapicioglu (2019)				*						*	*		*		
Butdee ve Phuangsale (2019)										*			*		
Kilic ve Yalcin (2020)											*	*	*		
Feng ve Gong (2020)	*			*									*		
Ebrahimi Qazvini ve ark. (2021)			*	*						*			*	*	*
Al-Husain ve Khorramshahgol (2020)					*					*			*		
Pitchajjah ve ark. (2020)										*		*	*		
Nasr ve ark. (2021)			*		*								*		

Çizelge 2.1. Devamı

Yazar(lar)	ÇKKV													
	Doğrusal	Tamsayılı	Karım Tamsayılı	ÇAKV						ÇNKV			Bulanıklık	Miktar İndirimi
				Bulanık Doğ. Prog.	Hedef Prog. Yaklaşım.	Bulanık Hedef Prog.	Diğer Yöntemler	Şans Kısıtlı	AHP	TOPSIS	Diğer yöntemler			
Bakioglu ve Atahan (2021)										*	*	*	*	
Kaur ve Singh (2021)			*								*	*	*	*
Moktadir ve ark. (2021)												*		
Yapılan Çalışma			*		*	*		*	*	*	*	*	*	*

Son yıllarda yapılan çalışmalarda izlenen stratejilerde niceliksel yöntemlerin araştırmacılar tarafından TZY için sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. ÇKKV yöntemleri ÇAKV ve ÇNKV olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İncelenen çalışmalarda ÇAKV yöntemlerinden en sık kullanılan yöntem Hedef Programlama; ÇNKV yöntemlerinden ise bulanık ortamda AHP ve TOPSIS olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, ÇAKV yöntemlerinden ÇATDP, Bulanık ÇATDP, Ağırlıklı ve Minmax Hedef Programlama, Bulanık Hedef Programlama ve Şans Kısıtlı Programlama yöntemleri kullanılmıştır. ÇNKV yöntemlerinden ise, Pisagor Bulanık AHP, Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemleri ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı kullanılmıştır.

Çizelge 2.2. TZRY uygulama alanları

Yazar(lar)	Uygulama alanı					
	Risk Değ.	Tedarikçi Seçimi	Sipariş Tahsisi	Yer Seçimi	Dağıtım	Tasarım
Berenji ve Anantharaman (2011)	*					
Amid ve ark. (2011)		*	*			
Shaw ve ark. (2012)		*	*			
Kenarroudi (2012)		*	*			
Chen ve Wu (2013)		*				
Ganguly ve Guin (2013)	*					
Aggarwarl ve Sharma (2013)		*				
Samvedi ve ark. (2013)	*					
Li ve ark. (2013)		*	*			
Kannan ve ark. (2013)		*	*			
Nazari-Shirkouhi ve ark. (2013)		*	*			
Kazemi (2014)		*	*			
Badea ve ark. (2014)	*					
Radivojević ve Gajović (2014)	*					
Rouyendegh ve Saputro (2014)		*	*			
Yu ve Goh (2014)		*				
Nazam ve ark. (2015)	*					
Mangla ve ark. (2015)	*					
Afzali ve ark. (2016)		*	*			
Govindan ve Jepsen (2016)		*				
Çebi ve Otay (2016)		*	*			
Prasanna ve Goh (2016)		*	*			
Wang ve Hao (2016)	*					
Hamdan ve Cheaitou (2017)		*	*			
Bakeshlou ve ark. (2017)		*	*			
Mohammed ve ark. (2018)		*	*			
Prakash ve ark. (2018)	*					
Park ve ark. (2018)		*	*	*		
Senthil ve ark. (2018)	*					
Cheraghalipour ve Farsad (2018)		*	*			
Mirzaee ve ark. (2018)		*	*			
Nourmohamadi ve ark. (2018)		*	*			
Rostamzadeh ve ark. (2018)	*					
Bello ve ark. (2018)	*					

Çizelge 2.2. Devamı

Yazar(lar)	Uygulama alanı					
	Risk Değ.	Tedarikçi Seçimi	Sipariş Tahsisi	Yer Seçimi	Dağıtım	Tasarım
Vahidi ve ark. (2018)		*	*			
Umarusman (2018)		*	*			
Abdel-Basset ve ark. (2019)		*	*			
Ozturkoglu ve ark. (2019)	*					
Ramesh ve ark. (2019)	*					
Đurić ve ark. (2019)	*					
Alegoz ve Yapicioglu (2019)		*	*			
Butdee ve Phuangsalee (2019)	*					
Kilic ve Yalcin (2020)		*	*			
Feng ve Gong (2020)		*	*			
Al-Husain ve Khorramshahgol (2020)						*
Pitchaijah ve ark. (2020)	*					
Bakioglu ve Atahan (2021)	*					
Kaur ve Singh (2021)		*				
Nasr ve ark. (2021)		*	*			
Moktadir ve ark. (2021)	*					
Ebrahim Qazvini ve ark. (2021)		*	*			
Yapılan Çalışma	*	*	*			

Yapılan kaynak araştırmasında en sık ele alınan konular tedarik zinciri risk değerlendirmesi ile tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisini kapsayan tedarik zinciri risk azaltması olmuştur. Bu çalışmada da hem tedarik zinciri risk değerlendirmesi hem de tedarik zinciri risk azaltması yapılmıştır.

Tedarik zinciri risk değerlendirmesi için yapılan çalışmalarda önceki yıllarda tedarik riskleri daha genel bir çerçevede ele alınırken son birkaç yılda yapılan çalışmalarda daha spesifik risklere odaklanılmıştır. Bu çalışmada yapılan çalışmalardaki risk kriterleri de göz önünde bulundurularak tedarik zinciri risk kriterleri, uygulama yapılan firmanın en sık karşılaştığı ve firmayı en çok etkileyen riskler arasından uzman mühendisler tarafından belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.3. Tedarik zinciri değerlendirmesi için risk sınıflandırmaları

Yazar(lar)	Risk Sınıflandırması
Berenji ve Anantharaman (2011)	Tedarik riski, talep riski, operasyonel risk, sosyal/politik risk, rekabetçi/ekonomik risk, kontrol ve plan riski.
Ganguly ve Guin (2013)	Zamanında teslimat riski, sipariş eksikliği riski, hatalı sipariş riski, hasar ve kusur riski, maliyet riski.
Aggarwal ve Sharma (2013)	Tedarik riski, proses riski, talep riski ve çevresel risk.
Samvedi ve ark. (2013)	Tedarik riski, proses riski, talep riski ve çevresel risk.
Badea ve ark. (2014)	Rekabet riski, teslimat riski, tedarik riski, malzeme kalite riski, sipariş karşılama riski, gecikme riski, sistem riski, talep riski, tahmin riski, müşteri memnuniyet riski, garanti riski, veri tabanı riski, yazılım riski, insan yapımı bozulma riski, taşıma riski ve doğal afetler riski.
Radivojević ve Gajović (2014)	Operasyonel/teknolojik risk, ekonomik/rekabet riski, doğal/tehlike riski, sosyal risk, yasal/politik risk.
Govindan ve Jepsen (2016)	Operasyonel risk, arz riski, ürün geri kazanım riski, finansal risk, talep riski, hükümet ve organizasyonla ilgili risk.
Wang ve Hao (2016)	Harici risk, dâhili risk, lojistik risk ve bilgi riski.
Senthil ve ark. (2018)	Çevresel risk, stok riski, veri yönetme riski, zaman yönetme riski, yönetim riski, kültürel risk, kalite riski, dış kaynak riski ve bozulma riski.
Rostamzadeh ve ark. (2018)	Çevresel risk, operasyonel risk, sürdürülebilir tedarik riski, sürdürülebilir üretim riski, sürdürülebilir geri dönüşüm riski, sürdürülebilir dağıtım riski ve bilgi teknolojisi ile ilgili riskler.
Bello ve ark. (2018)	İş riski, ekonomik risk ve harici risk.
Vahidi ve ark. (2018)	Operasyonel risk ve bozulma riski.
Prakash ve ark. (2018)	Tedarik riski, proses riski, finansal risk ve talep riski.
Ozturkoglu ve ark. (2019)	Fiziksel tehlike riski, kimyasal tehlike riski, ergonomik risk ve kaza riski.
Đurić ve ark. (2019)	Ekonomik ve sosyal risk.
Butdee ve Phuangsalee (2019)	Plan, kaynak, taşıma, kazanç ve geri dönüşüm riski.
Paksoy ve ark. (2019)	Dış risk, esneklik ve talep riski, üretim / operasyonel risk, tedarik riski, bilgi riski, ürün kurtarma riski, taşıma riski, finansal risk, çevresel risk, sosyal ve örgütsel risk.
Ramesh ve ark. (2019)	Çevresel risk, ürün riski, alıcı organizasyon riski, tedarikçi performans riski, iş ilişkisi riski ve ağ riski.
Pitchaijiah ve ark. (2020)	Miktar riski, kalite riski, kapasite riski, tedarik riski, talep riski, bilgi akışı/sistem riski, taşıma riski, emtia fiyat dalgalanması riski, döviz riski, mevzuat riski, kredi riski, itibar riski, bozulma/felaket riski.
Moktadir ve ark. (2021)	Sosyal risk, çevresel risk, ekonomik risk, teknik risk ve kurumsal risk.
Yapılan Çalışma	Kapasite esnekliği, lojistik (taşıma), ekipman bakımı, proses uzmanlığı, organizasyonel yapı, salgınlara karşı strateji oluşturma, hatalı parça oranı, ürün kalitesi, üretim hat esnekliği ve müşteri memnuniyeti riskleri.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, ilk aşamada TZRY için uygulama yapılan firmanın beş farklı çeşit ürün aldığı beş tedarikçi için on risk kriteri belirlenmiştir. Belirlenen risk kriterlerini ağırlıklandırmak için Pisagor Bulanık AHP yöntemi uygulanmış, daha sonra tedarikçilerin risk ağırlıklarını elde etmek için Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı kullanılmıştır. Mevcut verileri analiz etmek için Excel yazılımı kullanılmıştır.

İlk aşamada elde edilen edilen tedarikçi risk ağırlıkları önerilen ÇATDP modeline risk minimizasyonu amaç fonksiyonunun katsayıları olarak eklenmiştir. Önerilen modeldeki diğer amaçlar toplam maliyet minimizasyonu ve tedarikçi teslimat performansı maksimizasyonu olarak firmadaki uzman mühendisler tarafından belirlenmiştir. Önerilen ÇATDP modeli her bir amaca göre ayrı ayrı çözülmüş ve üstün olmayan çözümler tablosu elde edilmiştir. Bu tablo yardımı ile Bulanık ÇATDP, Ağırlıklı ve Minmax Hedef Programlama, Bulanık Hedef Programlama ve bunların Şans Kısıtlı modelleri oluşturulmuş ve GAMS IDE 34/CPLEX paket programı ile çözülmüştür. Sonuçta belirlenen amaçları ve kısıtları aynı anda gerçekleştirerek hangi tedarikçiden ve hangi üründen ne kadar alınması gerektiği bulunmuştur.

3.1. Materyal

Uygulama yapılan firmadan elde edilen sayısal veriler arasında önerilen çok amaçlı matematiksel modelin kısıtları için kullanılan veriler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Önerilen ÇATDP modeli kısıtları için veriler

Müşterinin belirlediği teslimat süresi (Ex) (dk)	96
Hatalı parça oranı sınırı (Hx)	0.005
Büyük bir sayı (N)	10,000
Min. Tedarikçi sayısı (B)	2
$L_{(i,j,k)}$ (adet)	(0;400;800)
$U_{(i,j,k)}$ (adet)	(400;800;3,000)

Tedarikçilerin kapasite limiti, risk oranı, teslimat performansı, güvenilirlik ve hatalı parça yüzdesi için elde edilen sayısal veriler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tedarikçi verileri

	S1	S2	S3	S4	S5
Kapasite limiti (adet)	4,300	3,375	4,000	3,050	2,400
Risk oranı	0.2705	0.1357	0.1778	0.2008	0.2158
Teslimat performansı	0.90	0.87	0.97	0.95	0.92
Güvenilirlik	0.875	0.9893	0.958	0.935	0.967
Hatalı parça oranı	0.0001	0.00008	0.00016	0.00018	0.00025

Her bir ürün için rassal oniki teslimattan elde edilmiş teslimat süreleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Ürün teslimat süreleri

t	Teslimat Süresi (saat)				
	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5
1	22.5	31.2	14.7	13.2	14.55
2	18.2	30.8	11.9	14	12
3	20.8	32.8	12.8	14.8	13.9
4	21	29	12.05	13.4	15.4
5	21.2	29.6	13.9	10	13
6	17.8	31	12.25	11.5	14.6
7	20.4	28.5	11.5	15.2	16
8	19	30.8	13.65	12.5	13.2
9	19.6	27.8	12	12.8	11.8
10	20.6	29.5	10.6	13.6	12.5
11	23.2	31.2	14.7	13.2	14.55
12	22.8	30.8	11.9	14	12

Dört yıllık talep verilerinin aylık olarak gösterimi Çizelge 3.4'de verilmiştir

Çizelge 3.4. Yıllara göre talep verileri (adet)

Yıl	Ay											
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2017	479	1,381	1,618	1,027	1,239	1,388	1,042	654	661	1,559	1,639	1,477
2018	1,362	1,408	1,381	1,634	1,753	1,191	1,404	1,283	1,499	1,039	640	1,275
2019	1,151	1,230	1,296	611	994	1,813	1,796	1,349	1,738	1,444	1,417	864
2020	528	1,074	905	1,073	1,211	1,388	1,256	1,435	1,019	681	846	1,533

Tedarikçilerden sipariş edilecek ürünlerin minimum sipariş miktarları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Minimum sipariş miktarları (adet)

	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5
i_1	284	262	220	148	136
i_2	568	524	440	296	272
i_3	284	262	220	148	136
i_4	568	524	440	296	272
i_5	568	524	440	296	272

Tedarikçilerden alınacak miktarlara göre üç indirim aralığı tanımlanmıştır. Bu indirim aralıklarına göre her bir ürün için her bir tedarikçiden alınacak ürünlerin sipariş maliyetleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Sipariş maliyeti verileri (TL)

	k_1	k_2	k_3
$i_1 - j_1$	400	392	380
$i_1 - j_2$	425	416.5	403.75
$i_1 - j_3$	375	367.5	356.25
$i_1 - j_4$	390	382.2	370.5
$i_1 - j_5$	380	372.4	361
$i_2 - j_1$	120	117.6	114
$i_2 - j_2$	127	124.46	120.65
$i_2 - j_3$	112	109.76	106.4
$i_2 - j_4$	117	114.66	111.15
$i_2 - j_5$	114	111.7	108.3
$i_3 - j_1$	280	274.4	266
$i_3 - j_2$	297	291.06	282.15
$i_3 - j_3$	262	256.76	248.9
$i_3 - j_4$	273	267.54	259.35
$i_3 - j_5$	266	260.7	252.7
$i_4 - j_1$	40	39.2	38
$i_4 - j_2$	42	41.16	39.9
$i_4 - j_3$	37	36.26	35.15
$i_4 - j_4$	39	38.22	37.05
$i_4 - j_5$	38	37.2	36.1
$i_5 - j_1$	80	78.4	76
$i_5 - j_2$	85	83.3	80.75
$i_5 - j_3$	75	73.5	71.25
$i_5 - j_4$	78	76.44	74.1
$i_5 - j_5$	76	74.5	72.2

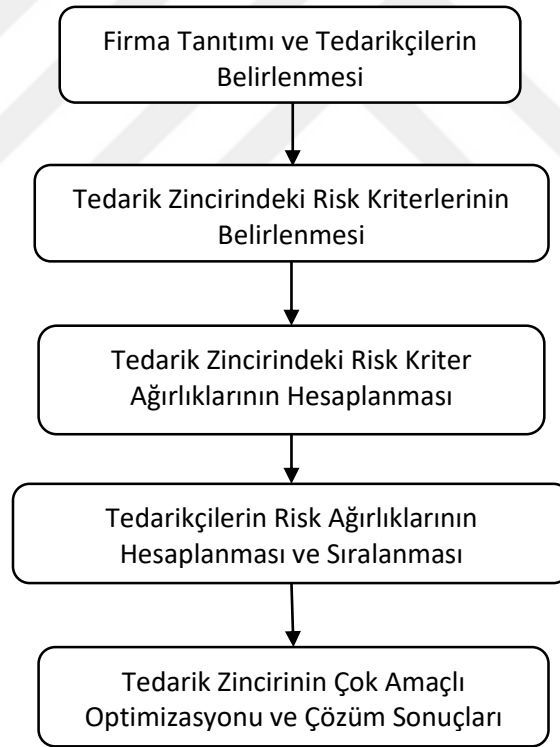
Her bir tedarikçiden alınacak her bir ürün için bir birim taşıma maliyeti Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Taşıma maliyeti verileri (TL)

	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5
i_1	3.125	6.25	3.125	2.34	2.34
i_2	1.625	3.125	1.625	1.17	1.17
i_3	3.125	6.25	3.125	2.34	2.34
i_4	1.625	3.125	1.625	1.17	1.17
i_5	1.625	3.125	1.625	1.17	1.17

3.2. Yöntem

Bu bölümde bu çalışmada izlenen prosedür aşamaları detaylı olarak açıklanmış ve Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. İzlenecek prosedür aşamaları

3.2.1. Firma tanıtımı ve tedarikçilerin belirlenmesi

Uygulama çalışması yapılan firma ile çalışılacak tedarikçiler belirlenirken tedarikçi değerlendirme prosedürü izlenmektedir. İlk defa mal ve hizmet alınacak aday

tedarikçi firmaların performans değerlendirme performans değerlendirilmesi yapılır. Bu değerlendirme yapılırken ilk önce yerinde ziyaret yapılır ve firma işletmeye davet edilir. Firmaya tedarikçi bilgi formu verilir ve doldurulması istenir. Bu form üzerinden ön değerlendirme yapılır. Tedarikçi bilgi formu kullanılarak belirli bir puan üzerinden ve firmanın ölçü kriterlerine göre tedarikçi değerlendirilir. Hesaplanan puana göre firma tedarikçilerini yeşil, sarı ve kırmızı olarak sınıflandırır. Yeşil ve sarı grupta olan tedarikçiler çalışılabilir sınıftadır. Tedarikçi firma ile çalışılmaya karar verilmeden önce örnek talep edilebilir. Örnekte veya ilk partilerde uygunsuz durum tespit edilmesi halinde bu firma ile çalışılma durumu fes edilir. Ön değerlendirmede yeterli bulunmayan firmalar yani kırmızı grupta yer alanlar gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler sonrasında yeniden çalışmak için talepte bulunabilirler. Mal veya hizmet alınmaya devam edilen tedarikçi firmaların ürünlerinde daha sonra uygunsuzluk bulunması halinde firma izlemeye alınır. Üç partide uygunsuzluğun devam etmesi halinde bir daha bu tedarikçi firma ile çalışılmaz. Tedarikçi firmalar yılda en az bir kere değerlendirilir ve çalışılmaya devam edip edilmemesine karar verilir.

3.2.2. Tedarik zincirindeki risk kriterlerinin belirlenmesi

Risk kriterlerinin belirlenmesi, TZY sürecinin ilk ve en önemli aşamasıdır. Bundan sonra izlenecek adımlar ve yapılacak uygulamalar belirlenen risk kriterleri üzerinden gerçekleştirilecektir. Çeşitli sektörlerde farklı yazarlar tarafından farklı risk kriter sınıflandırmaları yapılmıştır (Jutner ve ark., 2003; Chopra ve Sodhi, 2004; Tang ve Musa, 2011; Samvedi ve ark., 2013). Bu risk kriterleri sektörler arasında küçük farklılıklar olsa da büyük oranda benzerlik göstermektedirler. Bu çalışmada da otomotiv sektöründe ele alınan risk kriterleriyle benzerlik gösteren on tedarik riski belirlenmiştir.

3.2.3. Tedarik zincirindeki risk kriter ağırlıklarının hesaplanması

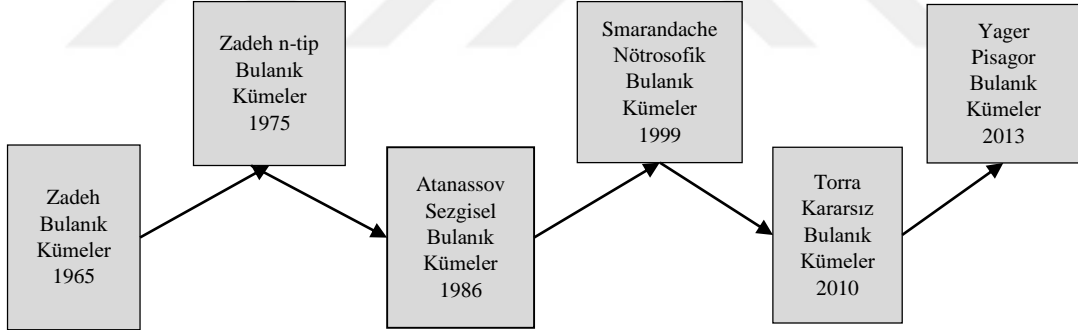
Bu çalışmada, tedarik zinciri risk kriter ağırlıklarının hesaplanması için ilk aşamada, risk kriterleri ve alternatif tedarikçiler belirlenmektedir. Kaynak araştırması yapılmış, firmada çalışan uzman mühendisler ile görüşülerek risk kriterleri tanımlanmış ve alternatif tedarikçi firmalar belirlenmiştir. İkinci aşamada, bulanık dilsel değişkenler kullanılarak tedarik zincirinde belirlenen risk kriterlerinin ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu

bölümde bulanık kümelerin kronolojisine ve Pisagor Bulanık AHP yöntemi adımlarına yer verilmiştir.

3.2.3.1. Bulanık kümeler

İnsanlar karar verirken ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi durumlar nedeniyle fikirlerini problemlerin çoğunda tam olarak ifade edemezler. Bu nedenle; bulanık teori ortaya çıkmış ve Zadeh (1965) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Teori, karar verme problemlerinin değerlendirme süreçlerinde öznel yargılama ve nitel değerlendirme için uygundur. Görüşlerin, dilsel olarak ifade edilebilmesine dayanan bu yaklaşım, bilgideki belirsizliği çözmek için etkili bir yöntemdir (Wang ve ark., 2016).

Zadeh (1965) bulanık kümeyi, sürekli dizi halindeki üyelik derecelerine sahip nesnelere oluşan bir sınıf olarak tanımlamıştır. Klasik kümelerde üyelik fonksiyonu 0 veya 1 değerini alabilmektedir, bulanık kümelerde ise üyelik fonksiyonu $[0,1]$ kapalı aralığında bir değer almaktadır. Sıradan bulanık kümelerin geliştirilen çeşitli uzantıları Şekil 3.2'deki gibi tarihsel bir sırayla gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bulanık küme kronolojisi

Bu çalışmada kullanılan pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler ve aralık tip-2 bulanık kümelerin açıklamalarına aşağıda yer verilmiştir.

a- Sezgisel bulanık kümeler

Atanassov'un bir üyelik ve bir üyelik dışı fonksiyonu ile karakterize olan sezgisel bulanık küme yaklaşımı ilk kez 1986 yılında tanıtılmıştır ve Zadeh tarafından 1965 yılında sunulan bulanık kümelerin geliştirilmiş halidir. Sezgisel bulanık kümeler, bulanık

küme kavramının belirsizliği ile başa çıkmak için ortaya atılmıştır. Sezgisel bulanık küme işlemleri aşağıda verilmiştir (Atanassov, 1986).

X boş olmayan bir küme olsun. X'deki sezgisel bulanık A kümesi Denklem (3.1)'de tanımlanmıştır.

$$A = ((X, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X) \quad (3.1)$$

X elamanının A kümesine ait olma derecesi $\mu_A(x)$, ait olmama derecesi $\nu_A(x)$ ve tereddütlik derecesi $\pi_A(x)$ olarak tanımlanmıştır. Sezgisel bulanık küme teorisinde ait olma derecesi ve ait olmama derecesinin toplamı 1'den küçüktür. Denklem (3.2)'de gösterilmiştir.

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (3.2)$$

Tereddütlik derecesi herhangi bir x elemanın A kümesine ait olup olmamasının tereddütlik düzeyini göstermektedir. Denklem (3.3)'de belirtilmiştir.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (3.3)$$

Eğer tereddütlik derecesi küçükse x elemanı hakkındaki bilgi göreceli olarak daha kesindir. Eğer bu değer büyükse x elemanı hakkındaki bilgi göreceli olarak daha belirsizdir ve 0'a eşit ise x elemanı hakkındaki bilgi kesindir. Bu durumda sezgisel bulanık küme olmaktadır (Shu ve ark., 2006). A ve B, x kümesinin tereddüt bulanık kümeleri olsun. Çarpma operatörü Denklem (3.4) 'deki gibi tanımlanmıştır (Atanassov, 1986).

$$AxB = (\mu_A(x) \cdot \mu_B(x), \nu_A(x) + \nu_B(x) - \nu_A(x) \cdot \nu_B(x)) | x \in X \quad (3.4)$$

b- Pisagor bulanık kümeler

1986 yılında sezgisel bulanık kümeler (SBK), Atanassov (1986) tarafından, üyeliksizlik dereceleri ile başa çıkmak için ortaya konmuştur. Atanassov, 1999 yılında

tip-2 sezgisel bulanık kümelerini (SBK2) önermiştir. Daha sonra Yager (2013), SBK2'yi genişletmiş ve bunları pisagor bulanık kümeler olarak adlandırmıştır. Sezgisel bulanık kümelerin belirsizliği tam anlamıyla ifade edememesinden dolayı pisagor bulanık kümeler ortaya atılmış ve bazı durumlarda sezgisel bulanık kümelere genelleme olarak geliştirilmiştir (Gul ve Ak, 2018).

Pisagor bulanık kümeleri karar vericilerin toplamı en fazla 1 olan üyelik ve üyelik dışı dereceleri atamalarını zorunlu kılmaktadır. Pisagor bulanıklığında ise, sezgisel bulanık kümelere farklı olarak üyelik ve üyelik dışı derecelerin toplamı 1'i aşabilmektedir; ancak karelerinin toplamı geçemez (Ilbahar ve ark., 2018). Pisagor bulanık kümelerle ilgili bazı önemli tanımlar aşağıda verilmiştir (Karasan ve ark., 2018).

Tanım 1: Bir x kümesi bir söylem evreni olsun. Pisagor bulanık kümesi P , şu şekilde sahip bir nesnedir (Zhang ve Xu, 2014) ve Denklem (3.5)'de gösterilmektedir.

$$P = \{ x, P(\mu_p(x), \nu_p(x)) \}; x \in X \} \quad (3.5)$$

Sırasıyla her $x \in X$ için P 'ye $\mu_p(x): X \rightarrow [0,1]$ arasında üye olma derecesi tanımlanır, $\nu_p(x): X \rightarrow [0,1]$ arasında üye olmama derecesi tanımlanır ve Denklem (3.6)'da gösterilmektedir.

$$0 \leq \mu_p(x) + \nu_p(x) \leq 1 \quad (3.6)$$

Herhangi bir P pisagor bulanık kümesi ve her $x \in X$ için, π_p 'ye x 'in belirsizlik derecesi denir. Denklem (3.7)'deki gibi hesaplanır.

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - \mu_p^2(x) - \nu_p^2(x)} \quad (3.7)$$

Tanım 2: $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, \nu_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, \nu_{\beta_2})$, $\lambda > 0$ iken iki pisagor bulanık sayı olsun. Bu iki pisagor bulanık sayı üzerindeki işlemler şu şekilde tanımlanır (Zhang ve Xu, 2014). Sırasıyla işlemler Denklem (3.8) ve (3.13) arasında verilmiştir.

$$\beta_1 + \beta_2 = P \left(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2} \right) \quad (3.8)$$

$$\beta_1 \times \beta_2 = P \left(\mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2} \right) \quad (3.9)$$

$$\beta_1 - \beta_2 = \tilde{P} \left(\sqrt{\frac{\mu_{\beta_1}^2 - \mu_{\beta_2}^2}{1 - \mu_{\beta_2}^2}}, \frac{v_{\beta_1}}{v_{\beta_2}} \right), \mu_{\beta_1} \geq \mu_{\beta_2}, v_{\beta_1} \geq \min \left(v_{\beta_2}, \frac{v_{\beta_2} \pi \beta_1}{\pi \beta_2} \right) \text{ ise} \quad (3.10)$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \tilde{P} \left(\frac{\mu_{\beta_1}}{\mu_{\beta_2}}, \sqrt{\frac{v_{\beta_1}^2 - v_{\beta_2}^2}{1 - v_{\beta_2}^2}} \right), \mu_{\beta_1} \leq \min \left(\beta_2, \frac{\mu_{\beta_2} \pi \beta_1}{\pi \beta_2} \right), v_{\beta_1} \geq v_{\beta_2} \text{ ise} \quad (3.11)$$

$$\lambda \beta_1 = P \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\beta_1}^2)^\lambda}, v_{\beta_1}^\lambda \right), \lambda > 0 \quad (3.12)$$

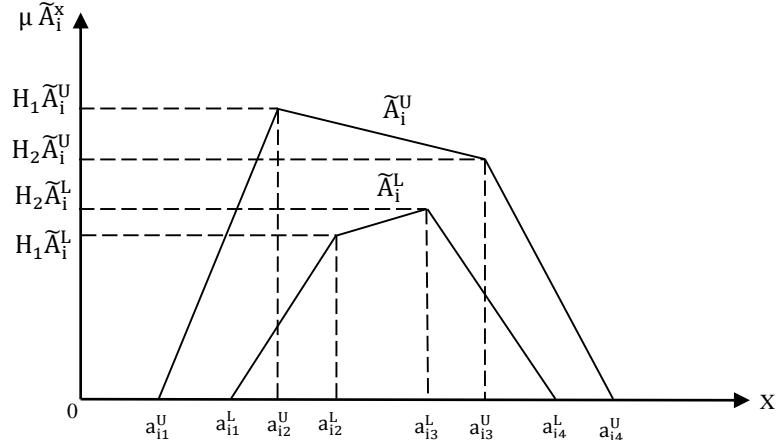
$$\beta_1^\lambda = P \left((\mu_{\beta_1})^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{\beta_1}^2)^\lambda} \right), \lambda > 0 \quad (3.13)$$

c- Aralık tip-2 bulanık kümeler

Bir aralık tip-2 bulanık kümenin üst üyelik işlevi ve alt üyelik işlevi sırasıyla, yamuk aralık tip-2 bulanık kümenin tip-1 üyelik işlevleridir. Bir yamuk (trapezoidal) aralık tip-2 bulanık küme, Denklem (3.14)'deki gibi ifade edilmiştir.

$$\tilde{A}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = (a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_i(\tilde{A}_1^U), H_i(\tilde{A}_1^U)), (a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_i(\tilde{A}_1^L), H_i(\tilde{A}_1^L)) \quad (3.14)$$

$\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L$ tip-1 bulanık kümeleri ifade ederken; $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L$ (\tilde{A}_1) aralık tip-2 bulanık kümelerinin referans noktalarıdır. $H_i(\tilde{A}_1^U), 1 \leq j \leq 2$ aralığında (\tilde{A}_1^U) üst yamuk üyelik işlevinde $a_{j(j+1)}^U$ faktörünün üyelik tahminini belirtir. $H_i(\tilde{A}_1^L), 1 \leq j \leq 2$ aralığında (\tilde{A}_1^L) alt yamuk üyelik işlevinde $a_{j(j+1)}^L$ faktörünün üyelik tahminini belirtir. $H_1(\tilde{A}_1^U) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_1^U) \in [0,1], H_1(\tilde{A}_1^L) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_1^L) \in [0,1]$ ve $1 \leq j \leq n$ (Chen ve Lee, 2010; Kahraman ve ark., 2014). Bir yamuk aralıklı tip-2 bulanık kümenin üyelik fonksiyonu Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Yamuk aralık tip-2 bulanık kümenin üyelik fonksiyonu

d- Aralık tip-2 bulanık kümeler için durulaştırma

Aralık tip-2 bulanık kümenin durulaştırılması iki adımda gerçekleşir. İlk adımda yamuk aralık tip-2 bulanık küme, çeşit azaltma işlemi kullanılarak aralık tip-1 bulanık küme olarak tanımlanır. Daha sonra aralık tip-2 bulanık kümenin denkleğini bulmak için tip-1 bulanık kümeler için durulaştırma yöntemlerinden biri kullanılır (Karnik ve Mendel, 2001).

Kahraman ve ark. (2014) yamuk aralık tip-2 bulanık kümelerin durulaştırılması ve sıralanması için en iyi bulanık olmayan performans değerini değiştirerek bir yöntem önermiştir. Bu çalışmada yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak yapılan durulaştırılma değeri (DTriT) Denklem (3.15)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$DTriT = \frac{\frac{(u_U - l_U) + (\beta_U \cdot m_{1U} - l_U) + (\alpha_U \cdot m_{2U} - l_U)}{4} + \left[\frac{(u_L - l_L) + (\beta_L \cdot m_{1L} - l_L) + (\alpha_L \cdot m_{2L} - l_L)}{4} + l_L \right]}{2} \quad (3.15)$$

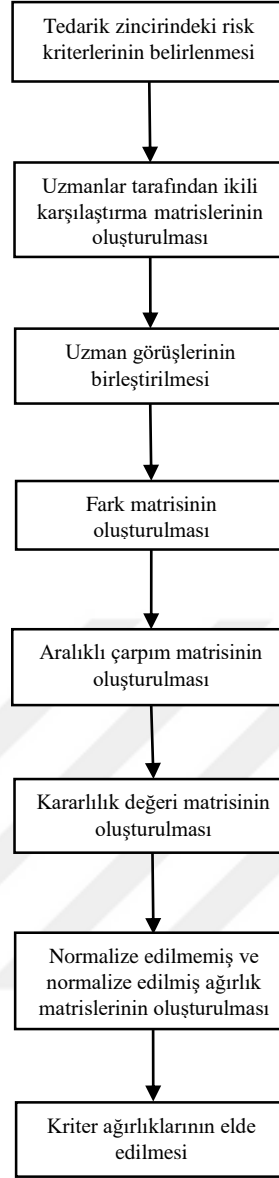
Burada α ve β , dikkate alınan aralık tip-2 bulanık kümenin düşük üyelik fonksiyonunun maksimum üyelik dereceleridir. u_U , üst üyelik fonksiyonunun mümkün olan en büyük değeridir. l_U , üst üyelik fonksiyonunun mümkün olan en düşük değeridir. m_{1U} ve m_{2U} , üst üyelik fonksiyonunun ikinci ve üçüncü parametreleridir. u_L , düşük üyelik fonksiyonunun mümkün olan en büyük değeridir. l_L , alt üyelik işlevinin mümkün olan en düşük değeridir ve m_{1L} ve m_{2L} , alt üyelik işlevinin ikinci ve üçüncü parametreleridir (Kahraman ve ark., 2014).

3.2.3.2. Pisagor Bulanık AHP

AHP ilk olarak Thomas Saaty tarafından 1970'li yıllarda geliştirilmiş ve 1977 yılında karar verme problemlerinde kullanılır bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Karar vericilerin belirlediği amaç doğrultusunda alternatifler, kriterler ve/veya alt kriterlerden oluşan hiyerarşik bir yapıdır. AHP, bir karar verme probleminde alternatifler belirli iken koşulların matematiksel olarak ifade edilemediği koşullarda kullanılmaktadır. Karar vericiler tarafından belirlenen kriterlere göre alternatiflerin ikili karşılaştırmasına dayanan AHP yönteminde objektif ve sübjektif kriterlerin karşılaştırılmasının yapılabilmesi bu yöntemin önemli özellikleri arasındadır (Saaty, 1977).

ÇAKV yöntemlerinden biri olan AHP insanların günlük hayatında verdikleri kararlarda ortaya belirsizlik çıkması durumunda karar vermek için tam olarak uygun olmamakta ve uzman bilgilerini hesaba katmasına rağmen düşünce tarzını tam olarak ifade edememektedir. Bu sebeple AHP ile bulanık mantık kullanımını birleştiren bir durum meydana gelmiştir (Şengül, 2015). Geleneksel AHP yönteminde net değerler kullanılırken, Bulanık AHP yönteminde karşılaştırma oranları bir dizi değer kullanılmaktadır (Liu ve Jin, 2012). Bulanık AHP sonucunda toplam ağırlık vektöründe bazı kriterlerin ağırlıkları sıfır çıkmaktadır. Tutarlılık indeksi hesaplarken, durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi ile ağırlık vektörü çarpılıp, bulunan vektörün ağırlık vektörünün de her bir elemanına tek tek bölünmesi gerekmektedir. Ağırlık vektörünün elemanlarından birisi sıfır olduğu durumlarda, sayının sıfıra bölünmesi durumu ortaya çıkmaktadır ki, lakin bu durum matematikte tanımsızlık olarak açıklanmaktadır (Mutlu 2019; Göksu, 2008).

Yager (2013) tarafından ortaya atılan pisagor bulanık kümeleri, daha fazla esneklik sağladığı için ve belirsizliği ortadan kaldırmak için AHP yöntemine dâhil edilmiştir. Pisagor Bulanık AHP yönteminin hiyerarşisi Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3.4. Pisagor Bulanık AHP hiyerarşisi

Şekil 3.4'te genel hatarıyla sunulan Pisagor Bulanık AHP adımları aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır (İlbarar ve ark., 2018):

Adım 1: Uzlaşılan ikili karşılaştırma matrisi $A = (a_{ik})_{m \times m}$ İlbarar ve ark. (2018) tarafından önerilen ölçek kullanılarak uzmanların dilsel değerlendirmesine dayanılarak yapılandırılmış ve Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Pisagor Bulanık AHP ağırlıklandırma ölçeği (İlbahar ve ark. 2018)

Dilsel Değişken	Pisagor Bulanık Sayılar			
	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	0.00	0.00	0.90	1.00
Düşük önemli (DÖ)	0.20	0.35	0.65	0.80
Ortalamanın altında önemli (OAÖ)	0.35	0.45	0.55	0.65
Ortalama önemli (OÖ)	0.45	0.55	0.45	0.55
Ortalamanın üstünde önemli (OÜÖ)	0.55	0.65	0.35	0.45
Yüksek önemli (YÖ)	0.65	0.80	0.20	0.35
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	0.80	0.90	0.10	0.20
Kesinlikle yüksek önemli (KYÖ)	0.90	1.00	0.00	0.00
Tam eşit (TE)	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965

Adım 2: Üyeliğin alt ve üst değerleri ile üye olmayan işlevler arasındaki $D = (d_{ik})_{m \times m}$ fark matrisleri Denklem (3.16) ve (3.17)'deki gibi ifade edilmiştir.

$$d_{ikL} = \mu_{ikL}^2 - v_{ikU}^2 \quad (3.16)$$

$$d_{ikU} = \mu_{ikU}^2 - v_{ikL}^2 \quad (3.17)$$

Adım 3: Aralıklı çarpım matrisi Denklem (3.18) ve (3.19)'daki gibi $S = (s_{ik})_{m \times m}$ kullanılarak hesaplanır.

$$s_{ikL} = \sqrt{1000 d_L} \quad (3.18)$$

$$s_{ikU} = \sqrt{1000 d_U} \quad (3.19)$$

Adım 4: Kararlılık değeri (tereddüt dereceleri) $\tau = (\tau_{ik})_{m \times m}$ Denklem (3.20)'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\tau_{ik} = 1 - (\mu_{ikU}^2 - \mu_{ikL}^2) - (v_{ikU}^2 - v_{ikL}^2) \quad (3.20)$$

Adım 5: Eşitlik on iki kullanılarak normalizasyondan önce ağırlık matrisini elde etmek için ($T = (t_{ik})_{m \times m}$), kararlılık değerleri aralıklı çarpım matrisi ($S = (s_{ik})_{m \times m}$) ile çarpılır. Denklem (3.21)'de verilmiştir.

$$t_{ik} = \left(\frac{s_{ikL} + s_{ikU}}{2} \right) \tau_{ik} \quad (3.21)$$

Adım 6: Normalize edilmiş kriter ağırlıkları w_i , Denklem (3.22) kullanılarak hesaplanır.

$$W_i = \frac{\sum_{k=1}^m t_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m t_{ik}} \quad (3.22)$$

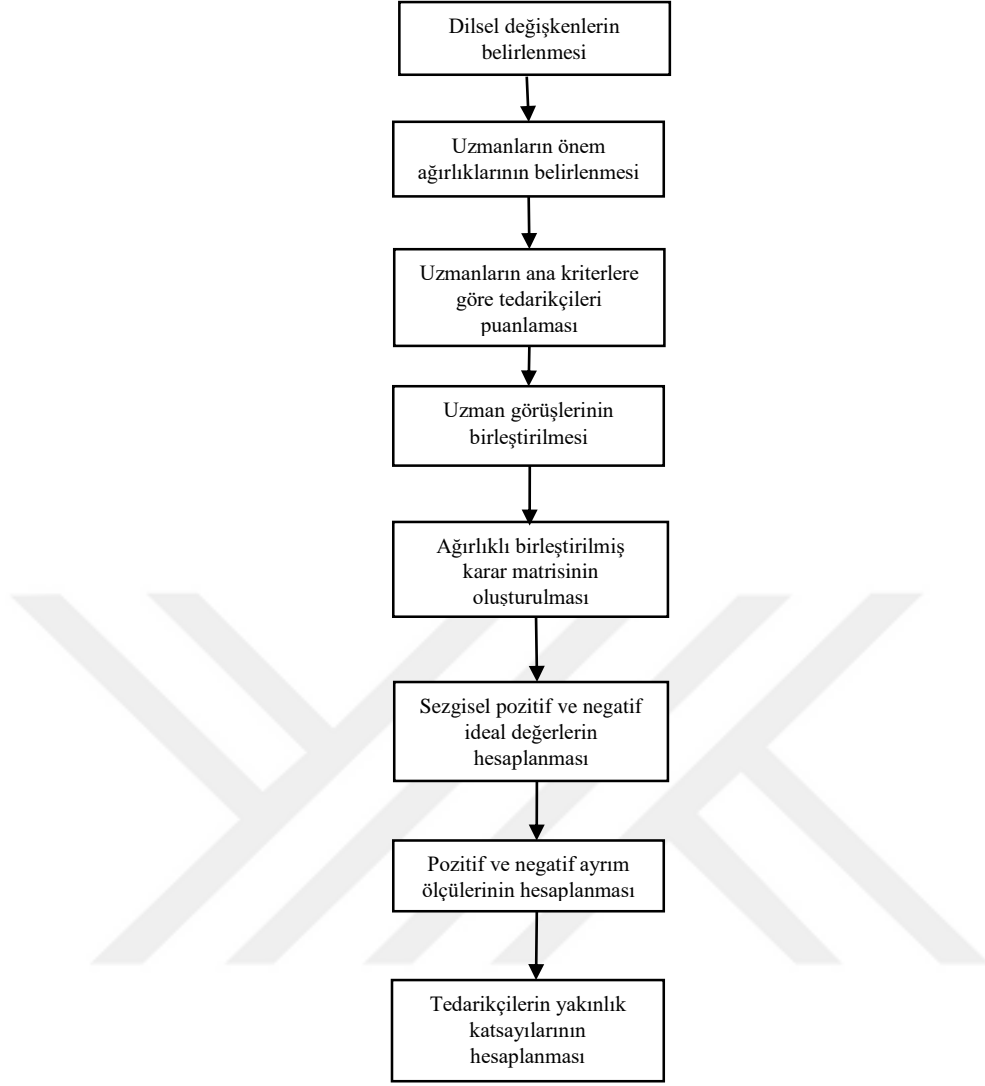
3.2.4. Tedarikçi risk ağırlıklarının belirlenmesi

Belirlenen tedarikçilerin risk ağırlıklarının hesaplanması ve tedarikçilerin sıralanması için literatürde en sık kullanılan ÇKKV yöntemlerinden Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi ve yeni bir yaklaşım olan Paksoy ve ark. (2019) kullanılmış ve karşılaştırma yapılması sağlanmıştır.

3.2.4.1. Sezgisel Bulanık TOPSIS

ÇKKV yöntemlerinden birisi olan TOPSIS Hwang ve Yoon tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir. TOPSIS yönteminde ideal çözüm için gerekli olan yakınlık bulunurken hem pozitif ideal çözüme uzaklık hem de negatif ideal çözüme uzaklık birlikte değerlendirilmektedir. Sonuçta yapılacak tercih sıralaması, uzaklıkların karşılaştırılması sonucu elde edilmektedir. Yani en iyi (pozitif ideal) ve en kötü (negatif ideal) noktaların mesafelerini ortaya koyarak alternatifleri sıralayan bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır (Ignatius ve ark., 2012).

Bulanık sayılar gerçek hayattaki belirsizlik ve insan kararsızlıklarıyla başa çıkmak için kullanılır. Sezgisel bulanık kümeler karar vericilerin onayını, reddini ve tereddütünü daha iyi yansıtmaktadır (Wu ve ark. 2016). $S: (S_1, S_2, S_3, \dots, S_m)$ alternatifler kümesini, $C: (C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$ kriterler kümesini ifade etmektedir. Karar vericiler özdeş olmayıp 1 tane karar vericiden oluşmaktadır ve bu karar vericilerin önem dereceleri edindikleri bilgi ve tecrübelerle dayalı olarak birbirinden farklılık göstermektedir. $\lambda: (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)$ karar vericilerin ağırlık vektörü olup, $\lambda_k \geq 0, l = 1, 2, \dots, l$, ve $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ 'dir. $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ k. karar vericinin matrisi olup, $r_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, v_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$ k. karar verici tarafından verilen i. alternatifin j. kriterden aldığı sezgisel bulanık değerdir. $\mu_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre i. alternatifin j. kriterini sağlamama derecesini, $v_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre i. alternatifinin j. kriterini sağlamama derecesini ve $\pi_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre belirsizlik derecesini göstermektedir. Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminin hiyerarşisi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Sezgisel Bulanık TOPSIS hiyerarşisi

Şekil 3.5’de genel hatarıyla sunulan Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntem adımları aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır (Rouyendegh, 2015):

Adım 1: Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılan dilsel değişkenler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir ve Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Karar vericilerin değerlendirmesinde kullanılan dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	Sezgisel Bulanık Sayılar
Oldukça Önemli	0.90 0.05 0.05
Önemli	0.75 0.20 0.05
Orta önemli	0.50 0.45 0.05
Önemsiz	0.30 0.65 0.05
Oldukça önemsiz	0.5 0.90 0.05

$D = (\mu_k, v_k, \pi_k)$ k. karar vericinin önem derecesini gösteren bir sezgisel bulanık sayı olsun. k. karar vericinin ağırlığı Denklem (3.23)'deki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^n \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)} \lambda_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, l \quad \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1 \quad (3.23)$$

Adım 2. Sezgisel bulanık karar matrisinin oluşturulması

Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş sezgisel bulanık karar matrisini oluşturulur. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	Sezgisel Bulanık Sayılar
Çok Yüksek (ÇY)	0.95 0.05 0
Yüksek (Y)	0.85 0.10 0.05
Orta Yüksek (OY)	0.65 0.25 0.10
Orta (O)	0.50 0.45 0.10
Orta Düşük (OD)	0.40 0.55 0.05
Düşük (D)	0.25 0.75 0.10
Çok Düşük (ÇD)	0.10 0.90 0

Karar verici kararlarını bir araya getirmek için Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama Alma (IFWA) operatörü önerilmiştir (Xu, 2007). Denklem (3.24)'de gösterilmiştir.

$$r_{ij} = \text{IFWA}_\lambda \left(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)} \right) = r_{ij}^{(1)} \lambda_1 + r_{ij}^{(2)} \lambda_2 + \dots + r_{ij}^{(l)} \lambda_l$$

$$\lambda_l = \left(1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_1}, \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_1}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_1} - \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_1} \right) \quad (3.24)$$

$r_{ij} = (\mu_{ij}, v_{ij}, \pi_{ij})$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), R birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır. Denklem (3.25)'de gösterilmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, v_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, v_{12}, \pi_{12}) & \dots & (\mu_{1n}, v_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, v_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, v_{22}, \pi_{22}) & \dots & (\mu_{2n}, v_{2n}, \pi_{2n}) \\ (\mu_{m1}, v_{m1}, \pi_{m1}) & (\mu_{m2}, v_{m2}, \pi_{m2}) & \dots & (\mu_{mn}, v_{mn}, \pi_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{2n} \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Adım 3: Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar probleminde her bir kriterin önem derecesi karar vericiye göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir. $w_j^{(k)} = (\mu_j^{(k)}, v_j^{(k)}, \pi_j^{(k)})$ k . karar vericinin j . kriter için verdiği sezgisel bulanık sayıdır. Kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak Denklem (3.26)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$w_j = IFWA_\lambda(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} + \lambda_2 w_j^{(2)} + \lambda_3 w_j^{(3)} + \dots + \lambda_l w_j^{(l)} \quad (3.26)$$

$W = (w_1, w_2, \dots, w_j)$ kriterlerin ağırlıkları olup $w_j = (\mu_j, v_j, \pi_j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$)'dir.

Adım 4: Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi Denklem (3.27)'deki gibi elde edilir.

$$R' = R \times W = (\mu'_{ij}, v'_{ij}) = \left((x, \mu_{ij} \cdot \mu_j, v_{ij} + v_j - v_{ij}v_j) \mid x \in X \right) \\ \pi'_{ij} = 1 - v_{ij} - v_j - \mu_{ij} \cdot \mu_j + v_{ij}v_j \quad (3.27)$$

Adım 5: Sezgisel pozitif ve negatif bulanık ideal çözümün belirlenmesi

J_1 , fayda kriteri; J_2 , maliyet kriteri olduğunu varsayalım. A^+ pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve A^- negatif sezgisel bulanık ideal çözüm olup, Denklem (3.28) ve (3.29) 'daki gibi elde edilir.

$$A^* = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*), r_j^* = (\mu_j^*, v_j^*, \pi_j^*), j = 1, 2, \dots, n \quad (3.28)$$

$$\mu_j^* = ((\max_i(\mu'_{ij})|j \in J_1), (\min_i(\mu'_{ij})|j \in J_2))$$

$$v_j^* = ((\min_i(v'_{ij})|j \in J_1), (\max_i(v'_{ij})|j \in J_2))$$

$$\pi_j^* = \left(\begin{array}{l} (1 - \max_i(\mu'_{ij}) - \min_i(v'_{ij})|j \in J_1) \\ (1 - \min_i(\mu'_{ij}) - \max_i(v'_{ij})|j \in J_2) \end{array} \right)$$

$$A^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-), r_j^- = (\mu_j^-, v_j^-, \pi_j^-), j = 1, 2, \dots, n \quad (3.29)$$

$$\mu_j^- = ((\min_i(\mu'_{ij})|j \in J_1), (\max_i(\mu'_{ij})|j \in J_2))$$

$$v_j^- = ((\max_i(v'_{ij})|j \in J_1), (\min_i(v'_{ij})|j \in J_2))$$

$$\pi_j^- = \left(\begin{array}{l} (1 - \min_i(\mu'_{ij}) - \max_i(v'_{ij})|j \in J_2) \\ (1 - \max_i(\mu'_{ij}) - \min_i(v'_{ij})|j \in J_1) \end{array} \right)$$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçülerinin hesaplanması

Alternatifler ile pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayırımın ölçülmesi için, farklı mesafe ölçümleri kullanılabilir. Örneğin; Öklid mesafesi, Hamming mesafesinin genellemeleri, vb. Bu çalışmada normalleştirilmiş Öklid mesafesi kullanılmıştır. Mesafe ölçüsü seçimine karar verildikten sonra, sezgisel bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerden her bir alternatifle ilişkili ayırım ölçüleri, S_{i+} ve S_{i-} belirlenir. Sırasıyla Denklem (3.30) ve (3.31)'de verilmiştir.

$$S^+ = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n ((\mu_{A_j w}(x_j) - \mu_{A^* w})^2 + (v_{A_j w}(x_j) - v_{A^* w})^2 + (\pi_{A_j w}(x_j) - \pi_{A^* w})^2)} \quad (3.30)$$

$$S^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n ((\mu_{A_j w}(x_j) - \mu_{A^- w})^2 + (v_{A_j w}(x_j) - v_{A^- w})^2 + (\pi_{A_j w}(x_j) - \pi_{A^- w})^2)} \quad (3.31)$$

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre alternatiflerin yakınlık katsayıları hesaplanmış ve Denklem (3.32)'de verilmiştir.

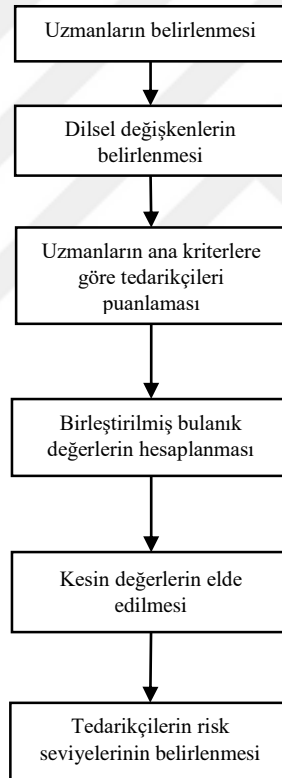
$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (3.32)$$

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması

Her alternatifin göreceli yakınlık katsayısı belirlendikten sonra, alternatifler C_i^* azalan sıraya göre sıralanır

3.2.4.2. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı

Bu çalışmada kullanılan Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı hiyerarşisi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Paksoy ve ark., (2019) yaklaşımı hiyerarşisi

Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımında ilk olarak tedarikçilerin her bir kritere göre ikili karşılaştırması yapılır. Karar vericilerin risk kriterlerine göre tedarikçileri değerlendirirken kullandıkları dilsel değişkenler ile bunların yamuk aralık tip-2 bulanık sayılar olarak karşılıkları Çizelge 3.11'de sunulmuştur.

Çizelge 3.11. Dilsel değişkenler ve aralık tip-2 yamuk sayılar olarak karşılıkları (Chen ve Lee, 2010)

Dilsel değişken	Yamuk aralık tip-2 bulanık sayı karşılığı
Çok düşük (ÇD)	(0,0,0,1;1,1), (0,0,0,0.5; 0,9 0,9)
Düşük (D)	(0,0.1,0.1,0.3;1,1), (0,0,0,0.5; 0,9 0,9)
Orta Düşük (OD)	(0.1,0.3,0.3,0.5;1,1), (0.2,0.3,0.3,0.4; 0,9 0,9)
Orta (O)	(0.3,0.5,0.5,0.7;1,1), (0.4,0.5,0.5,0.6; 0,9 0,9)
Orta Yüksek (OY)	(0.5,0.7,0.7,0.9;1,1), (0.6,0.7,0.7,0.8; 0,9 0,9)
Yüksek (Y)	(0.7,0.9,0.9,1.0;1,1), (0.8,0.9,0.9,0.95; 0,9 0,9)
Çok yüksek (ÇY)	(0.9,1.0,1.0,1.0;1,1), (0.95,1.0,1.0,1.0; 0,9 0,9)

Yamuk aralık tip-2 bulanık sayıların durulaştırılmasıyla elde edilen kesin değerler ve Pisagor Bulanık AHP ile elde edilen normalize edilmiş kriter ağırlıkları kullanılarak (3.33)'deki gibi hesaplanmaktadır (Paksoy ve ark., 2019).

$$RS_i = \sum_{j=1}^J P_{ij} \cdot W_j \quad (3.33)$$

P_{ij} : i. tedarikçinin j kriterlerine göre değerlendirme puanı

W_j : j kriterinin ağırlığı

RS_i : i. tedarikçinin risk ağırlığını ifade etmektedir.

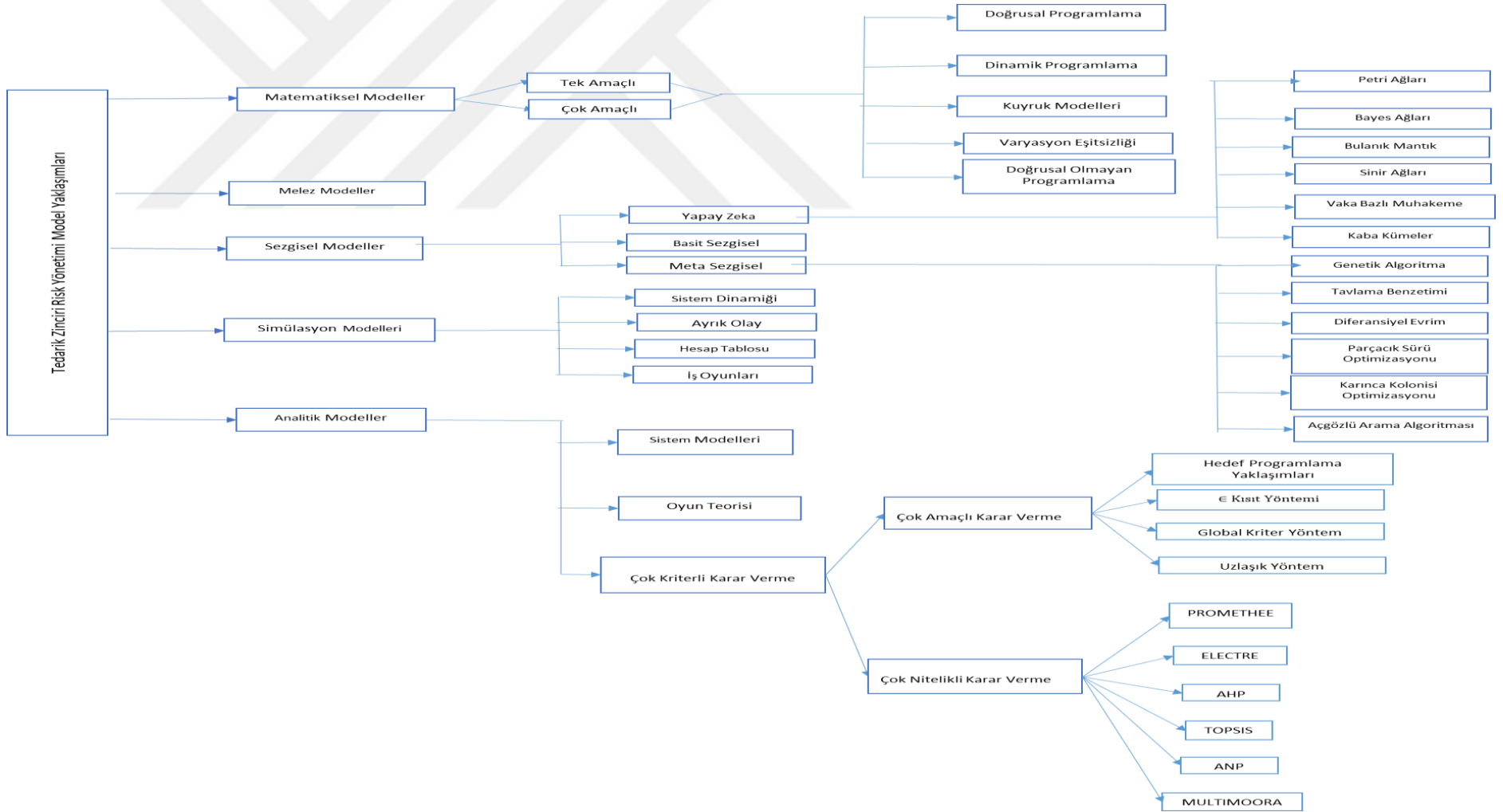
3.2.5. Tedarik zincirinin çok amaçlı optimizasyonu

Tedarik zincirinde risk optimizasyonu, firmaların riskleri değerlendirmesine, önceliklendirmesine ve uygun azaltma planlarını geliştirmesine imkân vermesi nedeniyle daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyan önemli bir konudur. Tedarik zincirinde risklerin modellenmesi için kullanılan yöntemler nitel, nicel ile nitel ve nicel yöntemleri bir arada kullanan melez yöntemler olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. Nitel yöntemler, risk verilerinin eksikliği nedeniyle tedarik zinciri risk tanımlama ve risk değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Qazi ve ark., 2015). Nitel yöntemlerin kullanımı kolaydır ve daha hızlı bir şekilde çözüme ulaşılmasına izin verir. En sık kullanılan nitel yöntemler; anketler, neden ve sonuç analizi, FMEA, SWOT analizi olarak sıralanabilir. Ancak TZRY alanının gelişimindeki ilk yılların aksine, son on yılda TZRY üzerine nicel çalışmaların yüzdesi önemli ölçüde artmıştır (Ho ve ark., 2015).

Tedarik zinciri risklerinin belirsizliği ve risk verilerinin eksikliği nedeniyle, nicel yöntemler risk değerlendirme ve uygun azaltma stratejilerinin geliştirilmesi için daha fazla etkilidir. Buna ek olarak nitel ve nicel yöntemi de içeren melez yöntemler literatürde

daha az dikkat çekmesine rağmen, bazı teknik sınırlamaların üstesinden gelmek veya orijinal yöntemlerin performansını arttırmak için entegre edilebilir. Örneğin, bulanık küme teorisi, çok amaçlı matematiksel programlamanın deterministik yapısının ve kesin değer karakteristiğinin sınırlandırılmasının üstesinden gelmek için kullanılabilir (Kumar ve ark., 2006; Ji ve Zhu 2012). TZRY’de sıklıkla kullanılan nicel yöntemler Şekil 3.7’de verilmiştir.





Şekil 3.7. TZRY nicel yöntemler

ÇKKV, birden fazla ve aynı anda uygulanan kriterlerin içerisinde en iyi tercihin seçilmesine olanak sağlayan bir araçtır. Rasyonel bir karar verme çevresinden iyi tercih edilmiş seçim, genellikle kısıtlar ve yönetimin amacı doğrultusunda sınırlandırılır. Burada adı geçen kısıt, amaçların başarı ile yerine getirilmesi ve seçilmesidir (Mendoza ve Prabhu, 2000). ÇKKV problemleri, ÇAKV ve ÇNKV olarak iki sınıfa ayrılır (Hwang ve Yoon, 1980). ÇNKV problemleri, bir takım etkileşimli tasarım kısıtlaması içerisindeki ödünleşmeleri dikkate alarak bir "en iyi" alternatifin tasarımını kapsayan ÇAKV problemlerinden ayrılır. ÇNKV, çoğunlukla birbiriyle çelişen birden fazla ölçütün varlığında bir takım eylem planları (alternatifler) arasından en iyi olanının seçimini yapmaktadır. ÇNKV sonsuzdur ve bir takım tasarım kriteri arasındaki ödünleşmeler sürekli fonksiyonlarla tanımlanır ve bir dizi karar kriterinin varlığında karar problemleriyle ilgilenen genel bir yöneylem araştırma modelleri sınıfının daldır. Niteliklerine göre tanımlanan karar seçenekleri arasından seçim yapılmasını gerektirir. Problemlerinin daha önceden belirlenmiş, sınırlı sayıda karar seçeneği olduğu varsayılır. Bir ÇNKV problemini çözmek, sıralama ve derecelendirmeyi kapsar. ÇNKV yöntemleri, bir sorunun karar matrisindeki bilgileri ve seçenekleri arasından nihai bir sıralamayı, taramayı veya seçimi belirtmek için karar vericiden gelen ekstra bilgilerle birleştirmek için alternatif yöntemler olarak açıklanabilir (Kahraman, 2008).

ÇAKV problemlerinin temel özellikleri, karar vericilerin birden fazla hedefe ulaşma ihtiyacı duyması ve bu çoklu hedeflerin orantılı olmaması ve birbiriyle çatışmasıdır. Karar vericiler, amaç işlevlerini en üst düzeye çıkarmaya (veya en aza indirmeye) çalışır (Lu ve ark., 2007). ÇAKV yönteminde, ÇNKV yönteminin tam tersine, karar alternatifleri verilmemiştir. Bunun yerine ÇAKV yöntemleri matematiksel kısıtlar tarafından tanımlanan sınırsız sayıdaki alternatifleri içeren amaç problemleri için kullanılır. Karar vericiyi en iyi karşılayan tasarım kısıtlarını göz önünde bulundurarak karar verici tarafından oluşturulan amaçların kabul edilebilir seviyelerinin belirlenmesi sürecidir (Umarusman, 2018).

ÇNKV ve ÇAKV yöntemleri arasındaki en önemli fark, ÇAKV'nin en iyi çözümün gerçekleştirilmesini hedefleyen sürekli karar alanına odaklanmasıdır. Karar süreçleri, birden fazla çelişen hedef verildiğinde optimum çözümü aramayı içerir. Bu nedenle bir ÇAKV problemi, matematiksel programlama ile optimum çözümler için tasarım problemiyle ilişkilendirilir. ÇNKV ise, ayrı karar alanlarında kararlar almayı temsil eder ve önceden belirlenmiş farklı alternatiflerin nasıl belirleneceğine odaklanır.

Buna göre, bir ÇNKV yöntemleri mevcut alternatiflerin belirlenmesi veya sıralaması problemiyle ilişkilendirilir (Zimmermann, 1985).

ÇKKV yöntemleri kullanılan veri türüne (deterministik, stokastik, bulanık veya bu verilerin kombinasyonları) ve karar verici sayısına (tek karar verici ve grup karar vericiler) göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir (Triantaphyllou, 2000). Deterministik modelleme çalışmaları, rassal ya da belirsiz değişkenlere yer verilmeksizin, kesin olarak bilinen girdiler ve kesin ilişkilerle kesin sonuçların elde edildiği modelleme çalışmalarıdır. Kısacası olasılık ve belirsizliklerin yer verilmediği çalışmalardır. Stokastik programlama matematiksel bir programlama probleminin bazı veya tüm parametrelerinin deterministik büyüklükler yerine stokastik değişkenler tarafından tanımlandığı durumlarla ilgilendirilir (Hulsurkar ve ark., 1997).

Ele alınan karar problemlerinde bazı kriterlerin net değerlerle ölçülmesi zor olduğundan, değerlendirme sırasında genellikle ihmal edilirler. Bulanık küme teorisinin kullanımı, ölçülemez bilgileri, eksik bilgileri, elde edilemeyen bilgileri ve kısmen göz ardı edilen gerçekleri karar modeline dahil etmemize izin verir. Karar verme alanındaki bulanık kümelerin uygulamaları, çoğunlukla, klasik karar verme teorilerinin uzantılarından veya "bulanıklaştırmalarından" oluşmuştur. Birden fazla değerlendirme boyutunun varlığı ile karakterize edilen karmaşık bağlamlarda alınacak kararlar normalde belirsizlikten etkilenir. Bu, esas olarak girdi verilerinin yetersiz ve / veya kesin olmayan doğasından ve ayrıca karar vericinin öznel ve değerlendirmeye tercihlerinden kaynaklanmaktadır. Bulanık kümeler, birçok optimizasyon tekniğine dahil edilecek güçlü özelliklere sahiptir. ÇKKV bunlardan biridir (Kahraman, 2008).

Bellman ve Zadeh (1970) ve Zimmermann (1978) Bulanık ÇKKV alanına girerek standart ÇKKV yöntemleriyle erişilemeyen ve çözülemeyen sorunların üstesinden gelmek için yeni bir yöntem oluşturdular. Bellman ve Zadeh (1970) bulanık bir ortamda karar verme ile alakalı ilk yaklaşımı ortaya koymuşlardır ve belirsiz hedeflerin ve belirsiz kısıtlamaların, alternatifler alanındaki bulanık kümeler olarak simetrik olarak ifade edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Bu durumda karar, karşılanacak kısıtlamalar ve karşılanacak hedefler arasındaki kesişim olarak ifade edilmiştir ve daha sonrasında maksimize edici bir karar, belirsiz bir kararın üyelik işlevinin maksimum değerine ulaştığı alternatifler alanında bir nokta olarak tanımlanmıştır (Kahraman, 2008).

3.2.5.1. Çok amaçlı doğrusal programlama

Karar vermek için en önemli sistematik ve analitik çok amaçlı yaklaşımlarından biri, geleneksel tek amaçlı doğrusal programlamanın bir genellemesi olan çok amaçlı doğrusal programlamadır (Biswas ve Modak, 2013). ÇAKV sınıflandırması içerisinde yer alan ÇADP problemlerinin klasik (tek amaçlı) optimizasyon problemlerinden en belirgin farkı matematiksel olarak sadece amaç fonksiyonu sayısından kaynaklanmaktadır (Umarusman, 2018). ÇADP, karmaşık ve kötü yapılandırılmış karar problemleriyle başa çıkmak için kullanılan popüler yöntemlerden biridir (Kahraman, 2008).

Uygulama yapılan otomotiv yan sanayi firmasının tedarikçisi olduğu otomotiv firmasının siparişini gerçekleştirebilmek için gerekli parçaları hangi tedarikçilerden satın alacağına, seçilen tedarikçiler arasında nasıl tahsis edeceğine karar vermesi gerekir. Bu amaç doğrultusunda çalışmanın bu bölümünde seçilen tedarikçiler için sipariş tahsisinin gerçekleştirilmesi için ÇATDP modeli geliştirilmiştir. Önerilen model üç amaçtan oluşmaktadır. Tedarikçilerin risk değerlendirilmesinden sonra elde edilen ağırlıklar, tedarik zincirini optimize etmek için tasarlanmış üç amaçlı bir modelin girdisi olarak kabul edilmiştir. Diğer amaçlar ise, tedarik zinciri maliyetlerini minimize etmek ve tedarikçilerin teslimat performansını maksimize etmektir. Buna ek olarak tedarikçiler, kendilerinden satın alınan ürün miktarı veya çeşidi üzerinden değil, toplam iş hacmi üzerinden fiyat indirimleri sunmuşlardır. Önerilen ÇATDP modelinin indisleri, karar değişkenleri ve parametreleri aşağıda verilmiştir.

Matematiksel Model Notasyonu:

İndisler

i : parçaların kümesi ($i_i = 1,2,3 \dots, m$)

j : tedarikçilerin kümesi ($j_j = 1,2,3 \dots, n$)

k : miktar indirimlerine göre fiyatlandırma seviyesi ($k = 1,2.., K$)

Karar değişkenleri

Q_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden sağlanan i parçasının miktarı

Y_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden i parçasının tedarik edilip edilmediğine göre değişen ikili değişken

Y_{ijk} : 1 (eğer i parçası j tedarikçisinden sağlanırsa)

Y_{ijk} : 0 (aksi taktirde)

Parametreler

C_j : j tedarikçisinin üretim kapasitesi

D_i : i parçasının talebi

S_j : j tedarikçisinin teslimat performans yüzdesi

G^* : j tedarikçisi için istenen güvenlik seviye yüzdesi

G_j : j tedarikçisinin güvenlik seviye yüzdesi

R_j : j tedarikçisinin tedarik risk yüzdesi

P_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden alınan i parçasının satın alma maliyeti

T_{ijk} : k fiyat seviyesinde j tedarikçisinden alınan i parçasının taşıma maliyeti

H^* : kabul edilen hatalı parça sayısı (ppm)

H_j : j tedarikçisinden alınan hatalı parça sayısı

E^* : müşterinin belirlediği teslimat zamanı

E_j : j. tedarikçinin ortalama ürün teslimat zamanı

m_{ij} : j tedarikçisinden alınan i parçasının minimum sipariş miktarı

U_{ijk} : i ürünü için j tedarikçisinin k miktar indirim aralığının üst sınırı

L_{ijk} : i ürünü için j tedarikçisinin k miktar indirim aralığının alt sınırı

N : büyük bir sayı

M : firmanın aynı ürün için en az çalışacağı tedarikçi sayısı

Önerilen ÇATDP modeline ait amaç fonksiyonları ve kısıtları açıklamalı olarak aşağıda verilmiştir.

Amaç Fonksiyonları:

Toplam maliyetin minimizasyonu (W_1): Bu çalışmada tüm birimleri indirimli bir model önerilmiştir. Satın almanın toplam parasal maliyeti yalnızca, genellikle farklı indirim programları altında sunulan ürünün birim fiyatına bağlıdır. Tedarikçiler tarafından tüm birim indirimi ve toplam iş hacmi indirim planlarının sunulabileceğini varsayılmaktadır. Tüm birim indirimli modelinde, j tedarikçisinden satın alınan ürün miktarına bağlı olan indirim planı açıklanır. Bu indirim planı, olası sipariş miktarları aralığını kademeli olarak daha düşük birim maliyetlere sahip aralıklara böler ve bu birim maliyet siparişteki her birime uygulanır (Ebrahim ve ark., 2009).

J tedarikçisi tarafından sunulan indirim aralıklarının endeksi $k = 1, 2, \dots, K$ olsun. Bir j tedarikçisi için i ürününün her bir indirim aralığı k ile ilgili olarak P_{ijk} , birim satın alma

maliyeti; T_{ijk} , taşıma maliyeti olarak tanımlanmıştır. Tüm birim indirim politikası altındaki maliyet fonksiyonu Denklem (3.34)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$W_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} \quad (3.34)$$

Toplam risk minimizasyonu (W_2): Planlama ufku boyunca farklı tedarikçilerin risk ağırlık değerini minimize eder. R_j ; Pisagor Bulanık AHP ve Sezgisel Bulanık TOPSIS entegre yöntem uygulamasından elde edilen her bir tedarikçinin risk ağırlık yüzdesini temsil eder. Bu hedef fonksiyonunun amacı, risk oranı düşük olan tedarikçilere tahsis edilen sipariş miktarını arttırmaktır. Denklem (3.35)'de gösterilmiştir.

$$W_2 = \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} \quad (3.35)$$

Teslimat performansının maksimizasyonu (Z_1): Teslimat performansı, uygulama yapılan firmada dakiklik ve miktar performansı olarak ikiye ayrılmıştır. Dakiklik gününde teslimat; miktar performansı ise eksiksiz/tam miktar teslimat olarak tanımlanmıştır. Genel olarak teslimat performansı maksimizasyonunda tedarikçilerin değerlendirilmesinde bu iki göstergenin aritmetik ortalaması alınarak yüzde olarak değerleri hesaplanmıştır ve S_j ile gösterilmiştir. Bu hedef daha yüksek teslimat performansı sunan tedarikçilerin seçilmesini sağlamaktadır. Denklem (3.36)'da gösterilmiştir.

$$Z_1 = \sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} \quad (3.36)$$

Model kısıtları:

Kapasite kısıtı: Bir tedarikçiden sipariş edilen toplam ürün sayısının o tedarikçinin kapasitesini aşmaması gerektiğini belirtir. Denklem (3.37)'de verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^n Q_{ijk} \leq C_j, \forall j \quad (3.37)$$

Talep kısıtı: Her ürün için talep miktarının yerine getirilmesini zorunlu kılar. Aslında, bu kısıtlamaya göre, her bir ürün için toplam talebi sağlayan ürün tedarikçileri seçilir. Denklem (3.38)'de verilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n Q_{ijk} \geq D_i, \forall i \quad (3.38)$$

Güvenilirlik kısıtı: j tedarikçisinin bir T_j periyodunda başarısız olması için gereken süre, ortalama λ_j ile üstel bir dağılım gösterir. G_j belirlenen süre içinde j tedarikçisinin güvenilirliğini ifade etmektedir. Güvenilirlik Denklem (3.52) kullanılarak hesaplanır. Siparişi karşılayan tedarikçi güvenilirliği yüzdesi firmanın belirlediği güvenilirlik düzeyinden (G^*) yüksek olmalıdır. Amaç, siparişi verilen ürünlerin yüksek güvenilirlikteki tedarikçilerden alınmasını sağlamaktır. Denklem (3.39)'deki gibi elde edilir.

$$G_j = P(T_j > t) = e^{-\lambda_j t}, \forall j \quad (3.39)$$

$$\sum_{j=1}^n G_j Y_{ijk} \geq G^*, \forall i \quad (3.40)$$

Hatalı parça kısıtı: Sipariş edilen ürünlerin ortalama kusur yüzdesinin belirli bir sınırı aşamayacağını garanti eden niteliksel kısıtlamaları temsil eder. Denklem (3.41)'de gösterilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n H_j Y_{ijk} \leq H^*, \forall i \quad (3.41)$$

Teslim süresi kısıtı: Seçilen tedarikçilerin ortalama teslim süresinin istenen genel teslim süresinden daha az olmasını sağlar. Denklem (3.42)'de gösterilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n E_j Y_{ijk} \leq E^*, \forall i \quad (3.42)$$

Tedarikçi kısıtı: Her bir ürünün sağlanması için seçilen minimum tedarikçi sayısını belirler. Bu kısıtlama, firmanın ikame bir tedarikçi ile çalışma zorunluluğunun sonucudur. Denklem (3.43)'de gösterilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n Y_{ijk} \geq M, \forall i \quad (3.43)$$

Minimum sipariş miktarı kısıtı: Bir ürünü sağlamak için bir tedarikçi seçilirse, o ürünün en azından önceden belirlenmiş bir miktarının o tedarikçi tarafından sağlanması gerektiğini belirtir. Denklem (3.44)'de gösterilmiştir.

$$Q_{ijk} \geq m_{ij} Y_{ijk}, \forall i, j, k \quad (3.44)$$

Karar değişkenleri kısıtı: N'nin nispeten büyük bir sayı olduğu durumlarda karar değişkenlerinin çatışmasını önler. Sipariş miktarı değişkeni ve ikili değişken arasındaki ilişkiyi temsil eder. Bu, bir tedarikçi seçiliyken sipariş verilebileceği anlamına gelir. Denklem (3.45)'de gösterilmiştir.

$$Q_{ijk} \leq N Y_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (3.45)$$

Miktar indirim kısıtları: Tedarikçiler her bir ürün için tüm birim miktar indirim planlarını açıklar. Her ürünün satın alma fiyatı o andaki sipariş miktarına bağlıdır. Denklem (3.46) tedarikçiden belirli bir fiyat aralığında satın alınan miktarın teklif edilen indirim aralığının üst sınırından düşük olmasını, Denklem (3.47) ise teklif edilen indirim aralığının alt sınırından yüksek olmasını sağlar.

$$Q_{ijk} \leq U_{ijk} Y_{ijk}, \forall i, j, k \quad (3.46)$$

$$Q_{ijk} \geq L_{ijk} Y_{ijk}, \forall i, j, k \quad (3.47)$$

İndirim aralığı kısıtı: i ürününün j tedarikçisinden satın alınması durumunda nihai olarak sipariş verilecek miktar için yalnızca bir indirim seviyesinin kullanılmasını sağlar. Denklem (3.48)'de gösterilmiştir.

$$\sum_{k=1}^K Y_{ijk} \leq 1, \forall i, j \quad (3.48)$$

Değişken kısıtı: Modelin değişken türlerini belirtir. Yukarıdaki denklemlerde Q_{ijk} pozitif bir tamsayıdır ve Y_{ijk} ikili değişken olarak tanımlanır. Sayısal ifadesi Denklem (3.49) ve Denklem (3.50)'de verilmiştir.

$$Y_{ijk} \in 0 \text{ veya } 1, \forall i, j, k \quad (3.49)$$

$$Q_{ijk} \geq 0, \forall i, j, k \quad (3.50)$$

3.2.5.2. Bulanık çok amaçlı tamsayılı doğrusal programlama

ÇATDP problemi birçok parametreyi içermektedir. Bu parametrelerin olası değerlerinin uzmanlar tarafından genellikle kesin olarak bilindiği kabul edilir. Fakat; bir ÇATDP problemi formüle edilirken, gerçek dünyanın çeşitli faktörleri, amaç işlevlerinin ve kısıtlamaların tanımına yansıtılması gerektiğinden uzmanların, parametreleri bulanık sayılarla temsil edilebilen bulanık sayısal veriler olarak yorumlanması daha uygundur. Bu yüzden bulanık parametreleri içeren Bulanık ÇATDP problemleri, geleneksel olandan daha gerçekçi bir versiyon olarak görülmektedir (Sakawa, 1993). Bu öngörü ile yapılan çalışmada amaçlarda (hedeflerde) bulanık değerler içeren farklı karar verme durumlarıyla başa çıkmak için Bulanık ÇATDP modeli önerilmiştir. ÇATDP probleminin çözümünün Bulanık ÇATDP göre yapılabilmesi için üstün olmayan çözümler kullanılarak, amaç fonksiyonlarının bulanık amaç (hedef) fonksiyonlarına dönüşümü bulanık üyelik fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir.

Önerilen Bulanık ÇATDP modelini çözmek için üyelik fonksiyonları kullanılarak tek amaçlı doğrusal programlama modeli oluşturulabilir. Zimmermann (1978) minimum ve maksimum amaç fonksiyonları için üyelik fonksiyonlarını ($\mu_{z_j}(x)$) minimizasyon için (3.51) ve maksimizasyon için (3.52)'deki şekilde tanımlamıştır.

$$\mu_{z_j}(x) = \begin{cases} 1, & Z_j(x) \leq Z_j^L \\ \frac{Z_j^U - Z_j(x)}{Z_j^U - Z_j^L}, & Z_j^L \leq Z_j(x) \leq Z_j^U, \forall j \\ 0, & Z_j(x) \geq Z_j^U \end{cases} \quad (3.51)$$

$$\mu_{z_j}(x) = \begin{cases} 1, & Z_j(x) \leq Z_j^L \\ \frac{Z_j(x) - Z_j^L}{Z_j^U - Z_j^L}, & Z_j^L \leq Z_j(x) \leq Z_j^U, \forall_j \\ 0, & Z_j(x) \geq Z_j^U \end{cases} \quad (3.52)$$

(3.51) ve (3.52)'de Z_j^L ve Z_j^U değerleri ilgili amaç fonksiyonunun alt ve üst sınırlarını göstermektedir. Z_j^L , minimizasyon problemleri için en iyi değeri, Z_j^U maksimizasyon problemleri için en iyi değeri göstermektedir. Z_j^L , minimizasyon problemleri için en kötü değeri; Z_j^U , maksimizasyon problemleri için en kötü değeri göstermektedir. Bu sebeple her iki problem çeşiti için de amaç değeri $Z_j^L \leq Z_j(x) \leq Z_j^U$ aralığında olacaktır. Her bi amaca ait Z_j^L ve Z_j^U değerleri tüm amaçların üstün olmayan çözümler tablosunun (pay-off table) elde edilmesi ile hesaplanır. j , amaç fonksiyon sayısını; $Z_j(x)$, j .amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. λ ise, modelin tatminkârlık derecesini göstermektedir. (3.51) ve (3.52) 'de tanımlanan üyelik fonksiyonları ($\mu_{z_j}(x)$) kullanarak Zimmermann (1978)'in Bulanık Doğrusal Programlama yaklaşımı Model (3.53)'deki gibi oluşturulur.

Max λ

Kısıtlar

(3.53)

$$\lambda \leq \frac{Z_j^U - Z_j(x)}{Z_j^U - Z_j^L}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_j(x) - Z_j^L}{Z_j^U - Z_j^L}$$

$x \in X, \lambda \in [0,1] ; j = 1,2, \dots, n$

Zimmermann (1978) yaklaşımında 'max-min' işlemcisi kullanılır. Zimmermann (1978) tarafından ortaya atılan 'max-min' işlemcisi, problem çözümünün tek olmadığı durumlarda etkin bir çözümü garanti edememektedir. 'max-min' işlemcisinin eksik kaldığı bu durumda farklı işlemciler kullanılmaktadır. 'max-min' işlemcisi kullanılarak oluşturulan Bulanık Doğrusal Programlama probleminin 'kesin' modeli elde edilir. Eğer bu model optimal bir çözüme sahipse, belirlenen bu çözüm bulanık etkin uzlaşık çözümdür. Literatürde bulanık uzlaşık çözüm aramada kullanılan iki farklı yaklaşım

mevcuttur. Bu yaklaşımlar, iki aşamalı yaklaşımlar olarak isimlendirilir. Bu iki aşamalı yöntemlerden biri de Lee ve Li (1993) yaklaşımıdır.

Bu yaklaşımlarda çözüm iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşama ve ikinci aşamanın sonuçlarına göre elde edilen çözümün optimal olup olmadığına karar verilir. Lee ve Li (1993) tarafından önerilen yaklaşım ile yaklaşımda karşılaşılan sorunların üstesinden gelinmektedir. Zimmermann (1978) yaklaşımının geniş hâli olarak düşünülen bu yaklaşımın ilk aşamasında λ 'nın bir optimal değerini ve uygun çözüm bulunur. Birinci aşamada verilen modelin çözümünün tek bir çözüm olup olmadığı bilinemez. Bu yüzden ilk aşamadan elde edilen çözümlerinin optimalliği ikinci aşama yardımıyla test edilir. İkinci aşamada yeni model oluşturulur. Yeni model oluşturulurken orijinal kısıtlara ek olarak $\lambda \leq \lambda_i$ olacak şekilde kısıtlar eklenir ve amaç fonksiyonu λ_i olarak gösterilen bütün üyeliklerin aritmetik ortalaması alınarak maksimize edilmeye çalışılır. 'ortalama' işlemcisinin telafi edici olması sebebiyle ikinci aşama etkin çözüme ulaşılmasına olanak sağlar. Lee ve Li (1993) iki aşama yaklaşımının Faz I olarak tanımlanan birinci aşaması Zimmermann (1978) yaklaşımıdır, Faz II olarak tanımlanan ikinci aşama için modelin formülasyonu (3.54)'deki gibi oluşturulur.

$$\text{Max } \lambda_{\text{ort}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_j$$

$$\text{Kısıtlar} \tag{3.54}$$

$$\lambda \leq \lambda_i \leq \frac{Z_j^U - Z_j(x)}{Z_j^U - Z_j^L}$$

$$\lambda \leq \lambda_j \leq \frac{Z_j(x) - Z_j^L}{Z_j^U - Z_j^L}$$

$$x \in X; \lambda_j \in [0,1] ; j = 1,2, \dots, n$$

3.2.5.3. Hedef programlama

Çok amaçlı bir karar verme probleminde tüm hedeflerin eşzamanlı optimizasyonu genellikle imkansızdır. Bu nedenle karar vericilerin çoğu, tüm hedeflerin uzlaşma veya tatmin edici bir çözümünü elde etmek için optimizasyon kriterinden ziyade bir memnuniyet kriterini takip etmeyi tercih eder. Hedef Programlamanın, ÇAKV problemlerini çözmek için en güçlü yöntemlerden biri olduğu kanıtlanmıştır (Biswas ve Modak, 2013).

Hedef Programlama terimi ilk defa Charnes ve Cooper (1961) tarafından kullanılmıştır. Fakat bu yöntemin temelleri Charnes ve ark. (1955) çalışmasındaki ‘constrained regression’ düşüncesine dayanmaktadır. Bu düşünceye göre, mutlak sapmaların minimize edilmesiyle hedefe ulaşılabilmektedir (Schniederjans, 1995).

Doğrusal Programlamada amaç fonksiyonunun maksimizasyonu veya minimizasyonu yapılırken hedef programlamada farklı olarak var olan kısıtlara bağlı olarak belirlenen hedeflerden sapmalar minimize edilir. Sapma değişkenler hedef değerden negatif yönde ve pozitif yönde sapmalar olarak gösterilir. Hedef programlamada temel amaç, sapmayı ifade eden değişkenlerin toplamının minimize edilmesidir (Tütek ve Gümüšoğlu, 2008). Geliştirilen farklı yaklaşımlar sayesinde amaç fonksiyonundaki bu sapmalar karar vericiden sağlanan bilgilerden öncelik ve göreceli ağırlık faktörlerine bağlı olarak çözümde en kabul edilebilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Umarusman, 2018). Genel hedef programlama formülasyonu Model (3.55)’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_{i=1}^m (n_i + p_i) \\ \text{Kısıtlar} & \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + n_i - p_i = b_i \\ & n_i \cdot p_i = 0 \\ & x_j \geq 0, n_i, p_i \geq 0, i = 1 \dots m, j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.55)$$

Burada x_1, x_2, \dots, x_n negatif olmayan karar değişkenleri, n_i, p_i sırasıyla negatif ve pozitif sapma değişkenlerini ifade eder. Bu kısıtlarda $a_{ij}, i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere her bir x_j ye ait teknolojik katsayılar olup sağ taraf sabiti b_i den kullanılan miktarı göstermektedir.

Hedef programlamada belirlenen hedeflerin sapmalarının minimizasyonu üç farklı yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. İlk olarak Ijiri (1965) tarafından Ağırlıklı (Archimedean) Hedef Programlama yaklaşımını önermiştir. Charnes ve Cooper (1977) nesnelliğe başa çıkmak için Öncelikli (Lexicographic) Hedef Programlama yaklaşımını geliştirmiştir. Flavell (1976) ağırlıklı ve öncelikli yapılardan farklı olarak sapma değişkenlerinin toplamını minimize etmek yerine maksimum sapmayı minimize etmeyi

araştıran Minmax (Chebyshev) Hedef Programlama yaklaşımını formüle etmiştir. Bu çalışmada kullanılan Ağırlıklı Hedef Programlama ve Minmax Hedef Programlama yaklaşımları aşağıda verilmiştir.

a- Ağırlıklı hedef programlama

Ağırlıklı Hedef Programlamada bütün hedefler eş zamanlı göz önünde bulundurularak, hedeflerden ağırlıklı sapmaların toplamı minimize edilir. Matematiksel Model (3.56) aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z &= \sum_{i=1}^m w_i^+ p_i + w_i^- n_i \\
 \text{Kısıtlar} & \\
 \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + n_i - p_i &= g_i \\
 n_i \cdot p_i &= 0 \\
 \sum_{i=1}^m w_i^+ + \sum_{i=1}^m w_i^- &= 1 \\
 x_j, n_i, p_i, w_i^+, w_i^- &\geq 0 \\
 i &= 1 \dots m, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3.56}$$

w_i^-, w_i^+ negatif ve pozitif sapmalarla ilişkilendirilen ağırlık değerleridir. Karar vericinin ortaya koyduğu hedefin sayısal değeri g_i ile gösterilmektedir. n_i, p_i sırasıyla negatif ve pozitif sapma değişkenini simgelemektedir. n_i ile ifade edilen negatif sapma değişkeninin değerinin pozitif olması, ilgili hedefin belli bir seviye altında kaldığını, p_i ile ifade edilen pozitif sapma değişkeninin değerinin sıfırdan büyük olması durumu ise; ilgili hedef için belirlenen seviyenin aşıldığını gösterir. Negatif ve pozitif sapma değişkenlerinin sıfıra eşit olması ise ilgili hedef için belirlenen erişim düzeyine tam anlamıyla ulaşılması demektir.

Belirlenen hedefler karşılaştırılmayan yani farklı birimden olduğu zaman normalizasyon yapılmaktadır. Hwang ve Masud (1979) en iyi ve en kötü performansına bağlı olarak ölçekleme fonksiyonu ile amaç fonksiyonlarının aynı birim cinsinden ifade edebilmek için bir normalizasyon yaklaşımı önermiştir. Maksimizasyon yönlü amaçlar

için normalizasyon sabiti $t_k = Z^U - Z^L$ ve minimizasyon yönlü amaçlar $t_s = W^L - W^U$ olarak kullanılabilir. Amaç fonksiyonu aşağıdaki hale dönüşür. t_i , i 'inci hedefin normalizasyon sabitidir. Eşitlik (3.57)'de verilmiştir.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m w_i^+ \left(\frac{p_i}{t_i} \right) + w_i^- \left(\frac{n_i}{t_i} \right) \quad (3.57)$$

b- Minmax (Chebyshev) hedef programlama

Hedef Programlamanın üçüncü büyük çeşidi Flavell (1976) tarafından tanıtılmıştır. Chebyshev Hedef Programlama olarak da bilinir, çünkü temelde Chebyshev mesafesini ölçme yöntemini kullanır. Yani, sapan değişkenlerin toplamlarının minimizasyonu yerine herhangi bir hedeften maksimum sapma en aza indirilir (Jones ve Tamiz, 2010). Matematiksel model formülasyonu (3.58)'deki gibidir.

Min D

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + p_i - d_i^- = g_i$$

$$w_i^+ \left(\frac{p_i}{t_i} \right) + w_i^- \left(\frac{n_i}{t_i} \right) - D \leq 0 \quad (3.58)$$

$$n_i \cdot p_i = 0$$

$$x_j, n_i, p_i \geq 0,$$

$$i = 1 \dots n, \quad j = 1, \dots, m$$

D, minimum değeri araştırılan maksimum sapma miktarını ifade etmektedir. Burada elde edilen D değeri $0 \leq D \leq 1$ arasında gerçekleşmektedir. Aslında minimize yapılan “ağırlıklı toplam maksimum sapmanın” normalleştirilmiş değeri belirlenmektedir. D değeri 0'a yaklaştıkça hedefler pozitif ideal çözüme yaklaşır (Ballesterro ve Romero, 1998).

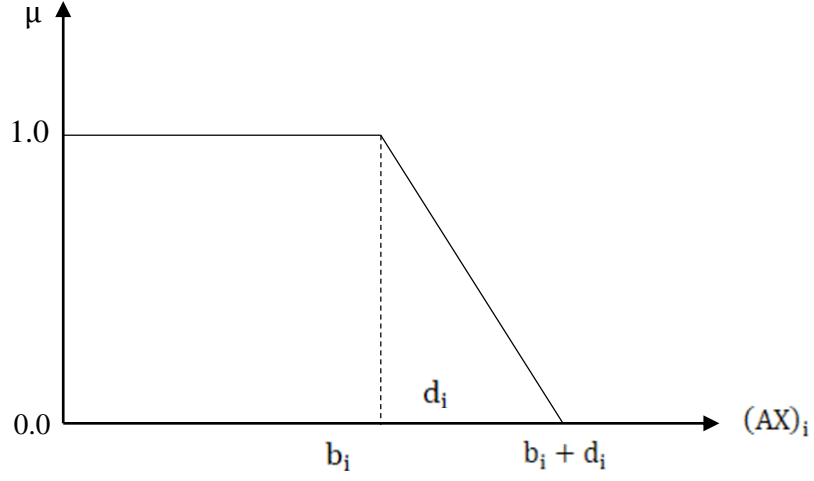
3.2.5.4. Bulanık hedef programlama

Bulanık Hedef Programlama, Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bulanık küme teorisine ve Zimmerman (1978) tarafından sunulan üyelik fonksiyonları kavramına dayanmaktadır. Bulanık Hedef Programlama karar vericinin yalnızca belirsiz ve kesin olmayan hedef değerleri verebildiği bazı karar durumlarının üstesinden gelmek için geliştirilmiştir (Colapinto, 2020). Bulanık küme teorisinin hedef programlamada kullanımı ilk olarak Narasimhan (1980) tarafından ele alınmıştır. Daha sonra Hannan (1981a), eşit öncelikli belirsiz hedefler içeren tek bir hedef programlama probleminin nasıl çözülebileceğini göstermiştir. Genelleştirilmiş bir Bulanık Hedef Programlama Modeli (3.59)'daki gibi ifade edilmektedir. Bu hedeflerde, hedeflerin sol taraf parametreleri birer sabitken, sadece hedeflerin istenen seviyeleri bulanık sayı olarak ele alınmıştır (Tiwari ve ark., 1986).

$$\begin{aligned}
 (AX)_i &\overset{\sim}{\leq} b_i; \quad i = 1, \dots, i_0 \\
 (AX)_i &\overset{\sim}{\geq} b_i; \quad i = i_0 + 1, \dots, j_0 && \text{Bulanık hedefler} \\
 (AX)_i &\overset{\sim}{=} b_i; \quad i = j_0 + 1, \dots, k \\
 (AX)_l &(\leq, \geq); \quad b_l \quad l = 1, 2, \dots, p && \text{Bulanık olmayan kısıtlar} \\
 x_j &\geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned} \tag{3.59}$$

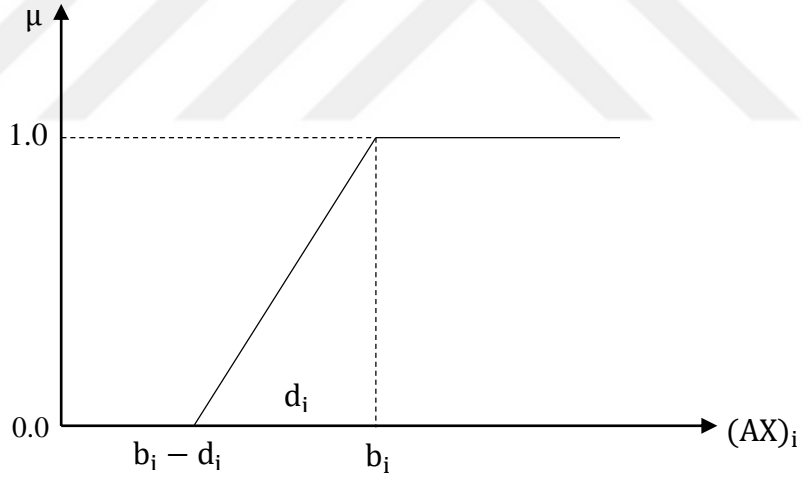
Burada ‘ \sim ’ i-inci hedefin istenilen seviyeleri olan b_i 'nin bulanık sayıdan oluştuğunu göstermektedir (Özkan, 2003). Bulanık Hedef Programlama için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının birçoğunda, bulanık hedefler işlemsel kolaylık sağlaması nedeniyle Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları ile nitelenmektedir. Zimmermann'a göre, bulanık eşitsizlik tamamen doyuruluyorsa üyelik derecesi 1 olmalı, bulanık eşitsizlik tamamen doyurulmuyorsa üyelik derecesi 0 olmalı ve üyelik derecesi 0'dan 1'e doğru tek düze artmalıdır. Bu durum matematiksel olarak Eşitlik (3.60), (3.61) ve (3.62)'deki şekilde ifade edilmektedir (Zimmermann, 1991). Üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10'da verilmiştir.

$$\mu_i(Ax) = \begin{cases} 1 & (AX)_i \leq b_i \\ 1 - \frac{(AX)_i - b_i}{d_i} & b_i \leq (AX)_i \leq b_i + d_i \\ 0 & (AX)_i \geq b_i + d_i \end{cases} \quad i = 1, \dots, i_0 \tag{3.60}$$



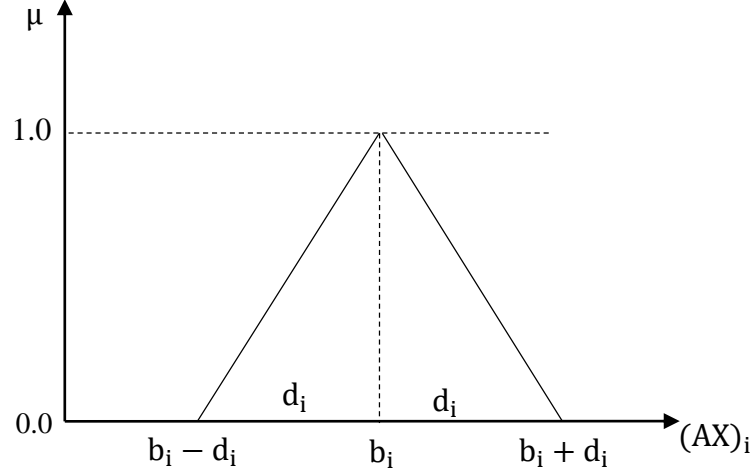
Şekil 3.8. $(AX)_i \leq b_i$ üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği

$$\mu_i(AX) = \begin{cases} 1 & (AX)_i \geq b_i \\ 1 - \frac{b_i - (AX)_i}{d_i} & b_i - d_i \leq (AX)_i \leq b_i \\ 0 & (AX)_i \leq b_i - d_i \end{cases} \quad i = i_0 + 1, \dots, j_0 \quad (3.61)$$



Şekil 3.9. $(AX)_i \geq b_i$ üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği

$$\mu_i(AX) = \begin{cases} 0 & (AX)_i \leq b_i - d_i \\ 1 - \frac{b_i - (AX)_i}{d_i} & b_i - d_i \leq (AX)_i \leq b_i, i = j_0 + 1, \dots, k \\ 1 - \frac{(AX)_i - b_i}{d_i} & b_i \leq (AX)_i \leq b_i + d_i, i = j_0 + 1, \dots, k \\ 0 & (AX)_i \geq b_i + d_i \end{cases} \quad (3.62)$$



Şekil 3.10. $(AX)_i = b_i$ üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği

Burada $(AX)_i$ i-inci hedef kısıtı, b_i bulanık hedef için i-inci istenilen seviye değeri, d_i ise bu istenen seviye değerinden oluşacak sapma için kabul edilebilir tolerans miktarını göstermektedir (Özkan, 2003). Aşağıda Bulanık Hedef Programlama modelleri için literatürdeki çeşitli çözüm yaklaşımları verilmiştir.

a- Üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla Narasimhan yaklaşımı

Bulanık küme teorisinin Hedef Programlamada kullanımı ilk olarak Narasimhan (1980) tarafından ele alınmıştır. Narasimhan'ın (1980) kısıt kümesinden çözüm vektörü x in tespiti Eşitsizlik (3.63)'deki gibi ifade edilir.

$$(AX)_i \bar{\leq} b_i ; i = 1,2,3 \dots m \quad (3.63)$$

$$x_j \geq 0 ; j = 1,2,3, \dots n$$

Narasimhan (1980), Zimmerman'ın (1978) Bulanık Doğrusal Programlama modeli için geliştirdiği çözüm tekniğinden yola çıkarak Bulanık Hedef Programlama modelinde bulanık kümeleri de kullanarak çözüme ulaşmaya çalışmıştır (Kim ve Wang, 1998). Narasimhan (1980), bulanık hedefleri üçgensel üyelik fonksiyonları ile nitelendirmiştir. Üyelik fonksiyonları, üyelik derecesinin 0'dan 1'e doğru arttığı parça ve 1'den 0'a doğru azaldığı parça olarak ele alınmış ve bulanık karar kümesinin en yüksek

üyelik dereceli elemanımı belirleyebilmek için problemi iki alt probleme dönüştürülmüş ve Model (3.64) ve (3.65)'de verilmiştir (Yaghoobi ve Tamiz, 2007).

$$\mu'D^{(x^M)} = \max_{x \geq 0} (\min[\mu_i(x)]) = \begin{cases} \text{1. problem;} \\ \max_{x \geq 0} \left(\min \left[1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \right] \right) \\ \text{kısıtlayıcılar} \\ b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \\ i = 1,2,3, \dots, m \end{cases} \quad (3.64)$$

$$\mu'D^{(x^M)} = \max_{x \geq 0} (\min[\mu_i(x)]) = \begin{cases} \text{2. problem;} \\ \max_{x \geq 0} \left(\min \left[1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \right] \right) \\ \text{kısıtlayıcılar} \\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\ i = 1,2,3, \dots, m \end{cases} \quad (3.65)$$

Bulanık Hedef Programlamada tanımlanan λ tatminkârlık derecesi (erişim seviyesi) ile problem incelenmesi Model (3.66) ve (3.67) 'de gösterildiği gibidir (Özkan, 2003).

$$\mu'D^{(x^M)} = \max_{x \geq 0} (\min[\mu_i(x)]) = \begin{cases} \text{1. problem;} \\ \max \lambda \\ \text{kısıtlayıcılar} \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \\ x \geq 0 \\ \lambda \in [0,1] \\ i = 1,2,3, \dots, m \end{cases} \quad (3.66)$$

$$\mu'D^{(x^M)} = \max_{x \geq 0} (\min[\mu_i(x)]) = \begin{cases} \text{2. problem;} \\ \max \lambda \\ \text{kısıtlayıcılar} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\ x \geq 0 \\ \lambda \in [0,1] \\ i = 1,2,3, \dots, m \end{cases} \quad (3.67)$$

Yukarıdaki gösterimde yer alan X^M ifadesi herhangi bir bulanık hedef için $b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i$ eşitsizliğini doydururken, başka bir diğer bulanık hedef için $b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i$ eşitsizliğini doydurabilir. Bu ifadeler dolayısıyla bahsi geçen alt problemleri Model (3.68) ve (3.69)'daki şekilde bir araya getirilmelidir (Özkan, 2003).

Max λ

Kısıtlar

$$1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda$$

$$b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \quad (3.68)$$

$$x \geq 0$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$i = 1,2,3, \dots, m$$

Max λ

Kısıtlar

$$1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda$$

$$b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \quad (3.69)$$

$$x \geq 0$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$i = 1,2,3, \dots, m$$

Narasimhan (1980) yaklaşımında, oluşturulan alt problemlerden en yüksek λ değerini veren problemin çözümü, Bulanık Hedef Programlama modelinin çözümü olarak kabul edilir (Özkan, 2003).

b- Üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla Hannan yaklaşımı

Hannan (1981) geliştirdiği yöntemi şöyle tanıtmaktadır; her bir amaç fonksiyonu için birer üyelik fonksiyonu tanımlanmaktadır. Üyelik fonksiyonları $[0,1]$ arasında değerler almaktadır. Üyelik fonksiyonları tanımlanırken; hedefler ve kısıtlar arasındaki ayırım iyi yapılmalıdır. Kısıtlar için belirsiz ifadeler kullanılmamakta ve değişiklik yapılamamaktadır. Hedeflerde ise, bulanıklık olabilmektedir. Her hedef için üyelik

fonksiyonunun belirlenmesinde karar vericiye büyük sorumluluklar düşmektedir (Özkan, 2003).

Hannan (1981), $\lambda^* = \max \lambda_j; j = 1, 2, \dots, 2^m$ şeklindeki bir teoremle, Bulanık Hedef Programlama modelini tek bir doğrusal programlama modeli olarak formüle etmeyi başarmıştır. Burada, Narasimhan (1980) yaklaşımında oluşturulan alt problemlerin çözüm değerlerini, ise bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanını ifade etmektedir (Özkan, 2003). Artan parça (3.70) ve azalan parça (3.71)'de verilmiştir.

Max λ

Kısıtlar

$$1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda$$

$$b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \quad (3.70)$$

$$x \geq 0$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Max λ

Kısıtlar

$$1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda$$

$$b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \quad (3.71)$$

$$x \geq 0$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Artan parça olarak tanımlanan (3.70)'deki ifadeye göre $(Ax)_i \leq b_i$ ifadesi d_i tolerans miktarına bölüldüğünde, $\frac{(Ax)_i}{d_i} \leq \frac{b_i}{d_i}$ ifadesi elde edilir. Sol tarafa p_i pozitif sapma değişkeni eklenirse $\frac{(Ax)_i}{d_i} + p_i = \frac{b_i}{d_i}$ ifadesi elde edilir. p_i düzenlenirse $p_i = \frac{b_i}{d_i} - \frac{(Ax)_i}{d_i}$ olur. $1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda$ 'da yerine koyarsak $\lambda + p_i \leq 1$ kısıtı elde edilir. Modelin azalan kısmı içinde bu işlemler yapıldığında $(Ax)_i \geq b_i$ elde edilir.

Hannan (1981), $\lambda + p_i \leq 1$, $\lambda + n_i \leq 1$ ve $\lambda + n_i + p_i \leq 1$ bir araya getirildiğinde Model (3.72) elde edilir.

Max λ

Kısıtlar

$$\frac{(Ax)_i}{d_i} + n_i - p_i = \frac{b_i}{d_i}$$

$$d_i + n_i + p_i \leq 1 \quad (3.72)$$

$$n_i \cdot p_i = 0$$

$$x_i, p_i, n_i, \lambda \geq 0$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

λ değişkeni, bulanık hedeflere ulaşma derecesini göstermektedir. Bulanık hedef probleminin tamamen doyurulması $\lambda=1$ ya da $p_i = n_i = 0$ şartlarının sağlanması anlamına gelmektedir. Yang ve ark. (1991) yılında yayınladıkları makalede “Zimmermann’ın, simetrik bulanık doğrusal programlama problemini, ek bir değişken olan λ ’yı kullanarak, geleneksel bir doğrusal programlama modeline dönüştürdüğünü, λ değişkeninin bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların çözüm vektörü tarafından eş zamanlı olarak doyurulma derecesini gösterdiğini ve değişkeninin $[0,1]$ arasında tanımlandığını” söylemiş, Narasimhan (1980) ile Hannan (1981) yaklaşımlarının özdeş sonuçlar verdiğini ispatlamıştır (Yang ve ark., 1991). Buna göre; bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik derecesi, Model (3.73)’de tanımlanan Doğrusal Programlama problemi çözümlenerek elde edilmektedir.

Max λ

Kısıtlar

$$1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda$$

$$1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda \quad (3.73)$$

$$x \geq 0$$

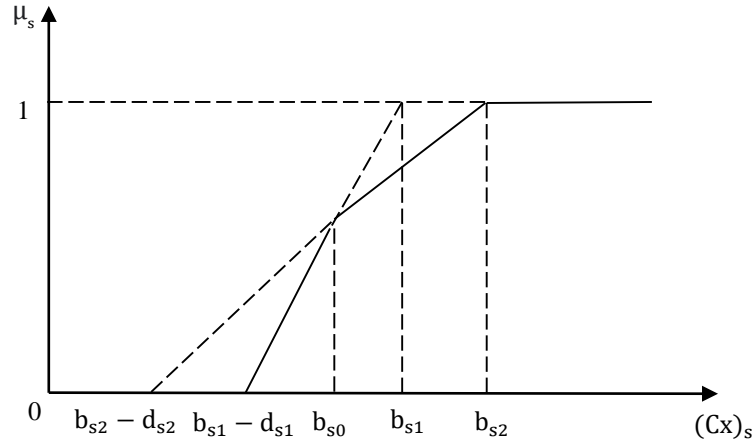
$$\lambda \in [0,1]$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

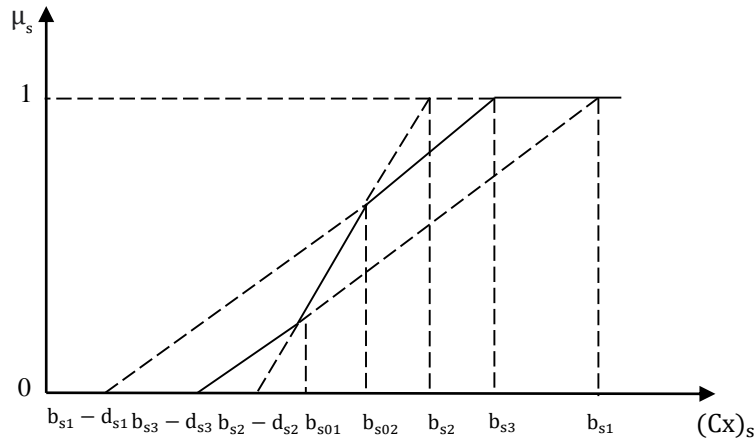
c- Parçalı doğrusal üyelik fonksiyonlarıyla Yang ve ark. (1991) yaklaşımı

Yang ve ark. (1991) doğrusal ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık doğrusal programlama problemleriyle başa çıkmak için basit ve hesaplama açısından verimli parçalı doğrusal bir yaklaşım sunmuşlardır.

Sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 her biri iki ve üç doğrusal parça ile yaklaşıtırılan içbükey ve içbükey olmayan doğrusal üyelik fonksiyonlarının bir temsilini sağlar. Spesifik olarak, Şekil 3.11’de doğrusal bir içbükey fonksiyon, iki rampa tipi üyelik fonksiyonunun kesişimi ile yaklaşık olarak tahmin edilmiştir, Şekil 3.12’de ise, doğrusal S-şekilli üyelik işlevi, üç rampa tipi üyelik işlevinin kesişimi ve birleşimi ile yaklaşıtırılmıştır.



Şekil 3.11. Doğrusal içbükey fonksiyon (Yang ve ark., 1991)



Şekil 3.12. Doğrusal içbükey olmayan fonksiyon (Yang ve ark., 1991)

Parçalı doğrusal içbükey üyelik işlevine sahip bulanık bir hedef, basit rampa tipi üyelik işlevleriyle birden çok hedefe bölünebilir. Örneğin, Şekil 3.11 'de verilen bir üyelik fonksiyonu (μ_s) Eşitlik (3.74)'deki gibi tanımlanmıştır (Yang ve ark., 1991).

$$\mu_s(z_s) = \begin{cases} 1 & (Cx)_s \geq b_{s2} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s2} - (Cx)_s}{d_{s2}} & b_{s0} \leq (Cx)_s < b_{s2} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s1} - (Cx)_s}{d_{s1}} & b_{s1} - d_{s1} \leq (Cx)_s < b_{s0} \text{ ise} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.74)$$

Hedef bölümü daha sonra μ_s 'yi μ_{s1} ve μ_{s2} 'yi Eşitlik (3.75) ve (3.76)'daki gibi ikiye bölmektedir.

$$\mu_{s1}(z_s) = \begin{cases} 1 & (Cx)_s \geq b_{s1} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s1} - (Cx)_s}{d_{s1}} & b_{s1} - d_{s1} \leq (Cx)_s < b_{s1} \text{ ise} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.75)$$

ve

$$\mu_{s2}(z_s) = \begin{cases} 1 & (Cx)_s \geq b_{s2} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s2} - (Cx)_s}{d_{s2}} & b_{s2} - d_{s2} \leq (Cx)_s < b_{s2} \text{ ise} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.76)$$

Böylece ortaya çıkan formülasyon Model (3.77)'deki hale dönüşür.

Max λ

$$\lambda \leq 1 - \left(\frac{b_{s1} - (Cx)_s}{d_{s1}} \right) \quad \forall s \in K$$

$$\lambda \leq 1 - \left(\frac{b_{s2} - (Cx)_s}{d_{s2}} \right) \quad \forall s \in K \quad (3.77)$$

$$\lambda \leq f_t(z_t) \quad \forall t \in K$$

$$f_t(z_t) = t_r \cdot z_t + S_r$$

$$(Bx) \leq b_0$$

$$x \geq 0; (Cx)_s \in [0,1]; \quad \forall s \in K$$

Burada s indexi, doğrusal olmayan üyeliğe sahip bir hedefi belirtir ve μ_s ekseninde kestiği noktayı göstermektedir. t indexi, doğrusal üyeliğe sahip bir hedefi belirtir ve rampanın eğimini ifade etmektedir. Bu geleneksel bir Doğrusal Programlama modelidir. Bu formülasyonun kullanımı, Hannan (1981) tarafından önerilen problem kullanılarak çözülmüştür. Yang ve ark. (1991) yaklaşımı Hannan (1981) yaklaşımından daha az değişken gerektirmiştir ve daha iyi bir sonuç bulunmuştur.

Parçalı doğrusal içbükey olmayan (yani, dışbükey veya S-şekilli) üyelik fonksiyonları ile bir bulanık hedef programlama probleminin formülasyonu, ayrık 0-1 değişkenler gerektirir, çünkü bu tür üyelik fonksiyonlarının birleşimi bir "ya/yada" ilişkisi olarak yorumlanır. Şekil 3.12'de gösterilen S-şekilli üyelik işlevi (μ_s), fonksiyon Eşitlik (3.78)'deki gibi tanımlanmıştır (Yang ve ark., 1991).

$$\mu_s(z_s) = \begin{cases} 1 & (Cx)_s \geq b_{s1} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s1} - (Cx)_s}{d_{s1}} & b_{s02} \leq (Cx)_s < b_{s1} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s2} - (Cx)_s}{d_{s2}} & b_{s01} \leq (Cx)_s < b_{s02} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s3} - (Cx)_s}{d_{s3}} & b_{s3} - d_{s3} \leq (Cx)_s < b_{s01} \text{ ise} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.78)$$

Ortaya çıkan parçalı üyelik fonksiyonları $\mu_{s1}, \mu_{s2}, \mu_{s3}$ fonksiyon Eşitlik (3.79), (3.80) ve (3.81)'deki gibi tanımlanabilir.

$$\mu_{s1}(z_s) = \begin{cases} 1 & (Cx)_s \geq b_{s1} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s1} - (Cx)_s}{d_{s1}} & b_{s1} - d_{s1} \leq (Cx)_s < b_{s1} \text{ ise} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.79)$$

$$\mu_{s2}(z_s) = \begin{cases} 1 & (Cx)_s \geq b_{s2} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s2} - (Cx)_s}{d_{s2}} & b_{s2} - d_{s2} \leq (Cx)_s < b_{s2} \text{ ise} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.80)$$

ve

$$\mu_{s3}(z_s) = \begin{cases} 1 & (Cx)_s \geq b_{s3} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{s3} - (Cx)_s}{d_{s3}} & b_{s3} - d_{s3} \leq (Cx)_s < b_{s3} \text{ ise} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.81)$$

Üyelik fonksiyonu (μ_s) Eşitlik (3.82)'deki gibi verilmiştir.

$$\mu_s = \mu_{s1} \cup (\mu_{s2} \cap \mu_{s3}) \quad (3.82)$$

Parçalı doğrusal içbükey olmayan üyelik fonksiyonları ile Bulanık Hedef Programlama problemi için genişletilmiş Model (3.83)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \lambda \\ & \lambda \leq 1 - \frac{b_{s1} - (Cx)_s}{d_{s1}} + M(1 - \delta_s), \forall s \in K \\ & \lambda \leq 1 - \frac{b_{s2} - (Cx)_s}{d_{s2}} + M\delta_s, \forall s \in K \\ & \lambda \leq 1 - \frac{b_{s3} - (Cx)_s}{d_{s3}} + M\delta_s, \forall s \in K \quad (3.83) \\ & \lambda \leq f_t(z_t) \quad \forall t \in K \\ & (Bx) \leq b_0 \\ & x \geq 0; \delta_s \in 0 \text{ veya } 1; \forall s \in K \end{aligned}$$

Burada M büyük bir sayıyı temsil eder ve t indexi doğrusal üyelikli bir hedefi göstermektedir. Bulanık, içbükey olmayan doğrusal olmayan üyelik işlevi durumunda, dönüştürme prosedürü ile birkaç 0-1 değişkeni (δ_s) kullanılarak doğrusal bir tamsayı programlama modeli oluşturulur. Parçalı içbükey olmayan üyelikteki her birleşim operatörü yalnızca bir ek 0-1 değişkeni gerektirir. Bu nedenle, makul bir doğruluk elde etmek için S-şekilli bir üyelik işlevinin yaklaştırılması için gerekli olan mümkün olduğunca az 0-1 değişkeni kullanılmalıdır. Ortaya çıkan tüm üyelik fonksiyonları içbükey ise, model geleneksel bir doğrusal programlama modeline dönüşür; herhangi bir üyelik işlevi iç içe değilse, model hem sürekli hem de 0-1 değişkenli doğrusal bir programlama modeline dönüşür (Yang ve ark., 1991).

3.2.5.5. Stokastik programlama

Gerçek hayat problemlerinde genellikle tüm parametrelerin kesin değerli olması mümkün olmayabilir. Bununla birlikte modelde bulunan parametrelerin rassal değişken olması durumunda ise, doğrusal programlama çözümü geçerliliğini yitirir. Parametrelerinden biri veya tümü rassal değişken olduğu bu tip problemler stokastik

programlama problemi olarak adlandırılır (Atalay ve Apaydın, 2011). Stokastik programlamada Şans Kısıtlı ve İki Aşamalı Programlama olmak üzere iki ana yaklaşım vardır (Hulsurkar ve ark., 1997). Belirsiz parametrelerin belirli olasılık seviyeleri ile ifade edilmesi ve problemin olasılıklı yapısının kısıtlar ve amaç fonksiyonunda olasılık fonksiyonu ile temsil edilmesine Şans Kısıtlı Programlama adı verilmektedir (Kall ve Mayer, 2005). Şans Kısıtlı Programlamada temel varsayım çözümün (0,1) olasılıkla kısıtlar dâhilinde gerçekleşmesinin α güven seviyesinde beklenmesidir. Şans terimi modeldeki kısıtlara uyulma olasılığını ifade etmektedir. Temel prosedür, ilgili problemin stokastik kısıtları ve/veya amaç fonksiyon parametrelerini önceden belirlenmiş bilinen bir dağılım ve ona ait güven seviyelerini kullanarak, karşılık gelen deterministik parametre ve kısıtlara çevirerek modeli deterministik olarak çözmektir (Liu ve Iwamura, 1998). Belirsizlik altındaki doğrusal programlar için bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Belirsizlik aslında Doğrusal Programlama parametrelerinin kesin olarak belirlenmesinin zor olduğu durumlarda ortaya çıkar. Stokastik Programlamada tüm kısıtların bu olasılığa sahip olması gerekmektedir. Burada genel yaklaşım, problemin olasılıksal yapısını, problemin gerçek yapısını bozmadan ona eşdeğer olan deterministik duruma dönüştürmektir. Bu tip problemlerde kesinlik elde edilmektedir (Taha, 2007).

a- Şans kısıtlı programlama

Şans Kısıtlı Programlama tekniği, sınırlı ihlal olasılığına sahip kısıtlamalar içeren problemleri çözmek için kullanılabilen bir tekniktir. Şans Kısıtlı Programlama Charnes ve Cooper (1959) tarafından geliştirilmiştir ve son yıllarda çeşitli uygulamalarla çeşitli yönlerde genelleştirilmiştir. Şans Kısıtlı Programlama, kısıtların stokastik olduğu varsayılan ve belirli bir olasılık dağılımına sahip karar verme durumuyla ilgili belirsizlikle ilgilenir. (Hulsurkar ve ark., 1997). Rassal veriler içerir ve belirlenen olasılık limitlerine kadar kısıt bozulmalarına izin verir. Doğrusal kısıtlar, kısıtlardaki bozulmaların genişliğini belirten olasılık ölçülerinin kümesiyle birleştiriliyorsa Doğrusal Programlama modeli Şans Kısıtlı olarak adlandırılır (Sengupta, 1972). Şans Kısıtlı Programlama Modeli (3.84)'deki gibidir (Hulsurkar ve ark., 1997).

$$\text{Max(min)} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Kısıtlar

(3.84)

$$P \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \right) \geq 1 - a_i$$

$$x_j \geq 0 ; j = 1, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m$$

$$a_i \in [0, 1]$$

Her kısıtın $1 - a_i$ minimum olasılığıyla gerçekleştirilmesinden dolayı bu modele "Şans Kısıtlı" denilmektedir. Model parametreleri c_j , a_{ij} ve b_i 'lerin değerlerinin en az bir tanesi ya da tamamı rassal değişkenlerdir. Karar değişkenleri x_j deterministik yapıdadır. Şans kısıtlı programlama modelinde yer alan parametrelerin genellikle normal dağılışa sahip ortalaması ve varyansı bilinen rassal değişkenler olduğu varsayılır. Bu varsayıma göre, şans kısıtlı stokastik doğrusal programlama probleminde a_{ij} , c_j , b_i 'ler normal dağılıma sahip rassal değişkenlerdir (Hulsurkar ve ark., 1997).

Aşağıdaki gibi ortaya çıkan yedi alt durum vardır.

1. Yalnız a_{ij} katsayıları rassal değişken,
2. Yalnız b_i katsayıları rassal değişken,
3. Yalnız c_j katsayıları rassal değişken,
4. a_{ij} ve b_i katsayılarının her ikisi de rassal değişken,
5. a_{ij} ve c_j katsayılarının her ikisi de rassal değişken,
6. c_j ve b_i katsayılarının her ikisi de rassal değişken,
7. c_j , a_{ij} ve b_i 'lerin tümünün rassal değişken olduğu durumlardır.

Katsayıları normal dağılıma sahip şans kısıtlarının deterministik eşitliklerinin elde edilmesi için yukarıdaki ilk dört durum ele alınmıştır. Diğer durumlar bu dört durumun kombinasyonu ile elde edilir.

Durum 1: Sadece a_{ij} katsayıları rassal değişken ise

a_{ij} , ortalaması $E(a_{ij})$ ve varyansı $Var(a_{ij})$ ile normal dağılıma sahip rassal değişken olsun. Rassal değişkenler a_{ij} ve a_{il} arasındaki kovaryansının $Cov(a_{ij}, a_{il})$ bilindiği varsayalım. d_i rassal değişkeni Eşitlik (3.85)'deki gibi tanımlanır.

$$d_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.85)$$

i.kısıt ele alınırsa;

$$P \left(\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \right) \geq 1 - \alpha_i \quad (3.86)$$

Eşitlik (3.86)'daki şekilde tanımlansın. a_{i1}, \dots, a_{in} katsayıları normal dağılımlı rassal değişkenler ve x_1, \dots, x_n karar değişkenleri olmak üzere, d_i rassal değişkeni, Eşitlik (3.87) ve (3.88) ile normal dağılır.

$$E(d_i) = \sum_{j=1}^n E(a_{ij})x_j \quad (3.87)$$

$$V(d_i) = X^T A_i X \quad (3.88)$$

i-inci kovaryans matris (A_i), Eşitlik (3.89)'da verilmiştir.

$$A_i = \begin{bmatrix} Var(a_{i1}) & \cdots & Cov(a_{i1}, a_{in}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Cov(a_{in}, a_{i1}) & \cdots & Var(a_{in}) \end{bmatrix} \quad (3.89)$$

Bu durumda modelin kısıtı Eşitsizlik (3.90)'daki gibi ifade edilir.

$$P(d_i \leq b_i) = P \left(\frac{d_i - E(d_i)}{\sqrt{Var(d_i)}} \leq \frac{b_i - E(d_i)}{\sqrt{Var(d_i)}} \right) \geq 1 - \alpha_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.90)$$

Burada $\frac{d_i - E(d_i)}{\sqrt{\text{Var}(d_i)}}$; ortalaması sıfır (0), varyansı bir (1) olan standart normal dağılıma sahip rassal değişkendir. Model kısıtı Eşitlik (3.91)'e dönüşür.

$$P(d_i \leq b_i) = \varphi\left(\frac{b_i - E(d_i)}{\sqrt{\text{Var}(d_i)}}\right) \quad (3.91)$$

Burada φ , standart normal dağılımın kümülatif yoğunluk fonksiyonunu gösterir. z_{1-a_i} , standart normal değer ve $\varphi(z_{1-a_i}) = 1 - a_i$ olsun. Bu durumda $P(d_i \leq b_i) \geq 1 - a_i$ ifadesi ancak ve ancak Eşitsizlik (3.92)'nin aşağıdaki gibi olması durumunda gerçekleşir.

$$\frac{b_i - E(d_i)}{\sqrt{\text{Var}(d_i)}} \geq z_{1-a_i} \quad (3.92)$$

Bu da Eşitsizlik (3.93)'daki doğrusal olmayan deterministik kısıtı verir.

$$\sum_{j=1}^n E(a_{ij})x_j + z_{1-a_i}\sqrt{\text{Var}(d_i)} \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.93)$$

(3.93) eşitsizliğinde d_i rassal değişkeninin değeri yerine konularak,

$$\sum_{j=1}^n E(a_{ij})x_j + z_{1-a_i}\sqrt{\sum_{j=1}^n X^T V_i X} \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.94)$$

(3.94) eşitsizliği elde edilir. Bu kısıt, orijinal olasılıksal doğrusal kısıtlara denk, deterministik doğrusal olmayan kısıtlardır. Bu durumda, olasılıksal programlama probleminin çözümü Model (3.95)'de verilen deterministik doğrusal olmayan programlama probleminin çözümü ile elde edilir.

$$\text{Max(min)} Z(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Kısıtlar

(3.95)

$$\sum_{j=1}^n E(a_{ij})x_j + z_{1-a_i} \sqrt{\sum_{j=1}^n X^T V_i X} \leq b_i$$

$$x_j \geq 0 ; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

Eğer bütün normal dağılımlı a_{ij} rassal değişkenleri bağımsız ise kovaryans terimlerinin hepsi sıfır olacaktır ve böylelikle orijinal kısıt (3.96)'da verilen eşitsizliğe eşdeğer hale gelir (Hulsurkar ve ark., 1997).

$$\sum_{j=1}^n E(a_{ij})x_j + z_{1-a_i} \sqrt{\sum_{j=1}^n \text{Var}(a_{ij}) x_j^2} \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.96)$$

Durum 2: Sadece b_i katsayıları rassal değişken ise

b_i , ortalaması $E(b_i)$ ve varyansı $\text{Var}(b_i)$ olan normal dağılıma sahip rassal değişkendir. Burada da işlemler Durum 1'dekine benzerdir. Eşitsizlik (3.97)'da verilen stokastik kısıt Eşitsizlik (3.98)'deki şekilde yazılır.

$$P \left(b_i \geq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right) \geq a_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.97)$$

Eşitsizlik (3.98)'e dönüşür.

$$P \left(\frac{b_i - E(b_i)}{\sqrt{\text{Var}(b_i)}} \leq \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - E(b_i)}{\sqrt{\text{Var}(b_i)}} \right) \geq a_i \quad (3.98)$$

Bu ancak ve ancak

$$\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - E(b_i)}{\sqrt{\text{Var}(b_i)}} \leq z_{1-a_i}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.99)$$

(3.99)'daki eşitsizliğin geçerli olduğu durumda korunabilir. Böylece stokastik kısıt Eşitsizlik (3.100)'de verilen deterministik doğrusal kısıta eşdeğer olur (Hulsurkar ve ark., 1997).

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq E(b_i) + z_{1-a_i}\sqrt{\text{Var}(b_i)}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.100)$$

Böylece Stokastik Doğrusal Programlama problemine denk olan deterministik Doğrusal Programlama Modeli (3.101)'deki gibi yazılabilir (Hulsurkar ve ark., 1997).

$$\begin{aligned} \text{Max(min)} Z(x) &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{Kısıtlar} & \\ \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j &\leq E(b_i) + z_{1-a_i}\sqrt{\text{Var}(b_i)} \\ x_j &\geq 0; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (3.101)$$

Durum 3: Yalnız c_j katsayıları rassal değişken ise

c_j katsayıları normal dağılıma sahip rassal değişkenler olduğundan $Z(x)$ amaç fonksiyonu da normal dağılıma sahip olacaktır ve $Z(x)$ 'in ortalaması,

$$E(Z(x)) = \sum_{j=1}^n E(c_j)x_j \quad (3.102)$$

Eşitlik (3.102)'deki şekilde ifade edilir. Böylece 'ortalama' modeline sahip olan deterministik amaç fonksiyonu (3.103) eşitliğine dönüşecektir (Taha,1997).

$$\text{Max}(\text{min}) E(Z(x)) = \sum_{j=1}^n E(c_j)x_j \quad (3.103)$$

Durum 4: a_{ij} ve b_i 'ler normal dağılımlı rassal değişkenler ise,

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad (3.104)$$

Eşitsizlik (3.104)'de verilen kısıtı ele alalım. Bu kısıt Eşitsizlik (3.105)'deki gibi de ifade edilebilir.

$$P(r_i \leq 0) \geq 1 - \alpha_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.105)$$

Bu kısıt normal dağılıma sahip rassal değişkenlerin doğrusal kombinasyonunu içerdiğinden,

$$P\left(\frac{r_i - E(r_i)}{\sqrt{\text{Var}(r_i)}} \leq \frac{-E(r_i)}{\sqrt{\text{Var}(r_i)}}\right) \geq 1 - \alpha_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.106)$$

Eşitsizlik (3.106)'daki şekilde yazılacaktır. Standart normal dağılıma sahip rassal değişken $\frac{r_i - E(r_i)}{\sqrt{\text{Var}(r_i)}}$ olduğundan $\varphi(z_{1-\alpha_i}) = 1 - \alpha_i$ standart normal değişkenin değeri yerine $z_{1-\alpha_i}$ konulduğunda;

$$\varphi\left(\frac{-E(r_i)}{\sqrt{\text{var}(r_i)}}\right) \geq \varphi(z_{1-\alpha_i}), \quad i = 1, \dots, m \quad (3.107)$$

Eşitsizlik (3.107) şeklinde yazılır ve Eşitsizlik (3.108) için geçerli olur.

$$\left(\frac{-E(r_i)}{\sqrt{\text{var}(r_i)}}\right) \geq z_{1-\alpha_i} \quad (3.108)$$

Bir başka gösterim ise, $E(r_i) + z_{1-a_i} \sqrt{\text{var}(r_i)} \leq 0$, $i = 1, \dots, m$ olur. Dolayısıyla, olasılıksal doğrusal programlama problemi deterministik Doğrusal Olmayan Programlama problemi olarak ifade edilebilir (Hulsurkar ve ark., 1997). Model (3.109)'da verilmiştir.

$$\text{Max}(\text{min}) Z(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Kısıtlar

(3.109)

$$E\left(\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - b_i\right) + z_{1-a_i} \sqrt{\text{Var}\left(\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - b_i\right)} \leq 0$$

$$x_j \geq 0; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

Durum 1,2 ve 4'de katsayıları normal dağılıma sahip rassal değişkenler olan şans kısıtlı modellerde kısıtlar, katsayıların varyansı ve ortalaması elde edildikten sonra standart normal dağılım tablosu kullanılarak standardizasyon işlemi yapılır ve deterministik hale dönüştürülebilir. Durum 3'de ise, rassal değişken olan amaç fonksiyonu katsayılarının ortalaması alınarak, amaç fonksiyonu deterministik hale dönüştürülür.

Problemin model yapısı incelendiğinde talep kısıtı için b_i 'lerin rassal normal değişken olduğu Durum 1, teslimat süresi kısıtı için a_{ij} 'lerin rassal normal değişken olduğu Durum 2 söz konusudur. Önerilen ÇATDP modelinde (3.38) kısıtı, firmanın her ürün için aylık talebinin ortalaması alınarak oluşturulmuştur. (3.42) kısıtı ise, tedarikçilerin saat bazında teslimat sürelerinin ortalaması ile oluşturulmuştur. Model mevcut durumu ile deterministik olarak çözülmüştür. Ancak ürün taleplerinin ve teslimat sürelerinin normal dağılım özelliği göstermesiyle süreç ek olarak stokastik açıdan değerlendirilmiştir. Stokastik talep kısıtı, modele nasıl dahil edildiği Eşitsizlik (3.110) ve (3.111) ile; stokastik teslimat süresi kısıtı Eşitsizlik (3.112) ve (3.113)'deki şekilde ifade edilmiştir.

Stokastik talep kısıtı: Her ürün için talep miktarının yerine getirilmesini zorunlu kılar. Eşitsizlik (3.110)'da verilen kısıt,

$$P\left(\sum_{j=1}^n Q_{ijk} \geq D_i\right) \geq 1 - a_i \quad (3.110)$$

$$\sum_{j=1}^n E(Q_{ijk}) \geq E(D_i) + z_{1-a_i} \sqrt{\text{Var}(D_i)} \quad (3.111)$$

Eşitsizlik (3.11)'de verilen deterministik şekle dönüştürülmüştür.

Stokastik teslimat süresi kısıtı: Ürünlerin ortalama teslimat sürelerinin 0.95 güvenilirlik düzeyinde hedef E^* zamanını geçmemesini sağlar. Eşitsizlik (3.112)'de verilen kısıt,

$$P\left(\sum_{j=1}^n E_j Y_{ijk} \leq E^*\right) \geq a_i \quad (3.112)$$

$$\sum_{j=1}^n E(E_j) Y_{ijk} + z_{1-a_i} \sqrt{\sum_{j=1}^n \text{Var}(E_j) Y_{ijk}^2} \leq E^* \quad (3.113)$$

Eşitsizlik (3.113)'de verilen deterministik şekle dönüştürülmüştür.

b- Şans kısıtlı model için doğrusal yaklaşım

Önerilen Şans Kısıtlı model tamsayı doğrusal olmayan (non-linear) bir modeldir. Doğrusal olmayan eşitsizlikler aşağıdaki dönüşüme uğratılınca Eşitsizlik (3.114) elde edilmektedir. (Baykoç ve İsteyen, 2007).

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \leq \sum_{i=1}^n a_i, \quad a_i \in \mathbb{R}^+ \quad (3.114)$$

Bu şekilde modeldeki doğrusal olmayan teslimat süresi kısıtı doğrusallaştırılmıştır. Uygulanan yaklaşım basit bir matematiksel eşitsizliği içermektedir ve yeni bir değişken veya kısıt eklenmesine ihtiyaç duymamaktadır (Baykoç ve İsteyen, 2007). Uygulama yapılan firmanın ürünlerin teslim sürelerinin 0.95 güvenilirlik

düzeyinde E^* saatini geçmemesi kısıtı (3.113), Eşitsizlik (3.115) ve (3.116) kısıtlarının eklenmesiyle doğrusal hâle dönüştürülmüştür.

$$\sqrt{\sum_{j=1}^n \text{Var}(j)^2} \leq \sum_{j=1}^n \text{Var}(j), \quad j \in \mathbb{R}^+ \quad (3.115)$$

$$\sum_{j=1}^n E(j)Y_{ijk} + z_{1-\alpha_i} \sum_{j=1}^n \text{Var}(j)Y_{ijk} \leq E^* \quad (3.116)$$

c- İstatistiksel analiz

Verilerin normal dağılıma uyup uymadığı SPSS’te Shapiro-Wilk ve Kolmogorov Smirnov sınamaları ile belirlenmektedir. Bu iki sınama parametrik olmayan istatistik sınamaları olup normallik sınamaları arasında bulunmaktadır. Normallik varsayımını sınavan en güçlü testlerdir. Shapiro-Wilk elli ve altı bireyli örneklem sayısında, Kolmogorov Smirnov ise elli üstü bireyli örneklem sayısında kullanılmaktadır. Sonuç raporunda Sig. > 0.05 olması dağılımın normal olduğunu göstermektedir. SPSS 22.0 istatistik paket programından Analyze → Descriptive Statistics → Explore seçilir. Elde edilen SPSS çıktısındaki Tests of Normality tablosu üzerinden hipotez testi kurulur.

H_0 = Değişken normal dağılıma sahiptir.

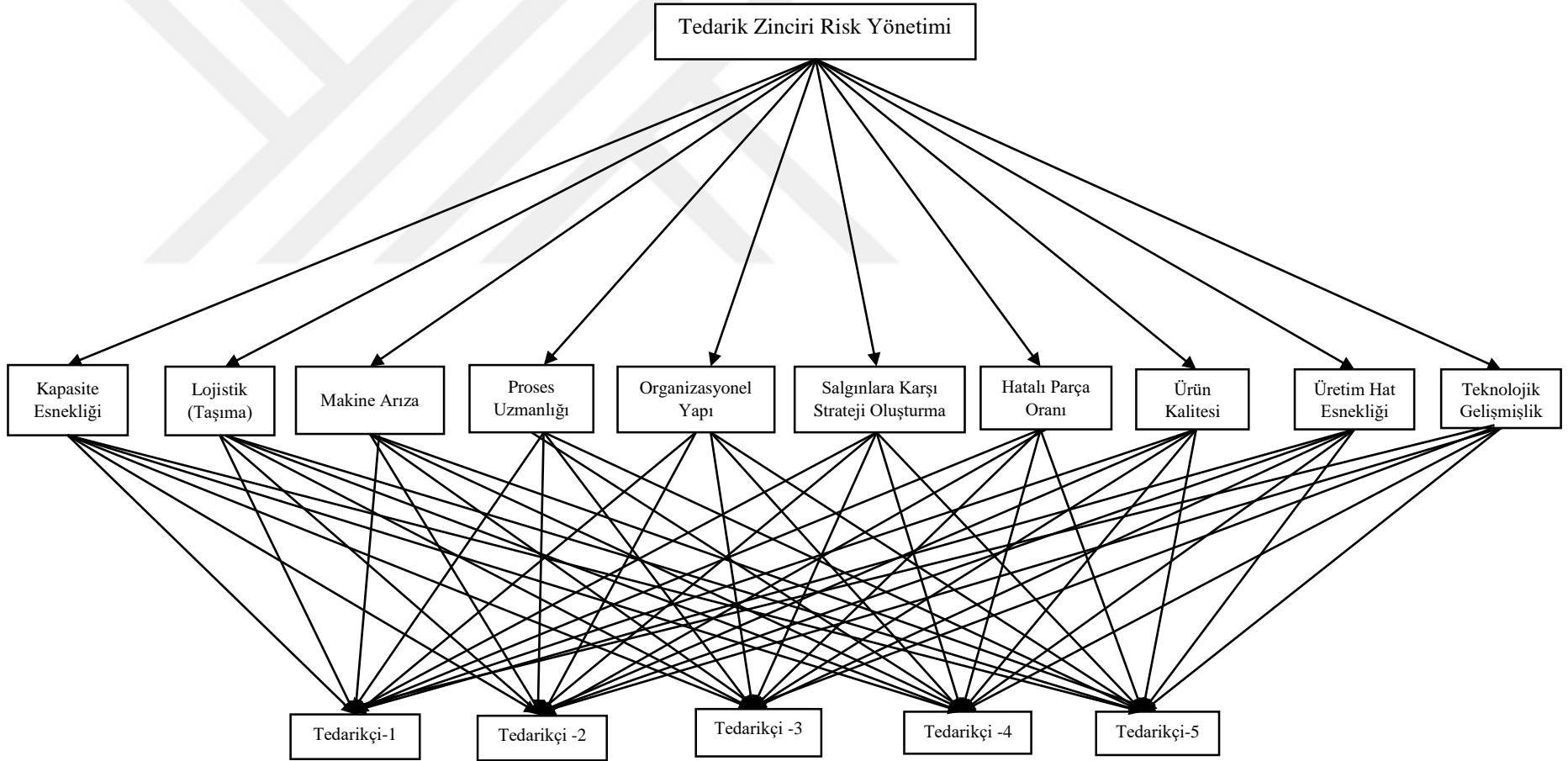
H_1 = Değişken normal dağılıma sahip değildir. Sig≤0,05 ise H_0 reddedilir ve ele alınan değişkenin normal dağılıma sahip olmadığı %95 güvenlilikle elde edilir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ülkemizin önde gelen bir otomotiv yan sanayi firmasında TZRY çalışması yapılmıştır. Firmada çalışan uzman mühendisler tarafından belirlenen risk kriterleri değerlendirilirken çelişkili hedeflerin ve belirsizlik kararlarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi beklenmektedir. Bu karar verme sürecinin belirsizliği ve özneliği ile başa çıkmak için ise bulanık kümeler tercih edilmektedir (Karasan ve ark., 2018). İlk olarak üç uzman mühendisten oluşan ekip tarafından, montaj hattında kullanılan beş farklı ürünün tedarik edilmesinde farklı tedarikçiler göz önünde bulundurularak en çok ortaya çıkan on risk kriteri tespit edilmiştir. İlk aşamada pratikte karşılaşılan bu on risk kriteri için Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları uygulanarak her bir risk kriterinin önem ağırlığı hesaplanmıştır. Daha sonra Pisagor Bulanık AHP yönteminin risk kriterlerinin ağırlıkları çıktısı Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemine ve Paksoy ve ark., (2019) yaklaşımına girdi olarak eklenmiştir. Bu iki yöntem için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış ve tedarikçilerin risk ağırlıkları elde edilmiştir. İkinci aşamada ise, elde edilen tedarikçi risk ağırlıkları üç amaçlı olarak oluşturulan miktar indirimli ÇATDP modelinde risk minimizasyonu amaç fonksiyonu katsayısı kullanılmış ve her bir amaca göre ayrı ayrı model çözülmüştür. Daha sonra elde edilen üstün olmayan çözümler tablosu kullanılarak Bulanık ÇATDP, Ağırlıklı ve Minmax Hedef programlama, Bulanık Hedef Programlama modelleri ile her bir yöntemin Şans Kısıtlı modelleri oluşturulmuş ve çözülmüştür. Son olarak önerilen modellerin çözümü ile elde edilen amaç fonksiyonu değerleri, tatminkârlık dereceleri, toplam sapma miktarları ve seçilen tedarikçilerden tahsis edilecek olan ürün miktarlarının bir özeti verilmiştir.

4.1. Tedarik Zincirinde Risk Kriterlerinin ve Ağırlıklarının Belirlenmesi

Risk değerlendirme sürecinin ilk aşaması en yüksek riske sahip olabilecek faktörlerin tanımlanması ve listelenmesidir. Risk değerlendirmesi için Türkiye'nin en büyük otomotiv yan sanayi firmalarından birinin en sık karşılaştığı on tedarik risk kriteri belirlenmiş ve Şekil 4.1'de bu riskler gösterilmiştir. Uzman mühendisler tarafından belirlenen bu risk kriterleri kaynak araştırmasında otomotiv sektörünün karşılaştığı risk kriterleri ile de uyuşmaktadır.



Şekil 4.1. Tedarik zinciri riskleri

Belirlenen risk kriterlerinin tanımları aşağıdaki gibi sunulmuştur:

Kapasite esnekliği: Kısa ürün yaşam döngüleri ve uzun üretim tedarik süreleri nedeniyle talebi tahmin etmek doğal olarak zordur. Bu nedenle, tedarik zincirleri, düşük talep gerçekleşmesi nedeniyle aşırı kapasite veya yüksek talep gerçekleşmesi nedeniyle ürün mevcudiyeti eksikliği riskiyle karşı karşıyadır. Talep edilen ürünlerin zamanında teslimi için firma esnek üretim kapasitesine sahip olmalıdır (Ozer, 2004).

Lojistik (Taşıma): Tedarikçi seçilmeden önce tedarikçinin bulunduğu konum ve fiziksel şartlar iyice araştırılmalıdır. Lojistik risklerini yönetmek için; tedarikçinin tam ve eksiksiz ulaştırmadaki kabiliyeti analiz edilmeli ve tedarik zincirindeki herhangi bir kesintiye en aza indirmek için tedarikçilerin acil durum planları olmalıdır.

Makine arıza: Kritik makine ve tesis ekipmanlarının bozulması firmaları finansal boyutta etkilemektedir. Tedarikçi seçerken firmalar, tesislerin ve makinelerin güvenliğini sağlamanın bir parçası olarak denetimler gerçekleştirmelilerdir. Yapılan işin doğası gereği kullanılan cihazlarda bozulma, nakliye sırasında yol kapanması gibi nedenlerden dolayı ekipman arızalarına sıklıkla ihtiyaç duymamak adına cihazların bakımının yapılması ve güvenilir nakliye firmalarıyla çalışmak gibi önlemler alınmalıdır.

Proses uzmanlığı: Tedarikçilerin geçmiş performansları kararlar alınmasına katkıda bulunmaktadır. Diğer alternatif tedarikçiler üzerindeki üstünlüğüne karar vermek için sicile göre analiz edilmelidir. Tedarikçinin performans geçmişi, tedarikçinin rekabetçi doğasını, geçmiş üretim programını, piyasaya tepkisini ve ticari ilişkiler ve iş referansları yapabilme yeteneğini göz önünde bulundurarak dikkatle analiz edilmelidir (Chan ve Kumar, 2007).

Organizasyonel yapı: İyi bir tedarikçi ilişkisi oluşturmak için firmaların, özellikle entegre ve stratejik ilişkiler için yönetime uyumlu yaklaşımları olmalıdır. İyi bir tedarikçi ilişkisinin sürdürülmesi yönetimin istikrarını gerektirir. Firma, tedarikçisinin şirketi yönetme yeteneğine güvenmelidir.

Salgınlara karşı strateji oluşturma: Parçaların tedarikinin sağlanması yerel ve küresel birçok kesintiye tabidir. Covid-19 pandemi krizi, modern tedarik zincirinin kırılganlığını; yalın üretim ilkelerine dayanan karmaşık küresel tedarik zincirlerinin güvenlik açıklarını ortaya çıkarmıştır. Hükümetler, işletmeler ve bireysel tüketiciler, bir anda temel ürün ve malzemeleri temin etmekte sıkıntı yaşamaları bu kırılganlığın göstergesidir. Tüm kuruluşların %97'si COVID-19 tedarik zinciri kesintilerinden etkilenmiştir. Fabrikaların kapasite oranları Kuzey Amerika'da %74, Çin'de %76 ve

Avrupa %65'e gerilemiştir. Fabrikalar bu nedenle tedarik zincirlerini yapılandırırken daha akıllı, çevik ve çeşitli tedarik zincirleri tasarlamaya yönelmişlerdir (www.weforum.org).

Hatalı parça oranı: Ürünün ret oranı, bazı kalite sorunları nedeniyle müşteriler tarafından belirli bir süre zarfında reddedilen parça sayısı olarak tanımlanır. Ayrıca, gelen kalite kontrol ve üretim hattında tespit edilen arızalı parçaları da içerir (Chan ve Kumar, 2007).

Ürün kalitesi: Ürünlerin sık kalite değerlendirmesinin tedarikçi tarafından yapıp yapılmadığı gibi sorunlarla karşılaşılır. Buna göre, alıcı potansiyel tedarikçilerin katı kalite güvencesi için sertifikalı olup olmadığını araştırmalı ve kalite hatalarını önleme konusunda güçlü bir bağlılığa sahip olmalıdır (Chan ve Kumar, 2007).

Üretim hat esnekliği: Malzeme akışındaki gecikmeler genellikle bir tedarikçi, yüksek kullanım sayesinde veya olmayan esneklik nedeniyle talep değişikliklerine cevap veremez ve tedarikçi tesislerde düşük kaliteli çıktılar, nakliye geçişleri sırasında yüksek taşıma seviyeleri, denetim seviyeleri ve nakliye sırasında değişen taşıma modlarına ayak uyduramaz. Tedarikçinin müşterinin talebine, fiyat yapısına, sipariş sıklığına ve mevcut iş senaryosuna göre değişebilmesi, denizaşırı tedarik süreci üzerinde daha büyük etkiye sahiptir. Acil ve belirsiz talep olması durumunda firmanın performansını etkileyebilir. Müşteriye karşı daha iyi performans için talep kısıtlamaları açısından daha esnek tedarikçi seçilebilir (Chan ve Kumar, 2007).

Teknolojik gelişmişlik: Teknoloji, ilk önce müşteriyi memnun etmek ve takdirini kazanmak için bu rekabetçi dünyada çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Ayrıca, tedarikçilerin ürünlerin performansını artırmak için dış kaynaklı tasarım, mühendislik hizmeti, prototip geliştirme ve araştırma için daha fazla sorumluluk üstlenmeleri daha olasıdır. Tedarikçilerin iyi bir ürün üretmek için gelişmiş teknolojik ve Ar-Ge desteği sağlama kabiliyeti, küresel tedarikçi seçiminde büyük önem taşımaktadır (Chan ve Kumar, 2007).

4.1.1. Pisagor Bulanık AHP

Bu bölümde belirlenen tedarik zinciri risk kriter ağırlıklarının hesaplanması için karar verme sürecinde daha fazla tutarlılık sağlayan ÇNKV yaklaşımı olan Pisagor Bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır. İlk olarak ana kriterler olarak tanımlanan beş tedarikçinin ikili karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelge 3.8'de gösterilen dilsel değişkenler, karşılık gelen pisagor bulanık sayılara dönüştürülmüş ve karşılaştırma buna göre

yapılmıştır. Daha sonra uzmanların yaptığı değerlendirmelerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4.1’de, birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4.2’de, fark matrisi (D) ve aralıklı çarpım matrisi (S) sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te, kararlılık değeri (belirleyici değer matrisi) ve normalizasyon öncesi ağırlık matrisi sırasıyla Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmektedir. On risk kriterinin nihai önem ağırlıkları yukarıda bahsedilen yöntem adımları izlenerek Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Risk kriterlerinin ikili karşılaştırılması

Uzmanlar	Risk Kriterleri									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	KV1		ÇYÖ							
	KV2	-	ÇYÖ	*	*	*	*	*	*	*
	KV3		YÖ							
C2	KV1			OÜÖ	OAÖ	OÖ		OÖ	OAÖ	OÖ
	KV2		-	OÜÖ	OÖ	OÜÖ	*	OAÖ	OÖ	*
	KV3			OÜÖ	OÖ	OÜÖ		OÖ	OÖ	OÖ
C3	KV1	OÜÖ				OÖ			YÖ	OÖ
	KV2	OÜÖ	*	-	*	OÖ	*	*	YÖ	OÖ
	KV3	YÖ				OÖ			OÜÖ	OÖ
C4	KV1	YÖ		OÖ		OÖ		OAÖ		OÜÖ
	KV2	YÖ	*	OÜÖ	-	OAÖ	*	OÖ	*	OÜÖ
	KV3	YÖ		OÜÖ		OÖ		OÖ		YÖ
C5	KV1	OÜÖ								OÖ
	KV2	OÜÖ	*	*	*	-	*	*	*	OÜÖ
	KV3	YÖ								OÜÖ
C6	KV1	ÇYÖ	OÖ	YÖ	OÜÖ	YÖ		OÖ	OÜÖ	YÖ
	KV2	ÇYÖ	OÜÖ	OÜÖ	OÜÖ	OÜÖ	-	OÖ	OÜÖ	YÖ
	KV3	KYÖ	OÜÖ	OÜÖ	OÜÖ	OÜÖ		OAÖ	OÜÖ	OÖ
C7	KV1	YÖ		OÜÖ		OÖ				YÖ
	KV2	OÜÖ	*	OÖ	*	OAÖ	*	-	*	YÖ
	KV3	YÖ		OÜÖ		OÖ				OÜÖ
C8	KV1	YÖ			OÜÖ	OÜÖ		OÖ		ÇYÖ
	KV2	YÖ	*	*	OÜÖ	YÖ	*	OÖ	-	YÖ
	KV3	ÇYÖ			OÖ	YÖ		OAÖ		YÖ
C9	KV1	OÖ	YÖ							
	KV2	OÜÖ	OÜÖ	*	*	*	*	*	*	-
	KV3	OÜÖ	YÖ							*
C10	KV1	YÖ		OÜÖ	OAÖ	OÜÖ		OÜÖ		YÖ
	KV2	YÖ	*	YÖ	OÖ	OÜÖ		OÜÖ	*	YÖ
	KV3	ÇYÖ		OÜÖ	OÖ	OÜÖ		OÖ		YÖ

Çizelge 4.2. Uzmanların birleştirilmiş ikili karşılaştırma değerlendirmesi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	0.1900	0.1667	0.3000	0.2000	0.3000	0.0667	0.2500	0.1667	0.3833	0.1667
	0.1900	0.2500	0.4167	0.3500	0.4167	0.1333	0.3833	0.3000	0.4833	0.3000
	0.1900	0.7500	0.5833	0.6500	0.5833	0.8333	0.6167	0.7000	0.5167	0.7000
	0.1900	0.8667	0.7000	0.8000	0.7000	0.9333	0.7500	0.8333	0.6167	0.8333
C2	0.7500	0.1900	0.5500	0.4833	0.5167	0.3833	0.4833	0.4167	0.2500	0.4500
	0.8667	0.1900	0.6500	0.5833	0.6167	0.4833	0.5833	0.5167	0.3833	0.5500
	0.1667	0.1900	0.3500	0.4167	0.3833	0.5167	0.4167	0.4833	0.6167	0.4500
	0.2500	0.1900	0.4500	0.5167	0.4833	0.6167	0.5167	0.5833	0.7500	0.5500
C3	0.5833	0.3500	0.1900	0.3833	0.4500	0.3000	0.3833	0.2500	0.4500	0.3000
	0.7000	0.4500	0.1900	0.4833	0.5500	0.4167	0.4833	0.3833	0.5500	0.4167
	0.3000	0.5500	0.1900	0.5167	0.4500	0.5833	0.5167	0.6167	0.4500	0.5833
	0.4167	0.6500	0.1900	0.6167	0.5500	0.7000	0.6167	0.7500	0.5500	0.7000
C4	0.6500	0.4167	0.5167	0.1900	0.4833	0.3500	0.4833	0.3833	0.5833	0.4167
	0.8000	0.5167	0.6167	0.1900	0.5833	0.4500	0.5833	0.4833	0.7000	0.5167
	0.2000	0.4833	0.3833	0.1900	0.4167	0.5500	0.4167	0.5167	0.3000	0.4833
	0.3500	0.5833	0.4833	0.1900	0.5167	0.6500	0.5167	0.6167	0.4167	0.5833
C5	0.5833	0.3833	0.4500	0.4167	0.1900	0.3000	0.4167	0.2500	0.5167	0.3500
	0.7000	0.4833	0.5500	0.5167	0.1900	0.4167	0.5167	0.3833	0.6167	0.4500
	0.3000	0.5167	0.4500	0.4833	0.1900	0.5833	0.4833	0.6167	0.3833	0.5500
	0.4167	0.6167	0.5500	0.5833	0.1900	0.7000	0.5833	0.7500	0.4833	0.6500
C6	0.8333	0.5167	0.5833	0.5500	0.5833	0.1900	0.4833	0.5500	0.6500	0.4833
	0.9333	0.6167	0.7000	0.6500	0.7000	0.1900	0.5833	0.6500	0.8000	0.5833
	0.0667	0.3833	0.3000	0.3500	0.3000	0.1900	0.4167	0.3500	0.2000	0.4167
	0.1333	0.4833	0.4167	0.4500	0.4167	0.1900	0.5167	0.4500	0.3500	0.5167
C7	0.6167	0.4167	0.5167	0.4167	0.4833	0.4167	0.1900	0.4167	0.6167	0.3833
	0.7500	0.5167	0.6167	0.5167	0.5833	0.5167	0.1900	0.5167	0.7500	0.4833
	0.2500	0.4833	0.3833	0.4833	0.4167	0.4833	0.1900	0.4833	0.2500	0.5167
	0.3833	0.5833	0.4833	0.5833	0.5167	0.5833	0.1900	0.5833	0.3833	0.6167
C8	0.7000	0.4833	0.6167	0.5167	0.6167	0.3500	0.4833	0.1900	0.7000	0.4833
	0.8333	0.5833	0.7500	0.6167	0.7500	0.4500	0.5833	0.1900	0.8333	0.5833
	0.1667	0.4167	0.2500	0.3833	0.2500	0.5500	0.4167	0.1900	0.1667	0.4167
	0.3000	0.5167	0.3833	0.4833	0.3833	0.6500	0.5167	0.1900	0.3000	0.5167
C9	0.5167	0.6167	0.4500	0.3000	0.3833	0.2000	0.2500	0.1667	0.1900	0.2000
	0.6167	0.7500	0.5500	0.4167	0.4833	0.3500	0.3833	0.3000	0.1900	0.3500
	0.3833	0.2500	0.4500	0.5833	0.5167	0.6500	0.6167	0.7000	0.1900	0.6500
	0.4833	0.3833	0.5500	0.7000	0.6167	0.8000	0.7500	0.8333	0.1900	0.8000
C10	0.7000	0.4500	0.5833	0.4833	0.5500	0.4167	0.5167	0.4167	0.6500	0.1900
	0.8333	0.5500	0.7000	0.5833	0.6500	0.5167	0.6167	0.5167	0.8000	0.1900
	0.1667	0.4500	0.3000	0.4167	0.3500	0.4833	0.3833	0.4833	0.2000	0.1900
	0.3000	0.5500	0.4167	0.5167	0.4500	0.5833	0.4833	0.5833	0.3500	0.1900

Çizelge 4.3. Fark matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5					
C1	0	0	-0.7233	-0.5	-0.1666	-0.6	-0.6	-0.3	-0.4	-0.1666
C2	0.5	0.7233	0	0	0.1	0.3	-0.0333	0.1666	0.0333	0.2333
C3	0.1666	0.4	-0.3	0	0	0	-0.2333	-0.0333	-0.1	0.1
C4	0.3	0.6	-0.1666	0.0333	0.0333	0.2333	0	0	-0.0333	0.1666
C5	0.1666	0.4	-0.2333	-0.0333	-0.1	0.1	-0.1666	0.0333	0	0
C6	0.6766	0.8666	0.0333	0.2333	0.1666	0.4	0.1	0.3	0.1666	0.4
C7	0.2333	0.5	-0.1666	0.0333	0.0333	0.2333	-0.1666	0.0333	-0.0333	0.1666
C8	0.6666	-0.0333	-0.0933	0.2333	0.5	0.5	0.0333	0.2333	0.2333	0.5
C9	0.0333	0.2333	0.2333	0.5	-0.1	0.1	-0.4	-0.1666	-0.2333	-0.0333
C10	0.4	0.6666	-0.1	0.1	0.1666	0.4	-0.0333	0.1666	0.1	0.3

Çizelge 4.3. Devamı

	C6	C7	C8	C9	C10					
C1	-0.8666	-0.8533	-0.5	-0.6666	-0.4	-0.0333	-0.2333	-0.0333	-0.6666	-0.4
C2	-0.2333	-0.0333	-0.0333	0.1666	-0.1666	0.0333	-0.5	-0.2333	-0.1	0.1
C3	-0.4	-0.1666	-0.2333	-0.0333	-0.5	-0.2333	-0.1	0.1	-0.4	-0.1666
C4	-0.3	-0.1	-0.0333	0.1666	-0.2333	-0.0333	0.1666	0.4	-0.1666	0.0333
C5	-0.4	-0.1666	-0.1666	0.0333	-0.5	-0.2333	0.0333	0.2333	-0.3	-0.1
C6	0	0	-0.0333	0.1666	0.1	0.3	0.3	0.6	-0.0333	0.1666
C7	-0.1666	0.0333	0	0	-0.1666	0.0333	0.2333	0.5	-0.2333	-0.0333
C8	-0.3	-0.1	-0.0333	0.1666	0	0	0.4	0.6666	-0.0333	0.1666
C9	-0.6	-0.3	-0.5	-0.2333	-0.6666	-0.4	0	0	-0.6	-0.3
C10	-0.1666	0.0333	0.0333	0.2333	-0.1666	0.0333	0.3	0.5175	0	0

Çizelge 4.4. Aralıklı çarpım matrisi

	C1		C2		C3		C4		C5	
C1	1	1	0.082224	0.177828	0.562341	0.125893	0.125893	0.354813	0.251189	0.562341
C2	5.623413	12.16186	1	1	1.412538	2.818383	0.891251	1.778279	1.122018	2.238721
C3	1.778279	3.981072	0.354813	1	1	1	0.446684	0.891251	0.707946	1.412538
C4	2.818383	7.943282	0.562341	1.122018	1.122018	2.238721	1	1	0.891251	1.778279
C5	1.778279	3.981072	0.446684	0.891251	0.707946	1.412538	0.562341	1.122018	1	1
C6	10.35142	19.95262	1.122018	2.238721	1.778279	3.981072	1.412538	2.818383	1.778279	3.981072
C7	2.238721	5.623413	0.562341	1.122018	1.122018	2.238721	0.562341	1.122018	0.891251	1.778279
C8	10	0.891251	0.724436	2.238721	5.623413	5.623413	1.122018	2.238721	2.238721	5.623413
C9	1.122018	2.238721	2.238721	5.623413	0.707946	1.412538	0.251189	0.562341	0.446684	0.891251
C10	3.981072	10	0.707946	1.412538	1.778279	3.981072	0.891251	1.778279	1.412538	2.818383

Çizelge 4.4. Devamı

	C6		C7		C8		C9		C10	
C1	0.050119	0.052481	0.177828	0.1	0.251189	0.891251	0.446684	0.891251	0.1	0.251189
C2	0.446684	0.891251	0.891251	1.778279	0.562341	1.122018	0.177828	0.446684	0.707946	1.412538
C3	0.251189	0.562341	0.446684	0.891251	0.177828	0.446684	0.707946	1.412538	0.251189	0.562341
C4	0.354813	0.707946	0.891251	1.778279	0.446684	0.891251	1.778279	3.981072	0.562341	1.122018
C5	0.251189	0.562341	0.562341	1.122018	0.177828	0.446684	1.122018	2.238721	0.354813	0.707946
C6	1	1	0.891251	1.778279	1.412538	2.818383	2.818383	7.943282	0.891251	1.778279
C7	0.562341	1.122018	1	1	0.562341	1.122018	2.238721	5.623413	0.446684	0.891251
C8	0.354813	0.707946	0.891251	1.778279	1	1	3.981072	10	0.891251	1.778279
C9	0.125893	0.354813	0.177828	0.446684	0.1	0.251189	1	1	0.125893	0.354813
C10	0.562341	1.122018	1.122018	2.238721	0.562341	1.122018	2.818383	5.973791	1	1

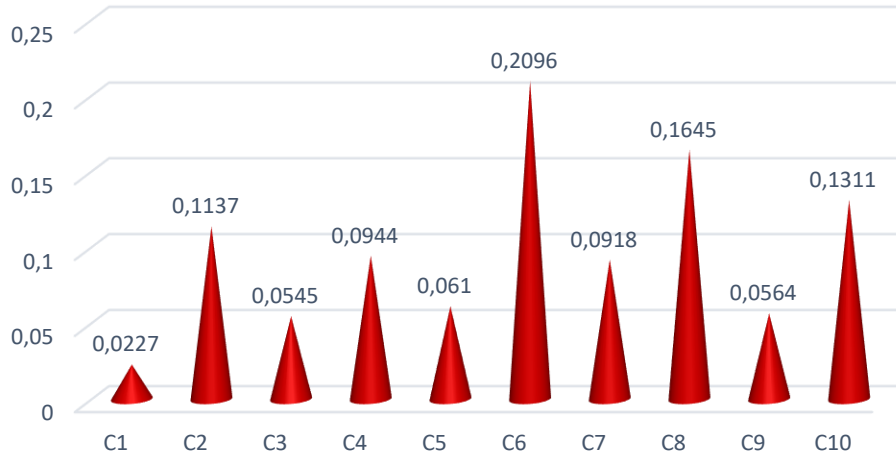
Çizelge 4.5. Kararlılık değeri matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1	0.776667	0.766667	0.7	0.766667	0.81	0.733333	0.733333	0.8	0.733333
C2	0.776667	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.733333	0.8
C3	0.766667	0.8	1	0.8	0.8	0.766667	0.8	0.733333	0.8	0.766667
C4	0.7	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.766667	0.8
C5	0.766667	0.8	0.8	0.8	1	0.766667	0.8	0.733333	0.8	0.8
C6	0.81	0.8	0.766667	0.8	0.766667	1	0.8	0.8	0.7	0.8
C7	0.733333	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.733333	0.8
C8	0.733333	0.8	0.733333	0.8	0.733333	0.8	0.8	1	0.733333	0.8
C9	0.8	0.733333	0.8	0.766667	0.8	0.7	0.733333	0.733333	1	0.7
C10	0.733333	0.8	0.766667	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	1

Çizelge 4.6. Normalizasyondan önce ağırlık matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1	0.100987	0.263823	0.168247	0.311853	0.041553	0.10187	0.418895	0.535174	0.128769
C2	6.906614	1	1.692368	1.067812	1.344296	0.535174	1.067812	0.673744	0.228988	0.848193
C3	2.207751	0.541925	1	0.535174	0.848193	0.311853	0.535174	0.228988	0.848193	0.311853
C4	3.766583	0.673744	1.344296	1	1.067812	0.425104	1.067812	0.535174	2.207751	0.673744
C5	2.207751	0.535174	0.848193	0.673744	1	0.311853	0.673744	0.228988	1.344296	0.425104
C6	12.27314	1.344296	2.207751	1.692368	2.207751	1	1.067812	1.692368	3.766583	1.067812
C7	2.882783	0.673744	1.344296	0.673744	1.067812	0.673744	1	0.673744	2.882783	0.535174
C8	3.993459	1.185263	4.123836	1.344296	2.882783	0.425104	1.067812	1	5.126393	1.067812
C9	1.344296	2.882783	0.848193	0.311853	0.535174	0.168247	0.228988	0.128769	1	0.168247
C10	5.126393	0.848193	2.207751	1.067812	1.692368	0.673744	1.344296	0.673744	3.077261	1

Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilen normalize edilmiş risk kriterlerinin nihai önem ağırlıkları Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kriterlerin nihai önem ağırlıkları

Şekil 4.2’de verilen risk kriterlerinin önem ağırlıklarına göre, en önemli risk kriteri % 20.96’lık bir oranla salgınlara karşı strateji oluşturma (C6) olmuştur. Bunu

sırasıyla % 16.45 ile ürün kalitesi (C8), % 13.11 teknolojik gelişmişlik (C10) ile % 11.37 ile lojistik (taşıma) (C2), % 9.44 ile proses uzmanlığı (C4), % 9.18 ile hatalı parça oranı (C7), % 6.1 ile organizasyonel yapı (C5), % 5.64 ile üretim hat esnekliği (C9), % 5.45 ile makine arıza (C3) takip etmiştir. En az önem ağırlığına sahip risk kriteri ise, % 2.27 ile kapasite esnekliği olmuştur.

4.1.2. Sezgisel Bulanık TOPSIS

Bu bölümde Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile hesaplanan risk kriter ağırlıkları Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemine entegre edilerek tedarikçilerin risk ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen risk kriterlerinin önem ağırlıklarına göre tedarikçilerin risk sıralaması da yapılmıştır. Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi aşağıda verilen adımlardan oluşmaktadır.

Adım 1: Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar vericilerin önem ağırlıklarını belirlemek için SBK2'lerle ifade edilen dilsel değişkenler kullanılarak karar vericilerin değerlendirilmesi yapılmış, k. karar vericinin ağırlığı Denklem (3.9)'daki formül kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmış ve Çizelge 4.7'de verilmiştir.

$$\lambda_{KV1} = \frac{0.90 + 0.05 \left(\frac{0.90}{0.90 + 0.05} \right)}{0.90 + 0.05 \left(\frac{0.90}{0.90 + 0.05} \right) + \left(0.75 + 0.05 \left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20} \right) \right) + \left(0.75 + 0.05 \left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20} \right) \right)} = 0.376$$

$$\lambda_{KV2} = \frac{0.75 + \left(0.05 \left(\frac{0.75}{0.95} \right) \right)}{0.90 + 0.05 \left(\frac{0.90}{0.90 + 0.05} \right) + \left(0.75 + 0.05 \left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20} \right) \right) + \left(0.75 + 0.05 \left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20} \right) \right)} = 0.312$$

$$\lambda_{KV3} = \frac{0.75 + \left(0.05 \left(\frac{0.75}{0.95} \right) \right)}{0.90 + 0.05 \left(\frac{0.90}{0.90 + 0.05} \right) + \left(0.75 + 0.05 \left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20} \right) \right) + \left(0.75 + 0.05 \left(\frac{0.75}{0.75 + 0.20} \right) \right)} = 0.312$$

Çizelge 4.7. Karar vericilerin değerlendirilmesi

KV1	KV2	KV3
Önemli	Oldukça Önemli	Önemli
0.376	0.312	0.312

Adım 2: Birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi

Karar vericilerin tedarikçilere yönelik yapmış oldukları değerlendirmeler birleştirilerek karar matrisi elde edilir. Üç karar verici tarafından Çizelge 3.10’da verilen dilsel değişkenler kullanılarak tedarikçilerin risk kriterleri bazında değerlendirilmesi Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tedarikçilerin risk kriterlerine göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

Tedarikçiler	Uzmanlar	Risk kriterleri									
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
S1	KV 1	ÇD	OY	OD	OY	OD	OY	OY	OD	OD	O
	KV 2	ÇD	OY	OD	OD	O	Y	Y	O	OD	OY
	KV 3	ÇD	O	OD	O	OY	OY	Y	OD	D	Y
S2	KV 1	D	OY	D	ÇD	D	OY	ÇD	D	OD	D
	KV 2	OD	OY	OD	D	OD	OD	ÇD	ÇD	OD	D
	KV 3	OD	OD	OD	D	D	OD	D	D	OD	D
S3	KV 1	OD	OD	OY	D	ÇD	OD	O	O	D	D
	KV 2	O	OD	OD	D	OD	O	OD	OD	ÇD	ÇD
	KV 3	OD	OD	OD	OD	OD	OD	OD	OD	ÇD	OD
S4	KV 1	O	D	OY	O	D	O	D	O	OD	OD
	KV 2	OD	D	OD	D	OD	OD	D	OY	D	O
	KV 3	O	OD	OD	D	O	OD	D	OY	OD	OD
S5	KV 1	OY	OD	OD	OD	O	OY	D	OY	OY	OD
	KV 2	Y	D	OD	OD	OD	OD	D	OY	OD	D
	KV 3	OY	D	D	OD	O	OY	OD	OY	O	OD

Tedarikçilerin risk kriterlerine göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesinin sezgisel bulanık sayı karşılıkları Çizelge 4.9’da; birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tedarikçilerin risk kriterlerine göre değerlendirilmesinin sezgisel bulanık sayı karşılıkları

Tedarikçi	Uzmanlar	Risk kriterleri														
		C1			C2			C3			C4			C5		
S1	KV1	0.1	0.9	0	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05
	KV2	0.1	0.9	0	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.5	0.45	0.05
	KV3	0.1	0.9	0	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05	0.5	0.45	0.05	0.65	0.25	0.1
S2	KV1	0.25	0.75	0	0.65	0.25	0.1	0.25	0.75	0	0.1	0.9	0	0.25	0.75	0
	KV2	0.4	0.55	0.05	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.4	0.55	0.05
	KV3	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.25	0.75	0
S3	KV1	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.65	0.25	0.1	0.25	0.75	0	0.25	0.75	0
	KV2	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.1	0.9	0
	KV3	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05
S4	KV1	0.5	0.45	0.05	0.25	0.75	0	0.65	0.25	0.1	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05
	KV2	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.25	0.75	0
	KV3	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.4	0.55	0.05
S5	KV1	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.5	0.45	0.05
	KV2	0.85	0.1	0.05	0.25	0.75	0	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05
	KV3	0.65	0.25	0.1	0.25	0.75	0	0.25	0.75	0	0.4	0.55	0.05	0.5	0.45	0.05

Çizelge 4.9. Devamı

Tedarikçiler	Uzmanlar	Risk kriterleri														
		C6			C7			C8			C9			C10		
S1	KV1	0.65	0.25	0.1	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.5	0.45	0.05
	KV2	0.65	0.25	0.1	0.85	0.1	0.05	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05	0.65	0.25	0.1
	KV3	0.65	0.25	0.1	0.85	0.1	0.05	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.85	0.1	0.05
S2	KV1	0.65	0.25	0.1	0.1	0.9	0	0.25	0.75	0	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0
	KV2	0.4	0.55	0.05	0.1	0.9	0	0.1	0.9	0	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0
	KV3	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.25	0.75	0	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0
S3	KV1	0.4	0.55	0.05	0.5	0.45	0.05	0.5	0.45	0.05	0.25	0.75	0	0.25	0.75	0
	KV2	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.1	0.9	0	0.1	0.9	0
	KV3	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05	0.1	0.9	0	0.4	0.55	0.05
S4	KV1	0.5	0.45	0.05	0.25	0.75	0	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05
	KV2	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.65	0.25	0.1	0.25	0.75	0	0.5	0.45	0.05
	KV3	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.4	0.55	0.05
S5	KV1	0.65	0.25	0.1	0.25	0.75	0	0.65	0.25	0.1	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05
	KV2	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0
	KV3	0.65	0.25	0.1	0.4	0.55	0.05	0.65	0.25	0.1	0.5	0.45	0.05	0.4	0.55	0.05

Çizelge 4.10. Birleştirilmiş karar matrisi

	Risk kriterleri														
	C1			C2			C3			C4			C5		
S1	0.1	0.9	0	0.6023	0.3136	0.0841	0.4	0.55	0.05	0.5228	0.409	0.0682	0.5113	0.4228	0.0659
S2	0.3454	0.6228	0.0318	0.5705	0.3454	0.0841	0.3454	0.6228	0.0318	0.1954	0.8046	0	0.2977	0.6864	0.0159
S3	0.4318	0.5182	0.05	0.4	0.55	0.05	0.491	0.4408	0.0682	0.3454	0.6228	0.0318	0.25	0.7341	0.0159
S4	0.4682	0.4818	0.05	0.2977	0.6864	0.0159	0.491	0.3498	0.0682	0.341	0.6408	0.0182	0.3523	0.6136	0.0341
S5	0.7136	0.2023	0.0841	0.3046	0.6772	0.0182	0.3523	0.6136	0.0341	0.4	0.55	0.05	0.4682	0.4818	0.05

Çizelge 4.10. Devamı

	Risk kriterleri														
	C6			C7			C8			C9			C10		
S1	0.65	0.25	0.1	0.7772	0.1546	0.0682	0.4318	0.5182	0.05	0.3523	0.6136	0.0341	0.659	0.2751	0.0659
S2	0.491	0.4408	0.0682	0.1477	0.8523	0	0.2023	0.7977	0	0.4	0.55	0.05	0.25	0.75	0
S3	0.4318	0.5182	0.05	0.4364	0.5136	0.05	0.4364	0.5136	0.05	0.1546	0.8454	0	0.25	0.7341	0.0159
S4	0.4364	0.5136	0.05	0.25	0.75	0	0.5954	0.3228	0.0818	0.3523	0.6136	0.0341	0.4318	0.5182	0.05
S5	0.5705	0.3454	0.0841	0.2977	0.6864	0.0159	0.65	0.25	0.1	0.5228	0.409	0.0682	0.3523	0.6136	0.0341

Adım 3: Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar probleminde kriter ağırlıkları farklılık göstermektedir. Kriterlerin önem ağırlıkları her bir karar verici için farklı seviyelerde olmaktadır. Bu çalışmada risk kriterlerinin önem ağırlıkları Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilmiş ve Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kriterlerin önem ağırlıkları

w_i	0.0227	0.1137	0.0545	0.0944	0.061	0.2096	0.0918	0.1645	0.0564	0.1311
-------	--------	--------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	--------	--------

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Sezgisel bulanık kümelerde tanımlanan çarpım operatörü kullanılarak ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

	Risk Kriterleri														
	C1			C2			C3			C4			C5		
S1	0.0023	0.9023	0.0955	0.0685	0.3917	0.5398	0.0218	0.5745	0.4036	0.0494	0.4648	0.4858	0.0312	0.4580	0.5107
S2	0.0079	0.6314	0.3608	0.0649	0.4199	0.5153	0.0188	0.6434	0.3378	0.0185	0.8231	0.1585	0.0182	0.7055	0.2763
S3	0.0098	0.5292	0.4610	0.0455	0.6012	0.3533	0.0558	0.4713	0.5019	0.0326	0.6584	0.3089	0.0153	0.7503	0.2344
S4	0.0106	0.4936	0.4958	0.0339	0.7221	0.2441	0.0558	0.3853	0.5879	0.0322	0.6747	0.2931	0.0215	0.6372	0.3413
S5	0.0162	0.9023	0.7633	0.0346	0.7139	0.2514	0.0401	0.6347	0.3461	0.0378	0.5925	0.3697	0.0286	0.5134	0.4580

Çizelge 4.12. Devamı

	Risk Kriterleri														
	C6			C7			C8			C9			C10		
S1	0.1363	0.4072	0.4565	0.0714	0.2322	0.6964	0.0710	0.5974	0.3315	0.0199	0.6354	0.3448	0.0864	0.3701	0.5435
S2	0.1029	0.5580	0.3390	0.0136	0.8659	0.1206	0.0333	0.8310	0.1358	0.0226	0.5754	0.4021	0.0328	0.7828	0.1845
S3	0.0905	0.6192	0.2903	0.0401	0.5583	0.4016	0.0718	0.5936	0.3346	0.0087	0.8541	0.1372	0.0328	0.7690	0.1983
S4	0.0915	0.6156	0.2929	0.0230	0.7730	0.2041	0.0979	0.4342	0.4679	0.0199	0.6354	0.3448	0.0566	0.5814	0.3620
S5	0.1196	0.4826	0.3978	0.0273	0.7152	0.2575	0.1069	0.3733	0.5198	0.0295	0.4423	0.5282	0.0462	0.6643	0.2896

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm (A^*) Denklem (3.28) ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm (A^-) Denklem (3.29) kullanılarak hesaplanmış ve sırasıyla Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm (A^*)

r1*	0.0162	0.4936	0.4902
r2*	0.0685	0.3917	0.5398
r3*	0.0558	0.3853	0.5589
r4*	0.0494	0.4648	0.4858
r5*	0.0312	0.4580	0.5107
r6*	0.1363	0.4072	0.4565
r7*	0.0714	0.2322	0.6964
r8*	0.1069	0.3733	0.5198
r9*	0.0295	0.4423	0.5282
r10*	0.0864	0.3701	0.5435

Çizelge 4.14. Negatif sezgisel bulanık ideal çözüm (A^-)

r1 ⁻	0.0023	0.9023	0.0955
r2 ⁻	0.0339	0.7221	0.2441
r3 ⁻	0.0188	0.6434	0.3378
r4 ⁻	0.0185	0.8231	0.1585
r5 ⁻	0.0153	0.7503	0.2344
r6 ⁻	0.0905	0.6192	0.2903
r7 ⁻	0.0136	0.8659	0.1206
r8 ⁻	0.0333	0.8310	0.1358
r9 ⁻	0.0087	0.8541	0.1372
r10 ⁻	0.0328	0.7828	0.1845

Adım 6. Pozitif ve negatif ayırım ölçülerinin hesaplanması

Sezgisel bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerden her bir alternatifle ilişkili ayırım ölçüleri, Denklem (3.30) ve Denklem (3.31) kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.15'te verilmiştir. Her bir alternatif için yakınlık katsayısı Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Pozitif ayırım ölçüleri (S_{i+}) ve negatif ayırım ölçüleri (S_{i-})

Tedarikçiler	S_{i+}	S_{i-}
S1	0.1646	0.3085
S2	0.3146	0.1529
S3	0.2530	0.1843
S4	0.2352	0.2207
S5	0.2412	0.2678

Çizelge 4.16. Her bir alternatif için yakınlık katsayısı

Tedarikçiler	C_i^*	Normalize Değer
S1	0.6521	0.2705
S2	0.3271	0.1337
S3	0.4215	0.1748
S4	0.4841	0.2008
S5	0.5262	0.2183

Her bir tedarikçi için hesaplanan yakınlık katsayıları daha sonra normalize edilmiştir. Normalize edilen değerler her bir tedarikçinin risk ağırlığını göstermektedir.

4.1.3. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı

Çizelge 4.8’de verilen tedarikçilerin dilsel değerlendirilmeleri Çizelge 3.11 ‘de verilen yamuk aralık tip-2 bulanık sayılara dönüştürülmüş ve elde edilen bu yamuk bulanık sayıların aritmetik ortalaması alınmıştır. Daha sonra Denklem (3.15) kullanılarak durulaştırma işlemi yapılmış ve kesin değerler elde edilmiştir.

Pisagor Bulanık AHP’den elde edilen Çizelge 4.9’da gösterilen w_j kriter ağırlıkları ile Ek 1’de verilen durulaştırılmış i . tedarikçinin j . kriterine göre değerlendirme oranları çarpımının aritmetik ortalaması bize her bir tedarikçinin risk ağırlığını vermiştir. Ortalamalar normalize edilmiş ve büyükten küçüğe sıralanmıştır. Excelde yapılan bu hesaplamaların sonucu Çizelge 4.17’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.17. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımının sonuçları

C1 S1	C2 S1	C3 S1	C4 S1	C5 S1	C6 S1	C7 S1	C8 S1	C9 S1	C10 S1	Ort.
0.1083	0.6175	0.2925	0.4875	0.4792	0.6800	0.8000	0.3575	0.2367	0.5525	0.0525
C1 S2	C2 S2	C3 S2	C4 S2	C5 S2	C6 S2	C7 S2	C8 S2	C9 S2	C10 S2	Ort.
0.3575	0.5525	0.2367	0.1083	0.1808	0.4225	0.1640	0.1083	0.2925	0.1250	0.0259
C1 S3	C2 S3	C3 S3	C4 S3	C5 S3	C6 S3	C7 S3	C8 S3	C9 S3	C10 S3	Ort.
0.4225	0.2925	0.4225	0.1808	0.2200	0.3575	0.3575	0.3575	0.0917	0.1642	0.0290
C1 S4	C2 S4	C3 S4	C4 S4	C5 S4	C6 S4	C7 S4	C8 S4	C9 S4	C10 S4	Ort.
0.4225	0.1808	0.4225	0.2458	0.3017	0.3575	0.1250	0.6175	0.2367	0.3575	0.0343
C1 S5	C2 S5	C3 S5	C4 S5	C5 S5	C6 S5	C7 S5	C8 S5	C9 S5	C10 S5	Ort.
0.7413	0.1808	0.2367	0.2925	0.4225	0.5525	0.1808	0.6825	0.4875	0.2319	0.0406
w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	
0.0227	0.1137	0.0546	0.0945	0.0611	0.2096	0.0918	0.1645	0.0564	0.1311	

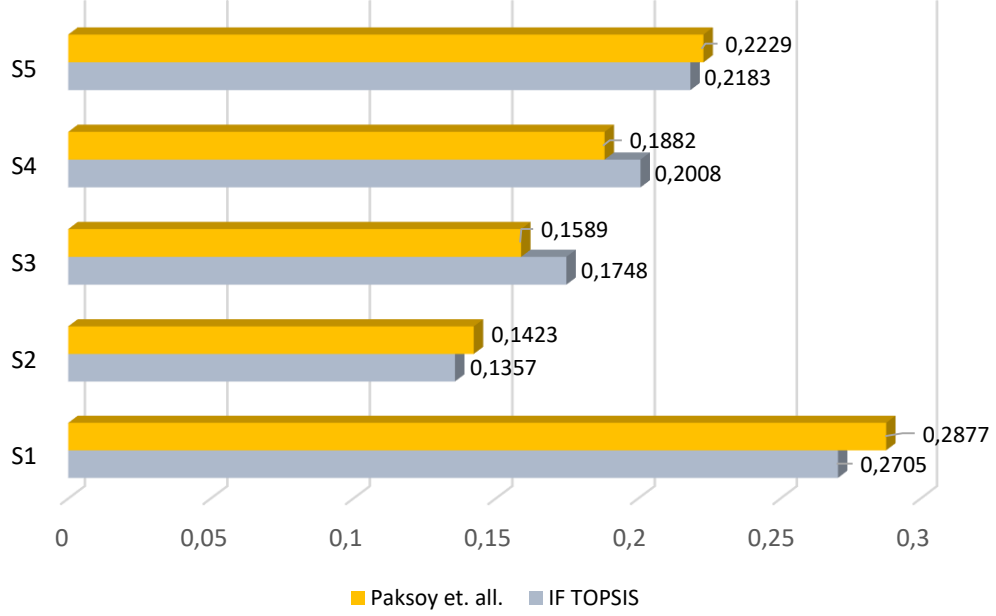
Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.18 ve 4.19’da verilmiştir. İki yöntemin sonuçlarının sütun grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Sezgisel Bulanık TOPSIS sonuçları

Alternatifler	CCi	Normalizasyon	Sıralama
S1	0.6521	0.2705	1
S2	0.3271	0.1357	5
S3	0.4215	0.1748	4
S4	0.4841	0.2008	3
S5	0.5262	0.2183	2

Çizelge 4.19. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımının sonuçları

Alternatifler	Ortalama	Normalizasyon	Sıralama
S1	0.0525	0.2877	1
S2	0.0259	0.1423	5
S3	0.0290	0.1589	4
S4	0.0343	0.1882	3
S5	0.0406	0.2229	2



Şekil 4.3. İki yöntemin sonuçlarının sütun grafiği

Sütun grafiğinde iki yöntemin sonuçlarına baktığımız zaman Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminin ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımının ağırlık değerlerinin birbirine çok yakın ve sıralamalarının aynı olduğunu görmekteyiz. Riskli tedarikçi sıralaması $S1 > S5 > S4 > S3 > S2$ şeklinde olmuştur. İki yöntemin de birbiriyle uyumlu sonuçlar ortaya çıkarması yapılan analizin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Pisagor Bulanık AHP ve Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntem sonuçlarına göre tedarikçi risk ağırlık değerlerindeki değişimlere bakılarak çözümün değerlendirme süreci ve sıralaması üzerinde nasıl bir etki gösterdiğini anlamak için duyarlılık analizi yapılır. Çözümlerin sağlamlığını kontrol etmek için Mangla ve ark. (2015) ile Prakash ve Barua (2015) tarafından önerilen duyarlılık analizi yaklaşımı kullanılmıştır.

Tedarikçilerin sıralamasındaki varyasyonu kontrol etmek için tüm kriterler arasında önem ağırlığı en yüksek olan risk kriteri seçilip (bu durumda C6) ve 0.1'den 0.9'a kadar ağırlık değerleri verilmiştir. Buna uygun olarak da diğer tüm kriterlerin ağırlıkları değiştirilmiştir. Çizelge 4.20, dokuz farklı senaryoda risk kriterlerinin şimdiki ağırlıkları ve C6 risk kriterinin ağırlık değerinin 0.1'den 0.9'a değiştiğinde diğer kriterlere karşılık gelen ağırlıklarını göstermektedir.

Çizelge 4.20. C6 kriterine göre tüm kriterlerin ağırlık değerleri

Kriter	Normalize Ağırlık	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8	Senaryo 9
C1	0.0227	0.0258	0.0230	0.0201	0.0172	0.0144	0.0115	0.0086	0.0057	0.0029
C2	0.1137	0.1295	0.1151	0.1007	0.0863	0.0719	0.0575	0.0432	0.0288	0.0144
C3	0.0545	0.0621	0.0552	0.0483	0.0414	0.0345	0.0276	0.0207	0.0138	0.0069
C4	0.0944	0.1075	0.0955	0.0836	0.0717	0.0597	0.0478	0.0358	0.0239	0.0119
C5	0.0610	0.0695	0.0617	0.0540	0.0463	0.0386	0.0309	0.0232	0.0154	0.0077
C6	0.2096	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.5000	0.6000	0.7000	0.8000	0.9000
C7	0.0918	0.1045	0.0929	0.0813	0.0697	0.0581	0.0465	0.0348	0.0232	0.0116
C8	0.1644	0.1872	0.1664	0.1456	0.1248	0.1040	0.0832	0.0624	0.0416	0.0208
C9	0.0564	0.0642	0.0571	0.0499	0.0428	0.0357	0.0285	0.0214	0.0143	0.0071
C10	0.1311	0.1493	0.1327	0.1161	0.0995	0.0829	0.0663	0.0498	0.0332	0.0166

Tüm risk kriterlerinin ağırlıkları senaryo bazında elde edildikten sonra, Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemine ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımına entegre edilmiştir. Tedarikçilerin risk ağırlıkları dokuz farklı senaryo altında hesaplanmış ve sıralanmıştır. Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminde tedarikçi risk sıralaması her senaryoda aynı kalmış, risk ağırlıklarında çok az değişiklikler olmuştur. Çizelge 4.21’de Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminin duyarlılık analizi sonuçları, belirlenen tedarikçilerin risk ağırlıklarına duyarlı olduğunu göstermiştir. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımında ise S1 ve S5 tedarikçiler sıralamada aynı kalmış S2, S3 ve S4 tedarikçilerinin önem sırası Senaryo 5’ten itibaren değişiklik göstermiştir. Çizelge 4.22’de Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımının duyarlılık analizi sonuçları ise, belirlenen tedarikçilerin risk ağırlıklarına kısmen duyarlı olduğunu göstermiştir.

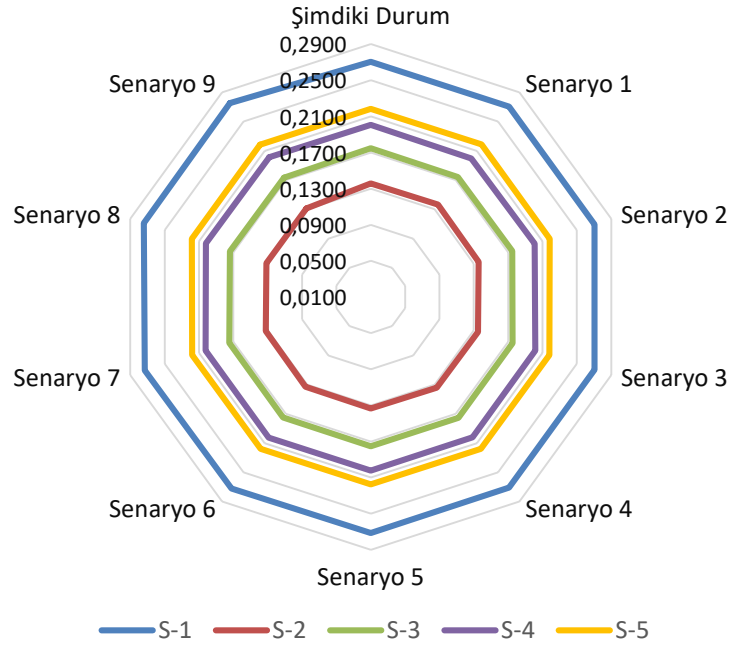
Çizelge 4.21. Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminde her senaryo için tedarikçi önem ağırlıkları

Tedarikçiler	Şimdiki Durum	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8	Senaryo 9
S1	0.2705	0.2708	0.2705	0.2705	0.2708	0.2713	0.2721	0.2731	0.2743	0.2756
S2	0.1357	0.1366	0.1358	0.1350	0.1342	0.1335	0.1328	0.1322	0.1316	0.1310
S3	0.1748	0.1741	0.1748	0.1752	0.1754	0.1753	0.1751	0.1747	0.1741	0.1734
S4	0.2008	0.1996	0.2007	0.2015	0.2020	0.2023	0.2023	0.2022	0.2019	0.2014
S5	0.2183	0.2189	0.2183	0.2179	0.2177	0.2176	0.2177	0.2179	0.2182	0.2186

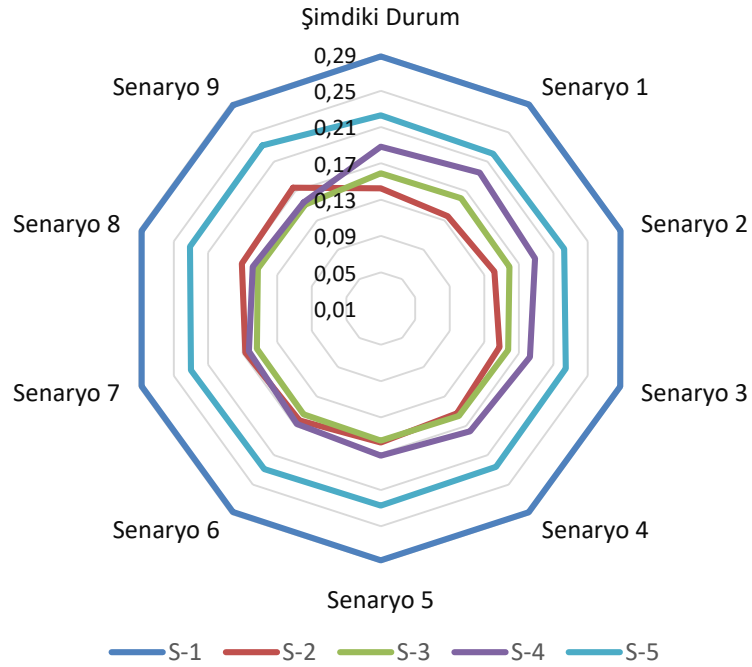
Çizelge 4.22. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımında her senaryo için tedarikçi önem ağırlıkları

Tedarikçiler	Şimdiki Durum	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8	Senaryo 9
S1	0.2877	0.2879	0.2877	0.2876	0.2875	0.2874	0.2873	0.2872	0.2871	0.2870
S2	0.1423	0.1356	0.1418	0.1475	0.1528	0.1578	0.1624	0.1668	0.1708	0.1747
S3	0.1589	0.1604	0.1590	0.1577	0.1565	0.1554	0.1544	0.1534	0.1525	0.1517
S4	0.1882	0.1952	0.1888	0.1828	0.1773	0.1721	0.1673	0.1628	0.1586	0.1546
S5	0.2229	0.2209	0.2227	0.2243	0.2259	0.2273	0.2286	0.2298	0.2310	0.2321

Şekil 4.4 ve 4.5'te ise elde edilen duyarlılık analizi sonuçlarının radar grafiği verilmektedir.



Şekil 4.4. Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi için duyarlılık analizi sonuçları



Şekil 4.5. Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımı için duyarlılık analizi sonuçları

4.2. Tedarik Zincirinin Çok Amaçlı Optimizasyonu ve Çözüm Sonuçları

Hiçbir tedarikçi alıcı firmanın bütün ihtiyacını karşılayamaz. Firma tedarikçisinin kapasite eksikliğini karşılamak için talebin bir kısmını bir tedarikçiden diğer kısmını da başka bir tedarikçiden satın alması gerekir. Bu çalışmasının ikinci bölümünde belirli amaçlar ve kısıtlar altında hangi üründen hangi tedarikçi/tedarikçilerden ne kadar ürün satın alınacağı belirlenmiştir. Bunu yapmak için nicel yöntemlerden yaygın olarak kullanılan matematiksel modeller tercih edilmiştir. Uygulama yapılan firma için TZY’nde birden çok ve aralarında çelişen amaçları ve litetatürde tedarik zinciri problemlerinde sıklıkla kullanılan çok amaçlı çerçeve de göz önünde bulundurularak çok amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model miktar indirimli, çok ürünlü ve çok tedarikçili olarak ele alınmıştır. Önerilen çözüm yöntemleri ile GAMS IDE 34/CPLEX paket programında kodlanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir.

4.2.1. Önerilen Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama modeli ve çözüm sonuçları

Önerilen ÇATDP modeli her amaca göre ayrı ayrı çözülmüştür, pozitif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler tablosu (ödünleşme matrisi) elde edilmiştir ve Çizelge 4.23’te verilmiştir. Çizelge 4.23’ün köşegen değerleri her bir amacın en iyi değerini göstermektedir.

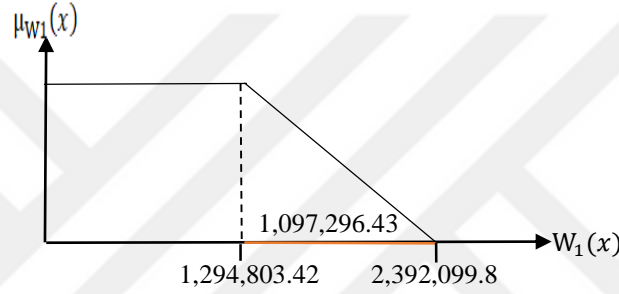
Çizelge 4.23. Pozitif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler

	W_1	W_2	Z_1
W_1	1294803.42	1974.5272	9259.20
W_2	1385077.155	1652.9147	9104.80
Z_1	2392099.855	3468.6975	15791.75

Pozitif ideal çözüm kümesi $I^U = (1,294,803.42 ; 1652.9147; 15791.75)$ ’den oluşmaktadır. Her bir amaç için çözüldüğünde amaçların pozitif ideal çözümleri karar değişkenlerinin farklı değerlerinde gerçekleştiği için uygun çözüm bulunamamıştır. Bu sebeple seçilen yöntemlere göre önerilen ÇATDP modelinin çözümleri aşağıda verilmiştir.

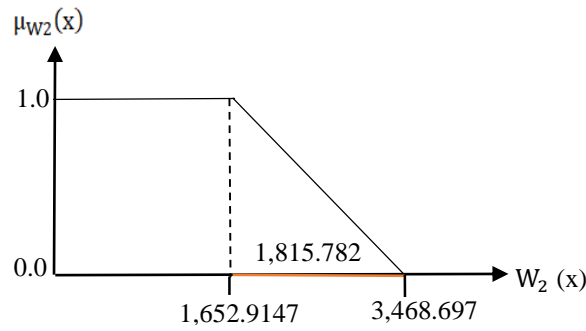
4.2.2. Önerilen Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli ve çözüm sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde birden fazla, birbiriyle çatışan ve ihtilafli amaçlara sahip bir üretim probleminin bulanık karar ortamında çözümü yapılmıştır. Önerilen ÇATDP modelinin çözümü ile elde edilen üstün olmayan çözümler (ödünleşme matrisi) tablosunda yer alan, her bir amaç fonksiyonu için en iyi ve en kötü değerler kullanılarak bulanık üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Her bir amacın değerini gösteren $W_1(x)$, $W_2(x)$ ve $Z_1(x)$ için üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.



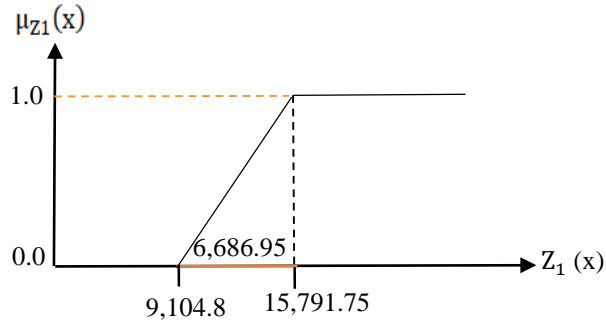
Şekil 4.6. $W_1(x)$ için üyelik fonksiyonu

$$\mu_{W_1}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad W_1(x) \leq 1294803.42 \\ \frac{2392099.85 - W_1(x)}{1097296.43} & , \quad 1294803.42 \leq W_1(x) \leq 2392099.85 \\ 0 & , \quad W_1(x) \geq 2392099.85 \end{cases}$$



Şekil 4.7. $W_2(x)$ için üyelik fonksiyonu

$$\mu_{W_2}(x) = \begin{cases} 1 & , W_2(x) \leq 1,652.9147 \\ \frac{3,468.697 - W_2(x)}{1,815.782} & , 1,652.9147 \leq W_2(x) \leq 3,468.697 \\ 0 & , W_2(x) \geq 3,468.697 \end{cases}$$



Şekil 4.8. $Z_1(x)$ için üyelik fonksiyonu

$$\mu_{Z_1}(x) = \begin{cases} 1 & , Z_1(x) \geq 15,791.750 \\ \frac{Z_1(x) - 9,104.80}{6,686.95} & , 9,104.80 \leq Z_1(x) \leq 15,791.750 \\ 0 & , Z_1(x) \leq 9,104.80 \end{cases}$$

Bu üyelik fonksiyonlarına göre önerilen ÇATDP modeli, Bulanık ÇATDP modeline dönüştürülmüştür. Bulanık ÇATDP modelinin hedef kısıtları bulanıklaştırılmış Faz I olarak tanımlanmış ve Model (4.1)'de verilmiştir.

Faz I

Max λ

Kısıtlar

$$\frac{2,392,099.85 - W_1(x)}{1,097,296.43} \geq \lambda \quad (4.1)$$

$$\frac{3,468.697 - W_2(x)}{1,815.782} \geq \lambda$$

$$\frac{Z_1(x) - 9,104.8}{6,686.95} \geq \lambda$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar.

Model (4.1)'de verilen bulanıklaştırılmış hedef kısıtları düzenlenerek Model (4.2)'de gösterilen Bulanık ÇATDP modeli elde edilmiştir.

Faz I

Max λ

Kısıtlar

$$\frac{2,392,099.85 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk}}{1,097,296.43} \geq \lambda \quad (4.2)$$

$$\frac{3,468.697 - \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk}}{1815.782} \geq \lambda$$

$$\frac{\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 9,104.8}{6,686.95} \geq \lambda$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar.

Model (4.2)'nin çözümünden elde edilen optimal sipariş miktarları Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Bulanık ÇATDP Faz I modeli optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J2	K2	800
	J3	K1	220
	J4	K1	196
	J5	K1	136
Ürün-2	J3	K2	400
	J4	K2	400
	J5	K3	1,606
Ürün-3	J1	K2	773
	J2	K2	800
	J3	K1	220
	J4	K1	148
Ürün-4	J2	K2	800
	J3	K3	800
	J4	K3	2,010
	J5	K2	658
Ürün-5	J2	K3	975
	J3	K3	2,320
	J4	K1	296

Ayrıca değişken değerlerine (elde edilen sipariş miktarları) göre her bir amaç fonksiyonunun değeri (W_1, W_2, Z_1) ve modelin tatminkârlık derecesi (λ) Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Bulanık ÇATDP model sonuçları

λ	W_1	W_2	Z_1
0.5253	1,814,975.35	0.1854	0.9306

Faz I'de modelin tatminkârlık (üyelik) derecesi elde edildikten sonra her bir amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu kullanarak Denklem (3.51) ve Denklem (3.52)'deki formüller yardımıyla amaçların üyelik dereceleri belirlenmiş ve aşağıda gösterilmiştir.

$$W_1 \text{ için ; } \frac{2,392,099.85 - (1,814,975.35)}{1,097,296.43} = \lambda \rightarrow \lambda = 0.5259$$

$$W_2 \text{ için; } \frac{3,468.697 - (2,514.644)}{1,815.782} = \lambda \rightarrow \lambda = 0.5254$$

$$Z_1 \text{ için; } \frac{12,617.45 - 9,104.8}{6,686.95} = \lambda \rightarrow \lambda = 0.5253$$

Faz II

Bulanık ÇATDP probleminde Zimmermann (1978) yaklaşımında (Faz I) üstün olmayan çözümlerin elde edilmesi garanti edilmez. Bu sebeple Faz I'deki sonucu test etmek için Faz II'ye geçiş yapılmıştır. Her bir amaç fonksiyonunun üyelik derecesi, elde edilen üyelik derecelerinden minimum olanı ile sınırlandırılmıştır. Buna göre Model (4.2), aşağıda verilen Model (4.3)'deki gibi düzenlenmiştir.

$$\text{Max } Z = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}{3}$$

Kısıtlar

$$\frac{2,392,099.85 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk}}{1,097,296.43} \geq \lambda_1 \quad (4.3)$$

$$\frac{3,468.697 - \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk}}{1,815.782} \geq \lambda_2$$

$$\frac{\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 9,104.80}{6,686.95} \geq \lambda_3$$

$$\lambda_1 \geq 0.5253$$

$$\lambda_2 \geq 0.5253$$

$$\lambda_3 \geq 0.5253$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar.

Model (4.3)'ün çözümünden elde edilen optimal sipariş miktarları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Bulanık ÇATDP Faz II optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K3	1087
	J5	K1	136
Ürün-2	J3	K3	1385
	J5	K3	1061
Ürün-3	J3	K3	1087
	J5	K1	136
Ürün-4	J1	K2	773
	J2	K3	2851
	J3	K2	441
	J4	K3	2195
Ürün-5	J2	K2	524
	J4	K3	855
	J5	K3	1067

Faz II'den elde edilen Bulanık ÇATDP modelinin sonuçları Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Bulanık ÇATDP Faz II sonuçları

λ	λ_1	λ_2	λ_3	W_1	W_2	Z_1
0.632829	0.8478	0.5254	0.5253	1,461,597	0.1849	0.9278

Bulanık ÇATDP Faz I ile Faz II modelinin sonuçlarını karşılaştırdığımızda Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.26'da verilen her bir ürün için seçilen tedarikçiler, seçilen indirim aralıkları ve sipariş tahsisinde değişiklik gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen amaç fonksiyonları W_2 ve Z_1 değerleri için aynı kalmış, W_1 değerinde iyileşme meydana gelmiştir. Bu durum tatminkarlık derecelerinde de görülmektedir. λ_2 ve λ_3 değerleri hemen hemen aynı kalırken λ_1 değeri büyük oranda yükselmiş ve iyileşme göstermiştir.

Faz I de elde edilen çözüm Faz II de elde edilen çözüm ile aynıysa çözüm tektir ve üstün olmayan çözümlere göre optimaldir. Eğer Faz II'de iyileştirme yapılabilirse, Faz I 'de elde edilen çözüm etkin olmayan çözümdür. Faz II 'de elde edilen çözüm ise

üstün olmayan çözümlere göre optimal çözümdür. Bu tanımdan yola çıkarak Zimmermann (1978) yaklaşımı ile elde edilen Faz I çözümü etkin olmayan çözümdür diyebiliriz. Lee ve Li (1993) yaklaşımı olan Faz II’de elde edilen çözüm ise üstün olmayan çözümlere göre optimaldir.

4.2.3. Önerilen Ağırlıklı Hedef Programlama ve çözüm sonuçları

Bu çalışmada önerilen Ağırlıklı Hedef Programlama modelinde, tedarik zinciri toplam maliyetleri minimizasyonu, tedarikçilerin risk ağırlıklarının minimizasyonu ve tedarikçilerin teslimat performansı maksimizasyonu olarak belirlenen üç hedef değerden sapmaların en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Önerilen Ağırlıklı Hedef Programlama Modeli (4.4) ‘de verilmiştir. Burada, hedeflerin aynı birim cinsinden olması için Hwang ve Masud (1979) normalizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Hedeflerin tercih ağırlıkları eşit alınmıştır.

$$\text{Min } Z = 0.33 * \left(\frac{n_1 + p_1}{1,097,296.435} \right) + 0.33 * \left(\frac{n_2 + p_2}{1,815.7828} \right) + 0.33 * \left(\frac{n_3 + p_3}{6,686.95} \right)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + n_1 - p_1 = 1,294,803.42 \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + n_2 - p_2 = 1,652.9147$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Y_{ijk} + n_3 - p_3 = 15,791.750$$

ÇATDP’deki (3.37)-(3.50) kısıtlar.

Model (4.4)’ün çözümünden elde edilen karar değişkenleri ve bunların değerleri Çizelge 4.28’de, elde edilen amaç fonksiyon değerleri ise Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.28. Ağırlıklı Hedef Programlama optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K3	1,075
	J4	K1	148
Ürün-2	J3	K3	1,050
	J4	K3	1,396
Ürün-3	J3	K3	1,075
	J4	K1	148
Ürün-4	J2	K3	2,575
	J4	K1	296
Ürün-5	J2	K3	800
	J3	K3	800
	J4	K3	846

Çizelge 4.29. Ağırlıklı Hedef Programlama sonuçları

Z_{\min}	p_1	p_2	n_3	W_1	W_2	Z_1
0.338653	43.454.855	85.34	6.283.2	1.338.055	0.1703	0.9314

d_{\min} , hedeflerden toplam sapma miktarını; p_1 , birinci hedeften negatif sapma miktarını; p_2 , ikinci hedeften negatif sapma miktarını; n_3 , üçüncü hedeften pozitif sapma miktarını göstermektedir.

4.2.4. Önerilen Minmax Hedef Programlama ve çözüm sonuçları

Önerilen Minmax Hedef Programlama Modeli (4.5) 'de verilmiştir. Hedefler ayrı ayrı gösterilmiş ve öncelik sıralaması yapılmaksızın geleneksel simpleks algoritması kullanılarak çözüm yapılmıştır.

Min D

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} - p_1 = 1,294,803.42$$

$$p_1 \leq 1,097,296.435 * D$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} - p_2 = 1,652.9147 \quad (4.5)$$

$$p_2 \leq 1,815.78 * D$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Y_{ijk} + n_1 = 15,791.750$$

$$n_1 \leq 6,686.95 * D$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar.

Model (4.5)'in çözümünden elde edilen karar değişkenleri ve bunların değerleri Çizelge 4.30'da, elde edilen amaç fonksiyon değerleri Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Minmax Hedef Programlama optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J2	K1	374
	J3	K2	400
	J4	K2	577
Ürün-2	J2	K3	3000
	J3	K2	800
Ürün-3	J4	K2	800
	J5	K2	423
Ürün-4	J3	K3	2800
	J5	K3	1977
Ürün-5	J1	K2	774
	J4	K3	1673

Çizelge 4.31. Minmax Hedef Programlama sonuçları

D	p ₁	p ₂	n ₃	W ₁	W ₂	Z ₁
0.4747	389,025.43	861.8641	3,174.27	1,683.539	0.1781	0.8992

D; maximum sapma miktarını, p₁; birinci hedeften negatif sapma miktarını, p₂; ikinci hedeften negatif sapma miktarını, n₃; üçüncü hedeften pozitif sapma miktarını göstermektedir.

4.2.5. Önerilen Bulanık Hedef Programlama ve çözüm sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde Önerilen Bulanık Hedef Programlama modelinde literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bulanık hedefler, karar vericiden sağlanan bilgilere göre oluşturulmasının yerine ÇATDP modelinin pozitif ve negatif ideal çözümleri kullanılarak elde edilmiştir. Çizelge 4.32'de pozitif ideal çözümler, Çizelge 4.33'de negatif ideal çözümler verilmiştir.

Çizelge 4.32. Pozitif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler

	W_1	W_2	Z_1
W_1	1,294,803.42	1,974.5272	9,259.2
W_2	1,385,077.155	1,652.9147	9,104.8
Z_1	2,392,099.855	3,468.6975	15,791.75

Çizelge 4.33. Negatif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler

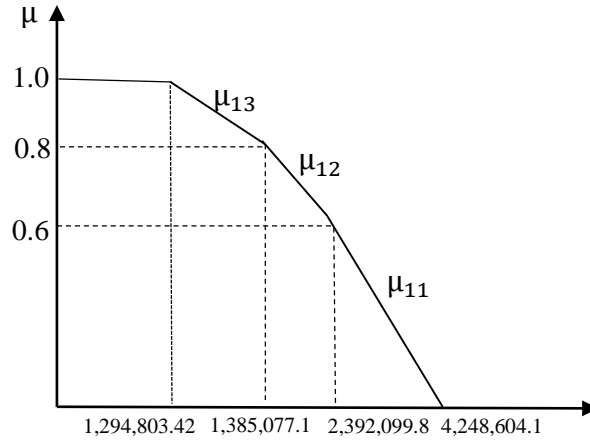
	W_1	W_2	Z_1
W_1	4,248,604.11	3,468.6975	15,791.75
W_2	2,392,099.855	3,468.6975	15,791.75
Z_1	1,403,990.045	2,081.5322	8,746.53

ÇATDP modeli bulanık hedefler ve bulanık olmayan kısıtlara göre oluşturulan Bulanık Hedef Programlama yaklaşımlarından Yang et al. (1991) yaklaşımına göre çözülmüştür. Amaç fonksiyonları parçalı doğrusal içbükey üyelik işlevi açısından Çizelge 4.34'deki şekilde oluşturulmuştur.

Çizelge 4.34. W_1 hedefinin üyelik değerleri

W_1	<1,294,803.42	1,294,803.42	1,385,077.155	2,392,099.855	4,248,604.11	>4,248,604.11
μ_1	1.0	1.0	0.8	0.6	0.0	0.0

W_1 hedefinin üyelik fonksiyonları Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. W_1 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu

Aralıklar için üyelik fonksiyonları Model (3.77)'de verilen $f_t(z_t) = t_r \cdot z_t + S_r$ formülü kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

İlk olarak μ_1 için; μ_{11} değerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$t_{11} = \frac{0.6 - 0}{2,392,099.85 - 4,248,604.11} = \frac{0.6}{-1,856,504.26} = -0.000000323$$

$$s_{11} = 0.6 - (-0.000000323)(2,392,099.85) = 1.373$$

$$-\frac{6}{18,565,042.6}(W_1) + 1.373 \geq \lambda$$

$$6(W_1) + 25,489,803.49 \leq -18,565,042.6\lambda = W_1 + 3,094,173.76\lambda \leq 4,248,300.58$$

μ_{12} değerinin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$t_{12} = \frac{0.8 - 0.6}{1,385,077.15 - 2,392,099.85} = -\frac{0.2}{1,007,022.7} = -0.000000198$$

$$s_{12} = 0.8 - (-0.000000198)(1,385,077.15) = 1.074$$

$$-\frac{2}{1,007,022.7}(W_1) + 1.074 \geq \lambda$$

$$2(W_1) + 10,815,423.8 \leq -10,070.227\lambda = (W_1) + 5,035,113.5\lambda \leq 5,407,711.9$$

μ_{13} değerinin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$t_{13} = \frac{1.0 - 0.8}{1,294,803.42 - 1,385,077.155} = \frac{0.2}{-90,273.735} = -0.0000221$$

$$s_{13} = 1.0 - (-0.00000221)(1,294,803.42) = 3.8615$$

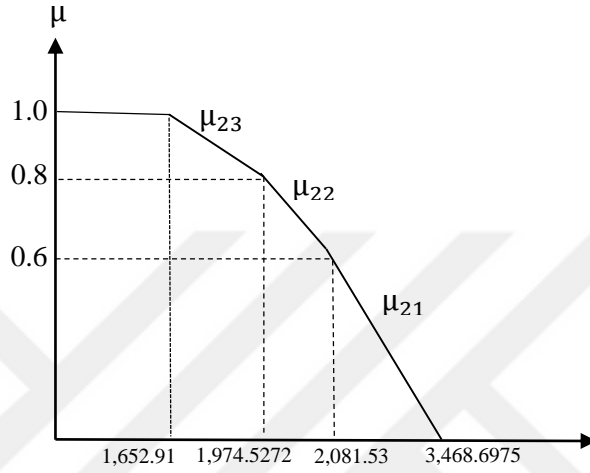
$$\frac{0.2}{-90,273.735}(W_1) + 3.8615 \geq \lambda$$

$$-0.2(W_1) + 348,592 \geq -90,273.735\lambda = (W_1) + 451,368.675\lambda \leq 1,742,960$$

Çizelge 4.35'te W_2 hedefinin üyelik değerleri, Şekil 4.10'da W_2 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu verilmiştir.

Çizelge 4.35. W_2 hedefinin üyelik değerleri

W_2	<1,652.9147	1,652.9147	1,974.5272	2,081.5322	3,468.6975	>3,468.6975
μ_2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.0	0.0



Şekil 4.10. W_2 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu

μ_2 için, μ_{21} değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$t_{21} = \frac{0.6 - 0.0}{2,081.53 - 3,468.69} = \frac{0.6}{-1,387.16} = 0.000432$$

$$s_{21} = 0.6 - (-0.000432)(2,081.53) = 1.5$$

$$\frac{0.6}{-1,387.16} (W_2) + 1.5 \geq \lambda$$

$$-0.6(W_2) + 2,080.74 \geq 1,387.16\lambda = (W_2) + 2,311.93\lambda \leq 3,467.9$$

μ_{22} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{22} = \frac{0.8 - 0.6}{1,974.52 - 2,081.53} = \frac{0.2}{-107.01} = -0.001868$$

$$s_{22} = 0.8 - (-0.001868)(1,974.52) = 4.489$$

$$\frac{0.2}{-107.01}(W_2) + 4.489 \geq \lambda$$

$$-0.2(W_2) + 480.408 \geq 107.01\lambda = (W_2) + 535.05\lambda \leq 2402.04$$

μ_{23} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{23} = \frac{1.0 - 0.8}{1,652.91 - 1,974.52} = \frac{0.2}{-321.61} = -0.0006218$$

$$s_{23} = 1.0 - (-0.0006218)(1,652.91) = 2.0278$$

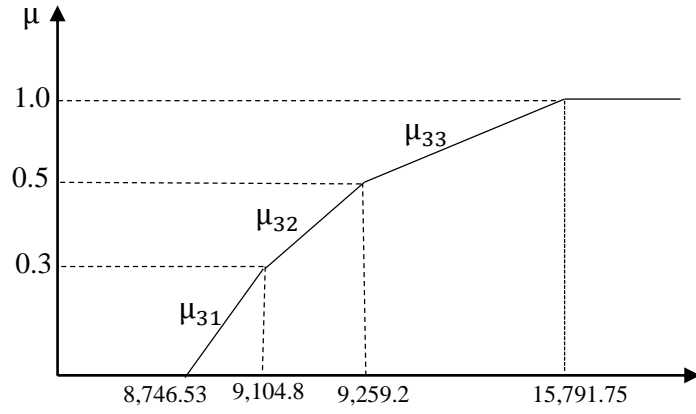
$$\frac{0.2}{-321.61}(W_2) + 2.0278 \geq \lambda$$

$$-0.2(W_2) + 652.16 \geq 321.61\lambda = (W_2) + 1,608.05\lambda \leq 3,260.8$$

Çizelge 4.36'da Z_1 hedefi için üyelik değerleri, Şekil 4.11'de Z_1 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu verilmiştir.

Çizelge 4.36. Z_1 hedefinin üyelik değerleri

Z_1	<8,746.53	8,746.53	9,104.80	9,259.2	15,791.75	>15,791.75
μ_3	0.0	0.0	0.3	0.5	1.0	1.0



Şekil 4.11. Z_1 hedefi için parçalı üyelik fonksiyonu

μ_3 için, μ_{31} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{31} = \frac{0.3 - 0.0}{9,104.8 - 8,746.53} = \frac{0.3}{358.27} = 0.0008373$$

$$s_{31} = 0.3 - \left(\frac{0.3}{358.27}\right)(9,104.8) = -7.323$$

$$\frac{0.3}{358.27}(Z_1) + (-7.323) \geq \lambda$$

$$0.3(Z_1) - 2,623.61 \geq 358.27\lambda = (Z_1) - 1,194.23\lambda \geq 8,745.37$$

μ_{32} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{32} = \frac{0.5 - 0.3}{9,259.2 - 9,104.8} = \frac{0.2}{154.4} = 0.00129$$

$$s_{32} = 0.5 - \left(\frac{0.2}{154.4}\right)(9,259.2) = -11.493$$

$$\frac{0.2}{154.4}(Z_1) + (-11.493) \geq \lambda$$

$$0.2(Z_1) - 1,774.64 \geq 154.4\lambda = (Z_1) - 772\lambda \geq 8,873.2$$

μ_{33} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{33} = \frac{1.0 - 0.5}{15,791.75 - 9,259.2} = \frac{0.5}{6,532.55} = 0.0000765$$

$$s_{33} = 1 - \left(\frac{0.5}{6,532.55}\right) (15,791.75) = -0.2086$$

$$\frac{0.5}{6,532.55} (Z_1) + (-0.2086) \geq \lambda$$

$$0.5(Z_1) + (-1,362.69) \geq 6,532.55 \lambda = (Z_1) - 13,065.1\lambda \geq 2,725.38$$

Bu üyeliklere göre Bulanık Hedef Programlama Modeli (4.6)'daki gibi düzenlenmiştir.

$$\text{Max } Z = \lambda$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 3,094,173.76\lambda &\leq 4,248,300.58 \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 5,035,113.5\lambda &\leq 540,7711.9 \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 451,368.675\lambda &\leq 1,742,960 \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 2,311.93\lambda \leq 3,467.9$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 535.05\lambda \leq 2,402.04$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 1,608.05\lambda \leq 3,260.8$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 1,194.23\lambda \geq 8,745.37$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 772\lambda \geq 8,873.2$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 13,065.1\lambda \geq 2,725.38$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar.

Model (4.6)'nın çözümünden elde edilen karar değişkenleri ve bunların değerleri Çizelge 4.37'de, elde edilen amaç fonksiyon değerleri Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Bulanık Hedef Programlama optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K1	400
	J4	K3	823
Ürün-2	J2	K2	800
	J3	K2	446
	J4	K1	400
Ürün-3	J5	K2	800
	J2	K2	423
	J3	K2	800
Ürün-4	J2	K3	2,152
	J3	K3	1,818
Ürün-5	J4	K1	296
	J3	K2	536
	J4	K3	1,531
	J5	K1	379

Çizelge 4.38. Bulanık Hedef Programlama sonuçları

λ	W_1	W_2	Z_1
0.6179	1,437,236	0.16	0.867

Bulanık Hedef Programa modelinin üyelik derecesi (λ) elde edildikten sonra her bir amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu kullanarak Denklem (3.51) ve Denklem (3.52)'deki formüller yardımıyla amaçların üyelik dereceleri belirlenmiş ve aşağıda gösterilmiştir.

Faz II

Yang ve ark. (1991) yaklaşımına göre oluşturulan Model (4.6)'nın verdiği sonuç Zimmermann (1978) yaklaşımı gibi etkin bir çözüm garanti etmemektedir. Bu nedenle Lee ve Li (1993) tarafından önerilen iki fazlı yaklaşımdan hareketle ortalama operatörü kullanılarak Model (4.6)'nın verdiği sonuç geliştirilebilir. Yang ve ark. (1991) yaklaşımı için Faz II aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Her bir amaç fonksiyonunun üyelik derecesi, elde edilen üyelik derecelerinden minimum olanı ile sınırlandırılmıştır ve Model (4.6)'ya eklenmiştir. Ayrıca Model (4.6)'nın amaç fonksiyonu aşağıdaki düzenlenmiş ve eklenen kısıtlarla birlikte Model (4.7) elde edilmiştir.

$$\text{Max } Z = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}{3}$$

Kısıtlar

(4.7)

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 3,094,173.76\lambda \leq 4,248,300.58$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 5,035,113.5\lambda \leq 540,7711.9$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 451,368.675\lambda \leq 1,742,960$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 2,311.93\lambda \leq 3,467.9$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 535.05\lambda \leq 2,402.04$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 1,608.05\lambda \leq 3,260.8$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 1,194.23\lambda \geq 8,745.37$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 772\lambda \geq 8,873.2$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 13,065.1\lambda \geq 2,725.38$$

$$\lambda_1 \geq 0,6179$$

$$\lambda_2 \geq 0,6179$$

$$\lambda_3 \geq 0,6179$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar.

Model (4.7)'nin çözümünden elde edilen karar değişkenleri ve bunların değerleri Çizelge 4.39'da, elde edilen amaç fonksiyon değerleri Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.39. Bulanık Hedef Programlama Faz II optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K3	1,087
	J4	K3	136
Ürün-2	J3	K3	1,398
	J5	K3	1,048
Ürün-3	J3	K3	1,075
	J4	K1	148
Ürün-4	J2	K3	2,574
	J4	K3	1,692
Ürün-5	J2	K3	800
	J3	K2	440
	J4	K3	1,206

Çizelge 4.40. Bulanık Hedef Programlama Faz II sonuçları

λ	λ_1	λ_2	λ_3	W_1	W_2	Z_1
0.675211	0.7895	0.6180	0.6179	1,386,774.8	0.175	0.931

Bulanık Hedef Programlama Faz I ile Faz II sonuçlarını karşılaştığımızda Çizelge 4.37 ve Çizelge 4.39'da verilen her bir ürün için seçilen tedarikçiler, seçilen indirim aralıkları ve sipariş tahsisinde değişiklik gözlemlenmiştir. İkinci ve üçüncü amaç fonksiyonu değerleri W_2 değerinde biraz kötüleşme söz konusuysen, birinci ve üçüncü amaç fonksiyonu W_1 ve Z_1 değerlerinde iyileşme meydana gelmiştir. Bu durum tatminkarlık (üyelik) derecelerinde de görülmektedir. λ_2 ve λ_3 değerleri hemen hemen aynı kalırken λ_1 değeri büyük oranda yükselmiş ve iyileşme göstermiştir.

4.2.6. Önerilen yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması

Önerilen yöntemlerin çözümünden elde edilen amaç fonksiyon değerleri, modelin tatminkârlık derecesi, amaçların bireysel tatminkârlık dereceleri ve amaçlardan toplam sapma dereceleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.41. Yöntemlerin karşılaştırmalı sonuçları

Bulanık ÇATDP FAZ I (Zimmermann, 1978 yaklaşımı)			
Amaç fonksiyonu değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,817,590.2	0.1854	0.9306
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.5253$		
Amaçların bireysel tatminkârlık dereceleri	$\lambda_2 = 0.5259$	$\lambda_2 = 0.5254$	$\lambda_3 = 0.5253$
Bulanık ÇATDP FAZ II (Lee ve Li, 1993 yaklaşımı)			
Amaç fonksiyonu değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,461,597	0.1849	0.9278
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.6328$		
Amaçların bireysel tatminkârlık dereceleri	$\lambda_1 = 0.8478$	$\lambda_2 = 0.5254$	$\lambda_3 = 0.5253$
Ağırlıklı Hedef Programlama			
Amaç fonksiyonu değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,338,055	0.1703	0.9314
Toplam sapma derecesi	$Z=0.3386$		
Amaçların bireysel sapma dereceleri	$p_1 = 43,454.855$	$p_2 = 85,34$	$n_3 = 6,283.2$
Minmax Hedef Programlama			
Amaç fonksiyonu değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,683,539	0.1781	0.8992
Toplam sapma derecesi	$D=0.4747$		
Amaçların bireysel sapma dereceleri	$p_1 = 389025.43$	$p_2 = 861.8641$	$n_1 = 3,174.27$
Bulanık Hedef Programlama Faz I			
Amaç fonksiyonu değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,437,236	0.16	0.867
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.6179$		
Bulanık Hedef Programlama Faz II			
Amaç fonksiyonu değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,386,774.78	0.175	0.931
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.6752$		
Amaçların bireysel tatminkârlık dereceleri	$\lambda_1 = 0.7897$	$\lambda_2 = 0.6180$	$\lambda_3 = 0.6179$

Bulanık ÇATDP, Ağırlıklı Hedef Programlama, Minmax Hedef Programlama ve Bulanık Hedef Programlama yöntemlerini amaçlar maksimizasyon ve minimizasyon yönlü olduğu için iki farklı yönde karşılaştırmamız gerekmektedir. Maliyet yönlü baktığımızda en iyi sonucu 1,338,055 TL ile Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi; en kötü sonucu 1,817,590.2 TL ile Bulanık ÇATDP Faz I yöntemi vermiştir. Tedarikçi riski

olarak baktığımızda %16 oranıyla Bulanık Hedef Programlama Faz I yöntemi en iyi sonucu verirken, %18.54 oranı ile en kötü sonuç Bulanık ÇATDP Faz I yöntemi ile elde edilmiştir. Tedarikçi teslimat performansı açısından baktığımızda ise, en iyi sonuç %93.14'lık bir oranla Ağırlıklı Hedef Programlama; en kötü sonuç ise %86.7'lik bir oranla Bulanık Hedef Programlama Faz I yöntemi ile elde edilmiştir.

Ayrıca her bir yöntemin verdiği sonuçlara göre seçilen tedarikçiler, indirim aralıkları ve sipariş tahsisleri Çizelge 4.42'de verilmiştir.



Çizelge 4.42. Önerilen yöntemlere göre değişken sonuçlarının karşılaştırılması

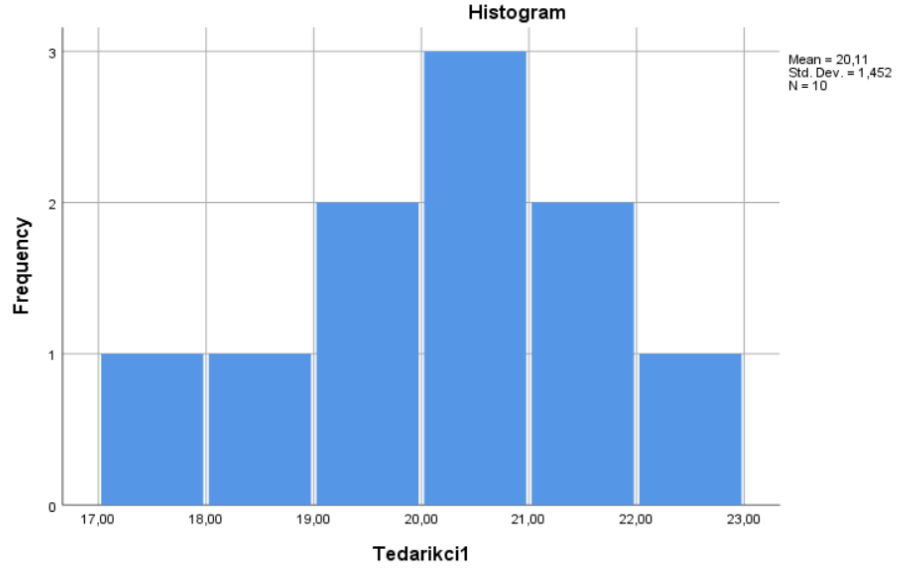
	Bulanık ÇATDP Faz I			Bulanık ÇATDP Faz II			Ağırlıklı Hedef Prog.			Minmax Hedef Prog.			Bulanık Hedef Prog. Faz I			Bulanık Hedef Prog. Faz II		
	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	J2	K2	800	-	-	-	-	-	-	J2	K1	374	-	-	-	-	-	
	J3	K1	220	J3	K3	1087	J3	K3	1,075	J3	K2	400	J3	K1	400	J3	K3	1,087
	J4	K1	196	-	-	-	J4	K1	148	J4	K2	577	J4	K3	823	J4	K3	136
	J5	K1	136	J5	K1	136	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ürün-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	J2	K3	3000	J2	K2	800	-	-	-
	J3	K2	400	J3	K3	1385	J3	K3	1,050	J3	K2	800	J3	K2	446	J3	K3	1,398
	J4	K2	400	-	-	-	J4	K3	1,396	-	-	-	J4	K1	400	-	-	-
	J5	K3	1,606	J5	K3	1061	-	-	-	-	-	-	J5	K2	800	J5	K3	1,048
Ürün-3	J1	K2	773	J3	K3	1087	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	J2	K2	800	J5	K1	136	-	-	-	-	-	-	J2	K2	423	-	-	-
	J3	K1	220	-	-	-	J3	K3	1,075	-	-	-	J3	K2	800	J3	K3	1,075
	J4	K1	148	-	-	-	J4	K1	148	J4	K2	800	-	-	-	J4	K1	148
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	J5	K2	423	-	-	-	-	-	-
Ürün-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	J2	K2	800	J1	K2	773	J2	K3	2,575	-	-	-	J2	K3	2,152	J2	K3	2,574
	J3	K3	800	J2	K3	2851	-	-	-	J3	K3	2800	J3	K3	1,818	-	-	-
	J4	K3	2,010	J3	K2	441	J4	K1	296	-	-	-	J4	K1	296	J4	K3	1,692
	J5	K2	658	J4	K3	2195	-	-	-	J5	K3	1977	-	-	-	-	-	-
Ürün-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	J1	K2	774	-	-	-	-	-	-
	J2	K3	975	J2	K2	524	J2	K3	800	-	-	-	-	-	-	J2	K3	800
	J3	K3	2,320	-	-	-	J3	K3	800	-	-	-	J3	K2	536	J3	K2	440
	J4	K1	296	J4	K3	855	J4	K3	846	J4	K3	1673	J4	K3	1,531	J4	K3	1,206
	-	-	-	J5	K3	1067	-	-	-	-	-	-	J5	K1	379	-	-	-

4.3. Şans Kısıtlı Programlama

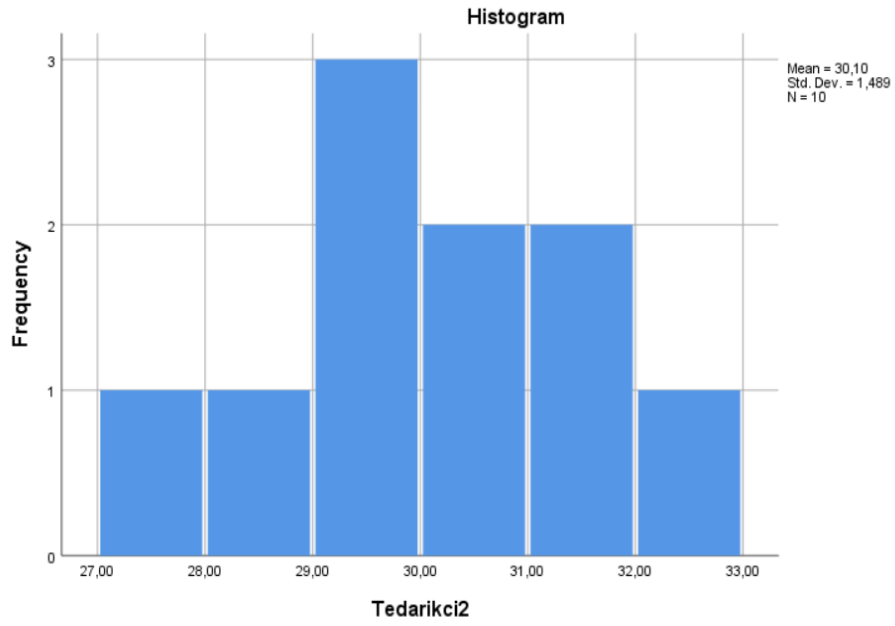
Pratik olarak basit bir problemde başlangıç verisi yetersiz olduğunda, elde olan veriler kullanılarak durum içerisinde kararlar vermek bir kuraldır. Karmaşık durumlarda, deterministik modeller yerine stokastik modelleri seçerek karar vermenin daha uygun olduğu görülmüştür. Başlangıç verilerinin tam olarak bilinmediği, yani bir belirsizlik veya eksiklik içerdiği durumda şans kısıtlı stokastik programlama problemlerini kullanmak gerekmektedir.

Önerilen ÇATDP modelinde (3.38) kısıtında kullanılan sayısal veriler saat bazında tedarikçilerin teslimat sürelerinin ortalaması ile (3.42) kısıtında kullanılan sayısal veriler ise fabrikanın aylık olarak ürünlerin talep ortalaması ile oluşturulmuştur. ÇATDP problemi mevcut durumu ile deterministik olarak çözülmüştür. Ancak ürün teslim sürelerinin ve talep verilerinin normal dağılım özelliği göstermesiyle süreç stokastik açıdan da değerlendirilmiştir.

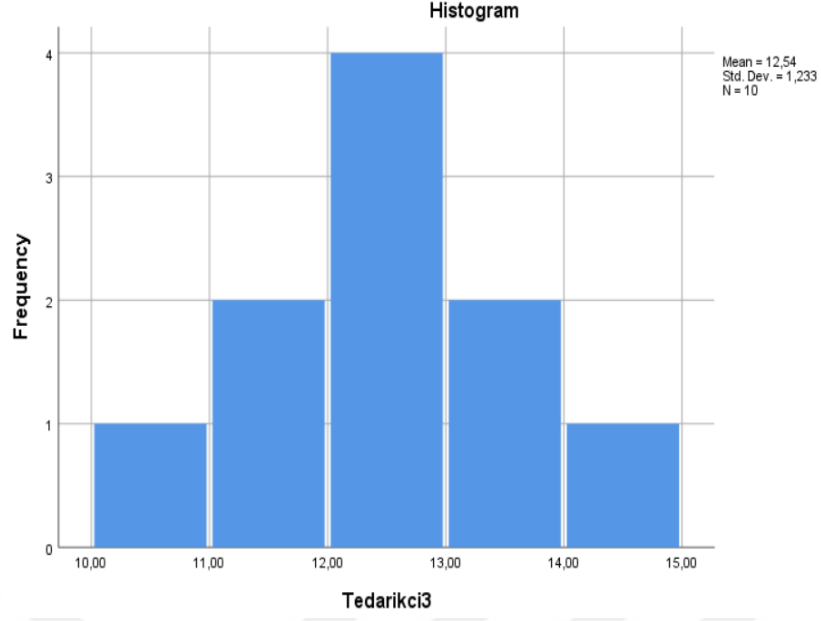
Ürünlerin teslim sürelerinin incelenmesi için SPSS 22.0 programı yardımıyla istatistiksel analiz yapılmıştır. Modelde rassal değişken olan talep miktarları ve teslimat sürelerini içeren kısıtlar için baz alınan güvenilirlik seviyeleri firmanın politikaları doğrultusunda belirlenmiştir. Tedarikçilerin yaptığı teslimatlardan tesadüfi olarak 10 teslimat seçilmiştir. Tedarikçilerin ürün teslim sürelerinin histogramları (ortalaması ve standart sapması) sırasıyla Şekil 4.12 ile Şekil 4.16 arasında gösterilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu elli bireyli örneklem sayısının altında olduğu için Shapiro Wilk sınavı ile belirlenmiş ve sonuç Çizelge 4.43'te verilmiştir. Ürün teslimat süresi detayları ise Çizelge 4.44'de verilmiştir.



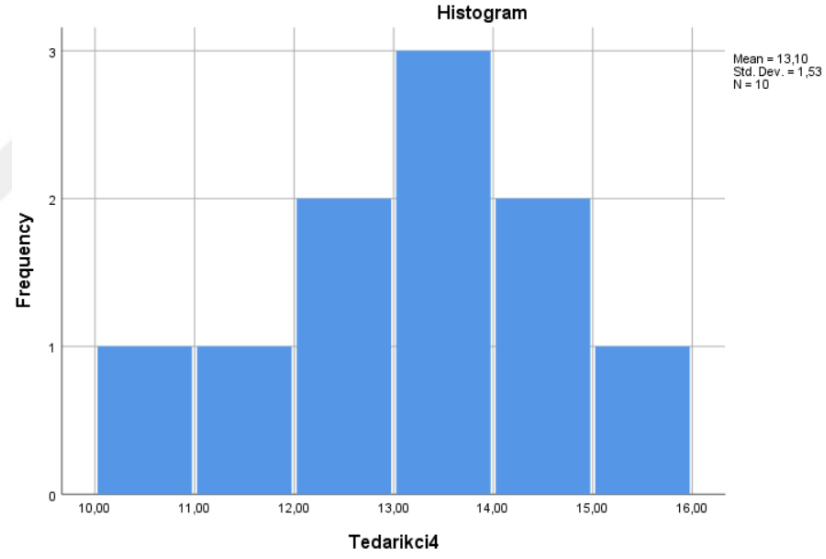
Şekil 4.12. Tedarikçi 1'in ürün teslimat süreleri



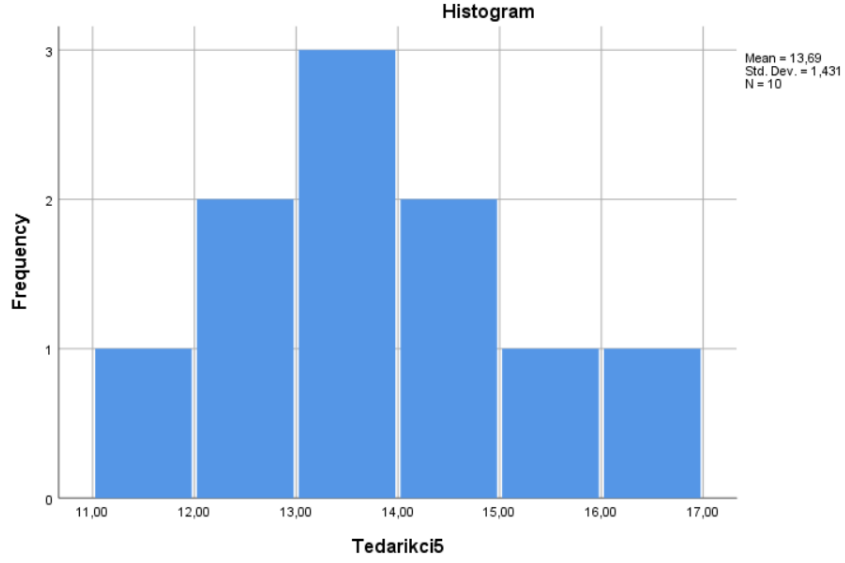
Şekil 4.13. Tedarikçi-2'nin ürün teslimat süreleri



Şekil 4.14. Tedarikçi-3'ün ürün teslimat süreleri



Şekil 4.15. Tedarikçi-4'ün ürün teslimat süreleri



Şekil 4.16. Tedarikçi-5'in ürün teslimat süreleri

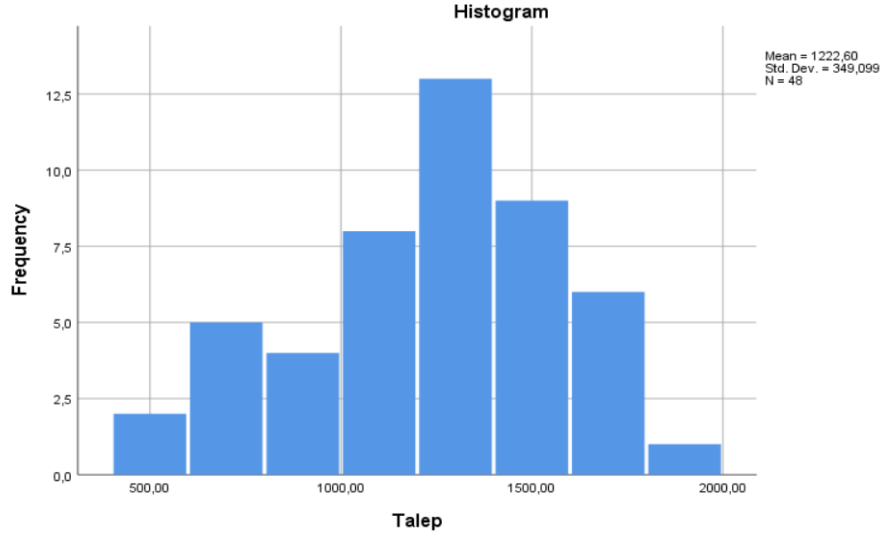
Çizelge 4.43. Teslimat süresi için normallik testi sonucu

	Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Sig
j ₁	.960	10	.786
j ₂	.967	10	.861
j ₃	.959	10	.780
j ₄	.959	10	.777
j ₅	.956	10	.734

Çizelge 4.44. Ürün teslimat süresi detayları

	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅
E(D _i)	20.11	30.10	12.54	13.10	13.69
$\sqrt{\text{Var}(D_i)}$	1.452	1.489	1.233	1.53	1.431

Ürünlerin talep verilerinin de normal dağılıma uygunluğu elli bireyli örneklem sayısının altında olduğu için Shapiro Wilk sınaması ile belirlenmiş ve Çizelge 4.45'de gösterilmiştir. Firmaya ait ürün talep histogramı Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Ürünlerin talep miktarları ortalaması ve standart sapması Çizelge 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.17. Aylık talep miktarları

Çizelge 4.45. Talep için normallik testi sonucu

Talep	Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Sig
	.961	48	.108

Çizelge 4.46. Ürün talep miktarları detayları

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5
$E(D_i)$	1223	2446	1223	2446	2446
$\sqrt{\text{Var}(D_i)}$	349	698	349	698	698

4.3.1. Önerilen Şans Kısıtlı Çok Amaçlı Tamsayı Doğrusal Programlama ve çözüm sonuçları

Şans Kısıtlı ÇATDP modeli yer alan stokastik parametreler belirli bir dağılıma sahip olmalı ve olasılık seviyeleri (α_i) belirlenmelidir. Önerilen modeldeki ürün teslimat süresi kısıtı ikinci dereceden fonksiyon olup doğrusal olmayan bir kısıttır. Önerilen Şans Kısıtlı model konveks olmadığı için klasik yöntemlerle global optimuma ulaşmak mümkün olmamaktadır. Bu yüzden GAMS çözücülerini ile çözülememiştir.

Önerilen modelin dağılım bilgisi ve belirlenen olasılık seviyesi kullanılarak teslimat süresi kısıtı (3.38) doğrusal hale getirilmiştir (Baykoç ve İsteyen, 2007). Şans kısıtlı ÇATDP modeline eklenen kısıtlar (4.7) ve (4.8)'de verilmiştir.

$$\sum_{j=1}^n \text{Var}_j^2 \leq \sum_{j=1}^n \text{Var}_j \sum_{j=1}^n \text{Var}_j, \forall i \quad (4.7)$$

$$\sum_{j=1}^n E_j Y_{ijk} + z_{1-\alpha_i} \sum_{j=1}^n \text{Var}_j Y_{ijk} \leq E^*, \forall i \quad (4.8)$$

Önerilen modeldeki talep kısıtı da (3.42) Şans Kısıtı olarak değerlendirilmiş ve (4.9)'daki şekilde modele eklenmiştir.

$$\sum_{j=1}^n Q_{ijk} \leq E(D_i) + z_{0,95} \sqrt{\text{Var}(D_i)} \quad (4.9)$$

Tedarik zinciri optimizasyonu için yukarıda verilen şans kısıtları ÇATDP modeline eklenmiş ve model Şans Kısıtlı ÇATDP modeline dönüşmüştür. İlk olarak önerilen Şans Kısıtlı ÇATDP modeli her bir amaç için ayrı ayrı çözümlenerek ilgili amaç fonksiyonlarının alt ve üst değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4.47, GAMS IDE 34/CPLEX paket programına göre her bir amacın tek başına minimize ve maksimize edildiği ve diğer amaçların o şartlar altında aldıkları değerleri göstermektedir.

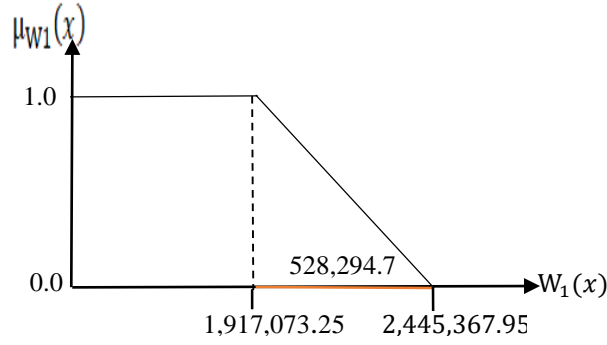
Çizelge 4.47. Üstün olmayan çözümler tablosu

	W_1	W_2	Z_1
W_1	1,917,073.25	3,075.1086	13,401.54
W_2	1,985,814.860	2,727.25	13,324.85
Z_1	2,445,367.9500	3,468.6975	15,791.75

4.3.2. Önerilen Şans Kısıtlı Bulanık Çok Amaçlı Tamsayılı Doğrusal Programlama ve çözüm sonuçları

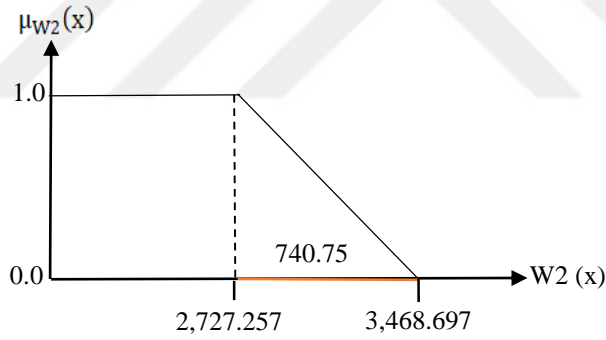
Zimmermann (1978) yapmış olduğu çalışmada Bulanık Doğrusal Programlama ile elde edilen "optimal" bir çözümün her daim daha verimli olduğunu ifade etmiştir. Şans Kısıtlı ÇATDP modelinin çözümü ile elde edilen ödünleşme matrisi elemanlarından her bir amaç fonksiyonu için en iyi ve en kötü değerler kullanılarak bulanık üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Şekil 4.18'de W_1 hedefi için, Şekil 4.19'da

W_2 hedefi için ve Şekil 4.20’de Z_1 parçalı üyelik fonksiyonları ve hesaplamaları verilmiştir.



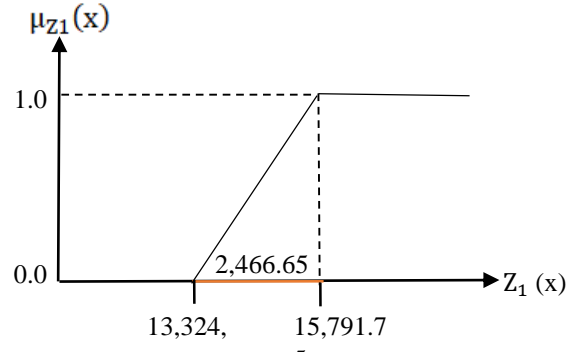
Şekil 4.18. $W_1(x)$ için üyelik fonksiyonu

$$\mu_{W_1}(x) = \begin{cases} 1 & , & W_1(x) \leq 1,917,073.25 \\ \frac{2,445,367.95 - W_1(x)}{528,294.7} & , & 1,917,073.25 \leq W_1(x) \leq 2,445,367.95 \\ 0 & , & W_1(x) \geq 2,445,367.95 \end{cases}$$



Şekil 4.19. $W_2(x)$ için üyelik fonksiyonu

$$\mu_{W_2}(x) = \begin{cases} 1 & , & W_2(x) \leq 2,727.257 \\ \frac{3,468.697 - W_2(x)}{740.75} & , & 2,727.257 \leq W_2(x) \leq 3,468.697 \\ 0 & , & W_2(x) \geq 3,468.697 \end{cases}$$



Şekil 4.20. $Z_1(x)$ için üyelik fonksiyonu

$$\mu_{Z_1}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad Z_1(x) \geq 15,791.75 \\ \frac{Z_1(x) - 13,324.85}{2,466.65} & , \quad 13,324.85 \leq Z_1(x) \leq 15,791.75 \\ 0 & , \quad Z_1(x) \leq 13,324.85 \end{cases}$$

Bu üyelik fonksiyonlarına göre Şans Kısıtlı ÇATDP modeli Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP problemine dönüşür. Önerilen modelin bulanık hedef kısıtları aşağıdaki gibi düzenlenmiş ve Model (4.10) elde edilmiştir.

Max λ

Kısıtlar

$$\frac{2,445,367.95 - W_1(x)}{528,294.7} \geq \lambda$$

$$\frac{3,468.697 - W_2(x)}{740.75} \geq \lambda \quad (4.10)$$

$$\frac{Z_1(x) - 13,324.85}{2,466.65} \geq \lambda$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar. Ayrıca kısıt (3.38) ve (3.42) yerine (4.7), (4.8) ve (4.9) kısıtları eklenmiştir.

Uzlaşma çözümünü bulmak için belirleyici bir modele dönüştürüldükten sonra, bulanık programlama kullanılmıştır. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz I modeli düzenlenmiş olarak Model (4.11)'de verilmiştir.

Faz I

Max λ

Kısıtlar

$$\frac{2,445,367.95 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk}}{528,294.7} \geq \lambda$$

$$\frac{3,468.697 - \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk}}{740.75} \geq \lambda \quad (4.11)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 13,324.85}{2,466.65} \geq \lambda$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar. Ayrıca kısıt (3.38) ve (3.42) yerine (4.7), (4.8) ve (4.9) kısıtları eklenmiştir.

Model (4.11)'in çözümünden elde edilen değişken değerlerine göre optimal sipariş miktarları Çizelge 4.48'de verilmiştir.

Çizelge 4.48. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz I optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J1	K2	400
	J2	K3	838
	J3	K2	560
Ürün-2	J1	K3	803
	J2	K2	524
	J3	K3	3,000
Ürün-3	J1	K1	324
	J2	K3	1,213
	J5	K1	261
Ürün-4	J1	K2	603
	J2	K2	800
	J3	K2	440
	J4	K3	2,250
Ürün-5	J1	K3	800
	J4	K2	800
	J5	K3	2,139

Ayrıca değişken değerlerine (elde edilen sipariş miktarları) göre her bir amaç fonksiyonunun değeri (W_1, W_2, Z_1) ve çözümü açıklayan üyelik derecesi (λ) Çizelge 4.49'da verilmiştir.

Çizelge 4.49. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz I model sonuçları

λ	W_1	W_2	Z_1
0.5002	2,148.391	0.1966	0.9055

Modelin tatminkârlık derecesi elde edildikten sonra her bir amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonunu kullanarak Denklem (3.51) ve Denklem (3.52)'deki formüller yardımıyla amaçların üyelik derecesini belirlenmiş ve aşağıda gösterilmiştir.

$$W_1 \text{ için; } \frac{2,445,367.95 - (2,148,391)}{528,294.7} = \lambda \rightarrow \lambda = 0.6947$$

$$W_2 \text{ için; } \frac{3,468.697 - (3,098.113)}{740.75} = \lambda \rightarrow \lambda = 0.5002$$

$$Z_1 \text{ için; } \frac{14,558.75 - 13,324.85}{2,466.65} = \lambda \rightarrow \lambda = 0.5002$$

Faz II

Faz II'de, Faz I 'de elde edilen her bir amaç fonksiyonlarının elde edilen üyelik derecelerinden minimum olanı ile her bir amaç fonksiyonunun üyelik derecesi sınırlandırılmıştır. Buna göre Model (4.11) aşağıda verilen Model (4.12)'deki gibi düzenlenmiştir.

$$\text{Max } \frac{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}{3}$$

Kısıtlar

$$\frac{2,445,367.95 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk}}{528,294.7} \geq \lambda_1$$

$$\frac{3,468.697 - \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk}}{1,815.782} \geq \lambda_2$$

$$\frac{\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 9,104.80}{6,686.95} \geq \lambda_3 \quad (4.12)$$

$$\lambda_1 \geq 0.5002$$

$$\lambda_2 \geq 0.5002$$

$$\lambda_3 \geq 0.5002$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar. Ayrıca kısıt (3.38) ve (3.42) yerine (4.8) ve (4.9) eklenmiştir.

Model (4.12)'nin çözümünden elde edilen optimal sipariş miktarları Çizelge 4.50'de verilmiştir.

Çizelge 4.50. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz II optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K3	998
	J5	K3	800
Ürün-2	J3	K3	2,004
	J4	K3	800
Ürün-3	J3	K3	998
	J5	K3	800
Ürün-4	J1	K3	2,108
	J2	K3	2,851
Ürün-5	J1	K3	822
	J2	K2	524
	J4	K3	2,250

Faz II'den elde edilen Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP modelinin sonuçları Çizelge 4.51'de verilmiştir.

Çizelge 4.51. Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz II sonuçları

λ	λ_1	λ_2	λ_3	W_1	W_2	Z_1
0.618658	0.8742	0.5003	0.5002	1,975,410	0.1837	0.8773

4.3.3. Önerilen Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama ve çözüm sonuçları

Önerilen Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama Modeli (4.13) 'de verilmiştir. Burada, hedeflerin aynı birim cinsinden olması için Hwang ve Masud (1979) normalizasyon yaklaşımı kullanılmış ve hedeflerin tercih ağırlıkları eşit alınmıştır.

$$\text{Min } Z = 0.33 * \left(\frac{n_1 + p_1}{414,998.025} \right) + 0.33 * \left(\frac{n_2 + p_2}{740.75} \right) + 0.33 * \left(\frac{n_3 + p_3}{2,466.65} \right)$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + n_1 - p_1 &= 1,917,073.25 \\ \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + n_2 - p_2 &= 2,727.25 \\ \sum_{j=1}^n S_j Y_{ijk} + n_3 - p_3 &= 15,791.750 \end{aligned} \quad (4.13)$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar. Ayrıca kısıt (3.38) ve (3.42) yerine (4.7), (4.8) ve (4.9) kısıtları eklenmiştir.

Model (4.13)'ün çözümünden elde edilen optimal sipariş miktarları Çizelge 4.52'de, elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile sapma miktarları Çizelge 4.53'de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K3	998
	J5	K3	800
Ürün-2	J3	K3	1,996
	J4	K3	800
	J5	K3	800
Ürün-3	J3	K3	998
	J5	K3	800
Ürün-4	J2	K3	2,575
	J4	K3	1,021
Ürün-5	J1	K3	1,567
	J2	K3	800
	J4	K3	1,229

Çizelge 4.53. Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama model sonuçları

Min Z	p_1	p_2	n_3	W_1	W_2	Z_1
0.340057	12,096	0.74	2,467.46	1,929,169.25	0.1896	0.9263

d_{\min} ; hedeflerden toplam sapma miktarını, p_1 ; birinci hedeften negatif sapma miktarını, p_2 ; ikinci hedeften negatif sapma miktarını, n_3 ; üçüncü hedeften pozitif sapma miktarını göstermektedir.

4.3.4. Önerilen Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama ve çözüm sonuçları

Önerilen Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama Modeli (4.14) 'de verilmiştir.

Min D

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} - p_1 = 1,917,073.25$$

$$p_1 \leq 414,998.025 * D \quad (4.14)$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} - p_2 = 2,727.257$$

$$p_2 \leq 740.75 * D$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Y_{ijk} + n_3 = 15,791.750$$

$$n_3 \leq 2,466.65 * D$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar. Ayrıca kısıt (3.38) ve (3.42) yerine (4.7), (4.8) ve (4.9) kısıtları eklenmiştir.

Model (4.14)'ün çözümünden elde edilen optimal sipariş miktarları Çizelge 4.53'de, elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile sapma miktarları Çizelge 4.54'de verilmiştir.

Çizelge 4.54. Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J2	K1	400
	J3	K2	400
	J4	K3	998
Ürün-2	J3	K3	2800
	J4	K3	1054
Ürün-3	J2	K2	400
	J3	K2	800
	J4	K2	598
Ürün-4	J1	K3	2129
	J2	K3	2575
Ürün-5	J1	K2	800
	J4	K1	400
	J5	K3	2400

Çizelge 4.55. Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama sonuçları

D	p_1	p_2	n_3	W_1	W_2	Z_1
0,5003	151850.37	370.585	1,233.9	1,964,893	0.1921	0.8994

D; maximum sapma miktarını, p_1 ; birinci hedeften sapma miktarını, p_2 ; ikinci hedeften sapma miktarını, n_1 ; üçüncü hedeften sapma miktarını göstermektedir.

4.3.5. Önerilen Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama ve çözüm sonuçları

Bu bölümde rassal değişkenler içeren Şans Kısıtlı ÇATDP problemi Bulanık Hedef Programlama yardımı ile çözülmüştür. Çizelge 4.55 ve Çizelge 4.56'da verilen

pozitif ve negatif ideal çözümleri kullanılarak, amaç fonksiyonlarının bulanık hedef fonksiyonlarına dönüşümü bulanık üyelik fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.56. Pozitif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler

W_1	1,917,073.25	3,075.1086	13,401.54
W_2	1,985,814.86	2,727.25	13,324.85
Z_1	2,445,367.95	3,468.6975	15,791.75

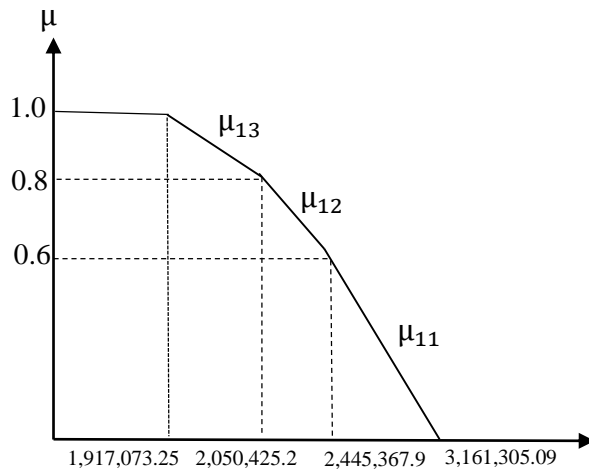
Çizelge 4.57. Negatif ideal çözümlere göre üstün olmayan çözümler

W_1	316,1305.09	3,468.6975	15,791.75
W_2	2,445,367.95	3,468.6975	15,791.75
Z_1	2,050,425.265	2,981.3477	13,132.98

Şans Kısıtlı ÇATDP modeli, Yang et al. (1991) yaklaşımına göre çözülmüştür. Önerilen modelin amaç fonksiyonları parçalı doğrusal içbükey üyelik işlevleri W_1 hedefi için Çizelge 4.58'deki gibi, W_2 hedefi için Çizelge 4.59'daki gibi ve Z_1 hedefi için Çizelge 4.60'daki gibi oluşturulmuştur. Hedeflerin üyelik fonksiyonlarının gösterimleri ise sırasıyla Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23' de verilmiştir.

Çizelge 4.58. W_1 hedefinin üyelik değerleri

W_1	<1,917,073.25	1,917,073.25	2,050,425.265	2,445,367.95	3,161,305.1	>3,161,305.09
μ_1	1.0	1.0	0.8	0.6	0.0	0.0



Şekil 4.21. W_1 için hedeflerin üyelik fonksiyonu

Aralıklar için üyelik fonksiyonları ilk olarak μ_1 için, μ_{11} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{11} = \frac{0.6 - 0}{2,445,367.9500 - 3,161,305.09} = \frac{0.6}{-715,937.14} = -0.000000838$$

$$s_{11} = 0.6 - (-0.000000838)(2,445,367.9500) = 2.649$$

$$-\frac{0.6}{-715,937.14}(W_1) + 2.649 \geq \lambda; 6(W_1) + 1,896,517.48 \leq -715,937.14\lambda$$

$$W_1 + 1193229.52\lambda \leq 3160862.5$$

μ_{21} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{12} = \frac{0.8 - 0.6}{2,050,425.265 - 2,332,071.275} = -\frac{0.2}{281,646.01} = -0.00000071$$

$$s_{12} = 0.8 - (-0.00000071)(2,050,425.265) = 2,256$$

$$-\frac{0.2}{281,646.01}(W_1) + 2.256 \geq \lambda; 2(W_1) + 6,353,934 \leq -281,646.01\lambda$$

$$W_1 + 1,408,230\lambda \leq 3,176,967$$

μ_{31} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{13} = \frac{1.0 - 0.8}{1,917,073.25 - 2,050,425.265} = \frac{0.2}{-133,352} = -0.00000149$$

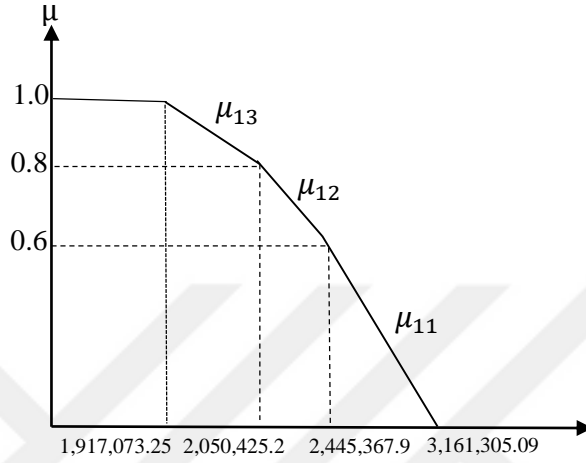
$$s_{13} = 1.0 - (-0.00000149)(1,917,073.25) = 3.856$$

$$\frac{0.2}{-133,352}(W_1) + 3.856 \geq \lambda; -0.2(W_1) + 514,205.3 \geq -133,352\lambda$$

$$W_1 + 666,760\lambda \leq 2,571,026.5$$

Çizelge 4.59. W_2 hedefinin üyelik değerleri

W_2	<2,727.25	2,727.25	2,981.3477	3,075.1086	3,468.6975	>3,468.6975
μ_2	1.0	1.0	0.7	0.5	0.0	0.0



Şekil 4.22. W_2 için hedefinin üyelik fonksiyonu

μ_{21} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{21} = \frac{0.5 - 0.0}{3,075.1086 - 3,468.69} = \frac{0.5}{-393.58} = 0.00127$$

$$s_{21} = 0.6 - (-0.00127)(3,075.1086) = 4.405$$

$$\frac{0.5}{-393.58}(W_2) + 4.405 \geq \lambda; -0.5(W_2) + 1733.72 \geq 393.58\lambda$$

$$W_2 + 787.16\lambda \leq 3467.44$$

$$t_{22} = \frac{0.7 - 0.5}{2,981.34 - 3,075.1086} = \frac{0.2}{-93.768} = -0.00213$$

$$s_{22} = 0.7 - (-0.00213)(2,981.34) = 7.05$$

$$\frac{0.2}{-93.768}(W_2) + 7.05 \geq \lambda; \quad -0.2(W_2) + 661.06 \geq 93.768\lambda$$

$$W_2 + 468.84\lambda \leq 3305.3$$

μ_{23} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{23} = \frac{1.0 - 0.7}{2,727.25 - 2,981.34} = \frac{0.3}{-254.09} = -0.00118$$

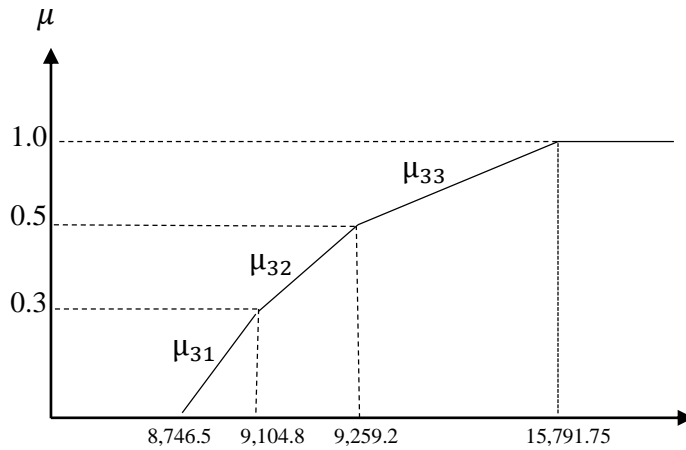
$$s_{23} = 1.0 - (-0.00118)(2,727.25) = 4.218$$

$$\frac{0.3}{-254.09}(W_2) + 4.218 \geq \lambda; \quad -0.3(W_2) + 1,071.75 \geq 254.09\lambda$$

$$W_2 + 846.97\lambda \leq 3,572.51$$

Çizelge 4.60. Z_1 için hedefinin üyelik değeri

Z_1	<13,132.98	13,132.98	13,324.85	13,401.54	15,791.75	>15,791.75
μ_1	0.0	0.0	0.3	0.5	1.0	1.0



Şekil 4.23. Z_1 için hedefinin üyelik fonksiyonu

μ_3 için, μ_{31} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{31} = \frac{0.2 - 0.0}{13,324.85 - 13,132.98} = \frac{0.2}{191.87} = 0.00104$$

$$s_{31} = 0.2 - \left(\frac{0.2}{191.87} \right) (13,324.85) = -13.658$$

$$\frac{0.2}{191.87} (Z_1) + (-13.658) \geq \lambda; 0.2(Z_1) - 2,620.56 \geq 191.87\lambda$$

$$Z_1 - 959.35\lambda \geq 13,102.8$$

μ_{32} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{32} = \frac{0.4 - 0.2}{13,401.54 - 13,324.85} = \frac{0.2}{76.69} = 0.00261$$

$$s_{32} = 0.4 - \left(\frac{0.2}{76.69} \right) (13,401.54) = -34.578$$

$$\frac{0.6}{2,390.21} (Z_1) + (-34.578) \geq \lambda; 0.2(Z_1) - 2,651.79 \geq 76.69\lambda$$

$$Z_1 - 383.453\lambda \geq 13,258.95$$

μ_{33} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_{33} = \frac{1.0 - 0.4}{15,791.75 - 13,401.54} = \frac{0.6}{2,390.21} = 0.000251$$

$$s_{33} = 1 - \left(\frac{0.6}{2,390.21} \right) (15,791.75) = -2.964$$

$$\frac{0.6}{2,390.21} (Z_1) + (-2.964) \geq \lambda; 0.6(Z_1) + (-7,084.58) \geq 2,390.21\lambda$$

$$Z_1 - 3,983.68\lambda \geq 11,807.63$$

Bu üyeliklere göre Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Modeli (4.15)'deki gibi düzenlenir.

Faz I

$$\text{Max } Z = \lambda$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 1,193,229.52\lambda &\leq 3,160,862.5 \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 1,408,230\lambda &\leq 3,176,967 \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 666,760\lambda &\leq 2,571,026.5 \\ \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 787.16\lambda &\leq 3,467.44 \\ \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 468.84\lambda &\leq 3305.3 \\ \sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 846.97\lambda &\leq 3572.51 \\ \sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 959.35\lambda &\geq 13,102.8 \\ \sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 383.453\lambda &\geq 13,258.95 \\ \sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 3,983.68\lambda &\geq 11,807.63 \end{aligned} \tag{4.15}$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar. Ayrıca kısıt (3.38) ve (3.42) yerine (4.7), (4.8) ve (4.9) kısıtları eklenmiştir.

Model (4.15)'in çözümünden elde edilen optimal sipariş miktarları Çizelge 4.61'de, elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile sapma miktarları Çizelge 4.62'de verilmiştir.

Çizelge 4.61. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz I optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K3	1,398
	J5	K1	400
Ürün-2	J2	K3	1,338
	J3	K3	940
Ürün-3	J4	K3	1,318
	J3	K3	1,662
Ürün-4	J5	K1	136
	J1	K3	2,543
Ürün-5	J2	K3	2,037
	J4	K3	1,732
	J5	K3	1,864

Çizelge 4.62. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz I sonuçları

λ	W_1	W_2	Z_1
0.6022	1,981,432	0.194	0.921

Yang ve ark. (1991) yaklaşımı Faz I 'de elde edilen çözümlerin optimal olup olmadığını tespit etmek için Faz II aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Faz II

Faz I'de elde edilen her bir amaç fonksiyonunun elde edilen üyelik derecelerinden minimum olanı ile her bir amaç fonksiyonunun üyelik derecesi sınırlandırılmıştır. Buna göre Model (4.15) aşağıda verilen Model (4.16)'deki gibi düzenlenmiştir.

$$\text{Max } Z = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}{3}$$

Kısıtlar

$$\lambda_1 \geq 0.6022$$

(4.16)

$$\lambda_2 \geq 0.6022$$

$$\lambda_3 \geq 0.6022$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 1,193,229.52\lambda \leq 3,160,862.5$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 1,408,230\lambda \leq 3,176,967$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l P_{ijk} Q_{ijk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l T_{ijk} Q_{ijk} + 666,760\lambda \leq 2,571,026.5$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 787.16\lambda \leq 3,467.44$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 468.84\lambda \leq 3305.3$$

$$\sum_{j=1}^n R_j Q_{ijk} + 846.97\lambda \leq 3572.51$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 959.35\lambda \geq 13,102.8$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 383.453\lambda \geq 13,258.95$$

$$\sum_{j=1}^n S_j Q_{ijk} - 3,983.68\lambda \geq 11,807.63$$

ÇATDP'deki (3.37)-(3.50) kısıtlar. Ayrıca kısıt (3.38) ve (3.42) yerine (4.7), (4.8) ve (4.9) kısıtları eklenmiştir.

Model (4.16)'nın çözümünden elde edilen optimal sipariş miktarları Çizelge 4.62'de, elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile sapma miktarları Çizelge 4.63'de verilmiştir.

Çizelge 4.63. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz II optimal sipariş miktarları

	Seçilen Tedarikçiler	Seçilen Aralık	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J3	K3	998
	J5	K3	800
Ürün-2	J3	K3	2,004
	J4	K3	800
	J5	K3	800
Ürün-3	J3	K3	998
	J5	K3	800
Ürün-4	J1	K3	1,721
	J2	K3	2,851
Ürün-5	J1	K3	822
	J2	K2	524
	J4	K3	2,250

Çizelge 4.64. Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz II sonuçları

λ	λ_1	λ_2	λ_3	W_1	W_2	Z_1
0.686885	0.8562	0.6022	0.6023	1,755,655	0.1947	0.9246

4.3.6. Önerilen yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması

Önerilen Şans Kısıtlı modellerin sonuçları deterministik modellere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu da olağan bir sonuçtur. Maliyet yönlü baktığımızda en iyi sonucu 1,755,655 TL ile Bulanık Hedef Programlama Faz II yöntemi en kötü sonucu 2,148,391 TL ile Bulanık ÇATDP Faz I yöntemi, tedarikçi risklerine baktığımızda en iyi sonuç % 18.37 ile Ağırlıklı Hedef Programlama ve en kötü sonuç % 19.66 risk oranıyla Bulanık ÇATDP Faz I yöntemi olmuştur. Tedarikçi teslimat performansı açısından baktığımızda ise en iyi sonucu % 92.63 oranı ile Ağırlıklı Hedef Programlama vermiştir. En kötü sonuç ise % 87.73 oranı ile Bulanık ÇATDP Faz II yöntemi olmuştur. Önerilen yöntemlerin sonuçları Çizelge 4.65’de verilmiştir.

Çizelge 4.65. Şans kısıtlı yöntemlerin karşılaştırmalı sonuçları

Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz I			
Amaç Fonksiyonu Değerleri	W_1	W_2	Z_1
	2,148,391	0.1966	0.9055
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.5002$		
Amaçların bireysel tatminkârlık dereceleri	$\lambda_1 = 0.6947$	$\lambda_2 = 0.5002$	$\lambda_3 = 0.5002$
Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz II			
Amaç Fonksiyonu Değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,975,410	0.1837	0.8773
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.618658$		
Amaçların bireysel tatminkârlık dereceleri	$\lambda_1 = 0.8742$	$\lambda_2 = 0.5003$	$\lambda_3 = 0.5002$
Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Programlama			
Amaç Fonksiyonu Değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,929,169.25	0.1896	0.9263
Toplam sapma derecesi	$D=0.34$		
Amaçların bireysel sapma dereceleri	$d_{12} = 12.096$	$d_{22} = 0.74$	$d_{31} = 2,467.46$
Şans Kısıtlı Minmax Hedef Programlama			
Amaç Fonksiyonu Değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,964,893	0.1921	0.8994
Toplam sapma derecesi	0.5003		
Amaçların bireysel sapma dereceleri	$p_1 = 151,850.37$	$p_2 = 370.585$	$n_1 = 1,233.9$
Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz I			
Amaç Fonksiyonu Değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,981,432	0.194	0.921
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.6022$		
Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama Faz II			
Amaç Fonksiyonu Değerleri	W_1	W_2	Z_1
	1,755,655	0.1947	0.9246
Tatminkârlık derecesi	$\lambda = 0.686885$		
Amaçların bireysel tatminkârlık dereceleri	$\lambda_1 = 0.8562$	$\lambda_2 = 0.6022$	$\lambda_3 = 0.6023$

Şans kısıtlı yöntem sonuçlarına ek olarak her bir yöntemin verdiği sonuçlara göre seçilen tedarikçiler, indirim aralıkları ve sipariş tahsisleri Çizelge 4.66'da verilmiştir.

Çizelge 4.66. Önerilen şans kısıtlı yöntemlere göre değişken sonuçlarının karşılaştırılması

	Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz I			Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP Faz II			Şans Kısıtlı Ağırlıklı Hedef Prog.			Şans Kısıtlı Minmax Hedef Prog.			Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Prog. Faz I			Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Prog. Faz II		
	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi	Tedarikçiler	İndirim Aralığı	Sipariş Tahsisi
Ürün-1	J1	K2	400	-	-	-	-	-	-	-	--	-	-	-	-	-	-	
	J2	K3	838	-	-	-	-	-	J2	K1	400	-	-	-	-	-	-	
	J3	K2	560	J3	K3	998	J3	K3	998	J3	K2	400	J3	K3	1,398	J3	K3	998
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	J4	K3	998	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	J5	K3	800	J5	K3	800	-	-	-	J5	K1	400	J5	K3	800
Ürün-2	J1	K3	803	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	J2	K2	524	-	-	-	-	-	-	-	-	J2	K3	1,338	-	-	-	
	J3	K3	3,000	J3	K3	2,004	J3	K3	1,996	J3	K3	2800	J3	K3	940	J3	K3	2,004
	-	-	-	J4	K3	800	J4	K3	800	J4	K3	1054	J4	K3	1,318	J4	K3	800
	-	-	-	J5	K3	800	J5	K3	800	-	-	-	J5	K3	800	J5	K3	800
Ürün-3	J1	K1	324	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	J2	K3	1,213	-	-	-	-	-	J2	K2	400	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	J3	K3	998	J3	K3	998	J3	K2	800	J3	K3	1,662	J3	K3	998
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	J4	K2	598	-	-	-	-	-	-
	J5	K1	261	J5	K3	800	J5	K3	800	-	-	-	J5	K1	136	J5	K3	800
Ürün-4	J1	K2	603	J1	K3	2,108	-	-	-	J1	K3	2129	J1	K3	2,543	J1	K3	1,721
	J2	K2	800	J2	K3	2,851	J2	K3	2,575	J2	K3	2575	J2	K3	2,037	J2	K3	2,851
	J3	K2	440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	J4	K3	2,250	-	-	-	J4	K3	1,021	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ürün-5	J1	K3	800	J1	K3	822	J1	K3	1,567	J1	K2	800	-	-	-	J1	K3	822
	-	-	-	J2	K2	524	J2	K3	800	-	-	-	-	-	-	J2	K2	524
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	J4	K2	800	J4	K3	2,250	J4	K3	1,229	J4	K1	400	J4	K3	1,732	J4	K3	2,250
	J5	K3	2,139	-	-	-	-	-	-	J5	K3	2400	J5	K3	1,864	-	-	-

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada otomotiv sektörü yan sanayisinde yer alan uluslararası bir firma için TZRY uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada, TZRY için iki safhadan oluşan entegre bir model önerilmiştir. TZRY problemleri ÇKKV problemleridir. Bu sebeple firma tedarikçilerinin risk ağırlıklarını belirlemek ve hangi tedarikçiden hangi indirim aralığında ne kadar ürün sipariş edileceği kararlarının verilmesini sağlamak için ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, insan yargıları ve öznellik nedeniyle belirsizliğe sahiptir. Karar vericinin dilsel değerlendirmelerini kesin sayılarla algılamak neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, son yıllarda, değerlendirmelerin belirsizliği ile başa çıkmak için çeşitli araştırmalarda bulanık yöntemler tercih edilmiştir.

İlk safhada Tedarik Zinciri Risk Tanımlaması ve Değerlendirmesi yapılmıştır. Tedarik Zinciri Risk Değerlendirmesinin ilk aşamasında firmada çalışan mühendisler tarafından en sık karşılaşılan on tedarikçi risk kriterine sahiptir. Bunlar sırasıyla; kapasite esnekliği, lojistik (taşıma), ekipman bakımı, proses uzmanlığı, organizasyonel yapı, salgınlara karşı strateji oluşturma, hatalı parça oranı, ürün kalitesi, üretim hat esnekliği ve müşteri memnuniyeti riskleridir. Belirlenen bu risk kriterlerinin yargılarındaki tercihleri daha iyi açıklayabilen Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılması yapılmıştır. Elde edilen risk kriter ağırlık sıralamasında salgınlara karşı strateji oluşturma risk kriteri en yüksek değerini almıştır, en az önem ağırlığına sahip risk kriteri ise kapasite esnekliği olmuştur. İkinci aşamada ise, ilk aşamada elde edilen risk kriter ağırlıkları Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemine ve Paksoy ve ark. (2019) yaklaşımına entegre edilmiştir. Uygulanan iki yöntemin sonucuna göre tedarikçilerin risk sıralamaları aynı çıkmış olup, $S1 > S5 > S4 > S3 > S2$ şeklinde olmuştur. Bu sıralama ile firmanın kendi yaptığı risk analizi sonuçları birbiriyle tutarlı çıkmıştır. Böylece otomotiv sektöründe karşılaşılan risklerin değerlendirilmesi yapılarak yönetime yardımcı olmak için uygun bilgi sağlayabildiği kanıtlanmıştır. Tedarikçi risklerinin tanımlanması ve ağırlıklandırılması yoluyla, bu yaklaşım firmalar için daha esnek olmaları ve işletmelerin etkinliğini azaltan konularda başarılı olmaları açısından faydalı olacaktır. Ek olarak, kriter ağırlıklarının sıralama üzerindeki etkisini kontrol etmek için bir duyarlılık analizi yapılmış ve uygulanan yöntemlerin sağlamlılığı kanıtlanmıştır.

Çalışmanın ikinci safhasında, Tedarik Zinciri Risk Azaltması için tedarik zinciri optimizasyonu yapılmıştır. Firma tarafından belirlenen ve birbiriyle çelişen üç amaç ve kısıtlar altında ÇATDP modeli oluşturulmuştur. İlk safhada elde edilen tedarikçi risk

ağırlıkları üç amaçlı olarak oluşturulan modelde risk minimizasyon amacının katsayıları olarak kullanılmıştır. Diğer amaç fonksiyonları ise toplam maliyeti minimizasyonu ve tedarikçilerin teslimat performansının maksimizasyonudur. Önerilen ÇATDP modeli her bir amaca göre ayrı ayrı çözülmüş ve üstün olmayan çözümler tablosu elde edilmiştir. Bu tablo kullanılarak Bulanık ÇATDP, Ağırlıklı ve Minmax Hedef Programlama ile Bulanık Hedef Programlama modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra normal dağılımı izleyen ürünlerin talep ve teslimat süresi gibi parametrelerin stokastik değerleri de dikkate alınarak Şans Kısıtlı ÇATDP modeli oluşturulmuştur. Benzer şekilde Şans Kısıtlı ÇATDP model çözümünden elde edilen üstün olmayan çözümler tablosu kullanılarak Şans Kısıtlı Bulanık ÇATDP, Şans Kısıtlı Hedef Programlama ve Şans Kısıtlı Bulanık Hedef Programlama modelleri elde edilmiştir. Elde edilen bütün modellerin Intel® Core™ İ7 10750H CPU 2.6 GHz işlemciye sahip bilgisayarda GAMS IDE 34 /CPLEX kullanılarak çözümü gerçekleştirilmiştir ve her bir amaç fonksiyon değerleri ile seçilen tedarikçilerden sipariş edilecek optimal ürün miktarları elde edilmiştir.

Deterministik model sonuçlarına baktığımızda, maliyet yönüyle en iyi sonucu Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi verirken, tedarikçi riski açısından en iyi değer Bulanık Hedef Programlama Faz I yöntemiyle elde edilmiştir. Tedarikçi teslimat performansı açısından ise en iyi sonucu Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi vermiştir. Şans Kısıtlı modellerde maliyet maksimizasyonu amacıyla en iyi sonucu veren yöntem Bulanık Hedef Programlama Faz II yöntemi, tedarikçi risk minimizasyonu amacıyla Ağırlıklı Hedef Programlama yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Teslimat performansı maksimizasyonu amacıyla ise, Bulanık Hedef Programlama Faz II yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Şans kısıtlı modellerin amaç fonksiyon değerleri deterministik modellere göre daha fazla bulunmuştur, bu da beklenen bir sonuçtur. Bu sebeple; Bulanık ÇATDP, Ağırlıklı ve Minmax Hedef Programlama ve Bulanık Hedef Programlama modelleri ile bunların şans kısıtlı modellerini kıyasladığımız zaman şans kısıtlı modellerin daha gerçekçi sonuçlara ulaştığını söyleyebiliriz.

Bu tez çalışması, firma yöneticilerine beş farklı ürünü aldıkları beş farklı tedarikçinin risk tanımlaması, risk değerlendirmesi ve risk azaltması için sağlam bir karar destek sistemi sağladığını göstermiştir. Gelecekteki bir araştırma için ele alınan problem farklı bir sektör için uygulanabilir. Farklı amaçlar ve kısıtlar eklenerek, farklı ürün grupları için yeni bir matematiksel model oluşturulabilir. Farklı entegre bulanık ÇKKV yöntemlerini ve bulanık kümelerin diğer uzantılarını TZRY alanında uygulayıp; elde edilen sonuçların bu çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılabileceğini öneriyoruz. Buna ek

olarak önerilen model, zaman gibi başka değişkenler eklenerek genişletilebilir. Ayrıca teslimat süresi ve talep kısıtlarına ek olarak başka rassal değişkenler kullanılarak kısıtlar oluşturulabilir. Son olarak sadece normal dağılımı değil, diğer olasılık dağılımlarını takip eden bulanık rassal değişkenlere sahip Şans Kısıtlı ÇATDP modelini çözmek için problem genişletilebilir.



KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., & Mohamed, R. (2020). A novel plithogenic TOPSIS-CRITIC model for sustainable supply chain risk management. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119586.
- 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, 489-502.
- Afzali, A., Rafsanjani, M. K., & Saeid, A. B. (2016). A fuzzy multi-objective linear programming model based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets for supplier selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 18(5), 864-874.
- Aggarwal, R., & Sharma, S. (2013). Prioritization of supply chain risk assessors using fuzzy analytic hierarchy process. In 2013 International Conference on Machine Intelligence and Research Advancement (pp. 100-104). IEEE.
- Alegoz, M., & Yapicioglu, H. (2019). Supplier selection and order allocation decisions under quantity discount and fast service options. *Sustainable Production and Consumption*, 18, 179-189.
- Al-Husain, R., & Khorramshahgol, R. (2020). Incorporating analytical hierarchy process and goal programming to design responsive and efficient supply chains. *Operations Research Perspectives*, 7, 100149.
- Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2009). A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 121(2), 323-332.
- Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2011). A weighted max–min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 139-145.
- Amin, S. H., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165– 4176.
- Anderson, D. R., Sweeny, D. J., & Williams, T. A. (1997). *An Introduction to Management Science*, Eight Edition.
- Arabsheybani, A., Paydar, M. M., & Safaei, A. S. (2018). An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. *Journal of cleaner production*, 190, 577-591.
- Atalay, K. D. ve Apaydın, A. (2011). Şans Kısıtlı Stokastik Programlama Problemlerinin Deterministik Eşitlikleri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi Teorik Bilimler*. 1,1-18.

- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87–96.
- Atanassov, K. T. (1999). Intuitionistic fuzzy sets. In *Intuitionistic fuzzy sets* (pp. 1-137). Physica, Heidelberg.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13.
- Azadnia, A. H. (2016). A multi-objective mathematical model for sustainable supplier selection and order lot-sizing under inflation. *International Journal of Engineering*, 29(8), 1141-1150.
- Bache, J., Carr, R., Parnaby, J., & Tobias, A. M. (1987). Supplier development systems. *International Journal of Technology Management*, 2(2), 219-228.
- Badea, A., Prosteau, G., Goncalves, G., & Allaoui, H. (2014). Assessing risk factors in collaborative supply chain with the analytic hierarchy process (AHP). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 124, 114-123.
- Bakeshlou, E. A., Khamseh, A. A., Asl, M. A. G., Sadeghi, J., & Abbaszadeh, M. (2017). Evaluating a green supplier selection problem using a hybrid MODM algorithm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(4), 913-927.
- Ballester, E., & Romero, C. (1998). Multiple Criteria Decision Making: An Introduction. In *Multiple Criteria Decision Making and its Applications to Economic Problems* (pp. 1-10). Springer, Boston, MA.
- Bandyopadhyay, S., & Bhattacharya, R. (2013). Applying modified NSGA-II for bi-objective supply chain problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24, 707–716. doi:10.1007/s10845-011-06172.
- Baykoç, Ö. F., & Isleyen, S. K. (2007). Stokastik Talepli Araç Rotalama Problemi İçin Şans Kısıtı Yaklaşımı. *Teknoloji*, 10(1).
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International journal of production economics*, 55(3), 281-294.
- Bellman, R., and Zadeh, L.A., 1970, Decision-making in a fuzzy environment, *Management Science*, 17B: 141-164.
- Bello, A. O., Adegun, A., Eze, S. C., ALAO, E. M., & Gbadamosi, B. (2018). Supply chain management: Risk assessment in automotive industry using Fuzzy-AHP model. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 9(12), 552-562.
- Benyoucef, L., Ding, H., & Xie, X. (2003). *Supplier selection problem: selection criteria and methods* (Doctoral dissertation, INRIA).

- Berenji, H. R., & Anantharaman, R. N. (2011). Supply chain risk management: risk assessment in engineering and manufacturing industries. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2(6), 452.
- Bilsel, R. U. (2017). An Analytical Supply Chain Disruption Framework and a Multi-Objective Supplier Selection Model with Risk Mitigation. In *Multiple Criteria Decision Making in Supply Chain Management* (pp. 311-330). CRC Press.
- Biswas, A., & Modak, N. (2013). A fuzzy goal programming technique for multi-objective chance constrained programming with normally distributed fuzzy random variables and fuzzy numbers. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 5(5), 551-570.
- Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J., & Seuring, S. (2014). Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European journal of operational research*, 233(2), 299-312.
- Buffa, F. P., & Jackson, W. M. (1983). A Goal Programming Model for Purchase Planning. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 19(3), 27–34. doi:10.1111/j.1745-493x.1983.tb00086.x
- Butdee, S., & Phuangsalee, P. (2019). Uncertain risk assessment modelling for bus body manufacturing supply chain using AHP and fuzzy AHP. *Procedia Manufacturing*, 30, 663-670.
- Cagliano, A. C., De Marco, A., Grimaldi, S., & Rafele, C. (2012). An integrated approach to supply chain risk analysis. *Journal of risk research*, 15(7), 817-840.
- Cavinato, J. L. (2004). “Supply Chain Logistics Risks: From the Back Room to the Board Room.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 34 (5): 383–387.
- Chan, F. T. S., Chan, M. H., & Tang, N. K. H. (2000). Evaluation methodologies for technology selection. *Journal of Materials Processing Technology*, 107(1-3), 330-337.
- Chan, F. T., & Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35(4), 417-431.
- Charnes, A. ve Cooper, W.W. (1959). Chance Constrained Programming. *Management Science* 6, 73- 79.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Ferguson, R. O. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management science*, 1(2), 138-151.
- Chen, C., & Lee, W. (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computers and Chemical Engineering*, 28, 1131–1144.
- Chen, C., (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy.

- Chen, H.K, (1994). "A Note on a Fuzzy Goal Programming Algorithm by Tiwari, Dharmar, and Rao", *Fuzzy Sets and Systems*, 62:288.
- Chen, L. H., & Tsai, F. C. (2001). Fuzzy goal programming with different importance and priorities. *European journal of operational research*, 133(3), 548-556.
- Chen, P. S., & 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), 634-642. Fuzzy AHP methods." *Journal of Risk Research* 17, no. 3 (2014): 337-352.
- Chen, S. M., & Lee, L. W. (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. *Expert systems with applications*, 37(4), 2790-2798.
- Cheraghalipour, A., & Farsad, S. (2018). A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: A case study in plastic industry. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 237-250.
- Cheshmehgaz, H. R., Desa, M. I., & Wibowo, A. (2013). A flexible three-level logistic network design considering cost and time criteria with a multi-objective evolutionary algorithm. *Intelligent Manufacturing*, 24, 277–293. doi:10.1007/s10845-011-0584-7.
- Choi, T. M. (2020). Innovative "bring-service-near-your-home" operations under Corona-virus (COVID-19/SARS-CoV-2) outbreak: Can logistics become the messiah? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140, 101961.
- Chopra, S., and M. S. Sodhi. (2004). "Managing Risk to Avoid Supply-chain Breakdown." *Mit Sloan Management Review* 46 (1):53–61.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). Supply chain management. Strategy, planning & operation. In *Das summa summarum des management* (pp. 265-275). Gabler.
- Christopher, M., and H. Peck., (2004). "Building the Resilient Supply Chain." *The International Journal of Logistics Management* 15 (2): 1–14.
- Colapinto, C., Jayaraman, R., & La Torre, D. (2020). Goal programming models for managerial strategic decision making. In *Applied mathematical analysis: theory, methods, and applications* (pp. 487-507). Springer, Cham.
- Çebi, F., & Otay, İ. (2016). A two-stage fuzzy approach for supplier evaluation and order allocation problem with quantity discounts and lead time. *Information Sciences*, 339, 143-157.
- Danesh, D., Ryan, M. J., & Abbasi, A. (2018). Multi-criteria decision-making methods for project portfolio management: a literature review. *International Journal of Management and Decision Making*, 17(1), 75-94.

- Demir, K. N. (2018). Bir savunma sanayii firmasında tedarikçi seçimi çalışması (Master's thesis, TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Dempsey, W. A. (1978). Vendor selection and the buying process. *Industrial Marketing Management*, 7(4), 257-267.
- Deshmukh, A. J., & Chaudhari, A. A. (2011). A review for supplier selection criteria and methods. In *technology systems and management* (pp. 283-291). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dickson, G.W.: An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing* 2(1), 5–17 (1966).
- Dong, Q., & Cooper, O. (2016). An orders-of-magnitude AHP supply chain risk assessment framework. *International Journal of Production Economics*, 182, 144-156.
- Đurić, G., Todorović, G., Dorđević, A., & Borota Tišma, A. (2019). A new fuzzy risk management model for production supply chain economic and social sustainability. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 32(1), 1697-0.
- Dzupire, N. C., & Nkansah-gyekye, Y. (2014). A Multi-Stage Supply Chain Network Optimization Using Genetic Algorithms. *Mathematical Theory and Modeling*, 4(8), 18–29.environment. *Fuzzy Set Syst.* 114, 1e9.
- Ebrahim, R. M., Razmi, J., & Haleh, H. (2009). Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment. *Advances in Engineering Software*, 40(9), 766-776.
- Ebrahim Qazvini, Z., Haji, A., & Mina, H. (2021). A fuzzy solution approach to supplier selection and order allocation in green supply chain considering the location-routing problem. *Scientia Iranica*, 28(1), 446-464.
- Erdin, C., & Esen, Ö. (2007). Bulanık HP ve İşletme Yönetiminde Bir Uygulama.
- Fallahpour, A., Olugu, E.U., Musa, S.N., Wong, K.Y., Noori, S., (2017). A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. *Comput. Ind. Eng.* 105, 391e410.
- Feng, J., & Gong, Z. (2020). Integrated linguistic entropy weight method and multi-objective programming model for supplier selection and order allocation in a circular economy: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 277, 122597.
- Flavell, R.B. (1976). A new goal programming formulation. *Omega, The International Journal of Management Science* 4:731– 732.
- Freeman, J., Chen, T., (2015). Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework. *Supply Chain Manag.: Int. J.* 20 (3), 327e340.

- Gaballa, A. A. (1974). Minimum cost allocation of tenders. *Operational Research Quarterly*, 25(3), 389–398.
- Ganguly, Kunal K; Guin, Kalyan, K. (2013). “A Fuzzy AHP Approach for Inbound Supply Risk Assessment.” *Benchmarking: An International Journal* 20(1): 129–46.
- Ghadimi, P., Toosi, F. G., & Heavey, C. (2018). A multi-agent systems approach for sustainable supplier selection and order allocation in a partnership supply chain. *European Journal of Operational Research*, 269(1), 286-301.
- Goh, M., J. Y. Lim, and F. Meng., (2007). “A Stochastic Model for Risk Management in Global Supply Chain Networks.” *European Journal of Operational Research* 182 (1): 164–173.
- Govindan, K., & Jepsen, M. B. (2016). Supplier risk assessment based on trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers and ELECTRE TRI-C: a case illustration involving service suppliers. *Journal of the Operational Research Society*, 67(2), 339-376.
- Göksu, A. (2008). Bulanık analitik hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Isparta.
- Gören, H. G. (2018). A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1156-1169.
- Gul, M., & Ak, M. F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *Journal of cleaner production*, 196, 653-664.
- Gurtu, A., & Johnny, J. (2021). Supply Chain Risk Management: Literature Review. *Risks*, 9(1), 1-16.
- Güneş, M., & Umarosman, N. (2005). Fuzzy goal programming approach on computation of the fuzzy arithmetic mean. *Mathematical and Computational applications*, 10(2), 211-220.
- Güngör, (2015). Çok amaçlı hedef programlamanın karar problemlerine katkısı ve bir üretim uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Hadian, H., Jahromi, A., & Soleimani, M. (2018). Order allocation in a multiple-vendor and quantity discount environment: A multi-objective decision making approach. *Management Science Letters*, 8(10), 975-990.
- Hallikas, J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, V. M., & Tuominen, M. (2004). Risk management processes in supplier networks. *International Journal of Production Economics*, 90(1), 47-58.

- Hamdan, S., & Cheaitou, A. (2017). Dynamic green supplier selection and order allocation with quantity discounts and varying supplier availability. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 573-589.
- Hamdan, S., & Cheaitou, A. (2017). Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach. *Computers & Operations Research*, 81, 282-304.
- Hamdi, F., Dupont, L., Ghorbel, A., & Masmoudi, F. (2016). Supplier selection and order allocation under disruption risk. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 449-454.
- Hannan, E.L., (1981). "Linear Programming with Multiple Fuzzy Goals", *Fuzzy Sets and Systems*, 6(3):235-248.
- Hao, J., Li, J., Wu, D., & Sun, X. (2020). Portfolio optimisation of material purchase considering supply risk—A multi-objective programming model. *International Journal of Production Economics*, 230, 107803.
- Harland, C., R. Brenchley, and H. Walker. (2003). "Risk in Supply Networks." *Journal of Purchasing and Supply Management* 9 (2): 51–62.
- Hendricks, K.B. and 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): 35-52.
- Hosseini, S., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M. D., Barker, K., & Al Khaled, A. (2019). Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics*, 213, 124-137.
- Hudnurkar, M., Deshpande, S., Rathod, U., & Jakhar, S. (2017). Supply chain risk classification schemes: A literature review. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 10(4), 182-199.
- Hulsurkar, S., Biswal, M. P., & Sinha, S. B. (1997). Fuzzy programming approach to multi-objective stochastic linear programming problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 88(2), 173-181.
- Hwang, C.L. ve Masud A.S.M. (1979). *Multiple Objective Decision Making- Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hwang, C-L and Yoon, K. (1980). *Multiple Attribute Decision Making and Applications*, Springer-Verlag, New York.
- Ignatius, J., Mustafa, A., & Goh, M. (2012). Modeling funding allocation problems via AHP-fuzzy TOPSIS. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(5), 3329-3340.
- Ijiri, Y. (1965). *Management Goals and Accounting for Control*, Volume III of. *Studies in Mathematical and Managerial Economics*.

- Ilbahar, E., Cebi, S., & Kahraman, C. (2019). A state-of-the-art review on multi-attribute renewable energy decision making. *Energy Strategy Reviews*, 25, 18-33.
- Ilbahar, E., Karasan, A., Cebi, S., & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety science*, 103, 124-136.
- Jadidi, O., Zolfaghari, S., & Cavalieri, S. (2014). A new normalized goal programming model for multiobjective problems: A case of supplier selection and order allocation. *International Journal of Production Economics*, 148, 158–165.
- Jamshidi, R., Ghomi, S. F., & Karimi, B. (2012). Multi-objective green supply chain optimization with a new hybrid memetic algorithm using the Taguchi method. *Scientia Iranica*, 19(6), 1876-1886.
- Ji, G., and C. Zhu., (2012). “A Study on Emergency Supply Chain and Risk Based on Urgent Relief Service in Disasters.” *Systems Engineering Procedia* 5: 313–325.
- Jones, D., & Tamiz, M. (2010). *Practical goal programming* (Vol. 141). New York: Springer.
- Jüttner, U., & Ziegenbein, A. (2009). Supply chain risk management for small and medium-sized businesses. In *Supply Chain Risk* (pp. 199-217). Springer, Boston, MA.
- Jüttner, U., H. Peck, and M. Christopher. (2003). “Supply Chain Risk Management: Outlining an Agenda for Future Research.” *International Journal of Logistics: Research and Applications* 6: 197–210.
- Kahraman, C. (Ed.). (2008). *Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments* (Vol. 16). Springer Science & Business Media.
- Kahraman, C., Öztayşi, B., Sarı, İ. U., & Turanoğlu, E. (2014). Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*, 59, 48-57.
- Kall, P. ve Mayer, J. (2005). *Stochastic Linear Programming Models, Theory and Computation*. Springer, Kluwer Academic Publishers. USA. Liu, B. ve Iwamura, K. 94 (1998). Chance constrained programming with fuzzy parameters. *Fuzzy Sets and Systems*. 94, 227-237.
- Kamali, A., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Jolai, F. (2011). A multi-objective quantity discount and joint optimization model for coordination of a single-buyer multi-vendor supply chain. *Computers and Mathematics with Applications*, 62(8), 3251–3269.
- Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner production*, 47, 355-367.

- Karasan, A., Ilbahar, E., Cebi, S., & Kahraman, C. (2018). A new risk assessment approach: Safety and Critical Effect Analysis (SCEA) and its extension with Pythagorean fuzzy sets. *Safety science*, 108, 173-187.
- Karli, H., & Tanyaş, M. (2020). Pandemi durumunda tedarik zinciri risk yönetimine ilişkin öneriler. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(37), 174-190.
- Karnik, N. N., & Mendel, J. M. (2001). Operations on type-2 fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 122(2), 327-348.
- Kaur, H., & Singh, S. P. (2021). Multi-stage hybrid model for supplier selection and order allocation considering disruption risks and disruptive technologies. *International Journal of Production Economics*, 231, 107830.
- Kazançoğlu, Y. (2008). Lojistik Yönetimi Sürecinde Tedarikçi Seçimi ve Performans Değerlendirmesinin Yöneylem Araştırması Teknikleri ile Gerçekleştirilmesi: AHP (Analitik Hiyerarşi Süreç) ve DEA (Veri Zarflama Analizi). Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Kazemi, N., Ehsani, E., & Glock, C. H. (2014). Multi-objective supplier selection and order allocation under quantity discounts with fuzzy goals and fuzzy constraints. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 7(1), 66-96.
- Kenarroudi, E. (2012). An integrated FAHP-FMOMILP model for multi-product Multi-period lot sizing with Supplier selection in quantity discount environments. *Life Science Journal*, 9(3).
- Kehoe, D., & Boughton, N. (2001). Internet based supply chain management: A classification of approaches to manufacturing planning and control. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Khojasteh-Ghamari, Z., & Irohara, T. (2018). Supply chain risk management: A comprehensive review. *Supply chain risk management*, 3-22.
- Kırılmaz, O. (2014). Tedarik Zinciri Şebekesinde Risk Yönetimi: Otomotiv Endüstrisinde Bir Uygulama. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kilic, H. S., & Yalcin, A. S. (2020). Modified two-phase fuzzy goal programming integrated with IF-TOPSIS for green supplier selection. *Applied Soft Computing*, 93, 106371.
- Kim, J. S., & Whang, K. S. (1998). A tolerance approach to the fuzzy goal programming problems with unbalanced triangular membership function. *European journal of operational research*, 107(3), 614-624.
- Kull, T. J., & Talluri, S. (2008). A supply risk reduction model using integrated multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Engineering management*, 55(3), 409-419.

- Kumar, M., P. Vrat, and R. Shankar., 2006. "A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain." *International Journal of Production Economics* 101: 273–285.
- Lai, Y.J. ve Hwang C.L. (1994). *Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Lai, Y.J. ve Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Mathematical Programming*. Berlin: Springer-Verlag.
- Latha Shankar, B., Basavarajappa, S., Chen, J. C. H., & Kadadevaramath, R. S. (2013). Location and allocation decisions for multi-echelon supply chain network – A multi-objective evolutionary approach. *Expert Systems with Applications*, 40, 551–562.
- Lee, E. S., & Li, R. J. (1993). Fuzzy multiple objective programming and compromise programming with Pareto optimum. *Fuzzy sets and systems*, 53(3), 275-288.
- Lee, L. W., & Chen, S. M. (2008). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the extension of TOPSIS method and interval type-2 fuzzy sets. In *Proceedings of the 2008 international conference on machine learning and cybernetic* (pp. 3260–3265), Kunming, China.
- Liu, P. D., ve Jin, F., (2012), The trapezoid fuzzy linguistic Bonferroni mean operators and their application to multiple attribute decision making. *Scientia Iranica*, 19(6), 1947-1959.
- Li, Z., Wong, W. K., & Kwong, C. K. (2013). An integrated model of material supplier selection and order allocation using fuzzy extended AHP and multiobjective programming. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- Liang, T.-F. (2008). Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multiproduct and multi-time period in a supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 55(3), 676– 694.
- Lin, H. ve Yu, C.S., (1999). "Comments on "Fuzzy Programming with Nonlinear Membership Functions", *Fuzzy Sets and Systems*, 101:109-113.
- Liu, B., & Iwamura, K. (1998). Chance constrained programming with fuzzy parameters. *Fuzzy sets and systems*, 94(2), 227-237.
- Liu, S., & Papageorgiou, L. G. (2013). Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry. *Omega*, 41, 369–382.
- Liu, Z., Qiu, T., & Chen, B. (2014). A study of the LCA based biofuel supply chain multi-objective optimization model with multi-conversion paths in China. *Applied Energy*, 126, 221–234.

- Lo, H. W., Liou, J. J., Wang, H. S., & Tsai, Y. S. (2018). An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation. *Journal of cleaner production*, 190, 339-352.
- Lu, J., Zhang, G., Ruan, D. and Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision Making Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques*, Imperial College Press, Singapore.
- Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015). Prioritizing the responses to manage risks in green supply chain: An Indian plastic manufacturer perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 1, 67-86.
- Marasova, D., Andrejiova, M., & Grincova, A. (2017). Applying the heuristic to the risk assessment within the automotive industry supply chain. *Open Engineering*, 7(1), 43-49.
- Mavi, R. K., Goh, M., & Mavi, N. K. (2016). Supplier selection with Shannon entropy and fuzzy TOPSIS in the context of supply chain risk management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 235, 216-225.
- Meena, P. L., & Sarmah, S. P. (2013). Multiple sourcing under supplier failure risk and quantity discount: A genetic algorithm approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 50, 84-97.
- Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., & Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 9-24.
- Mendoza, G. A., & Prabhu, R. (2000). Development of a methodology for selecting criteria and indicators of sustainable forest management: a case study on participatory assessment. *Environmental management*, 26(6), 659-673.
- Miccuci, V. C. G. S. 2008. "Um modelo pró-ativo de gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos [A Proactive Model of Supply Chain Risk Management]." PhD, Pontificia Universidade Católica.
- Miller, B. L. ve Wagner, H. M. (1965). *Chance Constrained Programming With Joint Constraints*.
- Mirzaee, H., Naderi, B., & Pasandideh, S. H. R. (2018). A preemptive fuzzy goal programming model for generalized supplier selection and order allocation with incremental discount. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 292-302.
- Mirzaee, H., Naderi, B., & Pasandideh, S. H. R. (2018). A preemptive fuzzy goal programming model for generalized supplier selection and order allocation with incremental discount. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 292-302. doi:10.1016/j.cie.2018.05.042.

- Mital, M., Del Giudice, M., & Papa, A. (2018). Comparing supply chain risks for multiple product categories with cognitive mapping and Analytic Hierarchy Process. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 159-170.
- Moeinzadeh, P., & Hajfathaliha, A. (2009). A combined fuzzy decision making approach to supply chain risk assessment. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 60(2), 519-528.
- Mohamed, R. H. (1992). A chance-constrained fuzzy goal program. *Fuzzy Sets and Systems*, 47(2), 183-186.
- Mohammed, A., Setchi, R., Filip, M., Harris, I., & Li, X. (2018). An integrated methodology for a sustainable two-stage supplier selection and order allocation problem. *Journal of Cleaner Production*, 192, 99-114.
- Moheb-Alizadeh, H., & Handfield, R. (2019). Sustainable supplier selection and order allocation: A novel multi-objective programming model with a hybrid solution approach. *Computers & industrial engineering*, 129, 192-209.
- Moktadir, M. A., Dwivedi, A., Khan, N. S., Paul, S. K., Khan, S. A., Ahmed, S., & Sultana, R. (2021). Analysis of risk factors in sustainable supply chain management in an emerging economy of leather industry. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124641.
- Moore, D. L., & Fearon, H. E. (1973). Computer-Assisted Decision-Making in Purchasing. *Journal of Purchasing*, 9(4), 5-25. doi:10.1111/j.1745-493X.1973.tb00271.x.
- Mutlu, M. (2019). Türkiye'deki Yeraltı Kömür Ocağı Havzalarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Risk Temelli Sınıflandırılması, Doktora Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aksaray.
- Nanda, S., Panda, G., Dash, J.K., (2008), "A New Methodology for Crisp Equivalent of Fuzzy Chance-Constrained Programming Problem", *Fuzzy Decision Making – Springer Verlag*, vol:7, s.59-74.
- Narasimhan, R., (1980). "Goal Programming in a Fuzzy Enviroment", *Decision Sciences*, 11:325-336.
- Nasr, A. K., Tavana, M., Alavi, B., & Mina, H. (2021). A novel fuzzy multi-objective circular supplier selection and order allocation model for sustainable closed-loop supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 287, 124994.
- Nazam, M., Xu, J., Tao, Z., Ahmad, J., & Hashim, M. (2015). A fuzzy AHP-TOPSIS framework for the risk assessment of green supply chain implementation in the textile industry. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2(1), 548-568.

- Nazari-Shirkouhi, S., Shakouri, H., Javadi, B., & Keramati, A. (2013). Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming. *Applied Mathematical Modelling*, 37(22), 9308-9323.
- Nguyen, H. T., Md Dawal, S. Z., Nukman, Y., P. Rifai, A., & Aoyama, H. (2016). An integrated MCDM model for conveyor equipment evaluation and selection in an FMC based on a fuzzy AHP and fuzzy ARAS in the presence of vagueness. *PloS one*, 11(4), e0153222.
- Nooraie, S. V., & Parast, M. M. (2015). A multi-objective approach to supply chain risk management: Integrating visibility with supply and demand risk. *International Journal of Production Economics*, 161, 192-200.
- Norrman, A., & Jansson, U. (2004). Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident. *International journal of physical distribution & logistics management*.
- Nourmohamadi Shalke, P., Paydar, M. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). Sustainable supplier selection and order allocation through quantity discounts. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 13(1), 20-32.
- Ozer, O. (2004). Capacity and quality risk in decentralized supply chains. *The Supply Chain Connection*, 10(4).
- Ozturkoglu, Y., Kazancoglu, Y., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2019). A sustainable and preventative risk management model for ship recycling industry. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117907.
- Özkan, M.M. (2003) Bulanık Hedef Programlama, Ekin Kitabevi, Bursa.
- Özkar, V., & Basligil, H. (2013). Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment. *Cleaner Production*, 41, 114–125.
- Paksoy, T., & Pehlivan, N. Y. (2012). A fuzzy linear programming model for the optimization of multi-stage supply chain networks with triangular and trapezoidal membership functions. *Journal of the Franklin Institute*, 349(1), 93-109.
- Paksoy, T., Çalik, A., Yildizbaşı, A., & Huber, S. (2019). Risk management in lean & green supply chain: A novel fuzzy linguistic risk assessment approach. In *Lean and Green Supply Chain Management* (pp. 75-100). Springer, Cham.
- Paksoy, T., Özceylan, E., & Weber, G. (2010). A multi objective model for optimization of a green supply chain network. In *AIP Conference Proceedings*.
- Park, K., Kremer, G. E. O., & Ma, J. (2018). A regional information-based multi-attribute and multi-objective decision-making approach for sustainable supplier selection and order allocation. *Journal of cleaner production*, 187, 590-604.

- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability. *Expert Systems with Applications*, 42(5), 2615-2623.
- Pettit, T. J., K. L. Croxton, and J. Fiksel., (2013). “Ensuring Supply Chain Resilience: Development and Implementation of an Assessment Tool.” *Journal of Business Logistics* 34: 46–76.
- Pishvae, M. S., & Razmi, J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*, 36(8), 3433–3446.
- Pishvae, M. S., & Torabi, S. a. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20), 2668–2683.
- Pitchaiah, D. S., Hussaian, M., Sateesh, N., & Govardhan, D. (2020). Prioritization of supply chain risk by Multi Attribute Decision Making method for manufacturing of automobiles. *Materials Today: Proceedings*.
- Prakash, A., Agarwal, A., & Kumar, A. (2018). Risk assessment in automobile supply chain. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3571-3580.
- PrasannaVenkatesan, S., & Goh, M. (2016). Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 95, 124-142.
- Russell, S. H. (2007). Supply chain management: more than integrated logistics. *Air Force Journal of Logistics*, 31(2), 56-64.
- Qazi, A., Quigley, J., & Dickson, A. (2015). Supply Chain Risk Management: Systematic literature review and a conceptual framework for capturing interdependencies between risks. In *2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)* (pp. 1-13). IEEE.
- Prekopa, A. (1973). Contributions To The Theory Of Stochastic Programming. *Mathematical Programming*, 4:202–221.
- Radivojević, G., & Gajović, V. (2014). Supply chain risk modeling by AHP and Fuzzy AHP methods. *Journal of Risk Research*, 17(3), 337-352.
- Ramesh, K. T., Sarmah, S. P., & Tarei, P. K. (2019). An integrated framework for the assessment of inbound supply risk and prioritization of the risk drivers. *Benchmarking: An International Journal*.
- Ravindran, A. R., Ufuk Bilsel, R., Wadhwa, V., & Yang, T. (2010). Risk adjusted multicriteria supplier selection models with applications. *International Journal of Production Research*, 48(2), 405-424.
- Roa and Kiser, 1980. Educational buyers’ perceptions of vendor attributes *Journal of Purchasing and Materials Management*, 16 (1980), pp. 25-30

- Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669.
- Rouyendegh, B. D. (2015). Developing an integrated ANP and intuitionistic fuzzy TOPSIS model for supplier selection. *Journal of Testing and Evaluation*, 43(3), 664-672.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- Sadeghi, J., Mousavi, S. M., Niaki, S. T. A., & Sadeghi, S. (2014). Optimizing a bi-objective inventory model of a three-echelon supply chain using a tuned hybrid bat algorithm. *Transportation Research Part E*, 70, 274-292.
- Samvedi, A., Jain, V., & Chan, F. T. (2013). Quantifying risks in a supply chain through integration of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. *International Journal of Production Research*, 51(8), 2433-2442.
- Samvedi, A., V. Jain, and F. T. S. Chan., 2013. "Quantifying Risks in a Supply Chain through Integration of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS." *International Journal of Production Research* 51: 2433-2442.
- Sasikumar, P., & Kannan, G. (2009). Issues in reverse supply chain, part III: classification and simple analysis. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2(1), 2-27.
- Sawyer, C. S. ve Lin, Y. (1998). Mixed-Integer Chance-Constrained Models For Ground-Water Remediation. *Journal of Water Resource Planning Management*. 124:285-294.
- Schniederjans, M. J., (1995). *Goal Programming: Methodology and Applications*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Sengupta, J.K. (1970). A Generalization of Some Distribution Aspects of Chance Constrained Linear Programming. *International Economic Review* 11, 287-304.
- Sengupta, J.K. (1972). *Stochastic Programming: Methods and Applications*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Senthil, S., Murugananthan, K., & Ramesh, A. (2018). Analysis and prioritisation of risks in a reverse logistics network using hybrid multi-criteria decision making methods. *Journal of Cleaner Production*, 179, 716-730.

- Shahparvari, S., Chiniforooshan, P., & Abareshi, A. (2013). Designing an Integrated Multi-objective Supply Chain Network Considering Volume Flexibility. In Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (Vol. 2). San Francisco.
- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S.S., Thakur, L.S., (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Syst. Appl.* 39 (9), 8182e8192.
- Shu, M. H., Cheng, C. H., & Chang, J. R. (2006). Using intuitionistic fuzzy sets for fault-tree analysis on printed circuit board assembly. *Microelectronics Reliability*, 46(12), 2139-2148.
- Singh, A. (2014). Supplier evaluation and demand allocation among suppliers in a supply chain. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(3), 167-176.
- Sinha, P. R., Whitman, L. E., & Malzahn, D. (2004). Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain. *Supply Chain Management: an international journal*.
- Smarandache F (1999) A unifying field in logics neutrosophy: neutrosophic probability, set and logic. American Research Press, Rehoboth, pp 1–141.
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable energy*, 75, 617-625.
- Tabucanon, M. T. (1988). Multiple criteria decision making in industry (Vol. 8). Elsevier Science Limited.
- Taha, H.A. (1997). *Operations Research an Introduction*. Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- Taha, H.A. (2007). *Yöneylem Araştırması, 4.basım, Literatür Yayıncılık, İstanbul*.
- Tang, O., and S. N. Musa., 2011. “Identifying Risk Issues and Research Advancements in Supply Chain Risk Management.” *International Journal of Production Economics* 133: 25–34.
- Tayyab, M., & Sarkar, B. (2021). An interactive fuzzy programming approach for a sustainable supplier selection under textile supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 107164.
- Thun, J.H. and Hoenig, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 131: 242-249.

- Tirkolae, E. B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., & Weber, G. W. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119517.
- Tiwari, R.N., Dhamar, S. ve Rao, J.R., (1986). "Priority Structure in Fuzzy Goal Programming", *Fuzzy Sets and Systems*, 19:251-259.
- Toksarı, M. D., & Erol, Umut. (2017). Tedarik Zinciri Yönetiminde Stokastik Talep ve Fire Oranlı Üretim-Dağıtım Problemi İçin Şans Kısıtı Yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 33(2), 102-115.
- Torra, V. (2010) 'Hesitant fuzzy sets', *International Journal of Intelligent Systems*, 2010, 25, pp. 529-539.
- Torra, V., and Narukawa, Y. (2009). 'On Hesitant Fuzzy Sets and Decision'. *Proc. FUZZ-IEEE*, Korea, August 20-24 pp.
- Triantaphyllou, E. (2000). Introduction to multi-criteria decision making. In *Multi-criteria decision making methods: a comparative study* (pp. 1-4). Springer, Boston, MA.
- Tsai, W. C., & Wang, C. H. (2010). Decision making of sourcing and order allocation with price discounts. *Journal of Manufacturing Systems*, 29(1), 47-54.
- Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the supply chain risk management process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal*.
- Tuysuz, F., Kahraman, C., (2006). Project risk evaluation using a fuzzy analytic hierarchy process: an application to information technology projects. *Int. J. Intell. Syst.* 21 (6), 559–584.
- Tütek, H., & Gümüšoğlu, Ş. (2008). İşletme istatistiği. Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ.
- Jones, D., & Tamiz, M. (2010). *Practical goal programming* (Vol. 141). New York: Springer.
- Umarusman, N. (2018.). Multiple objective decision-making methods in supplier selection. In S. K. Mangla, S. Luthra, S. K. Jakhar, A. Kumar, & N. P. Rana (Eds.), *Sustainable procurement in supply chain operations* (pp. 177-208). Boca Raton, FL: CRC Press. doi:10.1201/9780429466328-8.
- Umarusman, N. (2018). Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler (Açıklayıcı Örneklerle). GAZİ KİTABEVİ,1. Baskı Ankara.
- Wang Chen, H. M., Chou, S. Y., Luu, Q. D., & Yu, T. H. K. (2016). A fuzzy MCDM approach for green supplier selection from the economic and environmental aspects. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.

- Wang, D., and Z. Yang., (2007). Risk Management of Global Supply Chain. In Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2007, 1150–1155.
- Wang, F., Lai, X., & Shi, N. (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*, 51(2), 262–269.
- Wang, H. F., & Fu, C. C. (1997). A generalization of fuzzy goal programming with preemptive structure. *Computers & operations research*, 24(9), 819-828.
- Wang, X., Chan, H. K., Yee, R. W., & Diaz-Rainey, I. (2012). A two-stage fuzzy-AHP model for risk assessment of implementing green initiatives in the fashion supply chain. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 595-606.
- Wang, Y., & Hao, H. X. (2016). Research on the supply chain risk assessment of the fresh agricultural products based on the improved toptsis algorithm. *Chemical Engineering Transactions*, 51, 445-450.
- Weber, C. A., & Ellram, L. M. (1993). Supplier Selection Using Multi-objective Programming: A Decision Support System Approach. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 23(2), 3–14.
- Wu Y, Zhang J, Yuan J, Geng S, Zhang H (2016) Study of decision framework of offshore wind power station site selection based on ELECTRE-III under intuitionistic fuzzy environment: a case of China. *Energy Convers Manag* 113:66–81.
- Wu, D. D., Zhang, Y., Wu, D., & Olson, D. L. (2010). Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and risk modeling: A possibility approach. *European journal of operational research*, 200(3), 774-787.
- Wu, T., J. Blackhurst, and V. Chidambaram. (2006). “A Model for Inbound Supply Risk Analysis.” *Computers in Industry* 57 (4): 350–365.
- Xia, M.M., and Xu, Z.S. (2011). ‘Hesitant fuzzy information aggregation in decision making’, *International Journal of Approximate Reasoning*, 2011, 52, pp. 395–407.
- Xia, W., & Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(5), 494-504.
- Xu, J., Liu, Q., & Wang, R. (2008). A class of multi-objective supply chain networks optimal model under random fuzzy environment and its application to the industry of Chinese liquor. *Information Sciences*, 178(8), 2022–2043.
- Xu, M., Cui, Y., Hu, M., Xu, X., Zhang, Z., Liang, S., & Qu, S. (2019). Supply chain sustainability risk and assessment. *Journal of Cleaner Production*, 225, 857-867.
- Xu, Z. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 15(6), 1179-1187.

- Xu, Z., and Zhang, X. (2013). 'Hesitant fuzzy multi-attribute decision making based on TOPSIS with incomplete weight information', *Knowledge-Based Systems*, 2013, 52 pp. 53-64.
- Xu, Z.S., and Xia, M.M. (2011) 'Distance and similarity measures for hesitant fuzzy sets', *Information Sciences*, 2011, 181, pp. 2128-2138.
- Yager, R. R., (2013). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958-965.
- Yager, R.R., (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making.
- Yaghoobi, M. A., & Tamiz, M. (2007). A method for solving fuzzy goal programming problems based on MINMAX approach. *European journal of operational research*, 177(3), 1580-1590.
- Yang, T., Ignizio, J. ve Kim, H.J., (1991). "Fuzzy Programming with Nonlinear Membership Functions: Piecewise Linear Approximation", *Fuzzy Sets and Systems* 93(3):311-318.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E.K., Zolfani, S.H., (2017). Integrated QFD MCDM framework for green supplier selection. *J. Clean. Prod.* 142, 3728e3740.
- Yeh, W.-C., & Chuang, M.-C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4244–4253.
- Yong, D., (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 28 (7–8), 839–844.
- You, F., Tao, L., Graziano, D. J., & Snyder, S. W. (2012). Optimal Design of Sustainable Cellulosic Biofuel Supply Chains: Multiobjective Optimization Coupled with Life Cycle Assessment and Input – Output Analysis. *AIChE Journal*, 58(4), 1157–1180
- Yousefi, S., Mahmoudzadeh, H., & Jahangoshai Rezaee, M. (2017). Using supply chain visibility and cost for supplier selection: a mathematical model. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 12(3), 196-205.
- Yu, M. C., & Goh, M. (2014). A multi-objective approach to supply chain visibility and risk. *European Journal of Operational Research*, 233(1), 125-130.
- Yucesan, M., & Kahraman, G. (2019). Risk evaluation and prevention in hydropower plant operations: A model based on Pythagorean fuzzy AHP. *Energy policy*, 126, 343-351.
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199-249.
- Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy sets. *Inf Control* 8(3):338–353.

- Zeng, S., Chen, J., Li, X., (2016). A hybrid method for pythagorean fuzzy multiple criteria.
- Zhang, A., Luo, H., & Huang, G. Q. (2013). A bi-objective model for supply chain design of dispersed manufacturing in China. *Internastional Journal of Production Economics*, 146(1), 48–58.
- Zhang, N., and Wei, G. (2013). ‘Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set’, *Applied Mathematical Modeling*, 2013, 37, pp. 4938-4947.
- Zhang, X., & Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12), 1061-1078.
- Zhang, Z., & Xu, J. (2014). Applying nonlinear MODM model to supply chain management with quantity discount policy under complex fuzzy environment. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 7(3), 660–680.
- Zimmer, K., Fröhling, M., Breun, P., & Schultmann, F. (2017). Assessing social risks of global supply chains: a quantitative analytical approach and its application to supplier selection in the German automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 149, 96-109.
- Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy sets and systems*, 1(1), 45-55.
- Zimmermann, H.J., (1985). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer, Nijhoff Publishing, Boston.
- Zimmermann, H.J., and Zysno, P., (1985). Quantifying vagueness in decision model, *European Journal of Operational Research*, 22: 148–158.
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. (2015). BIM-based risk management: challenges and opportunities.
- Zsidisin, G. A., & Ritchie, B. (Eds.). (2008). *Supply chain risk: a handbook of assessment, management, and performance* (Vol. 124). Springer Science & Business Media.
- <https://www.weforum.org/agenda/2020/05/this-is-what-global-supply-chains-will-look-like-after-covid-19/> [Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2021].

EKLER

EK-1. Her bir kritere göre tedarikçilerin önem ağırlıkları

		KARAR VERİCİLER						Bulanık Değer		Kesin Değer
		KV 1		KV2		KV3				
C1	S1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.1083
		0	0	0.1	0	0.1	0	0.0667	0.0000	
		0	0	0.1	0	0.1	0	0.0667	0.0000	
		0.1	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.2333	0.5000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1667	0.2667	0.3575
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5667	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2333	0.3333	0.4225
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4333	0.4333	
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4333	0.4333	
		0.5	0.4	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6333	0.5333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2333	0.3333	0.4225
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4333	0.4333	
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4333	0.4333	
		0.7	0.6	0.5	0.4	0.7	0.6	0.6333	0.5333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.5667	0.6667	0.7413
0.7		0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7667	0.7667		
0.7		0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7667	0.7667		
0.9		0.8	1	0.95	0.9	0.8	0.9333	0.8500		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C2	S1	0.5	0.6	0.5	0.6	0.3	0.4	0.4333	0.5333	0.6175
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.6333	0.6333	
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.6333	0.6333	
		0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.6	0.8333	0.7333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3667	0.4667	0.5525
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.5667	0.5667	
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.5667	0.5667	
		0.9	0.8	0.9	0.8	0.5	0.4	0.7667	0.6667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1000	0.2000	0.2925
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000	
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000	
		0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5000	0.4000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0	0	0	0	0.1	0.2	0.0333	0.0667	0.1808
		0.1	0	0.1	0	0.3	0.3	0.1667	0.1000	
0.1		0	0.1	0	0.3	0.3	0.1667	0.1000		
0.3		0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3667	0.4667		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.1	0.2	0	0	0	0	0.0333	0.0667	0.1808	
	0.3	0.3	0.1	0	0.1	0	0.1667	0.1000		
	0.3	0.3	0.1	0	0.1	0	0.1667	0.1000		
	0.5	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3667	0.4667		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C3	S1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1000	0.2000	0.2925
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000	
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000	
		0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5000	0.4000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0667	0.1333	0.2367
		0.1	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2333	0.2000	
		0.1	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2333	0.2000	
		0.3	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4333	0.4333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0.5	0.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2333	0.3333	0.4225
		0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4333	0.4333	
		0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4333	0.4333	
		0.9	0.8	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6333	0.5333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0.5	0.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2333	0.3333	0.4225
		0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4333	0.4333	
0.7		0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4333	0.4333		
0.9		0.8	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6333	0.5333		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.1	0.2	0.1	0.2	0	0	0.0667	0.1333	0.2367	
	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0.2333	0.2000		
	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0.2333	0.2000		
	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4333	0.4333		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C4	S1	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3000	0.4000	0.4875
		0.7	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5000	0.5000	
		0.7	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5000	0.5000	
		0.9	0.8	0.5	0.4	0.7	0.6	0.7000	0.6000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.1083
		0	0	0.1	0	0.1	0	0.0667	0.0000	
		0	0	0.1	0	0.1	0	0.0667	0.0000	
		0.1	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.2333	0.5000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0	0	0	0	0.1	0.2	0.0333	0.0667	0.1808
		0.1	0	0.1	0	0.3	0.3	0.1667	0.1000	
		0.1	0	0.1	0	0.3	0.3	0.1667	0.1000	
		0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3667	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0.3	0.4	0	0	0	0	0.1000	0.1333	0.2458
		0.5	0.5	0.1	0	0.1	0	0.2333	0.1667	
0.5		0.5	0.1	0	0.1	0	0.2333	0.1667		
0.7		0.6	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4333	0.5333		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1000	0.2000	0.2925	
	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000		
	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000		
	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5000	0.4000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C5	S1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3000	0.4000	0.4875
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5000	0.5000	
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5000	0.5000	
		0.5	0.4	0.7	0.6	0.9	0.8	0.7000	0.6000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0	0	0.1	0.2	0	0	0.0333	0.0667	0.1808
		0.1	0	0.3	0.3	0.1	0	0.1667	0.1000	
		0.1	0	0.3	0.3	0.1	0	0.1667	0.1000	
		0.3	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.3667	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0667	0.1333	0.2200
		0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2000	0.2000	
		0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2000	0.2000	
		0.1	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3667	0.4333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1333	0.2000	0.3017
		0.1	0	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3000	0.2667	
0.1		0	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3000	0.2667		
0.3		0.5	0.5	0.4	0.7	0.6	0.5000	0.5000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2333	0.3333	0.4225	
	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4333	0.4333		
	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4333	0.4333		
	0.7	0.6	0.5	0.4	0.7	0.6	0.6333	0.5333		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C6	S1	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5000	0.6000	0.6825
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7000	0.7000	
		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7000	0.7000	
		0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9000	0.8000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0.5	0.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2333	0.3333	0.4225
		0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4333	0.4333	
		0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4333	0.4333	
		0.9	0.8	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6333	0.5333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1667	0.2667	0.3575
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5667	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1667	0.2667	0.3575
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
0.5		0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667		
0.7		0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5667	0.4667		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.5	0.6	0.1	0.2	0.5	0.6	0.3667	0.4667	0.5525	
	0.7	0.7	0.3	0.3	0.7	0.7	0.5667	0.5667		
	0.7	0.7	0.3	0.3	0.7	0.7	0.5667	0.5667		
	0.9	0.8	0.5	0.4	0.9	0.8	0.7667	0.6667		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C7	S1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8	0.6333	0.7333	0.8000
		0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8333	0.8333	
		0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8333	0.8333	
		0.9	0.8	1	0.95	1	0.95	0.9667	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0	0	0.1	0.2	0	0	0.0333	0.0667	0.1642
		0	0	0.3	0.3	0.1	0	0.1333	0.1000	
		0	0	0.3	0.3	0.1	0	0.1333	0.1000	
		0.1	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.3000	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1667	0.2667	0.3575
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5667	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.1250
		0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1000	0.0000	
0.1		0	0.1	0	0.1	0	0.1000	0.0000		
0.3		0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3000	0.5000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0	0	0	0	0.1	0.2	0.0333	0.0667	0.1808	
	0.1	0	0.1	0	0.3	0.3	0.1667	0.1000		
	0.1	0	0.1	0	0.3	0.3	0.1667	0.1000		
	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3667	0.4667		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C8	S1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1667	0.2667	0.3575
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5667	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.1083
		0.1	0	0	0	0.1	0	0.0667	0.0000	
		0.1	0	0	0	0.1	0	0.0667	0.0000	
		0.3	0.5	0.1	0.5	0.3	0.5	0.2333	0.5000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1667	0.2667	0.3575
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
		0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5667	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.4333	0.5333	0.6175
		0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6333	0.6333	
0.5		0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6333	0.6333		
0.7		0.6	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8333	0.7333		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5000	0.6000	0.6825	
	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7000	0.7000		
	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7000	0.7000		
	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9000	0.8000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-1. Devamı

C9	S1	0.1	0.2	0.1	0.2	0	0	0.0667	0.1333	0.2367
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0.2333	0.2000	
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0.2333	0.2000	
		0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4333	0.4333	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1000	0.2000	0.2925
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000	
		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3000	0.3000	
		0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5000	0.4000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0917
		0.1	0	0	0	0	0	0.0333	0.0000	
		0.1	0	0	0	0	0	0.0333	0.0000	
		0.3	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1667	0.5000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0.1	0.2	0	0	0.1	0.2	0.0667	0.1333	0.2367
		0.3	0.3	0.1	0	0.3	0.3	0.2333	0.2000	
0.3		0.3	0.1	0	0.3	0.3	0.2333	0.2000		
0.5		0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4333	0.4333		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3000	0.4000	0.4875	
	0.7	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5000	0.5000		
	0.7	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5000	0.5000		
	0.9	0.8	0.5	0.4	0.7	0.6	0.7000	0.6000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK -1. Devami

C10	S1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.3667	0.4667	0.5525
		0.5	0.5	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5667	0.5667	
		0.5	0.5	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5667	0.5667	
		0.7	0.6	0.9	0.8	0.7	0.6	0.7667	0.6667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S2	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.1250
		0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1000	0.0000	
		0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1000	0.0000	
		0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3000	0.5000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S3	0	0	0	0	0.1	0.2	0.0333	0.0667	0.1642
		0.1	0	0	0	0.3	0.3	0.1333	0.1000	
		0.1	0	0	0	0.3	0.3	0.1333	0.1000	
		0.3	0.5	0.1	0.5	0.5	0.4	0.3000	0.4667	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
		1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000	
	S4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1667	0.2667	0.3575
		0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3667	0.3667	
0.3		0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3667	0.3667		
0.5		0.4	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5667	0.4667		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
1		0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
S5	0.1	0.2	0	0	0.1	0.2	0.0667	0.1333	0.2367	
	0.3	0.3	0.1	0	0.3	0.3	0.2333	0.2000		
	0.3	0.3	0.1	0	0.3	0.3	0.2333	0.2000		
	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4333	0.4333		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		
	1	0.9	1	0.9	1	0.9	1.0000	0.9000		

EK-2. ÇATDP GAMS Modeli

Sets

i parçalar/i1,i2,i3,i4,i5/
j tedarikciler/j1,j2,j3,j4,j5/
k indirim aralığı /k1,k2,k3/;

Parameter

C(j)'production capacity of supplier j'/j1 4300, j2 3375, j3 4000, j4 3050, j5 2400/

R(j)'tedarikci risk oranı'/j1 0.2705, j2 0.1357, j3 0.1778, j4 0.2008, j5 0.2183/

D(i) 'firmanın aylık ürün talepleri' /i1 1223, i2 2446, i3 1223, i4 2446, i5 2446/

G(j) 'tedarikci güvenilirliği' / j1 0.875, j2 0.9893, j3 0.958, j4 0.935, j5 0.967 /

B(j) 'delivery performance' / j1 0.90, j2 0.87, j3 0.97, j4 0.95, j5 0.92 /

H(j) 'tedarikci hatalı parça oranı' /j1 0.0001, j2 0.00008, j3 0.00016, j4 0.00018, j5 0.00025/

E(j) 'teslim zamanı' / j1 20.11, j2 30.11, j3 12.54, j4 13.10, j5 13.70/;

Table

L(i,j,k)

	k1	k2	k3
i1.j1	0	400	800
i1.j2	0	400	800
i1.j3	0	400	800
i1.j4	0	400	800
i1.j5	0	400	800
i2.j1	0	400	800
i2.j2	0	400	800
i2.j3	0	400	800
i2.j4	0	400	800
i2.j5	0	400	800
i3.j1	0	400	800
i3.j2	0	400	800
i3.j3	0	400	800
i3.j4	0	400	800
i3.j5	0	400	800
i4.j1	0	400	800
i4.j2	0	400	800
i4.j3	0	400	800
i4.j4	0	400	800
i4.j5	0	400	800
i5.j1	0	400	800
i5.j2	0	400	800
i5.j3	0	400	800
i5.j4	0	400	800
i5.j5	0	400	800;

Ek-2. Devamı

Table

U(i,j,k)	k1	k2	k3
i1.j1	400	800	3000
i1.j2	400	800	3000
i1.j3	400	800	3000
i1.j4	400	800	3000
i1.j5	400	800	3000
i2.j1	400	800	3000
i2.j2	400	800	3000
i2.j3	400	800	3000
i2.j4	400	800	3000
i2.j5	400	800	3000
i3.j1	400	800	3000
i3.j2	400	800	3000
i3.j3	400	800	3000
i3.j4	400	800	3000
i3.j5	400	800	3000
i4.j1	400	800	3000
i4.j2	400	800	3000
i4.j3	400	800	3000
i4.j4	400	800	3000
i4.j5	400	800	3000
i5.j1	400	800	3000
i5.j2	400	800	3000
i5.j3	400	800	3000
i5.j4	400	800	3000
i5.j5	400	800	3000;

Table

P(i,j,k) 'satin alma maliyeti'

	k1	k2	k3
i1.j1	400	392	380
i1.j2	425	416.5	403.8
i1.j3	375	367.5	356.3
i1.j4	390	382.2	370.5
i1.j5	380	372.4	361
i2.j1	120	117.6	114
i2.j2	127	124.5	120.7
i2.j3	112	109.8	106.4
i2.j4	117	114.7	111.2
i2.j5	114	111.7	108.3
i3.j1	280	274.4	266
i3.j2	297	291.1	282.2
i3.j3	262	256.8	248.9
i3.j4	273	267.5	259.4
i3.j5	266	260.7	252.7
i4.j1	40	39.2	38
i4.j2	42	41.2	39.9
i4.j3	37	36.3	35.2
i4.j4	39	38.2	37.1
i4.j5	38	37.2	36.1

Ek-2. Devamı

i5.j1	80	78.4	76
i5.j2	85	83.3	80.8
i5.j3	75	73.5	71.3
i5.j4	78	76.4	74.1
i5.j5	76	74.5	72.2;

Table

T(i,j,k) 'tasima maliyeti'

	k1	k2	k3
i1.j1	3.125	3.125	3.125
i1.j2	6.25	6.25	6.25
i1.j3	3.125	3.125	3.125
i1.j4	2.34	2.34	2.34
i1.j5	2.34	2.34	2.34
i2.j1	1.625	1.625	1.625
i2.j2	3.125	3.125	3.125
i2.j3	1.625	1.625	1.625
i2.j4	1.17	1.17	1.17
i2.j5	1.17	1.17	1.17
i3.j1	3.125	3.125	3.125
i3.j2	6.25	6.25	6.25
i3.j3	3.125	3.125	3.125
i3.j4	2.34	2.34	2.34
i3.j5	2.34	2.34	2.34
i4.j1	1.625	1.625	1.625
i4.j2	3.125	3.125	3.125
i4.j3	1.625	1.625	1.625
i4.j4	1.17	1.17	1.17
i4.j5	1.17	1.17	1.17
i5.j1	1.625	1.625	1.625
i5.j2	3.125	3.125	3.125
i5.j3	1.625	1.625	1.625
i5.j4	1.17	1.17	1.17
i5.j5	1.17	1.17	1.17;

Table

m(i,j) min siparis miktarı

	j1	j2	j3	j4	j5
i1	284	262	220	148	136
i2	568	524	440	296	272
i3	284	262	220	148	136
i4	568	524	440	296	272
i5	568	524	440	296	272 ;

Scalar Ex 'Müsterinin belirlediği teslimat süresi' /96/;

Scalar Hx 'Hatalı parça oranı sınırı'/0.005/;

Scalar N 'Büyük bir sayı'/10000/;

Ek-2. Devamı

Variable

$z1$

$Q(i,j,k)$ 'j tedarikcisinden saglanan i parcasinin siparis miktarı'
 $Y(i,j,k)$ 'i parcasının j tedarikçisinden tedarik edilip edilmemesi';

Positive variable

Ax ;

Integer variable

$Q(i,j,k)$ 'j tedarikcisinden saglanan i parcasinin siparis miktarı';

Binary variable

$Y(i,j,k)$ 'i parcasının j tedarikçisinden tedarik edilip edilmemesi';

set amaclar /maliyet,risk,delivery/;

Equation

memnuniyet_amac

maliyet_amac 'toplam siparis maliyetinin minimizasyonu'

risk_amac 'tedarikci risk minimizasyonu'

teslimat_amac 'tedarikci teslimat performansı maksimizasyonu'

guvenirlilik_amac 'tedarikci guvenirliligi maksimizasyonu'

talep 'her ürün için talep miktarının yerine getirilme kisiti'

kapasite 'sipariş edilen toplam ürün sayısının kapasite kisiti'

hatali_parca 'ürünlerin ortalama küsur yüzdesinin belirli bir sınırı asmama kisiti'

teslim_zamani 'secilen tedarikcilerin ortalama teslim süresinin istenen genel teslim süresinden daha az olması kisiti'

siparis_verme 'siparis verilen parcanın belli miktarının belli tedarikciden saglanma kisiti'

siparis_iliskisi 'siparis miktarı ve siparis tahsisi degiskenleri arasindaki iliski kisiti'

kisit1

kisit2

kisit3

kisit4;

memnuniyet_amac.. $z1=e=Ax$;

maliyet_amac.. $\sum ((i,j,k),P(i,j,k)*Q(i,j,k)) + \sum ((i,j,k),T(i,j,k)*Q(i,j,k))=1=2392099.8550$
 $1097296.435*Ax$;

Ek-2. Devamı

```
risk_amac..    sum((i,j,k), R(j)*Q(i,j,k))=l=3468.6975-1815.7828*Ax;
teslimat_amac..    sum ((i,j,k),B(j)*Q(i,j,k))=g=9104.80+6686.95*Ax;
guvenirlilik_amac(i)..    sum((j,k),G(j)*Y(i,j,k))=g=0.95;
talep(i) ..sum((j,k),Q(i,j,k))=g=D(i);
kapasite(j) .. sum ((i,k),Q(i,j,k))=l=C(j);
hatali_parca(i) .. sum ((j,k),H(j)* Y(i,j,k))=l= Hx;
teslim_zamani(i) .. sum ((j,k), E(j)*Y(i,j,k))=l=Ex;
siparis_verme(i,j,k) .. Q(i,j,k) =g= m(i,j)*Y(i,j,k);
siparis_iliskisi(i,j,k).. Q(i,j,k) =l= N*Y(i,j,k);
kisit1(i,j).. sum (k,Y(i,j,k))=l=1;
kisit4 (i).. sum ((j,k),Y(i,j,k))=g=2;
kisit2 (i,j,k).. Q(i,j,k)=l=U(i,j,k)*Y(i,j,k);
kisit3 (i,j,k).. Q(i,j,k)=g=L(i,j,k)*Y(i,j,k);
Model siparis_tahsisi /all/;
option mip=Lindo;
solve siparis_tahsisi using mip minimizing z1;
solve siparis_tahsisi using mip minimizing z2;
solve siparis_tahsisi using mip maximizing z3;
```

EK-3. Şans Kısıtlı ÇATDP GAMS Modeli

Sets

i parçalar/i1,i2,i3,i4,i5/
j tedarikciler/j1,j2,j3,j4,j5/
k indirim aralığı /k1,k2,k3/;

Parameter

C(j)'production capacity of supplier j'/j1 4300, j2 3375, j3 4000, j4 3050, j5 2400/

R(j)'tedarikci risk oranı'/j1 0.2705, j2 0.1357, j3 0.1778, j4 0.2008, j5 0.2183/

D(i) 'firmanın aylık ürün talepleri' /i1 1798, i2 3596, i3 1798, i4 3596, i5 3596/

G(j) 'tedarikci güvenilirliği' / j1 0.875, j2 0.9893, j3 0.958, j4 0.935, j5 0.967 /

B(j) 'delivery performance' / j1 0.90, j2 0.87, j3 0.97, j4 0.95, j5 0.92 /

H(j) 'tedarikci hatalı parça oranı' /j1 0.0001, j2 0.00008, j3 0.00016, j4 0.00018, j5 0.00025/

E(j) 'teslim zamanı'/ j1 20.11, j2 30.11, j3 12.54, j4 13.10, j5 13.70/

Var(j)'varyans' /j1 2.108, j2 2.218, j3 1.521, j4 2.342, j5 2.048/;

Table

L(i,j,k)

	k1	k2	k3
i1.j1	0	400	800
i1.j2	0	400	800
i1.j3	0	400	800
i1.j4	0	400	800
i1.j5	0	400	800
i2.j1	0	400	800
i2.j2	0	400	800
i2.j3	0	400	800
i2.j4	0	400	800
i2.j5	0	400	800
i3.j1	0	400	800
i3.j2	0	400	800
i3.j3	0	400	800
i3.j4	0	400	800
i3.j5	0	400	800
i4.j1	0	400	800
i4.j2	0	400	800
i4.j3	0	400	800
i4.j4	0	400	800
i4.j5	0	400	800
i5.j1	0	400	800
i5.j2	0	400	800
i5.j3	0	400	800
i5.j4	0	400	800
i5.j5	0	400	800

Ek-3. Devamı

Table

U(i,j,k)	k1	k2	k3
i1,j1	400	800	3000
i1,j2	400	800	3000
i1,j3	400	800	3000
i1,j4	400	800	3000
i1,j5	400	800	3000
i2,j1	400	800	3000
i2,j2	400	800	3000
i2,j3	400	800	3000
i2,j4	400	800	3000
i2,j5	400	800	3000
i3,j1	400	800	3000
i3,j2	400	800	3000
i3,j3	400	800	3000
i3,j4	400	800	3000
i3,j5	400	800	3000
i4,j1	400	800	3000
i4,j2	400	800	3000
i4,j3	400	800	3000
i4,j4	400	800	3000
i4,j5	400	800	3000
i5,j1	400	800	3000
i5,j2	400	800	3000
i5,j3	400	800	3000
i5,j4	400	800	3000
i5,j5	400	800	3000

Table

P(i,j,k) 'satin alma maliyeti'

	k1	k2	k3
i1,j1	400	392	380
i1,j2	425	416.5	403.8
i1,j3	375	367.5	356.3
i1,j4	390	382.2	370.5
i1,j5	380	372.4	361
i2,j1	120	117.6	114
i2,j2	127	124.5	120.7
i2,j3	112	109.8	106.4
i2,j4	117	114.7	111.2
i2,j5	114	111.7	108.3
i3,j1	280	274.4	266
i3,j2	297	291.1	282.2
i3,j3	262	256.8	248.9
i3,j4	273	267.5	259.4
i3,j5	266	260.7	252.7
i4,j1	40	39.2	38
i4,j2	42	41.2	39.9
i4,j3	37	36.3	35.2
i4,j4	39	38.2	37.1
i4,j5	38	37.2	36.1
i5,j1	80	78.4	76
i5,j2	85	83.3	80.8

Ek-3. Devamı

i5,j3	75	73.5	71.3
i5,j4	78	76.4	74.1
i5,j5	76	74.5	72.2;

Table

T(i,j,k)'tasima maliyeti'

	k1	k2	k3
i1,j1	3.125	3.125	3.125
i1,j2	6.25	6.25	6.25
i1,j3	3.125	3.125	3.125
i1,j4	2.34	2.34	2.34
i1,j5	2.34	2.34	2.34
i2,j1	1.625	1.625	1.625
i2,j2	3.125	3.125	3.125
i2,j3	1.625	1.625	1.625
i2,j4	1.17	1.17	1.17
i2,j5	1.17	1.17	1.17
i3,j1	3.125	3.125	3.125
i3,j2	6.25	6.25	6.25
i3,j3	3.125	3.125	3.125
i3,j4	2.34	2.34	2.34
i3,j5	2.34	2.34	2.34
i4,j1	1.625	1.625	1.625
i4,j2	3.125	3.125	3.125
i4,j3	1.625	1.625	1.625
i4,j4	1.17	1.17	1.17
i4,j5	1.17	1.17	1.17
i5,j1	1.625	1.625	1.625
i5,j2	3.125	3.125	3.125
i5,j3	1.625	1.625	1.625
i5,j4	1.17	1.17	1.17
i5,j5	1.17	1.17	1.17;

Table

m(i,j) min siparis miktari

	j1	j2	j3	j4	j5
i1	284	262	220	148	136
i2	568	524	440	296	272
i3	284	262	220	148	136
i4	568	524	440	296	272
i5	568	524	440	296	272 ;

Scalar Ex 'Müsterinin belirlediği teslimat süresi' /96/;

Scalar Hx 'Hatalı parça oranı sınırı'/0.005/;

Scalar N 'Büyük bir sayı'/10000/;

Scalar ND /1.645/;

Ek-3. Devamı

Variable

z1
z2
z3

Q(i,j,k)'j tedarikcisinden saglanan i parcasinin siparis miktarı'

Y(i,j,k)'i parcasının j tedarikçisinden tedarik edilip edilmemesi';

Integer variable

Q(i,j,k)'j tedarikcisinden saglanan i parcasinin siparis miktarı';

Binary variable

Y(i,j,k) 'i parcasının j tedarikçisinden tedarik edilip edilmemesi';

Set amaclar /maliyet,risk,delivery/;

Equation

maliyet_amac 'toplam siparis maliyetinin minimizasyonu'

risk_amac 'tedarikci risk minimizasyonu'

teslimat_amac 'tedarikci teslimat performansı maksimizasyonu'

guvenirlilik_amac 'tedarikci guvenilirliđi maksimizasyonu'

talep 'her ürün için talep miktarının yerine getirilme kisiti'

kapasite 'sipariş edilen toplam ürün sayısının kapasite kisiti'

hatali_parca 'ürünlerin ortalama küsur yüzdesinin belirli bir sınırı asmama kisiti'

teslim_zamani 'secilen tedarikcilerin ortalama teslim süresinin istenen genel teslim süresinden daha az olması kisiti'

siparis_verme 'siparis verilen parcanın belli miktarının belli tedarikciden saglanma kisiti'

siparis_iliskisi 'siparis miktarı ve siparis tahsisi degiskenleri arasındaki iliski kisiti'

kisit1

kisit2

kisit3

kisit4

kisit5;

maliyet_amac .. $z1=e=\sum((i,j,k),P(i,j,k)*Q(i,j,k)) + \sum((i,j,k),T(i,j,k)*Q(i,j,k));$

risk_amac.. $z2=e=\sum((i,j,k), R(j)*Q(i,j,k));$

Ek-3. Devamı

```
teslimat_amac.. z3=e=sum ((i,j,k),B(j)*Q(i,j,k));
guvenirlilik_amac(i).. sum((j,k),G(j)*Y(i,j,k))=g=0.95;
talep(i) ..sum((j,k),Q(i,j,k))=g=D(i);
kapasite(j) .. sum ((i,k),Q(i,j,k))=l=C(j);
hatali_parca(i) .. sum ((j,k),H(j)* Y(i,j,k))=l= Hx;
kisit5(i).. sum (j,Var(j)*Var(j))=l=sum (j,Var(j))*sum (j,Var(j));
teslim_zamani(i) .. sum ((j,k), E(j)*Y(i,j,k))+ ND*sum((j,k), Var(j)*Y(i,j,k))=l=Ex;
siparis_verme(i,j,k) .. Q(i,j,k) =g= m(i,j)*Y(i,j,k);
siparis_iliskisi(i,j,k).. Q(i,j,k) =l= N*Y(i,j,k);
kisit1(i,j).. sum (k,Y(i,j,k))=l=1;
kisit4 (i).. sum ((j,k),Y(i,j,k))=g=2;
kisit2 (i,j,k).. Q(i,j,k)=l=U(i,j,k)*Y(i,j,k);
kisit3 (i,j,k).. Q(i,j,k)=g=L(i,j,k)*Y(i,j,k);
Model siparis_tahsisi /all/;
option optcr=0.00;
solve siparis_tahsisi using mip minimizing z1;
solve siparis_tahsisi using mip minimizing z2;
solve siparis_tahsisi using mip maximizing z3;
```