

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OLABİLİRSEL DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE  
TEDARİK ZİNCİRİ AĞ YAPISININ  
MODELLENMESİ VE BİR UYGULAMA**

**DOKTORA TEZİ  
Y. Müh. Özgür KABAK**

**Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**KASIM 2008**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OLABİLİRSEL DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE  
TEDARİK ZİNCİRİ AĞ YAPISININ  
MODELLENMESİ VE BİR UYGULAMA**

**DOKTORA TEZİ  
Y. Müh. Özgür KABAK  
(507032104)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Eylül 2008  
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Kasım 2008**

**Tez Danışmanı :  
Diğer Jüri Üyeleri**

**Prof. Dr. Füsun ÜLENGİN**

**Prof.Dr. Gündüz ULUSOY (Sabancı Ü.)**

**Prof.Dr. Refik GÜLLÜ (Boğaziçi Ü.)**

**Prof.Dr. Cengiz KAHRAMAN (İ.T.Ü.)**

**Doç.Dr. Y. İlker TOPCU (İ.T.Ü.)**

**KASIM 2008**

## ÖNSÖZ

Belirsizlik doğanın ve onun bir alt kümesi olan insanoğlunun çalışma sistemini oluşturan temel taşlardan bir tanesidir. Her ne kadar kesin modeller geliştirerek belirsizliklerden kurtulmaya çalışsak da sistemi tanımlayan temel bir yapıyı ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu yüzden bizim yapmamız gereken belirsizliği yok saymak ya da ortadan kaldırmak değil onun nasıl iyi yönetilebileceğini bulmak olmalıdır. Bu amaçla geliştirilen yaklaşımlardan birisi bulanık mantıktır. Bulanık mantık ile insanoğlunun yarattığı veya doğada mevcut olan sistemlerdeki belirsizlikleri iyi yönetmek mümkündür.

İletişim teknolojilerindeki büyük ilerlemeler neticesinde dünya eskisinden çok daha küçük bir hale gelmiştir. Bilgiler internet ve televizyon gibi iletişim araçları ile ışık hızında taşınabilmektedir ve bu sayede bilimde, sanatta ve diğer birçok konudaki gelişmeler eş zamanlı olarak tüm dünyada takip edilebilmektedir. Fakat iletişim teknolojilerindeki bu gelişme madde olarak ilgilenilmesi gereken diğer ürün veya malzemelerin taşınmasına katkı sağlamamaktadır. Daha hızlı ve güvenli taşıma araçları kullanılsa da ışınlanma icat edilinceye kadar ürün ve malzemelerin klasik yöntemler ile üretilmesi ve taşınması devam edecektir. Bununla birlikte iletişimdeki ilerlemeler üretim ve taşıma problemlerini daha karmaşık hale getirmektedir. İletişimdeki ilerlemeler neticesinde ortaya çıkan küreselleşme olgusu ile uluslararası üretim ve dağıtım ağları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu sistemler büyüdükçe ve farklı ülke ve bölgelerde faaliyet gösterdikçe yönetilmeleri zorlaşmaktadır. Bundan dolayı iletişim teknolojilerinin hızla geliştiği küresel dünyada tedarik zincirlerini iyi yönetmenin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışma ile tedarik zincirlerinin daha iyi yönetilmesi için ağ yapılı olarak modellenmesi önerilmiştir. Önerilen model ile üretim ve tedarik seçenekleri etkin olarak değerlendirilerek firmaların hem maliyet hem de hizmet düzeylerini arttırmaları mümkündür. Çalışmada, tedarik zincirlerindeki belirsizlikleri iyi yönetebilmek için bulanık mantığa dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Belirsizlikler ile baş edebilmek için belirsiz girdiler kullanılmasının ötesinde belirsiz kararların verilmesi önerilmiştir. Böylece oluşturulan model ile insanın düşünme sistematığına yakın bir yaklaşım sunulmuştur.

Bir çalışmanın tek bir kişi tarafından yapılması mümkün değildir. Sosyal bir canlı olan insanın gerçekleştirdiği her çalışmada çevredeki diğer insanların az ya da çok katkısı vardır. Bu tezde benim adım yazmasına rağmen, çevremdeki hocalarımla, arkadaşlarımla ve ailemin çalışmada büyük payı vardır. Öncelikle teze doğrudan veya dolaylı katkısı olan burada belirttiğim ve belirtmediğim herkese teşekkür ederim.

Özel olarak bahsetmem gereken kişilere gelecek olursak; tez izleme jürimde bulunan sayın hocalarımla Prof. Dr. Gündüz Ulusoy ve Doç. Dr. İlker Topcu'ya, tez için yaptığımız toplantılarda beni sabırla dinledikleri ve önerileri ile tezin gelişmesine ve bu haline gelmesine büyük katkıda buldukları için müteşekkirim. Tezin uygulamasını gerçekleştirdiğim Mercedes Benz Türk A.Ş.'de şirket bilgilerini

benimle paylaşan, üretim tesisini tanıtarak teorik bilgileri nasıl uygulayabileceğim konusunda yön gösteren Sayın Orhan Saraçoğlu ve Sayın Onur Darcan'a minnettarım. Bu tezde ve diğer çalışmalarımızda bana her konuda destek olan çalışma arkadaşım Emel Aktaş ve sayın hocam Şule Önsel'e de teşekkür ederim. Siz olmasaydınız ben ne bu tezi yapabilirdim ne de diğer çalışmalarımızda başarılı olabilirdim.

Son olarak teşekkür etmek isteğim iki özel kişiden bahsetmek istiyorum. Uzun süreli yoğun bir çalışmanın ürünü olan doktora tezi ile ilgilenirken çoğu zaman hayatınızı paylaştığınız insana daha az zaman ayırmak durumunda kalırsınız. Benim de başımdan geçen bu durumda bana her zaman destek olan ve büyük fedakârlıklar yapan eşim Esmâ'ya çok teşekkür ediyorum. Belki bu tezde doğrudan payı az olabilir ama benim üzerimdeki katkısı çok büyüktür. Hayatımdaki diğer özel kişi ise bu tezde, diğer çalışmalarımızda ve özel yaşamımda beni yönlendiren, destekleyen ve benim ben olmamı sağlayan sayın hocam Prof.Dr. Füsün Ülengin'dir. Her şey için çok teşekkürler hocam.

**Eylül 2008**

**Özgür KABAK**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>iv</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>viii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>xi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>xiii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xiv</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ</b>	<b>4</b>
2.1 Tanımlar	4
2.2 Tedarik Zinciri Ağ Yapısı	7
2.3 Literatür Çalışması	11
2.3.1 Makale taraması	11
2.3.2 Tedarik zinciri konusundaki mevcut çalışmalara genel bakış	15
2.3.2.1 Tedarik zinciri modelleme	15
2.3.2.2 Stratejik tedarik zinciri planlama	16
2.3.2.3 Tedarik zinciri yönetimi ve ileri planlama	18
2.3.2.4 Tedarik zinciri yönetimine değer zinciri bakışı	19
2.3.2.5 Her karar seviyesine göre üretim-dağıtım planlama	19
2.3.2.6 Küresel tedarik zinciri tasarımı	20
2.3.2.7 Tedarik zinciri yönetimini etkileyecek eğilimler	20
2.3.3 Genel değerlendirme	22
<b>3. TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMASINA YÖNELİK MEVCUT YÖNTEMLER</b>	<b>26</b>
3.1 Ağ Yapılı Modeller	26
3.1.1 Stratejik ağ yapısı tasarımı	26
3.1.2 Stratejik ve operasyonel tedarik zinciri planlama	29
3.1.3 Yeni ürün tedarik zinciri tasarımı	31
3.1.4 Kâr enbüyüklemeli tedarik zinciri ağ yapısı tasarımı	32
3.1.5 Çok amaçlı tedarik zinciri tasarımı	33
3.1.6 İki aşamalı modelleme ile tedarik zinciri planlaması	34
3.2 Bulanık Mantığa Dayalı Modeller	36
3.2.1 Tedarik zinciri stok planlama modelleri	37
3.2.2 Üretim planlama modelleri	40
3.2.2.1 Üretimde stok planlama modelleri	40
3.2.2.2 Toplu üretim planlama modelleri	41
3.2.2.3 Malzeme ihtiyaçları planlaması	43
3.2.3 Dağıtım Planlama	44

3.2.4 Ağ yapıli tedarik zinciri planlama	45
3.3 İncelenen Çalışmaların Değerlendirilmesi	48
3.4 Tedarik Zinciri Planlamasında Karşılaşılan Belirsizlikler	51
<b>4. BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELLERİ</b>	<b>57</b>
4.1 Bulanık Mantık	57
4.1.1 Bulanık kümeler	60
4.1.2 Genelleme ilkesi	63
4.1.3 Bulanık sayı aritmetiği	64
4.1.3.1 Bulanık sayı	64
4.1.3.2 Bulanık sayılarda toplama	65
4.1.3.3 Bulanık sayılarda çıkarma	67
4.1.3.4 Bulanık sayılarda çarpma	68
4.1.3.5 Bulanık sayılarda bölme	70
4.1.4 Özel bulanık sayılar	71
4.1.4.1 Sol-Sağ bulanık sayılar	72
4.1.4.2 Üçgen ve yamuk bulanık sayılar	72
4.1.5 Bulanık entropi	74
4.2 Bulanık Tek Amaçlı Doğrusal Programlama Modelleri	75
4.2.1 Kaynak katsayılarının bulanık olması	77
4.2.1.1 Verdegay yaklaşımı	77
4.2.1.2 Werner yaklaşımı	78
4.2.1.3 Tang Wang Fung yaklaşımı	79
4.2.2 Kaynak katsayılarının ve amaç fonksiyonunun bulanık olması	80
4.2.2.1 Zimmermann yaklaşımı – simetrik model	81
4.2.2.2 Chanas yaklaşımı – simetrik olmayan model	82
4.2.3 Amaç fonksiyonu katsayılarının kesin olmaması veya bulanık olması	83
4.2.3.1 Verdegay yaklaşımı	84
4.2.3.2 Lai ve Hwang yaklaşımı	84
4.2.3.3 Maeda yaklaşımı	86
4.2.3.4 Zhang Wu Remias Lu yaklaşımı	86
4.2.4 Kaynak ve teknoloji katsayılarının kesin olmaması veya bulanık olması	87
4.2.4.1 Ramik ve Rimenek yaklaşımı	87
4.2.4.2 Dubois yaklaşımı	88
4.2.4.3 Leon ve Vercher yaklaşımı	90
4.2.5 Amaç fonksiyonunun ve teknoloji katsayılarının kesin olmaması	92
4.2.6 Tüm katsayıların bulanık olması veya kesin olmaması	92
4.2.6.1 Carlsson ve Kohen yaklaşımı	93
4.2.6.2 Lai ve Hwang yaklaşımı	94
4.2.6.3 Buckley yaklaşımı	94
4.2.6.4 Negi yaklaşımı	96
4.2.6.5 Maleki Tata Mashichi yöntemi	98
4.2.7 Karar değişkenlerinin kesin olmaması	100
4.2.7.1 Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımı	100
4.2.7.2 Buckley ve Feuring yaklaşımı	103
4.2.7.3 Maleki Tata Mashichi yöntemi	104
4.2.8 İncelenen bulanık tek amaçlı doğrusal programlama modellerinin değerlendirilmesi	105
4.3 Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modelleri	108
4.3.1 Bulanık programlama	110

4.3.2 Çok amaçlı karar verme için TOPSIS	111
4.3.3 Bulanık hedef programlama	113
4.3.3.1 Hannan yaklaşımı - parçalı üyelik fonksiyonu oluşturma	115
4.3.3.2 Hedeflerin ağırlıklandırıldığı modeller	116
4.3.3.3 Hu Teng Li yaklaşımı	118
4.3.4 Bulanık genel kriter modeli	120
4.3.5 Etkileşimli bulanık çok amaçlı karar verme yöntemleri	123
4.3.5.1 Werner yaklaşımı	124
4.3.5.2 Leung yaklaşımı	127
4.3.5.3 Rommelfanger yaklaşımı	129
4.3.5.4 Sakawa ve Kato yaklaşımı	136
4.3.5.5 Arıkan ve Güngör yaklaşımı	138
4.3.6 Olabilirselleştirilmiş çok amaçlı karar verme yöntemleri	139
4.3.6.1 Tanaka ve Asai yaklaşımı	140
4.3.6.2 Lai ve Hwang yaklaşımı	143
4.3.6.3 Wierzchon yaklaşımı	145
4.3.6.4 Parra Terol Uria yaklaşımı	149
4.3.7 Bulanık karar değişkenli yöntemler	151
4.3.7.1 Staciulescu Fortemps Installe Wertz yaklaşımı	151
4.3.7.2 Pramanik ve Roy yaklaşımı	153
4.3.8 İncelenen bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modellerinin değerlendirilmesi	156
<b>5. ÖNERİLEN OLABİLİRSEL TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMA MODELİ</b>	<b>161</b>
5.1 Önerilen Talep Tahmini Birleştirme Yöntemi	162
5.1.1 İstatistiksel yöntemler ile tahmin yapılması	165
5.1.2 Sözel ifadeler ile uzman görüşlerinin alınması	166
5.1.3 Tahminlerin önem düzeylerinin belirlenmesi	167
5.1.4 İstatistiksel yöntem sonuçlarının ve uzman tahminlerinin birleştirilmesi	169
5.1.5 Örnek Uygulama	173
5.2 Önerilen Olabilirselleştirilmiş Doğrusal Programlama Modeli	175
5.3 Önerilen Çözüm Yordamı	179
5.3.1 İyimser ve kötümser kâr değerlerinin bulunması	183
5.3.2 Karar değişkenleri için en büyük bulanıklık seviyesinin bulunması	186
5.3.3 Olabilirselleştirilmiş modelin doğrusal modele dönüştürülerek çözülmesi	188
5.4 Örnek Uygulama	193
<b>6. UYGULAMA</b>	<b>198</b>
6.1 Mercedes-Benz Türk A.Ş. İle İlgili Genel Bilgiler	198
6.1.1 Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere Otobüs Üretim Tesisi	199
6.1.2 Karoser imalatı	202
6.2 Önerilen Modelin Karoser İmalatında Uygulanması	207
6.2.1 Model parametrelerinin tespit edilmesi	208
6.2.2 Olabilirselleştirilmiş doğrusal programlama modelinin kurulması	212
6.2.3 İyimser ve kötümser kâr değerlerinin bulunması	214
6.2.4 Karar değişkenleri için en büyük bulanıklık seviyesinin bulunması	216
6.2.5 Olabilirselleştirilmiş doğrusal programlama modelinin çözülmesi	217
6.2.6 Modelin tutarlılığının test edilmesi	221

6.3 Karoser İmalatı İçin Stratejik Planlama	232
6.3.1 Mevcut kapasite ve talebe göre tedarik edilecek ürünlerin belirlenmesi	232
6.3.2 Talep arttığında tedarik edilecek ürünlerin belirlenmesi	236
6.3.2.1 Talebin %10 artması	237
6.3.2.2 Talebin %20 artması	240
6.3.3 Kapasite düştüğünde tedarik edilecek ürünlerin belirlenmesi	242
6.4 Uygulama Sonuçları	247
<b>7. SONUÇLAR</b>	<b>249</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>256</b>
<b>EKLER</b>	<b>265</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>276</b>



## KISALTMALAR

<b>ÇAKV</b>	: Çok Amaçlı Karar Verme
<b>DP</b>	: Doğrusal Programlama
<b>BOM</b>	: Ürün Ağacı Matrisi (Bill of materials)
<b>Enb</b>	: En büyükleme
<b>Enk</b>	: En küçükleme
<b>Kst</b>	: Kısıtlar
<b>MBT</b>	: Mercedes Benz Türk A.Ş.
<b>NİÇ</b>	: Negatif İdeal Çözüm
<b>ODP</b>	: Olabilirsal Doğrusal Programlama
<b>PİÇ</b>	: Pozitif İdeal Çözüm
<b>TZ</b>	: Tedarik Zinciri
<b>TZY</b>	: Tedarik Zinciri Yönetimi
<b>ÜBS</b>	: Üçgen Bulanık Sayı

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 2.1</b>	Makalelerin dergilere göre dağılımı..... 12
<b>Tablo 2.2</b>	Makalelerin tedarik zinciri yapısına göre sınıflandırılması ..... 14
<b>Tablo 2.3</b>	Makalelerin modelleme çeşidi ve TZ yapısına göre sınıflandırılması.. 15
<b>Tablo 2.4</b>	Belirlenen özellikleri taşımaya yakın makaleler ..... 23
<b>Tablo 3.1</b>	Belirsizlik özelliklerinin sınıflandırması..... 52
<b>Tablo 3.2</b>	Üretim planlamadaki belirsizlikleri modelleyen çalışmalar ..... 53
<b>Tablo 4.1</b>	Örnek 4.4’te verilen bulanık sayıların çarpımı ..... 69
<b>Tablo 4.2</b>	Örnek 4.4’te verilen bulanık sayıların çarpım sonuçları..... 70
<b>Tablo 4.3</b>	İncelenen tek amaçlı bulanık programlama modelleri..... 76
<b>Tablo 4.4</b>	İncelenen tek amaçlı modellerin özellikleri ..... 106
<b>Tablo 4.5</b>	İncelenen çok amaçlı bulanık programlama modelleri ..... 109
<b>Tablo 4.6</b>	Etkin uç çözümlerin sonuçları..... 126
<b>Tablo 4.7</b>	Uzlaşık çözüm sonuçları ..... 127
<b>Tablo 4.8</b>	İncelenen çok amaçlı bulanık programlama modellerinin özellikleri. 157
<b>Tablo 5.1</b>	İstatistiksel yöntem sonuçları..... 175
<b>Tablo 5.2</b>	DP-1 ve DP-2’de kullanılan parametre ve karar değişkenleri ..... 185
<b>Tablo 5.3</b>	DP-3 ve DP-4’te kullanılan parametre ve karar değişkenleri ..... 192
<b>Tablo 5.4</b>	Örnek uygulama ürün ağacı matrisi ..... 194
<b>Tablo 5.5</b>	Örnek uygulama kaynaklarla ilgili parametreler..... 195
<b>Tablo 5.6</b>	Örnek uygulama ürünler ile ilgili parametreler..... 195
<b>Tablo 5.7</b>	Örnek uygulama DP-2 sonuçları – Ürünlerle ilgili karar değişkenleri ..... 196
<b>Tablo 5.8</b>	Örnek uygulama DP-2 sonuçları – Kaynaklarla ilgili karar değişkenleri ..... 196
<b>Tablo 5.9</b>	Örnek uygulama DP-3 sonuçları..... 196
<b>Tablo 5.10</b>	Farklı ağırlıklara göre DP-3 çözümleri ..... 197
<b>Tablo 5.11</b>	Örnek uygulama DP-4 sonuçları..... 198
<b>Tablo 6.1</b>	Mercedes Benz Türk AŞ otobüs üretim miktarları ..... 201
<b>Tablo 6.2</b>	Kaynaklar ile ilgili parametreler ..... 209
<b>Tablo 6.3</b>	Üretim verim oranları..... 210
<b>Tablo 6.4</b>	Hammadde (ürün dıştan tedarik) verim oranları..... 211
<b>Tablo 6.5</b>	İlgilenilen karoser için talep tahminleri ..... 212
<b>Tablo 6.6</b>	İyimser kâr için belirlenen parametreler ..... 214
<b>Tablo 6.7</b>	Kötümser kâr için belirlenen parametreler..... 215
<b>Tablo 6.8</b>	Seçilmiş ürünler için ilgili karar değişkenlerinin en büyük bulanıklık seviyeleri ..... 216
<b>Tablo 6.9</b>	Dışarıdan sağlanan kaynak miktarı karar değişkeni için en büyük bulanıklık seviyeleri ..... 217
<b>Tablo 6.10</b>	Farklı ağırlıklara göre çözümler (üçgen bulanık sayı olarak) ..... 218
<b>Tablo 6.11</b>	Farklı ağırlıklara göre amaç değerleri ..... 219

<b>Tablo 6.12</b>	DP-4 çözümüne göre kaynak kullanımları.....	220
<b>Tablo 6.13</b>	DP-4 çözümüne göre gelir ve maliyetler .....	221
<b>Tablo 6.14</b>	Deney planı .....	222
<b>Tablo 6.15</b>	Deney 1-2-3'te değiştirilen parametre değerleri .....	223
<b>Tablo 6.16</b>	Deney sonuçları.....	224
<b>Tablo 6.17</b>	Deney 4-5-6-7'de kullanılan talepler .....	226
<b>Tablo 6.18</b>	Deney 9 ve 11'de kullanılan kaynak maliyetleri.....	230
<b>Tablo 6.19</b>	Deney 12'de kullanılan kaynak kapasiteleri .....	231
<b>Tablo 6.20</b>	Mevcut durum, Fiyat 1 ve Fiyat 2 senaryoları altında model sonuçları .....	234
<b>Tablo 6.21</b>	Mevcut durum Fiyat 2 senaryosu altında dışarıdan alınan ara ürünler.....	235
<b>Tablo 6.22</b>	Talep %10 arttığında modellerin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar ..	238
<b>Tablo 6.23</b>	Talep %10 arttığında Fiyat 3 senaryosu altında dışarıdan alınan ara ürünler .....	239
<b>Tablo 6.24</b>	Talep %20 arttığında modellerin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar ..	241
<b>Tablo 6.25</b>	Strateji belirlemede kullanılan kaynak kapasiteleri .....	243
<b>Tablo 6.26</b>	Kapasitenin düşürülmesi durumunda modellerin sonuçları.....	244
<b>Tablo 6.27</b>	Senaryolara göre kaynak kullanım miktarları ve oranları.....	245

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1	: Tedarik zinciri süreci .....	5
Şekil 2.2	: Tedarik zinciri yapısı .....	6
Şekil 2.3	: Tedarik zinciri ağ yapısı .....	7
Şekil 2.4	: Faaliyet tabanlı tedarik zinciri ağ yapısı .....	9
Şekil 2.5	: Literatür sınıflandırma sistematığı .....	12
Şekil 2.6	: Makalelerin çalışma çeşidine göre sınıflandırılması .....	13
Şekil 2.7	: Makalelerin modelleme çeşidine göre sınıflandırılması .....	14
Şekil 3.1	: Otobüs üretim zincirindeki örnek bir faaliyetin ağ yapısı .....	27
Şekil 3.2	: Firma tabanlı ağ yapısı .....	28
Şekil 3.3	: Stratejik ve operasyonel TZ planlama model yapısı .....	30
Şekil 3.4	: Seri teradik zinciri yapısı .....	37
Şekil 3.5	: Tedarik zinciri planmada belirsizlikler .....	53
Şekil 4.1	: Sistemin karmaşıklığına karşı modelindeki kesinlik .....	58
Şekil 4.2	: Uzun boylu olma üyelik fonksiyonları (a) klasik (b) bulanık kümeler..	61
Şekil 4.3	: “yaklaşık 20” bulanık sayısının sürekli ve kesikli gösterimleri .....	65
Şekil 4.4	: Sol-Sağ bulanık sayılar .....	72
Şekil 4.5	: Üçgen ve yamuk bulanık sayılar .....	73
Şekil 4.6	: Amaç fonksiyonu katsayıları (c) için üyelik fonksiyonu .....	93
Şekil 4.7	: Yamuk bulanık sayıların karşılaştırılması .....	96
Şekil 4.8	: Buckley ve Feuring yaklaşımı amaç tanımları .....	103
Şekil 4.9	: Buckley ve Feuring yaklaşımı kısıtlardaki bulanık sayılar .....	104
Şekil 4.10	: Öncelik ilişkilerinin tanım kümesi ile belirlenmesi .....	119
Şekil 4.11	: Werner Etkileşimli BÇAKV yöntemi aşamaları .....	125
Şekil 4.12	: Rommelfanger yaklaşımında kullanılan olabilirlik dağılımları .....	130
Şekil 4.13	: Rommelfanger’da parametreler için tanımlanan bulanık sayılar .....	134
Şekil 5.1	: Tedarik zinciri planması karar destek modeli genel yapısı .....	162
Şekil 5.2	: Önerilen talep tahmini birleştirme yöntemi .....	165
Şekil 5.3	: A ve B bulanık sayıları arasındaki Hamming uzaklığı .....	170
Şekil 5.4	: A ve B bulanık sayılarının alfa kesime göre uzaklığı .....	171
Şekil 5.5	: Örnek uygulamada kullanılan veri kümesi .....	173
Şekil 5.6	: Önerilen modelin temel yaklaşımı .....	175
Şekil 5.7	: Olabilirsnel doğrusal programlama modelinin çözüm yordamı .....	181
Şekil 5.8	: Örnek üçgen bulanık sayılar .....	182
Şekil 5.9	: Örnek uygulama tedarik zinciri ağ yapısı .....	193
Şekil 6.1	: Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere Fabrikası genel vaziyet planı .....	200
Şekil 6.2	: Otobüs üretim süreci genel akışı .....	201
Şekil 6.3	: Mercedes-Benz Türk A.Ş. karoser binası .....	203
Şekil 6.4	: Bagaj kapağı üretim süreci .....	205
Şekil 6.5	: Karoser üretiminde boru akışı .....	206
Şekil 6.6	: Deney 1-2-3 sonucunda elde edilen kâr değerleri .....	226

<b>Şekil 6.7</b>	: Deney 4-5-6-7’de kullanılan talepler.....	227
<b>Şekil 6.8</b>	: Deney 4-5-6-7 sonucunda elde edilen kâr değerleri.....	229
<b>Şekil 6.9</b>	: Deney 8-9-10-11 sonucunda elde edilen kâr değerleri.....	231
<b>Şekil 6.10</b>	: Ara ürünlerin dışarıdan tedariki mümkün iken elde edilen kâr değerleri .....	236
<b>Şekil 6.11</b>	: Talep %10 arttığında elde edilen kâr değerleri.....	240
<b>Şekil 6.12</b>	: Kapasite düştüğünde elde edilen kâr değerleri .....	245
<b>Şekil 6.13</b>	: Farklı durum ve senaryolar altında firmanın maliyetleri.....	246
<b>Şekil C.1</b>	: Uygulamada iyimser kârı bulamak için kullanılan DP1 modelinin GAMS kodları.....	265
<b>Şekil C.2</b>	: Uygulamada kötümser kârı bulamak için kullanılan DP1 modelinin GAMS kodları.....	266
<b>Şekil C.3</b>	: Uygulamada kullanılan DP2 modelinin GAMS kodları.....	268
<b>Şekil C.4</b>	: Uygulamada kullanılan DP3 modelinin GAMS kodları.....	270
<b>Şekil C.5</b>	: Uygulamada kullanılan DP4 modelinin GAMS kodları.....	273

## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	: Doğrusal programlama modelinde teknoloji katsayıları matrisi
<b>b</b>	: Doğrusal programlama modelinde kaynak katsayıları vektörü
<b>c</b>	: Doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonu katsayıları vektörü
<b>x</b>	: Doğrusal programlama modelinde karar değişkenleri vektörü
<b>~</b>	: Üzerine konulan ifadenin bulanık sayı veya bulanık küme olduğunu gösterir
<b><math>\mu(\cdot)</math></b>	: bulanık küme veya sayıların üyelik derecesi fonksiyonu
<b><math>\pi(\cdot)</math></b>	: olabirlik dağılımının üyelik derecesi fonksiyonu
<b><math>(l,m,u)</math></b>	: $l$ , $m$ ve $u$ parametre değerleri ile tanımlanan üçgen bulanık sayı

## **OLABİLİRSEL DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE TEDARİK ZİNCİRİ AĞ YAPISININ MODELLENMESİ VE BİR UYGULAMA**

### **ÖZET**

Ürünlerin hammadde olarak temin edilmesinden müşteriye sunulmasına kadar olan süreçte tüm malzeme ve bilgi akışının planlanması, uygulanması ve kontrolünü içeren tedarik zinciri yönetimi (TZY) 1990'lerden bugüne kadar araştırmacıların ve uygulayıcıların çok fazla ilgisini çekmektedir. TZY, işletmelere hem maliyet hem de hizmet düzeyi bakımından rekabet avantajı sağlamaları için bütünlük ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. TZY içerisinde yer alan konulardan en önemlilerinden birisi tedarik zinciri (TZ) stratejik planlaması ve bunu gerçekleştirmek için gerekli modellerin geliştirilmesidir.

Gerçek hayattaki birçok problemde olduğu gibi TZ planlama problemlerinde de belirsizlikler söz konusudur. TZ'deki belirsizlikler, sistemin kendi içerisinde ve/veya sistemin çevresinden kaynaklanıyor olabilir. Nereden kaynaklanırsa kaynaklansın belirsizliklerin kesin olarak varsayılarak tanımlanması ve modellenmesi kurulan modellerin gerçekçi olmayan sonuçlar üretmesine neden olur.

1965'te ilk defa Lotfi A. Zadeh tarafından önerilen bulanık mantık, belirsizlikleri modellemek için yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan bir tanesidir. Özellikle 2000'li yılların başından beri uygulaması artmakta olan bulanık mantık, insan düşünme sistemi gibi yaklaşık olarak değerlendirmeyi ve modellemeyi olanaklı hale getirmektedir.

Çalışmada, TZ planlamada stratejik kararların verilmesine destek olacak bulanık mantığa dayalı bir model geliştirilmiştir. Stratejik planlama çerçevesinde talep planlama, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi ve ağ yapılandırma konularını içeren bir problem incelenmiştir. Modeli geliştirmek için öncelikle TZY ve TZ konusunda kapsamlı bir literatür çalışması yapılmış ve bu konularda gelişime açık alanlar tespit edilmiştir. Literatür çalışması sonucunda TZ'nin ağ yapılı olarak modellendiği ve TZ'deki belirsizliklerin dikkate alındığı bir yaklaşımın geliştirilmesine karar verilmiştir. Daha sonra özellikle bu konular ile ilgilenilen mevcut çalışmalar ayrıntıları ile irdelenmiş ve yeni bir yaklaşım sunmak üzere bulanık mantık tabanlı bir olabirsel doğrusal programlama (ODP) modeli geliştirilmiştir.

Olabilirsel doğrusal programlama modelinin geliştirilmesi ve çözümü aşamalarında mevcut literatürdeki yaklaşımlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Mevcut çalışmalarda büyük çaplı problemlerde uygulanabilen, kesin çözümü garanti eden ve TZ'deki temel belirsizliklere odaklanan bir yaklaşım mevcut değildir. Bu yüzden çalışmada, bu açığı doldurabilmek için öncelikle TZ'deki belirsizlikler tespit edilmiştir. Sonra ağ yapılı TZ, çözümü çok karmaşık olmayan bulanık mantığa dayalı bir ODP yaklaşımı ile modellenmiştir.

Olabilirsnel doğrusal programlama modelinde TZ'deki belirsizlikler ile baş edebilmek için belirsiz kararlar verilmesi temel yaklaşım olarak benimsenmiştir. Bunun için uzun dönemli stratejik kararların kesin olarak değil belirsiz olarak yaklaşık değerler ile verilmesi önerilmektedir. Bunun iki önemli yararı vardır. Birincisi uzun dönemde belirsiz olarak verilen kararların orta ve kısa vadede kesinleştirilmesi ile belirsizlik ortadan kalktığına daha doğru kararlar vermeyi sağlamasıdır. İkincisi, karar hiyerarşisinde üst düzeyde verilen belirsiz kararların alt düzeylere daha geniş bir karar serbestliği sağlamasıdır.

Modelde TZ'deki belirsizliklerin temel kaynağı olarak tespit edilen talepler ile tedarik ve üretim verimlilik oranları üçgen bulanık sayılar ile temsil edilmiştir. Taleplerin belirsiz olarak belirlenmesi ile ilgili literatür incelendiğinde farklı kaynaklardan gelen taleplerin birleştirilerek tek bir bulanık tahmin oluşturmak için geliştirilen yöntemlerin kısıtlı sayıda olduğu görülmüştür. Bu yüzden çalışmada geçmiş verilere dayanan istatistiksel tahminleri ve uzman yargılarını birleştirerek tek bir bulanık tahmin elde etmek üzere yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Çalışmada önerilen ODP modeli kısıt parametrelerinin bir kısmında ve karar değişkenlerinin tümünde bulanıklık içeren bir modeldir. Modelin temel amacı firmanın TZ faaliyetleri sonucunda oluşan kârı enbüyüklemektir. Modelde amaç fonksiyonu ve karar değişkenleri bulanık sayılar ile tanımlandığı için iki ek amaç ilave edilmiştir. Bunlar amaç fonksiyonundaki ve karar değişkenlerindeki belirsizlikleri en küçüklemektedir. Sonuçta ortaya çok amaçlı bir ODP modeli çıkmıştır. Bu modeli çözmek için dört doğrusal programlama (DP) modeli içeren bir çözüm yordamı önerilmiştir. Yordamda yer alan ilk DP ile kârın iyimser ve kötümser değerleri bulunarak limitleri belirlenmektedir. Bu model ile belirlenen limitler ODP'nin ilk amacı olan kâr ve ikinci amacı olan kârdaki bulanıklık fonksiyonlarının normalize edilmesi için kullanılmaktadır. İkinci DP ile karar değişkenlerinin limitleri belirlenmektedir. Bu limitler ile ODP modelinin üçüncü amacı olan karar değişkenlerindeki bulanıklık normalize edilmektedir. Son olarak olabilirsnel model önceki adımlarda belirlenen limitlere ve bulanık sayılar için tanımlanan büyüklük/küçüklük ilişkilerine göre üçüncü DP modeline dönüştürülür. Modeli çözmek için amaçların önem düzeylerini gösteren ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Üçüncü DP'ye alternatif olarak önerilen dördüncü DP modelinde amaçların ağırlıklarının belirlenmesi gerekmeden amaçların en düşük düzeyinin en büyük yapılmasına dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Çalışmada önerilen model ve çözüm yordamının uygulanabilirliğini ve geçerliliğini göstermek için Mercedes Benz Türk A.Ş.'nin İstanbul, Hoşdere'de bulunan otobüs üretim tesislerinde karoser imalatında bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamada öncelikle firmanın mevcut durumu için parametreler belirlenmiş ve model çözümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çeşitli parametre değişimlerine modelin verdiği tepki analiz edilmiş ve modelin tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte model firmanın karoser imalatı için üretim ve tedarik ile ilgili stratejik kararların verilmesinde kullanılmıştır. Firmanın mevcut durumda kendisinin ürettiği tüm ara ürünlerin dışarıdan almasının mümkün olabileceği varsayılarak farklı talep ve kapasite durumlarına ve farklı fiyat senaryoları altında denemeler gerçekleştirilerek politikalar ortaya koyulmuştur. Sonuç olarak modelin TZ stratejik planlamasında etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.



## **MODELING SUPPLY CHAIN NETWORK USING POSSIBILISTIC LINEAR PROGRAMMING AND AN APPLICATION**

### **SUMMARY**

Supply chain management (SCM), which is composed of planning, controlling and designing of both material and information flow through the process starting from procurement of the raw material to the customer delivery, has been attracting the researchers and practitioners since the beginning of 1990s. SCM provides an integrated and systematic approach for enterprises to have competitive advantage in both cost and service level perspectives. One of the most important topics in SCM is supply chain (SC) strategic planning and the development of models to realize this.

Supply chain planning problems are due to uncertainties like the other real life problems. The sources of the uncertainties in the SC may be environmental or originated from the system itself. In all circumstances, neglected uncertainties in the models may result in inaccurate solutions.

Proposed by Lotfi A. Zadeh in 1965, fuzzy logic is one of the most widely used approaches to model uncertainties. The application of fuzzy logic has increased since the beginning of the 2000s. It provides an approximate analysis and modeling like the human cogitation system.

In this study, a model based on fuzzy logic is proposed to support strategic supply chain (SC) planning decisions. The problems investigated include demand planning, outsourcing, supplier selection and network structuring in strategic planning context. In the study, initially, a comprehensive literature review is conducted and the improvement possibilities of the current research are determined. As a result of the literature review, an approach that considers the uncertainties in a network supply chain is found an important contribution. Subsequently a more detailed literature review focused on network SC and uncertainties in SC is conducted. Consequently, a possibilistic linear programming (PLP) model is proposed to model the uncertainties for the network SC.

For the model and solution procedure development of PLP, the related literature is also surveyed and it is found that there is no study that deals with wide range real life problems, guarantees the global solution and considers the whole uncertainties in the SC. Therefore, in order to fill this uncovered area, firstly the uncertainties in the SC are investigated. Then the network SC is modeled through a fuzzy logic based PLP that has an uncomplicated solution procedure.

The basic approach of the proposed PLP is to make the decisions in a fuzzy manner in order to deal with the uncertainties encountered in SC. For this, it is suggested to make long-term strategic decisions in an uncertain framework rather than a crisp framework. This approach has two main benefits. Firstly, it supplies more accurate decisions when the long-term fuzzy decisions are defuzzified in medium and short-

term with more reliable inputs. Subsequently, fuzzy decisions in strategic level provide more flexibility for the tactical and operational decision levels.

The demands and the yield rates related to production and outsourcing are the basic sources of the uncertainties in SC. Thus, they are represented via triangular fuzzy numbers in the model. The literature on uncertain demand forecasting has few studies on aggregation of different forecasts from different sources to generate one single fuzzy forecast. Therefore, a new approach is propped to aggregate the forecasts coming from different sources; namely statistical methods as well as the experts' judgments, and to obtain an aggregated demand forecast that is represented by a triangular fuzzy number.

The proposed PLP contains fuzziness in some of the constraint parameters and in all decision variables. The basic objective of the model is to maximize the profit of enterprise's SC facilities. Since the objective function and the decision variables of the model are considered as fuzzy numbers, two new objectives are included in the model, namely the minimization of fuzziness in the objective function and the minimization of the fuzziness in the decision variables. As a result, a multiple objective PLP model is developed. This model is solved through four different linear programming (LP) models. The first LP in the methodology is used to find the optimistic and pessimistic levels of the profit that are used to normalize the first (i.e. maximization of the profit) and the second (i.e. minimization of the fuzziness in the profit) objectives of the PLP. The second LP is utilized to find the limits of decision variables that are used to normalize the third objective (i.e. minimization of the fuzziness in decision variables) of the PLP. Consequently, the PLP is transformed to third LP by the limits found in the first two LPs and the fuzzy less than / greater than relations. To solve the third LP, the weights associated with the objectives have to be determined. The fourth LP is a substitute of the third LP. This model, in which the weights are not necessary, tries to maximize the minimum level of all objectives.

In order to evaluate the applicability and validity of the model, the proposed model is applied to the body manufacturing of Mercedes Benz Türk A.Ş.'s bus production plant that is located in İstanbul, Hoşdere. In the application, initially, the parameters of the model are collected from the firm and the model is solved using them. Then behavior of the model is tested through parameter changes. Additionally, the model is used to make strategic production/outsourcing planning decisions in the body manufacturing. The policies related to these decisions are generated for different demand and capacity situations and under different price scenarios assuming that the materials produced by the firm itself can be outsourced. As a result it is shown that the proposed model can be used in SC strategic planning effectively.

## 1. GİRİŞ

Ürünlerin hammadde olarak temin edilmesinden müşteriye sunulmasına kadar olan süreçte tüm malzeme ve bilgi akışının planlanması, uygulanması ve kontrolünü içeren Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY); 1990'lerden beri araştırmacıların ve uygulayıcıların çok fazla ilgisini çekmektedir. TZY işletmelere, hem maliyet hem de hizmet düzeyi bakımından rekabet avantajı sağlamaları için bütünlük ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

Tedarik zinciri yönetimi içerisinde yer alan konuların en önemlilerinden birisi tedarik zinciri (TZ)'nin stratejik olarak planlanması ve bunu gerçekleştirmek için gerekli modellerin geliştirilmesidir. TZ modellemesinde stratejik analiz yaklaşımları temel olarak; konum-atama kararları, talep planlama, dağıtım kanalı planlama, stratejik anlaşmalar, yeni ürün geliştirme, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi, bilgi teknolojileri seçimi, fiyatlandırma ve ağ yapılandırma problemleri ile ilgilenir.

Gerçek hayattaki birçok problemde olduğu gibi TZ planlama ile ilgili problemlerde de belirsizlikler söz konusudur. TZ'deki belirsizlikler, sistemin kendi içerisinde ve/veya sistemin çevresinden kaynaklanıyor olabilir. Her halükarda bu belirsizliklerin kesin olarak varsayılarak tanımlanması ve modellenmesi kurulan modellerin gerçekçi olmayan sonuçlar üretmesine neden olur.

1965'te ilk defa Lotfi A. Zadeh tarafından önerilen bulanık mantık, belirsizlikleri modellemek için yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan bir tanesidir. Özellikle 2000'li yılların başından beri uygulaması artmakta olan bulanık mantık, insan düşünme sistemi gibi yaklaşık olarak değerlendirmeyi ve modellemeyi olanaklı hale getirmektedir.

Tez çalışmasında TZ planlama içerisinde yer alan talep planlama, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi ve ağ yapılandırma konularını içeren bir problem incelenmiştir. Bu problemde yer alan TZ, ağ yapılı olarak ele alınmıştır. TZ'deki belirsizlikleri modelleyebilmek için bulanık mantıktan faydalanılmıştır. Ağ yapılı olarak tasarlanan TZ'de stratejik planlama kararlarını vermek için bulanık mantık

yardımı ile bir olabilirsal doğrusal programlama (ODP) modeli geliştirilmiştir. Önerilen çok amaçlı ODP'yi çözmek üzere dört farklı doğrusal programlama (DP) modelinin kullanıldığı bir çözüm yordamı geliştirilmiştir. Ayrıca olabilirsal modelin en önemli girdilerinden olan talebi tahmin etmek için farklı kaynaklardan gelen talep tahminlerini birleştirmek üzere bir yaklaşım önerilmiştir.

Önerilen olabilirsal model, çözüm yordamı ve talep tahmini birleştirme yöntemlerinin uygulanabilirliğini ve geçerliliğini test etmek için bu yöntemler, Mercedes Türk A.Ş.'nin İstanbul, Hoşdere'de bulunan otobüs üretim tesisinde karoser imalatının stratejik TZ planlama kararlarını vermek için uygulanmıştır.

Çalışmada ilk olarak TZY ve TZ ile ilgili literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümde verilen literatür çalışmasında, kapsamlı bir makale taraması ile birlikte seçilmiş bazı makaleler ayrıntılı olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda tez çalışması için konu olarak ağ yapılı TZ planlaması ve belirsizlikleri modelleme yöntemi olarak bulanık mantık belirlenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde literatürde yer alan ağ yapılı TZ modelleme yaklaşımları ve bulanık mantık yaklaşımları ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Bunun yanı sıra bu bölümde, TZ'de yer alan belirsizlikleri ortaya koymak üzere yapılan detaylı incelemeye de yer verilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada TZ planlama için mevcut literatürü geliştirmeye yönelik olarak bir ODP modelinin geliştirilmesine karar verilmiştir.

Olabilirsal doğrusal programlama modelini kurmak için literatürde yer alan tek amaçlı ve çok amaçlı bulanık DP modelleri incelenmiştir. Bu amaçla dördüncü bölümde öncelikle bulanık mantık ile ilgili genel bilgilere yer verilmiştir. Sonrasında tek ve çok amaçlı bulanık DP modelleri ayrıntılı olarak sunulmuştur. İnceleme sonucunda mevcut yöntemlerin iyi ve kötü yanları ayrıntılı olarak ortaya konmuştur. Bu bölümde ayrıca, belirsizlik içeren bir problemin, ODP modeli olarak nasıl kurgulanabileceği ve çözümün nasıl elde edilebileceği ile ilgili bir yaklaşım önerilmiştir.

İlk dört bölümde verilen araştırmalar neticesinde beşinci bölümde, TZ planlama için bir ODP modeli önerilmiştir. Olabilirsal modelin en önemli girdilerinden olan talebin oluşturulması için önerilen talep birleştirme yöntemi de bu bölüm içerisinde ayrıntılarıyla sunulmuştur. Olabilirsal modeli çözmek için dört farklı DP modeli

içeren bir çözüm yordamı geliştirilmiştir. Çözüm yordamının ayrıntılarını içeren beşinci bölümde son olarak bir hipotetik örnek üzerinde önerilen çözüm yordamının geçerliliği test edilmiştir.

Altıncı bölümde, önerilen yöntemlerin Mercedes Benz Türk A.Ş.'de gerçekleştirilen uygulaması ayrıntıları ile sunulmuştur. Uygulamada öncelikle firma tanıtılmıştır. İkinci olarak firmanın mevcut durumu için modelde kullanılacak parametre değerleri tespit edilmiş ve geliştirilen model uygulanmıştır. Üçüncü olarak firmanın karoser imalatında ara ürünlerin dışarıdan tedarik edilmesi mümkün olduğu varsayılarak TZ stratejik planı yapılmıştır. Bu bölümde son olarak uygulama sonuçları irdelenmiştir.

Çalışmanın son bölümünde yapılan çalışma genel olarak değerlendirilmiş ve konuyla ilgili gelecek çalışma olanakları tartışılmıştır.

## 2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Tedarik Zinciri Yönetimi kavramı 1990'lardan bugüne kadar giderek artan bir ilgi görmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden bir tanesi TZY'nin sunduğu bütünleşik yönetim sisteminin tüm zincirdeki ortakların ihtiyaçlarını karşılamada ve memnuniyetlerini arttırmada etkin bir yaklaşım sunmasıdır. Ayrıca geniş olan kapsamından dolayı, TZY'nin amaçlarına ulaşmak için tek bir dönemlik veya tek bir projelik çalışmalar yeterli olmamaktadır. Bu da çeşitli kaynaklar tarafından TZY'nin çok fazla ilgi görmesine neden olarak görülmektedir (Stadtler, 2005; Guillen ve diğ., 2005; Giannakis, 2004; Stock ve Lambert, 2001).

### 2.1 Tanımlar

Tedarik zinciri, Stevens (1989) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır: “ ... ilk tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan planlama, malzemelerin, parçaların ve ürünlerin koordinasyonu ve kontrolü ile ilgilenen birleştirilmiş faaliyetler dizisidir. Organizasyondaki iki farklı akış olan malzeme ve bilgi ile ilgilenir.”

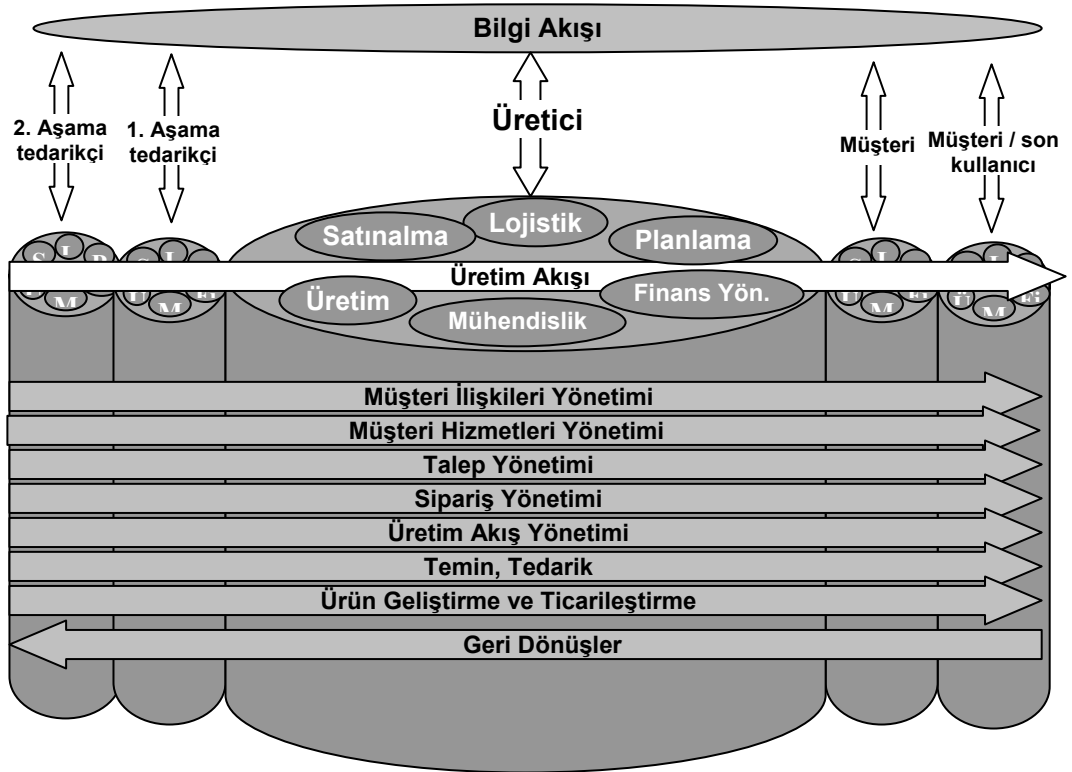
Tedarik zincirinin daha geniş ve açıklayıcı tanımları da mevcuttur. Min ve Zhou (2002) TZ'yi farklı fonksiyonları gerçekleştirmek için birbirleriyle ilişkili iş süreçlerini eşgüdümlü olarak yürüten bütünleşik bir sistem olarak tanımlamıştır. Tanımda bahsedilen fonksiyonlar şunlardır: (1) hammadde ve parçaların elde edilmesi, (2) bu hammadde ve parçaların bitmiş ürüne dönüştürülmesi, (3) bu ürünlere katma değer katılması, (4) bu ürünlerin perakendecilere veya müşterilere dağıtılması ve iletilmesi, (5) çeşitli iş birimleri arasındaki bilgi değişiminin sağlanması. TZ'nin temel amacı firmanın kendisinin ve TZ ortaklarının operasyonel etkinliğini, üretkenliği ve rekabet üstünlüğünü temin etmektir. Bir TZ, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi malzemenin ileriye doğru ve bilginin geriye doğru akışı olarak karakterize edilebilir.



Stock ve Lambert (2001), TZY'yi ilk tedarikçiden son tedarikçiye kadar kilit iş süreçlerinin bütünleşmesi olarak tanımlamış ve bu bütünleşmenin özellikle müşteri ve paydaşlar için değer yaratan ürünleri, hizmetleri ve bilgileri sağlaması üzerinde durmuştur. Tanımda bahsedilen kilit iş süreçleri şunlardır:

- (1) Müşteri ilişkileri yönetimi
- (2) Müşteri hizmetleri yönetimi
- (3) Talep yönetimi
- (4) Sipariş yönetimi
- (5) Üretim akış yönetimi
- (6) Temin, tedarik
- (7) Ürün geliştirme ve ticarileştirme
- (8) Geri dönüşler

Şekil 2.2'de sekiz kilit iş süreciyle birlikte ürün akışları ve bilgi bağlantıları gösterilmiştir. Bilgi akışı bir süreç olmamasına rağmen TZ için kilit kavramlardan biridir. Unutulmamalıdır ki ürün akışları ancak bilgi akışları ile başlatılabilir.



Şekil 2.2 : Tedarik zinciri yapısı (Stock ve Lambert, 2001)





Şekil 2.3'te genel bir TZ ağ yapısı verilmiştir. Bu ağ yapısı incelendiğinde ilk tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan tüm sürecin yönetiminin ne kadar karmaşık olduğu görülmektedir. TZ'nin iyi yönetilebilmesinin en önemli noktalarından bir tanesi TZ ağ yapısının nasıl oluştuğunu anlamak ve bununla ilgili açık bilgiye sahip olmaktır. Bir firmanın ağ yapısını oluşturma aşamasında üç yapısal yönde inceleme yapılmalıdır: (1) TZ üyeleri, (2) ağın yapısal boyutu ve (3) farklı tipteki süreç bağlantıları (Stock ve Lambert, 2001).

Ağ yapısını ortaya koymak için öncelikle TZ üyelerinin belirlenmesi gerekir. Tüm üyelerin ağ yapısı içerisinde yönetilmesi güçtür. Bu yüzden, yönetim ve kaynak tahsisi bakımından üzerine yoğunlaşmak için kilit TZ üyelerinin belirlenmesi önemlidir. Literatürde TZ içerisindeki üyelerin başlıca ve destek üyeler olarak ayrıldıkları görülmüştür. Başlıca üyeler belirli müşteri veya pazarlar için özgül ürün veya hizmet üreten operasyonel veya yönetsel faaliyetleri yerine getiren özerk firmalar veya stratejik iş birimleridir. TZ destek üyeleri ise başlıca üyelere kaynak, bilgi, hizmet veya mal sağlarlar. Örneğin bir otomobil üretim TZ'sinde üretimi ve ana montajı yapan firmalar temel üyeler; üçüncü parti lojistik sağlayıcılar ve bilişim teknolojisi sağlayıcıları da destek üyelerdir.

Tedarik zincirini tanımlamak, analiz etmek ve yönetmek için ağın üç boyutu çok önemlidir: Dikey yapısı, yatay yapısı ve merkezi firmanın zincirin uç noktalarına göre yeri. Ağın yatay yapısı denilince TZ'nin aşamaları akla gelmelidir. Dikey yapıda ise her aşamadaki tedarikçi veya üretici sayıları söz konusu olur. İlgilenilen firma kaynak sağlama ucuna veya son kullanıcı ucuna daha yakın olabilir veya ortada yer alabilir. Dış kaynak kullanımı, üretim, pazarlama ve ürün geliştirme gibi faaliyetler TZ'nin yatay veya dikey olarak daralması veya genişlemesi veya merkezi firmanın uçlara uzaklığını değiştirebilir. Bu nedenle özellikle stratejik kararlarda TZ'nin mevcut boyutları ve olası boyutları iyi analiz edilmelidir.

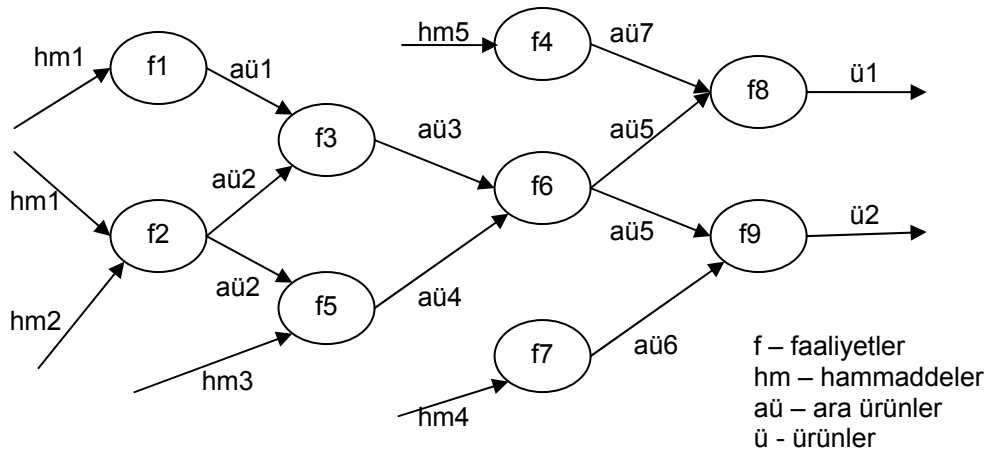
İncelenen TZ ile ilgili fikir oluşturmak için analiz edilmesi gereken konulardan bir diğeri de TZ üyeleri veya faaliyetler arasındaki iş süreçleri bağlantılarıdır. Bağlantı şekillerini ve düzeylerini belirlemek, kritik olanları ortaya koymak için önemlidir. Dört farklı çeşit bağlantı vardır. Merkezi firmanın bütünleşmek ve yönetmek için önemli bulunduğu bağlantılara "yönetilen süreç bağlantıları" denir. "Takip edilen süreç bağlantıları" ise merkezi firma için çok fazla kritik değildir fakat merkezi firma için önemli olan TZ'nin diğer üye firmaları arasındaki bu bağlantıların düzgün bir şekilde

bütünleşmiş ve yönetiliyor olmasıdır. “Yönetilmeyen süreç bağlantıları” merkezi firmanın aktif olarak yönetmediği ve takip etmediği kritik olmayan bağlantılardır. TZ içerisinde yer alan bu bağlantılarla birlikte TZ ile doğrudan ilişkili olmayan ama TZ’yi etkileyen bağlantılar olabilmektedir: “Dış süreç bağlantıları”. Firmalar veya faaliyetler arası bahsedilen çeşitlere göre mevcut ve olması gereken bağlantı tiplerinin belirlenmesi TZ’deki malzeme ve bilgi akışının kalitesini ve dolayısıyla TZ performansını doğrudan etkileyecektir.

Tedarik zinciri ağ yapısı ile ilgili çalışmalarda bazı baskın bakış açıları mevcuttur. Merkezi firma odaklı yaklaşım, merkezi firma ve onun birincil tedarikçileri ve müşterileri odaklı yaklaşım, işbirliği uyumu odaklı yaklaşım, ağ üyeleri homojenliği yaklaşımı ve üretim tecrübeleri odaklı yaklaşım örnek olarak söylenebilir. Bunlardan en çok ilgi göreni merkezi firma odaklı yaklaşımdır. Şekil 2.3’te görülen ağ yapısı bu bakış açısına örnek olarak gösterilebilir (Giannakis ve diğ., 2004).

Tedarik zincirini ağ yapısı olarak tasarlayabilmek için başka yaklaşımlar da mevcuttur. Bazı modellerde (Wang ve Shu, 2007; Graves ve Williams, 2001; Lakhali ve diğ., 2001) TZ, hammaddeleri son ürüne çevirmek için gerekli fonksiyonları içeren bir ağ yapısı olarak modellenmiştir. Bu tip ağ yapılarında her bir düğüm kaynakların tüketildiği, alt ürünlerin birleştirildiği fonksiyonel aşamalar olarak görülür, noktaları birleştiren yaylar ise ürünlerin akışını gösterir.

Şekil 2.4’te örnek bir faaliyet tabanlı TZ ağ yapısı verilmiştir. Bu yapıda dikkate alınan sistem dışından gelen hammaddeler (hm1,...,hm5), sistemdeki faaliyetler ile (f1,...,f9), önce ara ürünlere (aü1,...,aü7) dönüştürülmekte, sonra da sistem dışındaki müşterilere ürün (ü1,ü2) olarak aktarılmaktadır.



Şekil 2.4 : Faaliyet tabanlı tedarik zinciri ağ yapısı

Tedarik zincirinde firmalar büyük sistemler içinde yer alma eğilimindedirler. Firmalar sürdürülebilir bir rekabet üstünlüğü elde edebilmek için kendi esas yetkinliklerine odaklanırlar ve stratejik olmayan faaliyetlerinin üçüncü parti bir firma tarafından gerçekleştirilebileceğine inandıklarında bu faaliyetleri dışsallaştırmak isterler. En iyi TZ stratejisi ise iç faaliyetlerin katma değerlerini enbüyükleyerek dış faaliyetlerinin değerini arttıracak güçlü ortaklıklar geliştirmeye dayanır (Lakhal ve diğ., 2001). Dışsallaştırılacak ve firmanın kendi kaynakları ile gerçekleştireceği fonksiyonlar ile ilgili kararlara ağ yapısı kararları denir. Örneğin Şekil 2.4'teki ağ yapısında hangi faaliyetlerin dışsallaştırılması, hangi hammaddelerin veya ara ürünlerin dışarıdan tedarik edilmesi veya sistem bünyesine dahil edilmesi, hangi tedarikçilerle anlaşılması, hangi ürünlerin hangi müşteriye ne kadar satılması gibi kararlar, ağ yapısı dikkate alınarak yönetilebilir.

Tedarik zincirlerinde ağ yapısı sadece birçok firmanın, tesisin, organizasyonun ve bunlar arasındaki ilişkilerin bir arada gösterildiği bir yapı değildir. Günümüz küresel sistemlerinde firmaların rekabet avantajı elde etmek için işbirliği yapmalarını sağlayan bir yönetim şeklidir. Artık rekabet firmalar arasında değil tedarik ağları arasında yaşanmaktadır. Firmaların rekabet avantajı elde etmeleri, içinde buldukları ağların rekabet gücüne bağlıdır (Kulmala ve diğ., 2002; Lakhal ve diğ., 1999).

Ağ şeklinde yapılaşma kısa üretim zamanı, bilgi yönetimi ve esneklik yetkinliği ile rekabet etmektir. Ortakların kendilerini birbirlerinin uzun vadede geleceklerine adanmasıdır. İkili ortaklıktan farklı olarak ağ yapılı ortaklıkta tüm ağ içerisindeki ortaklar bir veya daha çok ortak amaç etrafında birleşirler. Ağ yapılı organizasyonlarda ortakların derin adanmışlığı ve organizasyonun tüm seviyelerindeki çeşitlendirilmiş iletişimi söz konusudur. Yetkinlikler merkezden uzak, esnek ve bağımsız birimlere aktarılır. Sistem tedarikçileri için son ürün ve müşteri odaklılık gereklidir (Kulmala ve diğ., 2002).

Yapılan tanımlardan anlaşılmaktadır ki; TZY ve TZ ağ yapısı organizasyonlar için yönetilmesi en önemli konulardan birisidir. Bu, tez konusu olarak TZY'nin seçilmesinin ne kadar yerinde olduğunu göstermektedir. Bundan sonraki aşamada TZY içerisinde odaklanılan konuyu bulmak için gerçekleştirilen literatür çalışması verilmiştir.

## **2.3 Literatür Çalışması**

Çalışmada literatür çalışması, TZ ile ilgili mevcut çalışmalarını ortaya koyabilmek için yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle makale taraması yapılmıştır. Daha sonra mevcut literatürde önemli görülen çalışmalar incelenmiştir. Sonunda her iki yolla elde edilen bilgiler ışığında genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bu bölümde makale taraması ve ayrıntılı incelenen çalışmalar ile bunlar sonucunda ortaya konan değerlendirmeler verilmiştir.

### **2.3.1 Makale taraması**

Tedarik zinciri yönetimi ile ilgili internet üzerindeki bilimsel makale veri tabanlarından makale taraması için Sciencedirect veri tabanında, başlıklarında, anahtar sözcüklerinde ve özetlerinde “supply chain” kelimesi geçen makaleler aratılmıştır. Tez çalışmasının başında ve sonunda iki ayrı arama yapılmıştır (Url-1, Url-2). İlk aramada (Ar0405) 2004 yılı başından arama yapılan tarihe (10 Ocak 2006) kadar internette yayımlanan toplam 364 makale belirlenmiştir. İkinci aramada (Ar0608) ise 2006 yılından arama yapılan tarihe kadar (13 Mayıs 2008) yayımlanan toplam 1162 makale tespit edilmiştir.

Her iki arama sonucuna genel olarak bakıldığında makalelerin toplam 243 adet bilimsel dergi içerisinde yer aldığı görülmektedir. İlginç olan bir konu da Ar0405’te 48 adet dergi tespit edilmişken Ar0608’de 234 değişik dergi içerisinde TZ kelimesinin geçmesidir. TZ’nin bu kadar çeşitli dergi içerisinde yer bulması birçok konu ile ilişkili olduğu ve son aramada dergi sayısının artması, TZ’nin öneminin giderek artmakta olduğunu göstermektedir. Tablo 2.1’deki makalelerin yer aldığı dergiler incelendiğinde, European Journal of Operational Research ve International Journal of Production Economics’te konuyla ilgili 300’e yakın makale bulunduğu görülebilir. Buradan, TZ’nin yöneylem araştırması içerisinde oldukça fazla yer bulduğu ve üretim ekonomisi açısından TZ’nin önemli bir konu olduğu sonuçlarına varılabilir. Ayrıca 20’den fazla makale içeren dergilere bakıldığında yöneylem araştırması ve üretim dışında pazarlama yönetimi, ulaştırma ve kimya mühendisliği gibi konuları esas alan dergiler içerisinde de TZ ile ilgili dikkate değer sayıda makale yer aldığı görülmektedir.

**Tablo 2.1 : Makalelerin dergilere göre dağılımı**

Dergi	Ar0405	Ar0608	Toplam	Yüzde
European Journal of Operational Research	85	208	293	19,21%
International Journal of Production Economics	83	187	270	17,70%
Journal of Operations Management	22	65	87	5,70%
Computers & Industrial Engineering	4	42	46	3,02%
Omega	14	31	45	2,95%
Industrial Marketing Management	18	19	37	2,43%
Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	15	22	37	2,43%
Journal of Cleaner Production	9	27	36	2,36%
Computers & Chemical Engineering	13	20	33	2,16%
Computers & Operations Research	7	23	30	1,97%
Decision Support Systems	9	18	27	1,77%
Expert Systems with Applications	1	22	23	1,51%
Journal of Purchasing and Supply Management	4	16	20	1,31%
Diğer 230 dergi (ilgili makale sayısı <20)	80	461	541	35,48%
Toplam	364	1161	1525	100%

Her iki aramada makalelerin özetleri üzerinden sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma için Çapar ve diğ. (2004) ile Min ve Zhou (2002)'nin sınıflandırmalarından yararlanılmıştır. Çapar ve diğ. (2004)'deki çalışma çeşidi ve TZ yapısı kısımları ile Min ve Zhou (2002)'deki modelleme çeşitleri kısımları birleştirilerek yeni bir sınıflandırma sistemi oluşturulmuştur. Şekil 2.5'te makaleleri sınıflandırmak için kullanılan sistematik verilmiştir.

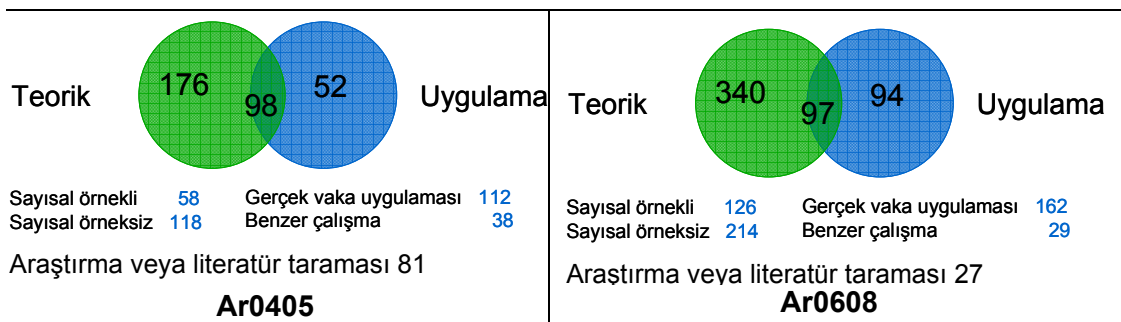
1. Çalışma Çeşidi
  - 1.1. Teorik
    - 1.1.1. Sayısal örneksiz
    - 1.1.2. Sayısal örnekli
  - 1.2. Uygulama
    - 1.2.1. Gerçek vaka uygulaması
    - 1.2.2. Benzer çalışmaya dayalı uygulama
  - 1.3. Teorik ve uygulama karışık
  - 1.4. Araştırma veya literatür taraması
2. Modelleme çeşidi
  - 2.1. Deterministik tek amaçlı
  - 2.2. Deterministik çok amaçlı
  - 2.3. Stokastik
  - 2.4. Melez (Deterministik ve stokastik)
  - 2.5. Bilişim teknolojisine dayalı
  - 2.6. Bulanık mantık
3. Tedarik zincirinin Yapısı
  - 3.1. İki aşamalı tedarik zinciri
    - 3.1.1. Bir satıcı bir alıcı
    - 3.1.2. Bir satıcı çok alıcı
    - 3.1.3. Çok satıcı çok alıcı
    - 3.1.4. Çok satıcı bir alıcı
  - 3.2. Seri tedarik zinciri (ikiden fazla aşamalı)
  - 3.3. Ağ yapılı tedarik zinciri

**Şekil 2.5 : Literatür sınıflandırma sistemi**

Ar0405'te tespit edilen makalelerin tümü (364 adet); Ar0608'deki makalelerden ise en fazla ilgili makale içeren ve önemli olduğu düşünülen dergilerde (European Journal of Operational Research, International Journal of Production Economics, Journal of Operations Management, Computers & Industrial Engineering, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review) yer alan toplam 555 makale sınıflandırılmak üzere incelenmiştir. İncelenen makalelerin künyesi EK-A'da verilmiştir.

Ar0405'te makalelerden 19 tanesi, Ar0608'de ise makalelerden 20 tanesi TZY ile ilgili olmadığı veya makale olmadığı görülerek elenmişlerdir. Geriye kalan Ar0405'te 345 makale ve Ar0608'de 535 makale tanımlanan sistematığe göre sınıflandırılmıştır.

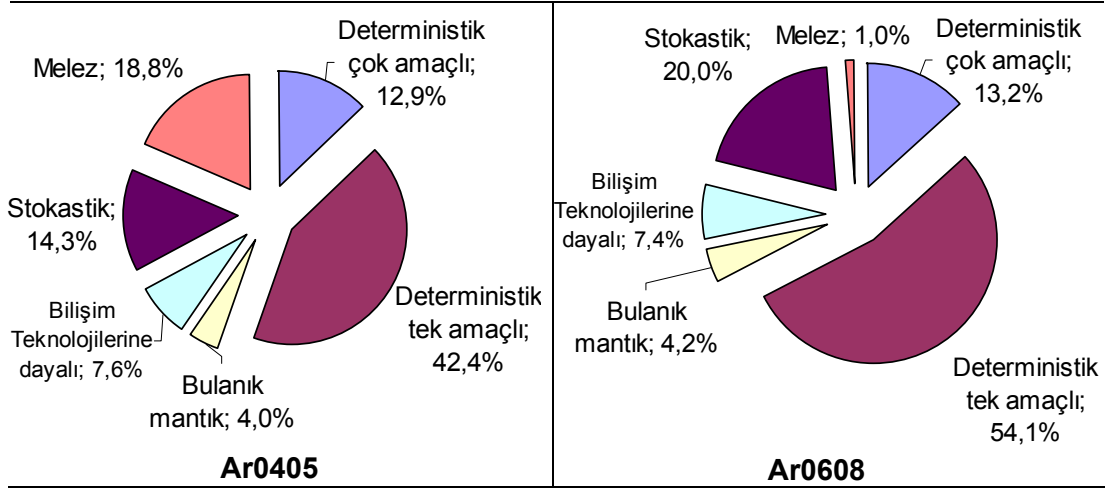
Çalışma çeşidine göre yapılan sınıflandırma sonuçları Şekil 2.6'da verilmiştir. Her iki arama sonucuna göre teorik makalelerin uygulama içeren makalelerden daha çok olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, iki arama arasındaki değişim incelendiğinde uygulama makalelerinin sayısının göreceli olarak daha fazla arttığı tespit edilebilir. Fakat hem teorik hem de uygulama içeren makale sayısının oransal olarak azaldığı gözükmektedir. Bu, araştırmacıların TZ çalışmalarında ya teoriye ya da uygulamaya odaklanma eğiliminde olduklarını gösterir. Ayrıntıya inildiğinde teorik çalışmalarda sayısal örnek verilmeyen makalelerin; uygulama çalışmalarında ise gerçek vaka uygulamalarının daha çok tercih edildiği saptanmıştır. Literatür araştırması çalışmaları ise yıllar içinde azalmıştır.



Şekil 2.6 : Makalelerin çalışma çeşidine göre sınıflandırılması

Modelleme çeşidine göre yapılan sınıflandırmada deterministik tek amaçlı modeller içeren makalelerin her iki aramada da çoğunlukta olduğu görülmüştür. Şekil 2.7'deki sonuçlara göre Ar0405'te deterministik tek amaçlı modelleri (%42,4) sırasıyla melez modeller (%18,8), stokastik modeller (%12,9), deterministik çok amaçlı modeller

(%12,9), bilişim teknolojilerine dayalı modeller (%7,6) ve bulanık mantığa dayalı modeller (%4) takip etmektedir. Ar0608’de ise önceki araştırmaya göre melez modellerin sayısı oldukça gerilemiş ve son sırada yer almıştır. Bunun dışında diğer sıralama aynıdır. Çalışmaların melez (stokastik ve deterministik bir arada) modellerden tam stokastik veya tam deterministik modellere kaydığı görülmektedir.



Şekil 2.7 : Makalelerin modelleme çeşidine göre sınıflandırılması

Makalelerde incelenen TZ yapısına göre yapılan sınıflandırmada, her iki araştırmada da, iki aşamalı TZ’lerin çoğunlukta olduğu görülmüştür (Tablo 2.2). Seri ve ağ yapılı TZ’leri ise yaklaşık olarak aynıdır. İki aşamalı tedarik zincirlerini inceleyen makalelere bakıldığında ise büyük bir kısmının bir satıcı bir alıcıyı içeren sistemleri inceledikleri görülmektedir. İki araştırmanın sonuçları yaklaşık olarak aynı olmakla birlikte iki aşamalı TZ makalelerinin artma eğiliminde olduğu söylenebilir.

Tablo 2.2 : Makalelerin tedarik zinciri yapısına göre sınıflandırılması

	Ar0405		Ar0608	
	Makale sayısı	Yüzde	Makale sayısı	Yüzde
İki aşamalı tedarik zinciri	132	60%	296	69%
Bir satıcı bir alıcı	74	56%	154	52%
Bir satıcı çok alıcı	30	23%	70	24%
Çok satıcı çok alıcı	8	6%	14	5%
Çok satıcı bir alıcı	20	15%	58	20%
Seri tedarik zinciri	45	20%	67	16%
Ağ yapılı tedarik Zinciri	44	20%	63	15%

Tablo 2.3’te Ar0608 için modelleme çeşidine ve TZ yapısına göre yapılan sınıflandırma sonuçları birlikte verilmiştir. Buna göre, TZ yapısına göre sınıflandırmanın tüm makaleler için olan sonuçlarının farklı modelleme seçenekleri



için de yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Göze çarpan bazı farklılıklar şunlardır: Seri TZ’de stokastik modeller daha çok tercih edilmektedir, ağ yapılarında deterministik çok amaçlı modeller göreceli olarak daha fazla kullanılmıştır. Bulanık mantık kullanan modeller iki aşamalı TZ’lerde göreceli olarak daha fazla kullanılmıştır.

**Tablo 2.3 : Makalelerin modelleme çeşidi ve TZ yapısına göre sınıflandırılması**

	Det. tek amaçlı	Det. çok amaçlı	Stokastik	Melez	Bilişim Tek. dayalı	Bulanık mantık	Toplam
İki aşamalı tedarik zinciri	<b>153</b>	<b>41</b>	<b>67</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>292</b>
Bir satıcı bir alıcı	79	22	43	1	6	3	<b>154</b>
Bir satıcı çok alıcı	36	11	13	1	4	3	<b>68</b>
Çok satıcı çok alıcı	10	1			1	1	<b>13</b>
Çok satıcı bir alıcı	28	7	11		4	7	<b>57</b>
Seri tedarik zinciri	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>16</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>64</b>
Ağ yapılı tedarik zinciri	<b>33</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>62</b>
<b>Toplam</b>	<b>223</b>	<b>61</b>	<b>91</b>	<b>3</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	

Ayrıntıları verilen sınıflandırmaya ek olarak makale içeriklerine bakıldığında; Ar0405’te, gıda sektöründe TZ yaklaşımı, kapalı döngülü TZ, internet ve bilişim teknolojileri kullanımının TZ’ye etkileri, bilgi paylaşımıyla ilgili konular ve çevreye duyarlı yaklaşımlar gibi konuların yaygınlaşmakta olduğu görülmüştür. Ar0608’de ise tersine lojistik, kamçı etkisi, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı TZ, TZ ortakları arası bilgi paylaşımı, TZ ortakları arasındaki ilişkilerde oyun teorisi yaklaşımı, TZ sözleşmeleri ve TZ’nin işleyişini anlamaya çalışan anket çalışmaları dikkat çekmiştir.

### 2.3.2 Tedarik zinciri konusundaki mevcut çalışmalara genel bakış

Tedarik zinciri yönetimi ile ilgili literatür çalışmasında ikinci olarak TZY araştırmalarını özetleyen çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda TZ modelleme, stratejik TZ planlama, TZY ve ileri planlama, değer zinciri, her karar seviyesine göre üretim-dağıtım planlama, küresel TZ tasarımı ve TZY’yi etkileyecek eğilimler başlıkları altında çalışmalara yer verilecektir.

#### 2.3.2.1 Tedarik zinciri modelleme

Min ve Zhou (2002) TZ modellemede mevcut durumu ortaya koyup eksiklikleri tespit ederek gelecek çalışmaları belirlemek için oldukça kapsamlı bir araştırma yapmıştır. Makalede TZ modellemenin ana kapsamı ve TZ modellemenin kilit bileşenleri üzerine teorik açıklamalar yapıldıktan sonra TZ modelleme

sınıflandırmaları üzerinde mevcut çalışmalar irdelenmiştir. Yazarlar, bütünleşik TZ kavramlarının çok yararlı olmakla birlikte yararların kullanılması için geliştirilen analitik araçların yeterli olmadığını tespit etmişlerdir. Gelecek TZ modelleme çabalarının yönü üzerine ise altı görüş öne sürmüşlerdir:

- (1) Geleneksel matematik programlama yöntemlerinin fonksiyonlar arası bütünleşme konularına uygulamaları çok aşamalı ve çok dönemli problemleri kapsayacak şekilde devam etmelidir.
- (2) İlişkiler yönetimi ve potansiyel TZ ortakları arasındaki uyuşmazlıkların çözülmesi gibi daha hafif konuları içeren problemler TZ modellerine girecektir. Oyun teorisi ve müzakere modelleri bu problemler için tekrar kullanılmaya başlanabilir.
- (3) Tedarik zinciri; birbiriyle çelişen amaçları bünyesinde barındıran karmaşık bir ağ yapısındadır. Bu yüzden TZ ile ilgili temin, üretim ve envanter planlama ortak kararlarında; toplam maliyeti, hizmet düzeyini ve temin sürelerinde değiş tokuş yapılmasını dikkate alan modellere ihtiyaç duyulmaktadır.
- (4) Büyük boyutlu lojistik süreç problemlerinde olduğu gibi, birbirleriyle ilişkili TZ süreçlerini yöneten dinamik karar kurallarını değerlendirecek simülasyon modelleri tekrar kullanılmaya başlanacaktır.
- (5) TZ'nin karmaşıklığını basitleştirmek için “kısıtlar teorisi” ve “mantık ağacı” gibi yaklaşımların denenmesi gerekmektedir.
- (6) Matematiksel modellerin geçerliliği girdi verilerinin kalitesine bağlı olduğu için TZ'deki uygulanmaları temelini kaybetmektedir. Tek başına matematiksel modellerin uygulanması yerine; iletişim yöntemlerini, bilgi edinme yöntemlerini ve görsel araçları içinde barındıran karar destek sistemlerinin uygulanması gelecek çalışmalarda daha çok ilgi görecektir.

### **2.3.2.2 Stratejik tedarik zinciri planlama**

Shapiro (2004) makalesinde stratejik TZ planlaması problemlerinin sayısal olarak analiz edilmesini temel alan dört yeni çalışma sahası önermektedir. Bunlardan ilki stratejik TZ planlama çalışma ve modellerinin kapsamını genişletmektir. Genelde stratejik planlama çalışmaları dar çerçeveli TZ'ler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Oysa günümüz firmaları oldukça geniş TZ'ler içinde yer almaktadırlar. Bu yüzden

TZ talep ve finans kararlarını kapsayan ve TZ ağının daha büyük kısmı üzerinde kurulacak modellerin firmaların problemlerini çözmeye daha çok işe yarayacağı açıktır.

Önerilen ikinci temel çalışma alanı veri sürümlü optimizasyon modellerinde strateji teorilerinin yansıtılmasıdır. Deneyim ve sezgilerle oluşturulan strateji teorilerinin modellemecilere daha zengin ve kapsamlı optimizasyon modelleri kurmaları için önemli yararlar sağlayacağı savunulmaktadır.

Üçüncü olası çalışma alanı senaryo analizi ve stokastik DP ve risk modellemesidir. Stratejik TZ planlamasında belirsizlikler oldukça fazladır. Riskleri sınırlayabilmek için senaryo analizi ve stokastik DP uygulanması önerilmektedir.

Makalede son olarak stratejik planların tanı esaslı analizinin gerçekleştirilebilmesi için iş süreçlerinin genişletilmesi önerilmektedir. Tanı esaslı stratejik planlamanın tutarlılığının, devamlılığının ve etkinliğinin sağlanabilmesi veri toplama, tanımlayıcı modelleri gerçekleştirmeyi ve kararların uygulanması için yeni süreçlerin oluşturulmasını gerektirir. TZ planlamayla ilgili birçok optimizasyon uygulaması firmalarda çalışanlar tarafından benimsenmediği ve gerektiği şekilde uygulanmadığı için başarılı olamamıştır. Bu yüzden tanı esaslı analize dayalı planlamaların başarılı olabilmesi için işi sadece veri toplama ve bunları analiz etme olan bölüm veya çalışanların olması ve stratejik TZ planlarını sistematik olarak oluşturmak için yeni süreçlerin tanımlanması önerilmektedir.

Sonuç olarak Shapiro (2004) TZ'nin daha kapsamlı olarak ele alınmasını, veri sürümlü optimizasyon modellerinin stratejik kararlar için de kullanılmasını, belirsizliklerin dikkate alınıp modellere yansıtılmasını, başarılı gerçek esaslı analizler için de yeni iş süreçlerinin tanımlanmasını önermektedir. Bunlar Shapiro'nun TZ planlamada eksik gördüğü ve hem yeni akademik çalışmalarda hem de uygulamada dikkat edilmesi gereken konular olarak görülebilir.

Shah (2005) süreç endüstrisi TZ ile ilgili mevcut çalışmalarını inceleyerek gelecek çalışmalar önermiştir. Gelecek çalışmaları, mevcut süreç tasarımlarının geliştirilmesi ve yeni alanlar için TZ'lerin etkin tasarımı olmak üzere iki ana gruba ayırmıştır.

Yazar, süreç endüstrisinde TZ performansının üretim sürecinin esnekliği ve cevap vermeye yatkınlığına çok bağlı olduğunu belirtmiştir. Bu yüzden, TZ cevap verme yeteneğini arttırıcı süreç tasarımlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada, gelecekte süreç endüstrisi TZ'lerin geçmişteki gibi olmayacağına dikkat çekilmiştir. Bunun en büyük nedenini yeni alanlar için TZ tasarımı gerekecek olması olarak belirtilmiştir. Yeni alan içerisinde hidrojen gibi yeni yakıtlar, su, sivil kullanım için gerekli iyileştiriciler, makro temelde enerji, petrolden değer üretme, atıktan değer üretme gibi konular sayılmıştır.

### **2.3.2.3 Tedarik zinciri yönetimi ve ileri planlama**

Stadtler (2005), TZY ve ileri planlama ile ilgili temel bilgileri, genel bakış açısını ve gelişmeye açık alanları içeren bir makale ortaya koymuştur. Makalede gelecek çalışmalar ile ilgili konular aşağıda özetlenmiştir:

- (1) Talep planlamada, ayrıntılı talep tahmin yöntemleri çok yoktur. Bu yüzden, doğru tahmin yöntemlerinin belirlenmesiyle ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.
- (2) Tedarik zinciri ana planlamasında az müşterili, düşük üretim hacimli siparişe üretim yapan tesisler için modeller geliştirilmelidir. Bu problemlerde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme modelleri az sayıdadır.
- (3) Ana planlama problemlerinde girilecek ayrıntı ve çözüm algoritmasının uygulanabilirliği arasındaki denge iyi kurulmalıdır.
- (4) Tedarik zincirindeki belirsizlikleri modelleyen çalışmalar yeterli değildir. Güvenlik stoğu belirleme ve stok planlama gibi konularda belirsizlikler için genelde deterministik modeller önerilmiştir. Stokastik modellerin kullanımı yaygınlaşmalıdır. Sadece talep belirsizliği değil, verimsizlik ve işleme zamanlarında karşılaşılan belirsizlikler de modellere yansıtılmalıdır.
- (5) Tedarik zincirlerinde yerinden yönetim ve birimler arası işbirliği konuları incelenmelidir.
- (6) İleri planlama sistemlerinin üretim alanı ile bağlantısı kurulmalıdır. Mevcut malzeme ihtiyaçları planlaması sistemleri üretim işlemlerinin gerçek zamanlı kontrolünü yapamamaktadır. En azından tamamen otomatize edilmiş tesisler için bu bağlantı çok önemlidir.
- (7) İleri planlama sistemlerinin maliyet muhasebesi ile bağlantısı kurulmalıdır. Bu özellikle kurulan modellere doğru veri sağlanması için gereklidir. Ayrıca sistemlerin performans ölçütlerini belirlemek için de maliyet muhasebesi ile bağlantısının kurulması yararlı olacaktır.

#### **2.3.2.4 Tedarik zinciri yönetimine değer zinciri bakışı**

Al-Mudimigh ve diğ. (2004) TZ kavramının genişleyerek değer zinciri yönetimine dönüşeceğini savunmaktadır. Aslında tanım ve bütünleşik yaklaşım olarak değer zincirinin TZ'den çok farkı yoktur. En büyük farklılık değer zincirinin doğrudan son müşteri için değer yaratmaya odaklanmış olmasıdır. Böylece ürün geliştirme, müşteri ilişkileri yönetimi gibi konular da değerlendirilecek sistem içerisinde yerini alacaktır.

Makalede ayrıca son yıllarda bütünleşik sistemlerin tasarımı ve uygulanmasının (ERP, çok aşamalı envanter yönetimi, senkronize akıllı üretim gibi) yeniden ilgi görmeye başladığını vurgulanmıştır. Bunun iki önemli nedeninin olduğu söylenmiştir. İlki kendi aralarında ilişkili karmaşık sistemlerin bütünleşik olarak yönetilip planlanmasıyla üretkenliğin artacağıdır. İkinci olarak ise bilgi ile iletişim teknolojisindeki gelişmelerle geliştirilen karar destek sistemlerinin firma bütünleşmelerine daha fazla olanak sağlayacağı belirtilmiştir.

#### **2.3.2.5 Her karar seviyesine göre üretim-dağıtım planlama**

Bilgen ve Ozkarahan (2004), stratejik, taktik ve operasyonel üretim-dağıtım problemlerini Min ve Zhou (2002)'nin sınıflandırmasına (Şekil 2.5, modelleme çeşidine göre sınıflandırma) göre gözden geçirerek gelecek çalışmalar için yön gösterici öneriler sunmuştur. Makale taramasında elde edilen sonuçlara benzer tespitler sunan çalışmada önerilen konular aşağıda özetlenmiştir:

- (1) İncelenen çoğu çalışmada tek amaçlı modeller kurulmuştur, çok amaçlı modellere ihtiyaç vardır.
- (2) Literatürün çoğu deterministik modeller kullanmıştır, oysa TZ'deki belirsizlikleri modellemek için stokastik modellere daha çok yer verilmelidir.
- (3) Çalışmalarda karmaşık olarak nitelendirilebilecek, ürün ağacı, bulanık kısıtlar ve mantıksal kısıtlar gibi konular çok işlenmemiştir.
- (4) Yerel üretim dağıtım modelleri literatürde çokça işlenmiştir. Küresel karakterli modeller ve çok uluslu firmalara yönelik modeller arttırılmalıdır.
- (5) Stratejik ve taktik seviyedeki karar modellemesi oldukça fazla rağbet görmüştür. Operasyonel seviyedeki planlamalara destek olacak modellere ihtiyaç vardır.

- (6) Üretim-dağıtım modellerinde karma tamsayılı çözüm yöntemleri çokça kullanılmıştır. Meta-sezgisel veya melez yöntemler için çalışma alanı mevcuttur.
- (7) Tersine TZY ve çevik TZY ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır ve bu konular üzerine modellere ihtiyaç vardır.

### **2.3.2.6 Küresel tedarik zinciri tasarımı**

Meixel ve Gargeya (2005) küresel TZ tasarımı için geliştirilen karar destek modellerini incelemiş ve araştırma çalışmaları ile pratik konuların uyumlu olup olmadığını değerlendirmiştir. Genel olarak küresel TZ problemlerinde dış kaynak kullanımı, bütünleşme ve stratejik gruplama üzerine az çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte literatür taramasından dört ana sonuç çıkarılmıştır: (1) küresel TZ tasarım modelleri, iç üretim ve dış tedarik noktalarını içine alan birleşik TZ tasarımı ile ilgilenmelidir, (2) küresel TZ modelleri birden çok üretim ve tedarik aşamasını dikkate almalıdır, (3) küresel TZ modellerinde kullanılan performans ölçütlerinin alternatif amaçlara yönelik olarak tanım açısından genişletilmesi gerekmektedir ve (4) küresel TZ modelleri ile mevcutta incelenen üretim, tekstil ve otomotiv gibi endüstrilerin dışında uçak, ağır makine ve hizmet gibi farklı endüstrilerle de ilgilenilmelidir.

Sonuçta farklı sektörlerdeki çok aşamalı TZ'ye odaklanan ve daha fazla performans ölçütü içeren çalışmalar geliştirilebileceği öngörülmüştür.

### **2.3.2.7 Tedarik zinciri yönetimini etkileyecek eğilimler**

Vis ve Roodbergen (2002) TZY'yi etkileyecek çevrim süresinin azaltılması, e-ticaret, yoğunlaşma ve merkezileşme, tersine lojistik, üçüncü parti lojistik ve küresel lojistik gibi eğilimlerden bahsetmiştir.

Tedarik zincirinde çevrim süresi hammadde tedarikinden bitmiş ürünün son kullanıcıya teslimine kadar geçen süredir. Araştırmalara göre çevrim süresi içerisinde ürüne değer katan işlemlerin süresi sadece %5'tir. Geri kalan süre ürünün beklemesi gibi doğrudan değer kazandırmayan süreçlerdir. TZ süreçlerinin daha etkin planlanması ile çevrim süresini azaltmak firmalar için bir rekabet üstünlüğü sağlayabilir. Bunun için de üretim sistemlerinin planlamasında kullanılan tam zamanında üretim ve kanban sistemi gibi yaklaşımların tüm TZ'ye uygulanması gündeme gelebilir.

Elektronik ticaret kâğıt tabanlı olmayan tüm işlemlere verilen genel isimdir. TZ'deki tüm bilgi akışlarının ve mümkünse bazı ürün akışlarının internet veya diğer elektronik ticaret teknolojileri ile sağlanması başta akış sürelerinin azalması olmak üzere birçok yarar getirecektir. Ayrıca tüm TZ'yi kapsayan modellerin ve karar destek sistemlerinin uygulanabilmesi için gerekli veriler e-ticaret destekli TZ'de daha kolay sağlanabilmektedir. Veri madenciliği, elektronik veri değişimi gibi kavramlar da e-ticaretin gelişmesiyle daha çok kullanılacaklardır.

Firmalar büyüdükçe fabrika ve diğer tesislerin sayıları artacaktır. Buna bağlı olarak farklı yerlerdeki tesislerle birlikte yönetim yapısı değişecektir. Tüm TZ için bakıldığında ise bir TZ'deki tüm üyeler ortak hareket etmeleri durumunda tam başarıyı sağlayacaklardır. Aynı şekilde TZ yapısı için de karar verme mekanizması anlamında yönetsel yaklaşımlar geliştirilmelidir. Makalede bazı önemli kararlarda merkezileşme (kararların tek bir merkezde verilmesi), daha önemsiz veya zincirin tümünü ilgilendirmeyen kararlarda ise yerelleşme (kararların ilgili birimlerce verilmesi) önerilmektedir.

Tersine lojistik ürünlerin son kullanıcıdan geriye doğru akışıyla ilgilendirir. Bunun çeşitli sebepleri olabilir. Örneğin depozitolu ürünlerin depozitoları, ömrünü doldurmuş ya da parçalanması gereken ürünler, bozuk veya kusurlu ürünler TZ'de tersine hareket edebilirler. Ürünlerin geri dönüşü firmaların maliyetlerini azaltmak, müşteri memnuniyetini arttırmak veya yasal zorunluluklara uymak için tercih ediliyor olabilir, ama tersine lojistiğin söz konusu olduğu her durum, normal TZY faaliyetlerinden ayrı olarak değerlendirilmelidir. Makalede tersine lojistik konularının gün geçtikçe daha çok önem kazandığı vurgulanmıştır.

Firmalar büyüdükçe kendi öz faaliyetlerine odaklanarak stratejik olmayan faaliyetlerini taşeron firmalarca gerçekleştirmeye yönelirler. Depolama ve taşıma, firmaların en çok dış firmalara yaptırdıkları faaliyetlerdir. TZ'nin iyi yönetilebilmesi için dış kaynak kullanımı kararlarının ve süreçlerinin iyi planlanması ve doğru uygulanması gereklidir.

Tedarik zincirleri artık tek bir ülkedeki üyelerle sınırlı değildir. TZ yöneticileri küresel TZ ağlarındaki belirsizlikle ve karmaşıklıkla uğraşmak zorundadır. Uluslararası TZ'lerin ulusal olanlardan farklarından bahsedilecek olunursa ilk olarak farklı coğrafi alanlarda bulunan ağ üyeleri arasındaki mesafelerin artması

söylenbilir. Buna bağı olarak taşıma zamanları da artacaktır. İkinci olarak farklı ülkelerdeki talepleri tahmin etmek firmaların farklı yaklaşımlar geliştirmesini şart koşacaktır. Üçüncü olarak farklı ülkelerde bazı TZ süreçlerini yürütmek altyapısal olanaksızlar sebebiyle (örneğin gelişmemiş ülkelerde taşıma için gerekli yol ağının yetersiz olması gibi) daha zor olabilmektedir. Son olarak da değişik ülkelerde farklı yasal düzenlemeler mevcuttur ve firmaların süreçlerini bunlara göre düzenlemeleri gereklidir. Bahsedilen tüm küresel farklılıklar ve bunların TZY'ye etkileri, TZ araştırmacıları için uygun çalışma alanlarıdır.

### 2.3.3 Genel değerlendirme

Makale taraması sonucunda ulaşılan tespitler şunlardır:

- Uygulamaya dayalı ve teori ile uygulamayı birleştiren çalışmaların, teorik olanlara göre oldukça az olduğu görülmüştür,
- TZ problemlerinin çözümünde deterministik tek amaçlı modeller diğerlerine göre daha çok kullanılmış, özellikle bulanık mantığa dayalı modeller daha az tercih edilmiştir,
- TZ hammadde temininden son kullanıcıya kadar olan süreci kapsamasına rağmen tüm TZ'yi iki aşamalı olarak modelleyen makale sayısı çok fazladır. Seri ve ağ yapılı modeller daha az tercih edilmiştir.

Bu tespitlere göre uygulama sunan veya uygulama ile teoriği birleştiren, TZ'yi ağ yapısı olarak modelleyen, bulanık mantığa dayalı çalışmaların gerekli olduğu sonucuna varılabilir. Her iki makale taramasında da bu özellikleri tamamen taşıyan makale yoktur. Bilhassa bulanık mantığa dayalı yöntemler oldukça kısıtlıdır. Bu özellikleri taşımaya yakın olan makaleler Tablo 2.4'te verilmiştir. Bunlardan, Wang ve Shu (2007) ağ yapılı TZ için bulanık mantığa dayalı bir model önermiştir, ama model sayısal bir örnek üzerinden gösterilmiş, gerçek hayat problemlerine uygulanmamıştır. Lin ve Chen (2004)'in önerdiği bulanık mantığa dayalı teorik ve uygulama içeren makalede çok satıcı bir alıcılı bir TZ söz konusudur. Biswas ve Narahari (2004), Nagurney (2006), Jammerneegg ve Kischka (2005), Hung ve diğ. (2006) ve Al-Othman ve diğ. (2008) ağ yapılı TZ'leri stokastik veya melez yaklaşımlar ile modellemişler ve uygulamışlardır.



**Tablo 2.4 :** Belirlenen özellikleri taşımaya yakın makaleler

<b>Makale</b>	<b>Çalışma çeşidi</b>	<b>Modelleme çeşidi</b>	<b>TZ yapısı</b>
Lin ve Chen, 2004	Teorik ve uygulama karışık	Bulanık mantık	Çok satıcı bir alıcı
Biswas ve Narahari (2004)	Teorik ve uygulama karışık	Melez (deterministik, stokastik)	Ağ yapılı
Chen ve Lee (2004)	Teorik, sayısal örneksiz	Bulanık mantık	Seri tedarik zinciri
Santoso ve diğ. (2005)	Teorik, sayısal örnekli	Stokastik	Ağ yapılı
Jammerneegg ve Kischka (2005)	Teorik ve uygulama karışık	Stokastik	Ağ yapılı
Nagurney (2006)	Teorik ve uygulama karışık	Stokastik	Ağ yapılı
Hung ve diğ. (2006)	Teorik ve uygulama karışık	Melez (deterministik, stokastik)	Ağ yapılı
Xie ve diğ. (2006)	Teorik, sayısal örneksiz	Bulanık mantık	Seri tedarik zinciri
Wang ve Shu (2007),	Teorik, sayısal örnekli	Bulanık mantık	Ağ yapılı
Snyder ve diğ. (2007)	Teorik, sayısal örnekli	Melez (deterministik, stokastik)	Ağ yapılı
Balan ve diğ. (2009)	Teorik, sayısal örnekli	Bulanık mantık	Seri tedarik zinciri
Al-Othman ve diğ. (2008)	Uygulama, gerçek vaka	Stokastik	Ağ yapılı

Daha sonra makale taramasının dışında kalan ve yukarıda bahsedilen özellikleri taşıyan çalışmalar olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan araştırmada sadece bir tane makalenin (Xu ve diğ., 2008) ağ yapılı TZ için bulanık mantığa dayalı bir model önerip gerçek hayattan bir örnekte uyguladığı saptanmıştır (Not: bu makale ikinci makale taraması Ag0608’te belirlenen beş dergi dışında kalan bir dergide yayımlanmıştır).

İkinci olarak gerçekleştirilen makale incelemesi sonuçlarına göre TZY’de akademisyenler ve uygulamacıların takip etmesi gereken gelişime açık alanlar altı ana başlık altında toplanabilir:

- (1) Çok aşamalı ve çok dönemli modelleme (Min ve Zhou, 2002; Shapiro, 2004; Al-Mudimigh ve diğ., 2004; Bilgen ve Ozkarahan, 2004; Meixel ve Gargeya, 2005),
- (2) Veri bulunabilirliğini göz ardı etmeyen matematik modelleme (Min ve Zhou, 2002; Shapiro, 2004; Stadtler, 2005; Bilgen ve Ozkarahan, 2004),
- (3) Tedarik zincirindeki belirsizlikler ve belirsizliklerin modellenmesi (Shapiro, 2004; Stadtler, 2005; Bilgen ve Ozkarahan, 2004),

- (4) Müşteri odaklılık (Al-Mudimigh ve diğ., 2004; Vis ve Roodbergen, 2002; Shah, 2005),
- (5) Tersine lojistik (Bilgen ve Ozkarahan, 2004; Vis ve Roodbergen, 2002),
- (6) Küresel lojistik (Bilgen ve Ozkarahan, 2004; Vis ve Roodbergen, 2002; Meixel ve Gargeya, 2005; Shah, 2005).

Tedarik zinciri, tanımından da anlaşılabilceği gibi birçok aşamadan ve her aşamada birçok faaliyet ve/veya firmadan oluşmaktadır. Bu yapının modellenmesinde de çok aşamalı durumun bütünleşik olarak değerlendirilmesi şarttır. Şuana kadar yapılan çalışmalarda çok aşamalı durumun dikkat edildiği birçok çalışma olmuştur ve bundan sonra da bu eğilimin devam edeceği görülmektedir. Ayrıca çok aşamalı modellerde çok dönemli yani zaman boyutunun eklenmesiyle oluşacak modeller de TZY’de ihtiyaç duyulan çalışmalardandır.

Matematik modeller de TZ modellemesinde kullanılan ve bundan sonra da kullanılmaya devam edilecek araçlardan biridir. Matematik modelleme sayısallaştırma, amaçları ifade edebilme ve nesnel olma gibi özellikleriyle TZ modellemesinde tercih edilmektedir. Yalnız matematik modellerin doğru bir şekilde uygulanabilmesi için öngörülen verilerin temin edilebiliyor olması şarttır. Bir başka deyişle modellerin ulaşılabilir verilere göre kurulması veya modelleme aşamasında verileri toplamak için gerekli sistematığın önerilmesi gerekmektedir. Veriler olmaz ise matematik modellerin çözümü gerçekleştirilemez ve dolayısıyla sonuçlar elde edilip uygulanamaz.

Tedarik zincirindeki belirsizlikler ve belirsizliklerin modellenmesi birçok çalışmada göz ardı edilmiştir. Oysa gerçek hayat ve dolayısıyla gerçek tedarik zincirleri birçok belirsizlik içerir. TZY’de en çok belirsizliğin modellenmeye çalışıldığı konular temin süreleri, stok düzeyleri, müşteri talepleri ve üretim/taşıma süreleridir. Bunları ve belirsizliğin olduğu daha başka durumları modelleyebilmek için stokastik modelleme, simülasyon, senaryo analizi ve bulanık mantık gibi teknik araçlar kullanılabilir.

Müşteri odaklılık ve müşteri için değer yaratma çabaları günümüz TZ’lerinin bakış felsefesini oluşturmaktadır. TZ’lerde yapılan tüm faaliyetlerin müşteri için değer yaratmaya yönelik olarak planlanması gerekmektedir. Bu bakış açısı ile TZY kavramı içerisine müşteri odaklılığı destekleyecek yeni konuların girmesi de

beklenebilir. Böylece oluşacak yeni TZY kavramının modellenmesi ve uygulanması da akademisyenlerin yapacağı araştırmalarla desteklenmelidir.

Tersine lojistik günümüz TZY’de en çok ilgi çeken konulardan birisidir. Firmaların ürünlerin geri kazanımı ile elde edecekleri yararları fark etmeleri ve/veya yasal düzenlemelerin firmaları ürünlerini geri toplamaya zorlamaları tersine lojistik faaliyetlerinin artmasına sebep olmuştur. Yakın zamana kadar normal TZ akışı gibi görülen ve planlanan bu faaliyetlerin yoğunluğunun artması sonucunda kendi şartları içerisinde değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Tersine lojistik yakın gelecekte TZ içerisinde en fazla ilgi gören konulardan biri olacaktır.

Küresel lojistik de günümüz tedarik zincirlerinin bir gerçeğidir. Gün geçtikçe küresel müşterilere hitap eden, dünyanın birçok yerinde tesisleri ve yönetim birimleri olan firmalar ve tedarik zincirleri artmaktadır. Bu yüzden TZ modellemede farklı ülkelerde faaliyet gösteren üyelerin varlığı ve özel şartları dikkate alınmalıdır.

Sonuçta; tespit edilen gelişime açık alanlar ışığında çok aşamalı, veri bulunabilirliğini göz ardı etmeyen ve TZ’deki belirsizlikleri modelleyen bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir. Çok aşamalılığı sağlamak üzere, makale taramasının sonuçlarına göre ağ yapılı bir TZ göz önüne alınmıştır. Belirsizlikleri modelleyebilmek için literatürde diğerlerine göre az yer bulan bulanık mantık tercih edilmiştir. Ayrıca geliştirilen modelin sadece sayısal örneklerde değil gerçek hayatta uygulanabilir olmasına dikkat edilmiştir.

Tez çalışmasında, TZY’de stratejik kararların verilmesinde kullanılmak üzere tüm TZ’yi ağ yapısında kapsamlı olarak ele alan, veri esaslı bir bulanık matematik modelin tasarlanmasına ve bu modelin gerçek hayattan bir örnek üzerinde uygulanmasına karar verilmiştir.

Sonraki bölümde belirlenen konu çerçevesinde literatürde mevcut olan çalışmalar ayrıntılarıyla incelenmiştir.

### **3. TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMASINA YÖNELİK MEVCUT YÖNTEMLER**

Önceki bölümde ayrıntıları verilen süreç sonunda TZY’de stratejik kararların verilmesinde kullanılmak üzere, tüm TZ’yi ağ yapısında kapsamlı olarak ele alan, veri esaslı bir bulanık matematik modelin tasarlanmasına karar verilmiştir. Bu model oluşturulurken TZ literatüründeki ağ yapıları modeller ile bulanık kümeler teorisi kullanan çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Tez çalışmasında önerilen model burada bahsedilen yöntemlerin iyi yanlarını koruyarak, düzeltilmesi gereken yanlarını geliştirerek oluşturulmuştur. Bu bölümde ayrıca TZ planlamasında karşılaşılan belirsizliklere de değinilmiştir.

#### **3.1 Ağ Yapılı Modeller**

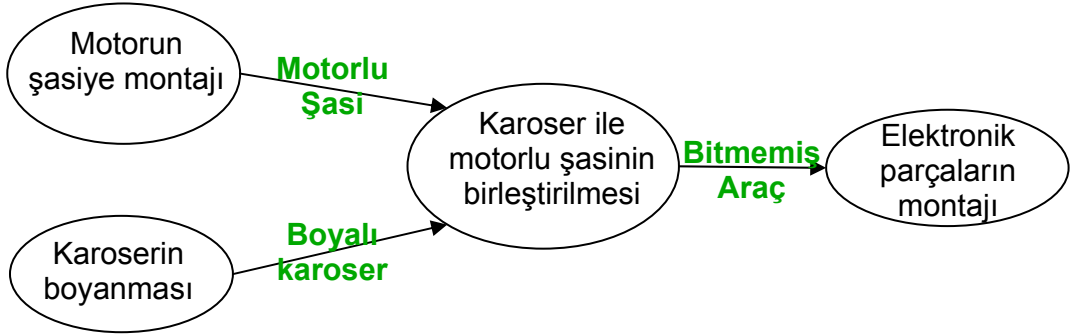
Bu bölümde TZ’yi ağ yapıları olarak modelleyen çalışmalar özetlenmiştir. Ağ yapısı ile en az üç aşamadan ve en az bir aşamasında birden çok birimden oluşan sistem kastedilmektedir. Bu kısımda incelenen çalışmalar genel yapıları itibarı ile odaklandıkları problem ve problemi çözme çeşidine göre sınıflandırılmıştır. Odaklandıkları probleme göre çalışmalar; (1) stratejik ağ tasarımı modelleri, (2) stratejik ve operasyonel TZ planlama ve (3) yeni ürün TZ tasarımı olarak değerlendirilmiştir. Problemi çözme çeşidine göre çalışmalar; (4) kâr enbüyüklemeli TZ ağ yapısı tasarımı, (5) çok amaçlı TZ tasarımı ve (6) iki aşamalı modelleme ile TZ planlaması olarak ayrılmıştır.

##### **3.1.1 Stratejik ağ yapısı tasarımı**

Lakhal ve diğ. (2001) TZ’yi faaliyet tabanlı ağ yapısına göre tanımlayarak stratejik kararları vermek üzere bir tam sayılı DP modeli önermiştir. İncelenen sistem, (1) bir teşebbüs ve TZ ortakları ile teşebbüs ve ortaklarının kaynaklarıyla gerçekleştirilen faaliyetleri, (2) ağ yapısı fırsatları, kaynak edinme ve elden çıkarma fırsatları ile faaliyet düzenleme seçenekleri, (3) dış kaynak kullanımı ve kaynak kullanıp stratejileriyle ilgili ölçek ekonomisi girdileri ve farklı fiyatlandırma stratejilerinin

pazar payları üzerine etkilerini içermektedir. Model yardımı ile tanımlanan sistem ile ilgili mevcut öz yetkinlikleri korumak için hangi kaynaklar muhafaza edilmeli ve geliştirilmeli, hangi faaliyet dışsallaştırılmalı ve ne kadarı ortağa devredilmeli, hangi içsel faaliyetler muhafaza edilmeli ve geliştirilmeli, teşebbüsün kaynakları faaliyetlerine nasıl dağıtılmalı gibi stratejik TZ sorularına cevap vermek amaçlanmıştır.

Çalışmada öncelikle TZ'nin ağ yapısı şeklinde nasıl modellenebileceği ortaya konmuştur. Bunun için faaliyetler ( $a$ ) ağ yapısındaki düğümleri oluştururken, ürünler yaylar ile ifade edilmiştir. Temel olarak her bir faaliyet çeşitli kaynakları ( $r$ ) ve girdi ürünleri ( $p$ ) kullanarak çıktı ürünlere dönüştürür. Örnek olarak Şekil 3.1'de bir otobüs üretim zincirindeki “karoser ile motorlu şasinin birleştirilmesi” faaliyetinin ilişkide olduğu faaliyetler ve ürünler verilmiştir.



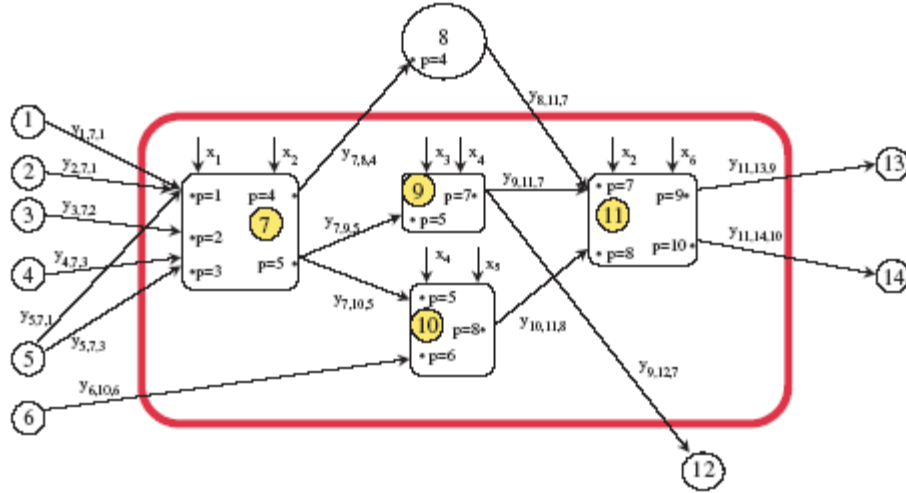
Şekil 3.1 : Otobüs üretim zincirindeki örnek bir faaliyetin ağ yapısı

Önerilen matematiksel programlama modelinde amaç toplam kârı enbüyüklemektir. Toplam kâr; sistemden çıkan ürünlerin değerinden, sisteme giren ürünlerin değerleri ve kaynak kullanım maliyetlerinin çıkarılması ile belirlenir. Kısıtlar ile her bir faaliyet için ürün ağacına göre giren ve çıkan ürünlerin dengelenmesi, toplam kaynak kullanımının kullanılabilir kaynak miktarını aşmaması ve kaynak kullanım maliyetlerinin hesaplanması sağlanmıştır. Çalışmada, önerilen genel model ile birlikte üretim sistemlerinin özelliklerine uygun olarak çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Örneğin ürün ağacı matrisinin modelde nasıl kullanılacağı, kaynak kullanım miktarlarının ve ürün değerlerinin hesaplanması için kullanılacak fonksiyonlar tanımlanmıştır.

Önerilen tam sayılı programlama modeli gerçek hayat problemlerine uygulandığında çözülmesi oldukça zordur. Bunun için çalışmada ticari çözümler ile kolayca

çözülebilir bir sezgisel önerilmiştir. Örnek olarak model bir buzdolabı üretim alanında uygulanmıştır. 15 faaliyet ve 24 potansiyel dışsal faaliyetten oluşan sistem için önerilen sezgisel başarı ile çalıştırılmıştır.

Bir başka çalışmada, Lakhal (2006) benzer bir matematiksel programlama modeli kullanarak TZ üzerindeki firmaların kâr paylaşımı ve transfer ücretlendirmesini tespit etmektedir. Lakhal (2006), önceki modelin uygulanmasını ve çözülmesini zorlaştıran faaliyet tabanlı ağ yapısı yaklaşımından vazgeçmiştir. Bu modelde ilkinden farklı olarak ağ yapısının oluşumunda faaliyetler değil TZ'deki firmalar düğümleri oluşturmaktadır. Şekil 3.2'de verilen örnekte 1,2,...,12 ile numaralanmış düğümler TZ'deki firmalardır ve bunlardan 7, 9, 10 ve 11 ilgili planlamacıların kontrolü altındaki firmalardır. Bu ağ yapısında da yaylar ürünleri göstermektedir.



Şekil 3.2 : Firma tabanlı ağ yapısı (Lakhal, 2006)

Modelde değişken sayısı arttığında problemi çözebilmek için Lakhal ve diğ. (2001) sezgisel bir çözüm önermiştir. Bu çalışmada diğerinden farklı olarak önerilen bir diğer yaklaşım, TZ ağı üzerindeki firmalar arasında işbirliğini sağlamak üzere kâr paylaşımı ve birbirleri arasında transfer olan ürünlerin değerlerinin tespit edilmesidir. Bunun için önerilen matematiksel modelin sonuçlarına göre ilgili değerlerin hesaplanması için fonksiyonlar tanımlanmıştır.

Önerilen her iki modelin en iyi yönü TZ faaliyetlerini bütünsel olarak (ilkinde bir merkezi firma için, ikincisinde birden çok firma için) inceleyebilecek bir yaklaşım sunmalarıdır. Modeller yardımıyla sadece mevcut faaliyetler ve kaynaklar değil potansiyel faaliyetler ve kaynaklar da değerlendirmeye alınabilmektedir. Önerilen ağ

yapıları ile problem matematiksel programlama kullanılarak kolay bir şekilde modellenebilecek hale getirilmiştir.

Bunun yanında modellerin bazı eksik yönleri de mevcuttur. Öncelikle ayrıntılı olarak incelenecek üretim sistemlerinde, örneğin 1000'den fazla ürün ve faaliyet ile onlarca kaynak içeren bir sistemde, modellerin çözümü önerilen sezgisel yardımı ile bile mümkün olmayacaktır. Ayrıca modelde tüm parametre değerlerinin kesin olarak bilindiği varsayılmıştır. Oysa gerçek üretim sistemlerinde talep, ürün değeri gibi parametreler kesin olarak bilinemeyebilir.

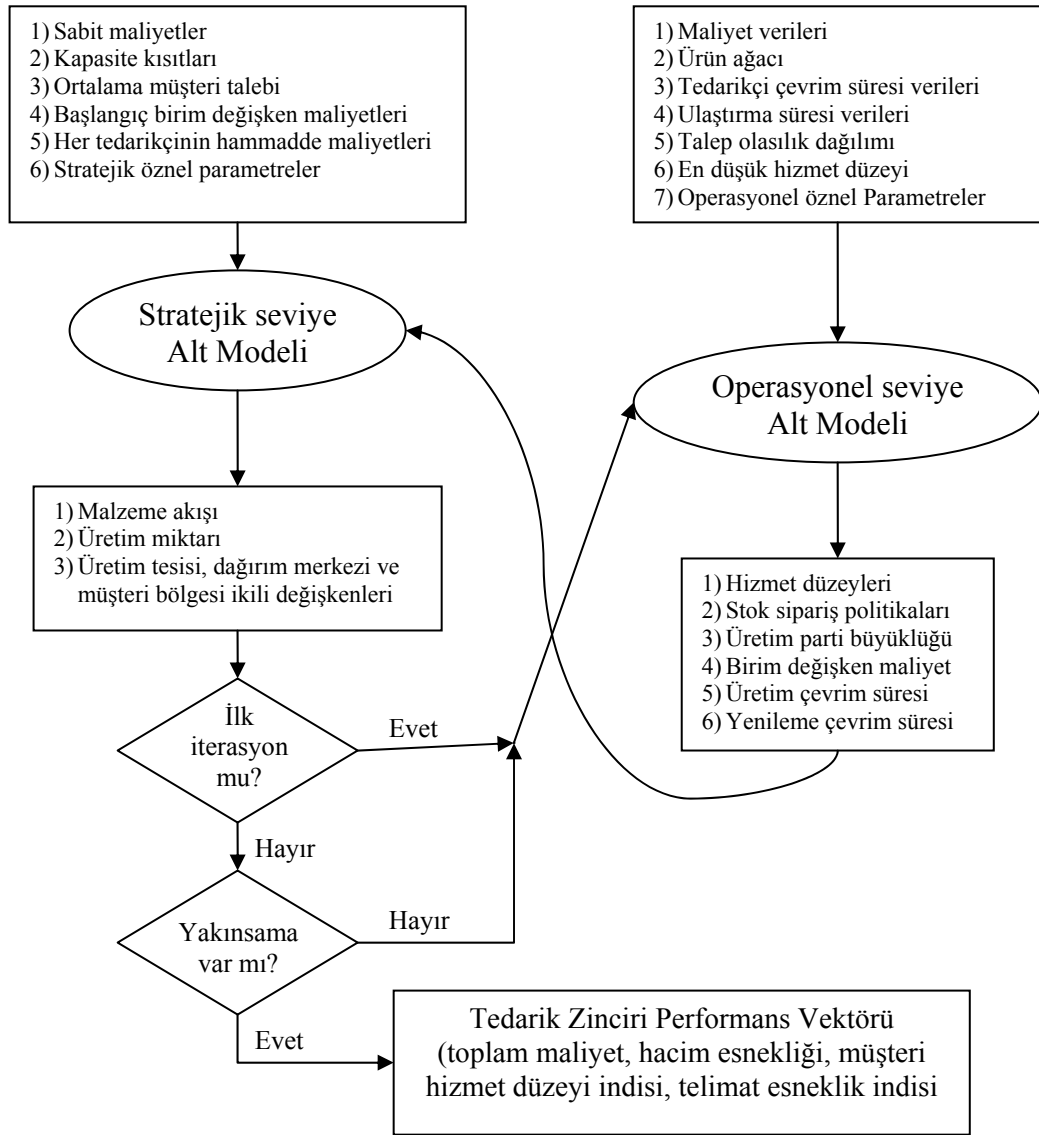
### **3.1.2 Stratejik ve operasyonel tedarik zinciri planlama**

Tedarik zinciri planlama, stratejik ve operasyonel olmak üzere iki bakış açısı ile incelenebilir. Stratejik planlamada üretim ve dağıtım merkezlerinin en uygun yerleri ve zincirdeki malların akışı belirlenir ve müşterilerin dağıtım merkezlerine atanması gerçekleştirilir. Bu tip planlamada stok seviyeleri ve müşteri hizmet düzeyleri ile ilgilenilmez. Operasyonel planlamada ise her ürün için her tesisteki güvenlik stok düzeyleri, ürünlerin yenileme ve montajlama parti büyüklükleri ve sıklıkları, ulaştırma ve üretim çevrim süreleri ve müşteri hizmet düzeyleri belirlenir (Sabri ve Beamon, 2000).

Sabri ve Beamon (2000), belirsizliğin olduğu TZ'ler için stratejik ve operasyonel planlamayı birlikte yapan bir model önermiştir. Bunun için zincirin verimlilik ve etkinliğini tanımlayan bir performans vektörü kullanılmıştır. Çalışmada tedarikçileri, üretim tesislerini, dağıtım tesislerini ve müşteri bölgelerini içeren dört aşamalı bir TZ yapısı göz önüne alınmıştır. Her TZ aşamasının diğerlerinin performansını etkileyen kendi kontrol parametreleri kümesi mevcuttur. Her aşamanın performansı stratejik ve operasyonel alt modeller ile eş zamanlı olarak eniyilenmektedir.

Şekil 3.3'te verilen model yapısına göre öncelikle sabit maliyetler, kapasite kısıtları ve diğer girdilere göre stratejik seviye alt modeli çalıştırılır. İlk iterasyonda operasyonel seviye alt modelinden gelmesi beklenen parametre (hizmet düzeyleri, stok sipariş politikaları, vd.) değerlerinin ortalama değişken maliyetlere eşit olduğu varsayılır. Malzeme akışı, üretim miktarı ve tesislerin açılıp açılmamasına karar verilen bu modelde maliyetlerin enküçüklenmesi ve istenen miktarlarda hacim esnekliği sağlanması gibi iki amaç söz konusudur.

Daha sonra stratejik seviye alt modelinin sonuçları ve maliyet verileri, ürün ağacı ve diğer girdiler kullanılarak operasyonel seviye alt modeli çalıştırılır. Operasyonel seviye alt modeli üç ayrı modelden oluşmaktadır: tedarikçi kontrol aşaması modeli, üretim tesisi aşaması modeli ve dağıtım aşaması modeli. Bu modeller ile hizmet düzeyleri, stok sipariş politikaları vd. çıktılar elde edilir. Bu elde edilen çıktılar ile stratejik seviye alt modeli tekrar çalıştırılır ikinci iterasyona geçilir. İkinci ve varsa daha sonraki iterasyonlarda stratejik seviye alt modelinin sonuçları önceki sonuçlar ile karşılaştırılarak iterasyonların yakınsayıp yakınsamadığı kontrol edilir. Eğer yakınsama söz konusu ise, yani operasyonel seviye alt modelinin çıktılarındaki değişiklikler ile performans ölçütlerinde değişiklik olmuyor ise, çözüme ulaşılmıştır.



**Şekil 3.3** : Stratejik ve operasyonel TZ planlama model yapısı (Sabri ve Beamon, 2000)



Sonuç olarak Sabri ve Beamon (2000), tüm TZ'yi dikkate alan stratejik ve operasyonel seviyelerde karar vermek için kullanılabilir kapsamlı bir model ortaya koymuştur. Çalışmada çeşitli parametrelerdeki belirsizlikleri dikkate almak için stokastik modellemeden yararlanmıştır. Ayrıca çözüm için önerdikleri yordamın etkin olduğu ve kolayca çözülebileceği iddia edilmiştir. Çalışmanın eleştirilebilecek tek yanı tüm TZ için tek bir karar verici varmış gibi modelleme yapılmasıdır. Gerçek hayat uygulamalarında tedarikçiden müşteriye kadar olan zincirde tüm kararları bir merkezden vermek çok mümkün değildir.

### **3.1.3 Yeni ürün tedarik zinciri tasarımı**

Graves ve Willems (2001) yeni bir ürün veya ürün grubu için en uygun TZ yapısını analiz etmek üzere bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, yeni ürünün tedarikinden müşteriye teslim edilinceye kadarki süreçte; hangi tedarikçilerin seçileceği, hangi parça ve süreçlerin kullanılacağı ve hangi ulaştırma türünün uygulanacağı gibi TZ'nin her aşamasındaki seçimleri yapmaktır. TZ'nin her aşamasında; hammaddelerin farklı tedarikçilerden temin edilmesi, ara ürünlerin üretilmesi veya dışarıdan sağlanması, son ürünlerin farklı yollardan müşteriye ulaştırılması gibi seçenekler olabilir. Bu seçenekler tedarik süresi ve katma maliyetler bakımından farklılık arz ederler. Her aşamada farklı seçeneklerden bir tanesi seçilmelidir.

Çalışmada TZ'nin tüm aşamalarındaki seçenekleri bütünsel olarak değerlendirebilmek ve TZ yapısını oluşturmak için toplam maliyet enküçüklenmiştir. Toplam maliyet; satılan ürünlerin maliyeti, güvenlik stoku ve hattaki ürünlerin elde bulundurma maliyetlerinden oluşturulmuştur. Seçeneklerin katma maliyetleri satılan ürün maliyetiyle, tedarik süreleri ise elde bulundurma maliyetleri ile ilişkilendirilmiştir.

Graves ve Willems (2001) yukarıda tanımlanan TZ yapısını problemi çözmek için bir eniyileme modeli önermişlerdir. Modelin amaç fonksiyonu toplam maliyeti enküçükmektir. Kısıtları ise ilgili maliyetleri hesaplamayı, belirlenmiş hizmet sürelerini sağlamayı ve her aşamada tek bir seçim yapmayı sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Önerilen eniyileme modelini çözmek için iki durumlu bir dinamik programlama modeli kullanılmıştır.

Wang ve Shu (2007), TZ yapılanışı problemini bulanık kümeler kullanarak olabirsel matematiksel programlama ile modellemiştir. Problem yeni ürün TZ için tasarlandığından istatistiksel veri sağlanamayabilir veya sağlanan veriler güvenilir olmayabilir. Bunun için geliştirilen yaklaşımda ürün taleplerinin, istenilen hizmet ve tedarik sürelerinin belirsiz olduğu varsayılarak bu değerler bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Bu yaklaşımda, Graves ve Willems (2001)'e benzer şekilde bir eniyileme modeli önerilmiş ama bazı parametreler bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.

Model bulanık parametreler içerdiği ve bir aşamada verilen stok kararları önceki ve sonraki aşamalardaki kararlara bağlı olduğu için modelin klasik matematiksel programlama veya dinamik programlama yöntemleri ile çözülemeyeceği savunulmuştur. Çalışmada, eniyileme modelini çözmek için bir genetik algoritma yaklaşımı öngörülmüştür. Fakat çalışmada basit genetik algoritma operatörleri kullanılmış ve en iyi çözüm garanti edilememiştir.

Graves ve Willems (2001) yeni ürün TZ tasarımı için TZ'nin her aşamasındaki maliyetleri ve tedarik sürelerine göre farklı seçeneklerden birini seçmeye dayalı bir problem tanımlamış ve bu problemi etkin bir yöntem ile çözmüştür. Wang ve Shu (2007) ise bu problemde bazı parametrelerin kesin olarak bilenemeyeceğinden hareketle bir olabirsel matematik programlama yöntemi önermiş ve bu modeli genetik algoritma ile çözmüştür. Eleştirel gözle bakıldığında Graves ve Willems (2001)'in yeni TZ'de karşılaşılmaması muhtemel olan belirsizlikleri dikkate almaması ve Wang ve Shu (2007)'nin önerdiği çözüm yönteminin en iyi çözümü garanti etmemesi modellerin eksik yanları olarak belirlenebilir.

### **3.1.4 Kâr enbüyüklemeli tedarik zinciri ağ yapısı tasarımı**

Tedarik zinciri tasarımı için maliyet enküçüklemenin amaç olarak belirlendiği modellerde taleplerin karşılanması gerekmektedir. Fakat tüm müşterilerin taleplerini karşılamak kârlılık bakımından en iyi sonucu vermeyebilir. Özellikle marjinal maliyet marjinal gelirden düşük ise veya bazı müşterilerin taleplerini karşılamak ve müşteriyi elde tutmak için ilave maliyetlere katlanılmak zorunda kalınıyorsa kârlılık düşecektir. Oysa kâr enbüyüklemesinin amaç olarak belirlendiği modellerde bu problem yaşanmaz (Shen, 2006).

Shen (2006), TZ tasarımında istenilen taleplerin karşılanıp karşılanmayacağına karar verilen kâr enbüyüklemenin amaç olarak belirlendiği bir model önermiştir. Ele alınan

probleme bir üretici bir ürünü dağıtım merkezleri aracılığı ile müşterilere ulaştırmaktadır. Model yardımı ile nerelere dağıtım merkezi kurulacağı, müşterilerin hangi dağıtım merkezinden hizmet alacağı, dağıtım merkezinin stok yenileme stratejisinin ve her müşteri (pazar) için uygulanacak fiyat politikasının nasıl olacağı belirlenmektedir.

Çalışmada problem, küme kaplama modeli olarak tanımlanmış ve dal-sınır algoritması ile çözülmüştür. Çalışmada ayrıca dağıtım merkezi kapasitelerinin nasıl belirleneceği ve rastsal taleplerin modelde nasıl uygulanabileceği ile ilgili yaklaşımlar da sunulmuştur.

Önerilen model kâr enbüyüklemesine dayanması ile örnek bir çalışmadır. Gerçek hayat problemlerinde maliyet enküçüklemesi sonucu kârın enbüyükleneceği düşünülse de her zaman bu gerçekleşmeyebilir. Ayrıca kapasitenin sınırlı olduğu tesislerde tüm taleplerin karşılanması mümkün olmayacağı için maliyet üzerine kurulan modeller kârlılık bakımından en iyi çözümü sağlamayabilir.

Çalışmada sadece dağıtım sistemi dikkate alınmıştır. Model, tüm TZ'yi kapsayacak şekilde tedarik ve üretim boyutlarının katılması ile genişletilmelidir.

### **3.1.5 Çok amaçlı tedarik zinciri tasarımı**

Tedarik zinciri tasarımında stratejik operasyon yönetimi problemi oldukça önemlidir ve genelde birbiriyle çelişen amaçlara göre çözülmesi gerekir. Problemin çözümünde maliyet, hizmet düzeyi, kaynak kullanımı gibi amaçlar göz önüne alınır. Altıparmak ve diğ. (2006) TZ ağ yapısı tasarımını çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli olarak tanımlamış ve bu modeli genetik algoritmaya dayanan bir yaklaşım ile çözmüştür.

Tedarik zinciri tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan bir tanesi uygun performans ölçütlerinin belirlenmesidir. Belirlenen performans ölçütleri ile tasarım seçenekleri arasında tercih yapmak mümkün olacaktır. Performans ölçütleri niteliksel ve niceliksel olarak sınıflandırılabilir. Müşteri tatmin düzeyi, esneklik ve etkin risk yönetimi niteliksel ölçütlere örnek olarak verilebilir. Niceliksel ölçütler kendi aralarında ikiye ayrılır. İlk gruba doğrudan maliyet ve kâra bağlı olan maliyet enküçüklemesi, satışların artırılması ve kârın enbüyüklenmesi gibi ölçütler girerken, ikinci grupta müşteriye cevap vermeyi sayısallaştırmak için kullanılan stoktan

karşılama yüzdesinin artırılması, müşteriye cevap verme süresinin azaltılması, çevrim süresi enküçüklemesi gibi kriterler yer alır (Altıparmak ve diğ., 2006).

Altıparmak ve diğ., (2006) plastik ürünler üreten bir Türk firmasının TZ ağını tasarlamak için çok amaçlı bir model önermiştir. Bu model yardımı ile tüm kapasite ve talep gereksinimleri karşılanarak tedarikçi seçimi, üretim tesisi ve dağıtım merkezlerinin belirlenmesi ve dağıtım stratejisinin oluşturulması istenmektedir. Çalışmada bahsedilen planlamayı yapmak üzere çok amaçlı bir karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiştir. Firma yöneticilerinin görüşleri doğrultusunda belirlenen amaçlar şunlardır: (1) TZ'nin toplam maliyetini enküçüklemek, (2) hizmet düzeyini enbüyüklemek (hizmet düzeyi kabul edilebilir teslim süresi ile ölçülmüştür), (3) dağıtım merkezlerinin dengeli kapasite kullanımını enbüyüklemek. Kısıtlar ile bir müşteriye bir dağıtım merkezinden hizmet verilmesi, kapasitelerin aşılması, açılabilen dağıtım merkezi ve üretim tesisi sayılarının kısıtlanması, dağıtım merkezi ve müşteri taleplerinin karşılanması, hammadde tedarik kısıtlarına riayet edilmesi ve üretim kapasitelerinin dikkate alınması sağlanmıştır.

Önerilen modeli çözmek, özellikle problem boyutu büyüdükçe, oldukça güçtür. Çalışmada bu modeli çözmek için genetik algoritmaya dayalı bir yöntem önerilmiştir. Yöntemde kromozomların performansını ölçmek için amaç fonksiyonu değerleri, belirlenen ağırlıklar yardımı ile birleştirilmiştir. Yöntem firmada uygulandığında tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Yöntem tüm TZ'deki tedarikçileri, üretim tesislerini, dağıtım merkezlerini ve müşterileri dikkate alan bütünsel bir yaklaşım sunmaktadır. Farklı amaçların hesaba katılması modelin en iyi yönlerinden birisidir. Yöntemin eksikliklerinden bir tanesi belirsizlikleri dikkate almamasıdır. Bu durum, incelenen sistemde belirsizliğin çok belirleyici olmamasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca önerilen model çok kapsamlı olduğu için çözüm yordamı iyi sonuç verse bile en iyi sonucu garanti etmemektedir.

### **3.1.6 İki aşamalı modelleme ile tedarik zinciri planlaması**

Tedarik zinciri planlaması ile ilgili birçok model, TZ ağ yapısıyla ilgili tüm kararların tek bir merkezi firma veya karar verici tarafından verildiğini varsayar. Fakat gerçek hayat uygulamalarına bakıldığında zincirdeki firmaların kendi kararlarını verdikleri

görülmektedir. Tabii ki; bu firmalar birbirleriyle ilişkide oldukları için verdikleri kararlar da birbirlerine bağlıdır. Literatürde birbirlerine bağlı ama kendi kararlarını veren birden çok karar vericinin incelenmesi dağıtık karar verme teknikleri ile gerçekleştirilir (Schneeweiss, 2003).

Dağıtık karar vermede iki aşamalı programlama, ilk aşamada baskın karar vericinin amaçlarını ikinci aşamada ise diğer karar vericinin amaçlarını içerir. İki düzeyli TZ planlamasında iki aşamalı programlama kullanılabilir. Örneğin merkezi üretim firması baskın karar verici, tedarikçileri de diğer karar verici olarak göz önüne alınabilir. Böylece merkezi firmaya göre yapılan planlama sonuçlarına göre tedarikçiler kendileri için planlama gerçekleştirirler.

Ryu ve diğ. (2004), üretim ve dağıtımdan oluşan bir TZ için iki aşamalı programlama modeli önermiştir. İki aşamalı programlama kullanılmasının nedenleri üretim ve dağıtım sistemleri arasında belli bir hiyerarşi olması ve ayrı ayrı karar verme durumlarında birbirlerinin bir kısım bilgilerine sahip olmamaları şeklinde açıklanmıştır. Buna göre model aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$\begin{array}{l} \text{Enk}_x Z_D(X, Y) \\ \text{kst } G(X, Y) \end{array} \quad (3.1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Enk}_y Z_U(X, Y) \\ \text{kst } g(X, Y) \end{array} \quad (3.2)$$

Burada  $X$  dağıtıcının,  $Y$  ise üreticinin kontrolünde olan değişkenlerdir.  $Z_D$  ve  $Z_U$  sırasıyla dağıtıcının ve üreticilerin amaç fonksiyonlarıdır. Modelde dağıtıcı üst seviyedeki karar verici olarak belirlenmiştir. (3.1) ve (3.2)'deki modellerdeki parametreler birbirlerini etkilemektedir. Bilgi kullanımı açısından bakıldığında alt seviyedeki karar verici sadece kendi bilgilerine dayanarak karar verir. Üst seviyedeki karar verici ise alt seviyedekinin olası tepkilerini de dikkate alarak tüm bilgileri kullanarak karar verir.

Ryu ve diğ. (2004), yukarıda tanımlanan genel modele göre üretici ve dağıtıcı için ayrı ayrı DP modelleri kurmuştur. Modelleri bir arada çözebilmek için üç adımdan oluşan bir parametrik programlama tabanlı bir çözüm yordamı önermiştir.

Roghanian ve diğ. (2007), her bir karar verici birim için birden çok amacın olabileceğini, girdi parametrelerinin stokastik veya bulanık olabileceğini ve amaç-kısıtlar için doğrusal olmayan fonksiyonların mümkün olabileceğini göz önüne alarak Ryu ve diğ. (2004)'nin modelini geliştirmiştir.

Önerilen modelde önceden belirlenmiş tolerans değerlerine göre tüm amaçlar ve kısıtlar deterministik hale getirilmektedir. Tolerans değerleri stokastik parametreler için olasılığı, bulanık parametreler için olabilirliği ifade etmektedir. Deterministik hale getirilen parametreler ile model çözülür ve karar vericilere sunulur; eğer karar verici sonucu tatmin edici bulmazsa tolerans değerleri değiştirilerek tekrar çözüm elde edilir. Bu süreç tatmin edici bir sonuç bulununcaya kadar tekrarlanır.

Ryu ve diğ. (2004)'nin önerdiği genel model TZ planlaması için farklı bir bakış açısı sunan önemli bir çalışmadır. Model ikiden fazla karar merkezinin olduğu durumlar için geliştirilmelidir. Roghanian ve diğ. (2007)'nin önerdiği yaklaşım ise belirsizlik altında genel modelin uygulanması için iyi bir yöntemdir. Fakat çözüm yordamında önceden belirlenen tolerans değerlerinin olması en iyi çözümün elde edilmesini oldukça güçleştirmektedir.

### **3.2 Bulanık Mantığa Dayalı Modeller**

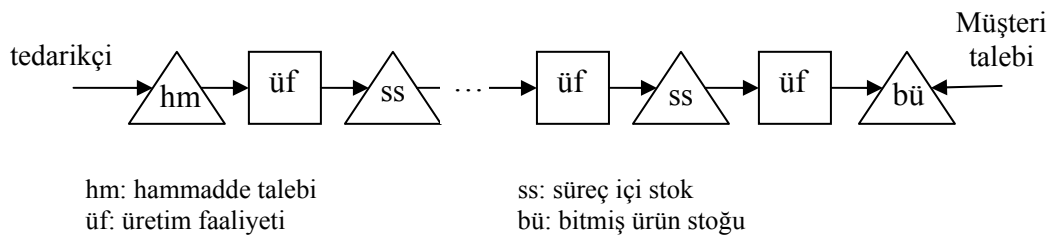
Bulanık mantık ilk defa 1965'te Lotfi Zadeh (Zadeh, 1965) tarafından önerilen; karmaşık, belirsiz ve büyük sistemleri insan mantığı kullanarak modellemek için kullanılan bir matematiksel yaklaşımdır. Ayrıntıları 4. bölümde verilecek olan bulanık mantık, birçok çalışmada TZ'lerdeki belirsizlikleri modellemek için kullanılmıştır.

Bulanık mantığa dayalı TZ çalışmaları incelendiğinde tüm TZ'yi modelleyen makalelerin kısıtlı sayıda olduğu görülmüştür. Bunun yerine TZ'deki çeşitli problemlere odaklanan çalışmalar daha yaygındır. İncelenen makaleler dikkate aldıkları TZ problemi bakımından sınıflandırılmıştır: stok planlama, üretim planlama ve dağıtım planlama. Bunun yanında TZ'yi ağ yapılı olarak gören bulanık modelleme yaklaşımları da mevcuttur. Onlara da bu bölüm içerisinde yer verilmiştir.

### 3.2.1 Tedarik zinciri stok planlama modelleri

Tedarik zincirindeki birimlerin önemli amaçlarından bir tanesi stok düzeylerini azaltmaktır. Bunu yaparken istenilen müşteri hizmet düzeyi sağlanmalıdır. Müşteri hizmet düzeyini sağlamak yani müşterinin istediği zamanda istediği ürünü temin etmek oldukça güç olabilir. Çünkü çoğu TZ'de müşteri talebi, belirsizliğin en fazla söz konusu olduğu yerdir. Ayrıca talebin yanlış öngörülmesi firmalara iki yönde zarar verecektir. Talebin eksik tahmin edilmesi durumunda olası satışlar gerçekleşmeyecek ve müşteri hizmet düzeyi düşecek, fazla tahmin edilmesinde ise stok maliyetleri artacaktır. Bu yüzden stok politikası belirlemek firmalar için oldukça önemli bir konudur. Üretim planlamadaki stok planlamadan farklı olarak TZ stok planlamada tüm zincirdeki stok politikaları ile eş zamanlı olarak ilgilenilir.

Petrovic ve diğ. (1999), seri TZ'de talebi ve tedarikçi güvenilirliğini bulanık kümeler ile ifade ederek her TZ birimi için sipariş miktarı bulmak üzere bir bulanık model geliştirmiştir. Göz önüne alınan seri TZ Şekil 3.4'te verilmiştir. Çalışmada öncelikle bulanık talep ve kesin sayılar ile ifade edilen sipariş yenileme süresi, birim elde bulundurma / yok satma maliyetleri ve başlangıç stok değerleri kullanılarak en yüksek sipariş miktarı değerlerini hesaplamak üzere bir formülasyon verilmiştir. Sonrasında, her TZ birimi için ayrı ayrı hesaplanan bu değerlere ve diğer girdi değerlere göre TZ'nin performansını ölçmek için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Girdi olasılık dağılımlarını ilgili olasılık dağılımlarına dönüştürerek çalışan simülasyon modeli ile iki performans ölçütü hesaplanmaktadır: (1) stok elde bulundurma ve son ürün yok satma maliyetleri ve (2) TZ'nin talep karşılama oranı.



Şekil 3.4 : Seri teradik zinciri yapısı (Petrovic ve diğ., 1999)

Çalışmada önerilen model ile farklı stok kontrol politikalarının performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için üç farklı kontrol politikası simüle edilmiştir: tümüyle dağıtılmış stok kontrol (tüm TZ birimlerinin kendi stok kontrollerini yapması), kısmi eşgüdümlü kontrol (her birimin stok kontrolünü kendinden bir

önceki birim ile eşgüdümlü olarak gerçekleştirmesi) ve dış tedarik belirsiz olduğunda kısmi eşgüdümlü kontrol. Sonuçta eş güdümlü kontrolün tümüyle dağıtılmış kontrolden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca dış tedarikteki belirsizliğin her aşamadaki stok düzeylerine etkisi incelenmiştir.

Yazarlar diğer bir çalışmada (Petrovic ve diğ., 1998), yukarıda tanımlanan modeli geliştirerek tüm TZ'den en iyi performansı elde etmek üzere bir algoritma önermişlerdir. Önceki modelde her birim için hesaplanan en yüksek sipariş miktarı değerlerine göre simülasyon aracılığı ile tüm TZ'nin performansı belirlenmeye çalışılır iken; bu çalışmada ilk modelin sonuçları girdi olarak alınmış ve TZ performansı eğer istenilen düzeyde değil ise en yüksek sipariş miktarı değerleri revize edilerek tekrar simülasyona sokulmuştur. Bu süreç en iyi performansı elde edinceye kadar döngüsel olarak tekrarlanmıştır.

Wang ve Shu (2005), son ürünün hedef talep karşılama oranını sağlarken TZ'deki stok maliyetlerini enküçükmek üzere bir bulanık model önermiştir. Modelde düzensiz talep miktarı, belirsiz işleme süresi ve güvensiz tedarik miktarları bulanık kümeler teorisi kullanılarak ifade edilmiştir. TZ performansını ölçmek için kullanılan cevap verme süresi ve talep karşılama oranı değerleri olabirlik teorisi ile hesaplanmıştır.

Modelde ürünlerin tedarikinden müşteriye kadar olan süreçteki tüm birimler dikkate alınmıştır. Her birim önceki aşamadan aldığı ürün veya ürünleri işledikten sonra sonraki aşamaya aktarır veya stokta bekletir. Tüm birimlerdeki stokun dönemsel gözden geçirme politikası ile kontrol edildiği varsayılmıştır ve model kullanılarak her birimin en yüksek sipariş miktarı seviyesi tespit edilmeye çalışılmaktadır.

Modele tüm birimler için, bulanık sayılar ile ifade edilen talep, malzeme temin süresi ve çevrim süresi ile kesin değer olarak alınan gözden geçirme süresi ve kapasite miktarı girildiğinde, herhangi bir en yüksek sipariş miktarı değeri için cevap verme süresi ve talep karşılama oranı değerleri belirlenebilmektedir. İyimser ve kötümser durumlar için belirlenen bu performans ölçütleri ile toplam stok maliyeti hesaplanabilmektedir.

Model, en düşük maliyeti veren en yüksek sipariş miktarı seviyesini doğrudan belirleyememektedir. Bunun yerine çalışmada genetik algoritmaya dayanan bir yaklaşım ile istenilen değere ulaşılması önerilmiştir. Şöyle ki; genetik algoritmaya



olası bir çözüm kümesi (her birim için en yüksek sipariş miktarı seviyesi) girilir, algoritma bu çözüm kümesinden yeni çözüm kümeleri üreterek bunların performanslarını belirler, bu performanslara göre yeni çözümler üretilir ve süreç tanımlanmış yakınsama ölçütleri sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Sonuçta üretilen tüm çözüm kümelerinden en iyi olan çözüm belirlenir.

Bir başka çalışmada Maity ve Maiti (2007) olabirlik ve gereklilik kısıtları kullanarak üretim-stok kontrol sistemi modeli önermişlerdir. Modelde bütçenin kesin olmadığı varsayılmış ve stoklama kapasitesi kısıtları olabirlik ve/veya gereklilik tiplerinde ifade edilmiştir. Kurulan üretim-stok modelinde elde bulundurma, yok satma ve üretim maliyetlerinden oluşan toplam maliyet enküçüklenmektedir. Kısıtlarla toplam elde bulundurulan stokun en yüksek stoklama alanından küçük olması, üretim maliyetinin bütçeden fazla olmaması ve taleplerin karşılanması garanti altına alınmıştır. Modelde bulanıklığın olduğu stoklama alanı ve bütçe kısıtları netleştirilirken gereklilik ve olabirlik şartlarının sağlanmasına göre dört farklı senaryo önerilmiştir. Örneğin, ilk senaryoda her iki kısıtın sağlanması gereklidir, ikinci senaryo ise ilk kısıtın sağlanması gereklidir, ikinci kısıt sağlanabilir şeklinde tasarlanmıştır. Ana modelin çözümü her senaryoya göre modeli ayrı ayrı çözerek elde edilmiş ve tüm senaryo sonuçları karar vericiye sunulmuştur.

Modelin, kısıtların gereklilik şartını sağlanması öngörüldüğünde kısıt sağ taraf değerinin en düşük olabir seviyesine; olabirlik şartını sağlanması öngörüldüğünde ise kısıt sağ taraf değerinin en yüksek olabir seviyesine göre sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu yüzden her iki kısıt gereklilik kısıtı olarak varsayılsa en yüksek; her iki kısıt olabirlik kısıtı olarak varsayılsa en düşük amaç fonksiyonu değerleri elde edilmiştir. Önerilen model bir TZ problemini göz önüne almasına rağmen olabirlik ve gereklilik koşullarının modellenmesi üzerine odaklanmıştır.

Bu bölümde incelenen çalışmalardan Petrovic ve diğ. (1998, 1999), önerdikleri yaklaşım ile talep ve tedarik güvenilirliğindeki belirsizlikleri dikkate alan bir simülasyon modeli tasarlamışlardır. Bu simülasyon modeli ile ilk çalışmalarında farklı stok kontrol politikalarını değerlendirmişler, ikinci çalışmada ise en düşük maliyeti verecek en yüksek stok seviyelerini belirlemişlerdir. İlk çalışmanın bir eniyileme içermemesi ve ikinci çalışmada önerilen algoritmanın büyük TZ'de uygulanmasının zor olması modellerin eksiklikleri olarak değerlendirilebilir.

Wang ve Shu (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışma teorik olarak TZ'deki belirsizlikleri oldukça etkin bir şekilde modellemektedir. Fakat kurulan modelin çözümü oldukça güçtür. Özellikle TZ içerisinde yer alan birimler arttıkça önerilen genetik algoritma ile en iyi çözüme ulaşmak mümkün olmayacaktır.

Maity ve Maiti (2007) olabirlik teorisinden yararlanarak üretim-stok kontrol sistemini belirsizlik altında modellemiştir. Çalışmada problemden ziyade çözüm yordamı üzerine odaklanılmıştır. Kısıtların gereklilik veya olabirlik durumlarına göre senaryolar oluşturulmuştur. İki kısıt kümesi olduğu için dört senaryo ortaya çıkmıştır. Fakat eğer daha fazla kısıt kümesi söz konusu olursa senaryo sayısı üstel olarak artacak (örneğin 4 kısıt kümesi olursa  $2^4=16$  senaryo olacaktır) ve çözüm oldukça güç hale gelecektir.

### **3.2.2 Üretim planlama modelleri**

Üretim planlama hammaddenin alımından ürün haline getirilmesine kadarki süreçte malzeme akışının etkin yönetilmesini içerir (Hax ve Candea, 1984). Bu tanımdan yola çıkarak üretim planlamanın TZY'nin önemli bir alt kümesini teşkil ettiği söylenebilir. Üretim planlama içerisinde tesis tasarımı, toplu üretim planlama, stok yönetimi, üretim çizelgeleme gibi konular girmektedir. Bu bölümde üretim planlama içerisinde yer alan stok planlama, toplu üretim planlama ve malzeme ihtiyaçları planlama konularında önerilmiş bulanık mantığa dayalı yöntemlerden örnekler verilmiştir.

#### **3.2.2.1 Üretimde stok planlama modelleri**

Stok planlama, müşterinin talebini karşılamak için üretim ve tedarik sürecinde gerekli olan malzemelerin ne zaman ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiğine karar vermek için gerekli kural ve prosedür oluşturmayı içerir (Hax ve Candea, 1984).

Hsu ve Wang (2001), siparişe montaj yapan bir üretim tesisi için talepleri etkin yöneterek toplam maliyeti enküçülemek üzere bir olabirsel programlama modeli önermiştir. Toplam maliyet; yok satma, elde bulundurma ve boş kapasite maliyetlerinden oluşur. Model ile malzeme güvenlik stok seviyeleri ve kilit makinelerin sayıları tespit edilir.

Önerilen modelde amaç fonksiyonu katsayıları olan birim yok satma maliyeti, birim elde bulundurma maliyeti ve birim boş kapasite maliyeti değerleri üçgen olabirlik

dağılımları ile gösterilmiştir. Üçgen olabilirlik dağılımları, bu parametrelerin kötümser, beklenen ve iyimser değerlerini gösterecek şekilde tanımlanmıştır. Böylece bulanık bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Modelde ayrıca taleplerin de belirsiz olduğu varsayılmış, ama talepteki belirsizlik olasılık dağılımı ile gösterilmiş ve modele güvenlik aralığı mantığı ile kesin değer olarak yansıtılmıştır. Bu yüzden kısıtlarda tüm katsayılar ve eşitsizlikler kesin olarak tanımlanmıştır.

Hsu ve Wang (2001) önerilen modeli çözmek için Lai ve Hwang (1992b)'in önerdiği (Bkz. Bölüm 4.2.3.2. Lai ve Hwang yaklaşımı) yöntemi kullanmıştır. Amaç fonksiyonunun en olabilir, iyimser ve kötümser değerlerini farklı amaçlar olarak tanımlayarak modeli çok amaçlı DP modeline dönüştürmüş ve bu modeli Zimmermann (1978) (Bkz. Bölüm 4.3.1. Bulanık programlama)'ın geliştirdiği yaklaşım ile çözmüştür.

Hsu ve Wang (2001) üretim planlamasına ve dolayısıyla TZ yöntemine bulanık mantık ile yaklaşan ilk çalışmalardan birini sunmuştur. Önerilen modelde sadece amaç fonksiyonu katsayıları bulanık sayılar ile ifade edilmiştir, fakat belirsizliğin yer aldığı talepler olasılık dağılımı ile gösterilmiştir.

### **3.2.2.2 Toplu üretim planlama modelleri**

Üretim sürecini etkileyen etmenlerin zaman içerisinde sabit olmadığı durumlarda üretim planlamanın, kaynaklardan etkin faydalanabilmek için toplu olarak yapılması gerekir. Toplu üretim planlamada, 6-18 aydan oluşan zaman diliminde çıktı oranları, işgücü seviyesi ve değişimi, stok seviyeleri ve taşeronu verme gibi kararlar verilir (Hax ve Candea, 1984).

Wang ve Fang (2001), çok amaçlı toplu üretim planlama problemini bulanık DP ile modellemiş ve bu modeli altı adımdan oluşan bir algoritma ile çözmüştür. Çalışmada ürün fiyatı, birim taşeronu verme maliyeti, iş gücü seviyesi, üretim kapasitesi ve talep gibi parametreler bulanık kümeler ile ifade edilmiştir.

Bulanık DP modelinde kârın enbüyüklenmesi ve işgücü seviyesindeki değişikliklerin enküçüklenmesi amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Her iki fonksiyonda da bulanık parametreler mevcuttur. Modelde ayrıca, işçi sayılarının dönemler arasında dengelenmesi ve gerekli işgücünün mevcut olması, stok seviyelerinin dengelenmesi ve talebi karşılanması ve üretim kapasitesinin aşılmaması ile ilgili kısıtlar

tanımlanmıştır. Kısıt parametrelerinde ve eşitsizlik tanımlarında bulanık kümelerden yararlanılmıştır.

Önerilen çalışmada bulanık programlama modelini çözmek için tüm bulanık parametreler yamuk bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Kısıtlardaki bulanık eşitsizlikler Ramik ve Rimanek (1985)'in önerdiği yöntem ile netleştirilmiştir. Amaçlar için ise bulanık tatmin düzeyleri tanımlanmıştır. Sonuçta amaçların en küçük tatmin düzeyini enbüyüklemek üzere bir DP modeli ortaya çıkmıştır. Bu modelin kısıtları; ilk modelin netleştirilen kısıtları ile amaçların tatmin düzeyini formüle eden kısıtlardan oluşmaktadır. Çalışmaya ayrıca, çıkan sonuçların karar verici tarafından yeniden gözden geçirilmesini ve gerekiyorsa parametrelerin tekrar tanımlanmasını içeren bir döngüsel geri besleme de ilave edilmiştir.

Bu çalışma, yazarlardan birinin başka bir makalesinde (Wang ve Liang, 2004) değiştirilmiştir. Yeni çalışmada aynı problem incelenirken, önceki modelde bulanık olarak ifade edilen tüm parametre değerlerinin kesin olduğu varsayılmıştır.

Amaçlarda değişiklik yapılarak amaç sayısı üçe çıkarılmıştır. İlk amaç (kârın enbüyüklenmesi) toplam maliyetin enküçüklenmesi olarak değiştirilmiştir. Elde bulundurma ve sipariş ertelenmesi maliyetlerinin enküçüklenmesi şeklinde yeni bir amaç ilave edilmiştir. Önceki çalışmada tanımlanan işgücü seviyesindeki değişimi enküçükleme amacı ise değiştirilmemiştir. Kısıtlar ise genelde aynı kalmakla birlikte depolama ile ilgili yeni kısıtlar eklenmiştir.

Böylece ortaya çok amaçlı bir DP modeli çıkmıştır. Yazarlar üç amacı modelleyebilmek için bulanık mantıktan faydalanmışlardır. Her amaç için bulanık hedef değerleri belirlenmiş ve bu hedeflere göre üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Amaçların hedeflerini gerçekleştirme düzeyleri parçalı doğrusal fonksiyonlar ile ifade edilmiştir. Bu şekilde oluşturulan bulanık çok amaçlı programlama modeli, amaçların gerçekleşme düzeylerini eniyileyecek (en küçük gerçekleşme düzeyini enbüyükleyecek) tek amaçlı bir DP modeline dönüştürülmüştür.

Aynı yazarlar bir başka çalışmalarında (Wang ve Liang, 2005) aynı problemi tek amaçlı olabilsel programlama ile modellemişlerdir. Tek amaçlı olarak kurulan modelde, amaç ve kısıtlarda yer alan katsayıların bir kısmı olabilsel üçgen dağılım ile ifade edilmiştir. Bulanık katsayılı amacı çözmek için Lai ve Hwang (1992b)'a göre yeni, üç kesin değerli amaç tanımlanmıştır. Bu amaçları birlikte çözebilmek için

hedef değerleri belirlenerek bulanık üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Önerilen DP modeli ile en küçük amaçları sağlama düzeyini enbüyüklemek amaç olarak belirlenmiştir. Kısıtlardaki belirsiz parametreler önceden tanımlanmış  $\beta$  kabul edilebilir olabilirlik düzeyine göre netleştirilmiştir. Bu çalışmanın getirdiği en büyük yenilik, sonuçların karar vericiye sunulması ve geri dönüşe göre parametreleri, amaç hedeflerini veya  $\beta$  değerini değiştirerek çözümün etkileşimli olarak geliştirilebilmesidir.

Bu bölümde incelenen çalışmalardan Wang ve Fang (2001) ve Wang ve Liang (2005) üretim planlamada karşılaşılan belirsizlikleri modellemek için yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Wang ve Liang (2004)'da ise kesin değerler içeren çok amaçlı model bulanık mantık kullanılarak çözülmüştür. Önerilen modellerin çözüm yordamlarının etkinliği sayısal örnekler üzerinde denenmiştir. Büyük gerçek hayat problemlerinde bu yordamların uygulanması oldukça güçtür.

### 3.2.2.3 Malzeme ihtiyaçları planlaması

Malzeme ihtiyaçları planlaması, parçaların (parça, alt parça ve ürün) ihtiyaçlarının belirlenmesini, parçalara zaman içerisinde ne zaman ihtiyaç duyulacağını saptanmasını ve ihtiyaç duyulan malzemelerin zamanında kullanılabilmesi için üretiminin veya satın alınmasının çizelgelenmesini içerir (Hax ve Candea, 1984).

Mula ve diğ. (2006b) malzeme ihtiyaç planlama yapmak için esnek kısıtlar içeren bir bulanık matematik programlama modeli önermiştir. Çalışmada öncelikle kapasite kısıtlı, çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli, kesin verilere dayanan bir DP modeli önerilmiştir. Bu modelde stok ve kaynak kullanımından kaynaklanan maliyetlerin enküçüklenmesi amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Kısıtlar ile stokun dengelenmesi ve üretim için gerekli kaynakların var olması sağlanmıştır.

Önerilen DP modeli, daha sonra, bulanık DP modeline dönüştürülmüştür. Bunun için amaç fonksiyonunun değerinin bir hedeften küçük olması bir kısıt olarak yazılmıştır. Ortaya çıkan tüm kısıtlardaki eşitsizlikler “bulanık eşitsizliğe” dönüştürülmüştür. Bu yeni modeli çözmek için tüm kısıtlara, “kısıtı sağlama düzeyi”ni veren bulanık üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve üç ayrı yaklaşım ile çözüm önerilmiştir. İlkinde tüm kısıtların en düşük sağlanma düzeyini en büyük yapacak bir model önerilmiştir ( $i$  kısıtının sağlanma düzeyi  $\mu_i$  ise  $Enb Z = Enk \mu_i$ ). İkincisinde, tüm kısıtların en

düşük ve en yüksek sağlanma düzeylerinin doğrusal bir kombinasyonla birleştirilmiş bir halini en büyükleyecek bir model ortaya konmuştur ( $Enb Z = \gamma Enk_i \mu_i + (1 - \gamma) Enb_i \mu_i, 0 \leq \gamma \leq 1$ ). Üçüncü yaklaşımda ise tüm kısıtların en düşük sağlanma düzeyi ile tüm kısıtların sağlanma düzeylerinin ortalamasının doğrusal kombinasyonla birleştirilmiş halini en büyükleyecek bir model önerilmiştir ( $Enb Z = \gamma Enk_i \mu_i + (1 - \gamma) Ort_i \mu_i, 0 \leq \gamma \leq 1$ ).

Sonuçta Mula ve diğ. (2006b) malzeme kaynakları planlamasında kullanılmak üzere bir doğrusal model ve bu modeli bulanık mantığa dayanan bir yaklaşımla çözmek için bir yöntem önermiştir. Önerilen bulanık yaklaşım ile kısıtların tam sağlanmamasından kaynaklan olursuz çözüm elde etme riski ortadan kaldırılmıştır. Fakat, yaklaşımda sadece kısıtların sağlanmasında bir bulanıklık olduğunu varsaymıştır. Kısıt sağ taraf değerleri dışındaki parametrelerde karşılaşılabilecek belirsizlikler modellenmemiştir.

### 3.2.3 Dağıtım Planlama

Dağıtım planlama, TZ’de mal veya hizmetlerin kaynaklardan varış yerlerine gönderilmesinin planlanmasını içerir. Liang (2006), dağıtım planlama problemini çözmek için ulaştırma maliyetlerini ve toplam teslim zamanını en küçükleyen bir bulanık çok amaçlı DP modeli önermiştir. Modelde kaynakların tedarik kapasitesi ile varış noktalarının taleplerinin belirsiz olduğu varsayılarak bu değerler bulanık kümeler ile ifade edilmiştir.

Modelde tanımlanan iki amaç fonksiyonunda da katsayıların kesin olarak bilindiği öngörülmele birlikte amaçların gerçekleşmesi bulanık olarak ifade edilmiştir. Bu nedenle amaçlar için hedef değerleri tanımlanmıştır. Bununla birlikte tedarik ve talep kısıtlarının sağ taraf değerleri bulanık sayılarla gösterilmiştir. Ayrıca varış noktalarının depo kapasitesi ve toplam bütçeyle ilgili bulanıklık içermeyen kısıtlar da tanımlanmıştır.

Modeli çözmek için amaçların gerçekleşme düzeyleri parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış ve amaçların en düşük gerçekleşme düzeyini en büyükleyecek yeni bir DP modeli kurulmuştur. Kısıtlar için ise bulanık parametreler üçgen bulanık sayılarla (ÜBS) gösterilmiş ve netleştirme için ÜBS’nin üç parametresi arasında ağırlıklı ortalama alınmıştır.

Yöntemde çözüm elde edildikten sonra sonuçların karar vericiye sunulması önerilmektedir. Eğer karar verici çıkan sonuçtan tatmin olmaz ise amaç üyelik fonksiyonları ve/veya kısıtların ÜBS parametrelerinin ağırlıkları değiştirilerek yeni çözümler elde edilir. Karar verici tatmin oluncaya kadar yeni çözümler üretilir.

Liang (2006), birden çok amaç içeren dağıtım planlama problemini bazı parametrelerin belirsiz olduğu durumlar için etkin bir etkileşimli yöntem ile çözmüştür. Yöntem diğer parametrelerin ve katsayıların belirsiz olmasını dikkate almamıştır ve karar vericinin çözümü tatmin edici bulmaması durumunda hangi değerleri nasıl değiştirebileceği ile ilgili bir metodoloji sunmamıştır. Ayrıca yöntemde önerilen çözüm yordamında bulanık parametreler ilk başta netleştirilmiştir. Bu durum, bulanıklığın çözüme yansıtılması açısından sorun teşkil edebilir.

### **3.2.4 Ağ yapılı tedarik zinciri planlama**

Chen ve Lee (2004), çok aşamalı TZ ağında, çok ürünlü, çok dönemli bir planlama yapabilmek için bulanık mantığa dayalı çok amaçlı bir yaklaşım önermiştir. Modelde pazar taleplerinin ve ürün fiyatlarının belirsiz olduğu varsayılmıştır.

İncelenen problem üretim tesisleri, dağıtım merkezleri ve perakendecilerden oluşan bir TZ ağıdır. Önerilen modelin, bu ağ ile ilgili girdileri şunlardır: üretim verileri, ulaştırma verileri, stok ile ilgili veriler, maliyet parametreleri, alıcı ve satıcılar için kabul edilebilir ürün fiyatları ve olasılıkları belli olan talep senaryoları. Model ile her üretim tesisinin üretim planı, her dağıtım merkezinin dağıtım planı, satış miktarları ve satış fiyatları, her birimin stok seviyesi ve her türlü maliyeti belirlenir. Modelde bu değerleri belirlemek için dört amaç tanımlanmıştır: (1) her birimin beklenen kârını enbüyüklemek, (2) her birimin ortalama güvenlik stok düzeyini enbüyüklemek, (3) ortalama müşteri hizmet düzeyini enbüyüklemek ve (4) ilk üç amacın talep belirsizliğine karşı dayanıklılığını enbüyüklemek.

Çalışmada fiyat belirsizliğini modelleyebilmek için her birimin belirlenen fiyata göre tatmin düzeyi bulanık kümeler ile ifade edilmiştir. Talep belirsizliği için ise olasılıkları belli olan talep senaryoları üretilmiştir.

Sonuçta, dört amaçlı ve üretim, ulaştırma, stok düzeyleri, maliyet ve gelir kısıtlarına sahip doğrusal olmayan bir model ortaya çıkmıştır. Bu modeli her talep senaryosuna göre çözmek için üç adımlı bir yaklaşım önerilmiştir: ilkin, amaçlar için hedef değerleri belirlenir ve amaçların tatmin düzeyleri bulanık üyelik fonksiyonları ile

ifade edilir. İkinci olarak bulanık kümeler ile ifade edilen amaç tatmin düzeyleri ve birimlerin fiyat tatmin düzeylerine göre en düşük tatmin düzeyini en yüksek yapacak şekilde bir eniyileme gerçekleştirilir. Üçüncü adımda tatmin düzeylerinin çarpımı enbüyüklenir. Burada her bir tatmin düzeyinin önceki adımda elde edilen en düşük tatmin düzeyinin altına düşmesine izin verilmez.

Torabi ve Hassini (2008), orta vadede tedarik, üretim ve dağıtım planlamayı bir arada yapmak üzere çok amaçlı bir olabilirselleştirilmiş DP modeli önermiştir. Modelde talepler, maliyet/zaman katsayıları ve kapasite düzeyleri gibi kritik parametrelerin belirsiz olduğu varsayılmıştır.

Çalışmada birçok tedarikçi, bir üretici ve birçok dağıtım merkezi içeren bir ağ yapılı TZ incelenmiştir. Kurulan model ile satın alma, üretim ve dağıtım miktarlarının çok önemli kararları verilmek istenmektedir. Satın alma miktarları, tedarikçi seçimi ve sipariş parti büyüklüklerinin belirlenmesi ile planlanmaktadır. Üretim ve dağıtım miktarları ise sırasıyla üretim ve dağıtım planları ile oluşturulmaktadır.

Kurulan olabilirselleştirilmiş modelde iki amaç bulunmaktadır: (1) toplam lojistik maliyetlerini enküçükleme, (2) toplam satın alma değerini enbüyüklemek. İlk amacın formülünde bulanık parametreler bulunmaktadır. Model kısıtlarında ise stok seviyesi ve kapasite (tedarikçiler, üretici ve dağıtım merkezleri için kapasiteler mevcuttur) ile ilgili kısıtlar yer almaktadır. Kısıtların teknoloji ve sağ taraf değeri parametrelerinde de bulanıklık söz konusu olmuştur. Modelde, amaç fonksiyonlarında ve kısıtlarda yer alan bulanık parametreler üçgen olabilirselleştirilmiş dağılımlar ile ifade edilmiştir.

Çalışmada önerilen olabilirselleştirilmiş programlama modeli iki aşamalı bir yaklaşım ile çözülmüştür. İlk aşamada olabilirselleştirilmiş modelde bulanık olan ilk amaç Lai ve Hwang (1992b)'da önerilen yöntem ile netleştirilmiş ve bu bulanık amaç üç net amaca dönüştürülerek toplamda dört amaçlı bir yapı oluşturulmuştur. Kısıtların netleştirilmesi için ise üçgen olabilirselleştirilmiş dağılım ile ifade edilen parametrelerin üçgen dağılımın kritik noktaları üzerinden ağırlıklı ortalamaları alınmıştır. Böylece ortaya bir çok amaçlı DP modeli çıkmıştır. İkinci aşamada çok amaçlı modeli çözmek için amaçlara sağlanma üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonlarının hedef ve düşük alt sınır değerleri doğrusal modelin her amaç için ayrı ayrı çözülmesi ile elde edilmiştir. Son olarak amaçların en küçük sağlanma düzeyleri ile amaçların ortalama sağlanma düzeylerinin doğrusal kombinasyonu şeklinde bir amaç



tanımlanarak çok amaçlı model çözülmüştür. Çalışmada ayrıca sonuçların karar vericiye sunulması ve karar vericinin isteği doğrultusunda model çözümünde kullanılan parametrelerin değiştirilmesi şeklinde etkileşimli bir kısım da mevcuttur.

Xu ve diğ. (2008), Çin'de yer alan bir likör üreticisi için tedarikçiler, üretim tesisleri, dağıtım merkezleri ve müşterilerden oluşan ağ yapısında, açılacak üretim tesisi ve dağıtım merkezlerine karar vermek ve dağıtım stratejisini belirlemek üzere rastsal bulanık çok amaçlı karma tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli önermiştir. Modelin amacı, araçların sabit maliyeti, değişken maliyetler, bekleme maliyetleri ve ceza maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti enküçükmek ve müşterilere kabul edilebilir teslim süresinde teslim edilen ürün adedi ile ölçülen müşteri hizmet düzeyini enbüyüklemektir.

Modelde belirsizliğin hem rastsallıktan hem de veri eksikliğinden kaynaklandığı düşünülerek taşıma maliyetleri ve talepler rastsal bulanık değişkenler ile ifade edilmiştir. Bu değişkenlerle ifade edilen modeli çözmek için rastsal bulanık durumlar için tanımlanmış optimizasyon teorisinden faydalanılmıştır. Örneğin rastsal bulanık parametreler içeren amaç fonksiyonunu netleştirmek için beklenen değer operatörü, rastsal bulanık parametreler içeren kısıtlar için olasılık-kısıt operatörü önerilmiştir. Tanımlanan operatörler yardımı ile model deterministik hale getirilmiştir. Deterministik model genetik algoritma kullanılarak çözülmüştür.

Önerilen model ve algoritma daha sonra 4 tedarikçi, 5 potansiyel üretim tesisi, 6 potansiyel dağıtım merkezi ve 6 müşteriden oluşan Çin menşeli likör üreticisi bir firmada uygulanmıştır.

Bu bölümde incelenen çalışmalar değerlendirilirse; Chen ve Lee (2004), TZ'deki birçok paydaşı, ilgili birçok kararı, birçok amacı ve bazı belirsizlikleri dikkate alan oldukça kapsamlı bir model ortaya koymuştur. Fakat önerilen doğrusal olmayan modelin gerçek hayat problemlerinde çözümü oldukça zordur, hatta en iyi çözüme ulaşmak imkânsızdır.

Torabi ve Hassini (2008), tedarikçiden dağıtıma kadar olan TZ'de planlama kararlarını vermek üzere kapsamlı bir çalışma sunmuştur. Modelde planlamada karşılaşılan belirsizlikleri çözmek için amaçlarda ve kısıtlarda bulanık parametreler kullanılmıştır. Fakat çözüm aşamasında bulanık parametreler doğrudan netleştirilmiştir. Bu nedenle parametrelerdeki bulanıklık çözüme yansıtılmamıştır.

Xu ve diğ. (2008), rastsal değişkenler ve bu değişkenleri tanımlamak için gerekli dağılım parametrelerini bulanık kümeler ile ifade ederek çok amaçlı doğrusal olmayan bir model önerilmiştir. Modelin gerçek hayattan bir probleme odaklanması en büyük artısıdır. Yine de incelenen sistem çok karmaşık bir sistem değildir ve çözüm algoritmasının daha büyük sistemlerde işe yarayıp yaramayacağı şüphelidir. Ayrıca modelde sadece iki parametre belirsiz kabul edilmiştir. Diğer parametrelerin kesin olarak bilindiği varsayılmıştır.

### 3.3 İncelenen Çalışmaların Değerlendirilmesi

Bu bölümde incelenen ağ yapılı ve bulanık mantığa dayalı TZ çalışmaları iyi ve kötü yönleriyle değerlendirilmiştir.

İncelenen çalışmalardan ağ yapılı modellerin TZ planlamasında, özellikle de stratejik TZ planlamasında, etkin olarak kullanılabil-diği görülmüştür. TZ'nin ağ yapılı olarak düşünülmesi, tüm TZ'deki birimlerin veya fonksiyonların ve bunlar arasındaki akışların gösterimini kolaylaştırarak problemlerin matematiksel modellere aktarılmasına olanak vermiştir. Bu çıkarım, hem mevcut TZ yapısının iyileştirilmesi (Örneğin, Lakhal ve diğ., 2001; Lakhal, 2006) ve stratejik/operasyonel kararların verilmesi (Örneğin, Sabri ve Beamon, 2000; Altıparmak ve diğ., 2006) hem de yeni ürün TZ tasarımında (Örneğin, Graves ve Willems, 2001; Wang ve Shu, 2007) geçerlidir. Ağ yapılı modeller tüm TZ için (Örneğin, Lakhal, 2006; Sabri ve Beamon, 2000; Ryu ve diğ., 2004; Roghanian, 2007), veya ürün dağıtım ağı tasarımı (Örneğin, Shen, 2006; Altıparmak ve diğ., 2006), veya merkezi firma odaklı yaklaşım (Örneğin, Lakhal ve diğ. 2001, Wang ve Shu, 2007) gibi TZ'nin bir parçası için kullanılabilir.

Tedarik zinciri ağ yapılı modellerde farklı performans ölçütleri yani amaç fonksiyonları kullanılabilir. Örneğin Lakhal ve diğ. (2001), Lakhal (2006) ve Shen (2006)'de kâr en büyükleme yapılrken; Sabri ve Beamon (2000), Graves ve Willems (2001) ve Ryu ve diğ. (2004)'de maliyet enküçüklemesi amaç olarak belirlenmiş; Altıparmak ve diğ. (2006)'de ise çok amaçlı bir yaklaşım önerilmiştir.

İncelenen ağ yapılı modellerde bazı sorunlar da mevcuttur. Bunlardan en önemlisi problemlerde karşılaşılabilecek olası belirsizlikleri dikkate almamalarıdır. Bulanık mantığa dayalı modellerde sunulduğu gibi TZ planlamada yer alan birçok

parametrede belirsizlikler söz konusu olabilmektedir. Özellikle yeni ürün tasarımı ve stratejik planlama gibi gelecekle ilgili öngörülerin yapıldığı problemlerde kesin olarak tespit edilemeyen çok sayıda parametre olması muhtemeldir.

Çalışmalarda (Örneğin, Lakhal, 2006; Sabri ve Beamon, 2000) karşılaşılan bir başka sorun, planlamaların bir merkezden yapıldığının varsayılmasıdır. Bu TZ'ye genel bakış açısı bakımından oldukça etkin bir yöntemdir ve tüm sistemin eniyilenmesini sağlar. Fakat gerçek hayat uygulamalarında birçok firmadan oluşan TZ'lerde firmalar kendileri için en iyi olan kararları vermeyi tercih ederler ve bir merkezden yapılan planlara uymayabilirler (Ryu ve diğ., 2004). Bu yüzden TZ planlamasının firmaların kendi etkin oldukları kararları vermek için yapılması veya bir karar hiyerarşisinde modellenmesi gerekmektedir.

Çalışmalarda karşılaşılan en büyük problemlerden bir diğeri, önerilen modellerin çözümünün gerçek hayat problemlerine uygulanmasının oldukça güç olmasıdır (örneğin, Lakhal ve diğ., 2001; Lakhal, 2006; Wang ve Shu, 2007; Altıparmak ve diğ., 2006; Roghanian ve diğ., 2007). Bu çalışmalarda model çözümleri için sezgisel yaklaşımlar önerilse de çoğu yöntem en iyi çözümü garanti etmemektedir.

İncelenen bulanık mantığa dayalı çalışmalara göre bulanık mantık, TZ planlamada karşılaşılan belirsizlikleri modellemek için oldukça etkin bir yaklaşımdır. TZ planlamasında dikkate alınan talep (Örneğin Petrovic ve diğ., 1998, 1999; Wang ve Shu, 2005; Wang ve Fang, 2001; Chen ve Lee, 2004; Torabi ve Hassani, 2008; Xu ve diğ., 2008), işleme süresi (Örneğin Wang ve Shu, 2005) ve fiyat (Örneğin Torabi ve Hassani, 2008) gibi önemli girdilerdeki belirsizlikler bulanık mantık yardımı ile modellenmiştir. Modellerde amaç fonksiyon katsayıları (Örneğin Hsu ve Wang, 2001; Wang ve Fang, 2001; Wang ve Liang, 2005; Xu ve diğ., 2008) ve kısıt parametreleri (Örneğin Maity ve Maiti, 2007; Wang ve Liang 2005; Xu ve diğ., 2008) ile amaç fonksiyonunun sağlanması (Örneğin Mula ve diğ., 2006b; Wang ve Liang, 2004; Liang, 2006) ve kısıtların sağlanması (Örneğin Mula ve diğ., 2006b; Liang, 2006) durumları bulanık mantık ile gösterilebilmiştir.

İncelenen çalışmaların TZY içerisinde yer alan belirli konulara odaklandıkları görülmüştür. Örneğin Petrovic ve diğ. (1998,1999) ve Wang ve Shu (2005) TZ stok planlaması için model geliştirirken Maity ve Maiti (2007), Hsu ve Wang (2001) ve Wang ve Fang (2001) bulanık üretim planlama modeli önermişlerdir. Kapsamlı TZ

planlama modelleri (Örneğin Chen ve Lee, 2004; Torabi ve Hassani, 2008; Xu ve diğ., 2008) kısıtlıdır. Oysa TZ modellerinin tüm TZ'yi modelleyecek şekilde önerilmesi gereklidir.

Önerilen modellerin çözüm yordamları gerçek hayat uygulamalarında kullanılamayacak kadar karmaşıktır (Örneğin Petrovic, 1999; Wang ve Shu, 2005; Maity ve Maiti, 2007; Wang ve Fang, 2001; Wang ve Liang, 2005; Chen ve Lee, 2004). Bu çalışmalarda önerilen modeller genelde küçük sayısal örnekler üzerinde gösterilmiştir ve modellerin büyük çaplı problemlerde nasıl uygulanabileceği tartışılmamıştır. Liang (2006)'da önerilen etkileşimli çözüm yordamında çözüm döngüsünün nasıl sağlanacağı tarif edilmemiştir.

Bazı çalışmalarda ilgilenilen sistemlerde karşılaşılan tüm belirsizlikler dikkate alınmamış veya bulanık mantık ile gösterilmemiştir. Örneğin Hsu ve Wang (2001)'ta talepler belirsiz olarak kabul edilmiş ama olasılık dağılımları ile ifade edilmiştir. İki farklı teori kullanımı çözüm sürecini olumsuz yönde etkilemiştir. Mula ve diğ. (2006b)'de kısıtların sağlanması ile ilgili belirsizlik olduğu varsayılmış ama amaç ve kısıt parametrelerinde karşılaşılabilecek belirsizlikler modellenmemiştir. Liang (2006) ve Xu ve diğ. (2008)'de az sayıdaki parametrede belirsizlik olduğu varsayılmış diğer parametrelerin kesin olarak bilindiği öngörülmüştür.

Bulanık mantığa dayalı yöntemlerde karşılaşılan bir diğer sorun da netleştirme ile ilgili tespit edilmiştir. Bazı çalışmalarda (Örneğin Torabi ve Hassani, 2008; Liang 2006) önerilen bulanık modellerin çözüm yordamlarında bulanık parametreler başlangıçta hemen netleştirilmiştir. Bu çözüme ulaşmayı kolaylaştırmıştır fakat belirsizliğin ve bulanıklığın çözüme yansıtılmasını önlemiştir.

Sonuç olarak incelenen çalışmalardan TZ'yi ağ yapılı ve bulanık mantığa dayanarak modellemenin etkin bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte mevcut çalışmaları eksikliklerini gidererek geliştirilecek alanlar da mevcuttur. Öncelikle tüm TZ'yi modelleyecek yaklaşımlar gereklidir. Ama burada dikkat edilmesi gereken konu ilgilenilen firmanın etkin olduğu alanların probleme dâhil edilmesidir. Bir başka ifade ile TZ problemi mümkün olduğunca fazla birimi kapsamalıdır ama etkin olunmayan birimler (örneğin ikinci aşamadaki tedarikçiler veya son müşteriler) kapsam dışında bırakılmalıdır. Bir başka gelişime açık alan ise geliştirilen modellerin uygulanmasıdır. Hem ağ yapılı hem de bulanık mantık

modellerinde karşılaşılan en büyük eksiklik, önerilen çözüm yöntemlerinin gerçek hayat problemlerine uygulanmasının oldukça güç olmasıdır. Bu yüzden yeni model geliştirirken ve çözüm yordamı önerirken büyük çaplı problemlere uygulanabilir olması göz ardı edilmemelidir.

Literatür taraması ve ayrıntılı makale incelemesi sonucunda TZ planlamasını yapmak üzere bir bulanık çok amaçlı DP modeli önerilmiştir. Bu nedenle öncelikle TZ planlamasında karşılaşılan belirsizliklere değinilecektir.

### **3.4 Tedarik Zinciri Planlamasında Karşılaşılan Belirsizlikler**

Gerçek hayattaki TZ'lerde teknik ve ticari birçok belirsizlik olduğundan bunların kesinmiş gibi kabul edilmesi çok gerçekçi değildir (Guillen ve diğ., 2005). İncelenen birçok çalışmada TZ'deki belirsizlikleri modellemek üzere yöntemler geliştirilmiştir.

Belirsizlik bir işi yapmak için gerekli olan bilgi ile sahip olunan bilgi arasındaki fark olarak tanımlanabilir (Mula ve diğ., 2006a). Zimmermann (2000) ise uygulamaya yönelik olarak belirsizliği şu şekilde tanımlamıştır: "Belirli bir durum için bir kişi, bir sistemi, sistemin davranışını veya diğer özelliklerini deterministik ve sayısal olarak tanımlamaya, belirlemeye ve tahmin etmeye nitel ve nicel olarak uygun bilgiyi hazırlayamıyorsa belirsizlik var demektir."

Tanımdan anlaşılabilceği gibi genel olarak belirsizliğin nesnel değil öznel bir olgu olduğu vurgulanmıştır. Belirsizliğin insandan kaynaklı, bilginin elde edilebilecek (elde edilmek istenen) miktarına ve kalitesine bağlı olduğu savunulmuştur. Yani bilginin bir yerlerde var olduğu ama sistemi modelleyenlerin onu bilmediği, bilmek istemediği veya bilmenin çok maliyetli olduğunu düşündüğü bu yüzden bilginin belirsiz olarak kabul edildiği düşünülebilir.

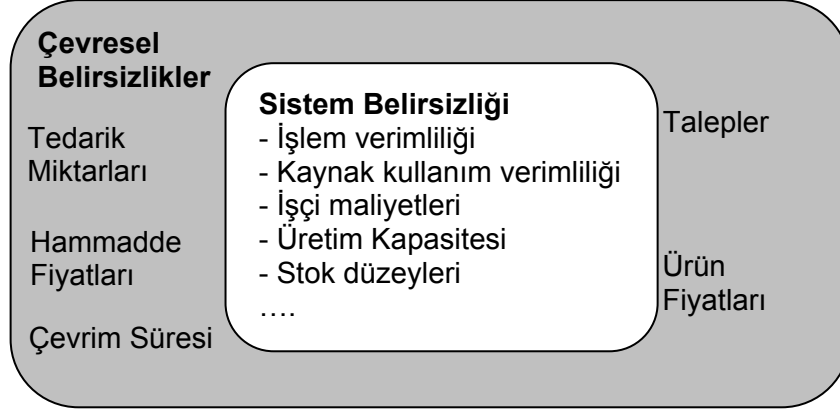
Belirsizliğin nedenlerini bilmek belirsizliği anlayabilmek ve modelleyebilmek için oldukça önemlidir. Petrovic (2001), belirsizliğin rastsal gerçekleşme, yargılardaki belirsizlikler, delil (veri veya tecrübe) yetersizliği veya eksikliği gibi nedenleri olabileceğini belirtmiştir. Zimmermann (2000) çalışmasında belirsizliğin nedenlerini altı başlık altında incelemiştir: (1) bilgi eksikliği, (2) bilgi bolluğu (karmaşıklık), (3) çelişen bulgular, (4) birden çok anlama gelme, karışıklık, (5) ölçüm, (6) inanç. Eğer bir sistemdeki belirsizlik modellenmek isteniyorsa öncelikle belirsizliğin türü burada tanımlanan türlere göre belirlenmelidir. Daha sonra sisteme girdilerin ne olacağı ve

sayısal bilgilerin ölçekleri belirlenmeli ve oluşturulacak model ile elde edilmesi beklenen çıktı saptanmalıdır. Tablo 3.1’de verilen sınıflandırmaya göre belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak, kullanılacak modele karar verilebilir. Fakat çalışmada hangi durumlarda hangi modelin kullanılacağı açık şekilde ifade edilmemiş ve bunu belirlemenin oldukça zor olduğuna değinilmiştir. Yine de oluşturulan yapıya göre problemi tanımlamak, sistemi anlamak ve model fikirleri oluşturmak açısından oldukça yararlı olacaktır.

**Tablo 3.1 : Belirsizlik özelliklerinin sınıflandırılması (Zimmermann, 2000)**

<b>1. Belirsizliğin sebepleri</b>
(a) Bilgi eksikliği
(b) Bilgi bolluğu (karmaşıklık)
(c) Çelişen bulgular
(d) Birden çok anlama gelme
(e) Ölçüm
(f) İnanç
<b>2. Elde edilebilir bilgi (girdi)</b>
(a) Sayısal
(b) Küme veya aralık değerli
(c) Sözel
(d) Sembolik
<b>3. Sayısal bilginin ölçeği</b>
(a) Nominal
(b) Sıralı
(c) Kardinal
<b>4. Elde edilmesi planlanan bilgi (çıktı)</b>
(a) Sayısal
(b) Küme veya aralık değerli
(c) Sözel
(a) Sembolik

Belirsizliği tanımladıktan ve nedenlerine değindikten sonra tez çalışmasında, incelenen konu olan TZ’deki belirsizlikler üzerinde durulabilir. Bir üretim veya TZ sistemini etkileyen birçok belirsizlik türü mevcuttur. Bunlar çevresel belirsizlik ve sistem belirsizliği olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Çevresel belirsizlikler incelenen sistemin dışından kaynaklanır. Taleplerdeki ve tedarik miktarlarında meydana gelebilecek belirsizlikler bu gruba girer. Sistem belirsizliği ise incelenen TZ’nin içsel yapısından kaynaklanan belirsizliklerdir. İşlem verimlilikleri, kaynak kullanım verimliliği, üretim sistemindeki hatalar sistem belirsizliği olarak adlandırılabilir (Mula ve diğ., 2006a). Şekil 3.5’de bahsedilen belirsizlik türleri örnekleriyle birlikte verilmiştir.



**Şekil 3.5 :** Tedarik zinciri planlamada belirsizlikler

Mula ve diğ. (2006a) üretim planlamada sistem belirsizliğini daha iyi ortaya koyabilmek için geliştirilmiş yöntem ve yaklaşımları içeren bir literatür araştırması yapmıştır. İncelediği çalışmaları Tablo 3.2’deki gibi sınıflandırmıştır.

**Tablo 3.2 :** Üretim planlamadaki belirsizlikleri modelleyen çalışmalar (Mula ve diğ. 2006a)

Araştırma konuları	Modelleme türü	Çalışma sayısı
1. Toplu Planlama	Yapay zeka modelleri	8
	Simülasyon modelleri	2
2. Hiyerarşik Üretim Planlama	Analitik modeller	3
3. Malzeme İhtiyaç Planlaması	Kavramsal modeller	9
	Analitik modeller	6
	Yapay zeka modelleri	4
	Simülasyon modelleri	10
4. Kapasite Planlama	Analitik modeller	4
	Simülasyon modelleri	1
5. Üretim Kaynakları Planlaması	Analitik modeller	7
	Yapay zeka modelleri	5
	Simülasyon modelleri	2
6. Envanter Yönetimi	Analitik modeller	10
	Yapay zeka modelleri	5
7. Tedarik Zinciri Planlaması	Kavramsal Modeller	1
	Analitik modeller	5
	Yapay zeka modelleri	5

Literatürde TZ’deki belirsizlikler ile ilgili üzerinde en fazla durulan konu talep belirsizliğidir. Talep, üretim planlama ve TZ yönetiminde karşılaşılan belirsizliklerin ana kaynağıdır. İmalat sektöründe kapasitelerin planlanması, hammadde siparişlerinin verilmesi ve oluşan talebe en kısa zamanda cevap verilebilmesi için taleplerin önceden tahmin edilmesi gerekir. Talep tahminleri geleceğe dair öngörüler içerdiği için her zaman belirsizlikleri içerisinde barındırır. Ayrıca taleplerin iyi planlanması firmaların karlılığını doğrudan etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Tahmin ile gerçekleşen miktarlar arasında farklılık olduğunda müşteri ihtiyaçları karşılanamaz veya elde çok miktarda stok tutulmak zorunda kalınır. Her iki durumda

da firmalar olası kârlarından feragat ederler (Guillen ve diğ., 2005; Gupta ve Maranas 2003; Karabuk ve Wu, 2003).

Geliştirilen modellere bakıldığında da talepteki belirsizliğe yönelik modellerin oldukça çok olduğu görülebilir (Örneğin Guillen ve diğ., 2005; Petrovic, 2001; Das ve Abdel-Malek, 2003; Liang, 2006; Leung ve diğ., 2006; Hsu ve Wang, 2001; Wang ve Fang, 2001; Petrovic ve diğ., 1998, 1999; Wang ve Shu, 2005; Chen ve Lee, 2004; Torabi ve Hassani, 2008; Xu ve diğ., 2008).

Tedarik zinciri planlamasında ürün fiyatlarında belirsizlik söz konusudur. Ürün fiyatı ve başka bir deyişle ürün değeri, Porter (1985) tarafından “Firmanın sunduklarına müşterinin ödemeyi kabul ettiği miktar” olarak tanımlanmıştır. Yani fiyat, firmanın kontrol edebileceği bir değişken olan maliyetten çok, dışsal bir faktör olan pazar değerine bağlıdır. Bu yüzden tahmini fiyat, uzun dönemli planlamada pazarla ve genel ekonomik durumla ilgili bilgileri kullanarak yapılması gereken bir tahmin sonucunda ortaya çıkar ve birçok etmene bağlı olduğu için belirsizlikleri içerisinde barındırır. Fiyatın belirlenmesi ile ilgili en önemli faktör taleptir. Planlama safhasında talep ve fiyat birlikte göz önüne alınabilir. Örneğin Lakhal ve diğ. (2001) fiyatı (ürün değerini) üretim miktarına bağlı kesikli bir fonksiyon ile ifade etmiştir. Gupta ve Maranas (2003) ürün fiyatlarındaki mevsimsel dalgalanmalar üzerinde durmuştur. Chen ve Lee (2004) alıcı ve satıcının fiyat tercihleri üzerindeki belirsizlikler ile ilgili bir model geliştirmiştir.

Talep ve ürün fiyatına paralel olarak firmanın aldığı hammaddeler için de benzer belirsizlikler söz konusudur. Bahsedilenler dışında hammadde fiyatına etki eden en önemli faktörler tedarikçi ilişkileri ve tedarikçi sayısıdır. Bununla birlikte alınan ürünlerdeki hata oranları ve verimli kullanılması gibi fiyattan bağımsız olarak maliyeti etkileyen unsurlar da mevcuttur (Das ve Abdel-Malek, 2003). Ürünlerin tedarik edilebilecekleri miktarlar belirsizlik içerebilmektedir. Petrovic (2001) dışarıdan tedarik edilen miktarların planlanan gibi olmayacağını varsayarak bir belirsizliğin söz konusu olabileceğini savunmuştur ve bu belirsizliği bulanık kümeler ile modellemiştir. Benzer şekilde Liu ve Sahinidis (1997) kimyasal süreç planlamada tedarik miktarlarında oluşabilecek belirsizlikleri bulanık mantık ile modellemiştir. Güler ve Bilgic (2009) ile Gurnani ve Gerchak (2007) tedarik için verilen sipariş ile teslim edilen miktar arasındaki farkı rastsal olarak varsaydıkları tedarik verimliliği ile tanımlamışlardır.



Her ürünü üretmek için gerekli ara ürün ve/veya hammaddelerin tespit edilmesinde belirsizlikler söz konusudur. Ürün ağacı matrisinin (BOM) genel olarak sabit olduğu düşünülebilir fakat bazen üretim tipine göre bir ürünü üretmek için gerekli bileşenler değişebilir. Örneğin sacın kesilerek şekil verilmesiyle oluşturulan bir üründe fire verilen sac miktarı değişkenlik gösterebilir. BOM'daki değişkenliğin modellenmesi için “verimlilik faktörü” kavramı kullanılır (Mula ve diğ., 2006a). Malzeme planlamada, BOM'un verimlilik oranıyla düzeltilmiş hali kullanılır.

Ürünleri üretmek için gerekli kaynak miktarları gerçek üretim sistemlerinde belirsizliğin çok olduğu alanlardan birisidir. Özellikle bir ürünü üretmek için harcanan işçilik süreleri belli sınırlar içerisinde olmakla birlikte değişkenlik göstermektedir. Benzer şekilde makine kullanım sürelerinde de ürüne ve makineye bağlı olarak değişkenlik söz konusu olmaktadır. İşçilik için tempo takdiri, makineler için verimlilik oranı gibi kavramlar kaynak kullanımı ile ilgili değişkenliği göstermek için kullanılır. Birim kaynak kullanım miktarına bağlı olarak toplam kaynak kapasitesinde değişkenlik söz konusu olabilir. Ayrıca kapasite artırımı kararlarının verilmesinde etkili olacak en önemli faktörlerden birisi olan yeni alınacak makinelerin kapasiteleri, özellikle yeni teknoloji kullanılıyorsa, önceden kesin olarak tahmin edilemez.

Tedarik zincirini gerçek hayata uygun olarak planlayabilmek için bahsedilen belirsizliklerin modellenmesi gerekir. Özellikle uzun vadeli stratejik planlamada belirsizlikler kesinlikle modele dâhil edilmelidir. Bu noktada hangi yöntem ile belirsizliğin modelleneceği cevaplanması gereken en önemli sorudur (Zimmerman, 2006).

Mula ve diğ. (2006a), belirsizlik altında üretim planlama ile ilgili modelleri ortaya çıkaran kapsamlı bir çalışma ortaya koymuştur. Üretim planlama alanındaki konular ve kullanılan modellere göre bir sınıflandırma yaparak mevcut çalışmalarını özetlemiştir. Tablo 3.2'de verilen sınıflandırma göz önüne alındığında belirsizlikleri modellemek için dört çeşit model kullanılmıştır: Kavramsal modeller, analitik modeller, yapay zeka modelleri, simülasyon modelleri. Kavramsal modellerden kastedilen klasik modellere belirsizliği içeren bazı kavramların eklenmesi ile oluşturulan yöntemlerdir. Örneğin klasik malzeme ihtiyaçları planlamasında “fire oranları”nın ilave edilmesiyle kavramsal bir model oluşturulabilir. Analitik modeller içerisinde matematik programlama ve stokastik modelleme girmektedir. Yapay zekâ

modelleri ile bulanık modelleme, yapay sinir ağı ve genetik algoritma gibi teknikler kastedilmektedir.

Çalışmaya göre analitik modelleme yaklaşımı, özelde de stokastik programlama en çok karşılaşılan yaklaşımdır. Birçok analitik model sadece tek yönlü bir belirsizliği dikkate almış ve basit yapılı üretim süreçlerinde denenmiştir. Birden çok belirsizliği dikkate alan ve çok sayıda ürünü içeren daha karmaşık süreçlerin modellenmesinde ise yapay zeka ve simülasyon daha çok kullanılmıştır. Yapay zekâ modellerinden bulanık kümeler teorisi üretim yönetimi için oldukça çekici bir araç olarak tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada kavramsal yaklaşımlara da değinilmektedir.

Mula ve diğ. (2006a)'ne göre incelenen konuyla ilgili gelecek çalışmalar şunlardır: (1) belirsizliği modellemek için yeni yaklaşımların araştırılması / geliştirilmesi, özellikle bulanık kümeler teorisi mevcut üretim sistemlerinin planlanması için uygun bir metodoloji olarak görülmektedir, (2) farklı kaynaklı ve tipteki belirsizlikler için yeni modellerin geliştirilmesi, tedarik çevrim süreleri, ulaştırma süreleri, miktarlardaki belirsizlikler, üretim sisteminin çökmesi, üretim yapısının değiştirilmesi gibi konular incelenebilir, (3) tüm belirsizlik türlerini bütünlük anlamında içeren modellerin geliştirilmesi, (4) farklı modelleme yaklaşımlarını gerçek hayat problemleri üzerinde karşılaştırmak için kullanılacak deneysel (ampirik) modellerin geliştirilmesi, (5) farklı imalat sistemleri için mevcut modellerin karşılaştırılmasını içeren yöntemlerin geliştirilmesi.

Kahraman (2006) endüstri mühendisliğinde bulanık kümeler uygulamalarını içeren oldukça yararlı bir eser ortaya koymuştur. Bu çalışma içerisinde Zimmermann (2006), bulanık kümelerin imalat yönetiminde kullanımını incelemiştir. İmalat yönetiminde üretim sistemlerinin karmaşıklığı, uzun vadede bilinmez gelecek için planlama yapma gereği, sistem hakkında bilginin belirsiz olması gibi nedenlerle belirsizlikle karşılaşılabilir. Yazar bulanık mantığın bu belirsizlikleri modelleyebilmek yaygın olarak kullanılması gerektiğini savunmuştur.

Yapılan literatür çalışması sonucunda bulanık mantığın belirsizlikleri modelleyebilmek için etkin bir yaklaşım olduğuna karar verilmiştir. Sonraki bölümde (Bölüm 4) bulanık mantık ve bulanık doğrusal programlama ile ilgili bilgiler ve bu konularla ilgili literatürde yer alan yöntemler incelenmiştir.

#### **4. BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELLERİ**

Bulanık DP modellerini inceleyebilmek için öncelikle bulanık mantık ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Daha sonra sırasıyla bulanık tek amaçlı DP modelleri ve çok amaçlı DP modelleri incelenmiştir.

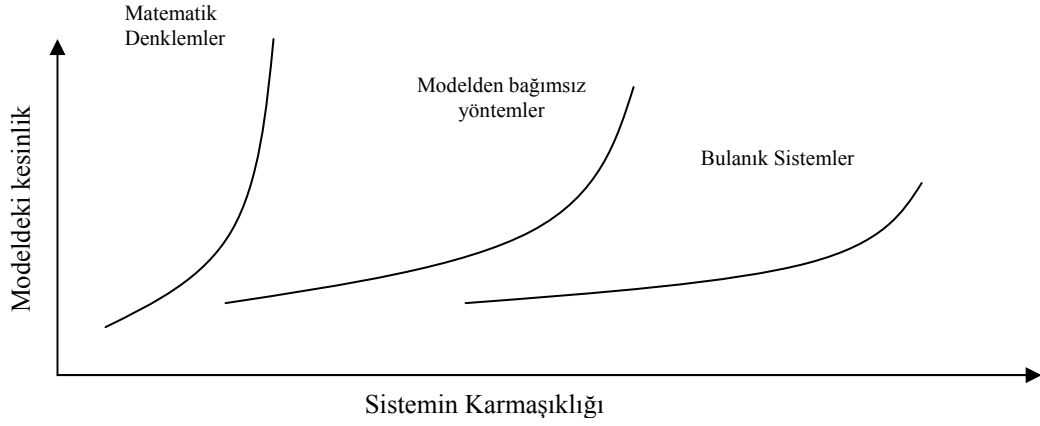
##### **4.1 Bulanık Mantık**

Gerçek hayat karmaşıktır, bu, özellikle içinde barındırdığı belirsizliklerden kaynaklanır. Belirsizliğin az olduğu problemler şimdiye kadar oluşturulan klasik modellerle iyi ifade edilmiş ve çözümler sayısal yöntemlerle üretilmiştir. Fakat belirsizliğin ve dolayısıyla karmaşıklığın ön plana çıktığı problemlere bilinçaltında insanlar tarafından çözüm aranır. Bilgisayarlar karmaşık ve belirsiz problemlerle baş etme yeteneğine sahip değildir. Burada önemli olan konu insanın karşılaştığı problemi veya incelediği sistemi muhakeme etme yeteneğidir. İnsanın bilgisayardan en azından şimdilik üstün olan özelliği yaklaşık olarak düşünme yetisine sahip olmasıdır. Karmaşık bir sistemin muhakeme edilmesinde insan problemi genel olarak inceleyip konuya ilişkin yaklaşık bir düşünce sahibi olur. Fakat bazen bu genel görüş çok karmaşık veya çok geniş sistemleri incelemeye yetmez. Bu yüzden karmaşık, belirsiz ve geniş sistemleri insan mantığı kullanarak modellemek gerekebilir. 1965'te Lotfi Zadeh tarafından önerilen "Bulanık Mantık" bahsedilen modelleme için geliştirilmiştir (Ross, 1995).

Lotfi Zadeh sistemlerin karmaşıklıkları ve bu sistemlerin ifade edilmelerindeki anlamlılık ve kesinlik arasındaki ilişkiyi şu şekilde açıklamıştır: "Bir sistemin karmaşıklığı arttıkça onun davranışıyla ilgili kesin ve anlamlı ifadeler kurma yeteneğimiz bir eşığe ulaşmaya kadar düşer. Bu eşikten sonra; kesinlik ve anlamlılık neredeyse birbirinden bağımsız özellik taşırlar" (Ross, 1995).

Sistem hakkında daha çok şey öğrendiğimizde, sistemin karmaşıklığı azalır ve sistemi anlamamız artar. Karmaşıklık azaldığında, hesaplama dayalı yöntemler tarafından elde edilebilen kesinlik sistemin modellenmesinde daha yararlı hale gelir. Sistemin karmaşıklık derecesinin elimizdeki sistem modellemelerine özgü

kesinlikleriyle ilgili ifade Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Karmaşıklığı az olan sistemler için, yani belirsizliği az olanlar için, kapalı formda matematiksel ifadeler sistemin tanımını kesin olarak verirler.



**Şekil 4.1 :** Sistemin karmaşıklığına karşı modelindeki kesinlik (Ross, 1995)

Biraz daha karmaşık olan, fakat anlamlı verinin bulunduğu sistemlerde, modelden bağımsız yöntemler (yapay sinir ağları gibi), mevcut veriyi örnek kabul ederek öğrenme yoluyla, belirsizliği azaltarak güçlü anlamlar sağlarlar. Son olarak, sayısal verinin az olduğu ve sadece belirsiz, kesin olmayan verilerin bulunduğu en karmaşık sistemlerde, bulanık mantık yürütme gözlenen girdi ve çıktı durumlarının arasına yaklaşık ifadesini koymamızı sağlayarak sistem davranışını anlamamızı sağlar. Bu yüzden kesin olmama durumu bulanık modellerde oldukça yüksektir. Bulanık sistemler, belirgin girdi ve çıktıya da uyarlanabilir, diğer sistemler gibi sonuçlar üretebilir. Şekil 4.1’de gösterilen tüm sistemler doğrusal olmayan denklemler, bulanık modeller veya sinir ağlarıyla modellenebilir. Önemli olan nokta; modelin tipiyle karşılaşılan problemdeki belirsizliğin karakteristiğinin uygun olmasıdır. Örneğin kesinliğin belli olduğu bir durumda, problemin en iyi şekilde anlaşılması için bulanık sistemler kesin algoritmalarından daha az etkindir. Bir başka açıdan, bulanık sistemler kesin olmayan ve belirsiz bilginin bulunduğu problemlerin modellenmesine odaklanabilir.

Kesin olmama ve belirsizlik, yetersiz bilgi gerçeğinin iki tamamlayıcı durumudur. Bilgi, bir kişi, birçok kişi, bir sistem ve/veya bir bilgisayar tarafından sağlanan enformasyon öğelerinin birleşimi ile oluşturulur. Enformasyon öğelerini birleşimini ortaya koyabilmek için yapısı (mantıksal yönü), içeriği (küme-teorik yönü) ve gerçek olaylarla ilişkisi (gerçeğe dayanma yönü) gibi üç eşdeğer yol vardır. Pratikte; bir enformasyon öğesi özelliği, ilgili nesnesi, değeri ve güvenilirliği ile tanımlanabilir.

Özellik, ilgilenilen nesneye bir değer ilişkilendiren bir fonksiyondur. Güvenilirlik bilgi ögesinin doğruluğunu ifade eder. Buna göre kesin olmama ve belirsizlik kavramları arasındaki fark kolayca ortaya konabilir. Kesin olmama enformasyon ögesinin içeriği (özellik, ilgili nesne ve değer) ile ilgiliyken belirsizlik bilgi ögesinin güvenilirliği ile ilgilidir (Dubois ve Prade, 1988).

Bir bilgi ögesinin belirsizliği olası, olabilir, gerekli, makul gibi niteleyicilerle değerlendirilebilir. Olasılık istatistiksel deneyler ve olayların oluşma sıklığı gibi fiziksel gerçekler ile öznel yargıları ifade etmek için kullanılabilir. Olabilir ve gerekli niteleyicilerinin ise fiziksel (bir faaliyeti yapabilmek için maddesel zorluk ölçüsü) ve insani (yapanın üstlenmediği öznel yargı) gibi iki yönü vardır. Gereklilik olabilirliğe göre daha güçlü bir ifadedir (Dubois ve Prade, 1988).

Kesin olmamayı ifade etmek için kesin, bulanık, dilsel belirsizlik gibi terimler mevcuttur. Bir enformasyon ögesinin değeri ile ilgili alt küme tekrar bölünemiyorsa kesin olarak ifade edilir. Bulanıklık ise eğer bir nesneye atanan değer kümelerinin sınırları tam bilinemiyorsa söz konusu olur. Dilsel belirsizlik konuşma dilinde aynı sözcüklerin farklı referans kümeleri veya farklı konular ile ilgili olmasından kaynaklanabilir (Dubois ve Prade, 1988).

Belirsiz ve kesin olmayan bilgi ile ilişkilendirilen ve  $\Omega$  referans kümesinin alt kümesi olan olaylar kümesi göz önüne alındığında  $A \subseteq \Omega$  olayının güvenilirliğini ölçmek üzere  $g(A)$  reel sayısı atanırsa eğer A kesin ise  $g(A) = 1$ , olabilirsiz (olanaksız) ise  $g(A)=0$  olur. Küme üyeleri arttıkça  $g$  fonksiyon değerinin artmasını sağlamak üzere bir aksiom tanımlanmıştır (Dubois ve Prade, 1988):

$$A \subseteq B \Rightarrow g(A) \leq g(B) \quad (4.1)$$

Bu tanımlara göre olabilirlik ve gereklilik ölçümleri tanımlanabilir. Olabilirlik güvenilirlik ölçüsü,  $\Pi$ , aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\forall A, B \quad \Pi(A \cup B) = \text{enb}(\Pi(A), \Pi(B)) \quad (4.2)$$

Gereklilik güvenilirlik ölçüsü,  $N$ , ise şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\forall A, B \quad N(A \cap B) = \text{enk}(N(A), N(B)) \quad (4.3)$$

Gereklilik ölçüsü olabilirlik ölçüsüne göre daha sıkı bir ölçüdür. Gereklilik ve olabilirlik ölçüleri arasındaki ilişkiler aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\begin{aligned}
\forall A \subseteq \Omega, \quad \Pi(A) &\geq N(A) \\
N(A) > 0 &\Rightarrow \Pi(A) = 1 \\
\Pi(A) < 1 &\Rightarrow N(A) = 0
\end{aligned} \tag{4.4}$$

Güvenilirlik ölçülerinden bir diğeri de bulanık kümelerdir. Sonraki bölümde bulanık kümeler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

#### 4.1.1 Bulanık kümeler

Klasik anlayışta küme, görüş ve düşüncelerin birbirinden tamamıyla ayrı ve belirli şeylerin bir bütün halinde toplanması olarak tanımlanmıştır (Altan, 1985). Klasik kümelerde elemanın uzaya ait olması ile ait olmaması arasındaki geçiş birdenbire ve kesindir. Bulanık kümelerde ise bu geçiş kademeli olarak sağlanabilir. Çeşitli üyelik dereceleri arasındaki bu geçiş bulanık kümelerin sınırlarının kesin olmayan belirsiz yapısından kaynaklanır. Bu yüzden bir elemanın üyeliğinin bulanık kümeyle ifade edilmesi kesin olmamasını ve belirsiz olmasını tarif etmeye çalışıldığının göstergesidir (Ross, 1995).

Konuya matematiksel açıdan bakıldığında; klasik kümelerde bir eleman bir kümeye aittir veya ait değildir. Buna göre  $x$  elemanın  $A$  kümesine üyelik durumu şu şekilde ifade edilir:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \tag{4.5}$$

Fakat bulanık kümelerde üyelik sadece ait olma ve ait olmama durumlarından ibaret değildir. Bulanık bir kümenin sınırları belirsiz olduğu için, bir elemanın o kümeye ait olması  $[0,1]$  aralığındaki herhangi bir değerle ifade edilir. Burada bahsedilen ait olma durumu bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu ile tanımlanır ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (x) \in [0,1] \tag{4.6}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$  simgesi  $x$  elemanın  $\tilde{A}$  bulanık kümesine üyelik derecesidir. Görüldüğü gibi bulanık kümelerin elemanları üyelik değerleri uzayında fonksiyon-teorik formda gösterilirler. Denklem (4.6)'da gösterildiği gibi bulanık bir küme üstündeki bir simgeyle klasik kümelerden ayrılır. Örneğin  $\tilde{A}$ , bulanık  $A$  kümesini ifade eder. Bu fonksiyon  $\tilde{A}$  bulanık kümesinin elemanlarını 0'dan 1'e kadar olan reel sayı

değerlerine eşler. Aşağıda bulanık kümenin klasik kümeden farkının ve bulanık kümenin ifade edilmesinin daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek verilmiştir.

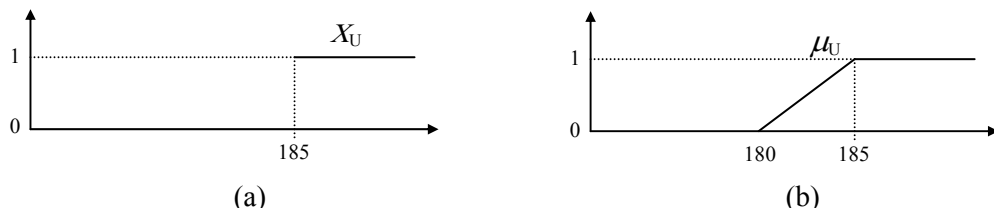
*Örnek 4.1.* (Kabak, 2003) Uzun boylu olma durumu göz önüne alınacak olunursa; 2 metre uzunluğundaki birine uzun boylu demek oldukça kolaydır. Fakat 185 cm boyundaki birine uzun demek farklı bakış açılarına göre değişebilir. Bunun nedeni uzun boylu olma sınırının belirsiz olmasıdır. Bu yüzden uzun boylu olma kümesini klasik kümelerle ifade etmek güç olabilir. Şöyle ki; uzun boylu olmayı klasik kümelerle ifade etmek için “185 cm ve üzeri boyu olanlar uzundur” gibi bir tanım yapmak gerekmektedir ve 185 cm üzerindeki uzun boylular kümesine ait olduğu söylenir.  $X_U$  uzun boylular kümesi;

$$X_U(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 185 \\ 0 & x < 185 \end{cases} \quad \text{olarak gösterilir.}$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta kümeye ait olma ile ait olmama arasındaki ani geçiştir. Yani bu tanımla 185 cm boyundaki birine “uzun” derken ondan sadece bir milimetre kısa birine (184,9 cm) “uzun değil” denilmiş olur. Böylece tanımdaki ve ölçümlerdeki belirsizlik göz ardı edilir. Bulanık kümelerde ise; bu geçiş ani ve birdenbire değildir, bahsedilen küme sözel olarak “yaklaşık 185 cm ve üzeri olanlar uzun boyludur” ile ifade edilebilir. Bu sözel ifadenin bulanık küme yaklaşımında matematiksel gösterimi aşağıdaki gibi olur.

$$\mu_U(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 185 \\ \frac{x-180}{5} & 185 > x \geq 180 \\ 0 & x < 180 \end{cases}$$

Görülebileceği gibi bulanık gösterimde geçiş ani olmamıştır. 184 cm boyundaki birinin kümeye üyelik derecesi  $\mu_U(184) = 0,8$  olur. Şekil 4.2’de örnekle ilgili üyelik fonksiyonları grafik üzerinde gösterilmiştir.



**Şekil 4.2 :** Uzun boylu olma üyelik fonksiyonları (a) klasik (b) bulanık kümeler

Bir bulanık kümenin tüm elemanlarının gösterimi, elemanlarının kesikli veya sürekli olmasına göre değişir. Bir bulanık kümenin elemanlarının ve üyelik derecelerinin kesikli ve sonlu bir fonksiyonla ifade edildiği durumlarda;

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \right\}, \quad (4.7)$$

Elemanlar ve üyelik derecelerinin sürekli ve sonsuz bir fonksiyonla ifade edildiği durumlarda ise; bulanık küme aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \right\} \quad (4.8)$$

Her iki gösterimde, yatay çizgi bölme çizgisi değil, sınır çizgisidir. Her bir terimdeki pay, paydada gösterilen elemanın  $\tilde{A}$  bulanık kümesindeki üyelik derecesidir. Birinci gösterimdeki toplama sembolü ( $\Sigma$ ), cebirsel toplam değil, daha çok tüm elemanların bir araya getirilmesini; aynı şekilde artı (+) sembolü de cebirsel bir toplamı değil, fonksiyon-teorik birleşimi ifade eder. İkinci gösterimdeki entegral sembolü cebirsel entegral değil, sürekli değişkenlerin fonksiyon-teorik birleşimini ifade eder.

Klasik küme teorisinde kullanılan küme işlemleri bulanık kümelerde farklı şekillerde yapılmaktadır. Bulanık küme işlemlerini tanımlamak için  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$ , X uzayında tanımlı iki bulanık küme olsun, bu uzaya ait bir eleman  $x$  için birleşim, kesişim ve tamamlayıcı işlemleri Ross (1995) ile Chen ve Hwang (1992)'da şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\text{Birleşim} \quad \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \text{enb} \{ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x) \} \quad (4.9)$$

$$\text{Kesişim} \quad \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \text{enk} \{ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x) \} \quad (4.10)$$

$$\text{Tamamlayıcı} \quad \mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.11)$$

X uzayında tanımlanmış herhangi bir  $\tilde{A}$  bulanık kümesi bu uzayın alt kümesidir. Tanımlardan çıkarılan diğer bir sonuç boş kümeye ait bir x elemanının üyelik derecesi, klasik kümelerde olduğu gibi, 0; ve herhangi bir x elemanının X uzayına üyelik derecesi 1'dir.



Denklem (4.9) ve (4.10)'da tanımlarda birleşim ve kesişim işlemleri en büyük ve en küçük operatörleriyle gerçekleştirilmiştir. Farklı kaynaklarda bu işlemleri gerçekleştirmek için farklı yöntemler bulunabilmektedir.

#### 4.1.2 Genelleme ilkesi

Mühendislikte, matematikte ve birçok bilim dalında fonksiyonlar, modellemenin önemli elemanlarından. Fonksiyon kavramı da bağıntı üzerine kurulmuştur. Bir A kümesinin elemanlarına B kümesinin tek bir elemanını karşılık getiren bir bağıntıya A kümesinin B kümesine tasviri; A kümesini B kümesine dönüştüren tasvire de fonksiyon denir (Altan, 1985). İlk defa Zadeh tarafından geliştirilen genelleme ilkesinin amacı klasik matematikteki fonksiyon kavramının bulanık küme ve sayılar için genelleştirilmesidir (Ross, 1995; Carlsson ve Fullér, 2002).

Genelleme ilkesinin tanımı aşağıda verilmiştir (Chen ve Hwang, 1992).

Verilen bir  $f$  fonksiyonunun  $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$  deki elemanları  $Y$  uzayına eşlesin  $\{y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)\}$  burada;  $y \in Y$  ve  $x_i \in U_i, \forall i$  'dir} yani;

$$f: U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \longrightarrow Y.$$

$Y$  içerisindeki  $\tilde{M}$  bulanık kümesi şu şekilde tanımlanır:

$$\tilde{M} = \{(y, \mu_{\tilde{M}}(y)) \mid y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), (x_1, x_2, \dots, x_n) \in U\} \quad (4.12)$$

burada

$$\mu_{\tilde{M}}(y) = \begin{cases} y = \sup_{f(x_1, x_2, \dots, x_n)} \text{enk}(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)), & \text{eger } f^{-1} \neq \emptyset \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.13)$$

Belirtilen formüller örnek üzerinde incelenmiştir.

Örnek 4.2 Aşağıdaki gibi  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  tanımlanmıştır.

$x_1, x_2$	1	2	3	4	5	6	7
$\mu_{\tilde{A}}(x_1)$	0	0,1	0,5	0,8	1	0,6	0,3
$\mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0	0,9	1	0,4	0,7	0,8	0

Klasik cebirsel fonksiyon olan  $f(x) = x_1 + x_2$  dikkate alınarak aşağıdaki sonuç elde edilir:

$y = x_1 + x_2$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\mu_{\tilde{M}}(y)$	0	0	0,1	0,5	0,8	0,9	1	0,7	0,8	0,8	0,6	0,3	0

Burada örneğin,  $\mu_{\tilde{M}}(9)$  'u hesaplamak için öncelikle  $x_1 + x_2 = 9$ 'u sağlayan  $(x_1, x_2)$  çiftleri bulunur. Bunlar (2,7); (7,2); (3,6);(6,3);(4,5);(5,4) çiftleridir. Belirlenen her bir çift için üyelik derecelerinin en küçüğü alınır ve daha sonra tüm çiftlerden elde edilen değerlerin en büyüğü alınarak sonuç elde edilir, yani:

$(x_1, x_2)$	(2; 7)	(7; 2)	(3; 6)	(6; 3)	(4; 5)	(5; 4)
$\mu_{\tilde{A}}(x_1)$	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1
$\mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0	0,9	0,8	1	0,7	0,4
$\mu_{\tilde{A}}(x_1) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x_2)$	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,4

Son olarak çiftlerin kesişiminden elde edilen değerlerin en büyüğü alınır.

$$\mu_{\tilde{M}}(9) = \text{enb}(0,1 ; 0,3 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7; 0,4) = 0,7 \text{ olarak bulunur.}$$

### 4.1.3 Bulanık sayı aritmetiği

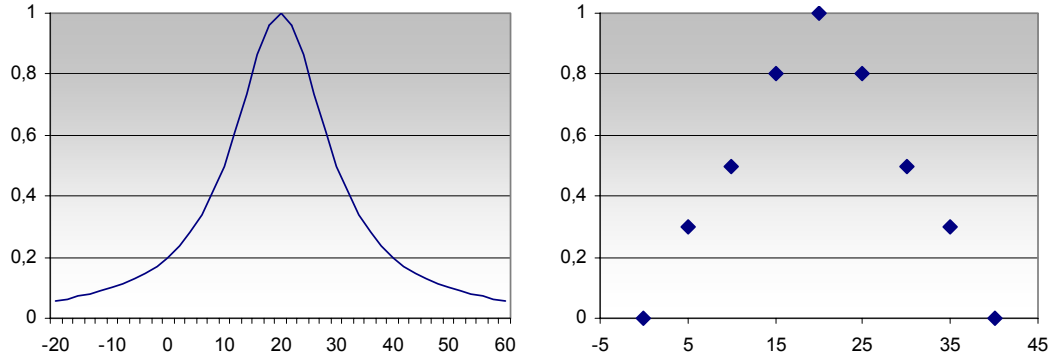
Bulanık sayı aritmetiği genelleme ilkesinin doğrudan bir uygulamasıdır. Bu bölümde ilk önce bulanık sayının ne olduğu tanımlanmış daha sonra bulanık sayılarda toplama çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri ele alınmıştır.

#### 4.1.3.1 Bulanık sayı

Bulanık sayılar kesin olmayan nümerik büyüklüklerin ifade edilmesinde kullanılır. Örneğin “yaklaşık 5”, “ 8’in civarı”, “birkaç” gibi belirsizlik arz eden büyüklükler için bulanık sayılar kullanılır. Chen ve Hwang (1992)’ta bulanık sayının tanımı şu şekilde yapılmıştır: “herhangi bir  $M = \{(x, \mu_{\tilde{M}}(x))\}$  alt kümesi, burada  $x$ , R reel sayılar kümesinde  $\mu_{\tilde{M}}(x)$  de  $[0,1]$  aralığında değerler alır”. Üyelik fonksiyonu M'nin belli bir x' sayısını alma doğruluk derecesini belirtir. İki bulanık sayı yalnız ve yalnız üyelik fonksiyonları eşit ise eşittir. Bulanık sayılar kesikli veya sürekli olabilirler. Örnek olarak “yaklaşık 20” bulanık sayısı kesikli ve sürekli ifadeleri verilmiş ve Şekil 4.3'te şekil üzerinde gösterilmiştir (Kabak, 2003).

Kesiklikli:  $M = \{(0;0);(5; ,3);(10; ,5);(15; ,8);(20; 1);(25; ,8);(30; ,5);(35; ,3);(40; 0)\}$

Sürekli:  $M = \{(x, \mu_{\tilde{M}}(x)) \mid x \in \mathbb{R}, \mu_{\tilde{M}}(x) = \left(1 + \left(\frac{x-20}{10}\right)^2\right)^{-1}\}$



**Şekil 4.3 :** “yaklaşık 20” bulanık sayısının sürekli ve kesikli gösterimleri

Sonraki bölümlerde bulanık sayılar arasındaki aritmetik işlemler irdelenmiştir.

#### 4.1.3.2 Bulanık sayılarda toplama

Bulanık sayılar iki farklı yöntemle toplanabilir: (i)  $\alpha$ -kesim kullanılması ve (ii) enb-  
enk operatörü kullanılması.

(i)  $\alpha$ -kesim kullanılması. Bu yöntemde önce M ve N bulanık sayıları için güven aralıkları kullanılarak  $\alpha$  düzey kümeleri tanımlanır.

$$M_\alpha = [m_1, m_2] \text{ ve } N_\alpha = [n_1, n_2] \text{ olsun,}$$

M ve N bulanık sayılarının toplamı aşağıdaki gibi bulunur:

$$M_\alpha (+) N_\alpha = [m_1 + n_1, m_2 + n_2] \quad (4.14)$$

*Örnek 4.3.* (Kabak, 2003) M “yaklaşık 9” N de “yaklaşık 4” bulanık sayıları olsun ve şu şekilde tanımlansın:

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{4}, & 5 < x \leq 9 \\ \frac{13-x}{4}, & 9 < x \leq 13 \\ 0, & x > 13 \end{cases} \quad \mu_{\tilde{N}}(y) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ \frac{x-2}{2}, & 2 < x \leq 4 \\ \frac{6-x}{2}, & 4 < x \leq 6 \\ 0, & x > 6 \end{cases}$$

Şimdi  $M_\alpha = [m_1, m_2]$  ve  $N_\alpha = [n_1, n_2]$  ifadeleri elde edilmelidir. Öyle ki; bazı  $\alpha$  düzeyinde  $x$ , hem  $m_1$  hem de  $m_2$  ve  $y$  de hem  $n_1$  hem de  $n_2$  olabilmelidir. Bu yüzden eğer  $\mu_{\tilde{M}}(x)$  için  $\alpha = (x-5) / 4$  alınırsa,  $\alpha = (m_1-5) / 4$  ; ( $m_1 = 4\alpha + 5$ ) elde edilir. Benzer hesaplamalarla  $M_\alpha = (4\alpha + 5 ; 13 - 4\alpha)$ ,  $N_\alpha = (2\alpha + 2 ; 6 - 2\alpha)$  bulunur.

$M + N = [(4\alpha+5) + (2\alpha+2) ; (13-4\alpha) + (6-2\alpha)] = (6\alpha+7 ; 19-6\alpha)$  olur.

Toplam  $T_\alpha$  olarak alınıp, m ve n'leri bulmak için yapılan işlemlerin tersi uygulanırsa;

$6\alpha+7 = t_1 ; 19-6\alpha = t_2$  denklemleri çözülür,  $\alpha = t_1-7 / 6$  ve  $\alpha = 19- t_2 / 6$  bulunur ve

$$\mu_{\tilde{T}}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 7 \\ \frac{z-7}{6}, & 7 < z \leq 13 \\ \frac{19-z}{6}, & 13 < z \leq 19 \\ 0, & z > 19 \end{cases} \text{ olarak elde edilir.}$$

(ii) *enb-enk operatörü kullanılması*  $\forall x,y,z, \in R$  için M ve N bulanık sayılarının toplamı şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_{M(+N)}(z) = \underset{z=x+y}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)) \quad (4.15)$$

Görüldüğü gibi yukarıdaki formül genelleme ilkesinin bir örneğidir. Enb-enk operatörü kullanılarak bir örnek çözülmüştür.

*Örnek 4.4.* (Kabak, 2003) M “ 4’e yakın tam sayılar” N de “ 6’ya yakın tam sayılar olsun ve üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi verilsin:

x, y	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\mu_{\tilde{M}}(x)$	0	0,3	0,5	0,8	1	0,8	0,6	0,2	0,1	0	0	0
$\mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0	0,1	0,2	0,6	1	0,9	0,7	0,4	0,1	0

$\mu_{M(+N)}(z)$ ’yi hesaplamak için  $z = x+y$ ’yi sağlayan tüm (x,y) çiftleri bulunur ve çiftlerin kendi içlerinde en küçük değerleri alınır. Tüm çiftlerden gelen en küçük değerlerin en büyüğü aranan sonuçtur. Örneğin  $\mu_{M(+N)}(11)$  için toplamı 11 olan çiftler (0;11), (11;0), (1;10), (10;1), (2;9), (9;2), (8;3), (3;8), (4;7), (7;4), (5;6), (6;5) bu çiftlerin üyelik dereceleri ve en küçük değerleri (kesişimleri) aşağıdaki gibi belirlenir.

(x ; y)	(0;11)	(11;0)	(1;10)	(10;1)	(2;9)	(9;2)	(8;3)	(3;8)	(4;7)	(7;4)	(5;6)	(6;5)
$\mu_{\tilde{M}}(x)$	0	0	0,3	0	0,5	0	0,1	0,8	1	0,2	0,8	0,6
$\mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0,1	0	0,4	0	0,1	0,7	0,9	0,2	1	0,6
$\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0,1	0	0,4	0	0,1	0,7	0,9	0,2	0,8	0,6

En alt satırdaki değerlerin en büyüğü olan 0,9 aranan  $\mu_{M(+N)}(11)$  in değeridir.

Aynı işlemler uygulanarak  $\mu_{M(+N)}(z)$  şu şekilde hesaplanmıştır.

Z=x+y	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$\mu_{M(+N)}(z)$	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1

Chen ve Hwang (1992)'ta yukarıda tanımları verilen iki toplama yönteminin de aynı işlemi tarif ettikleri ispat edilmiştir. Ayrıca aynı kaynakta bulanık sayılar üzerine tanımlanan toplama işleminin değişme, birleşme, etkisiz eleman ve simetrik olmama özelliklerinin olduğu söylenmektedir.

#### 4.1.3.3 Bulanık sayılarda çıkarma

Toplamada olduğu gibi çıkarmada da aynı mantıkla tanımlanan iki yöntem vardır.

(i)  $\alpha$ -kesim kullanılması. Bu yöntemde önce M ve N bulanık sayıları için güven aralıklarını kullanarak  $\alpha$  düzey kümeleri tanımlanır.

$$M_\alpha = [m_1, m_2] \text{ ve } N_\alpha = [n_1, n_2] \text{ olsun,}$$

M ve N bulanık sayılarının farkı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$M_\alpha (-) N_\alpha = [m_1 - n_1, m_2 - n_2] \quad (4.16)$$

Örnek 4.5. (Kabak, 2003) Örnek 4.3'te tanımlanan M ve N bulanık sayılarının farkı bulunacaktır. Aynı örnekte bu bulanık sayıların  $\alpha$  düzey kümeleri  $M_\alpha = (4\alpha + 5 ; 13 - 4\alpha)$ ,  $N_\alpha = (2\alpha + 2 ; 6 - 2\alpha)$  olarak bulunmuştu.

$$M - N = [(4\alpha + 5) - (2\alpha + 2) ; (13 - 4\alpha) - (6 - 2\alpha)] = (2\alpha + 3 ; 7 - 2\alpha) \text{ olur.}$$

Fark  $Z_\alpha$  olarak alınırsa;  $2\alpha + 3 = z_1$  ;  $7 - 2\alpha = z_2$  denklemleri çözülür,  $\alpha = z_1 - 3 / 2$  ve  $\alpha = 7 - z_2 / 2$  bulunur ve

$$\mu_{z_\alpha}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 3 \\ \frac{z-3}{2}, & 3 < z \leq 5 \\ \frac{7-z}{2}, & 5 < z \leq 7 \\ 0, & z > 7 \end{cases} \text{ olarak elde edilir.}$$

(ii) *enb-enk operatörü kullanılması*:  $\forall x, y, z, \in \mathbb{R}$  için M ve N bulanık sayılarının toplamı (4.17)'de tanımlanmıştır:

$$\mu_{M(-)N}(z) = \text{enb}_{z=x-y}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)) \quad (4.17)$$

N bulanık sayısının görüntüsü  $\mu_{-N}(x) = \mu_N(-x)$ ,  $\forall x$ , şeklinde verildiği için (4.17)'deki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\mu_{M(-)N}(z) = \underset{z=x+(-y)}{enb} (\mu_M(x) \wedge \mu_N(-y)) = \underset{z=x+y}{enb} (\mu_M(x) \wedge \mu_{-N}(y)) \quad (4.18)$$

M ve N bulanık sayılarının farkı  $\{ M(-)N \}$ ; N'nin görüntüsüyle M'nin toplamına  $\{M(+)(-N)\}$  eşdeğerdir.

*Örnek 4.6* (Kabak, 2003) Örnek 4.4'te tanımlanan M ve N sayıları için M(-)N bulunmak istensin.  $\mu_{M(-)N}(z)$ 'yi hesaplamak için  $z = x-y$  'yi sağlayan tüm (x,y) çiftleri bulunur ve çiftlerin kendi içlerinde en küçük değerleri alınır. Tüm çiftlerden gelen en küçük değerlerin en büyüğü aranan sonuçtur. Örneğin  $\mu_{M(-)N}(2)$ 'yi hesaplamak için  $x-y = 2$ 'i sağlayan çiftler (2,0), (3,1), (4,2), (5,3), (6,4), (7,5), (8,6), (9,7), (10,8) olarak bulunur. Bu çiftlerin üyelik dereceleri ve kesişimlerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi oluşturulur.

(x ; y)	2;0	3;1	4;2	5;3	6;4	7;5	8;6	9;7	10;8	11;9
$\mu_{\tilde{M}}(x)$	0,5	0,8	1	0,8	0,6	0,2	0,1	0	0	0
$\mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0	0,1	0,2	0,6	1	0,9	0,7	0,4
$\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)$	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,1	0	0	0

Son olarak bulunan en küçük değerlerin en büyüğü alınır ve  $\mu_{M(-)N}(2) = 0,2$  olarak bulunur. Aynı işlemler uygulanarak  $\mu_{M(-)N}(z)$  şu şekilde hesaplanmıştır.

Z=x-y	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
$M_{M(-)N}(z)$	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1	0,8	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1

#### 4.1.3.4 Bulanık sayılarda çarpma

Bulanık sayıların çarpımı biraz karmaşıktır çünkü işaretleri dikkate alınmalıdır. Bu karmaşıklıktan kurtulmak için çarpanların her ikisinin de pozitif bulanık sayılar olduğu kabul edilmiştir. M ve N gibi iki bulanık sayının çarpılmasında Z, çarpım olsun.  $\mu_Z(z)$  en üst noktanın ( $\mu_Z(z)=1$ ) solunda tekdüze artan, sağında tekdüze azalan olduğu için çarpma işlemi aşağıdaki yolla yapılır:

- (1) Solda,  $xy \leq z$  durumunu sağlayan tüm (x,y) çiftleri göz önüne alınır. Yani  $\mu_Z(z)$ 'nin sol tarafı şu şekilde tanımlanır:

$$\mu_{M(-)N}(z) = \underset{xy \leq z}{enb} (\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)) \quad (4.19a)$$

(2) Sağda ise,  $xy \geq z$  durumunu sağlayan tüm  $(x,y)$  çiftleri göz önüne alınır.  $\mu_z(z)$ 'nin sağ tarafı şu şekilde tanımlanır:

$$\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{xy \geq z}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)) \quad (4.19b)$$

(3) Süreci basitleştirmek için  $\mu_M(x)$  veya  $\mu_N(y)$  lerin sıfıra eşit olduğu çiftler elenir ve  $\mu_{M(\cdot)N}(z) = 1$  durumundaki  $z$  hesaplanır. Böylece sağ taraf sol taraf ayrımı yapılmış olur.

Eğer  $M$  ve  $N$  her ikisi de sürekli üyelik fonksiyonlarına sahiplerse, aralarındaki çarpma işlemi şu şekilde tanımlanır:

$$M_\alpha(\cdot) N_\alpha = [m_1 \cdot n_1, m_2 \cdot n_2] \quad (4.20)$$

denklemler (4.19) ve (4.20) eşdeğerdir.

*Örnek 4.7* (Kabak, 2003) Örnek 4.4'te tanımlanan  $M$  ve  $N$  bulanık sayılarının çarpımı hesaplanacaktır. Önce  $\mu_{M(\cdot)N}(z) = 1$  durumunu sağlayan  $z$  bulunur. Kolayca görülebileceği gibi  $z = 24$  olunca çarpım 1 olur. Hesaplama kolaylığı için Tablo 4.1 hazırlanmıştır. Tablo 4.1'de en üst satırda  $\mu_M(x) \neq 0$  olan  $x$  değerleri, en soldaki sütunda da  $\mu_N(y) \neq 0$  olan  $y$  değerleri bulunmaktadır. Tablonun içinde üstteki  $x$  ve soldaki  $y$ 'ler için ilk değer  $xy$ , ikinci değer ise  $(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$ 'dir.

**Tablo 4.1** : Örnek 4.4'te verilen bulanık sayıların çarpımı

$y \setminus x$	1	2	3	4	5	6	7	8
3	3 / 0,1*	6 / 0,1*	9 / 0,1*	12 / 0,1	15 / 0,1	18 / 0,1	21 / 0,1	24 / 0,1
4	4 / 0,2*	8 / 0,2*	12 / 0,2*	16 / 0,2	20 / 0,2	24 / 0,2	28 / 0,2	32 / 0,1
5	5 / 0,3*	10 / 0,5*	15 / 0,6	20 / 0,6	25 / 0,6	30 / 0,6	35 / 0,2	40 / 0,1
6	6 / 0,3*	12 / 0,5*	18 / 0,8	24 / 1	30 / 0,8	36 / 0,6	42 / 0,2	48 / 0,1
7	7 / 0,3*	14 / 0,5	21 / 0,8	28 / 0,9	35 / 0,8	42 / 0,6	49 / 0,2	56 / 0,1!
8	8 / 0,3*	16 / 0,5	24 / 0,7	32 / 0,7	40 / 0,7	48 / 0,6	56 / 0,2!	64 / 0,1!
9	9 / 0,3*	18 / 0,4	27 / 0,4	36 / 0,4	45 / 0,4	54 / 0,4!	63 / 0,2!	72 / 0,1!
10	10 / 0,1*	20 / 0,1	30 / 0,1	40 / 0,1	50 / 0,1	60 / 0,1!	70 / 0,1!	80 / 0,1!

$z < 24$  için  $\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{xy \leq z}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$  dikkate alınmıştır. Örneğin  $\mu_{M(\cdot)N}(12)$ 'yi hesaplamak için  $xy \leq 12$  'yi sağlayan (1;3), (1;4), (1;5), (1;6), (1;7), (1;8), (1;9), (1;10), (2;3), (2;4), (2;5), (2;6), (3;3), (3;4), (4;2) (tabloda \* işaretli) çiftlerinin  $(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$  değerlerinin en büyüğü alınmıştır.  $\mu_{M(\cdot)N}(12) = 0,5$  bulunmuştur.

$z > 24$  için  $\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{xy \geq z}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$  dikkate alınmıştır. Örneğin  $\mu_{M(\cdot)N}(51)$ 'i hesaplamak için  $xy \geq 51$ 'i sağlayan (7;8), (8;7), (8;8), (9;6), (9;7), (9;8), (10;6), (10;7), (10;8) (tabloda ! işaretli) çiftlerinin  $(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$  değerlerinin en büyüğü alınarak  $\mu_{M(\cdot)N}(51) = 0,4$  bulunmuştur. Diğer  $z$ 'ler için de benzer işlemler yapılırsa Tablo 4.2'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 4.2 :** Örnek 4.4'te verilen bulanık sayıların çarpım sonuçları

Z	$\mu_Z(Z)$	Z	$\mu_Z(Z)$	Z	$\mu_Z(Z)$	Z	$\mu_Z(Z)$	Z	$\mu_Z(Z)$	Z	$\mu_Z(Z)$	Z	$\mu_Z(Z)$
3	0,1	16	0,6	29	0,8	42	0,6	55	0,2	68	0,1		
4	0,2	17	0,6	30	0,8	43	0,6	56	0,2	69	0,1		
5	0,3	18	0,8	31	0,8	44	0,6	57	0,2	70	0,1		
6	0,3	19	0,8	32	0,8	45	0,6	58	0,2	71	0,1		
7	0,3	20	0,8	33	0,8	46	0,6	59	0,2	72	0,1		
8	0,3	21	0,8	34	0,8	47	0,6	60	0,2	73	0,1		
9	0,3	22	0,8	35	0,8	48	0,6	61	0,2	74	0,1		
10	0,5	23	0,8	36	0,7	49	0,4	62	0,2	75	0,1		
11	0,5	24	1	37	0,7	50	0,4	63	0,2	76	0,1		
12	0,5	25	0,9	38	0,7	51	0,4	64	0,1	77	0,1		
13	0,5	26	0,9	39	0,7	52	0,4	65	0,1	78	0,1		
14	0,5	27	0,9	40	0,7	53	0,4	66	0,1	79	0,1		
15	0,6	28	0,9	41	0,6	54	0,4	67	0,1	80	0,1		

Tablo 4.2'de belirtilmeyen  $z$ 'ler ( $z \in Z$ ) için ( $z < 3$  ve  $z > 80$ )  $\mu_Z(z) = 0$ 'dir.

#### 4.1.3.5 Bulanık sayılarda bölme

M gibi pozitif bir bulanık sayının N gibi pozitif bir bulanık sayıya bölümü;

$M(\cdot)N$ 'nin sol tarafında;

$$\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{z \geq x/y}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)), \forall x,y,z \text{ için.} \quad (4.21a)$$

$M(\cdot)N$ 'nin sağ tarafında;

$$\mu_{M(\cdot)N}(z) = \text{enb}_{z \leq x/y}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)), \forall x,y,z \text{ için.} \quad (4.21b)$$

Eğer M ve sürekli üyelik fonksiyonlarına sahipse;

$$M_\alpha(\cdot)N_\alpha = [m_1/n_2, m_2/n_1], \quad n_2 > 0 \quad (4.22)$$

şeklinde tanımlanır.

Bölme işlemi çarpmanın bir başka şeklidir. Şöyle ki;  $M(\cdot)N = M(\cdot)N^{-1}$  dir. Burada N'nin tersi olan  $N^{-1}$  şu şekilde tanımlanır:



$$\mu_N^{-1}(y) = \mu_N(1/y) \quad (4.23)$$

veya

$$N_\alpha^{-1} = [1/n_2, 1/n_1] \quad (4.24)$$

Buna göre (4.21) yeniden düzenlenirse;

$$\mu_{M(\cdot)N^{-1}}(z) = \underset{z \geq x(1/y)}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(1/y)) = \underset{z \geq xy}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_{N^{-1}}(y)) \quad (4.25)$$

$$\mu_{M(\cdot)N^{-1}}(z) = \underset{z \leq xy}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_N(1/y)) = \underset{z \leq xy}{enb}(\mu_M(x) \wedge \mu_{N^{-1}}(y)) \quad (4.26)$$

elde edilir ve sürekli üyelik fonksiyonlular için (4.22) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$M_\alpha(\cdot)N_\alpha^{-1} = [m_1 \cdot (1/n_2), m_2 \cdot (1/n_1)] \quad (4.27)$$

*Örnek 4.8* (Kabak, 2003) Örnek 4.3'te tanımlanan sürekli M ve N bulanık sayılarının bölümü hesaplanacaktır.  $M_\alpha = (4\alpha+5 ; 13-4\alpha)$ ,  $N_\alpha = (2\alpha+2 ; 6-2\alpha)$  ise;

$$M_\alpha(\cdot)N_\alpha = \left( \frac{4\alpha+5}{6-2\alpha}, \frac{2\alpha+2}{13-4\alpha} \right) \text{ olur.}$$

$M_\alpha(\cdot)N_\alpha = Z_\alpha$  olarak kabul edilirse;

$$\frac{4\alpha+5}{6-2\alpha} = z \text{ 'ten } \alpha = \frac{6z-5}{14+2z}, \quad \frac{2\alpha+2}{13-4\alpha} = z \text{ 'ten de } \alpha = \frac{13z-2}{2+4z} \text{ elde edilir ve}$$

$$\mu_Z(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 5/6 \\ \frac{6z-5}{14+2z}, & 5/6 < z \leq 9/4 \\ \frac{13z-2}{2+4z}, & 9/4 < z \leq 13/2 \\ 0, & z > 13/2 \end{cases} \text{ olarak bulunur.}$$

#### 4.1.4 Özel bulanık sayılar

Birçok durumda genelleme ilkesine göre işlem yapmak çözüm sürecini hantallaştırabilir. Bu yüzden karmaşık işlemleri kolaylaştırmak için özel bulanık sayılar tanımlanmıştır. Sol-Sağ bulanık sayılar, üçgen bulanık sayılar ve yamuk bulanık sayılar en çok kullanılan özel bulanık sayılardır.

#### 4.1.4.1 Sol-Sağ bulanık sayılar

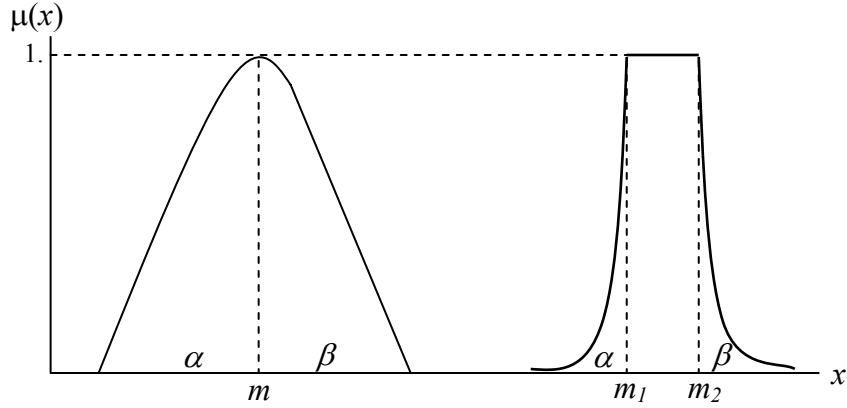
Sağ ya da sol olarak gösterilen bir fonksiyon yalnız ve yalnız şu özellikleri taşıyorsa bulanık sayıların referans fonksiyonudur: (1)  $Sol(x) = Sol(-x)$ ; (2)  $Sol(0)=1$ ; (3)  $Sol$   $[0,+\infty)$  aralığında artmayan.

Bir  $M$  bulanık sayısı Sol-Sağ özelliği taşıması için aşağıdaki gibi tanımlanmalıdır:

$$\mu_{\bar{M}}(x) = \begin{cases} Sol((m-x)/\alpha), x \leq m, \alpha > 0, \\ Sağ((x-m)/\beta), x \geq m, \beta > 0, \end{cases} \quad (4.28)$$

Burada  $m$ ,  $M$  bulanık sayısının orta değeri ve  $\alpha, \beta$  ise sırasıyla sol ve sağ uçlar arası genişliklerdir.  $\alpha=\beta=0$  olursa  $M$  klasik  $m$  sayısına eşit olur. Genelde  $M$  bulanık sayısı

$M=(m, \alpha, \beta)$  olarak yazılır.



Şekil 4.4 : Sol-Sağ bulanık sayılar (Chen ve Hwang, 1992)

Eğer tepe tek değilse yani bulanık sayıda üyelik derecesi 1'e eşit olan değerler birden fazla ise Sol-Sağ bulanık sayısı yassı bir alana sahip olur. Bu şu şekilde yazılabilir:  $M'=(m_1, m_2, \alpha, \beta)$ . Şekil 4.4'te sol-sağ bulanık sayılar grafik üzerinde gösterilmiştir

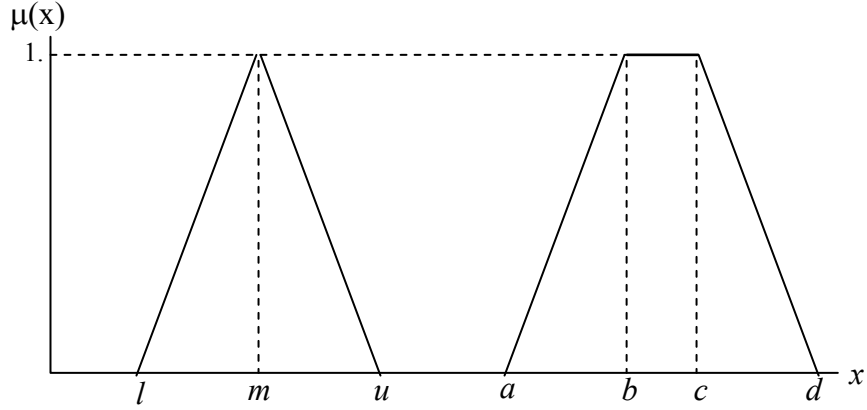
#### 4.1.4.2 Üçgen ve yamuk bulanık sayılar

$x, l, m, u \in \mathbb{R}$  için  $M$  üçgen bulanık sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır (Şekil 4.5):

$$\mu_{\bar{M}}(x) = \begin{cases} 0, x \leq l, \\ (x-l)/(m-l), l < x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), m < x \leq u, \\ 0, x > u. \end{cases} \quad (4.29)$$

(4.29)'da tanımlanan  $M$  bulanık sayısı  $l$  ve  $u$  alt ve üst sınırlar olmak üzere  $M = (l, m, u)$  şeklinde ifade edilir. Eğer birden çok tepe noktası varsa  $M$ 'ye, yamuk bulanık

sayı denir ve  $M=(a,b,c,d)$  şeklinde ifade edilir.  $[b,c]$  aralığında üyelik derecesi 1'dir,  $a$ 'dan küçük ve  $d$ 'den büyük değerler için ise üyelik derecesi 0'a eşittir. Şekil 4.5'te örnek bir yamuk bulanık sayı grafik üzerinde gösterilmiştir.



**Şekil 4.5 :** Üçgen ve yamuk bulanık sayılar

Cebirsel işlemler her bir tip bulanık sayı için ayrı ayrı hesaplanmış ve genel formüller çıkarılmıştır. Aşağıda  $M = (l,m,u)$  ve  $N=(a,b,c)$  üçgen bulanık sayıları için toplama çıkarma ve bölme işlemleri verilmiştir.

$$\text{Toplama: } M (+) N = (l+a, m+b, u+c) \quad (4.30)$$

$$\text{Çıkarma: } M (-) N = (l-c, m-b, u-a) \quad (4.31)$$

Çarpma işlemi:

$$M > 0, N > 0 \text{ ise } M(\bullet)N \cong (l \cdot a, m \cdot b, u \cdot c)$$

$$M < 0, N > 0 \text{ ise } M(\bullet)N \cong (l \cdot c, m \cdot b, u \cdot a) \quad (4.32)$$

$$M < 0, N < 0 \text{ ise } M(\bullet)N \cong (u \cdot c, m \cdot b, l \cdot a)$$

Bölme işlemi:

$$M > 0, N > 0 \text{ ise } M(:)N \cong (l/c, m/b, u/a)$$

$$M < 0, N > 0 \text{ ise } M(:)N \cong (u/c, m/b, l/a) \quad (4.33)$$

$$M < 0, N < 0 \text{ ise } M(:)N \cong (u/a, m/b, l/c)$$

İşlemlerin ayrıntıları Chen ve Hwang (1992)'ta görülebilir.

#### 4.1.5 Bulanık entropi

Fizikte entropi, bir sistemin mekanik işe çevrilemeyen termal enerjisini temsil eden termodinamik birimdir. Çoğunlukla bir sistemdeki rastsallık ve düzensizlik olarak tanımlanır ve istatistikten teolojiye birçok alanda entropiden yararlanır (Url-3).

Bulanık mantık çerçevesinde entropi, bulanıklığın en bilinen ölçüm yöntemlerinden birisidir (Soyer ve diğ., 2007; Pal ve Bezdek, 1994). Bir  $A$  bulanık kümesi için,  $P_n(X)$   $X$ 'in tüm alt kümelerini göstermek üzere  $H : P_n(X) \rightarrow R^+$  şeklinde bir eşleme ile  $A$ 'nın bulanıklığı ifade edilebilir. De Luca ve Temrini (1972) aksiyomlarını temel alarak, Ebanks (1983) bir entropi ölçüsünün aşağıdaki özellikleri sağlaması gerektiğini önermiştir:

$$\text{Keskinlik } P1 : H(A) = 0 \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall x \in X$$

$$\text{En büyüklük } P2 : H(A) \text{ en büyüktür} \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0,5 \quad \forall x \in X$$

$$\text{Kararlılık } P3 : H(A) \geq H(A^*), A^*, A \text{ 'nın daha kesin bir çeşidi ise}$$

$$\text{Simetri } P4 : H(A) = H(\bar{A}), \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X,$$

$$\text{Değerleme } P5 : H(A \cup B) + H(A \cap B) = H(A) + H(B)$$

Literatürde bu aksiyomları sağlayan birçok ölçek vardır. Bunlardan bir tanesi uzaklığa bağlı olan bulanıklık indisidir (Klir ve Folger, 1988). Bulanıklık indisine göre  $A$  bulanık kümesinin bulanıklık düzeyi bu kümenin  $C$  kesin kümesine uzaklığı ile hesaplanır.  $C$  kümesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \mu_C(x) = 0 & \quad \mu_A(x) \leq \frac{1}{2} \text{ ise} \\ \mu_C(x) = 1 & \quad \mu_A(x) > \frac{1}{2} \text{ ise} \end{aligned} \quad (4.34)$$

Buna göre Minkowski uzaklık sınıflarına göre bulanıklık indisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Klir ve Folger, 1988):

$$\begin{aligned} H_w(A) &= \left( \sum_{x \in X} |\mu_A(x) - \mu_C(x)|^w \right)^{1/w} \quad \text{kesikli üyelik fonksiyonları için} \\ H_w(A) &= \left( \int_{x \in X} |\mu_A(x) - \mu_C(x)|^w \right)^{1/w} \quad \text{süreklili üyelik fonksiyonları için} \end{aligned} \quad (4.35)$$

Burada  $w \in [1, +\infty]$ 'dur.  $w = 1$  alınırsa Hamming uzaklığı,  $w = 2$  alınırsa Öklit uzaklığı elde edilir.  $w = +\infty$  alınırsa ise  $H_\infty = \text{enb}|\mu_A(x) - \mu_C(x)|$  olarak hesaplanır.

Bulanıklık indisi  $B(l, m, u)$  ÜBS'si için hesaplanırsa aşağıdaki sonuç elde edilmiştir:

$$H_w(B) = \left( \frac{2^{w+1} - 1}{2^w (w+1)} (u - l) \right)^{1/w} \quad (4.36)$$

Burada görülebileceği gibi bir ÜBS'nin bulanıklığı iki uç noktası arasındaki mesafeyle doğru orantılıdır.  $w = 1$  alındığında  $H_1(B) = \frac{3}{4}(l - u)$ ;  $w = 2$  alındığında ise  $H_2(B) = \sqrt{\frac{7}{12}}(l - u)$  olarak elde edilmektedir.

Buraya kadar esas çalışmada kullanılacak teknik olan bulanık DP için gerekli bulanık mantık ve bulanık küme bilgileri verilmiştir. Sonraki bölümde bulanık tek amaçlı DP modelleri üzerinde durulmuştur.

## 4.2 Bulanık Tek Amaçlı Doğrusal Programlama Modelleri

Doğrusal programlama, doğrusal eniyileme problemlerini çözmek için geliştirilmiş bir araçtır. Doğrusal eniyileme problemi ise doğrusal kısıtlarla tanımlanmış bir bölgede bir doğrusal fonksiyonun eniyilenmesi olarak tanımlanabilir. Bir eniyileme modelinin DP ile modellenmesi için tüm değişkenlerin sürekli olması, tek bir amacın olması ve amaç ve kısıt fonksiyonlarının doğrusal olması gereklidir. Standart formdaki bir DP modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} &\text{enb } c^T x \\ &Ax \leq b \\ &x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.37)$$

Bu formülde  $x$  karar değişkenlerini,  $c^T$  amaç fonksiyonu katsayılarını,  $A$  teknoloji katsayılarını ve  $b$  ise kaynak katsayılarını göstermektedir.

Doğrusal programlama modellerinde oransallık, toplanabilirlik, bölünebilirlik ve kesinlik gibi dört temel varsayım söz konusudur (Winston, 2004; Topcu, 2007). Oransallık, her karar değişkeninin amaç fonksiyonuna katkısı karar değişkeninin değeri ile orantılı olması anlamına gelir. Her karar değişkeninin kısıtların sol tarafına katkısı, karar değişkeninin değeri ile orantılıdır. Toplanabilirlik herhangi bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna katkısının diğer karar değişkenlerinin değerlerinden bağımsız olmasıdır. Herhangi bir karar değişkeninin kısıt sol tarafına katkısı diğer

karar değişkenlerinin değerlerinden bağımsızdır. Bölünebilirlik, karar değişkenlerinin tam sayı olmayan değerler alabilmesidir. Eğer tam sayı değerler kullanmak şartsa tam sayılı programlama kullanılmalıdır. Kesinlik ise her parametrenin kesin olarak bilinmesini gerektirir. Modelde yer alan katsayılar kesin olarak biliniyor olmalı ve karar değişkeni değerlerinin kesin olarak elde edilebilmelidir.

Doğrusal programlama modellerinin varsayımlarından bir tanesi olan kesinlik varsayımı her zaman geçerli olmayabilir. Gerçek hayat problemlerinde katsayılar kesin olarak belirlenemeyebilir veya katsayılarda belirsizlik olabilir. Bu durumlar için bulanık DP modelleri geliştirilmiştir.

Lai ve Hwang (1992a) bulanık DP modellerini bulanıklığın veya kesin olmamanın söz konusu olduğu parametrelere göre sınıflandırmış ve detaylı bir literatür taraması gerçekleştirmiştir. Tez çalışmasında, Lai ve Hwang (1992a) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre makaleler incelenmiştir. Lai ve Hwang (1992a)'da yer alan yaklaşımlarla birlikte literatürde yer alan daha yeni çalışmalar da irdelenmiştir. Tez çalışmasında incelenen modeller Tablo 4.3'de verilmiştir. Bu bölümde, çalışmalar Tablo 4.3'teki sınıflandırmaya göre incelenmiştir.

**Tablo 4.3 : İncelenen tek amaçlı bulanık programlama modelleri**

<b>Bölüm</b>	<b>Bulanıklık içeren parametre</b>	<b>Çalışmalar</b>
4.2.1	Kaynak katsayıları	Verdegay yaklaşımı (Verdegay, 1984) Werner yaklaşımı (Werner, 1987) Tang-Wang-Fung yaklaşımı (Tang ve diğ., 2001)
4.2.2	Kaynak katsayıları ve amaç fonksiyonu	Zimmermann yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a) Chanas yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a)
4.2.3	Amaç fonksiyonu katsayıları	Verdegay yaklaşımı (Verdegay, 1984) Lai ve Hwang yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992b) Maeda yaklaşımı (Maeda, 2001) Zhang Wu Remias Lu yaklaşımı (Zhang ve diğ., 2003)
4.2.4	Kaynak ve teknoloji katsayıları	Ramik ve Rimenek yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a) Dubois yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a) Leon ve Vercher yaklaşımı (Leon ve Vercher, 2004)
4.2.5	Amaç fonksiyonu ve teknoloji katsayıları	Lai ve Hwang yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992b)
4.2.6	Tüm katsayılar	Carlsson ve Kohen yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a) Lai ve Hwang yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a) Buckley yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a) Negi yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1992a) Maleki-Tata-Mashichi yaklaşımı (Maleki ve diğ., 2000)
4.2.7	Karar değişkenleri	Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımı (Tanaka ve diğ., 2000) Buckley ve Feuring yaklaşımı (Buckley ve Feuring, 2000) Maleki-Tata-Mashichi yaklaşımı (Maleki ve diğ., 2000)

#### 4.2.1 Kaynak katsayılarının bulanık olması

Doğrusal programlama modellerinde kaynakların esnetilmesi ile ilgili konular duyarlılık analizi yöntemleri ile analiz edilir. Bulanık DP modellerinde kaynak miktarlarındaki bulanıklıklar tolerans sınırları üzerine tanımlanmış üyelik fonksiyonları ile gösterilir. Kaynak katsayılarının bulanık olarak tanımlandığı bulanık DP modelleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \text{enb } & cx \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq \tilde{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.38a)$$

Burada  $\tilde{b}_i, \forall i$ , verilen bir  $p_i$  değerine göre  $[b_i, b_i + p_i]$  aralığındadır. Bununla birlikte bulanık eşitsizlik ilişkisi ile aşağıda verilen model göz önüne alınabilir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & cx \\ \text{kst } & (Ax)_i \lesseqgtr b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.38b)$$

Burada ( $\lesseqgtr$ ) bulanık eşitsizliği ifade eder. Her bir kısıt için  $p_i$  tolerans miktarı olarak varsayılırsa  $(Ax)_i \lesseqgtr b_i, (Ax)_i \leq (b_i + \theta p_i), \forall i, \theta \in [0, 1]$ 'e eşit olur. Eğer her ikisi için de üyelik fonksiyonları eşit ise (4.38a) ve (4.38b)'de verilen modeller eşdeğerdir. Bu bölümde kaynak katsayılarını bulanık olarak kabul eden üç çalışma incelenmiştir.

##### 4.2.1.1 Verdegay yaklaşımı

Verdegay (1984), (4.38)'de verilen modelin parametrik programlama modeli ile eşdeğer olduğunu göstererek parametrik programlama modellerini çözmek için geliştirilen yöntemlerin kaynak katsayıları bulanık olan bulanık DP modelleri için de kullanılabileceğini önermiştir. (4.38)'de verilen model,  $i$  kısıtı için üyelik fonksiyonunun  $\mu_i(\cdot)$  ile tanımlanmasıyla aşağıdaki parametrik programlama modeline dönüşür:

$$\begin{aligned} \text{enb } & cx \\ \text{kst } & \mu_i[(Ax)_i] \leq \alpha, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \alpha \in [0, 1], \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.39)$$

(4.39)'de verilen üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanırsa;

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0 & (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.40)$$

(4.39) şu şekilde düzenlenebilir:

$$\begin{aligned} \text{enb } cx \\ \text{kst } (Ax)_i &\leq b_i + (1 - \alpha)p_i, \quad \forall i \\ x &\geq 0 \quad \alpha \in [0,1] \end{aligned} \quad (4.41)$$

Bu model,  $\alpha = 1 - \theta$  alındığında parametrik programlama ile eşdeğerdir. Modelde farklı  $\alpha$  değerleri için farklı sonuçlar çıkacağından  $\alpha$  üyelik derecesine sahip amaç fonksiyonu değerleri de bulunabilir.

#### 4.2.1.2 Werner yaklaşımı

Werner (1987), (4.38)'de tanımlanan bulanık DP modellerinin amaç fonksiyonlarını, bulanık toplam kaynak miktarı veya bulanık eşitsizlik kısıtlarından dolayı, bulanık olarak kabul etmiştir. Buna göre öncelikle iki ayrı amaç fonksiyonu değeri ( $z$ ),  $z^0$  ve  $z^1$  tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} z^0 &= \text{enb } cx \\ \text{kst } (Ax)_i &\leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0 \\ z^1 &= \text{enb } cx \\ \text{kst } (Ax)_i &\leq b_i + p_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.42)$$

Çalışmada amaç değeri için üyelik fonksiyonu,  $\mu_o$ ,  $z^0$  ve  $z^1$  değerlerine göre sürekli azalmayan doğrusal üyelik fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_o(x) = \begin{cases} 1 & cx < z^1 \text{ ise} \\ 1 - \frac{z^1 - cx}{z^1 - z^0} & z^0 \leq cx \leq z^1 \text{ ise} \\ 0 & cx > z^0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.43)$$

Tanımlanan üyelik fonksiyonu ile enb-enk operatörü kullanılarak en iyi karar verilmiştir. (4.38)'de verilen model,  $\text{enb}_{x \geq 0} \alpha$ ,  $\alpha = \text{enk}[\mu_0(x), \mu_1(x), \dots, \mu_m(x)]$  hesaplanarak çözülmüştür:



$$\begin{aligned}
\text{enb } & \alpha \\
\text{kst } & \mu_0(x) \geq \alpha \\
& \mu_i(x) \geq \alpha, \quad \forall i \\
& \alpha \in [0,1] \text{ ve } x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.44}$$

Bu yaklaşımda model, amaç fonksiyonu bulanıklaştırılarak çözülmüştür.

#### 4.2.1.3 Tang Wang Fung yaklaşımı

Tang ve diğ. (2001), (4.38a)'da verilen modelde kaynak katsayılarını,  $\tilde{b}_i$  ( $i=1,2,..m$ ), genel olabirlik dağılımı,  $\pi_{\tilde{b}_i}(y)$ , ile göstermiştir. Burada ihtiyaç duyulan kaynak miktarının  $y$ 'ye eşit olduğu durumda,  $\tilde{b}_i$  mevcut kaynak miktarını sağlama olabirliğini göstermektedir. Modelde normalize edilmemiş olabirlik dağılımları (en yüksek olabirlik düzeyi 1 değil, en düşük olabirlik düzeyi 0 değil) dikkate alındığı için iyimser ve kötümser noktalar belirlenmesi gerekmiştir.  $i$  kısıtı için iyimser ( $b_i^R$ ) ve kötümser ( $b_i^L$ ) noktalar aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$b_i^R = \text{enk} \{x \in R^+ \mid x > b_i, \pi_{\tilde{b}_i}(x) = l_i^+ \leq \pi_{\tilde{b}_i}(y), \forall y > b_i\} \tag{4.45}$$

$$b_i^L = \text{enk} \{x \in R^+ \mid x < b_i, \pi_{\tilde{b}_i}(x) = l_i^- \leq \pi_{\tilde{b}_i}(y), \forall y < b_i\} \tag{4.46}$$

Burada  $l_i^+$  ve  $l_i^-$ ,  $i$  kısıtı için tanımlanan olabirlik dağılımında yer alan, sırasıyla en büyük ve en küçük  $y$  değerlerinin üyelik dereceleridir.  $\pi_{\tilde{b}_i}(y)$ ,  $(\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \dots, \tilde{b}_m)$  kısıtları için birleşik olabirlik dağılımı şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\pi_{\tilde{b}}(y) = \text{enk} \{ \pi_{\tilde{b}_1}(y_1), \dots, \pi_{\tilde{b}_m}(y_m) \} \tag{4.47}$$

Bu tanıma göre birleşik dağılımın beklenen, iyimser ve kötümser üyelik dereceleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\begin{aligned}
\pi_{\tilde{b}}(b) &= \text{enk}_{1 \leq i \leq m} \pi_{\tilde{b}_i}(b_i) = \text{enk}_{1 \leq i \leq m} h_i = h \\
\pi_{\tilde{b}}(b^R) &= \text{enk}_{1 \leq i \leq m} \pi_{\tilde{b}_i}(b_i^R) = \text{enk}_{1 \leq i \leq m} l_i^+ = l^+ \\
\pi_{\tilde{b}}(b^L) &= \text{enk}_{1 \leq i \leq m} \pi_{\tilde{b}_i}(b_i^L) = \text{enk}_{1 \leq i \leq m} l_i^- = l^-
\end{aligned} \tag{4.48}$$

$i$  kısıtının karar değişkenlerine bağlı üyelik derecesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\pi_i(x) = \text{Sup}_{y \geq A, x} \pi_{\tilde{b}_i}(y) \tag{4.49}$$

Son olarak tüm kısıtlar kümesi  $Q = \{x \in (R^n)^+ \mid Ax \leq \tilde{b}\}$  için tanımlanan olabilirlik derecesi,  $\pi_Q(x)$  ile tanımlanmıştır.

$$\pi_Q(x) = \text{enk}\{\pi_i(x), i = 1, 2, \dots, m\} \quad (4.50)$$

Yukarıda verilen özelliklerden  $l^+ \leq \pi_Q(x) \leq h$  sonucuna varılabilir. Çalışmada yapılan tanımlar neticesinde olabilirselsel model aşağıdaki kesin sayılı modele çevrilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{enb} \quad & z = cx \\ \text{kst} \quad & \pi_Q(x) \geq \theta \\ & x \geq 0, \quad l^+ \leq \theta \leq h \end{aligned} \quad (4.51)$$

Burada  $\theta$ , kabul edilebilir en düşük olabilirlik düzeyidir. (4.51)'de  $\pi_Q(x)$  doğrusal ise model DP modelleri ile çözülebilir. Değil ise doğrusal olmayan programlama modelleri kullanılmalıdır. Yazarlar, modeli çözmek için üç yol önermişlerdir. İlkinde  $\theta$  değeri karar vericiye sorulur ve çözüm buna göre elde edilir. İkincisinde,  $[l^+, h]$  aralığı  $k$  parçaya bölünür ve  $\theta_i = ((h - l^+) / k)i$ , ( $i = 1 \dots k$ ) değerleri için  $k$  adet çözüm üretilir, karar verici istediği çözümü seçer. Sonuncusunda ise  $\theta = h$  ve  $\theta = l^+$  için çözümler  $x_h^*$  ve  $x_{l^+}^*$  olmak üzere, çözüm  $x^* = \frac{1}{3}(2x_h^* + x_{l^+}^*)$  olarak oluşturulur.

Önerilen yöntem karmaşık endüstriyel sistemlerde kullanılmak için tasarlanmıştır. Diğer yöntemlerin aksine standart formda olmayan üyelik dereceli parametrelerin yer aldığı modelleri çözmek için etkin bir yöntemdir.

#### 4.2.2 Kaynak katsayılarının ve amaç fonksiyonunun bulanık olması

Önceki bölümde verilen bulanık DP modelinden farklı olarak herhangi bir DP modelinde amaç fonksiyonu bulanık olarak tanımlanmış ise aşağıda verilen iki model eşdeğerdir.

$$\begin{aligned} \text{eñb} \quad & cx \\ \text{kst} \quad & (Ax)_i \leq \tilde{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.52a)$$

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } (Ax)_i \leq \tilde{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
& \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.52b}$$

Burada  $\tilde{b}_i, \forall i$ , verilen bir  $p_i$  değerine göre  $[b_i, b_i+p_i]$  aralığındadır. Kaynak katsayıları ve amaç fonksiyonu bulanık olarak verilmiş bulanık DP modeli için iki çözüm yöntemi incelenmiştir.

#### 4.2.2.1 Zimmermann yaklaşımı – simetrik model

Zimmermann yaklaşımında, kaynak kısıtları ( $b_i$ ) ve toleransları ( $p_i$ ) ile birlikte amaç ( $b_0$ ) ve amaçla ilgili tolerans ( $p_0$ ) değerlerinin baştan verildiği varsayılmıştır (Lai ve Hwang, 1992a). Çözüm aşamasında bulanık amaç ve kısıtlar ayırt edilmeksizin hesaba katılır ve tümü  $[b_i, b_i+p_i]$  aralığında değişir. Buna göre (4.52)'de verilen model aşağıdaki gibi yeniden tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned}
& \text{bul } x \\
& \text{kst } cx \geq b_0 \\
& \quad (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \\
& \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.53}$$

Bulanık küme teorisinde bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık amaçlar üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Yöntemde kolaylık sağlamak için, bulanık amaç ( $\mu_0$ ) için azalmayan sürekli doğrusal üyelik fonksiyonu, kısıtlar ( $\mu_i, \forall i$ ) için ise artmayan sürekli doğrusal üyelik fonksiyonu varsayılmıştır:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & cx < b_0 \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_0 - cx}{p_0} & b_0 \leq cx \leq b_0 + p_0 \text{ ise} \\ 0 & cx > b_0 + p_0 \text{ ise} \end{cases} \tag{4.54}$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0 & (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases} \tag{4.55}$$

Zimmermann, (4.53)'te verilen modeli çözebilmek için Bellman ve Zadeh (1970)'in enb-enk operatörünü kullanarak en iyi çözümü aşağıdaki gibi elde etmiştir.

$$\text{enb } \mu_D = \text{enb} \{ \text{enk} [\mu_0(x), \mu_1(x), \dots, \mu_m(x)] \} \tag{4.56}$$

Burada  $\mu_D$ , D karar uzayının üyelik fonksiyonunu göstermektedir ve  $\mu_D = \text{enk}(\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_m)$ 'dir.  $\mu_D = \alpha$  alınarak ve denklemler (4.54), (4.55) ve (4.56) kullanılarak (4.53)'te verilen modelin aşağıdaki modellere eşdeğer olduğu söylenebilir:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha \\
& \text{kst } \mu_0(x) = 1 - (b_0 - cx) / p_0 \geq \alpha \\
& \mu_i(x) = 1 - [(Ax)_i - b_i] / p_i \geq \alpha, \quad \forall i \\
& \mu_i(x), \forall i \quad \text{ve} \quad \alpha \in [0,1]
\end{aligned} \tag{4.57}$$

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha \\
& \text{kst } cx \geq b_0 - (1 - \alpha)p_0 \\
& (Ax)_i \leq b_i + (1 + \alpha)p_i, \quad \forall i \\
& \alpha \in [0,1] \quad \text{ve} \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.58}$$

Modellerde  $c$ ,  $A$ ,  $b_0$ ,  $p_0$ ,  $b_i$  ve  $p_i$ ,  $\forall i$ , başlangıçta verilmiş sabitlerdir. Dikkat edilebileceği gibi (4.58)'de verilen model klasik bir DP modelidir.

#### 4.2.2.2 Chanas yaklaşımı – simetrik olmayan model

Chanas yaklaşımında, (4.52)'de verilen modeldeki amaç ( $b_0$ ) ve amaç ile ilgili tolerans ( $p_0$ ) değerlerinin bulanık olurlu bölge ile ilgili bilgi eksikliğinden dolayı başlangıçta belirlenemeyeceği göz önüne alınmıştır (Lai ve Hwang, 1992a). Bu yüzden önerilen modelde öncelikle  $b_0$  ve  $p_0$  değerlerini bulmak üzere aşağıdaki model önerilmiştir:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } (Ax)_i \leq \tilde{b}_i, \quad \forall i \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.59}$$

Burada kısıtlar için kaynak katsayıları ( $b_i$ ) ve bu katsayıların tolerans değerleri ( $p_i$ ) bilinmektedir ve bulanık kısıtların üyelik fonksiyonlarının (4.55)'teki gibi olduğu varsayılmıştır.  $\mu_i(x) \geq 1 - [(Ax)_i - b_i] / p_i \geq \alpha$ ,  $\forall i$  kısıtında  $\theta = (1 - \alpha)$  olarak alındığında (4.59)'da verilen model aşağıdaki parametrik programlama modeli ile eşdeğer olur:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } (Ax)_i \leq b_i + \theta p_i, \quad \forall i \\
& x \geq 0 \quad \theta \in [0,1]
\end{aligned} \tag{4.60}$$

Modellerde  $c$ ,  $A$ ,  $b_i$  ve  $p_i, \forall i$ , başlangıçta verilmiş sabitler ve  $\theta$  parametredir. Farklı  $\theta$  değerlerine göre elde edilen çözüm,  $x^*(\theta)$  için aşağıdaki koşul sağlanmalıdır:

$$\mu_i (Ax^*(\theta)) \geq 1 - \theta, \quad \forall i \quad (4.61)$$

Diğer taraftan sıfırdan farklı her temel çözümde ( $p_i > 0$  ise),  $\mu_i (Ax^*(\theta)) = 1 - \theta$  'i sağlayan en az bir aktif kısıt vardır ve tüm kısıtlar için ortak sağlanma derecesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\mu_c (Ax^*(\theta)) = \wedge_i (\mu_i (Ax^*(\theta)) = 1 - \theta) \quad (4.62)$$

Böylece farklı her  $\theta$  değeri için tüm kısıtları  $1 - \theta$  derece ile sağlayan çözümler elde edilmiştir. Daha sonra (4.60)'ın en iyi çözümleri ( $z^*(\theta)$  ve  $x^*(\theta)$ ), karar vericiye sunulur ve bu değerlere göre karar verici  $b_0$  ve  $p_0$  değerlerini belirler. Bu değerlere göre amaç için üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\mu_0(x^*(\theta)) = \begin{cases} 1 & cx^*(\theta) < b_0 \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_0 - cx^*(\theta)}{p_0} & b_0 \leq cx^*(\theta) \leq b_0 + p_0 \text{ ise} \\ 0 & cx^*(\theta) > b_0 + p_0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.63)$$

(4.60)'ta verilen modelde tüm kısıtlar için ortak sağlama derecesini veren üyelik fonksiyonu  $\mu_c$ , enk-opeatörü kullanılarak  $1 - \theta$  olarak belirlenir. Buna göre problemin en iyi çözümü,  $z^*(\theta^*)$  ve  $x^*(\theta^*)$ , aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\text{enb } \mu_D(\theta) = \text{enb}\{\text{enk}[\mu_0(\theta), \mu_c(\theta)]\} \quad (4.64)$$

### 4.2.3 Amaç fonksiyonu katsayılarının kesin olmaması veya bulanık olması

Bir DP modelinde amaç fonksiyonu katsayıları (örneğin birim kâr veya birim maliyet) kesin olarak belirlenemeyebilir ve bulanık sayılarla ifade edilebilir. Bu durumda bulanık DP modelinin gösterimi aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned} \text{enb } & \tilde{c}x \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \\ & x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.65)$$

(4.65)'te verilen modeli çözmek üzere geliştirilmiş dört yaklaşım incelenmiştir.

#### 4.2.3.1 Verdegay yaklaşımı

Verdegay (1984), (4.65)'i çözmek için aşağıdaki eşdeğer parametrik DP modelini önermiştir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & cx \\ \text{kst } & \phi(c) \geq 1 - \alpha \\ & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad \alpha \in [0,1], x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.66)$$

Denklemden  $\phi(c)$ ,  $(cx)$ 'in üyelik fonksiyonu;  $\phi_j(c_j)$ ,  $c_j$ 'nin üyelik fonksiyonu olmak üzere  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ ,  $\phi(c) = \inf_j \phi_j(c_j)$  'dir. (4.66) aşağıda verilen modeller ile eşdeğerdir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & cx \\ \text{kst } & \phi_j(c_j) \geq 1 - \alpha, \quad \forall j, \\ & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad \alpha \in [0,1], x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.67)$$

$$\begin{aligned} \text{enb } & \sum_j c_j x_j \\ \text{kst } & c_j \geq \phi_j^{-1}(1 - \alpha), \quad \forall j, \\ & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad \alpha \in [0,1], x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.68)$$

$$\begin{aligned} \text{enb } & \sum_j \phi_j^{-1}(1 - \alpha) x_j \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad \alpha \in [0,1], x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.69)$$

Son olarak (4.69)'da çıkan model parametrik programlama modelidir. Bulanık amaç kümesinin her  $(1-\alpha)$  düzeyi için elde edilen sonuçlar,  $\alpha$  tercih düzeyini verir.

Verdegay (1984), ayrıca (4.65)'te verilen modelin dualinin alındığında kaynak katsayıları bulanık olan DP modeline dönüşeceğini ve bölüm 4.2.1'de verilen yöntemler ile çözülebileceğini göstermiştir.

#### 4.2.3.2 Lai ve Hwang yaklaşımı

Lai ve Hwang (1992b), kesin olmayan amaç fonksiyonu katsayılarının olabilirlik dağılımı ile ifade edildiği durumlar için bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemde amaç fonksiyonu katsayıları üçgen olabilirlik dağılımı ile gösterilerek (4.65) aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & \sum_j c_j^o x_j, c_j^k x_j, c_j^i x_i, \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.70)$$

Burada  $i$  katsayısı için  $c_j^o$  en olabilir değeri,  $c_j^k$  en kötümser değeri,  $c_j^i$  en iyimser değeri göstermektedir (  $\pi_j(c_j^o) = 1, \pi_j(c_j^k) = \pi_j(c_j^i) = 0$  ). Bir başka şekilde, denklem (4.70),  $c^o = (c_1^o, c_2^o, \dots, c_n^o)$ ,  $c^k = (c_1^k, c_2^k, \dots, c_n^k)$  ve  $c^i = (c_1^i, c_2^i, \dots, c_n^i)$  alınarak aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & (c^o x, c^k x, c^i x) \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.71)$$

Burada amaç fonksiyonu  $(c^o x, c^k x, c^i x)$  üçgen olabilirlik dağılımına sahip kesin olmayan bir amaç haline getirilmiştir. Yöntemde bu modeli çözmek için kesin olmayan amaç katsayılarına sahip çok amaçlı DP modelini çözmeye benzer bir yaklaşım önerilmiştir. Bunun için (4.71)'i çözmek üzere aşağıdaki yardımcı model önerilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{enb } & [(4c^o + c^k + c^i)/6]x \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.72)$$

Denklemden en olabilir, kötümser ve iyimser değerlerin ağırlıkları (4,1,1) gibi düşünülmüştür. Bu ağırlıkların değiştirilmesi ile farklı çözümler elde edilebilir.

En düşük kabul edilebilir olabilirlik seviyesi  $\alpha$  verilmiş ise; (4.72) aşağıdaki gibi düzenlenebilir ( $c_\alpha^k$  ve  $c_\alpha^i$  kabul edilebilir düzeye göre en kötümser ve en iyimser değerler)

$$\begin{aligned} \text{enb } & [(4c^o + c_\alpha^k + c_\alpha^i)/6]x \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.73)$$

Lai ve Hwang (1992b) bir başka bakış açısı ile amaç fonksiyonunun en olabilir, iyimser ve kötümser değerlerinin farklı amaçlar olarak tanımlandığı çok amaçlı bir model ile probleme yaklaşılmasını önermiştir. Buna göre  $(c^o x, c^k x, c^i x)$  üç amaca ilişkin vektör olmak üzere problem aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$\begin{aligned} \text{enb } & (c^o x, c^k x, c^i x) \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.74)$$

Elde edilen olabilirlik dağılımının üçgen şeklini koruyabilmesi için bu üç amacı enbüyüklemek yerine  $(c^o x)$ 'nin enbüyüklenmesi,  $(c^o x - c^k x)$ 'nin en küçüklenmesi ve  $(c^i x - c^o x)$ 'nin enbüyüklenmesi şeklinde üç amaç tanımlanmıştır. Böylece problem üç amaçlı bir DP modeline dönüşmüştür:

$$\begin{aligned}
 \text{enk } z_1 &= c^o x - c^k x \\
 \text{enb } z_2 &= c^o x \\
 \text{enk } z_3 &= c^i x - c^o x \\
 \text{kst } (Ax)_i &\leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0.
 \end{aligned} \tag{4.75}$$

Önerilen bu model istenilen klasik çok amaçlı DP modeli veya Bölüm 4.3'te verilen bulanık çok amaçlı DP modelleri ile çözülebilir.

#### 4.2.3.3 Maeda yaklaşımı

Maeda (2001), amaç fonksiyonu katsayılarını simetrik ÜBS olarak kabul etmiş ve buna göre (4.65)'teki bulanık modeli parametrik DP modeline dönüştürerek çözmüştür.  $\tilde{c}_j (j = 1, \dots, n)$  amaç fonksiyonu katsayıları  $\langle c_j, h_j \rangle$  ile gösterilen ÜBS'lerdir. Burada  $c_j$  üyelik derecesinin 1'e eşit olduğu noktayı,  $h_j$  ise üçgenin sağ ve sola doğru yayılımını (solda üyelik derecesinin 0'a eşit nokta ile  $c_j$  arasındaki mesafe ve sağda üyelik derecesinin 0'a eşit olduğu nokta ile  $c_j$  arasındaki mesafe) vermektedir. Buna göre model aşağıdaki parametrik programlama modeli ile çözülmüştür:

$$\begin{aligned}
 \text{enb } \sum_j c_j x_j + \lambda \sum_j h_j x_j \\
 \text{kst } (Ax)_i &\leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0.
 \end{aligned} \tag{4.76}$$

Burada  $\lambda \in [-1, 1]$  parametredir. Farklı  $\lambda$  değerleri için modelin çözülmesi ile çözümün üyelik fonksiyonu elde edilmektedir.

#### 4.2.3.4 Zhang Wu Remias Lu yaklaşımı

Zhang ve diğ. (2003), Maeda yaklaşımını genelleştirerek sadece simetrik ÜBS'lerde değil tüm bulanık sayılarda uygulanabilir hale getirmiştir. Çalışmada (4.65)'teki bulanık amaç fonksiyonu dört kesin amaca dönüştürülmüş ve ortaya çıkan çok amaçlı DP modeli ağırlıklar yardımıyla çözülmüştür.  $\tilde{c}_j (j = 1, \dots, n)$  amaç fonksiyonu katsayıları olmak üzere  $(c_{j0}^L, c_{j1}^L, c_{j1}^R, c_{j0}^R)$  şeklinde ifade edilmiştir.



Burada  $c_{j0}^L, \mu_{\tilde{c}_j}(x)=0$ 'ı sağlayan en küçük  $x$  değeri;  $c_{j1}^L, \mu_{\tilde{c}_j}(x)=1$ 'ı sağlayan en küçük  $x$  değeri;  $c_{j1}^R, \mu_{\tilde{c}_j}(x)=1$ 'i sağlayan en büyük  $x$  değeri;  $c_{j0}^R, \mu_{\tilde{c}_j}(x)=0$ 'ı sağlayan en büyük  $x$  değeridir. Bu şekilde tanımlandığında çok amaçlı programlama modeli şu şekilde oluşturulmuştur:

$$\begin{aligned} \text{enb } & \left( \langle c_0^L, x \rangle, \langle c_1^L, x \rangle, \langle c_0^R, x \rangle, \langle c_1^R, x \rangle \right)^T \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.77)$$

Burada  $c_0^L = (c_{1,0}^L, c_{2,0}^L, \dots, c_{n,0}^L)^T$ ,  $c_1^L = (c_{1,1}^L, c_{2,1}^L, \dots, c_{n,1}^L)^T$ ,  $c_0^R = (c_{1,0}^R, c_{2,0}^R, \dots, c_{n,0}^R)^T$ ,  $c_1^R = (c_{1,1}^R, c_{2,1}^R, \dots, c_{n,1}^R)^T \in R^n$ . Bu modeli çözmek için her amaca bir ağırlık,  $w_k$ , ( $k=1,2,3,4$ ), tanımlanmıştır. Modelin çözümünü aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & w_1 * \sum_j c_{j0}^L x_j + w_2 * \sum_j c_{j1}^L x_j + w_3 * \sum_j c_{j1}^R x_j + w_4 * \sum_j c_{j0}^R x_j \\ \text{kst } & (Ax)_i \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0. \end{aligned} \quad (4.78)$$

Önerilen yöntemde çözüm, farklı amaç ağırlıklarına göre değişim gösterir.

#### 4.2.4 Kaynak ve teknoloji katsayılarının kesin olmaması veya bulanık olması

Kaynak ve teknoloji katsayıları kesin olmayan veya bulanık olan DP modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \text{enb } & cx \\ \text{kst } & \tilde{A}x \leq \tilde{b}, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.79)$$

Burada  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{b}$  (Sağ-Sol) bulanık sayılarıdır. Bu modeli çözmek için önerilmiş üç farklı model incelenmiştir.

##### 4.2.4.1 Ramik ve Rimenek yaklaşımı

Ramik ve Rimenek yaklaşımında kaynak ve teknoloji katsayıları yamuk bulanık sayı olarak alınarak yamuk bulanık sayılar için tanımlanan toplama işlemi yapılmış ve eşitsizliğin sağlanması için de herhangi bir bulanık sıralama yönteminin kullanılabileceği önerilmiştir (Lai ve Hwang, 1992a). Yöntemde,  $\tilde{a}=(m, n, \alpha, \beta)$  şeklinde tanımlanmış yamuk bulanık sayılar ( $m$  sol ana değer,  $n$  sağ ana değer,  $\alpha$  sol yayılım ve  $\beta$  sol yayılım) için (4.79)'da verilen model aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } \tilde{a}_{i1}x_1 \oplus \tilde{a}_{i2}x_2 \oplus \dots \oplus \tilde{a}_{in}x_n \lesssim \tilde{b}_i, \quad \forall i \\
& \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.80}$$

Burada  $\tilde{a}_{i1}x_1 \oplus \tilde{a}_{i2}x_2 \oplus \dots \oplus \tilde{a}_{in}x_n = \left( \sum_j m_{ij}x_j, \sum_j n_{ij}x_j, \sum_j \alpha_{ij}x_j, \sum_j \beta_{ij}x_j \right)$  şeklinde alınır. Modeli çözebilmek için son olarak yapılması gereken bulanık eşitsizliğin ( $\lesssim$ ) tanımlanmasıdır. Yöntemde  $\tilde{a}_{ij} = (m_{ij}, n_{ij}, \alpha_{ij}, \beta_{ij})$  ve  $\tilde{b}_i = (p_i, q_i, \tau_i, \delta_i)$  yamuk bulanık sayıları için küçüktür eşitsizliği aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\tilde{a}_{ij} \lesssim \tilde{b}_i \Leftrightarrow m_{ij} \leq p_i, m_{ij} - \alpha_{ij} \leq p_i - \tau_i, n_{ij} \leq q_i, n_{ij} + \beta_{ij} \leq q_i + \delta_i \tag{4.81}$$

Sonuçta, (4.80) ve (4.81)'de verilenlere göre aşağıdaki DP modeli oluşturulmuştur:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } \sum_j m_{ij}x_j \leq p_i, \quad \forall i \\
& \quad \sum_j (m_{ij} - \alpha_{ij})x_j \leq p_i - \tau_i, \quad \forall i \\
& \quad \sum_j n_{ij}x_j \leq q_i, \quad \forall i \\
& \quad \sum_j (n_{ij} + \beta_{ij})x_j \leq q_i + \delta_i, \quad \forall i \\
& \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.82}$$

Yaklaşımda, (4.82)'de verilen DP modelinin çözülmesi ile (4.79)'da tanımlanan bulanık DP modelinin çözülmesi sağlanmıştır.

#### 4.2.4.2 Dubois yaklaşımı

Dubois bulanık sayıları, farklı güven düzeyleri ile ilişkilendirilmiş birçok değer aralığını içeren bulanık aralıklar olarak görmektedir (Lai ve Hwang, 1992a). Olabilirliği 1'e eşit olan  $[m_{ij}, n_{ij}]$  aralığı en kesin olmayan aralık iken; 0'a eşit olan  $[m_{ij} + \alpha_{ij}; n_{ij} + \beta_{ij}]$  aralığı en kesin aralıktır. Yani olabilirlik derecesi güven düzeyinin tamamlayıcısı olarak görülmüştür. Bir bulanık kısıt genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$f(x, \tilde{a}) = g(x, \tilde{b}) \tag{4.83}$$

Burada  $f(x, \tilde{a}) = \sum_{i=1}^n \tilde{a}_i x_i + \tilde{a}_{n+1}$  ve  $g(x, \tilde{b}) = \sum_{i=1}^n \tilde{b}_i x_i + \tilde{b}_{n+1}$  şeklindedir.

$\tilde{a}$  ve  $\tilde{b}$  'nin kendi aralıklarının  $\tilde{A}$  ve  $\tilde{B}$  olarak ayrılabilir olduğu varsayılmıştır, yani,  $\tilde{A}_i$  ve  $\tilde{B}_i$  'nin kartezyen çarpımları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\pi_A = \text{enk}_{i=1}^{n+1} \pi_{A_i} \quad \pi_B = \text{enk}_{i=1}^{n+1} \pi_{B_i} \quad (4.84)$$

Bu varsayım ile  $a_i$  (ve  $b_i$ ) değişkenlerinin bağlantılı olmadığı öngörülmüştür.  $\tilde{A}_i$  ve  $\tilde{B}_i$  bulanık aralıkları Sol-Sağ gösterimi ile aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\tilde{A}_i = (m_i, n_i, \alpha_i, \beta_i) \quad \text{ve} \quad \tilde{B}_i = (p_i, q_i, \Gamma_i, \delta_i) \quad (4.85)$$

Böylece  $g(x, \tilde{B})$  bulanık toplama ve ölçek çarpımı ile aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$g(x, \tilde{B}) = \tilde{B}_1 x_1 \oplus \dots \oplus \tilde{B}_{n+1} x_{n+1} = \tilde{B}x = (px, qx, \Gamma x, \delta x) \quad (4.86)$$

Burada  $x_{n+1} = 1$  'dir. Benzer şekilde  $f(x, \tilde{A})$  da yazılmıştır. Denklem (4.83)'te verilen kısıtlar için Dubois, güçlü ve zayıf durumlara göre çözümler üretmiştir.

Zayıf kısıtlar,  $x$ 'in  $\alpha$ -zayıf olurluluğu ( $\alpha$ -WF) ile gösterilebilir:

$$WF(x) = \text{Olb}(f(x, \tilde{a}) = g(x, \tilde{b})) = \pi(\tilde{A}x, \tilde{B}x) \geq \alpha \quad (4.87)$$

Burada  $\alpha$  gerekli olabilirlik eşliğidir. Buna göre aşağıdaki sonuç elde edilmiştir:

$$\begin{aligned} x \text{ zayıf olurluluktur: yalnız ve yalnız} \quad \pi_{[Bx, \infty)}^{-1}(\alpha) \leq \pi_{[-\infty, Ax)}^{-1}(\alpha) \quad \text{ve} \\ \pi_{[Ax, \infty)}^{-1}(\alpha) \leq \pi_{[-\infty, Bx)}^{-1}(\alpha) \quad \text{ise} \end{aligned} \quad (4.88)$$

burada  $\pi_{[Ax, \infty)}^{-1}(\alpha) = \sum_i x_i (m_i - \alpha_i L_i(\cdot))$  'dir (diğerleri için de benzerdir). Buna göre zayıf olurluluk  $WF(x) \geq \alpha$  kısıtları iki doğrusal eşitsizlik ile eşdeğerdir:

$$\sum_{i=1}^{n+1} (p_i - \Gamma_i L_i^{-1}(\alpha)) x_i \leq \sum_{i=1}^{n+1} (n_i - \beta_i R_i^{-1}(\alpha)) x_i \quad (4.89)$$

$$\sum_{i=1}^{n+1} (m_i - \alpha_i L_i^{-1}(\alpha)) x_i \leq \sum_{i=1}^{n+1} (q_i - \delta_i R_i^{-1}(\alpha)) x_i \quad (4.90)$$

Güçlü kısıt, küme kapsama  $\tilde{A}_i x \subset \tilde{B}_i x$ , kısıtının bulanık uzantısı olarak görülebilir.  $x$ 'in  $\alpha$ -güçlü olabilmesi için

$$SF(x) = Nes(g(x, \tilde{b}) = f(x, \tilde{a}) | \tilde{a}) = N_{f(x, A)}(g(x, \tilde{B})) \geq \alpha \quad (4.91)$$

olmalıdır. Buna göre ilgili doğrusal kısıtlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:

$$\pi_{[Bx, \infty)}^{-1}(\alpha) \leq \pi_{[Ax, \infty)}^{-1}(1 - \alpha) \text{ ve } \pi_{(-\infty, Ax]}^{-1}(1 - \alpha) \leq \pi_{(-\infty, Bx]}^{-1}(\alpha) \quad (4.92)$$

Buna göre güçlü olurluluk  $SF(x) \geq \alpha$  kısıtları aşağıdaki iki doğrusal kısıt ile eşdeğerdir.

$$\sum_{i=1}^{n+1} (p_i - \Gamma_i L_i^{-1}(\alpha)) x_i \leq \sum_{i=1}^{n+1} (m_i - \alpha_i L_i^{-1}(1 - \alpha)) x_i \quad (4.93)$$

$$\sum_{i=1}^{n+1} (n_i - \beta_i R_i^{-1}(1 - \alpha)) x_i \leq \sum_{i=1}^{n+1} (q_i - \delta_i R_i^{-1}(\alpha)) x_i \quad (4.94)$$

Böylece zayıf ve güçlü durumlar için karar vericinin  $\alpha$  değerini vermesi ile bulanık kısıtlar doğrusal hale getirilmiştir.

#### 4.2.4.3 Leon ve Vercher yaklaşımı

Leon ve Vercher (2004) kaynak ve teknoloji katsayılarını Sol-Sağ bulanık sayılar ile temsil edip bulanık kısıtları kesin sayılı kısıtlara dönüştürerek (4.79)'u çözmüştür.

$\tilde{A}_i = (a_{li}, a_{ui}, c_i, d_i)$  şeklinde ifade edilen sol-sağ bulanık sayıların üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\mu_{\tilde{A}_i}(r) = \begin{cases} L\left(\frac{a_{li} - r}{c_i}\right) & r \leq a_{li} \\ 1 & a_{li} \leq r \leq a_{ui} \\ R\left(\frac{r - a_{ui}}{d_i}\right) & r \geq a_{ui} \end{cases} \quad (4.95)$$

Buradaki  $L(x)$  ve  $R(x)$  fonksiyonları doğrusal olabildiği gibi  $\{L(x) = R(x) = S(x) = \text{enb}(0, 1 - |x|)\}$  çeşitli doğrusal olmayan ifadeler de içerebilir. Örnek olarak aşağıda bazı olası fonksiyonlar verilmiştir:

$$\text{Kuvvet} - S_p(x) = \text{enb}(0, 1 - |x|^p)$$

$$\text{Üstel} - S_p(x) = \text{enb}(0, a_p(1 - \exp[-p(1 - |x|)])), p \neq 0, a_p = [1 - \exp(-p)]^{-1},$$

$$\text{Kuvvet-üstel} - S_p(x) = \exp(-|x|^p), p \geq 1,$$

$$\text{Oransal} - S_p(x) = 1 / (1 + |x|^p), p \geq 1.$$

Çalışmada, verilen sol-sağ bulanık sayılar ile ifade edilen teknoloji ve kaynak katsayıları üzerinde aşağıdaki olabilirselsel model tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } \tilde{a}_{i1}x_1 \oplus \tilde{a}_{i2}x_2 \oplus \dots \oplus \tilde{a}_{in}x_n \lesssim \tilde{b}_i, \quad \forall i \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.96}$$

Bu modeli çözmek üzere kısıtlar tüm  $w \in [0,1]$  için tanımlanan iki kesin kısıta dönüştürülmüştür:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } \sum_{j=1}^n (a_{ij} - c_{ij}L_{ij}^{-1}(w))x_j \leq b_{ii} - c_iL_i^{-1}(w), \quad \forall w \in [0,1] \quad \forall i \\
& \sum_{j=1}^n (a_{uj} + d_{ij}R_{ij}^{-1}(w))x_j \leq b_{ui} + d_iR_i^{-1}(w), \quad \forall w \in [0,1] \quad \forall i \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.97}$$

Çalışmada, bu modeli çözmek üzere basitleştirmek için  $w = 0$  ve  $w = 1$  için kısıtların yazılması önerilmiştir.

$$\begin{aligned}
& \text{enb } cx \\
& \text{kst } \sum_{j=1}^n (a_{ij} - c_{ij})x_j \leq b_{ii} - c_i, \quad \forall i \\
& \sum_{j=1}^n (a_{uj} + d_{ij})x_j \leq b_{ui} + d_i, \quad \forall i \\
& \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_{ii}, \quad \forall i \\
& \sum_{j=1}^n a_{uj}x_j \leq b_{ui}, \quad \forall i \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.98}$$

Yazarlar, (4.97)'yi çözmek için öncelikle (4.98)'in çözülmesini ve belirlenen koşullar sağlanıyor ise (4.98)'in çözümünün (4.97)'nin çözümüne eşit olacağını göstermişlerdir. Eğer şartlar sağlanmıyor ise (4.97)'yi çözmek için algoritmik bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen çözüm yordamı oldukça karmaşıktır ve büyük çaplı problemlerde uygulanması oldukça zordur.

#### 4.2.5 Amaç fonksiyonunun ve teknoloji katsayılarının kesin olmaması

Amaç fonksiyonunun ve teknoloji katsayılarının kesin olmaması durumu, aşağıdaki bulanık DP modeli ile tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \text{enb } & \tilde{c}x \\ \text{kst } & \tilde{A}x \leq b, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.99)$$

Burada amaç fonksiyonu katsayıları ( $\tilde{c}$ ) ve teknoloji katsayıları ( $\tilde{A}$ ) bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.

Lai ve Hwang (1992b), bulanık katsayıları üçgen olabirsel dağılım olarak varsayarak çözüm üretmiştir. Buna göre amaç fonksiyonu katsayıları ( $c^k, c^b, c^y$ ) ve teknoloji katsayıları ( $A^k, A^b, A^y$ ) üçgen olabirsel dağılımlar ile ifade edilmiştir ( $k$ : kötümser,  $b$ : beklenen,  $y$ : iyimser). Teknoloji katsayılarındaki bulanıklığı modelleyebilmek için en muhtemel değer hesabı  $(4A_\beta^b + A_\beta^k + A_\beta^y)/6$  ( $\beta$  en küçük kabul edilebilir olabirlik düzeyi) ile yapılmıştır. Buna göre model aşağıdaki çok amaçlı DP modeline dönüştürülmüştür:

$$\begin{aligned} \text{enk } z_1 &= (c^b - c^k)x \\ \text{enb } z_2 &= c^b x \\ \text{enk } z_3 &= (c^y - c^b)x \\ \text{kst } & \left( (4A_\beta^b + A_\beta^k + A_\beta^y)/6 \right) x \leq b \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.100)$$

Verilen model  $\beta$  değeri baştan verildiğinde doğrusal bir modeldir. Lai ve Hwang (1992b),  $\beta$  ya 0 ile 1 arasında değerler vererek modeli çözmeyi ve tüm sonuçları karar vericiye sunmayı önermiştir.

#### 4.2.6 Tüm katsayıların bulanık olması veya kesin olmaması

Tüm katsayıların bulanık olduğu durumda problem aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & Z = \tilde{c}x \\ \text{kst } & \tilde{A}x \leq \tilde{b}, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.101)$$

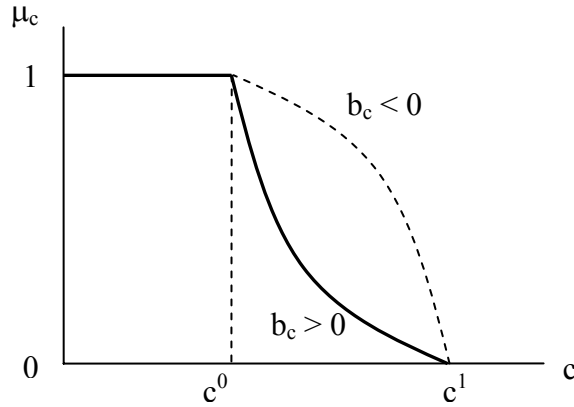
Burada amaç fonksiyonu katsayıları ( $\tilde{c}$ ), teknoloji katsayıları ( $\tilde{A}$ ) ve kaynak katsayıları ( $\tilde{b}$ ) bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.

#### 4.2.6.1 Carlsson ve Kohen yaklaşımı

Carlsson ve Kohen, (4.101)'de verilen denklemin çözümü ( $z^* = z^*(c, A, b)$ ) ile çözüm parametreleri  $(c, A, b)$  arasında bir ilişki olduğunu,  $z^*$ 'nin  $(c, A, b)$ 'nin artan bir fonksiyonu olduğunu öngörmüştür. Buna göre üyelik fonksiyonlarının  $c$ ,  $A$  ve  $b$ 'nin tekdüze azalan bir fonksiyonu olduğu varsayılmıştır. Lai ve Hwang (1992a), doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarını yöntemde gösterebilmek için üstel bir fonksiyon üzerinde çözüm yordamını göstermiştir. Buna göre amaç fonksiyonu katsayıları için üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Şekil 4.6).

$$\mu_c = a_c [1 - \exp(-b_c [c - c^1] / [c^0 - c^1])] \quad (4.102)$$

Burada  $b_c > 0$  veya  $b_c < 0$ 'dır ve karar verici tarafından belirlenir.  $a_c = 1/[1 - \exp(-b_c)]$  ve  $c \in [c^0, c^1]$ .  $c \leq c^0$  ise  $\mu_c = 1$  ve  $c > c^1$  ise  $\mu_c = 0$ . Teknoloji katsayıları ( $A$ ) ve kaynak katsayıları ( $b$ ) için üyelik fonksiyonları da benzer şekilde belirlenmiştir.



**Şekil 4.6 :** Amaç fonksiyonu katsayısı ( $c$ ) için üyelik fonksiyonu

$c$ ,  $A$  ve  $b$  arasındaki değiş-tokuştan sonra çözüm her zaman  $\mu = \mu_c = \mu_A = \mu_b$  durumunda mevcuttur. Üyelik fonksiyonlarının tersi alınarak aşağıdaki denklemler elde edilmiştir:

$$c = g_c(\mu), A = G_A(\mu), b = g_b(\mu) \quad (4.103)$$

burada  $\mu \in [0, 1]$  ve  $g_c$ ,  $G_A$ ,  $g_b$  ise  $\mu_c$ ,  $\mu_A$ ,  $\mu_b$ 'nin ters fonksiyonlarıdır. Buna göre (4.101), aşağıdaki modele dönüşür:

$$\begin{aligned} \text{enb} & \quad [g_c(\mu)]x \\ \text{kst} & \quad [G_A(\mu)]x \leq [g_b(\mu)]x \text{ ve } x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.104)$$

bu model doğrusal olmayan programlama modelidir. Fakat  $\mu$  verildiğinde doğrusal bir modele dönüşür. Farklı  $\mu$  değerleri için model çözüldüğünde  $(z^*, \mu)$  çözüm çiftleri grafik veya tablo ile karar vericiye sunulacak çözüm belirlenebilir.

#### 4.2.6.2 Lai ve Hwang yaklaşımı

Lai ve Hwang (1992a) amaç fonksiyonu ve teknoloji katsayılarının kesin olmadığı bulanık DP modeli için önerdikleri yaklaşıma (Bölüm 4.2.5) benzer şekilde tüm katsayıların üçgen olabilirlik dağılımı olduğunu varsayarak (4.101)'de verilen modeli çözmek üzere aşağıdaki DP modelini önermiştir:

$$\begin{aligned}
 \text{enk } z_1 &= (c^b - c^k)x \\
 \text{enb } z_2 &= c^b x \\
 \text{enk } z_3 &= (c^y - c^b)x \\
 \text{kst } A_\beta^b x &\leq b_\beta^b, \quad A_\beta^k x \leq b_\beta^k, \quad A_\beta^y x \leq b_\beta^y \quad x \geq 0
 \end{aligned} \tag{4.105}$$

Burada  $\beta$ , en küçük kabul edilebilir olabilirlik seviyesidir.  $\beta$  değeri verildiğinde (4.105), çok amaçlı programlama modeline dönüşür.

#### 4.2.6.3 Buckley yaklaşımı

Buckley (4.101)'de verilen modelde tüm katsayıları yamuk olabilirlik dağılımı ( $\pi(\cdot)$ ) ile temsil etmiştir (Lai ve Hwang, 1992a). Amaç fonksiyonu için de  $\pi(Z=z)$  bir olabilirlik dağılımı önermiştir. Sonrasında  $x$ 'in  $i$ 'inci kısıtı sağlama olabilirliği aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned}
 \pi(x \in F_i) &= \sup_{a_i, b_i} \{ \pi_{ort}(a_i, b_i) \mid a_i \leq b_i \} \\
 \pi_{ort}(a_i, b_i) &= \min[\pi(a_{i1}), \pi(a_{i2}), \dots, \pi(a_{in}), \pi(b_i)]
 \end{aligned} \tag{4.106}$$

Burada  $a_i = (a_{i1}, \dots, a_{in})$  ve  $\pi_{ort}(a_i, b_i)$ ,  $a_{ij}$  ve  $b_i$ 'nin ortak dağılımıdır. Böylece  $x \geq 0$  için  $x$ 'in olurlu olması veya tüm kısıtları sağlama olabilirliği şu şekilde yazılabilir:

$$\pi(x \in F) = \min_{1 \leq i \leq m} [\pi(x \in F_i)] \tag{4.107}$$

Verilen bir  $x$  değeri için  $Z = z$  koşullu olabilirliği aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$\begin{aligned}
 \pi(Z = z \mid x) &= \sup_c \{ \pi_{ort}(c) \mid cx = z \} \\
 \pi_{ort}(c) &= \min[\pi(c_1), \pi(c_2), \dots, \pi(c_n)] \quad \text{ve} \quad c = (c_1, \dots, c_n)
 \end{aligned} \tag{4.108}$$

Sonuçta  $Z$ 'nin olabilirlik dağılımı şu şekilde tanımlanmıştır:



$$\pi_1(Z = z) = \pi_1(Z) = \sup_{x \geq 0} \{ \min[ \pi(Z = z | x), \pi(x \in F) ] \} \quad (4.109)$$

Buckley, Z'nin olabilirlik dağılımı için farklı bir tanımlama da önermiştir. Buna göre öncelikle verilen kesin  $c, b, A$  değerleri için aşağıdaki DP modeli çözülür:

$$\begin{aligned} \text{enb } & Z = cx \\ \text{kst } & Ax \leq b, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.110)$$

Buradan çıkan en büyük Z değeri  $z$  ve  $\pi_{ort}(c, b, A)$ ,  $c_j, b_j$  ve  $a_{ij}$  'nin ortak olabilirlik dağılımı olmak üzere

$$\pi_2(Z) = \sup_{c, b, A} \{ \pi_{ort}(c, b, A) | Z = z \} \quad (4.111)$$

(4.101)'deki denklemde  $x^*$  için iki yolla uzlaşık çözüm elde edilebilir: (1) karar verici kabul edilebilir bir  $\alpha = \alpha^* \in [0, 1]$  ve  $Z = z(\alpha^*)$  değerleri belirler, böylece  $\pi[Z \geq z(\alpha^*)] = \alpha^*$  olur, (2) karar verici  $\alpha^*$ 'yi klasik DP problemi kurmak için kullanır, en iyi çözüm  $z(\alpha^*)$  olur, en iyi çözümdeki  $x$  değeri model (4.101)'in uzlaşık çözümü olur.

Önerilen yaklaşımda çözüm algoritması için  $\alpha$ -kesim tekniği kullanılmıştır. Normalize edilmiş dışbükey bulanık sayıların  $\alpha$ -kesimlerinin sınırlandırılmış kapalı aralıklar olmasından yararlanılarak

$$a_{ij}^\alpha = [a_{ij}^{\alpha A}, a_{ij}^{\alpha U}], b_i^\alpha = [b_i^{\alpha A}, b_i^{\alpha U}], c_j^\alpha = [c_j^{\alpha A}, c_j^{\alpha U}], \forall i, j$$

olduğu varsayılmıştır. Buna göre aşağıdaki model çözülmüştür:

$$\begin{aligned} \text{enb } & Z = \sum_j c_j^{\alpha U} x_j \\ \text{kst } & \sum_j a_{ij}^{\alpha A} x_j \leq b_i^{\alpha U}, \forall i \\ & x_j \geq 0, \forall j, \alpha \in [0, 1] \end{aligned} \quad (4.112)$$

Yöntemde,  $z(\alpha)$  ve  $\Omega(\alpha)$ , model (4.112)'nin olurlu kümesini göstermek üzere; Z'nin olabilirlik dağılımı aşağıdaki gibi tanımlandığında;

$$\pi(z) = \begin{cases} 1 & z^A \leq z \leq z(1) \text{ ise} \\ \alpha & z = z(\alpha) \text{ ve } 0 < \alpha < 1 \text{ ise} \\ 0 & z \geq z(0) \text{ ise} \end{cases} \quad (4.113)$$

$\Omega(\alpha) \neq \emptyset$  ise  $\pi_1(Z=z) = \pi(z)$  olduğu kanıtlanmıştır (denkleme  $z^A = \text{enk} \left\{ \sum_j c_{j,2} x_j \mid x \in \Omega(1) \right\}$ 'dir ve  $z(1)$ 'in alt limitidir). Böylece model (4.112)'nin parametrik DP çözümü aynı zamanda  $\pi_1(Z)$ 'nin çözümüdür. Çünkü: (1)  $\Omega(1)$ ,  $x \geq 0$ 'ın en geniş kümesidir ve  $\pi(x \in F)=1$  'dir, (2)  $\alpha$  birden sıfıra düştükçe  $\Omega(\alpha)$  sürekli olarak artar ve (3)  $\Omega(0)$ ,  $x \geq 0$ 'ın en dar kümesidir ve  $x \in \Omega(0)$  içerisinde yer almadığında  $\pi(x \in F)=0$ 'dir. Ayrıca Buckley,  $\Omega(1) \neq \emptyset$  sağlandığında  $z \geq z(1)$  için  $\pi_1(Z) = \pi_2(Z)$  olduğunu ispatlamıştır.

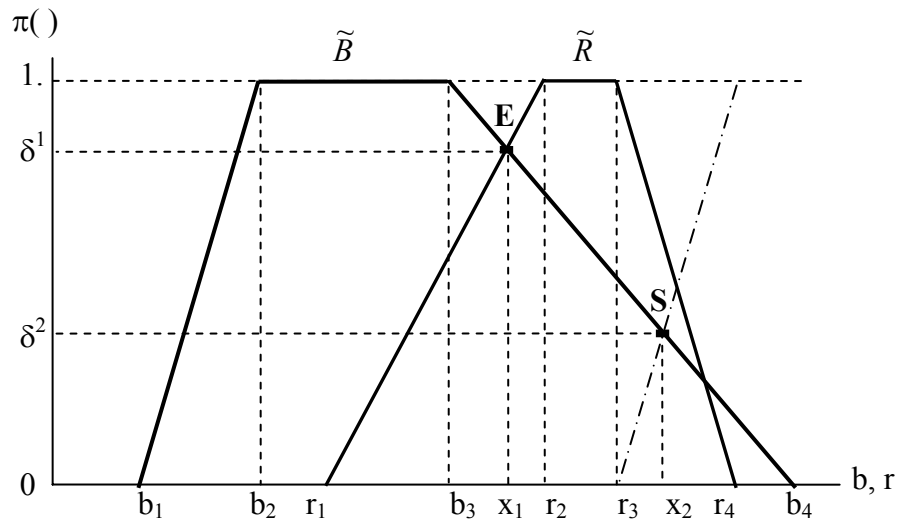
#### 4.2.6.4 Negi yaklaşımı

Negi tüm katsayıları bulanık olan DP modelini çözmek için büyük olma ve kesin büyük olma olabilirliklerini kullanmıştır (Lai ve Hwang, 1992a).  $\pi(B^A, R^A)$  şeklinde gösterilen büyük olma olabilirliği,  $\tilde{B} \geq \tilde{R}$  eşitsizliğinin olabilirlik ifadesidir.

$\tilde{B}(b_1, b_2, b_3, b_4)$  ve  $\tilde{R}(r_1, r_2, r_3, r_4)$ , Şekil 4.7'de verilen yamuk bulanık sayılar olmak üzere; aynı şekildeki  $E(x_1, \delta_1)$  noktasından hareketle büyük olma olabilirliği aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\delta^1 = (x_1 - r_1)/(r_2 - r_1) = (b_4 - r_1)/[(b_4 - b_3) + (r_2 - r_1)]$$

$$\pi(B^U \geq R^A) = \begin{cases} 1 & b_3 > r_2 \text{ ise} \\ \delta^1 & b_3 \leq r_2 \text{ ve } r_1 \leq b_4 \text{ ise} \\ 0 & r_1 > b_4 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.114)$$



Şekil 4.7 : Yamuk bulanık sayıların karşılaştırılması

Benzer şekilde kesin büyük olma olabilirliği ( $\pi(B^U, R^U)$ ),  $S(x_2, \delta_2)$  noktasından yararlanılarak bulunmuştur:

$$\delta^2 = (x_2 - r_3)/(r_4 - r_3) = (b_4 - r_3)/[(b_4 - b_3) + (r_4 - r_3)]$$

$$\pi(B^U \geq R^A) = \begin{cases} 1 & b_3 > r_4 \text{ ise} \\ \delta^2 & b_3 \leq r_4 \text{ ve } r_3 \leq b_4 \text{ ise} \\ 0 & r_3 > b_4 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.115)$$

Model (4.101)'deki kısıtların sağ taraf ve sol taraf değerlerine yamuk bulanık sayılar için geliştirilmiş olan toplama işlemi uygulanırsa sağ taraf ve sol taraf değerleri  $\tilde{B}$  ve  $\tilde{R}$  olarak kabul edilebilir. Buna göre  $x$  karar değişkenlerinin  $i$  kısıtını sağlama olabilirliği (büyük olma olabilirliğine göre) aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$\pi(x \in F_i) = \begin{cases} 1 & b_{i,3} > r_{i,2} \text{ ise} \\ \delta_i = \frac{(b_{i,4} - r_{i,1})}{(b_{i,4} - b_{i,3}) + (r_{i,2} - r_{i,1})} & b_{i,3} \leq r_{i,2} \text{ ve } r_{i,1} \leq b_{i,4} \text{ ise} \\ 0 & r_{i,1} > b_{i,4} \text{ ise} \end{cases} \quad (4.116)$$

Burada  $r_{i,1} = \sum_j a_{ij,1}x_j$ ,  $r_{i,2} = \sum_j a_{ij,2}x_j$ .

$x$ 'in tüm kısıtları sağlama olabilirliği,  $b_{i,3} \leq \sum_j a_{ij,2}x_j$  ve  $b_{i,4} \geq \sum_j a_{ij,1}x_j$ ,  $\forall i$  karar uzayında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\pi(x \in F) = \min_{1 \leq i \leq m} [\pi(x \in F_i)] = \min\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m\} \quad (4.117)$$

Model (4.101)'deki amaç fonksiyonu yamuk bulanık sayı ile gösterildiğinde;

$$\tilde{Z} = \left[ \sum_j c_{j,1}x_j \mid \sum_j c_{j,2}x_j, \sum_j c_{j,3}x_j \mid \sum_j c_{j,4}x_j \right] \quad (4.118)$$

olabilirlik dağılımı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\pi(Z = z \mid x) = \begin{cases} \theta_1 = \frac{z - \sum_j c_{j,1}x_j}{\sum_j c_{j,2}x_j - \sum_j c_{j,1}x_j} & \sum_j c_{j,1}x_j \leq \sum_j c_{j,2}x_j \text{ ise} \\ 1 & \sum_j c_{j,2}x_j \leq \sum_j c_{j,3}x_j \text{ ise} \\ \theta_2 = \frac{\sum_j c_{j,4}x_j - z}{\sum_j c_{j,4}x_j - \sum_j c_{j,3}x_j} & \sum_j c_{j,3}x_j \leq \sum_j c_{j,4}x_j \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.119)$$

Amaç fonksiyonun en büyük değeri  $\pi(Z = z | x) = \theta_2$  noktasındadır. Buradan yola çıkılarak  $b_{i,3} \leq \sum_j a_{ij,2}x_j$ ,  $b_{i,4} \geq \sum_j a_{ij,1}x_j$ ,  $\forall i$  ve  $\sum_j c_{j,3}x_j \leq \sum_j c_{j,4}x_j$  durumlarını sağlayan amaç fonksiyonu olabilirliği şu şekilde oluşturulmuştur:

$$\pi(Z = z) = \min\{\min[\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m], \theta_2\} = \min\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m, \theta_2\} \quad (4.120)$$

Kısıtlar ve amaç fonksiyonu için yazılan denklemler doğrusal olmayan fonksiyonlardır. Bununla birlikte karar verici bir  $\alpha$ -kesim değeri belirlerse denklem (4.120) aşağıdaki DP modeli ile eşdeğerdir:

$$\begin{aligned} \text{enb } z \\ \text{kst } \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m, \theta_2 &\geq \alpha \\ b_{i,3} &\leq \sum_j a_{ij,2}x_j, \quad b_{i,4} \geq \sum_j a_{ij,1}x_j \\ \sum_j c_{j,3}x_j &\leq \sum_j c_{j,4}x_j \\ z, x_j, \forall_j &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.121)$$

Bu şekilde oluşturulan DP modelinin çözümü model (4.101)'in çözümünü verir.

#### 4.2.6.5 Maleki Tata Mashichi yöntemi

Maleki ve diğ. (2000) amaç fonksiyon katsayıları, kısıt katsayıları ve sağ taraf değerleri yamuk bulanık sayılarla tanımlanmış bulanık DP modelini çözmek üzere bir yöntem önermiştir. Ayrıca bu yöntemden çıkan sonuç ile karar değişkenleri bulanık olan doğrusal programla modelini çözmek üzere bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmada tanımlanan bulanık sayılı DP modeli aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{Enb } z &= \sum_{j=1}^p \tilde{c}_j x_j, \\ \text{Kst } \sum_{j=1}^p \tilde{a}_{ij} x_j &\leq \tilde{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m_0, \\ \sum_{j=1}^p \tilde{a}_{ij} x_j &\geq \tilde{b}_i, \quad i = m_0 + 1, \dots, m, \\ x_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p. \end{aligned} \quad (4.122)$$

Burada  $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^L, a_{ij}^U, \alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,  $\tilde{b}_i = (b_i^L, b_i^U, \alpha_i, \beta_i)$ ,  $\tilde{c}_i = (c_j^L, c_j^U, \omega_j, \eta_j)$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $j=1, 2, \dots, p$  yamuk bulanık sayılardır.

Yamuk bulanık sayı  $\tilde{A} = (A^L, A^U, \alpha, \beta)$  şeklinde verildiğinde  $\tilde{a} = (a^L, a^U, \alpha, \beta)$  ve  $\tilde{b} = (b^L, b^U, \gamma, \theta)$  için skaler ile çarpma, toplama ve çıkarma işlemleri aşağıda tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
x > 0, \quad x \in R : x(.)\tilde{a} &= (xa^L, xa^U, x\alpha, x\beta) \\
x < 0, \quad x \in R : x(.)\tilde{a} &= (xa^U, xa^L, -x\beta, -x\alpha) \\
\tilde{a} + \tilde{b} &= (a^L + b^L, a^U + b^U, \alpha + \gamma, \beta + \theta) \\
\tilde{a} - \tilde{b} &= (a^L - b^U, a^U - b^L, \alpha + \theta, \beta + \gamma)
\end{aligned} \tag{4.123}$$

Çalışmada bulanık sayıları karşılaştırmak için üyelik fonksiyonları ile belirlenmiş alanların karşılaştırılması prensibinden yararlanılmış ve  $\tilde{a}$  ve  $\tilde{b}$  gibi iki yamuk bulanık sayı arasındaki büyüklük ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\tilde{a} \geq \tilde{b} \Leftrightarrow a^L + a^U + \frac{1}{2}(\beta - \alpha) \geq b^U + b^L\alpha + \frac{1}{2}(\theta - \gamma) \tag{4.124}$$

Bu tanımdan yararlanılarak her bir yamuk bulanık sayı bir gerçel sayı ile temsil edilmiştir. Şöyle ki;  $\tilde{f} = (f^L, f^U, \alpha, \beta)$  yamuk bulanık sayısı için ilgili gerçel sayı;

$$f = f^L + f^U + \frac{1}{2}(\beta - \alpha) \tag{4.125}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Maleki ve diğ. (2000), (4.122)'de tanımlanan bulanık DP modeli ile aşağıda verilen DP modelinin denk olduğunu ispatlamıştır:

$$\begin{aligned}
\text{Enb } z &= \sum_{j=1}^p c_j x_j, \\
\text{Kst } \sum_{j=1}^p a_{ij} x_j &\leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m_0, \\
\sum_{j=1}^p a_{ij} x_j &\geq b_i, \quad i = m_0 + 1, \dots, m, \\
x_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p
\end{aligned} \tag{4.126}$$

Burada  $a_{ij}, b_i, c_j$  değerleri sırası ile  $\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_i, \tilde{c}_j$  ÜBS'leri için denklem (4.125)'teki gibi tanımlanmış gerçel sayılardır.

#### 4.2.7 Karar değişkenlerinin kesin olmaması

Doğrusal programlama modellerinde parametrelerde bulanıklık söz konusu olduğu gibi, verilen kararların da bulanık sayı veya olabilirlik dağılımları ile gösterilmesi mümkündür. Bulanık kararlar genellikle karmaşıklık ve belirsizliğin çok olduğu sistemleri modellerken tercih edilir. Bu şekilde kararlara da bir esneklik getirilmiş olur. Bu bölümde kararların bulanık olarak verilmesini öngören üç çalışma incelenmiştir.

##### 4.2.7.1 Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımı

Tanaka ve diğ. (2000) kaynak kısıtlarının bulanık sayılarla ifade edildiği bulanık programlama modelinde karar değişkenlerini olabilirlik dağılımları ile kontrol eden bir yaklaşım önermiştir. Dikkate alınan model aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Enb (veya Enk)} \quad & f(a, D) \\ \text{kst} \quad & d_1 \tilde{X}_1 + \dots + d_j \tilde{X}_j + \dots + d_n \tilde{X}_n \geq \tilde{C}_0 \\ & b_{i1} \tilde{X}_1 + \dots + b_{ij} \tilde{X}_j + \dots + b_{in} \tilde{X}_n \leq \tilde{C}_i \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (4.127)$$

Burada  $f(a, D)$  bulanık karar değişkenlerinin merkezlerini ve dağılım matrislerini gösteren fonksiyondur. Modeldeki ilk kısıt amaç fonksiyonu yerine yazılmıştır ve amacın sağlanma düzeyinin istenilen seviyede olmasını sağlamaktadır. Çalışmada bulanık karar değişkenleri üç farklı şekilde tasarlanarak çözüm aranmıştır: aralık, üçgen olabilirlik dağılımı ve üstel olabilirlik dağılımı.

Karar değişkenleri aralık şeklinde aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır:

$$\Pi_{x_j}(x_j) = \begin{cases} 1, & a_j - w_j \leq x_j \leq a_j + w_j \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.128)$$

Burada  $a_j$ ,  $x_j$  için belirlenen aralığın orta noktasını,  $w_j$  ise aralığın orta noktadan sağa ve sola uzaklığını (yayılımını) vermektedir. Buna göre  $x_j$ ,  $\langle a_j, w_j \rangle$  gibi iki parametre ile ifade edilebilir. Benzer şekilde her kaynak katsayısı  $C_i$  için  $\langle c_i, r_i \rangle$  ile gösterilen aralıklar tanımlanmıştır. Modeldeki eşitsizlikleri gösterebilmek için aralıklar arası eşitsizlik ilişkisi tanımlanmıştır.  $Y_i \langle y_i, w_i \rangle$  ve  $Y_j \langle y_j, w_j \rangle$  için “ $Y_i \geq Y_j$ ” aşağıdaki gibi sağlanmıştır:

$$Y_i \geq Y_j \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} y_i - w_i &\geq y_j - w_j \\ y_i + w_i &\geq y_j + w_j \end{aligned} \quad (4.129)$$

Son olarak (4.127)'yi tanımlanan aralıklara ve eşitsizlik ilişkisine göre çözmek için aşağıdaki DP modeli önerilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{Enb} \quad & k_1 \sum_{j=1}^n p_j a_j + k_2 \sum_{j=1}^n q_j w_j \\
 \text{kst} \quad & \sum_{j=1}^n b_{ij} a_j - \sum_{j=1}^n b_{ij} w_j \leq c_i - r_i \quad i = 0, 1, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n b_{ij} a_j + \sum_{j=1}^n b_{ij} w_j \leq c_i + r_i \quad i = 0, 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{4.130}$$

Burada karar değişkenlerinin merkezinin ve yayılımlarının ağırlıklandırılmış toplamı enbüyüklenmektedir.  $k_1$  ve  $k_2$  ( $k_1, k_2 \geq 0$ ) sırasıyla merkezlerin toplamının ve yayılımların toplamının ağırlıklarını;  $p_j$  ve  $q_j$  ( $p_j, q_j \geq 0, \forall j$ )  $j$  karar değişkeni ile ilgili sırasıyla merkezin ve yayılımın ağırlığını göstermektedir. (4.130)'da  $b_{0j} = -d_j$  olarak kabul edilmiştir.

Karar değişkenleri için üçgen olabilirlik dağılımı kabul edildiğinde üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\Pi_{x_j}(x_j) = \begin{cases} 1 - \frac{|x_j - a_j|}{w_j}, & a_j - w_j \leq x_j \leq a_j + w_j, \quad w_j > 0 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{4.131}$$

Burada  $a_j, x_j$  için belirlenen simetrik üçgen olabilirlik dağılımının orta noktasını,  $w_j$  ise dağılımın orta noktadan sağa ve sola yayılımını vermektedir. Buna göre  $x_j, \langle a_j, w_j \rangle$  gibi iki parametre ile ifade edilebilir. Benzer şekilde her kaynak katsayısı  $C_i$  için  $\langle c_i, r_i \rangle$  ile gösterilen üçgen olabilirlik dağılımları tanımlanmıştır. Modeldeki eşitsizlikleri gösterebilmek için üçgen bulanık dağılımlar arası eşitsizlik ilişkisi tanımlanmıştır.  $Y_i \langle y_i, w_i \rangle$  ve  $Y_j \langle y_j, w_j \rangle$  için “ $Y_i \geq Y_j$ ” aşağıdaki gibi sağlanır:

$$Y_i \geq Y_j \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} y_i - (1-h)w_i &\geq y_j - (1-h)w_j \\ y_i + (1-h)w_i &\geq y_j + (1-h)w_j \end{aligned} \tag{4.132}$$

Burada  $h \in [0, 1]$  önceden belirlenmiş parametredir. (4.127)'yi tanımlanan üçgen dağılımlara ve eşitsizlik ilişkisine göre çözmek için aşağıdaki DP modeli önerilmiştir.

$$\begin{aligned}
\text{Enb} \quad & k_1 \sum_{j=1}^n p_j a_j + k_2 \sum_{j=1}^n q_j w_j \\
\text{kst} \quad & \sum_{j=1}^n b_{ij} a_j - (1-h) \sum_{j=1}^n b_{ij} w_j \leq c_i - (1-h)r_i \quad i = 0,1,\dots,m \\
& \sum_{j=1}^n b_{ij} a_j + (1-h) \sum_{j=1}^n b_{ij} w_j \leq c_i + (1-h)r_i \quad i = 0,1,\dots,m
\end{aligned} \tag{4.133}$$

Burada amaç fonksiyonu ve parametreler, model (4.130) ile aynı şekilde tanımlanmıştır. (4.133)'nin  $h = 0$  için özel durumu (4.130)'a eşit olmaktadır.

Karar değişkenleri üstel olabilirlik dağılımı olarak kabul edildiğinde  $\mathbf{X}=[X_1, X_2, \dots, X_n]^T$  karar vektörü aşağıdaki üstel dağılım fonksiyonu ile gösterilir:

$$\Pi_A(\mathbf{x}) = \exp\left\{- (\mathbf{x} - \mathbf{a})^T \mathbf{D}_A^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{a})\right\} \tag{4.134}$$

Basit şekilde  $\Pi_A(\mathbf{x}) = (\mathbf{a}, \mathbf{D}_A)_e$  ile ifade edilebilir. Burada  $\mathbf{a} = [a_1, \dots, a_n]$   $n$  boyutlu merkez vektörü,  $\mathbf{D}_A$  ise simetrik dağılım matrisidir. Kaynak katsayıları,  $C_i$ , benzer şekilde tanımlanmıştır:

$$\Pi_{C_i}(x) = \exp\left\{- (x - c_i)^2 / r_i\right\} \tag{4.135}$$

$\Pi_{C_i}(x)$ ,  $(c_i, r_i)_e$  şeklinde gösterilebilir ( $c_i, r_i \geq 0$ ). Modeldeki eşitsizlikler için verilen dağılımlar arasındaki eşitsizlik ilişkisi tanımlanmıştır.  $Y_i (c_i, r_i)_e$  ve  $Y_j (c_j, r_j)_e$  için “ $Y_i \geq Y_j$ ” aşağıdaki gibi sağlanır:

$$\begin{aligned}
Y_i \geq Y_j \quad & \Leftrightarrow \quad c_i - \sqrt{(-\ln h)r_i} \geq c_j - \sqrt{(-\ln h)r_j} \\
& c_i + \sqrt{(-\ln h)r_i} \geq c_j + \sqrt{(-\ln h)r_j}
\end{aligned} \tag{4.136}$$

Burada  $h \in [0,1]$  önceden belirlenmiş parametredir. (4.127)'yi üstel olabilirlik dağılımlarına göre çözmek için kısıtlarında doğrusal olmayan fonksiyonların olduğu aşağıdaki eniyileme modeli önerilmiştir.

$$\begin{aligned}
\text{Enb}_{\mathbf{D}_A} \quad & \sum_{i=0}^m \mathbf{b}_i^T \mathbf{D}_A \mathbf{b}_i \\
\text{kst} \quad & \mathbf{b}_i^T \mathbf{a} - \sqrt{(-\ln h) \mathbf{b}_i^T \mathbf{D}_A \mathbf{b}_i} \leq c_j - \sqrt{(-\ln h)r_j} \quad i = 0,1,\dots,m \\
& \mathbf{b}_i^T \mathbf{a} + \sqrt{(-\ln h) \mathbf{b}_i^T \mathbf{D}_A \mathbf{b}_i} \leq c_j + \sqrt{(-\ln h)r_j} \quad i = 0,1,\dots,m
\end{aligned} \tag{4.137}$$



Burada amaç fonksiyonunda merkezin ve dağılımların toplamı enbüyüklenmektedir. Çalışmada bu modeli çözmek için iteratif bir yaklaşım önerilmiştir.

#### 4.2.7.2 Buckley ve Feuring yaklaşımı

Buckey ve Feuring (2000) tüm katsayıları ve karar değişkenleri ÜBS'ler ile ifade edilen bulanık DP modelini çözmek için evrimsel bir yöntem önermiştir. Çalışmada ilgilenilen model aşağıda verilmiştir:

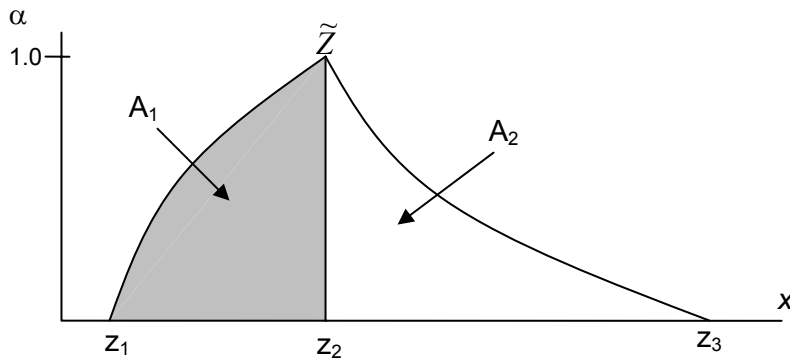
$$\begin{aligned} \text{enb } \tilde{Z} &= \tilde{C}_1 \tilde{X}_1 + \tilde{C}_2 \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{C}_n \tilde{X}_n \\ \text{kst } \tilde{A}_{i1} \tilde{X}_1 + \tilde{A}_{i2} \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{A}_{in} \tilde{X}_n &\leq \tilde{B}_i, \quad 1 \leq i \leq m, \\ X_i &\geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (4.138)$$

Burada tüm amaç fonksiyonu katsayıları ( $\tilde{C}$ ), teknoloji katsayıları ( $\tilde{A}$ ), kaynak katsayıları ( $\tilde{B}$ ) ve karar değişkenleri ( $\tilde{X}$ ), ÜBS'ler ile gösterilmiştir.

Verilen modeli çözmek için enb  $\tilde{Z}$  ve  $\tilde{E}_i \leq \tilde{B}_i$  ( $\tilde{E}_i = \tilde{A}_{i1} \tilde{X}_1 + \tilde{A}_{i2} \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{A}_{in} \tilde{X}_n$ ) ifadelerinin nasıl tanımlanabileceği tartışılmıştır.

Bulanık amaç fonksiyonunu,  $\tilde{Z}$ , enbüyüklemek için üç amaç tanımlanmıştır. Şekil 4.8'de oluşan üçgenimsi amaç fonksiyonu için tanımlanan amaçlar verilmiştir. Buna göre ilk amaç  $z_2$  değerini enbüyüklemektir. İkinci amaç  $A_2$  alanını enbüyüklemektir. Üçüncü amaç ise  $A_1$  alanını enküçüklemektir. Çalışmada olurlu çözüm çıkabilmesi için üçüncü amacın yerine  $A'_1 = b_3 - A_1$ 'i enbüyüklemek ( $b_3 = \text{Sup } A_1$ ) önerilmiştir. Sonuçta ortaya konulan amaçlar şunlardır:

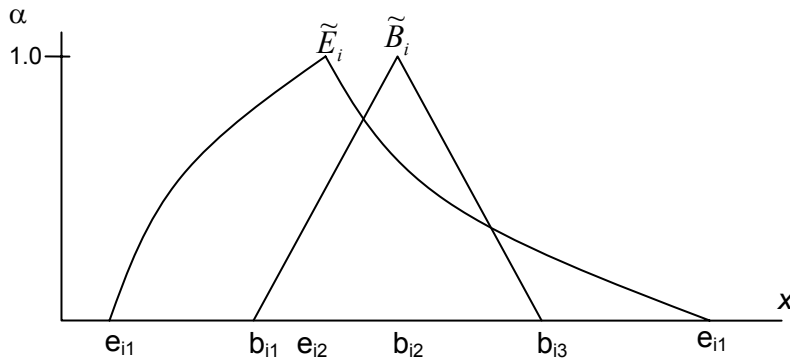
$$[\text{sup } z_2, \text{sup } A_2, \text{sup } A'_1] \quad (4.139)$$



Şekil 4.8 : Buckley ve Feuring yaklaşımı amaç tanımları (Buckley ve Feuring, 2000)

Bu amaçları çözebilmek için çalışmada, parametrik programlama ve esnek programlama yaklaşımları incelenmiş ve domine edilmemiş çözüm kümelerini araştırmak için bulanık programlama tekniğinin uygulanmasına karar verilmiştir.

Çalışmada kısıtların sağlanmasını kontrol etmek için  $\tilde{E}_i$  ve  $\tilde{B}_i$ 'nin karşılaştırılması gerekmektedir (Şekil 4.9). Modelde karar değişkenleri bulanık sayılar ile elde edildiği için kısıtlardaki eşitsizlik sağlanırken amaç fonksiyonunun kısıtlanması yani sonsuza gitmemesi önemlidir. Modelde karşılaştırmayı yapabilmek için Hamming uzaklığı kullanılarak ve Chen yaklaşımına göre sıralama yapılması önerilmiştir.



**Şekil 4.9 :** Buckley ve Feuring yaklaşımı kısıtlardaki bulanık sayılar

Çalışmada çözüme ulaşabilmek için domine edilmemiş çözümleri araştırmayı içeren evrimsel bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım, genetik algoritmaya benzer adımlar içermekle beraber genetik algoritmadaki gibi 0-1 ikili sayılarla kodlama yerine doğrudan karar değişkenleri ( $X$ ) üzerinden işlem yapılmasını içermektedir.

#### 4.2.7.3 Maleki Tata Mashichi yöntemi

Maleki ve diğ. (2000) karar değişkenlerinde bulanıklık içeren DP modelleri için bir çözüm yöntemi önermiştir. Yöntemde karar değişkenleri bulanık olan DP modelinin duali alınarak bölüm 4.2.6.5'te tanımlanan bulanık sayılı DP modeline dönüştürülmüş ve çözüm orada önerilen yönteme dayanılarak elde edilmiştir. Tanımlanan karar değişkenleri bulanık sayı olan DP modeli aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{enk } \tilde{Z} &= b' \tilde{Y} \\
 \text{kst } \tilde{Y}' A &\geq \tilde{C}', \\
 \tilde{Y} &\geq 0
 \end{aligned}
 \tag{4.140}$$

Burada  $0 \leq b \in R^m$ ,  $A \in R^{m \times n}$ ,  $\tilde{C}' \in (F(R))^n$ ,  $\tilde{Y} \in (F(R))^m$ . Bu modeli çözebilmek için DP'deki duale benzer bir yaklaşım ile yardımcı bir model önerilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{enb} \quad & \tilde{z}A = \tilde{C}X \\ \text{kst} \quad & AX \leq b, \\ & X \geq 0. \end{aligned} \tag{4.141}$$

Burada  $X \in R^n$ . Önerilen yardımcı modelin çözümü kullanılarak karar değişkenleri bulanık olan DP modeli çözülmüştür.

#### 4.2.8 İncelenen bulanık tek amaçlı doğrusal programlama modellerinin değerlendirilmesi

Tez çalışmasında toplam 21 adet bulanık tek amaçlı DP modeli incelenmiştir. İncelenen yöntemler belirsiz olarak dikkate aldıkları parametrelere göre sınıflandırılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda yöntemlerin dört konuya göre değerlendirilebileceği görülmüştür. Yöntemlerin bulanık amaçlara nasıl yaklaştıkları, bulanık kısıtlara nasıl yaklaştıkları, problemlerde bulanıklığı nasıl ifade ettikleri ve çözüm yöntemi olarak ne önerdikleri birbirlerinden farklarını ortaya koymada önemli konulardır. Tablo 4.4'de incelenen çalışmaların bu konulara göre sınıflandırması verilmiştir.

İncelenen çalışmaların bulanık amaçlara veya amaç fonksiyonu katsayılarına nasıl yaklaştıkları irdelendiğinde en fazla tercih edilen yaklaşımın amaçlar için üyelik fonksiyonu tanımlamak olduğu görülmüştür (Zimmermann, Chanas, Verdegay, Carlsson ve Kohen, Buckley, Negi, Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımları). Bu yöntemlerde önceden belirlenmiş, karar vericiden istenmiş veya çeşitli yöntemlerle elde edilmiş hedefler ve amaç en düşük noktalarına göre hedefin sağlanıp sağlanmadığını göstermek üzere üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu şekilde tanımlanan amaçlar, genelde, daha sonra modele kısıt olarak eklenmiştir. Amaçlardaki bulanıklığı modellemek için tercih edilen bir diğer yaklaşım tek amacın çok amaç haline getirilmesidir (Lai ve Hwang yaklaşımları, Zhang Wu Remias Lu yaklaşımı, Buckley ve Feuring yaklaşımları). Bu modellerde tanımlanan bulanık amaç fonksiyonunun enbüyüklenmesi (veya enküçüklenmesi) birden çok kesin fonksiyonun eniyilenmesi ile ifade edilir. Özellikle Lai ve Hwang (1992a) tarafından ÜBS'ler için önerilen, bulanık amaç fonksiyonunun üç kesin amaca dönüştürüldüğü yaklaşım literatürdeki yakın tarihli çalışmalarda oldukça fazla kullanılmıştır. Amaç

fonksiyonlarının bulanıklığının ifade edilmesi ile ilgili en az tercih edilen yöntem doğrudan netleştirilmedir (Maeda ve Maleki Tata Maschichi yaklaşımları). Bu yöntemlerde amaç fonksiyonu tek bir kesin amaca dönüştürülür.

**Tablo 4.4 : İncelenen tek amaçlı modellerin özellikleri**

Bulanıklık içeren parametre	Çalışmalar	Amaçlara yaklaşım	Kısıtlara yaklaşım	Bulanıklığın ifade edilmesi	Çözüm yöntemi
Kaynak katsayıları	Verdegay yaklaşımı	-	$\alpha$	T	P
	Werner yaklaşımı	-	EBK	T	DP
	Tang-Wang-Fung yaklaşımı	-	$\alpha$	H	DP/DOP
Kaynak katsayıları ve amaç fonksiyonu	Zimmermann yaklaşımı	ÜF	EBK	T	DP
	Chanas yaklaşımı	ÜF	EBK	T	P
Amaç fonksiyonu katsayıları	Verdegay yaklaşımı	ÜF	-	H	P
	Lai ve Hwang yaklaşımı	ÇA	-	ÜÇ	ÇADP
	Maeda yaklaşımı	N	-	ÜÇ	P
	Zhang Wu Remias Lu yaklaşımı	ÇA	-	H	DP
Kaynak ve teknoloji katsayıları	Ramik ve Rimenek yaklaşımı	-	DK	YA	DP
	Dubois yaklaşımı	-	DK/OG	SS	DP
	Leon ve Vercher yaklaşımı	-	DK	SS	İT
Amaç fonksiyonu ve teknoloji katsayıları	Lai ve Hwang yaklaşımı	ÇA	$\alpha$	ÜÇ	ÇADP
Tüm katsayılar	Carlsson ve Kohen yaklaşımı	ÜF	$\alpha$	ÖT	P
	Lai ve Hwang yaklaşımı	ÇA	$\alpha$	ÜÇ	ÇADP
	Buckley yaklaşımı	ÜF	OG	YA	P
	Negi yaklaşımı	ÜF	OG	YA	DP
	Maleki-Tata-Mashichi yaklaşımı	N	N	YA	DP
Karar değişkenleri	Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımı	ÜF	$\alpha$	ÜÇ/ÖT	DP/İT
	Buckley ve Feuring yaklaşımı	ÇA	OG	ÜÇ	İT
	Maleki-Tata-Mashichi yaklaşımı	N	N	YA	DP
<b>Kısaltmalar</b>	ÜF: üyelik fonksiyonu, ÇA: çok amaçlı, N: netleştirme, $\alpha$ : önceden belirlenmiş üyelik fonksiyonu değeri, EBK: enbüyük-enküçük operatörü, DK: birden çok doğrusal kısıta dönüştürme, OG: olabilirlik-gereklilik fonksiyonu, T: toleras değerleri, H: herhangi bir bulanıklık veya olabilirlik dağılımı, ÜÇ: üçgen bulanık sayı, YA: yamuk bulanık sayı, SS: sol-sağ bulanık sayı, ÖT: özel tanımlı bulanık sayı, P: parametrik programlama, DP: doğrusal programlama, ÇADP: çok amaçlı doğrusal programlama, İT: iteratif yöntemler, DOP doğrusal olmayan programlama				

Modelleri birbirlerinden ayıran diğer bir konu kısıtlara yaklaşımlarıdır. Tablo 4.4'te görülebileceği gibi çoğu modelde bulanık kısıtlar önceden belirlenmiş olabilirlik /

bulanıklık seviyesine göre netleştirilir (Verdegay, Tang Wang Fung, Lai ve Hwang, Carlsson ve Kohen, Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımları). Bu yöntemlere verilen  $\alpha$  (veya başka bir parametre) değerine göre kısıtların sağlanması garanti altına alınmaya çalışılır.  $\alpha$  parametresi önceden verildiği veya birden çok  $\alpha$  değeri için çözüm üretildiği için bu yöntemlerin uygulaması büyük problemlerde kolay değildir. Bir diğer yöntem, enb-enk operatörü kullanmaktır (Werner, Zimmermann, Chanas yaklaşımları). Bu yaklaşımı kullanan yöntemlerde  $\alpha$  değeri önceden verilmez, bunun yerine en küçük  $\alpha$  değerini en büyük yapacak modeller kurulur. Birkaç yöntemde bulanık kısıtların sağlanmasını kontrol etmek için birden çok kesin kısıt kullanılması önerilmiştir (Ramik ve Rimenek, Dubois, Leon ve Vercher yaklaşımları). Diğer bir grup yöntemde kısıtların sağlanması ile ilgili olabilirlik veya gereklilik fonksiyonları tanımlanmıştır (Dubois, Buckley, Negi, Buckley ve Feuring yaklaşımları). Bu yöntemlerde karar değişkenleri değerlerine göre kısıtların belirlenen olabilirlik/gereklilik fonksiyonları için belirli bir değere ulaşmasıyla kısıtın sağlanması modellenir. Amaçlara yaklaşımda olduğu gibi kısıtlar için de doğrudan netleştirme yapan yani belirsiz kısıt yerine tek bir belirli kısıt öneren yöntemler mevcuttur (Maleki Tata Maschichi yaklaşımları).

İncelenen yöntemler bulanıklığı ifade etme şekillerine göre çeşitlilik arz etmektedirler. Bazı temel yaklaşımlarda bulanıklık amaç fonksiyonu veya kısıt sağ taraf değerleri mümkün olan toleranslar ile ifade edilmiştir (Verdegay, Werner, Zimmermann, Chanas yaklaşımları). Üçgen ve yamuk bulanık sayı veya olabilirlik dağılımı kullanan çalışma sayısı oldukça fazladır (Lai ve Hwang, Maeda, Ramik ve Rimenek, Buckley, Negi, Maleki Tata Maschichi, Tanaka Guo Zimmermann, Buckley ve Feuring yaklaşımları). Üçgen ve yamuk bulanık sayılar standart bir yapı oluşturmak ve matematiksel hesaplamaları kolaylaştırmak için tercih edilmiştir. Bununla birlikte sol-sağ bulanık sayı kullanan çalışmalar da mevcuttur (Dubois, Leon ve Vercher yaklaşımları). Bunlar dışında kalan özel bulanık sayılar ile belirsizlikleri inceleyen çalışmalara rastlanmıştır (Carlsson ve Kohen, Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımları). Ayrıca tüm bulanık sayılar ve olabilirlik dağılımları için geliştirilen üç adet yöntem vardır (Tang Wang Fung, Verdegay, Zhang Wu Remias Lu yaklaşımları). Bunlardan özel bulanık sayı (üçgen, yamuk, sol-sağ veya diğer) kullanan yöntemler çözüm için daha belirli ve odaklanmış öneriler ortaya koyarken herhangi bir bulanık sayı için önerilenler daha genel yaklaşımlar geliştirmiştir.

Son olarak incelenen yöntemler çözüm yöntemlerine göre değerlendirilmiştir. Bulanık programlama modelleri doğrudan çözülemediği için çözülebilir bir modele dönüştürülmelidir. İncelenen çalışmalarda DP en çok tercih edilen yöntemdir (Werner, Tang Wang Fung, Zimmermann, Zhang Wu Remias Lu, Ramik ve Rimenek, Dubois, Negi, Maleki Tata Mashichi, Tanaka Guo Zimmermann yaklaşımları). DP modelleri çözümünün kolay olması ve en iyi çözüme ulaşmayı garanti etmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Amaç ve kısıtların bir şekilde kesin ifadelerle oluşturulması ile bulanık modellerin DP modelleri kullanarak çözümü olanaklı hale getirilmiştir. Temelde DP modeli olan ve modelde tanımlanan bir parametrenin değişmesi ile DP modelinin birçok kez çözümüne dayanan parametrik programlama bulanık DP modellerinin çözümünde tercih edilen bir yöntem olmuştur (Verdegay, Chanas, Maeda, Carlsson ve Kohen, Buckley yaklaşımları). Bu yaklaşımlarda önceden belirlenmiş kısıt veya amaç sağlama durumlarına göre çözümde oluşan değişiklikleri görebilmek için parametrik programlama modelleri kullanılmıştır. Ayrıca bulanık amaçların çok sayıda amaca dönüştürüldüğü yöntemlerde çözüm çok amaçlı DP modelleri ile aranmıştır (Lai ve Hwang yaklaşımları). Bunlarla birlikte bulanık DP modelini daha karmaşık modeller ile ifade eden yaklaşımlarda algoritma ile çalışan iteratif çözüm arama yöntemleri önerilmiştir (Leon ve Vercher, Tanaka Guo Zimmermann, Buckley ve Feuring yaklaşımları).

### 4.3 Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modelleri

Çok amaçlı DP modelleri gerçekleştirilmek istenen birden çok amaç olduğunda kullanılan modellerdir. Bu modelleri çözmek için çok amaçlı karar verme (ÇAKV) yöntemleri kullanılır. Matematiksel olarak ÇAKV problemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \text{Enb/Enk} \quad & [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \\ \text{Kst} \quad & x \in X = \{x \mid g_s(x) \{ \geq, =, \leq \} 0, s = 1, \dots, m\} \end{aligned} \quad (4.142)$$

$f_j(x)$ ,  $j \in J$ , fayda amaçlarını (enbüyükleme),  $f_i(x)$ ,  $i \in I$  maliyet amaçlarını (enküçükleme) gösterir ve  $I \cup J = \{1, 2, \dots, K\}$ .

Literatürde klasik ÇAKV modellerini çözmek için genel kriter yöntemi, hedef programlama, fayda fonksiyonu, etkileşimli yöntemler gibi birçok yöntem önerilmiştir. Bulanık mantığa dayalı yöntemler de bunların arasında sayılabilir. Bulanık mantık ÇAKV yöntemlerinde iki türlü uygulanmıştır. İlk grupta klasik ÇAKV modelini çözmek için bulanık programlama yaklaşımını kullanan yöntemler vardır. İkinci gruptaki yöntemler ise modelin parametrelerinin (amaç fonksiyonu katsayıları, teknoloji ve kaynak katsayıları) bulanık olarak kabul edildiği veya kesin olmadığı durumlar için geliştirilmiştir. Çalışma içerisinde ilk gruba örnek olarak bulanık programla modelleri ve ÇAKV için geliştirilmiş TOPSIS yöntemi incelenmiştir. İkinci grupta ise bulanık hedef programlama, bulanık genel kriter, etkileşimli bulanık ÇAKV modelleri, olabirsel ÇAKV modelleri ve bulanık karar değişkenli yöntemler verilmiştir. İncelenen ÇAKV yöntemleri ve bu yöntemler ile ilgili yaklaşımlar Tablo 4.5'te görülebilir.

Bu bölümde çalışmalar Tablo 4.5'te verilen sınıflandırmaya göre incelenmiştir.

**Tablo 4.5 : İncelenen çok amaçlı bulanık programlama modelleri**

Bölüm	Yöntem	Çalışmalar
4.3.1	Bulanık programlama	Zimmermann yaklaşımı (Zimmermann, 1978) Li yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a)
4.3.2	ÇAKV için TOPSIS	Lai ve Hwang yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a, 1994b)
4.3.3	Bulanık hedef programlama	Lai ve Hwang yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Hannan yaklaşımı - bulanık hedef programlama (Lai ve Hwang, 1994a) Yang, Ignizio ve Kim yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Hannan yaklaşımı - parçalı üyelik fonksiyonu (Lai ve Hwang, 1994a) Hedeflerin ağırlıklandırılması (Lai ve Hwang, 1994a) Hu Teng Li yaklaşımı (Hu ve diğ., 2007)
4.3.4	Bulanık genel kriter yöntemi	Lai ve Hwang yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a)
4.3.5	Etkileşimli bulanık ÇAKV yöntemleri	Werner yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Leung yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Rommelfanger yaklaşımı (Rommelfanger, 1989) Rommelfanger yaklaşımı (Rommelfanger, 2004) Sakawa ve Kato yaklaşımı (Sakawa ve Kato, 1997) Arıkan ve Güngör yaklaşımı (Arıkan ve Güngör, 2007)
4.3.6	Olabilirsel ÇAKV yöntemleri	Orlovsky yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Tanaka ve Asai yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Lai ve Hwang yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Wierzchon yaklaşımı (Lai ve Hwang, 1994a) Parra Terol Uria yaklaşımı (Parra ve diğ., 1999)
4.3.7	Bulanık karar değişkenli yöntemler	Stanciulescu Fortemps Installe Wertz yaklaşımı (Stanciulescu ve diğ., 2003) Pramanik ve Roy yaklaşımı (Pramanik ve Roy, 2007)

### 4.3.1 Bulanık programlama

Klasik ÇAKV problemlerini çözmek için bulanık programlama kullanılabilir. Zimmermann (1978), her amaç için bir bulanık hedef tanımlamış ve enb-enk operatörü ile (4.142)'de verilen modeli aşağıdaki gibi tek amaçlı kaynak katsayıları bulanık olan DP modeline dönüştürmüştür:

$$\begin{aligned} \text{bul } & x \\ \text{kst } & f_k(x) \lesssim f_k^0, \quad \forall k \\ & x \in X \end{aligned} \quad (4.143)$$

Burada  $f_k^0$ ,  $k$  amacı için belirlenmiş hedef değeridir. Bu model bölüm 4.2.1'de verilen modeller ile çözülebilir. Enb-enk operatörü ile çözülmek istenirse; her amaç için hedefi gerçekleştirme ile ilgili bir üyelik fonksiyonu tanımlanıp bu üyelik derecelerinin en küçüğünü enbüyükleyen çözüm en iyi çözüm olarak belirlenir. Aşağıda ilgili matematiksel ifade verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{enb } & [\text{enk}_k \mu_k(x)] \\ \text{kst } & x \in X \end{aligned} \quad (4.144)$$

Burada toplam uzlaşık tatmin düzeyi  $\alpha = \text{enk}_k \mu_k(x)$  olarak alınırsa aşağıdaki model elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{enb } & \alpha \\ \text{kst } & \mu_k(x) \geq \alpha, \quad \forall k \\ & x \in X \end{aligned} \quad (4.145)$$

Amaç fonksiyonlarına üyelik fonksiyonu tanımlamak için pozitif ideal çözüm (PİÇ) ve negatif ideal çözümü (NİÇ) kullanmak mümkündür. PİÇ ( $f_k^*$ ),  $k$  amacına göre model çözüldüğünde elde edilen amaç fonksiyonu değeridir. NİÇ ( $f_k'$ ) ise diğer amaç fonksiyonlarına göre model çözüldüğünde elde edilen değişken değerlerinin ilgili amaç fonksiyonuna uygulanması ile hesaplanan değerlerin en küçüğüdür.  $k$  amacı için bu iki değer arasındaki tatmin düzeyinin doğrusal olduğu varsayılarak, üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 1 & f_k(x) > f_k^* \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_0 - cx}{p_0} & f_k' \leq f_k(x) \leq f_k^* \text{ ise} \\ 0 & f_k(x) < f_k' \text{ ise} \end{cases} \quad (4.146)$$



Son olarak üyelik fonksiyon değerlerinin (4.145)'e uygulanması ile model aşağıdaki gibi çözülmüştür:

$$\begin{aligned} \text{enb } & \alpha \\ \text{kst } & \mu_k(x) = [f_k(x) - f'] / [f_k^* - f'] \geq \alpha, \quad \forall k \\ & x \in X \end{aligned} \quad (4.147)$$

Bu model en düşük tatmin düzeyini enbüyüklemek üzere kurulmuştur. Fakat en düşük düzey belirlendikten sonra diğer üyelik değerlerinin arttırılmasını sağlamamaktadır. Bunun için Li; arttırılmış enb-enk modelini geliştirmiştir (Lai ve Hwang, 1994a). Modelde öncelikle (4.147)'ye göre toplam uzlaşık tatmin düzeyi ( $\alpha'$ ) belirlenir, bu düzeyin daha altına inilmemek koşulu ile tüm tatmin düzeyleri arttırılmaya çalışılır. Bunun için aşağıdaki model önerilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & \sum_k \mu_k(x) / K \\ \text{kst } & \alpha' \leq \mu_k(x), \quad \forall k \\ & x \in X \end{aligned} \quad (4.148)$$

Burada  $K$ , toplam amaç sayısıdır. (4.148) ve (4.147)'de verilen modellerin kısıtları aynıdır, iki modelin amaç fonksiyonları birleştirilip tek model elde edilebilir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & \alpha + \delta \sum_k w_k \mu_k(x) \\ \text{kst } & \alpha \leq \mu_k(x), \quad \forall k \\ & x \in X \end{aligned} \quad (4.149)$$

Burada  $\delta$  yeterli düzeyde küçük bir sayıdır. Son modelde her amaç için belirlenmiş ağırlıklar ( $w_k$ ) da amaç fonksiyonuna ilave edilmiştir ( $\sum_k w_k = 1$ ). Böylece arttırılmış enb-enk modelinin tek bir DP modeli ile çözülmesi önerilmiştir.

### 4.3.2 Çok amaçlı karar verme için TOPSIS

TOPSIS (İdeal sonuca benzerliğe göre sıralama tercih sırası tekniği - Technique for Order Prefence by Similarity to Ideal Solution) Hwang ve Yoon (1981) tarafından çok ölçütlü karar verme problemlerini çözmek üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntem, seçilen alternatifin PİÇ'e en yakın; NİÇ'e en uzak mesafede olması prensibine dayanır. Lai ve Hwang (1994a, 1994b) yöntemi ÇAKV problemlerine uygulamak üzere düzenlemiştir.

(4.142)'deki gibi tanımlanan ÇAKV modeli için geliştirilen TOPSIS yönteminde PİÇ ( $f^*$ ) ve NİÇ ( $f^-$ ) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$f^* = \left\{ \text{enb}_{x \in X} f_j(x), \forall J, \text{ ve/veya } \text{enk}_{x \in X} f_i(x), \forall I \right\} \quad (4.150)$$

$$f^- = \left\{ \text{enk}_{x \in X} f_j(x), \forall J, \text{ ve/veya } \text{enb}_{x \in X} f_i(x), \forall I \right\} \quad (4.151)$$

Burada  $j \in J, i \in I, f^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_k^*\}$  ve  $f^- = \{f_1^-, f_2^-, \dots, f_k^-\}$ , PİÇ ve NİÇ çözüm kümelerini gösterir ve bunlar  $K$  boyutlu amaç fonksiyonu uzayında nokta çözümlerdir. PİÇ ve NİÇ'e göre uzaklık fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$d_p^{\text{PİÇ}} = \left( \sum_{j \in J} w_j^p \left( \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right)^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left( \frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right)^p \right)^{1/p} \quad (4.152)$$

$$d_p^{\text{NİÇ}} = \left( \sum_{j \in J} w_j^p \left( \frac{f_j(x) - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \right)^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left( \frac{f_i^- - f_i(x)}{f_i^- - f_i^*} \right)^p \right)^{1/p} \quad (4.153)$$

Burada  $w_k, k=1,2,\dots,K$  amaçların göreceli önemlerini ağırlıkları olarak gösterir.  $p=1,2,\dots, \infty$ . PİÇ ve NİÇ'e uzaklıklar kullanılarak çok amaçlı problem iki amaçlı olarak yeniden düzenlenmiştir:

$$\begin{aligned} &\text{Enk } d_p^{\text{PİÇ}}(x) \\ &\text{Enb } d_p^{\text{NİÇ}}(x), \\ &\text{Kst } x \in X \end{aligned} \quad (4.154)$$

$p=1,2,\dots, \infty$ . Tanımlanan iki amaç genelde birbirleriyle çeliştiği için her ikisinin birlikte en iyi değeri alması mümkün değildir. Her amacın en iyi değerinin ancak bir kısmı sağlanabilir. Bu noktadaki bulanıklıktan hareketle amaçların gerçekleşme durumunu gösteren üyelik fonksiyonları ( $\mu_1(x), \mu_2(x)$ ) tanımlanmıştır.

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1 & d_p^{\text{PİÇ}}(x) < (d_p^{\text{PİÇ}})^* \text{ ise} \\ \frac{d_p^{\text{PİÇ}}(x) - (d_p^{\text{PİÇ}})^*}{(d_p^{\text{PİÇ}})' - (d_p^{\text{PİÇ}})^*} & (d_p^{\text{PİÇ}})^* \leq d_p^{\text{PİÇ}}(x) \leq (d_p^{\text{PİÇ}})' \text{ ise} \\ 0 & d_p^{\text{PİÇ}}(x) > (d_p^{\text{PİÇ}})' \text{ ise} \end{cases} \quad (4.155)$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 1 & d_p^{\text{Ni}\zeta}(x) > (d_p^{\text{Ni}\zeta})^* \text{ ise} \\ \frac{(d_p^{\text{Ni}\zeta})^* - d_p^{\text{Ni}\zeta}(x)}{(d_p^{\text{Ni}\zeta})^* - (d_p^{\text{Ni}\zeta})'} & (d_p^{\text{Ni}\zeta})' \leq d_p^{\text{Ni}\zeta}(x) \leq (d_p^{\text{Ni}\zeta})^* \text{ ise} \\ 0 & d_p^{\text{Ni}\zeta}(x) < (d_p^{\text{Ni}\zeta})' \text{ ise} \end{cases} \quad (4.156)$$

Burada;

$$(d_p^{\text{Pi}\zeta})^* = \text{enk}_{x \in X} d_p^{\text{Pi}\zeta}(x), \text{ ve } \text{çözüm } x^P,$$

$$(d_p^{\text{Ni}\zeta})^* = \text{enb}_{x \in X} d_p^{\text{Ni}\zeta}(x), \text{ ve } \text{çözüm } x^N,$$

$$(d_p^{\text{Pi}\zeta})' = d_p^{\text{Pi}\zeta}(x^N) \quad \text{ve} \quad (d_p^{\text{Ni}\zeta})' = d_p^{\text{Ni}\zeta}(x^P).$$

İki amaçlı hale getirip amaçları için üyelik fonksiyonu tanımlanan problem Bellman ve Zadeh (1970)'in enb-enk operatörü ile aşağıdaki gibi çözülmüştür:

$$\mu_D(x^*) = \text{enb}_{x \in X} \{ \text{enk}(\mu_1(x), \mu_2(x)) \} \quad (4.157)$$

Burada  $x^*$  her iki amaç için de tatmin edici sonuçtur. Son olarak denklem (4.157)'deki işlemi yapmak üzere aşağıdaki model önerilmiştir:

$$\begin{array}{ll} \text{Enb} & \alpha, \\ \text{Kst} & \mu_1(x) \geq \alpha, \mu_2(x) \geq \alpha, \\ & x \in X \end{array} \quad (4.158)$$

burada  $\alpha$  her iki amaç için en düşük tatmin olma derecesini gösterir.

### 4.3.3 Bulanık hedef programlama

Klasik hedef programlamada amaçlar ve kısıtlar kesin olarak tanımlı olmalıdır. Oysa gerçek hayat problemlerinde bunları, özellikle de hedef değerlerini, kesin olarak belirlemek kolay değildir. Bulanık hedef programlamada hedefler ve kısıtlar bulanık sayılar ile ifade edilebilir. Bulanık hedef programlama matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\begin{array}{ll} \text{bul} & x \\ \text{kst} & (Ax)_i = \tilde{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{array} \quad (4.159)$$

Burada  $x$  karar değişkenlerini,  $\tilde{b}$  bulanık hedef ve mevcut kaynak değerlerini göstermektedir. Örneğin sözel olarak “gelirler yaklaşık  $b$  YTL olmalıdır” şeklinde ifade edilen bir amaç için bulanık hedef kullanılabilir. (4.159)’daki modelin bir benzeri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} &\text{bul } x \\ &\text{kst } (Ax)_i \cong b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ &x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.160)$$

Buradaki bulanık eşitlik ilişkisi öncekine benzer şekilde hedefin yaklaşık olarak gerçekleştirilmesini ifade eder. (4.159) ve (4.160)’ta verilen modellerin çözümleri aynıdır. Bunları çözebilmek için amaçlar ile ilgili karar vericilerin tercihlerini yansıtan üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir. Lai ve Hwang (1994a) matematiksel işlemleri daha etkin yapabilmek için üyelik fonksiyonlarını simetrik üçgen fonksiyonlar ile göstermiştir. Buna göre  $b_i$ , üçgenin orta noktası olup hedefin tam istenen değerini,  $d_i$  ise sağ ve sol ayakların ortaya olan mesafeleri olup hedefin  $b_i$ ’den sapma miktarını göstermek üzere;  $i$  hedefiyle ilgili üyelik fonksiyonu üçgen bulanık fonksiyon ile aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} [(Ax)_i - (b_i - d_i)]/d_i & b_i - d_i \leq (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ [(b_i + d_i) - (Ax)_i]/d_i & b_i \leq (Ax)_i < b_i + d_i \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.161)$$

(4.159) ve (4.160)’taki modelleri (4.161)’deki üyelik fonksiyonu ile çözmek için Narasimhan, 2<sup>m</sup> adet alt model kullanmıştır (Lai ve Hwang, 1994a):

$$\begin{aligned} &\text{enb } \alpha \\ &\text{kst } [(Ax)_i - (b_i - d_i)]/d_i \geq \alpha \quad \text{bazı } i\text{'ler için} \\ &\quad b_i - d_i \leq (Ax)_i < b_i \\ &\quad [(b_i + d_i) - (Ax)_i]/d_i \geq \alpha \quad \text{diğer } i\text{'ler için} \\ &\quad b_i \leq (Ax)_i < b_i + d_i \\ &\alpha \in [0, 1], x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.162)$$

Burada  $\alpha$  ile hedeflerin en düşük gerçekleşme düzeyini en büyük yapmak amaçlanmaktadır. Model, amaçların ikiye ayrılması ile oluşacak tüm kombinasyonları için çözümünü içermektedir. Hannan, bu yaklaşımdaki 2<sup>m</sup> tane alt model yerine aynı sonucu veren tek bir model önermiştir (Lai ve Hwang, 1994a):

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha \\
& \text{kst } (Ax)_i/d_i + \delta_i^- - \delta_i^+ = b_i/d_i, \quad \forall i \\
& \quad \alpha + \delta_i^- - \delta_i^+ \leq 1, \quad \forall i \\
& \quad \delta_i^-, \delta_i^+ \geq 0, \quad \forall i \\
& \quad \delta_i^- \delta_i^+ = 0, \quad \forall i \\
& \quad \alpha \in [0,1], x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.163}$$

Bir başka yaklaşımda ise Yang, Ignizio ve Kim, Zimmerman'ın bulanık programlama model yaklaşımını kullanarak (4.161)'deki üyelik fonksiyonuna göre kurulmuş (4.159)'daki modeli aşağıdaki gibi yeniden kurgulamıştır (Lai ve Hwang, 1994a):

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha \\
& \text{kst } [(Ax)_i - (b_i - d_i)]/d_i \geq \alpha, \quad \forall i \\
& \quad [(b_i + d_i) - (Ax)_i]/d_i \geq \alpha, \quad \forall i \\
& \quad \alpha \in [0,1], x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.164}$$

Üçgen bulanık sayının ortadan sağ ve sol ayaklarına olan uzaklıkların eşit olmadığı durumlar için ise modelde küçük bir değişiklik yapılmıştır:

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha \\
& \text{kst } [(Ax)_i - (b_i - d_{i1})]/d_{i1} \geq \alpha, \quad \forall i \\
& \quad [(b_i + d_{i2}) - (Ax)_i]/d_{i2} \geq \alpha, \quad \forall i \\
& \quad \alpha \in [0,1], x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.165}$$

Burada  $d_{i1}$  üçgen bulanık fonksiyonun orta noktasından sol ayağına uzaklığı,  $d_{i2}$  ise orta noktadan sağ ayağına olan uzaklığı ifade etmektedir.

Bulanık hedef programlama modelleri temel olarak yukarıdaki gibi tanımlanmakla birlikte üyelik fonksiyonlarının oluşturulması ve hedef ağırlıklarının hesaba katılması ile ilgili yaklaşımlar da mevcuttur.

#### 4.3.3.1 Hannan yaklaşımı - parçalı üyelik fonksiyonu oluşturma

Hedeflerin gerçekleşme düzeylerini gösteren ve karar vericinin tercihlerini yansıtan üyelik fonksiyonları her zaman üçgen bulanık fonksiyonlar ile ifade edilemeyebilir. Böyle durumlarda karar vericiden çeşitli olası çıktılara karşı gelen tatmin düzeyini gösteren üyelik dereceleri alınarak daha etkin bir modelleme gerçekleştirilebilir. Bu durumda karar vericiden alınan değerler dışında kalan değerler enterpolasyon ile üretilir ve üyelik fonksiyonu parçalı fonksiyon ile tanımlanır. Hannan,  $i$ 'nci amaç

için karar vericiden alınan  $b_{ij}$  amaç değerlerine karşılık gelen  $t_{ij}$  üyelik fonksiyonlarına göre parçalı üyelik fonksiyonunu aşağıdaki gibi tanımlamıştır (Lai ve Hwang, 1994a).

$$\mu_i(g_i(x)) = \sum_{j=1}^{N_i} \alpha_{ij} |g_i(x) - b_{ij}| + \beta_i g_i(x) + \tau_i \quad (4.166)$$

Burada  $\alpha_{ij} = (t_{i,j+1} - t_{ij})/2$ ,  $\beta_i = (t_{i,N_i+1} + t_{i1})/2$ ,  $\tau_i = (s_{i,N_i+1} + s_{i1})/2$ ; her  $b_{i,r-1} \leq g_i(x) \leq b_{ir}$  aralığı için  $\mu_i(g_i(x)) = t_{ir} g_i(x) + s_{ir}$  olduğu varsayılmıştır.  $s_{ir}$   $r$  fonksiyonunun  $y$  eksenini kestiği noktadır.

Bu formülde mutlak değer olduğu için DP ile doğrudan çözmek mümkün değildir. Inuiguchi, Ichihashi ve Kume mutlak değerleri uygun şekilde ifade ederek modeli çözülebilir bir hale getirmiştir (Lai ve Hwang, 1994a). Bunun için fonksiyon değerinin karar vericinin belirttiği noktalardan sapması  $\delta_{ij}^+, \delta_{ij}^-$  ile gösterilerek  $|g_i(x) - b_{ij}|$  ifadesi yerine  $g_i(x) - \delta_{ij}^+ + \delta_{ij}^- = b_{ij}$  eşitliğinden yararlanılarak  $\delta_{ij}^+ + \delta_{ij}^-$  yazılmıştır:

$$\mu_i(g_i(x)) = \sum_{j=1}^{N_i} \alpha_{ij} (\delta_{ij}^+ + \delta_{ij}^-) + \beta_i g_i(x) + \tau_i \quad (4.167)$$

Burada  $\delta_{ij}^+ \delta_{ij}^- = 0$ 'dir. Böylece (4.159)'daki model, parçalı üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış amaç tatmin düzeylerine göre aşağıdaki hale dönüştürülmüştür:

$$\begin{aligned} \max \quad & \alpha \\ \text{kst} \quad & \alpha \leq \mu_i(g_i(x)), \\ & g_i(x) - \delta_{ij}^+ + \delta_{ij}^- = b_{ij}, \quad \forall i \\ & \delta_{ij}^-, \delta_{ij}^+ \geq 0, \quad \delta_i^- \delta_i^+ = 0, \quad \forall i, j \\ & \alpha \in [0, 1], x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.168)$$

Böylece üçgen bulanık fonksiyonlar ve parçalı bulanık fonksiyonlar ile ifade edilmiş amaç gerçekleştirme düzeylerine göre hedef programlama modelleri çözülmüştür.

#### 4.3.3.2 Hedeflerin ağırlıklandırıldığı modeller

Hedef programlamada amaçların önceliklerini ve önem düzeylerini birleştirmek için her amaca atanmış ağırlıklar kullanılabilir. Temel mantık tüm amaçların yerine geçen

tek bir fayda fonksiyonu üretmektir. Bulanık mantık çerçevesinde değerlendirildiğinde ağırlıklar kesin veya bulanık olabilir.

Karar vericiler hedeflerin üyelik fonksiyonları ile ilgili göreceli önem düzeylerini kesin sayılarla ifade edebilirler. Bu durumda amaçların sağlama düzeylerini gösteren üyelik derecelerinin ağırlıklar ile çarpılarak toplanması ile doğrusal bir fayda fonksiyonu üretilir. Bulanık başarımların fonksiyonu olarak adlandırılan bu fonksiyon, kurulacak doğrusal modelde tek amaç olarak işlev gösterir.

$i$  amacı için atanmış/belirlenmiş göreceli ağırlık değeri  $w_i$  ile gösterilirse; (4.160)'taki hedef programlama modeli aşağıdaki DP modeline dönüştürülmüştür (Lai ve Hwang, 1994a).

$$\begin{aligned} \text{enb } & \sum_i w_i \mu_i \\ \text{kst } & \mu_i(x) \in [0,1], \quad \forall i, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.169)$$

Bir başka bakış açısına göre ağırlıkların hedeflerden sapma değerleri ile ilişkilendirilmesi mümkündür. Bu durumda (4.163)'te verilen model aşağıdaki gibi düzenlenmiştir (Lai ve Hwang, 1994a):

$$\begin{aligned} \text{enb } & \sum_i w_i (\delta_i^- + \delta_i^+) \\ \text{kst } & (Ax)_i / d_i + \delta_i^- - \delta_i^+ = b_i / d_i, \quad \forall i \\ & \delta_i^-, \delta_i^+ \geq 0, \quad \delta_i^- \delta_i^+ = 0, \quad \forall i, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.170)$$

Verilen modellerin oluşturulmasında önemli konulardan birisi ağırlıkların belirlenmesidir. Ağırlıkların belirlenmesi için çok kriterli karar verme kapsamında literatürde birçok yöntem vardır. SMART, SWING, değiş-tokuş yöntemi gibi öznel yöntemlerin yanında entropi yöntemi, CRITIC, ve matematik programlama yöntemleri gibi nesnel yöntemler de mevcuttur. Ayrıntılar için Stewart (1992) ile Weber ve Borcherding (1993) incelenebilir.

Karar verici bazı durumlarda sözel veya bulanık tercih ilişkisi belirtirse bulanık ağırlıklar oluşturmak mümkündür.  $i$  amacı ile ilgili bulanık üyelik fonksiyonu  $\mu_{w_i}(\cdot)$  ile gösterilirse,  $i$  amacının toplam amaca katkısı  $\mu_{w_i}(\mu_i(x))$  ile ifade edilmiştir. Enküçükleme operatörü ( $\wedge$ ) ile  $D$  karar kümesinin gerçekleşme düzeyi ( $\mu_D(x)$ ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned}\mu_D(x) &= \mu_{w1}(\mu_1(x)) \wedge \dots \wedge \mu_{wm}(\mu_m(x)) \\ &= \text{enk}[\mu_{w1}(\mu_1((Ax)_1)), \dots, \mu_{wm}(\mu_m((Ax)_m))]\end{aligned}\quad (4.171)$$

Buna göre en iyiyi veren  $x^*$  değeri şu şekilde bulunur:

$$\begin{aligned}\mu_D(x^*) &= \text{enb}_{x \geq 0} [\text{enk}_i \mu_{wi}(\mu_i(x))] \\ &= \text{enb}_{x \geq 0} [\text{enk}_i [\mu_{wi} \circ \mu_i(x)]]\end{aligned}\quad (4.172)$$

Burada ( $\circ$ ) birleşim operatörüdür. Dikkat edilirse burada bulanık ağırlıklar amaçların üyelik fonksiyonları üzerinden tanımlanmıştır. Daha önemli amaçların üyelik dereceleri daha yüksek, daha az önemli olanların ise daha düşük olması gerekmektedir.

#### 4.3.3.3 Hu Teng Li yaklaşımı

Hu ve diğ. (2007) önem düzeyleri verilmiş amaçları içeren bir hedef programlama modeli geliştirmiştir. Yöntemde kullanılan hedef programlama modeli, amaçlar için tanımlanan üyelik fonksiyonlarının tanım kümelerinin değişimine dayalı bir yaklaşım ile doğrusal olmayan programlama modeline dönüştürülmüştür. Sonra bu model genetik algoritma ile çözülmeye çalışılmıştır. Çalışmada incelenen model aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}\text{Bul } & \mathbf{x} \\ \text{Kst } & f_i(\mathbf{x}) \rightarrow f_i^* \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \mathbf{x} \in G(\mathbf{x}) \subset R^n\end{aligned}\quad (4.173)$$

Burada hedeflerin gerçekleşmesi bulanık üyelik fonksiyonları ile gösterilmiştir. Örneğin hedefin tam sağlanması isteniyorsa üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşturulmalıdır:

$$\mu_{f_i}(\mathbf{x}) = \begin{cases} \frac{f_i^{enb} - f_i(\mathbf{x})}{f_i^{enb} - f_i^*} & f_i^* \leq f_i(\mathbf{x}) \leq f_i^{enb} \\ 1 & f_i(\mathbf{x}) = f_i^* \\ \frac{f_i(\mathbf{x}) - f_i^{enk}}{f_i^* - f_i^{enk}} & f_i^{enk} \leq f_i(\mathbf{x}) \leq f_i^* \end{cases}\quad (4.174)$$

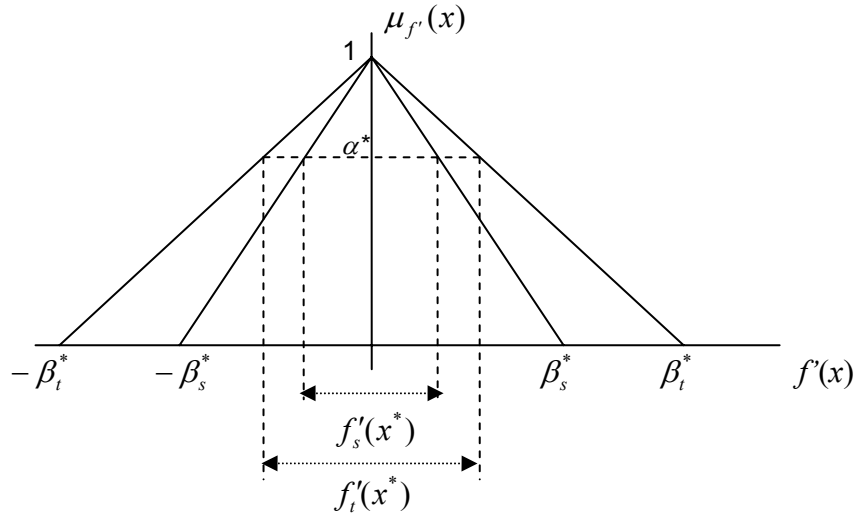
Üyelik fonksiyonundaki üst ve alt sınırlar, (4.173)'ün her hedef için çözülmesi ile belirlenir. Hu ve diğ. (2007) hedefler arasında bir öncelik ilişkisi olabileceğini



varsaymıştır. Buna göre eğer  $f_t(\mathbf{x}) \prec f_s(\mathbf{x})$  şeklinde bir öncelik ilişkisi var ise  $\alpha$ -kesim ile üyelik fonksiyonları arasında aşağıdaki ilişki tanımlanmıştır:

$$\mu_{f_t}(\mathbf{x}^*) \leq \mu_{f_s}(\mathbf{x}^*) \quad (4.175)$$

Çalışmada üyelik fonksiyonları üzerinde tanım aralıklarının düzenlemesi ile bu ilişkinin sağlanması öngörülmüştür. Bunun için  $i$  amacı için (4.174)'te  $[f_i^{enk}, f_i^{enb}]$  şeklinde oluşturulan tanım aralığının bir model aracılığı ile  $[-\beta_i, \beta_i], \beta_i \in [0,1]$ 'e çevrilmesi önerilmiştir. Öyle ki; (4.175)'in sağlanması için  $\beta_s \leq \beta_t$  olmalıdır. Bu yaklaşımın mantığını görebilmek için Şekil 4.10 incelenebilir.



**Şekil 4.10 :** Öncelik ilişkilerinin tanım kümesi ile belirlenmesi (Hu ve diğ., 2007)

Çalışmada hedefe tam eşit olma durumunun yanı sıra hedef değerinin altında olma ve hedef değerinin üstünde olma durumları için de üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır:

$$\mu_{f_i}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & f_i(\mathbf{x}) \leq f_i^* \\ \frac{U_i - f_i(\mathbf{x})}{U_i - f_i^*} & f_i^* \leq f_i(\mathbf{x}) \leq U_i \\ 0 & f_i(\mathbf{x}) \geq U_i \end{cases} \quad (4.176)$$

$$\mu_{f_i}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & f_i(\mathbf{x}) \geq f_i^* \\ \frac{f_i(\mathbf{x}) - L_i}{f_i^* - L_i} & L_i \leq f_i(\mathbf{x}) \leq f_i^* \\ 0 & f_i(\mathbf{x}) \leq L_i \end{cases} \quad (4.177)$$

Tanımlanan üyelik fonksiyonları üzerinde öncelik ilişkisini tanım aralıkları ile sağlamak için aşağıdaki doğrusal olmayan programlama modeli önerilmiştir.

$$\begin{aligned}
& \text{enb} \quad (\alpha - \lambda * \gamma) \\
& \text{kst} \quad 0 \leq f'_i(x) \leq \beta_i - \alpha\beta_i, \quad i \in I_1 \\
& \quad \alpha\beta_j - \beta_j \leq f'_j(x) \leq \beta_j - \alpha\beta_j, \quad j \in I_2 \\
& \quad \beta_i, \beta_j \in [0,1] \\
& \quad \beta_s - \beta_t \leq \gamma, \quad s, t = 1, 2, \dots, m, s \neq t, \\
& \quad x \in G(x), \quad 0 \leq \alpha \leq 1
\end{aligned} \tag{4.178}$$

Burada öncelik ilişkisi olan hedeflerin tanım aralıkları arasındaki ilişki  $\gamma$  ile tanımlanmıştır. Modelde amaç iki bileşenden oluşmaktadır. İlkinde  $\alpha$  değeri ile hedeflerin sağlanması; ikicisinde  $\gamma$  ile amaçlar arası öncelik ilişkisinin sağlanması eniyilenmek istenmektedir.  $\lambda$ , bu iki bileşen arasındaki değiş tokuşu ifade etmek için kullanılmıştır. Eğer  $\lambda$  değeri sıfıra yaklaşırsa çözüm hedefleri çok iyi sağlayabilir ama öncelik ilişkileri gerçekleşmeyebilir. Eğer  $\lambda$  değeri sonsuza yaklaşırsa öncelik ilişkileri en iyi şekilde sağlanırken hedefler tam gerçekleşmeyebilir. (4.178)'de  $I_1$ , üyelik fonksiyonu (4.174)'teki gibi iki yönlü tanımlanan amaçlar kümesini;  $I_2$  ise üyelik fonksiyonu (4.176) veya (4.177)'deki gibi tek yönlü tanımlanan amaçlar kümesini ifade etmektedir.

(4.178)'de önerilen model bir doğrusal olmayan programlama modelidir. Yazarlar bu modeli çözmek için genetik algoritmaya dayanan bir yaklaşım önermişlerdir.

#### 4.3.4 Bulanık genel kriter modeli

Genel kriter yönteminde çözüme başlayabilmek için bir referans noktası belirlenmesi gerekir. İdeal sistem yaklaşımı referans noktası oluşturmak için kullanılan en önemli yaklaşımlardandır. Bir referans noktası verildiğinde kararların buna uzaklığı bulunarak çözüm üretilebilir (Lai ve Hwang, 1994a). Aşağıdaki ÇAKV modeli göz önüne alınırsa;

$$\begin{aligned}
& \text{enb} \quad (f_1(x), \dots, f_K(x)) \\
& \text{kst} \quad g_i(x) \leq \tilde{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
& \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.179}$$

Burada  $\tilde{b}_i, \forall i$  bulanık kaynak katsayılarıdır ve en büyük tolerans değerleri  $p_i$  olmak üzere üyelik fonksiyonlarının  $b_i$  ile  $p_i$  arasında artmayan doğrusal bir fonksiyon olduğu varsayılmıştır. (4.179)'da kaynak katsayıları bulanık olduğu için tanımlanacak referans noktası, bir başka ifade ile PİÇ de bulanık olacaktır.

$\mu_k(f_k(x))$ ,  $f_k(x)$  ile bulanık PİÇ ( $f_k$ ) arasındaki uzaklığın üyelik fonksiyonu olmak üzere her amacın PİÇ'e uzaklığını veren denklem aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Lai ve Hwang, 1994a).

$$d_p = \left\{ \sum_k (1 - \mu_k(f_k(x)))^p \right\}^{1/p} \quad \text{for } p \geq 1 \quad (4.180)$$

Bulanık genel kriter yöntemi ile (4.179)'da verilen model beş adımdan oluşan algoritma ile çözülmüştür.

*Adım 1:* İlk olarak PİÇ  $f^{1*} = (f_1^{1*}, f_2^{1*}, \dots, f_K^{1*})$  belirlenir. Burada  $f_k^{1*}$ , aşağıdaki problemin çözülmesi ile elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{enb } & f_k(x) \\ \text{kst } & g_i(x) \leq b_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.181)$$

burada toleranslar dikkate alınmamıştır.

*Adım 2:*  $f^{1*}$ 'a göre uzlaşık çözüm elde edilir. Uzlaşık çözüm aşağıdaki problemin çözülmesi ile oluşturulur:

$$\begin{aligned} \text{enk } d_p^1 &= \left\{ \sum_k \left( \frac{f_k^{1*} - f_k(x)}{f_k^{1*}} \right)^p \right\}^{1/p} \\ \text{kst } x &\in X = \{x \mid g_i(x) \leq b_i, \forall i, x \geq 0\} \end{aligned} \quad (4.182)$$

Burada  $\mu_k(f_k(x)) = f_k(x)/f_k^{1*}$  ise  $\left( \frac{f_k^{1*} - f_k(x)}{f_k^{1*}} \right) = (1 - \mu_k(f_k(x)))$  olarak alınır.  $p$  herhangi bir doğal sayı olarak alınabilir, genelde işlemsel etkinliği sağlamak için  $p$ , 1,2, veya  $\infty$  olarak kabul edilmektedir.

Çözüm yordamında model (4.182)'nin  $p = 1$  için çözüldüğünde elde edilen sonuç  $x^{11}$  ile, ve  $p = \infty$  için çözüldüğünde sonuç  $x^{1\infty}$  ile gösterilmiştir.

*Adım 3:* en büyük tolerans değerlerine göre PİÇ bulunur. Bunun için kaynak kısıtları  $b_i + p_i$  olarak alınmıştır. PİÇ,  $f^{0*} = (f_1^{0*}, f_2^{0*}, \dots, f_K^{0*})$ ,  $f_k^{0*}$ 'nın aşağıdaki gibi çözülmesi ile bulunur.

$$\begin{aligned} \text{enb } & f_k(x) \\ \text{kst } & g_i(x) \leq b_i + p_i, \quad \forall i, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.183)$$

*Adım 4:*  $f^{0*}$ 'a göre uzlaşık çözüm ikinci adımdakine benzer şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{enk } d_p^0 &= \left\{ \sum_k \left( \frac{f_k^{0*} - f_k(x)}{f_k^{0*}} \right)^p \right\}^{1/p} \\ \text{kst } x &\in X = \{x \mid g_i(x) \leq b_i + p_i, \forall i, x \geq 0\} \end{aligned} \quad (4.184)$$

Problem  $p = 1$  için çözüldüğünde sonuç  $x^{01}$  ve  $p = \infty$  için çözüldüğünde sonuç  $x^{0\infty}$  ile gösterilmiştir.

Kaynak kısıtlarının  $b_i$ 'den  $b_i + p_i$ 'ye gevşetilmesi ile her amacın en büyük değeri  $f_k^{1*}$ 'den  $f_k^{0*}$ 'a kayar ve ideal çözüm de buna göre oluşur. Böylece ideal çözüm bulanık hale gelir ve  $\{f_1(x), \dots, f_K(x) \mid f_k^{1*} \leq f_k(x) \leq f_k^{0*}, k = 1, \dots, K\}$  şeklinde ifade edilir.

*Adım 5:* en uygun PİÇ bulunur. Bunun için işlem kolaylığı açısından bulanık amaçların ve kısıtların üyelik fonksiyonlarının doğrusal olduğu varsayılmıştır. İlgili üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 1 & f_k^{0*} < f_k(x) \text{ ise} \\ 1 - \frac{f_k^{0*} - f_k(x)}{f_k^{0*} - f_k^{1*}} & f_k^{1*} \leq f_k(x) \leq f_k^{0*} \text{ ise} \\ 0 & f_k^{1*} > f_k(x) \text{ ise} \end{cases}, \forall k, \quad (4.185)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & g_i(x) < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{g_i(x) - b_i}{p_i} & b_i \leq g_i(x) \leq b_i + p_i \text{ ise}, \forall i, \\ 0 & g_i(x) > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.186)$$

Enk-enb operatörü kullanılarak her amaç için aşağıdaki modeller çözülür.

$$\begin{aligned} \text{enk}_{x \in X} \text{enk}_i \{ \mu_k(f_k(x)), \mu_i(x) \} & \quad \text{veya} \\ \text{enb } \alpha & \\ \text{kst } 1 - (f_k^{0*} - f_k(x)) / (f_k^{0*} - f_k^{1*}) & \geq \alpha \\ 1 - (g_i(x) - b_i) / p_i & \geq \alpha \\ \alpha \in [0, 1] & \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.187)$$

Bu modelin,  $k$  amacı için çözümü  $f_k^* = f_k(x^*)$  ve  $\alpha_k^*$  olarak varsayılırsa; tüm amaçlar için elde edilen çözümlere göre en uygun PİÇ,  $f^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_K^*)$  ve  $\alpha^* = \text{enb}_k \alpha_k^*$  olarak oluşturulur.

*Adım 6:*  $f^*$  ve  $\alpha^*$ 'a göre bir uzlaşık çözüm hesaplanır.

Modelin çözümünde yeni kısıtlar  $g_i(x) \leq b_i + (1 - \alpha^*)p_i$  şeklinde ifade edilmiştir. Böylece (4.179)'da verilen modelin çözümü genel kriter yöntemi ile aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\begin{aligned} \text{enk} \quad d_p &= \left\{ \sum_k \left( \frac{f_k^* - f_k(x)}{f_k^*} \right)^p \right\}^{1/p} \\ \text{kst} \quad x &\in X = \{x \mid g_i(x) \leq b_i + (1 - \alpha^*)p_i, \forall i, x \geq 0\} \end{aligned} \quad (4.188)$$

Burada  $p$  herhangi bir doğal sayı olabilir, sınır değerlerini bulmak için  $p$ , 1 ve  $\infty$  alınarak çözülmelidir.

#### 4.3.5 Etkileşimli bulanık çok amaçlı karar verme yöntemleri

Klasik yöneylem araştırması modelleri, genel olarak mevcut durum için en iyi çözümü vermeyi amaçlar ve karar verme süreçlerinin öğrenen, uyarlanabilen ve dinamik yapısını dikkate almazlar. Bununla birlikte en iyi çözümün çoğu zaman bulunamayacağı ve en iyi çözüme sadece yaklaşılabileceği yönünde de görüşler mevcuttur (Lai ve Hwang, 1994a). Ackoff (1979), katılım ve devamlılık ilkeleri üzerine etkileşimli veya önleyici bir yaklaşım önermiştir. Buna göre ilk olarak karar vericilerin problem çözme sürecine doğrudan katılımı sağlanmalıdır. İkinci olarak kararların uygulanması ile elde edilen performanslar, beklenmedik sorunlar ve fırsatlar ile yeni bilgiler ve kavrayışlar neticesinde sürekli güncellenmelidir.

Etkileşimli bulanık ÇAKV yöntemleri ile klasik ÇAKV yöntemlerinin esnekliği ve güçlülüğü arttırılabilir. Öğrenme süreci sayesinde karar vericiler iyi sonuçların ve model içerisindeki etmenlerin önem düzeylerinin farkına varabilir ve verilen sistemi eniyilemek yerine sistemi daha üretken olacak şekilde yeniden tasarlayabilir.

Çalışmada etkileşimli ÇAKV yöntemlerine örnek olması için beş farklı yaklaşım incelenmiştir.

#### 4.3.5.1 Werner yaklaşımı

Werner etkin çözümler oluşturup bunlardan birinin karar verici tarafından seçilmesi veya karar vericinin görüşleri doğrultusunda etkin çözümlerin yeniden düzenlenip tekrar karar vericiye sunulmasını içeren bir model önermiştir (Lai ve Hwang, 1994a). Çalışmada incelenen ÇAKV modeli aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{enb } & (f_1(x), \dots, f_K(x)) \\ \text{kst } & g_i(x) \leq \tilde{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.189)$$

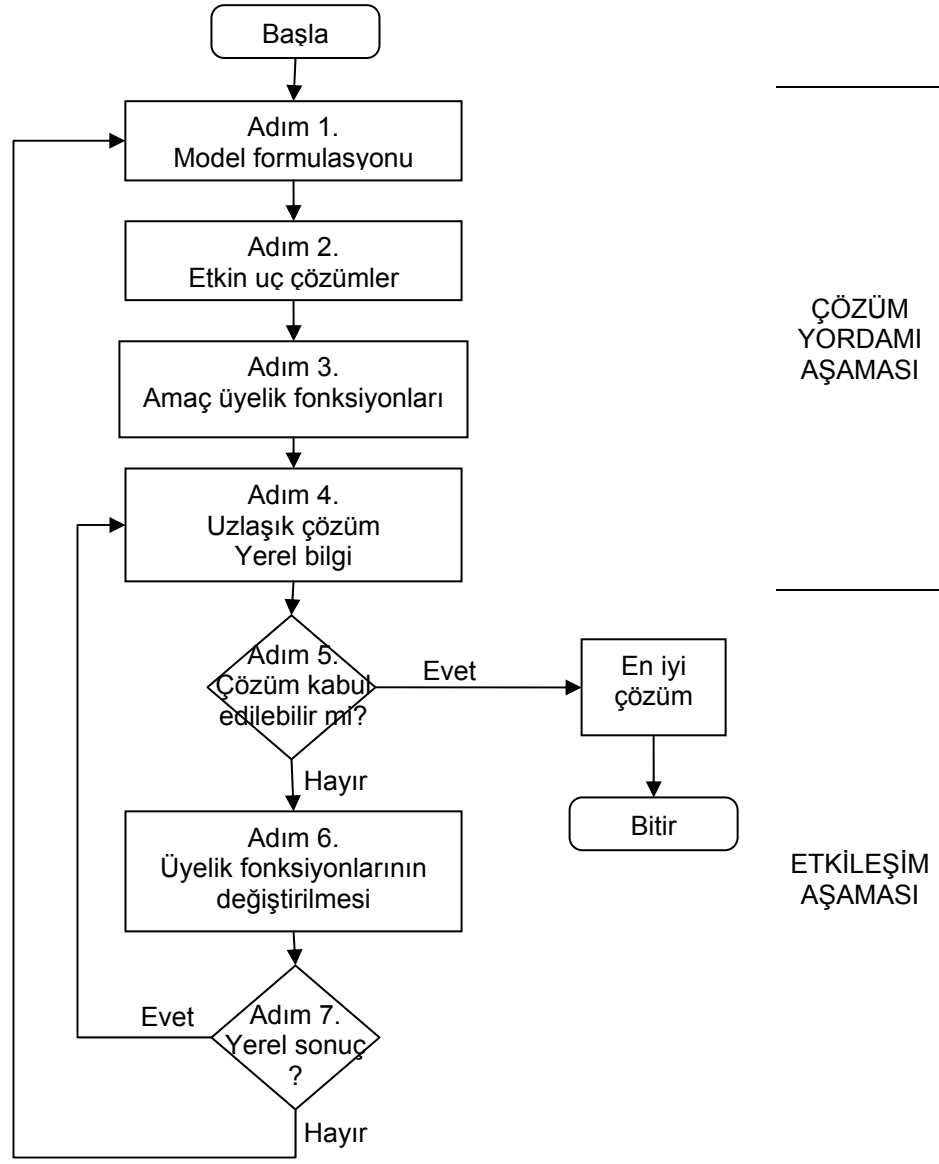
Burada  $\tilde{b}_i, \forall i$  bulanık kaynak katsayılarıdır ve en büyük tolerans değerleri  $p_i$  olmak üzere üyelik fonksiyonlarının  $b_i$  ile  $p_i$  arasında artmayan doğrusal bir fonksiyon olduğu varsayılmıştır.

Werner, bulanık kısıtlar altında etkin çözümü şu şekilde tanımlamıştır: Eğer aşağıdaki özellikleri sağlayan  $x' \in X$  yok ise  $x \in X$  bir etkin çözümdür.

$$\begin{aligned} f_k(x') & \geq f_k(x), \quad k = 1, 2, \dots, K \\ \mu_i(x') & \geq \mu_i(x), \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \text{ve} & \\ f_k(x') & > f_k(x), \quad \text{en az bir } k \in \{1, 2, \dots, K\} \text{ veya} \\ \mu_i(x') & < \mu_i(x), \quad \text{en az bir } i \in \{1, 2, \dots, m\} \end{aligned} \quad (4.190)$$

Yöntemde amaç fonksiyonları ve kısıt üyelik fonksiyonları için üyelik değerleri belirlenmiş ve enb-enk operatörü uygulanarak (4.189)'daki model çözülmüştür. Yöntemde önerilen algoritma yedi adımdan oluşmaktadır ve çözüm süreci Şekil 4.11'de verilmiştir.

*Adım 1.* Model formülasyonu. Modeldeki tüm üyelik fonksiyonlarının doğrusal olduğu varsayılmıştır. Bu sayede çözüm işlemleri kolaylaştırılmış ve karar vericiden sadece iki tane bilgi alınarak üyelik fonksiyonu tanımlamak mümkün olmuştur. Modelde doğrusal olmayan fonksiyonlar var ise bunlar doğrusallaştırılmalıdır.



**Şekil 4.11** : Werner Etkileşimli BÇAKV yöntemi aşamaları (Lai ve Hwang, 1994a)

*Adım 2.* Etkin uç çözümlerin oluşturulması. Bu aşamada amaçların üst ( $f_k^0$ ) ve alt ( $f_k^1$ ) sınırları belirlenmiştir. Bu nedenle her amaç için aşağıdaki modellerin çözülmesi önerilmiştir.

$$f_k^0 = f_k(x_k^0) = \text{enb}_{x \in X} f_k(x) \quad (4.191)$$

$$X = \{x \mid g_i(x) \leq b_i + p_i, \quad \forall i, x \geq 0\}$$

$$f_k^1 = f_k(x_k^1) = \text{enb}_{x \in X} f_k(x) \quad (4.192)$$

$$X = \{x \mid g_i(x) \leq b_i, \quad \forall i, x \geq 0\}$$

Karar vericiye amaçlar ve kısıtlar arasındaki ilişkiyi göstermek için tüm sonuçlar Tablo 4.6'daki gibi sunulur.

**Tablo 4.6 :** Etkin uç çözümlerin sonuçları

	$f_1$	$f_1$	...	$f_k$
$x_1^0$	$f_1(x_1^0)$	$f_2(x_1^0)$	...	$f_k(x_1^0)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_k^0$	$f_1(x_k^0)$	$f_2(x_k^0)$	...	$f_k(x_k^0)$
$x_1^1$	$f_1(x_1^1)$	$f_2(x_1^1)$	...	$f_k(x_1^1)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_k^1$	$f_1(x_k^1)$	$f_2(x_k^1)$	...	$f_k(x_k^1)$

*Adım 3.* Amaç fonksiyonları için üyelik fonksiyonları oluşturulması. Amaç fonksiyonları için üyelik fonksiyonları Tablo 4.6'ya göre oluşturulmuştur.  $k$  amacı için ulaşılabilen en büyük değer  $f_k^0 = f_k(x_k^0)$ 'a eşittir.  $k$  amacı için en kötümser değer ise ilgili sütundaki en küçük değerdir ve  $f_k^m = \text{enk}_k [f_k(x_k^0), f_k(x_k^1)]$  ile hesaplanır. Belirlenen en büyük ve en küçük değerlere göre üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 1 & f_k^0 < f_k(x) \text{ ise} \\ \frac{f_k(x) - f_k^m}{f_k^0 - f_k^m} & f_k^m \leq f_k(x) \leq f_k^0 \text{ ise} \\ 0 & f_k^m > f_k(x) \text{ ise} \end{cases}, \forall k, \quad (4.193)$$

Ayrıca, bulanık kısıtlar için doğrusal üyelik fonksiyonları şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & g_i(x) < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{g_i(x) - b_i}{p_i} & b_i \leq g_i(x) \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0 & g_i(x) > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases}, \forall i, \quad (4.194)$$

*Adım 4.* Uzlaşık çözüm oluşturma. Uzlaşık çözüm aşağıdaki model ile elde edilir:

$$\begin{aligned} \text{enb } & \alpha \\ \text{kst } & (f_k(x) - f_k^m) / (f_k^0 - f_k^m) \geq \alpha, \quad \forall k \\ & 1 - (g_i(x) - b_i) / p_i \geq \alpha, \quad \forall i \\ & \alpha \in [0,1], \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.195)$$

Sonuçta bulanık etkin uzlaşık çözüm,  $x^0$ , ilgili amaç fonksiyon değerleri ve üyelik fonksiyon değerleri bulunur ve Tablo 4.7'deki gibi karar vericiye sunulur.



**Tablo 4.7 : Uzlaşık çözüm sonuçları**

	Amaç fonksiyonları				Kısıtlar		
	$f_1^0$	$f_2^0$	...	$f_K^0$	$b_1 + p_1$	...	$b_m + p_m$
$x^0$	$f_1(x^0)$	$f_2(x^0)$	...	$f_K(x^0)$	$g_1(x^0)$	...	$g_m(x^0)$
	$f_1^m$	$f_2^m$	...	$f_K^m$	$b_1$	...	$b_m$
$\alpha^0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	...	$\alpha_K$	$\alpha_{K+1}$	...	$\alpha_{K+m}$

*Adım 5.* Çözümlerin karar vericiye sunulması. Bu aşamada karar vericiye Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'deki sonuçlar sunulur ve karar vericinin bu sonuçlardan herhangi birini kabul edip etmeyeceği sorulur. Eğer karar vericinin kabul edebileceği bir çözüm var ise en iyi çözüme ulaşılmış demektir ve algoritma sonlandırılır. Eğer karar verici hiçbir çözümü tatmin edici bulmazsa sonraki adıma geçilir.

*Adım 6.* Karar vericinin üyelik fonksiyonlarını değiştirmesi. Karar verici için tatmin edici bir sonuç bulmak amacı ile karar vericiden amaç fonksiyonları ve kısıtlar için tanımlanan üyelik fonksiyon değerlerini güncellemesi istenir. Amaç fonksiyonları için tanımlanan en küçük tatmin düzeyi ve kısıtlar için tanımlanan tolerans miktarları değiştirilmesi en muhtemel değerlerdir.

*Adım 7.* Karar vericinin değişim talebinin boyutunun belirlenmesi. Bir önceki adımda değişen değerler neticesinde sonuçlar yerel bir değişim gösterir. Eğer karar verici yerel bir sonuç elde etmek istiyor ise adım 4'e dönülerek uzlaşık çözüm tekrar oluşturulur. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar karar vericinin ihtiyaçlarının çok ötesinde kalıyor ise veya birkaç kez üyelik fonksiyonlarında yapılan değişikliklere rağmen çıkan sonuçların hiçbiri tatmin edici bulunmuyorsa modelin baştan güncellenmesi gerekebilir. Bu durumda adım 1'e geri dönmelidir.

#### 4.3.5.2 Leung yaklaşımı

Leung tarafından önerilen etkileşimli bulanık ÇAKV yaklaşımı temelde bir öncelikli hedef programlama yöntemidir. Yaklaşımında ilk olarak en önemli amaca göre eniyileme gerçekleştirilir, sonra bu amaç için elde edilen en iyi değer ile en iyi değer için tanımlanan toleranslara göre ikinci amaç için çözüm gerçekleştirilir. Daha sonraki her amaç için de öncelik sırasına göre önceki amaçların en iyi değerleri ve tolerans değerleri dikkate alınarak çözümler elde edilir. Çözüm sürecinde farklı amaçların tolerans değerleri, birbirleri arasındaki değiş tokuşa göre ve karar vericiden alınan bilgilere göre oluşturulur (Lai ve Hwang, 1994a).

Aşağıdaki model tanımlanmış olsun;

$$\begin{aligned}
 &\text{bul } x \\
 &\text{kst } f_k(x) \geq f_k; f_k + d_k \quad k = 1, 2, \dots, K \\
 &\quad g_i(x) \geq b_i; b_i + p_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 &\quad x \geq 0
 \end{aligned} \tag{4.196}$$

Amaçların ve kısıtlar üyelik fonksiyonlarının doğrusal tanımlandığı varsayalım;

$$\mu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 0 & f_k(x) < f_k \text{ ise} \\ \frac{f_k(x) - f_k}{d_k} & f_k \leq f_k(x) \leq f_k + d_k \text{ ise} \\ 1 & f_k + d_k < f_k(x) \text{ ise} \end{cases}, \forall k, \tag{4.197}$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & g_i(x) < b_i \text{ ise} \\ \frac{g_i(x) - b_i}{p_i} & b_i \leq g_i(x) \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 1 & g_i(x) > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases}, \forall i, \tag{4.198}$$

Ayrıca; amaçların öncelikleri azalan sıra ile  $f_1(x) \geq f_2(x) \geq \dots \geq f_n(x)$  şeklinde düzenlenmiş olsun. Bunlara göre yöntemin çözüm yordamı iki adımdan oluşmaktadır:

*Adım 1.* En önemli amaç için çözüm elde edilmesi. En önemli amaç için çözüm  $(\alpha_1^*, x^{1*}, f_1^*)$  enb-enk operatörü ile aşağıdaki gibi belirlenir:

$$\begin{aligned}
 &\text{enb } \alpha_1 \\
 &\text{kst } f_1(x) - f_1 \geq \alpha_1 d_1 \\
 &\quad g_i(x) - b_i \geq \alpha_1 p_i, \quad \forall i \\
 &\quad \alpha_1 \in [0, 1], \quad x \geq 0
 \end{aligned} \tag{4.199}$$

*Adım 2.* Diğer amaçlar için çözüm elde edilmesi. Diğer amaçlar ( $q = 2, 3, \dots, K$ ) için çözüm elde etmek için öncelikle amaçlar arasındaki değiş tokuş katsayısı karar vericiye sorularak oluşturulur. Değiş tokuş katsayısı,  $\beta_k^q$ ,  $\mu_q(f_q(x))$ 'i enbüyükleyerek  $f_q$ 'yu elde etmek için  $\alpha_k^*$ 'dan ne kadar ödün verilebileceğine göre belirlenir ( $k=1, 2, \dots, q-1$ ). Daha sonra aşağıdaki model ile  $q$  amacı için çözüm elde edilir.

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha_q \\
& \text{kst } f_q(x) - f_q \geq \alpha_q d_q \\
& \quad g_i(x) - b_i \geq \alpha_q p_i, \quad \forall i \\
& \quad f_k(x) - f_k \geq d_k \alpha_k^* \beta_k^q, \quad k = 1, 2, \dots, q-1 \\
& \quad \alpha_k \in [0, 1], \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.200}$$

Burada  $0 \leq \beta_k \leq \beta_k^q \leq \beta_k^{q-1} \leq \dots \leq \beta_k^{k+1} \leq 1$ ,  $k = 1, 2, \dots, q-1$ . Bu şekildeki bir sıralama önceliği yüksek olan amaçlar için belirlenen değiş tokuş katsayısının önceliği daha az olanlara göre daha esnek olduğunu gösterir. Böylece çözüm sürecinde daha tutarlı sonuçlar elde edilebilir. Sonraki adımlarda elde edilen sonuçlar öncekilerle çatışmaz ve çok tutarsız sonuçlar elde edilmez.

Yöntemin uygulanmasında karar vericilerin  $\alpha_k^*$  üzerinden değiş tokuş belirlemeleri zor olabilir. Onun yerine amaç fonksiyonu değerleri üzerinden değiş tokuş sağlanabilir.  $f_q^*$ 'yu arttırmak için  $f_k^*$ 'dan vazgeçilebilen miktar  $\tau_k^q$  ile tanımlanırsa çözüm elde etmek için aşağıdaki model kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha_q \\
& \text{kst } f_q(x) - f_q \geq \alpha_q d_q \\
& \quad g_i(x) - b_i \geq \alpha_q p_i, \quad \forall i \\
& \quad f_k(x) \geq \tau_k^* f_k^*, \quad k = 1, 2, \dots, q-1 \\
& \quad \alpha_k \in [0, 1], \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.201}$$

Önceki model ile benzer şekilde  $0 \leq \tau_k \leq \tau_k^q \leq \tau_k^{q-1} \leq \dots \leq \tau_k^{k+1} \leq 1$ ,  $k = 1, 2, \dots, q-1$  ilişkisi tanımlanmıştır.

#### 4.3.5.3 Rommelfanger yaklaşımı

Rommelfanger (1989), amaç fonksiyonları katsayıları, teknoloji katsayıları ve kaynak katsayılarının kesin olmaması durumunda bunların karar vericinin tercihlerine göre bulanık sayılar ile temsil edilmesini içeren bir yöntem önermiştir (Lai ve Hwang, 1994a). Aşağıdaki bulanık ÇAKV modeli dikkate alınır:

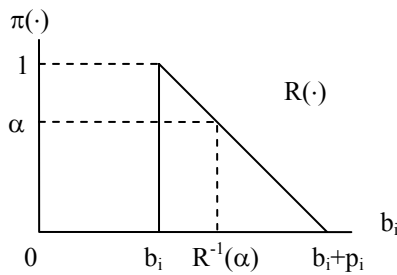
$$\begin{aligned}
& \text{enb } (\tilde{C}_1(x), \tilde{C}_2(x), \dots, \tilde{C}_K(x)) \\
& \text{kst } \tilde{A}x \leq \tilde{b}, \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.202}$$

Burada  $\tilde{C}_k = (\tilde{c}_{k1}, \dots, \tilde{c}_{kn})$ ,  $\tilde{b} = (\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_m)^T$ ,  $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{m \times n}$  değerleri kesin olarak ifade edilemeyen değerlerdir. İstatistiksel bir veri olmadığı durumlarda buradaki kesin olmayan katsayılar bulanık sayılar ile gösterilebilir. Bunun için karar vericinin şunları belirlemesi gerekir:

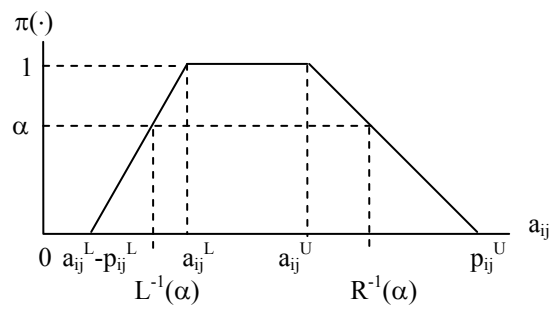
1. Uygun bir referans noktası
2. Bulanık sayıların destek noktaları, yayılma alanları
3. Referans fonksiyon türü

Rommelfanger (1989)'a göre  $\tilde{b}$  ve  $\tilde{A}$  aşağıdaki gibi verilen ve Şekil 4.12'de gösterilen olabilirlik dağılımları ile rasyonel olarak belirlenmiştir.

$$\begin{aligned} \tilde{b}_i &= (b_i, 0, p_i)_R \\ \tilde{a}_{ij} &= (a_{ij}^L, a_{ij}^U, p_{ij}^L, p_{ij}^U)_{LR} \end{aligned} \quad (4.203)$$



(a) Sağ-Üçgen olabilirlik dağılımı



(b) Yamuk olabilirlik dağılımı

**Şekil 4.12** : Rommelfanger yaklaşımında kullanılan olabilirlik dağılımları

(4.202)'deki modelin bulanık kısıtları açıldığında,

$$\tilde{a}_{i1}x_1 \oplus \tilde{a}_{i2}x_2 \oplus \dots \oplus \tilde{a}_{in}x_n \leq \tilde{b}_i, \quad \forall i \quad (4.204)$$

elde edilir. Bu eşitsizliğin sol tarafı bulanık toplama işlemi yapılarak  $(\sum_j a_{ij}^L x_j, \sum_j a_{ij}^U x_j, \sum_j p_{ij}^L x_j, \sum_j p_{ij}^U x_j)_{LR}, \forall i$  yamuk olabilirlik dağılımına dönüştürülmüştür. Eşitsizliği ifade etmek için aşağıdaki karşılaştırma indisi kullanılmıştır:

$$\tilde{a} \leq \tilde{b} \quad \text{eğer her } \alpha \in [0,1] \text{ için } \sup a_\alpha \leq \sup b_\alpha \text{ ve } \inf a_\alpha \leq \inf b_\alpha \text{ ise}$$

Bu indis kullanılarak (4.204)'teki bulanık eşitsizlik aşağıdaki gibi netleştirilmiştir.

$$\begin{aligned}\sum_j a_{ij}^L x_j - \sum_j p_{ij}^L L^{-1}(\alpha) x_j &\leq b_i^L - p_i^L L^{-1}(\alpha) \\ \sum_j a_{ij}^U x_j + \sum_j p_{ij}^U R^{-1}(\alpha) x_j &\leq b_i^U + p_i^U R^{-1}(\alpha)\end{aligned}$$

Veya

$$\begin{aligned}\sum_j a_{ij}^U x_j &\leq b_i \\ \sum_j a_{ij}^U x_j + \sum_j p_{ij}^U R^{-1}(\alpha) x_j &\leq b_i + p_i R^{-1}(\alpha)\end{aligned}\tag{4.205}$$

(4.202)'de verilen modelin amaç fonksiyonu için karar verici hedef değeri belirlemektedir. Hedef değeri için sağ-olabilirlik dağılımının kullanılması önerilmiştir:  $\tilde{d}_k = (d_k, \delta_k, 0)^L$ . Sonuçta aşağıdaki bulanık eşitsizlik elde edilmiştir:

$$\tilde{c}_{k1} x_1 \oplus \tilde{c}_{k2} x_2 \oplus \dots \oplus \tilde{c}_{kn} x_n \geq \tilde{d}_k, \quad \forall k\tag{4.206}$$

Burada  $\tilde{c}_{kj} = (c_{kj}^L, c_{kj}^U, \delta_{kj}^L, \delta_{kj}^U)_{LR}$  Şekil 4.12'de verilen yamuk olabilirlik dağılımıdır. Kısıtlar için kullanılan benzer işlemler ile amaç fonksiyonları aşağıdaki kısıtlara dönüştürülmüştür.

$$\begin{aligned}\sum_j c_{kj}^L x_j &\geq d_k \\ \sum_j c_{kj}^L x_j - \sum_j \delta_{kj}^L L^{-1}(\alpha) x_j &\geq d_k - \delta_k L^{-1}(\alpha)\end{aligned}\tag{4.207}$$

(4.205) ve (4.207)'de elde edilen eşitsizlikler yardımı ile (4.202)'deki model aşağıdaki modele dönüştürülmüştür.

$$\begin{aligned}\text{bul } &x \\ \text{kst } &\sum_j a_{ij}^U x_j \leq b_i, \quad \forall i \\ &\sum_j a_{ij}^U x_j + \sum_j p_{ij}^U R^{-1}(\alpha) x_j \leq b_i + p_i R^{-1}(\alpha), \quad \forall i \\ &\sum_j c_{kj}^L x_j \geq d_k, \quad \forall k \\ &\sum_j c_{kj}^L x_j - \sum_j \delta_{kj}^L L^{-1}(\alpha) x_j \geq d_k - \delta_k L^{-1}(\alpha), \quad \forall i \\ &x \geq 0\end{aligned}\tag{4.208}$$

Buradaki kısıt kümesi  $X$  ile gösterilirse; modeli çözmek için yöntemde aşağıdaki amaç fonksiyonu tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}\text{enk}_k &\left( \sum_j c_{kj}^L x_j - \sum_j \delta_{kj}^L L^{-1}(\alpha) x_j - d_k + \delta_k L^{-1}(\alpha) \right) / \delta_k L^{-1}(\alpha) \\ \text{kst } &x \in X\end{aligned}\tag{4.209}$$

Burada amaç fonksiyonundaki bölme işleminde payda verilen ifade hedeflerden  $\alpha$  düzeyindeki sapmayı gösterirken, paydadaki  $1/\delta_k L^{-1}(\alpha)$  ifadesi bir normalizasyon faktörüdür. Amaç, hedef değerlerinden sapmaların normalize değerlerini enküçüklemektir. Tüm amaçlar için tek bir model içerisinde aşağıdaki gibi birleştirilmiştir. Böylece model (4.208), dolayısıyla model (4.202) çözülmüştür.

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \gamma \\
& \text{kst } \sum_j a_{ij}^U x_j \leq b_i, \quad \forall i \\
& \quad \sum_j a_{ij}^U x_j + \sum_j p_{ij}^U R^{-1}(\alpha) x_j \leq b_i + p_i R^{-1}(\alpha), \quad \forall i \\
& \quad \sum_j c_{kj}^L x_j \geq d_k, \quad \forall k \\
& \quad \sum_j c_{kj}^L x_j - \sum_j \delta_{kj}^L L^{-1}(\alpha) x_j \geq d_k - (1-\gamma)\delta_k L^{-1}(\alpha), \quad \forall i \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.210}$$

Yöntemde hedef değerleri hakkında bilgi sahibi olmak üzere her amaç için aşağıdaki modelin çözülmesi önerilmiştir.

$$\begin{aligned}
& \text{enb } f_k(x) = c_{k1}^L x_1 + \dots + c_{kn}^L x_n \\
& \text{kst } \sum_j a_{ij}^U x_j \leq b_i, \quad \forall i \\
& \quad \sum_j a_{ij}^U x_j + \sum_j p_{ij}^U R^{-1}(\alpha) x_j \leq b_i + p_i R^{-1}(\alpha), \quad \forall i \\
& x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.211}$$

Bu modelin çözümü  $x^{k*}$  ve  $f_k^* = f_k(x^*)$  olarak gösterilirse,  $d_k$  hedef değerinin üst limiti  $f_k^*$  olarak belirlenebilir. Hedef değerinin alt limiti,  $f_k^L = d_k - \delta_k$ , diğer amaçlar için elde edilen sonuçların en küçüğü  $\text{enk}_t f_k(x^{t*})$ , ( $t=1, \dots, k-1, k+1, \dots, K$ ) olarak belirlenmiştir.

Tanımlanan modeller üzerine yöntemde 6 adımlı bir algoritma önerilmiştir.

*Adım 1.* Belirli olmayan  $\tilde{a}_{ij}, \tilde{c}_{kj}$  ve  $\tilde{b}_i$  katsayıları için karar vericinin tercihlerine göre uygun olabilirlik dağılımları belirlenir. Pratikte karar vericinin her katsayı için bir güven katsayısı  $\alpha \in [0,1]$  ve aşağıdaki katsayıları belirlemesi yeterli olacaktır.

1.  $\tilde{a}_{ij}$  için  $a_{ij}^U$  ve  $a_{ij}^U + p_{ij}^U R^{-1}(\alpha)$ ,
2.  $\tilde{c}_{kj}$  için  $c_{kj}^L$  ve  $c_{kj}^L - \delta_{kj}^L L^{-1}(\alpha)$ ,
3.  $\tilde{b}_i$  için  $b_i$  ve  $b_i + p_i R^{-1}(\alpha)$ ,

4. Tüm katsayılar için uygun  $L(\cdot)$  ve  $R(\cdot)$  referans fonksiyonları belirlenir (eğer karar vericinin sınırlı bilgisi varsa  $R(u)=L(u)=\text{enb}(0,1-|u|)$  olarak varsayılabilir).

*Adım 2.* Model (4.211) her amaç için çözülerek  $f_k^*$ ,  $f_k^L$ ,  $\forall k$ , hesaplanır.

*Adım 3.* Belirlenen alt ve üst limitlere göre karar verici hedef değerlerini,  $\tilde{d}_k = (d_k, \delta_k, 0)_L$ , saptar.

*Adım 4.* Model (4.210) çözülür.

*Adım 5.* Karar vericiye aşağıdaki sonuçlar sunulur:

1. uzlaşık çözüm  $\gamma^1$ , ve  $x^1$ ,
2. amaç fonksiyon değerleri,  $\sum_j c_{kj}^L x_j^1$ , ve yayılımları,  $\sum_j \delta_{kj} L^{-1}(\alpha) x_j^1$ ,  $\forall k$ ,
3. kullanılan kaynaklar,  $\sum_j a_{ij}^U x_j^1$ , ve yayılımları  $\sum_j p_{ij}^U R^{-1}(\alpha) x_j^1$ ,  $\forall i$ .

*Adım 6.* Eğer  $\gamma^1 \geq 0$  ise  $x^1$ , karar verici için tatminkâr bir sonuçtur. Eğer  $\gamma^1 < 0$  ise aşağıdaki değişiklikler yapılabilir;

1. bazı hedef değerlerini,  $\tilde{d}_k$ , büyütme,
2. bazı kaynak kısıtı değerlerini,  $\tilde{b}_i$ , düşürme,
3. daha düşük bir güvenlik katsayısı,  $\alpha$ , belirleme,
4. bazı belirsiz teknoloji kısıtlarını,  $\tilde{a}_{ij}$ , düzenleme.

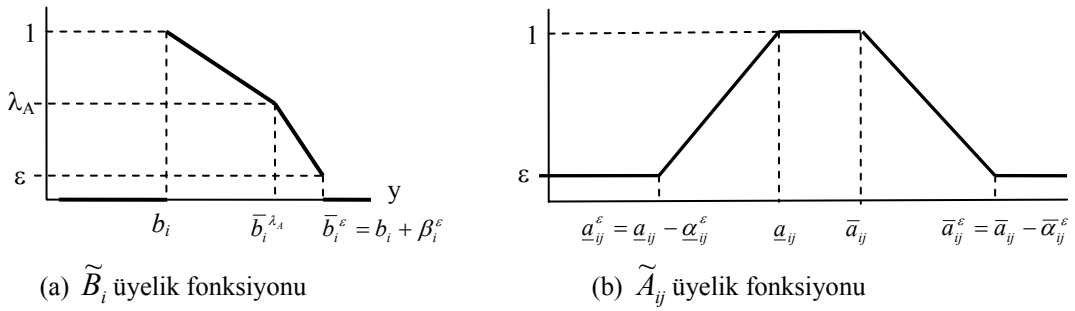
Eğer  $\gamma^1 < 0$  ise çözüm, hedefleri 1 güvenlik seviyesinde sağlıyor demektir. Bu, çözümün  $\alpha$  güvenlik seviyesinde sağlanmadığını gösterir. Bu durumda karar vericinin iki alternatifi vardır:

1. bir veya daha çok amaç için kritik yayılım değerini,  $\delta_k$ , arttırıp  $x^1$  çözümünü kabul etmek,
2.  $x^1$  çözümünü kabul etmeyip
  - a. bazı hedef değerlerini,  $\tilde{d}_k$ , azaltmak,
  - b. bazı kaynak kısıtı değerlerini,  $\tilde{b}_i$ , arttırmak,

c. daha yüksek bir güvenlik katsayısı,  $\alpha$ , belirlemek,

Eğer model (4.210) çözümsüz çıkıyorsa karar verici bazı hedef değerlerini,  $\tilde{d}_k$ , düşürmek zorundadır. Değişiklik yapıldığı durumda adım 4'e geri dönülür. Çözüm kabul ediliyorsa algoritmadan çıkılır.

Rommelfanger (2004) daha yeni bir çalışmasında önerdiği etkileşimli modeli geliştirmiştir. Çalışmada kısıt parametreleri  $\varepsilon$ - $\lambda$  tipi bulanık sayılar ile gösterilmiştir. Buna göre kaynak katsayıları  $\tilde{B}_i = (b_i, 0, 0, \beta_i^{\lambda_A}, \beta_i^\varepsilon)^{\varepsilon, \lambda_A}$  veya  $\tilde{B}_i = (b_i, \bar{b}_i^{\lambda_A}, \bar{b}_i^\varepsilon)$  ile ifade edilen ve Şekil 4.13a'da verilen bulanık sayılar ile gösterilmiştir. Teknoloji katsayıları  $\tilde{A}_{ij} = (\underline{a}_{ij} - \underline{\alpha}_{ij}^\varepsilon, \underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}, \bar{a}_{ij} + \bar{\alpha}_{ij}^\varepsilon)$ , Şekil 4.13b ile ifade edilmiştir. Amaç fonksiyonu katsayıları teknoloji katsayıları ile benzer yapıda olarak  $\tilde{C}_{kj} = (\underline{c}_{kj} - \underline{\gamma}_{kj}^\varepsilon, \underline{c}_{kj}, \bar{c}_{kj}, \bar{c}_{kj} + \bar{\gamma}_{kj}^\varepsilon)$  şeklinde öngörülmüştür.



**Şekil 4.13 :** Rommelfanger'da parametreler için tanımlanan bulanık sayılar

Çalışmada kısıtlardaki eşitsizlikleri modelleyebilmek için aşağıdaki eşitsizlik ilişkisi tanımlanmıştır:

$$\tilde{A}_i(\mathbf{x}) \lesseqgtr \tilde{B}_i \Leftrightarrow \begin{cases} \bar{a}_i(\mathbf{x}) + \bar{\alpha}_i(\mathbf{x}, p) \leq b_i + \beta_i^\varepsilon \\ \mu_i(\mathbf{x}) = \mu_{D_i}(\bar{a}_i(\mathbf{x})) \rightarrow \text{enb} \end{cases} \quad (4.212)$$

Burada kısıt sağ taraf değeriyle ilgili üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\mu_{D_i}(\bar{a}_i(\mathbf{x})) = \begin{cases} \mathbf{1} & \bar{a}_i(\mathbf{x}) \leq b_i \text{ ise} \\ \mu_{B_i}(a_i(\mathbf{x})) & b_i < \bar{a}_i(\mathbf{x}) \leq b_i + \beta_i^\varepsilon \text{ ise} \\ \mathbf{0} & b_i + \beta_i^\varepsilon < \bar{a}_i(\mathbf{x}) \text{ ise} \end{cases} \quad (4.213)$$

Ayrıca kısıtların sağlanmasına esneklik kazandırmak için teknoloji katsayılarının yayılımını kontrol etmek üzere  $p$  parametresi tanımlanmıştır. Bu parametreye göre  $\bar{a}_i(\mathbf{x}, p)$  aşağıdaki gibi belirlenir.



$$\bar{\alpha}_i(\mathbf{x}, p) = \left( \sum_{j=1}^n (\bar{\alpha}_{ij}^\varepsilon \mathbf{x}_j)^{(p-1)/p} \right)^{p/(p-1)} \quad (4.214)$$

Burada  $p$ 'nin değeri arttıkça teknoloji katsayılarının esnekliği azalır.

Rommelfanger (2004) amaç bulanık fonksiyonlarını hedef değerleri tanımlayarak modellemiştir. Bunun için  $\varepsilon$ - $\lambda$  tipinde gösterilen  $\tilde{N}_k = (n_k, \underline{v}_k^{\lambda_A}, \underline{v}_k^\varepsilon, 0, 0)^{\varepsilon, \lambda_A}$  hedef değerleri öngörülmüştür. Hedef değerleri karar verici ile etkileşimli olarak belirlenmektedir. Modelde amaç fonksiyonu değerlerinin belirlenen hedeflerden yüksek olmasını sağlamak üzere kısıtlardakine benzer şekilde eşitsizlik ilişkisi tanımlanmıştır.

$$\tilde{C}_k(\mathbf{x}) \succeq \tilde{N}_k \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{j=1}^n (\underline{c}_{kj} + \bar{\gamma}_{kj}^\varepsilon) x_j \geq n_k + \underline{v}_k^\varepsilon \\ \mu_{Z_k}(\underline{c}_k(\mathbf{x})) \rightarrow \text{enb} \end{cases} \quad (4.215)$$

Burada amaç değerlerinin hedefleri sağlama üyelik değeri enbüyüklenmek istenmektedir. Bu değer şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\mu_{Z_k}(\underline{c}_k(\mathbf{x})) = \begin{cases} 1 & \underline{c}_k(\mathbf{x}) \geq n_k \text{ ise} \\ \lambda_A + \frac{\underline{c}_k(\mathbf{x}) - (n_k - \underline{v}_k^{\lambda_A})}{\underline{v}_k^{\lambda_A}} \cdot (1 - \lambda_A) & n_k - \underline{v}_k^{\lambda_A} \leq \underline{c}_k(\mathbf{x}) < n_k \\ \varepsilon + \frac{\underline{c}_k(\mathbf{x}) - (n_k - \underline{v}_k^\varepsilon)}{\underline{v}_k^{\lambda_A} - \underline{v}_k^\varepsilon} \cdot (\lambda_A - \varepsilon) & n_k - \underline{v}_k^\varepsilon \leq \underline{c}_k(\mathbf{x}) < n_k - \underline{v}_k^{\lambda_A} \\ 0 & \underline{c}_k(\mathbf{x}) < n_k - \underline{v}_k^\varepsilon \end{cases} \quad (4.216)$$

Kısıt ve amaç üyelik fonksiyonları ile ilgili uzlaşık çözüm bulabilmek için tek bir uzlaşık amaç fonksiyonu tanımlanmıştır.

$$\lambda(\mathbf{x}) = \text{enk}[\mu_{Z_1}(\underline{c}_1(\mathbf{x})), \dots, \mu_{Z_K}(\underline{c}_K(\mathbf{x})), \mu_{D_1}(\bar{a}_1(\mathbf{x})), \dots, \mu_{D_{m_1}}(\bar{a}_{m_1}(\mathbf{x}))] \quad (4.217)$$

Bu fonksiyon enbüyüklenmeye çalışılırken  $x$  değerlerinin aşağıda tanımlanan küme içerisinde yer alması gerekmektedir.

$$X_R = \left\{ x \in R \left| \begin{array}{l} \bar{a}_{i1}^\varepsilon x_1 + \dots + \bar{a}_{in}^\varepsilon x_n \leq \bar{b}_i^\varepsilon \quad i = l, \dots, m_1 \\ a_{i1} x_1 + \dots + a_{in} x_n \leq b_i \quad i = m_1, \dots, m \\ x_1, \dots, x_n \geq 0 \end{array} \right. \right\} \quad (4.218)$$

Rommelfanger (2004) kısıtlar ve amaç fonksiyonları için verilen formülasyonları önerdikten sonra hedef değerlerini kendiliğinden belirleyen ve farklı uzlaşık çözümler üreten bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımda (4.212) ve (4.215)'te verilen eşitsizlik ilişkileri için doğrusal bir tahmin yöntemi geliştirilmiştir.

#### 4.3.5.4 Sakawa ve Kato yaklaşımı

Sakawa ve Kato (1997) büyük boyutlu bulanık çok amaçlı programlama probleminde  $\alpha$ -kesim yaklaşımını kullanarak ve karar vericiden bazı parametre değerlerini ve hedef değerlerini alarak Pareto en iyi çözümlerini bulmayı öneren bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada incelenen problem aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
 \text{enk} \quad & \tilde{\mathbf{c}}_i \mathbf{x} = \tilde{c}_{i1}x_1 + \dots + \tilde{c}_{ip}x_p, \quad i = 1, \dots, k \\
 \text{kst} \quad & \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{x} = \tilde{A}_1x_1 + \dots + \tilde{A}_px_p \leq \tilde{b}_0 \\
 & \tilde{B}_jx_j \leq \tilde{b}_j, \quad j = 1, \dots, p \\
 & x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, p
 \end{aligned} \tag{4.219}$$

Burada tüm parametreler yamuk bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Yöntemde bu modeli çözebilmek için dört adımdan oluşan etkileşimli bir yaklaşım önerilmiştir.

*Adım 0.* Her amaç için bireysel olarak en küçük ve en büyük değerlerin bulunması. Bunun için  $\alpha$ -kesim yaklaşımına göre  $\alpha=0$  ve  $\alpha=1$  alınarak çözüm üretilmiştir.  $\tilde{d}$  bulanık sayısının  $\alpha$ -kesimi  $[d^L, d^R]$  ile ifade edilmek üzere  $i$  amacı için en büyük ve küçük değerler aşağıdaki model ile belirlenmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{enk(enb)} \quad & c_{i1\alpha}^L x_1 + \dots + c_{ip\alpha}^L x_p \\
 \text{kst} \quad & \mathbf{A}_\alpha^L \mathbf{x} = A_{1\alpha}^L x_1 + \dots + A_{p\alpha}^L x_p \leq b_{0\alpha}^R \\
 & B_{j\alpha}^L x_j \leq b_{j\alpha}^R, \quad j = 1, \dots, p \\
 & x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, p
 \end{aligned} \tag{4.220}$$

*Adım 1.* Karar vericiye  $\alpha \in [0,1]$  ve her amaç için başlangıç referans noktaları  $\bar{z}_i, i = 1, \dots, k$  sorulur. Çalışmada doğrudan Pareto en iyi çözümü bulunabileceği ama sonsuz sayıda Pareto en iyi çözümü mevcut olduğundan karar vericiden temin edilen referans noktaları ile daha net sonuçlar üretilebileceği belirtilmiştir.

*Adım 2.*  $\alpha$ -Pareto en iyi çözümünün bulunması. Çalışmada karar vericinin belirlediği  $\alpha$ -değerine göre Pareto en iyi çözümü aşağıdaki enk-enb modeli çözülerek elde edilmiştir.

enk  $v$

$$\text{kst } \mathbf{c}_{i\alpha}^L \mathbf{x} = c_{i1\alpha}^L x_1 + \dots + c_{ip\alpha}^L x_p - \bar{z}_i \leq v, \quad i = 1, \dots, k$$

$$\mathbf{A}_{\alpha}^L \mathbf{x} = A_{1\alpha}^L x_1 + \dots + A_{p\alpha}^L x_p \leq b_{0\alpha}^R \quad (4.221)$$

$$B_{j\alpha}^L x_j \leq b_{j\alpha}^R, \quad j = 1, \dots, p$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, p$$

Yöntemde (4.221)'den çıkan sonucun Pareto en iyi olup olmadığını kontrol etmek ve değil ise bir Pareto en iyi çözüm üretebilmek için bir DP modeli önerilmiştir. (4.221)'de elde edilen çözüm  $\mathbf{x}^*$  olmak üzere önerilen DP aşağıda verilmiştir.

$$\text{enk } \varepsilon = \sum_{i=1}^k \varepsilon_i$$

$$\text{kst } \mathbf{c}_{i\alpha}^L \mathbf{x} + \varepsilon_i = \mathbf{c}_{i\alpha}^L \mathbf{x}^*, \quad i = 1, \dots, k$$

$$\mathbf{A}_{\alpha}^L \mathbf{x} \leq b_{0\alpha}^R \quad (4.222)$$

$$B_{j\alpha}^L x_j \leq b_{j\alpha}^R, \quad j = 1, \dots, p$$

$$x_j, \varepsilon_i \geq 0, \quad j = 1, \dots, p, \quad i = 1, \dots, k$$

Bu modelin çözümü sonucunda  $\bar{x}$  ve  $\bar{\varepsilon}$  elde edilmiş olsun. Eğer tüm  $\bar{\varepsilon}_i = 0$  ise  $\mathbf{x}^*$  Pareto en iyi çözümdür. Eğer en az bir tane  $\bar{\varepsilon}_i > 0$  ise  $\bar{x}$  Pareto en iyi çözümü olarak belirlenir.

Yöntemde karar vericiye yol göstermek için amaçlar arasında ve farklı  $\alpha$ -değerine göre değiş tokuşlar gösterilmiştir. Bunun için (4.221)'deki problemde  $\mathbf{A}_{\alpha}^L \mathbf{x}$  kısıtlarına göre Lagrange fonksiyonu ( $L$ ) tanımlanmıştır.

$$L = v + \sum_{i=1}^k \pi_i (c_{i\alpha}^L \mathbf{x} - z_i - v) + \lambda (A_{\alpha}^L \mathbf{x} - \mathbf{b}_{0\alpha}^R) \quad (4.223)$$

Lagrange fonksiyonuna göre eğer tüm  $\pi_i > 0$  ise amaçlar arası değiş tokuşu veren fonksiyon şu şekilde oluşturulmuştur:

$$-\frac{\partial(\mathbf{c}_{1\alpha}^L \mathbf{x})}{\partial(\mathbf{c}_{i\alpha}^L \mathbf{x})} = \frac{\pi_i}{\pi_1}, \quad i = 2, \dots, k. \quad (4.224)$$

Amaç fonksiyonu ile  $\alpha$ -değeri arasındaki değiş tokuş için aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\frac{\partial(\mathbf{c}_{i\alpha}^L \mathbf{x})}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^k \pi_i \frac{\partial(\mathbf{c}_{i\alpha}^L)}{\partial \alpha} \mathbf{x} + \lambda \left\{ \frac{\partial(\mathbf{A}_{\alpha}^L)}{\partial \alpha} \mathbf{x} - \frac{\partial(\mathbf{b}_{0\alpha}^R)}{\partial \alpha} \right\}, i = 1, \dots, k. \quad (4.225)$$

*Adım 3.* Karar vericiye sonuçların sunulması. Son olarak karar vericiye Pareto en iyi çözümü ve değiş tokuş ilişkileri sunulur. Eğer karar verici sonuçları tatmin edici buluyor ise çözüme ulaşılmış demektir. Eğer karar verici sonuçları tatmin edici bulmuyor ise karar vericiden  $\alpha$  değerini ve referans noktalarını  $\bar{z}_i, i = 1, \dots, k$  güncellemesi istenir ve Adım 1'e dönülür.

Sakawa ve Kato (1998) başka bir çalışmalarında genel olarak buradaki aynı mantığı kullanmakla beraber Adım 0.'daki başlangıç çözümlerini farklı bir yöntemle hesapladıkları bir yaklaşım önermiştir

#### 4.3.5.5 Arıkan ve Güngör yaklaşımı

Arıkan ve Güngör (2007) parametrik programlamaya dayanan bir etkileşimli bulanık ÇAKV modeli önermiştir. Model, yedi aşamadan oluşan bir algoritma ile tanımlanmıştır.

*Adım 1.* Çok amaçlı matematik modelin kurulması.  $f_k(x)$ ,  $k = 1, \dots, K$ , amaç fonksiyonlarını,  $z_k$  amaç fonksiyon değerlerini,  $\mathbf{c}_k$  amaç fonksiyonu katsayılar vektörünü,  $\mathbf{b}$  kaynak katsayıları vektörünü ve  $\mathbf{A}$  teknoloji katsayıları matrisini göstermek üzere model aşağıdaki gibi kurulur.

$$\begin{array}{ll} \text{Enb (veya Enk)} & \{z_k = f_k(x) = \mathbf{c}_k \mathbf{x}\}, k = 1, \dots, K \\ \text{kst} & \mathbf{A} \mathbf{x} \leq, \geq, = \mathbf{b}, \quad \mathbf{x} \geq 0 \end{array} \quad (4.226)$$

*Adım 2.* Bulanık parametrelerin belirlenmesi. Karar verici veya analist hangi parametrelerde belirsizlik olduğunu belirler. Modelde tüm parametrelerin veya sadece teknoloji katsayılarının ( $\mathbf{A}$ ) veya teknoloji katsayıları ( $\mathbf{A}$ ) ve amaç fonksiyonu katsayıları ( $\mathbf{c}$ ) veya teknoloji katsayıları ( $\mathbf{A}$ ) ve kaynak katsayılarının ( $\mathbf{b}$ ) bulanık olduğu durumlarda iyi sonuçlar alınacağı belirtilmiştir.

*Adım 3.* Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi. Çalışmada tekdüze artan veya tekdüze azalan üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonları doğrusal, doğrusal olmayan veya parçalı doğrusal fonksiyonlar olabilmektedir.

*Adım 4.* Her üyelik derecesi için çok amaçlı karar modelinin kurulması. Çalışmada verilmiş  $\mu$  parametresi değerlerine göre bir parametrik programlama modeli

kurulması öngörülmüştür. Örneğin tüm üyelik fonksiyonları  $[d^0, d^1]$  aralığında doğrusal tekdüze artan olarak kabul edilirse ( $d$  A, b ve c parametreleri olabilir) parametrik programlama modeli aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$\begin{array}{ll} \text{Enb} & z_k = [\mathbf{c}_k^1 + \mu^* (\mathbf{c}_k^0 - \mathbf{c}_k^1)] \mathbf{x} \\ \text{kst} & [\mathbf{A}^1 + \mu^* (\mathbf{A}^0 - \mathbf{A}^1)] \mathbf{x} \leq \mathbf{b}^1 + \mu^* (\mathbf{b}^0 - \mathbf{b}^1), \quad \mathbf{x} \geq 0 \end{array} \quad (4.227)$$

*Adım 5.* İdeal çözümler kullanılarak bulanık aralıkların oluşturulması. Model (4.227)'nin farklı  $\mu$  değerleri için her amaca göre ayrı ayrı çözülmesi ile her amacın en iyi ( $u$ ) ve en kötü ( $l$ ) muhtemel değerleri belirlenir.

*Adım 6.* Bulanık DP ile çözüm elde edilmesi. Her amaç için bulunan  $[u, l]$  değerlerine göre amaçlar için tatmin olma düzeyi tanımlanmış ve tüm amaçlara göre en düşük tatmin olma düzeyini enbüyükleyen bir DP modeli önerilmiştir:

$$\begin{array}{ll} \text{Enb} & \lambda \\ \text{kst} & \lambda \leq (z_k - l_l) / (u_k - l_k), \quad k = 1, 2, \dots, K \\ & [\mathbf{A}^1 + \mu^* (\mathbf{A}^0 - \mathbf{A}^1)] \mathbf{x} \leq \mathbf{b}^1 + \mu^* (\mathbf{b}^0 - \mathbf{b}^1), \quad \mathbf{x} \geq 0 \end{array} \quad (4.228)$$

Burada  $\mu_k(x) = (z_k - l_l) / (u_k - l_k)$ ,  $k$  amacının tatmin olma düzeyini göstermektedir.

*Adım 7.* Sonuçların karar vericiye sunulması. (4.228)'de verilen model farklı  $\mu$  değerleri için çözülerek karar vericiye sunulur, karar verici sunulan alternatif çözümlerden birini kabul ederse çözüme ulaşılmış demektir. Eğer karar verici çözümlerden hiçbirini tatmin edici bulmazsa adım 2 veya 3'e gidilerek model yeniden gözden geçirilir.

#### 4.3.6 Olabilirselsel çok amaçlı karar verme yöntemleri

Olasılık teorisi üzerine kurulmuş olan stokastik programlama verilerin kodlanması, aktarımı ve kullanılması için çok etkin bir yöntem olmuştur. Fakat kesin olmayan bilginin taşınması ile değil anlamıyla ilgili problemlerde yetersiz kalmaktadır. Bilginin anlamıyla ilgilenen en önemli yaklaşımlardan birisi olabilirlik teorisidir. Olabilirlik teorisi farklı bir bakış açısı sunmakla birlikte olasılık teorisinin analogu olarak görülebilir (Lai ve Hwang, 1994a).

Olabilirselsel çok amaçlı karar verme yöntemleri katsayıları kesin olmayan problemlerle ilgilenir. Kesin olmayan katsayılar olabilirlik dağılımları ile ifade edilir. Olabilirlik dağılımlarındaki olabilirlik derecesi bulanık mantık içerisinde tanımlanan

üyelik derecesinden farklıdır. Üyelik derecesi, verilen toleranslar içerisinde öznel tatmin düzeyini gösterirken; olabilirlik derecesi, bir olayın nesnel veya öznel ortaya çıkma derecesini gösterir (Lai ve Hwang, 1994a, 1992a).

Olabilirs ÇAKV modeli aşağıdaki gibi tanımlansın:

$$\begin{aligned} \text{enb } & (f_1(\tilde{C}_1, x), f_2(\tilde{C}_2, x), \dots, f_K(\tilde{C}_K, x)) \\ \text{kst } & x \in X = \{x \mid g_i(\tilde{A}_i, x) \leq 0, \quad \forall i, \quad x \geq 0\} \end{aligned} \quad (4.229)$$

$\tilde{C}_k$  ve  $\tilde{A}_i$  kesin olmayan girdi verilerini oluşturur ve her biri için olabilirlik dağılımları  $\pi(\cdot)$  tanımlanır. Modeldeki kısıtları çözmek için kabul edilebilir bir olurluluk derecesi göz önüne alınmalıdır. Benzer şekilde amaçlar için domine edilmeme olabilirlik derecesi tanımlanmalıdır. Orlovsky, modeli çözmek için en büyük domine olmama derecesi ( $\alpha$ ) ve en büyük olurluluk dereceleri ( $\beta$ ) arasında değiş tokuşa dayanan bir yöntem önermiştir. Çözümü aşağıdaki model ile gerçekleştirmiştir (Lai ve Hwang, 1994a).

$$\begin{aligned} \text{enb } & (f_1(C_1, x), f_2(C_2, x), \dots, f_K(C_K, x)) \\ \text{kst } & \sup_{C_k: f_k(C_k, x) = r_k} \pi_k(C_k) \geq \alpha, \quad \forall k \\ & \sup_{A_i \in \dot{A}_i} \pi_i(A_i, x) \geq \beta, \quad \forall i \\ & g_i(A_i, x) \leq 0, \quad \forall i \\ & x \geq 0, A_i \in \dot{A}_i, \forall i; C_k \in C_k, \forall k \end{aligned} \quad (4.230)$$

Burada  $\dot{A}_i = \{A_i \mid g_i(A_i, x) \leq 0\}$ 'dir. Modelde amaç fonksiyon değerleri enbüyüklenmeye çalışılırken amaç ve kısıtlar için belirlenmiş en düşük olabilirlik derecelerinin ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) sağlanması garanti altına alınmıştır.

Çalışma içerisinde Orlovsky'nin önerdiği temel yöntemden başka dört adet yaklaşım incelenmiştir.

#### 4.3.6.1 Tanaka ve Asai yaklaşımı

Tanaka ve Asai yaklaşımında olabilirs ÇAKV modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Lai ve Hwang, 1994a):

$$\begin{aligned} \text{enb } & (f_1(x), \dots, f_K(x)) \\ \text{kst } & g_s(x) \leq 0, \quad s = 1, 2, \dots, m, \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.231)$$

Burada  $f_k(x)$  ve  $g_s(x)$  doğrusal fonksiyonlar ve  $x$ ,  $n$  boyutlu bir vektördür. Amaçlar hedef değerleri ile tanımlanırsa model aşağıdaki gibi düzenlenir:

$$\begin{aligned} \text{bul } & x \\ \text{kst } & y_k = -b_k x_0 + a_{k1} x_1 + \dots + a_{kn} x_n \geq 0, \quad \forall k \\ & y_s = b_s x_0 - a_{s1} x_1 - \dots - a_{sn} x_n \geq 0, \quad \forall s \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.232)$$

Modelde tüm katsayıların kesin olmadığı ve simetrik üçgen olabilirlik dağılımı ile temsil edildiği varsayılırsa; yani  $b_i$  ve  $a_i$  en olası değerler ile  $p_i$  ve  $p_{ij}$  en olası değerden en büyük sapmayı göstermek üzere  $\hat{b}_i = (b_i, p_i)$ ,  $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, p_{ij})$  ( $i=1,2,\dots,K+m$ ,  $j=1,2,\dots,n$ ) üçgen olabilirlik dağılımları kullanılırsa bir olabilirsel ÇAKV modeli elde edilir. Simetrik üçgen olabilirlik dağılımları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\pi_{ij}(a_{ij}) = \begin{cases} 1 - \frac{|a_{ij} - a_{ij}|}{p_{ij}} & a_{ij} - p_{ij} \leq a_{ij} \leq a_{ij} + p_{ij} \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}, \quad \forall i, j \quad (4.233)$$

$$\pi_i(b_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|b_i - b_i|}{p_i} & b_i - p_i \leq b_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}, \quad \forall i \quad (4.234)$$

Yöntemde, verilen  $\hat{b}_i = (b_i, p_i)$  ve  $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, p_{ij})$  parametrelerine göre  $\tilde{y}_i$  olabilirlik dağılımları tanımlanmıştır:

$$\pi_{yk}(y_k) = \begin{cases} 1 - \frac{|y_k - (\sum_j a_{kj} x_j - b_k)|}{\sum_j p_{kj} x_j + p_k} & x \neq 0 \text{ ise} \\ 1 & x = 0, y = 0 \text{ ise} \\ 0 & x = 0, y \neq 0 \text{ ise} \end{cases}, \quad \forall k \quad (4.235)$$

$$\pi_{ys}(y_s) = \begin{cases} 1 - \frac{|y_s - (b_s - \sum_j a_{sj} x_j)|}{p_s + \sum_j p_{sj} x_j} & x \neq 0 \text{ ise} \\ 1 & x = 0, y = 0 \text{ ise} \\ 0 & x = 0, y \neq 0 \text{ ise} \end{cases}, \quad \forall s \quad (4.236)$$

(4.232)'de verilen modeli kesin olmayan parametrelere göre çözmek için yöntemde  $y_i \gtrsim 0$  ile gösterilen “ $\tilde{y}_i$  hemen hemen pozitif” ifadesini tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned}
y_i \gtrsim 0 &\Leftrightarrow \mu_{y_i}(0) < 1 - h_i && \text{ve} \\
-b_k + a_{k1}x_1 + \dots + a_{kn}x_n &\geq 0, \quad \forall k \\
b_s - a_{s1}x_1 - \dots - a_{sn}x_n &\geq 0, \quad \forall s
\end{aligned} \tag{4.237}$$

Burada  $h_i, \tilde{y}_i$ 'nin hemen hemen pozitif olma, " $y_i \gtrsim 0$ ", derecesini göstermektedir.  $h_i$  arttıkça "hemen hemen pozitif" olma anlamı daha güçlü olur.  $h_i$  değeri aşağıdaki ifade ile hesaplanmıştır:

$$S = (\tilde{y}_i \text{'nin pozitif alanı}) / (\tilde{y}_i \text{'nin toplam alanı})$$

Model (4.232)'de katsayıların olabirlik fonksiyonları (4.235) ve (4.236)'daki gibi tanımlanıp eşitsizlikler (4.237)'ye göre tarif edilirse model aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\begin{aligned}
\sum_j a_{kj}x_j - b_k &\geq h_k \left( \sum_j p_{kj}x_j + p_k \right), \quad \forall k \\
b_s - \sum_j a_{sj}x_j &\geq h_s \left( p_s + \sum_j p_{sj}x_j \right), \quad \forall s \\
\sum_j a_{kj}x_j - b_k &\geq 0, \quad \forall k \\
b_s - \sum_j a_{sj}x_j &\geq 0, \quad \forall s
\end{aligned} \tag{4.238}$$

Bu model aşağıda verilene denktir:

$$\begin{aligned}
\sum_j ((a_{kj} - h_k p_{kj})x_j) - (h_k p_k + b_k) &\geq 0, \quad \forall k \\
-\sum_j ((h_s p_{sj} + a_{sj})x_j) + (b_s - h_s p_s) &\geq 0, \quad \forall s
\end{aligned} \tag{4.239}$$

Enb-enk operatörü kullanılarak çözüm  $\text{enb}[\text{enk}_{k,s}(h_k, h_s)]$  ile elde edilmiştir:

$$\begin{aligned}
&\text{enb } h \\
&\text{kst } \sum_j ((a_{kj} - h_k p_{kj})x_j) - (h_k p_k + b_k) \geq 0, \quad \forall k \\
&\quad - \sum_j ((h_s p_{sj} + a_{sj})x_j) + (b_s - h_s p_s) \geq 0, \quad \forall s \\
&\quad h = \text{enk}(h_1, \dots, h_{K+m}) \in [0,1] \\
&\quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.240}$$

Burada ortaya çıkan model doğrusal olamayan programlama modelidir. Yöntemde bu modeli çözmek için üç adımdan oluşan iteratif bir yaklaşım önerilmiştir.

*Adım 1.*  $h$ 'ye küçük bir başlangıç değeri atanır. Atanan bu değer, (4.240)'ta verilen modele bir çözüm sağlamalıdır.



*Adım 2.*  $\delta > 0$  küçük bir artım değeri olmak üzere;  $h$  değeri  $\delta, 2\delta, \dots$  arttırılarak model (4.240)'ı çözümsüz bırakan  $h + (t+1)\delta$  belirlenir.

*Adım 3.*  $h + t\delta$  için çözüm mevcut olduğundan; (4.240)'a  $h_i \geq h + t\delta, i = 1, \dots, K+m$  kısıtı eklenip amaçlardan bir tanesi seçilerek amaç fonksiyonu olarak belirlenir ve model bu haliyle çözülür. Şöyle ki;

$$\begin{aligned}
 \text{enb } & \sum_j ((a_{qj} - h_q p_{qj})x_j) - (h_q p_q + b_q) \\
 \text{kst } & \sum_j ((a_{kj} - h_k p_{kj})x_j) - (h_k p_k + b_k) \geq 0, \quad k = 1, \dots, q-1, q+1, \dots, K \\
 & - \sum_j ((h_s p_{sj} + a_{sj})x_j) + (b_s - h_s p_s) \geq 0, \quad \forall s \\
 & h_i \geq h + t\delta, \quad i = 1, \dots, K + m \\
 & x \geq 0
 \end{aligned} \tag{4.241}$$

Burada  $q$  seçilen amacı göstermektedir.

#### 4.3.6.2 Lai ve Hwang yaklaşımı

Lai ve Hwang (1994a) olabirsel çok amaçlı programlama problemini aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

$$\begin{aligned}
 \text{enb } & \tilde{f}_k(x) = \tilde{C}_k x, \quad k = 1, 2, \dots, K \\
 \text{kst } & x \in X = \{x \mid \tilde{A}x \leq \tilde{b}, \quad x \geq 0\}
 \end{aligned} \tag{4.242}$$

Bu modelde amaç fonksiyonları  $\tilde{C}_k = (\tilde{c}_{k1}, \dots, \tilde{c}_{kn})$  ve  $\tilde{c}_{kj} = (c_{kj}^m, c_{kj}^p, c_{kj}^o)$ ; kaynak katsayıları  $\tilde{b} = (\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_m)^T$  ve  $\tilde{b}_i = (b_i^m, b_i^p, b_i^o)$ ; teknoloji katsayıları  $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{m \times n}$ ,  $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^m, a_{ij}^p, a_{ij}^o)$  şeklinde üçgen olabirlik dağılımları ile ifade edilmiştir.  $m, p$  ve  $o$  sırasıyla en olası, en kötümser ve en iyimser değerleri göstermek için kullanılmıştır. Örneğin  $k$  amacı için en olası değer  $c_{kj}^m$  ile; en kötümser değer  $c_{kj}^p$  ile ve en iyimser değer  $c_{kj}^o$  ile gösterilmiştir. Bu değerler normalize edildiğinde  $\pi_{kj}(c_{kj}^m) = 1$ ,  $\pi_{kj}(c_{kj}^p) = \pi_{kj}(c_{kj}^o) = 0$  olur. Amaç fonksiyonları için üçgen olabirlik dağılımları üzerine tanımlanan toplama işlemi ile model (4.242) şu şekilde dönüşmüştür:

$$\begin{aligned}
 \text{enb } &_{x \in X} \sum_j (c_{kj}^m x_j, c_{kj}^p x_j, c_{kj}^o x_j), \quad \forall k \quad \text{veya} \\
 \text{enb } &_{x \in X} (C_k^m x, C_k^p x, C_k^o x), \quad \forall k
 \end{aligned} \tag{4.243}$$

Burada  $C_k^m = (c_{k1}^m, c_{k2}^m, \dots, c_{kn}^m)$ ,  $C_k^p = (c_{k1}^p, c_{k2}^p, \dots, c_{kn}^p)$  ve  $C_k^o = (c_{k1}^o, c_{k2}^o, \dots, c_{kn}^o)$ 'dir. Amaç fonksiyonları;  $(C_k^m x, C_k^p x, C_k^o x), \forall k$  şeklinde gösterilen üçgen olabilirlik dağılımı olduğu için geometrik olarak üç köşe noktası ile  $((C_k^m x, 1), (C_k^p x, 0), (C_k^o x, 0), \forall k)$  tanımlanmıştır. Sonuçta amaçlar enbüyüklenmek istendiğinden bu üç noktayı mümkün olduğu kadar sağa kaydırmak gerekir. Bu şekilde düşünüldüğünde problem aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{enb}_{x \in X} [C_k^m x, C_k^p x, C_k^o x], \quad \forall k \quad (4.244)$$

Burada  $[C_k^m x, C_k^p x, C_k^o x], \forall k$ , üç amacı ifade eden bir vektördür. Yöntemde elde edilmek istenen değer in üçgen yapısını korumak için değişiklikler yapılmıştır. Tanımlanan üç amacı enbüyüklemek yerine  $C_k^m x$ 'yi enbüyüklemek,  $[C_k^m x - C_k^p x]$ 'yi enküçükleme ve  $[C_k^o x - C_k^m x]$ 'yi enbüyüklemek önerilmiştir. Bu fonksiyonlardan son ikisi ilkinin göre göreceli bir ölçüt oluşturmaktadır. Böylece (4.242)'i çözmek için aşağıdaki model kullanılmıştır:

$$\begin{aligned} \text{enk} \quad f_{k1}(x) &= (C_k^m - C_k^p)x, & \forall k \\ \text{enb} \quad f_{k2}(x) &= C_k^m x, & \forall k \\ \text{enb} \quad f_{k3}(x) &= (C_k^o - C_k^m)x, & \forall k \\ \text{kst} \quad x &\in X \end{aligned} \quad (4.245)$$

Burada en olası değerlerin enbüyüklenmeye çalışılması yanında en kötümser değerlerin elde edilme riski azaltılmaya çalışılmakta ve en iyimser değerlere ulaşma şansı da arttırılmaktadır. Model (4.242)'deki kısıtları çözmek için eşitsizlikler aşağıdaki sıralama ilkesine göre dönüştürülmüştür:

$$(A^m)_\beta x \leq (b^m)_\beta, \quad (A^p)_\beta x \leq (b^p)_\beta, \quad (A^o)_\beta x \leq (b^o)_\beta \quad (4.246)$$

Burada, en olası değerler  $(A^m)_\beta = [(a_{ij}^m)_\beta]$  ve  $(b^m)_\beta = ((b_1^m)_\beta, \dots, (b_m^m)_\beta)^T$ ; en kötümser değerler  $(A^p)_\beta = [(a_{ij}^p)_\beta]$  ve  $(b^p)_\beta = ((b_1^p)_\beta, \dots, (b_m^p)_\beta)^T$ ; en iyimser değerler ise  $(A^o)_\beta = [(a_{ij}^o)_\beta]$  ve  $(b^o)_\beta = ((b_1^o)_\beta, \dots, (b_m^o)_\beta)^T$ 'dir.

Önerilen sıralama ilkesi ile tanımlanan amaç birleştirildiğinde modelin çözümü için aşağıdaki DP modeli geliştirilmiştir:

$$\begin{aligned}
\text{enk } f_{k1}(x) &= (C_k^m - C_k^p)x, & \forall k \\
\text{enb } f_{k2}(x) &= C_k^m x, & \forall k \\
\text{enb } f_{k2}(x) &= (C_k^o - C_k^m)x, & \forall k \\
\text{kst } (A^m)_\beta x &\leq (b^m)_\beta \\
&(A^p)_\beta x \leq (b^p)_\beta \\
&(A^o)_\beta x \leq (b^o)_\beta \\
&x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.247}$$

Bu modeli çözmek için en düşük kabul edilme eşiği,  $\beta$ 'nin önceden tanımlanmış olması gerekir. Bu değer önceden tanımlanmamış ise  $\beta = 0,0; 0,1; \dots; 0,9; 1,0$  için çözümler üretilerek karar vericiye sunulması ve en iyi çözümün karar verici tarafından belirlenmesi mümkündür.

#### 4.3.6.3 Wierzchon yaklaşımı

Aşağıdaki model ele alınsın:

$$\begin{aligned}
\text{enb } &(\tilde{C}_1 x, \dots, \tilde{C}_K x) \\
\text{kst } &\tilde{A}_i x \leq \tilde{b}_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.248}$$

Burada tüm katsayılar,  $\tilde{C}_k = (\tilde{c}_{k1}, \dots, \tilde{c}_{kn})$ ,  $\tilde{A}_i x = (\tilde{a}_{i1}, \dots, \tilde{a}_{in})$ ,  $\tilde{c}_{kj}, \tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_i$ ,  $\forall k, i, j$ , kesin olmayan değerlerdir ve üçgen olabilirlik dağılımları ile  $\pi(\tilde{c}_{kj}) = (c_{kj}^m, c_{kj}^p, c_{kj}^o)_{LR}$ ,  $\pi(\tilde{a}_{ij}) = (a_{ij}^m, a_{ij}^p, a_{ij}^o)_{LR}$ ,  $\pi(\tilde{b}_i) = (b_i^m, b_i^p, b_i^o)_{LR}$  şeklinde ifade edilmiştir. Wierzchon, tüm amaçların tatmin olabilirliğini ve kısıtların tatmin olabilirlik bölgelerini test etmek için aşağıdaki modeli önermiştir (Lai ve Hwang, 1994a):

$$\begin{aligned}
\text{bul } &x \\
\text{kst } &\tilde{h}_k(x) \in \tilde{b}_k, \quad k = 1, \dots, K, K+1, \dots, K+m \\
&x \geq 0
\end{aligned} \tag{4.249}$$

Burada, örneğin  $\tilde{h}(x) \in \tilde{b}$  için  $\tilde{b}$  bulanık kümesi ilgili kriterde (amaç veya kısıt) bir belirsizlik olduğunu göstermektedir. Sistemin bu kriterde göre performansı ( $\tilde{h}(x)$ ) kısmen algılanmaktadır. Bir alternatif çözümün,  $x$ , tatmin edici olarak kabul edilebilmesi için  $\tilde{h}$  performans değerinin  $\tilde{b}$  eşiğinin üzerinde olması gerekir. Üzerinde olma ilişkisi  $(b^m, b^p, b^o)_{LR}$  üçgen olabilirlik dağılımı ile tanımlanmıştır.

Bir kâr değişkeni için karar verici (i)  $u \leq b^p$  ise tatmin olmuyor, (ii)  $u = b^m$  ise biraz tatmin oluyor ve (iii)  $u = b^o$  ise tamamen tatmin oluyor olabilir. Diğer yandan  $b^m$  'den daha büyük kâra ulaşmak çok çaba gerektirebilir. Kâr arttıkça çaba daha fazla artacaktır. Sonuçta  $u$  kâr değeri  $b^p$  'den  $b^m$  'ye çıkarken tatmin düzeyi artacak; fakat  $b^m$  'den  $b^o$  'e giderken tatmin düzeyi ( $\mu_b(u)$ ) azalacaktır.

Tatmin olma düzeyinin tanımı karar vericinin tutumuna bağlı olarak değişebilir. Karar verici, hedeflerin gerçekleşmesi ve kısıtların sağlanması için katı bir tutum gösteriyorsa tatmin olma düzeyi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_b(u) = \inf_{r \geq u} [1 - \mu_b(r)] = \begin{cases} 0 & u \leq b^m \text{ ise} \\ 1 & u \geq b^o \text{ ise} \\ 1 - R_b(u) & b^m < u < b^o \text{ ise} \end{cases} \quad (4.250)$$

Burada alternatif çözümün değeri beklenen değerden düşük olduğunda, tatmin olma düzeyi sıfırdır. Tam olarak tatmin olmak için iyimser hedefin sağlanması gerekir.

Daha esnek bir karar verici için tatmin olma düzeyi şu şekilde tanımlanır.

$$\mu_b(u) = \inf_{r \leq u} [1 - \mu_b(r)] = \begin{cases} 0 & u \leq b^p \text{ ise} \\ 1 & u \geq b^m \text{ ise} \\ 1 - R_b(u) & b^p < u < b^m \text{ ise} \end{cases} \quad (4.251)$$

Burada beklenen değere ulaşmak tam tatmin için yeterli olurken kötümser değerin altında olmak tatmin düzeyini sıfıra indirir. Her iki fonksiyonda  $R_b$  ve  $L_b$  ile sağ ve sol referans fonksiyonları ile tam tatmin ve sıfır tatmin arasındaki düzeyler tanımlanmıştır.

Denklem (4.250) ve (4.251) birleştirilerek aşağıdaki genel tatmin fonksiyonu oluşturulmuştur:

$$\mu(u) = \begin{cases} 0 & u < b^p \text{ ise} \\ \alpha \in (0,1) & b^p \leq u \leq b^o \text{ ise} \\ 1 & u > b^o \text{ ise} \end{cases} \quad (4.252)$$

Tatmin olunabilir  $\tilde{b}$  bölgesi oluşturulduktan sonra karar vericinin kabul edilebilir alternatifler kümesini gelişletmesi mümkündür. Bir kriteri  $\alpha$ 'dan daha yüksek bir düzeyde sağlayan alternatifler kümesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$X^v(h(x), \tilde{b}) = \{x \mid v(\tilde{h}(x), \tilde{b}) \geq \alpha, x \geq 0\} \quad (4.253)$$

Burada  $v(\cdot)$ ,  $x$  alternatifinin performansı  $\tilde{h}(x^0)$  ile  $\tilde{b}$  kriteri arasında tanımlanmış bir birleştirme operatörüdür. Yöntemde üç farklı birleştirme operatörü tanımlanmıştır. Bunlardan ikisi şunlardır:

$$\text{Kes}(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sup_{\mu \in R} \text{enk}(\mu_a(u), \mu_b(u)) \quad (4.254)$$

$$\text{Kap}(\tilde{a}, \tilde{b}) = \inf_{\mu \in R} \text{enb}(1 - \mu_a(u), \mu_b(u)) \quad (4.255)$$

Burada  $\text{Kes}(\tilde{a}, \tilde{b})$ ,  $\tilde{a}$ 'nın  $\tilde{b}$  ile kesişme derecesini;  $\text{Kap}(\tilde{a}, \tilde{b})$  ise  $\tilde{a}$ 'nın  $\tilde{b}$ 'yi kapsama derecesini verir. İki operatör arasında aşağıdaki ilişkiler tanımlanmıştır:

$$\text{Kap}(\tilde{a}, \tilde{b}) = 1 - \text{Kes}(\tilde{a}, \tilde{b}^c) \quad (4.256)$$

$$\text{Kap}(\tilde{a}, \tilde{b}) \leq \text{Kes}(\tilde{a}, \tilde{b}) \quad (4.257)$$

$\tilde{b}^c$ ,  $\tilde{b}$ 'nin bütünleyeni ve  $\mu_{b^c}(u) = 1 - \mu_b(u)$ 'dir. Bir başka kapsama operatörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{Kap}'(\tilde{a}, \tilde{b}) = \begin{cases} \inf_{u \in I(\tilde{a}, \tilde{b})} \mu_b(u) & I(\tilde{a}, \tilde{b}) \neq \emptyset \text{ ise} \\ 1 & I(\tilde{a}, \tilde{b}) = \emptyset \text{ ise} \end{cases} \quad (4.258)$$

Burada  $I(\tilde{a}, \tilde{b}) = \{u \mid \mu_a(u) > \mu_b(u)\}$ 'dir. Bu operatör şu şekilde de tanımlanabilir:

$$\text{Kap}'(\tilde{a}, \tilde{b}) = \begin{cases} 1 & \tilde{a} \subset \tilde{b} \text{ ise} \\ \alpha \in (0,1) & \text{dest } a \subset \text{dest } b \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.259)$$

Burada “dest a”  $\tilde{a}$ 'nın desteğini,  $\tilde{a} \subset \tilde{b}$  ise kesin kapsamayı yani  $\mu_a(u) \leq \mu_b(u), \forall u$  olduğunu gösterir. Bir başka ifade ile;

$$\begin{aligned} \text{Kap}'(\tilde{a}, \tilde{b}) &= \alpha \text{ yanlız ve yanlız } \alpha = \sup\{\beta \in [0,1] \mid a_\beta \subset b_\beta\} \\ &= \sup\{\beta \in [0,1] \mid a_\beta \cap (b^c)_\beta = \emptyset\} \end{aligned} \quad (4.260)$$

Bunun dual tanımı ile kesişim de oluşturulmuştur:

$$\text{Kes}(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sup\{\beta \in [0,1] \mid a_\beta \cap (b^c)_\beta \neq \emptyset\} \quad (4.261)$$

Benzer şekilde ilk kapsama operatörü de yeniden tanımlanmıştır:

$$\text{Kap}(\tilde{a}, \tilde{b}) = 1 - \sup\{\beta \in [0,1] \mid a_\beta \cap (b^c)_\beta \neq \emptyset\} \quad (4.262)$$

$h(x)$  gerçel değerli bir fonksiyon ise  $\nu(\cdot)$  birleştirme operatörü aşağıdaki gibi olur:

$$\nu(h(x), \tilde{b}) = \mu_b(h(x)) \quad \nu \in \{\text{Kap}, \text{Kes}, \text{Kap}'\} \quad (4.263)$$

Karar verici kabul edilebilir alternatifler kümesini  $X^{\text{Kes}}(\alpha)$  ile belirlemek istiyor ise denklem (4.256) kullanılarak aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\text{Eğer } x \in X^{\text{Kes}}(\alpha) \text{ ise } \text{Kap}(\tilde{h}(x), \tilde{b}^c) \leq 1 - \alpha \quad (4.264)$$

Benzer şekilde kapsama operatörü belirlendiğinde uygulanacak ifade şudur:

$$\text{Eğer } x \in X^{\text{Kap}}(\alpha) \text{ ise } \text{Kes}(\tilde{h}(x), \tilde{b}^c) \leq 1 - \alpha \quad (4.265)$$

Wierzchon,  $\text{Kap}(\tilde{h}(x), \tilde{b}^c)$  değeri  $\text{Kes}(\tilde{h}(x), \tilde{b}^c)$  değerinden büyük olmayacağı için  $X^{\text{Kap}}(\alpha)$  kümesindeki alternatiflerin  $X^{\text{Kes}}(\alpha)$ 'dekilerden daha kabul edilebilir olduğunu belirtmiştir. Ayrıca hangi operatörün kullanılacağı amaçların önem düzeylerine veya kısıtların katılığına göre belirlenebilir. Daha önemli amaçlar veya daha katı kısıtları için Kap operatörü daha uygun olacaktır. Çok daha önemlileri için ise Kap' operatörü daha uygundur.

Model (4.253), enb-enk operatörü kullanılarak aşağıdaki modele dönüştürülmüştür:

$$\begin{aligned} &\text{enb } \alpha \\ &\text{kst } \nu(\tilde{h}_k(x), \tilde{b}_k) \geq \alpha, \forall k \\ &\alpha \in [0,1], \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.266)$$

Katsayılar üçgen olabilirlik dağılımları ile gösterilirse model aşağıdaki gibi çözülür:

(i)  $\nu = \text{Kes}$  ise;

$$\begin{aligned} &\text{enb } \alpha \\ &\text{kst } \begin{cases} (C_k^o - \alpha(C_k^o - C_k^m))x \geq b_k^p + \alpha(b_k^o - b_k^p), & \forall k \\ (A_i^p + \alpha(A_i^m - A_i^p))x \leq b_i^o - \alpha(b_i^o - b_i^p), & \forall i \\ \alpha \in [0,1], \quad x \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (4.267)$$

(i)  $\nu = \text{Kap}$  ise;

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha \\
& \text{kst } \begin{cases} (C_k^m - \alpha(C_k^m - C_k^p))x \geq b_k^p + \alpha(b_k^o - b_k^p), & \forall k \\ (A_i^m + \alpha(A_i^o - A_i^m))x \leq b_i^o - \alpha(b_i^o - b_i^p), & \forall i \\ \alpha \in [0,1], & x \geq 0 \end{cases} \quad (4.268)
\end{aligned}$$

(i)  $v = \text{Kap}'$  ise;

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \alpha \\
& \text{kst } \begin{cases} (C_k^p + \alpha(C_k^m - C_k^p))x \geq b_k^p + \alpha(b_k^o - b_k^p), & \forall k \\ (A_i^o - \alpha(A_i^o - A_i^m))x \leq b_i^o - \alpha(b_i^o - b_i^p), & \forall i \\ C_k^p x \geq b_k^p, & \forall k \\ A_i^o x \leq b_i^o, & \forall i \\ \alpha \in [0,1], & x \geq 0 \end{cases} \quad (4.269)
\end{aligned}$$

Tanımlanan her üç modelin DP olarak çözülebilmesi için  $\alpha$  değerinin girdi olarak verilmesi gerekir ve en önemli amaç; amaç fonksiyonuna yazılmalıdır. Ayrıca farklı  $\alpha$  değerleri için sonuçlar üretilerek karar vericiye sunulması da mümkündür.

#### 4.3.6.4 Parra Terol Uria yaklaşımı

Parra ve diğ. (1999), bulanık ÇAKV problemini  $\alpha$ -kesim yaklaşımına dayanan bir algoritma ile çözmeyi önermiştir. İncelenen problem aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
& \text{enb } \tilde{z} = (\tilde{c}_1 x, \tilde{c}_2 x, \dots, \tilde{c}_k x) \\
& \text{kst } x \in \mathfrak{N}(\tilde{A}, \tilde{b}) = \{x \in R^n \mid \tilde{A}x \leq \tilde{b}, x \geq 0\} \quad (4.270)
\end{aligned}$$

Modelde tüm parametreler olabirlik dağılımları ile ifade edilmiştir. Modelin çözümü; parametreleri farklı  $\alpha$ -olabirlik düzeyine göre belirleyerek bunlara karşılık gelen Pareto en iyi çözümlerini bulmayı ve tüm çözümleri birleştirerek karar vericiye sunmayı içerir. Bu amaçla ilk önce  $[0,1]$  aralığındaki olabirlik düzeylerini taramak için bir  $h \in [0,1]$  adım uzunluğu belirlenir. Böylece  $[0,1]$  aralığı  $1/h$  bölüme ayrılır.  $h$  değeri ne kadar küçük olursa  $\tilde{z}^*$ 'ın tasviri o kadar ayrıntılı olacaktır. Çalışmada önerilen 12 adımdan oluşan algoritma aşağıda verilmiştir.

*Adım 1.*  $\alpha = 0$  olsun.

*Adım 2.* Kesin sayılı ÇAKV  $(A_0^R, b_0^R, C_0^R)$  modeli için bir  $x_0^L$  Pareto olurlu çözümü bulunarak  $z_0^L = C_0^L x_0^L$  hesaplanır. ÇAKV  $(A_0^R, b_0^R, C_0^R)$  modeli aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
\text{enb } z_0^L &= (c_{0_1}^L x, c_{0_2}^L x, \dots, c_{0_k}^L x) \\
\text{kst } x &\in \mathfrak{N}(A_0^R, b_0^L) = \{x \in R^n \mid A_0^R x \leq b_0^L, x \geq 0\}
\end{aligned} \tag{4.271}$$

*Adım 3.*  $x = x_\alpha^L$  ve  $\alpha = \alpha + h$  olarak belirlenir.

*Adım 4.* Aşağıdaki problem çözülerek  $y$  ve buna bağlı olarak  $z_\alpha^L = C_\alpha^L y$  hesaplanır.

$$\begin{aligned}
\text{enb } \sum_{r=1}^k \beta_r \\
\text{kst } c_{r_\alpha}^L y - \beta_r &= c_{r_\alpha}^L x, \quad r = 1, \dots, k, \\
y &\in \mathfrak{N}(A_\alpha^R, b_\alpha^L), \\
\beta_r &\geq 0, \quad r = 1, \dots, k,
\end{aligned} \tag{4.272}$$

*Adım 5.*  $x_\alpha^L = y$  olarak belirlenir.

*Adım 6.* Eğer  $\alpha = 1$  ise Adım 7'ye gidilir, değil ise Adım 3'e dönülür.

*Adım 7.*  $x = x_\alpha^L$  alınarak  $x_1^R$ , ve buna bağlı olarak  $z_1^R = C_1^R x_1^R$  aşağıdaki model ile hesaplanır.

$$\begin{aligned}
\text{enb } \sum_{r=1}^k \beta_r \\
\text{kst } c_{r_1}^R y - \beta_r &= c_{r_1}^R x, \quad r = 1, \dots, k, \\
y &\in \mathfrak{N}(A_1^L, b_1^R), \\
\beta_r &\geq 0, \quad r = 1, \dots, k,
\end{aligned} \tag{4.273}$$

*Adım 8.*  $x = x_\alpha^R$  ve  $\alpha = \alpha - h$  olarak belirlenir.

*Adım 9.* Aşağıdaki model çözülerek  $z_\alpha^R = C_\alpha^R y$  hesaplanır

$$\begin{aligned}
\text{enb } \sum_{r=1}^k \beta_r \\
\text{kst } c_{r_\alpha}^R y - \beta_r &= c_{r_\alpha}^R x, \quad r = 1, \dots, k, \\
y &\in \mathfrak{N}(A_\alpha^L, b_\alpha^R), \\
\beta_r &\geq 0, \quad r = 1, \dots, k,
\end{aligned} \tag{4.274}$$

*Adım 10.*  $x_\alpha^R = y$  olarak belirlenir.

*Adım 11.* Eğer  $\alpha = 0$  değil ise Adım 8'e gidilir. Eğer  $\alpha = 0$  ise amaç ve çözüm uzaylarında Pareto en iyi çözüm elde edilmiş olur:



$$C_0^L x_0^L \leq \dots \leq C_\alpha^L x_\alpha^L \leq \dots \leq C_1^L x_1^L \leq C_1^R x_1^R \leq \dots \leq C_\alpha^R x_\alpha^R \leq \dots \leq C_0^R x_0^R$$

$$x_0^L, \dots, x_\alpha^L, \dots, x_1^L, \quad x_1^R, \dots, x_\alpha^R, \dots, x_0^R$$

*Adım 12.* Eğer karar verici çözümü kabul ederse çözüme ulaşılmış demektir. Karar verici çözümü kabul etmez ise adım 1'e dönülerek farklı bir Pareto en iyi çözümüne göre yeni bir bulanık çözüm aranır.

Parra ve diğ. (1999) (4.271)'deki ÇAKV modelini çözmek için herhangi bir klasik ÇAKV yönteminin kullanılabileceği belirtmiştir. Algoritmada başta hesaplanan Pareto en iyi çözümüne göre bulanık modelin çözümü değişim gösterir. Bu yüzden algoritmanın son adımında çözüm karar vericiye sunulurken gerekli ise çözümün yeniden elde edilmesi mümkündür.

### 4.3.7 Bulanık karar değişkenli yöntemler

Bu bölüme kadar incelenen ÇAKV yöntemleri bulanık girdiler ile kesin kararlar verilmesine dayanmaktadır. Çözümlerin karar vericiye esneklik sağlaması için bulanık kararlar verilmesi yararlı olabilir. Bu bölümde incelenen yöntemlerden Stanciulescu ve diğ. (2003), karar değişkenlerini alt limitleriyle birlikte belirleyen bir yöntem önermiştir. Pramik ve Roy (2007) ise çok aşamalı karar modelinde hiyerarşide üstte yer alan birimlerin alttakilere esneklik sağlaması için bulanık kararlar öngörmüştür.

#### 4.3.7.1 Staciulescu Fortemps Installe Wertz yaklaşımı

Stanciulescu ve diğ. (2003) karar değişkenleri toplamının bir sabite eşit olduğu çok amaçlı bir bulanık DP probleminde kararların aralık olarak verilmesini sağlayan bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada incelenen model aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{enk} \quad & \tilde{f}_i(x) = \tilde{c}_i x = \sum_{k=1}^n \tilde{c}_{ik} x_k, \quad i = 1, \dots, q \\ \text{kst} \quad & \tilde{a}_j x = \sum_{k=1}^n \tilde{a}_{jk} x_k \leq \tilde{b}_j, \quad j = 1, \dots, m \\ & \sum_{k=1}^n x_k = K \\ & x_k \geq 0, x_k \in R, \quad k = 1, \dots, n \end{aligned} \tag{4.275}$$

Modelde tüm katsayıların bulanık olduğu varsayılmıştır. Amaç fonksiyonu katsayıları  $\tilde{c}_{ik} = [c_{ik}^{enk}, c_{ik}^l, c_{ik}^u, c_{ik}^{enb}]$  ve teknoloji katsayıları  $\tilde{a}_{jk} = [a_{jk}^{enk}, a_{jk}^l, a_{jk}^u, a_{jk}^{enb}]$

yamuk bulanık sayılar ile, kaynak kısıtları ise  $\tilde{b}_j = [b_j^{enk}, b_j^{enb}]$  ile gösterilen  $(b_j^{enk}, b_j^{enk}, b_j^{enb})$  ÜBS'ler ile ifade edilmiştir.

(4.275)'te karar değişkenleri reel sayılarla ifade edilmiştir. Çalışmada karar değişkenlerinin değişim aralığını ifade edebilmek için en olası değer  $x_k$  ile birlikte bu değer alt sınırını göstermek için karar değişkeninin azabileceği düzey  $d_k$  tanımlanmıştır. Böylece  $(x_k - d_k)$  karar değişkeninin alt sınırı olmuştur. Bu şekilde çözüm uzayı bir vektörden ziyade bir alan ile oluşturulmuştur. Çözüm uzayını çevreleyen alanın köşeleri  $\mathbf{V}_p, p=1, \dots, n$  ile gösterilirse  $\mathbf{V} = (\mathbf{V}_1, \dots, \mathbf{V}_n)$  matrisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mathbf{V} = \mathbf{X} * \mathbf{1}^T - \mathbf{D} * \mathbf{1}^T + \mathbf{1}^T * \mathbf{D} * \mathbf{1} \quad (4.276)$$

Burada  $\mathbf{X}$ ,  $x_k$  karar değişkenlerinin;  $\mathbf{D}$ ,  $d_k$  değişkenlerinin vektörü,  $\mathbf{1}$  tüm elemanları 1'e eşit olan vektör,  $\mathbf{I}$  ise birim matristir. Örneğin  $n = 3$  için çözüm uzayını çevreleyen alanın köşe koordinatları  $\mathbf{V}_1 = (x_1 + (d_2 + d_3), x_2 - d_2, x_3 - d_3)$ ,  $\mathbf{V}_2 = (x_1 - d_1, x_2 + (d_1 + d_3), x_3 - d_3)$ ,  $\mathbf{V}_3 = (x_1 - d_1, x_2 - d_2, x_3 + (d_1 + d_2))$  şeklinde belirlenir.

Çalışmada amaç fonksiyonları  $\tilde{f}_i = [f_i^{enk}, f_i^l, f_i^u, f_i^{enb}]$  şeklinde yamuk bulanık sayılar ile gösterilmiştir. Amaç fonksiyonunun yamuk bulanık sayı parametrelerini kullanmak için  $\alpha$ -kesim yaklaşımı kullanılmıştır.  $\alpha=1$  alınarak  $\tilde{f}_i$ 'in 1-kesimi ile  $[f_i^l, f_i^u]$ ,  $\alpha=0$  alınarak  $\tilde{f}_i$ 'in 0-kesimi ile  $[f_i^{enk}, f_i^{enb}]$  değerleri belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır:

$$\begin{aligned} f_i^l &= \sum_{k=1}^n c_{ik}^l x_k & f_i^u &= \sum_{k=1}^n c_{ik}^u x_k \\ f_i^{enk} &= \sum_{k=1}^n c_{ik}^{enk} (x_k - d_k) + enk \left\{ c_{ik}^{enk} \right\} \sum_{k=1}^n d_k \\ f_i^{enb} &= \sum_{k=1}^n c_{ik}^{enb} (x_k - d_k) + enb \left\{ c_{ik}^{enb} \right\} \sum_{k=1}^n d_k \end{aligned} \quad (4.277)$$

Modelde çözüme ulaşabilmek için amaç ve kısıtlar netleştirilmiştir. Amaç fonksiyonlarını netleştirmek için yamuk bulanık sayının uç değerinin ortalamasının alınmasına dayanan bir yaklaşım kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
f_i(\mathbf{x}, \mathbf{d}) &= \frac{f_i^{enk} + f_i^l + f_i^u + f_i^{enb}}{4} \\
&= \sum_{k=1}^n \frac{c_{ik}^{enk} + c_{ik}^l + c_{ik}^u + c_{ik}^{enb}}{4} x_k - \sum_{k=1}^n \frac{c_{ik}^{enk} + c_{ik}^{enb}}{4} d_k + \frac{enk_k \{c_{ik}^{enk}\} + enb_k \{c_{ik}^{enb}\}}{4} \sum_{k=1}^n d_k
\end{aligned} \quad (4.278)$$

Çalışmada kısıtlar, amaç fonksiyonlarınınkine benzer şekilde 0-kesim ve 1-kesim yaklaşımları ile aşağıdaki şekilde netleştirilmiştir:

$$\sum_{k=1}^n a_{jk}^{enb} (x_k - d_k) + enb_k \{a_{jk}^{enb}\} \sum_{k=1}^n d_k \leq b_j^{enk} \quad (4.279)$$

Amaç fonksiyonları ve kısıtların netleştirilmesi ile ortaya çok amaçlı bir DP modeli çıkmıştır:

$$\begin{aligned}
&enk \quad f_i(\mathbf{x}, \mathbf{d}), \\
&kst \quad \sum_{k=1}^n a_{jk}^{enb} (x_k - d_k) + enb_k \{a_{jk}^{enb}\} \sum_{k=1}^n d_k \leq b_j^{enk}, \quad j = 1, \dots, m, \\
&\quad d_k \leq x_k, \quad k = 1, \dots, n, \\
&\quad \sum_{k=1}^n x_k = K, \\
&\quad x_k \geq 0, d_k \geq 0, \quad x_k, d_k \in R.
\end{aligned} \quad (4.280)$$

Burada amaç fonksiyonları (4.278)'deki gibi tanımlanmıştır. Böylece (4.275)'te verilen bulanık model klasik çok amaçlı DP modeline dönüştürülmüştür. (4.280)'i çözmek için klasik çok amaçlı programlama yöntemlerinin kullanılabilceği belirtilmiştir. Çalışmada modeli çözmek için çok amaçlı fayda teorisinden yararlanılmıştır.

#### 4.3.7.2 Pramanik ve Roy yaklaşımı

Hiyerarşik eniyileme veya çok aşamalı programlama birçok karar vericinin yer aldığı dağıtık planlama problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Pramanik ve Roy (2007) çok aşamalı programlama problemini amaçları ve karar değişkenlerini bulanık sayılarla ifade ederek bulanık hedef programlama yaklaşımı ile çözmüştür. Çalışmada incelenen  $T$ - aşamalı programlama problemi aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
&Enb_{\bar{X}_t} Z_t(\bar{X}) = \bar{C}_{t1} \bar{X}_1 + \bar{C}_{t2} \bar{X}_2 + \dots + \bar{C}_{tT} \bar{X}_T \quad t = 1, 2, \dots, T \\
&kst \quad \bar{A}_{i1} \bar{X}_1 + \bar{A}_{i2} \bar{X}_2 + \dots + \bar{A}_{iT} \bar{X}_T (\leq, \geq, =) b_i \quad i = 1, 2, \dots, M \\
&\quad \bar{X}_t \geq \bar{0}, \quad t = 1, 2, \dots, T
\end{aligned} \quad (4.281)$$

Burada  $\bar{X}_t = \{X_t^1, X_t^2, \dots, X_t^{N_t}\}^T$ ,  $t$  aşamasındaki karar vericinin kontrolünde olan karar değişkenleridir ( $N_t$ :  $t$  aşamasındaki karar vericinin karar değişkeni sayısı).

Burada verilen modelde klasik ÇAKV modellerinden farklı olarak her karar vericinin kontrolünde olan karar değişkenleri vardır. Ayrıca her karar verici kendi amacını enbüyüklemeye çalışmaktadır. Bu bakış açısı ile çalışmada, hedefler için üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır.  $t$  karar vericisine göre problem çözüldüğünde elde edilen sonuç  $\bar{X}_t^B$  ile gösterilirse;  $Z_t^B = Z_t(\bar{X}_t^B)$   $t$  karar vericisi için en iyi çözüm olur ve bu değer  $t$  amacı için üst limit olarak belirlenir. Tüm amaçlara göre problem çözüldükten sonra  $t$  amacı için alt limit  $Z_t^L = \text{Enk}\{Z_1(\bar{X}_1^B), Z_1(\bar{X}_2^B), \dots, Z_T(\bar{X}_T^B)\}$  ile hesaplanır. Belirlenen üst ve alt limitlere göre amaçlar için tatmin olma üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\mu_{Z_t}(Z_t(\bar{X})) = \begin{cases} 1 & Z_t(\bar{X}) \geq Z_t^B \\ \frac{Z_t(\bar{X}) - Z_t^L}{Z_t^B - Z_t^L} & Z_t^L \leq Z_t(\bar{X}) \leq Z_t^B \\ 0 & Z_t(\bar{X}) \leq Z_t^L \end{cases} \quad (4.282)$$

Önerilen modelde karar değişkenleri için de üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Bunun için her karar vericiye göre elde edilen sonuç ( $\bar{X}_t^B$ ) referans noktası alınarak negatif ve pozitif tolerans değerlerine ( $\bar{p}_t^-, \bar{p}_t^+$ ) göre üçgen üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur:

$$\mu_{\bar{X}_t}(\bar{X}_t) = \begin{cases} \frac{\bar{X}_t - (\bar{X}_t^B - \bar{p}_t^-)}{\bar{p}_t^-} & (\bar{X}_t^B - \bar{p}_t^-) \leq \bar{X}_t \leq \bar{X}_t^B \\ \frac{(\bar{X}_t^B + \bar{p}_t^+) - \bar{X}_t}{\bar{p}_t^+} & \bar{X}_t^B \leq \bar{X}_t \leq (\bar{X}_t^B + \bar{p}_t^+) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.283)$$

Buradaki  $\bar{p}_t^-, \bar{p}_t^+$  negatif ve pozitif tolerans değerleri, ilgili karar verici tarafından veya hiyerarşide daha üstte yer alan karar vericilerin tercihlerine göre belirlenir.

Çalışmada (4.281)'de verilen modeli tanımlanan üyelik fonksiyonları ile çözmek için bulanık hedef programlama kullanılmıştır. Tüm amaçlar ve karar değişkenleri için genel amaç üyelik fonksiyon değerlerini enbüyükleyerek 1'e eşitlemektir. Ama tüm amaçların aynı anda tam olarak sağlanması mümkün olmayabilir. Bu durumlar için amaçtan sapma değerleri ( $D_{i1}^-$ ) ve karardan sapma değerleri ( $\bar{D}_{i2}^-$ ) tanımlanmıştır:

$$\mu_{z_t}(Z_t(\bar{X})) + D_{t1}^- \geq 1, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4.284)$$

$$\mu_{\bar{X}_t}(\bar{X}_t) + \bar{D}_{t2}^- \geq \bar{I}, \quad t = 1, 2, \dots, (T-1) \quad (4.285)$$

Tanımlanan amaçtan ve karardan sapma değerlerini en küçükleme için çalışmada iki farklı hedef programlama modeli önerilmiştir. İlk modelde tüm sapmaların en büyüğünü en küçükleme amaçlanmıştır ve model aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

Enk  $\lambda$

$$\begin{aligned} \text{kst} \quad & \frac{Z_t(\bar{X}) - Z_t^L}{Z_t^B - Z_t^L} + D_{t1}^- \geq 1, \quad t = 1, 2, \dots, T, \\ & \frac{\bar{X}_t - (\bar{X}_t^B - \bar{p}_t^-)}{\bar{p}_t^-} + \bar{D}_{t21}^- \geq \bar{I}, \quad \frac{(\bar{X}_t^B + \bar{p}_t^+) - \bar{X}_t}{\bar{p}_t^+} + \bar{D}_{t22}^- \geq \bar{I}, \quad t = 1, 2, \dots, (T-1), \\ & \lambda \geq D_{t1}^-, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ & \lambda \geq \bar{D}_{t21}^- \bar{I}, \quad \lambda \leq \bar{D}_{t22}^- \bar{I}, \quad t = 1, 2, \dots, (T-1), \\ & D_{t1}^- \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ & \bar{D}_{t21}^- \bar{I} \geq 0, \quad \bar{D}_{t22}^- \bar{I} \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, (T-1), \\ & \bar{A}_{i1} \bar{X}_1 + \bar{A}_{i2} \bar{X}_2 + \dots + \bar{C}_{iT} \bar{X}_T (\leq, \geq, =) b_i \quad i = 1, 2, \dots, M \\ & \bar{X}_t \geq \bar{0}, \quad t = 1, 2, \dots, T \end{aligned} \quad (4.286)$$

Burada  $\lambda$  hedeften en büyük sapma değeridir.  $Z_t(\bar{X})$  için tanımlanan üyelik fonksiyonu tek taraflı olduğundan tek bir kısıt kümesi ile ifade edilmiştir.  $\bar{X}_t$ 'nin üyelik fonksiyonu ise çift yönlüdür. Bu yüzden iki ayrı kısıt kümesi kullanılmıştır. İkinci modelde toplam sapma ve toplam ağırlıklandırılmış sapma miktarları en küçükleme istenmiştir. Model aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Enk} \quad & \lambda = \sum_{t=1}^T W_{t1}^- D_{t1}^- + \sum_{t=1}^{T-1} \bar{W}_{t21}^- \bar{D}_{t21}^- + \sum_{t=1}^{T-1} \bar{W}_{t22}^- \bar{D}_{t22}^- \\ \text{Enk} \quad & \lambda = \sum_{t=1}^T D_{t1}^- + \sum_{t=1}^{T-1} \bar{D}_{t21}^- + \sum_{t=1}^{T-1} \bar{D}_{t22}^- \\ \text{kst} \quad & \frac{Z_t(\bar{X}) - Z_t^L}{Z_t^B - Z_t^L} + D_{t1}^- \geq 1, \quad t = 1, 2, \dots, T, \\ & \frac{\bar{X}_t - (\bar{X}_t^B - \bar{p}_t^-)}{\bar{p}_t^-} + \bar{D}_{t21}^- \geq \bar{I}, \quad \frac{(\bar{X}_t^B + \bar{p}_t^+) - \bar{X}_t}{\bar{p}_t^+} + \bar{D}_{t22}^- \geq \bar{I}, \quad t = 1, 2, \dots, (T-1), \\ & D_{t1}^- \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ & \bar{D}_{t21}^- \bar{I} \geq 0, \quad \bar{D}_{t22}^- \bar{I} \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, (T-1), \\ & \bar{A}_{i1} \bar{X}_1 + \bar{A}_{i2} \bar{X}_2 + \dots + \bar{C}_{iT} \bar{X}_T (\leq, \geq, =) b_i \quad i = 1, 2, \dots, M \\ & \bar{X}_t \geq \bar{0}, \quad t = 1, 2, \dots, T \end{aligned} \quad (4.287)$$

Burada ağırlıkların  $W_{i1}^- = 1/(Z_i^B - Z_i^L)$ ,  $W_{i2}^- = 1/(\bar{p}_i^- - \bar{p}_i^+)$  ile bulunmaları önerilmiştir. (4.287)'nin çözülmesi ile tüm karar vericileri tatmin eden bir sonuç elde edilirse çözüme ulaşılmış demektir. Eğer memnun olmayan karar vericiler var ise yöntemde başa dönülerek tolerans değerlerinin güncellenmesi önerilmiştir.

#### **4.3.8 İncelenen bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modellerinin değerlendirilmesi**

Çalışmada toplam 23 adet bulanık ÇAKV yöntemi incelenmiştir. Bu yöntemlerin birden çok amaca yaklaşımları, bulanıklığı ifade etme şekilleri, çözüm yöntemleri ve bulanıklık içeren parametrelerine göre farklılık arz ettikleri saptanmıştır. Tablo 4.8'de incelenen yöntemler ve özellikleri görülebilir.

İncelenen yöntemler amaçlara yaklaşımlara göre değerlendirildiklerinde çoğunda amaçlar için gerçekleşme düzeyi tanımlandığı görülmüştür. Bunun için amaçlara en yüksek ve düşük değerler atanmıştır. Bu atama bazı yaklaşımlarda önerilen modeller ile belirlenirken (Zimmermann, Li, Lai ve Hwang, Hu Teng Li, Werner, Sakawa ve Kato, Wierzchon, Parra Terol Uria, Pramanik ve Roy yaklaşımları), bir kısmında ise karar vericiye sorularak oluşturulmuştur (Lai ve Hwang, Hannan, Yang Ignizio Kim, Leung, Rommelfanger, Arıkan ve Güngör, Orlovsky, Tanaka ve Arai yaklaşımları). Amaçlar için en yüksek ve en düşük değerler tanımlanarak amaçların kısıta dönüştürülmesi sağlanmıştır. Bunların dışında kalan yaklaşımlardan ikisinde tüm amaçlara göre ideal çözüm tanımlanmış (Lai ve Hwang, yaklaşımları), diğer ikisinde ise amaçlar netleştirilerek kesin amaçlara dönüştürülmüştür (Lai ve Hwang, Stanciulescu Fortemps Installe Wertz yaklaşımları).

Yöntemlerde bulanıklığın ifade edilmesi için farklı yapılar kullanılmıştır. Amaçların bulanık üyelik fonksiyonlar ile ifade edilmesinde genelde hedef değeri 1, en düşük olabilir değeri 0 olacak şekilde tekdüze artan üyelik fonksiyonları kullanılmıştır (Zimmermann, Li, Lai ve Hwang, Werner, Arıkan ve Güngör, Pramanik ve Roy yaklaşımları). Aynı işlem başka yöntemlerde tolerans değerleri ile ifade edilmiştir (Hannan, Yang Ignizio Kim, Lai ve Hwang, Werner, Leung yaklaşımları). Yapısal olarak tanımlanan üyelik fonksiyonlarında genelde ÜBS'ler tercih edilmiştir (Lai ve Hwang, Hu Teng Li, Rommelfanger, Tanaka ve Arai, Wierzchon, Stanciulescu Fortemps Installe Wertz yaklaşımları). Bunun yanında yamuk bulanık sayı kullanan yöntemler de mevcuttur (Rommelfanger, Stanciulescu Fortemps Installe Wertz yaklaşımları). Herhangi bir üyelik fonksiyonu ile çalışabilen ve  $\alpha$ -kesim tekniği

kullanan yaklaşımlar da önerilmiştir (Sakawa ve Kato, Orlovsky, Parra Terol Uria). Bazı yaklaşımlarda ise bulanıklığı ifade etmek için parçalı üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir (Hannan, Rommelfanger yaklaşımları).

**Tablo 4.8** : İncelenen çok amaçlı bulanık programlama modellerinin özellikleri

Yöntem	Çalışmalar	Amaçlara yaklaşım	Bulanıklığın ifade edilmesi	Çözüm yöntemi	Bulanıklık içeren parametre
Bulanık programlama	Zimmermann yaklaşımı	AGM	M	ETE	A
	Li yaklaşımı	AGM	M	ETE, TTE	A
ÇAKV için TOPSIS	Lai ve Hwang yaklaşımı	AGM, İÇ	M	ETE	A
Bulanık hedef programlama	Lai ve Hwang yak.	AGK	ÜÇ	ETE, BDP	A
	Hannan yaklaşımı (bulanık hedef prog.)	AGK	T	ETE	A
	Yang, Ignizio ve Kim yaklaşımı	AGK	T	ETE	A
	Hannan yaklaşımı (parçalı üyelik fonk.)	AGK	PA	ETE	A
	Hedeflerin ağırlıklandırılması	AGK	T	AĞ	A
	Hu Teng Li yaklaşımı	AGM	ÜÇ	DOP	A
Bulanık genel kriter yöntemi	Lai ve Hwang yaklaşımı	İÇ	T, ÜÇ	ETE	A, KK
	Werner yaklaşımı	AGM	M, T	ETE, E	A, KK
	Leung yaklaşımı	AGK	T	ETE, E	AK, KK
Etkileşimli bulanık ÇAKV yöntemleri	Rommelfanger (1989) yaklaşımı	AGK	ÜÇ, YA	DP, E	AK, TK, KK
	Rommelfanger (2004) yaklaşımı	AGK	PA	DP, E	AK, TK, KK
	Sakawa ve Kato yak.	AGM	H	PDP, E	AK, TK, KK
	Arıkan ve Güngör yak.	AGK	M	ETE, PDP, E	AK, TK, KK
	Orlovsky yaklaşımı	AGK	H	PDP	AK, TK
Olabilirsiz ÇAKV yöntemleri	Tanaka ve Asai yak.	AGK	ÜÇ	PDP	AK, TK, KK
	Lai ve Hwang yak.	NET	ÜÇ	ÇAKV	AK, TK, KK
	Wierzchon yaklaşımı	AGM	ÜÇ	ETE	AK, TK, KK
	Parra Terol Uria yak.	AGM	H	ÇAKV, E	AK, TK, KK
Bulanık karar değişkenli yöntemler	Stanculescu Fortemps Installe Wertz yak.	NET	ÜÇ, YA	ÇAKV	AK, TK, KK, KD
	Pramanik ve Roy yak.	AGM	M	ÇAKV, ETE	A, KD
<b>Kısaltmalar</b>	AGM: modelden elde edilen amaç gerçekleştirme düzeyi, AGK: karar vericiden temin edilen amaç gerçekleştirme düzeyi, İÇ: ideal çözüm, NET: Net amaçlara dönüştürme ÜÇ: üçgen bulanık sayı, YA: yamuk bulanık sayı, M: tekdüze artan/azalan üyelik fonksiyonu, PA: parçalı üyelik fonksiyonu, T: tolerans değerleri, H: herhangi bir bulanık dağılım ÇAKV: klasik ÇAKV, ETE: en düşük tatmin olma düzeyinin enbüyüklenmesi, TTE: tatmin olma düzeylerinin toplamının enbüyüklenmesi, BDP: birden çok doğrusal program kullanma, DOP: doğrusal olmayan programlama, E: etkileşimli çözüm oluşturma, PDP: parametrik doğrusal programlama, DP: doğrusal programlama, AĞ: ağırlık kullanarak çözüme ulaşma A: amaç fonksiyonu, AK: amaç fonksiyonu katsayısı, TK: teknoloji katsayıları, KK: kaynak katsayıları, KD: karar değişkenleri				

Çözüm yaklaşımlarına göre yöntemler incelendiğinde çoğunluğun amaç fonksiyonları ve kısıtlar için tanımlanan tatmin düzeylerinin en küçüğünü enbüyükleyen yöntemler olduğu saptanmıştır (Zimmermann, Li, Lai ve Hwang, Hannan, Yang Ignizio Kim, Werner, Leung, Arıkan ve Güngör, Wierzechon, Pramanik ve Roy yaklaşımları). Bu yöntemlerde sonuca DP ile ulaşıldığı için en iyi çözümü elde etmek kolaylaşmıştır. Tatmin düzeyleri ile ilgili diğer çözüm yaklaşımları tatmin düzeylerinin toplamını ve ağırlıklı toplamını enbüyükleyen yöntemlerdir (Li, hedef ağırlıklandırma yaklaşımları). Bir yaklaşımda sonuca birden çok DP'nin çözümü ile ulaşılmaktadır (bulanık hedef programlamada Lai ve Hwang yaklaşımı). Tatmin düzeylerinin tanımlandığı yöntemler dışında parametrik DP, DP ve ÇAKV yöntemleri kullanan yaklaşımlar da mevcuttur. Ayrıca elde edilen sonuçların karar vericiye danışılarak gözden geçirildiği etkileşimli yöntemlere de rastlanmıştır (tüm etkileşimli bulanık ÇAKV yöntemleri ve Parra Terol Uria yaklaşımı).

Yöntemler, dikkate aldıkları bulanık parametrelere göre sınıflandırıldığında çoğunun amaçları ifade etmek için bulanık mantıktan yararlandıkları görülmüştür (Zimmermann, Li, Lai ve Hwang, Hannan, Yang Ignizio Kim, Hu Teng Li, Pramanik ve Roy yaklaşımları). Etkileşimli ve olabirsel yöntemlerde genelde tüm parametrelerin bulanık olduğu varsayılmıştır. İki yöntemde ise kararlar bulanık sayılar ile ifade edilmiştir (Stanciulescu Fortemps Installe Wertz, Pramanik ve Roy yaklaşımları).

Bulanık tek amaçlı ve çok amaçlı DP modelleri incelendikten sonra belirsizlik içeren bir DP problemi ile karşılaşıldığında nasıl çözüm aranacağı ile ilgili bir genel yaklaşım önerilmiştir. Genel yaklaşımın adımları aşağıda verilmiştir.

1. Problemden belirsizliğin yer aldığı parametrelerin tespit edilmesi
2. Belirsizliğin türüne göre bulanıklığın nasıl ifade edileceğinin tespit edilmesi
3. Bulanık amaçların nasıl çözüleceğinin belirlenmesi
4. Bulanık kısıtların nasıl çözüleceğinin belirlenmesi
5. Çözümün nasıl elde edileceğinin belirlenmesi

Belirsizlik içeren bir problemle karşılaşıldığında ilk önce hangi parametrelerde belirsizliğin söz konusu olduğunun belirlenmesi gerekir. Kaynak, amaç fonksiyonu



ve teknoloji katsayıları belirsiz olabilir. Bununla birlikte eğer çok amaçlı bir problemle karşılaşırsa amaçların gerçekleşme düzeyleri ile ilgili bir belirsizlik olabilir. Ayrıca problem çeşidine göre karar değişkenlerinin belirsiz olarak ifade edilmesi arzu edilebilir. Belirsizlik içeren katsayı, amaç veya karar değişkeni sayısı ne kadar artarsa çözüme ulaşmak o kadar zor olacaktır. Bu yüzden problem tanımlanırken anlamlı belirsizlikler dikkate alınmalıdır.

Problemde yer alan belirsizlikler tespit edildikten sonra belirsizliklerin bulanık mantık çerçevesinde nasıl ifade edileceği belirlenmelidir. İncelenen yaklaşımlarda bulanıklığı ifade etmek için tolerans değerleri, üçgen veya yamuk bulanık sayılar, sol-sağ bulanık sayılar, özel tanımlı bulanık sayılar, tekdüze artan/azalan üyelik fonksiyonları ve parçalı üyelik fonksiyonlar kullanılmıştır. Bunların yanında fonksiyondan bağımsız olarak tüm bulanık ifadelerde geçerli olan yöntemler de mevcuttur. Bulanıklığın ifade edilmesinde belirsizliğin tam modellenmesi ile çözümün elde edilebilir olması arasında bir değiş tokuş söz konusudur. Eğer belirsizlik doğrusal olmayan karmaşık üyelik fonksiyonları ile gösterilirse kesin çözüme ulaşma ihtimali azalır. Belirsizlik gerçekte olana göre daha basit fonksiyonlar ile gösterilirse çözüm kolayca elde edilebilir ama problemdeki belirsizlik yeterli şekilde modellenmemiş olur. Bu yüzden belirsizliğin ifade edilebilir olması ve çözümün elde edilir olması arasında bir denge sağlanmalıdır. İncelenen yaklaşımlara göre üçgen veya yamuk bulanık sayılar bu dengeyi sağlamak için en kullanışlı ifadelerdir. Belirsizliğin türüne göre değişim göstermekle birlikte üçgen ve yamuk bulanık sayılar genelde belirsizliği ifade etmede yeterli olmuşlardır ve standart yapılarından dolayı bunlar üzerinde matematiksel işlemler nispeten daha kolay yapılabilmektedir.

Problemdeki belirsizlikler tespit edilir ve belirsizlikler belirlenen bulanık sayı/fonksiyon ile ifade edilirse ortaya bir bulanık/olabilirsizsel programlama modeli çıkar. Bu modeli çözmek için amaçların ve kısıtların nasıl çözüleceğinin tespit edilmesi gerekir. Amaç ve kısıt çözümleri tanımlanan bulanık fonksiyonlara göre farklı olacaktır. Üçgen veya yamuk bulanık sayılar ile kurulmuş bir modelde bu sayılar için tanımlanmış aritmetik işlemler ve eşitsizlik ifadeleri ile amaç ve kısıtlar çözülebilir. Genel tanımlanmış üyelik fonksiyonları var ise, literatürde  $\alpha$ -kesime dayalı yaklaşımlar önerilmiştir. Problemde birden çok amaç var ise bu amaçların birleştirilmesi veya birlikte ifade edilebilmesi gerekir. Birleştirme, amaç değerlerinin

karşılaştırılabilir olması sağlanarak doğrudan veya ağırlıklar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Birlikte ifade edilebilmeleri için amaçlar, en istenen ve en istenmeyen değerlerine göre üyelik fonksiyonları tanımlanarak kısıt haline dönüştürülebilir. Birlikte ifade etmede amaçların ortak sağlanma düzeyi eniyilenmek istenir. Bu yaklaşım kısıtların sağlanma durumu için tanımlanacak üyelik fonksiyonları ile kısıtlara da uygulanabilir. İncelenen bazı yöntemlerde amaç ve kısıtların doğrudan netleştirilmesi önerilmiştir. Bu yaklaşım bulanıklığın problemin çözümü içerisinde ifade edilmesini önlediği için çok tercih edilmemelidir.

Belirsiz DP problemini çözmeye son olarak çözüme ulaşma yönteminin belirlenmesi gerekir. Bu yöntem amaçların ve kısıtların nasıl çözüldüğü ile doğrudan ilgilidir. Amaç ve kısıtların sağlanmasını göstermek üzere doğrusal üyelik fonksiyonları tanımlanmış ise çözüm DP modelleri kullanılarak elde edilebilir. Üçgen veya yamuk bulanık sayı kullanılarak oluşturulan modeller de DP'ye kolayca çevrilebilir. Çok amaçlı problemlerde ise üçgen veya yamuk bulanık sayı tercih edilmesi durumunda ortaya klasik ÇAKV problemi çıkabilmektedir. Bu durumda problemin çözümüne ÇAKV yöntemleri ile ulaşılır. Belirsizliklerin ifade edilmesinde doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları tanımlanmış ise çözüme ulaşmak için doğrusal olmayan programlamadan yararlanılabilir. İncelenen yöntemlerde kısıtların ve amaçların çözümü ile elde edilen modelin karmaşık olduğu durumlarda iteratif sezgisel yöntemler de önerilmiştir. Eğer ilgilenilen problemde belirsizlikler üçgen veya yamuk bulanık sayı gibi standart formda gösterilemiyorsa problemi çözmek için probleme özel yaklaşımlar geliştirmek gerekir.

Bu bölümde bulanık mantık hakkında genel bilgi verildikten sonra tek amaçlı ve çok amaçlı bulanık DP modelleri incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda elde edilen bilgiler ışığında sonraki bölümde TZ planlamada karşılaşılan belirsizlikleri modellemek üzere bir olabirsel programlama modeli geliştirilmiş ve bu model dört farklı DP modeli yardımı ile çözülmüştür.

## 5. ÖNERİLEN OLABİLİRSEL TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMA MODELİ

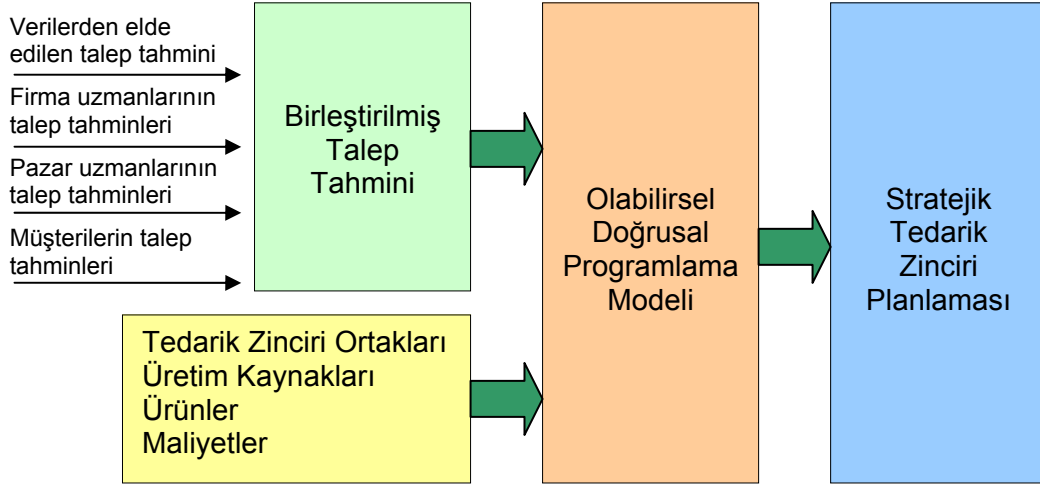
Tez çalışmasının amacı ağ yapılı TZ planlamada stratejik kararların verilmesine destek olacak bulanık mantığa dayalı bir model geliştirmektir. TZ modellemede stratejik analiz yaklaşımları; konum-atama kararları, talep planlama, dağıtım kanalı planlama, stratejik anlaşmalar, yeni ürün geliştirme, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi, bilgi teknolojileri seçimi, fiyatlandırma ve ağ yapılandırma problemleri ile ilgilenir (Min ve Zhou, 2002). Tez çalışmasında talep planlama, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi ve ağ yapılandırma konularını içeren bir problem incelenmiştir. Bu bağlamda; çalışmada, merkezi firma bakış açısıyla incelenen bir organizasyonda önerilen model aracılığı ile aşağıdaki sorulara cevap verilmeye çalışılmıştır.

- Hangi ürünler işletme bünyesinde üretilmelidir?
- Hangi ürünlerin ne kadarı dışarıdan tedarik edilmelidir?
- Hangi pazarların taleplerinin ne kadarı karşılanmalıdır?
- Hangi kaynak hangi ürünün üretimine ayrılmalıdır?
- Hangi kaynağın ne kadarı dışarıdan tedarik edilmelidir?

Bu sorulara cevap verebilmek için geliştirilen karar destek modelinin genel yapısı Şekil 5.1’de verilmiştir. Buna göre TZ’deki belirsizlikleri modellemek üzere bulanık mantığa dayalı bir olabirsel doğrusal programlama (ODP) modeli geliştirilmiştir. Bu modelin en önemli girdilerinden birisi taleplerdir. Çalışmada talepleri bulanık mantığa göre tahmin edebilmek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Böylece talepler ve diğer girdiler ile ODP modeli kurulmuştur. Bu modeli çözmek için dört aşamadan oluşan bir yordam önerilmiştir. Çalışmada sonraki bölümde (Bölüm 6) ayrıntıları verilen gerçek vaka uygulamasına geçmeden önce hipotetik bir problem üzerinde örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada TZ’deki belirsizlikleri modellemek için bir ODP modeli önerilmiştir. Bu modelde talep, tedarik ve sistem içi belirsizlikler bulanık mantık ile ifade edilmiştir.

Modelin literatürdeki mevcut yöntemlerden farklı olan en büyük özelliği kararların belirsiz olarak verilmesidir. Bununla sistemin içinden ve dışından kaynaklanan belirsizliklerin daha iyi yönetilmesi amaçlanmaktadır.



**Şekil 5.1 :** Tedarik zinciri planlaması karar destek modeli genel yapısı

Çalışmada talepleri tahmin etmek için istatistiksel veri ve uzman görüşü gibi farklı kaynaklardan gelen talepleri birleştirmek üzere bulanık mantığa dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Talepler TZ planlamada belirsizlik ile en fazla karşılaşılan girdilerdendir. Bu yüzden talepleri doğru tahmin etmek TZ planlamanın etkinliğini arttırmak için en önemli konulardan birisidir. Çalışmada önerilen tahmin birleştirme yöntemi ile ODP'ye sağlıklı girdi sağlanması amaçlanmıştır.

Önerilen ODP modeli bulanık katsayılar içeren bir modeldir. Bu yüzden klasik DP yöntemleri ile doğrudan çözmek mümkün değildir. Çalışmada ODP'yi çözmek üzere dört aşamalı bir yaklaşım önerilmiş ve bu yaklaşımın etkinliği örnek bir problem üzerinde gösterilmiştir.

Bu bölümde ilk önce önerilen talep tahmini birleştirme yöntemi verilecektir. Daha sonra ODP modeli ayrıntılarıyla sunulacaktır. Dördüncü kısımda ODP'yi çözmek için geliştiren yaklaşım irdelenecektir. Son olarak da ODP ve çözüm yordamı bir örnek problemde uygulanacaktır.

### 5.1 Önerilen Talep Tahmini Birleştirme Yöntemi

Talep tahminleri, üretim ve TZ planlaması için en önemli girdilerden biridir. İmalat sektöründe kapasitelerin planlanması, hammadde siparişlerinin verilmesi ve oluşan

talebe en kısa zamanda cevap verilebilmesi için taleplerin önceden tahmin edilmesi gerekir. Talep tahminleri gelecek için öngörülerini içerdiğinden ötürü her zaman belirsizlikleri içerisinde barındırır. Ayrıca taleplerin iyi planlanması firmaların karlılığını doğrudan etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Tahmin ile gerçekleşen miktarlar arasında farklılık olduğunda müşteri ihtiyaçları karşılanamaz veya elde çok miktarda stok tutulmak zorunda kalınır. Her iki durumda da firmalar olası kârlarından feragat ederler.

Talep tahminleri için çok sayıda tahmin ve istatistiksel yöntem bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri zaman serisi modelleri, nedensel modeller ve yargısal modellerdir. Bunlardan ilk ikisi geçmiş verileri kullanırken, sonuncusu uzman görüşlerinin alınmasını içerir (Shapiro, 2001).

Talep tahminlerinde kullanılan en yaygın yöntem geçmiş verilerin kullanılmasıdır. Bu tip yöntemlerde geleceğin geçmiş gibi olacağı varsayılır. Zaman serisi modellerinde bir veya birden çok bağımlı talep değişken değerleri önceki dönemlerdeki bağımsız talep değişkenleri ile ilişkilendirilir. Zaman serisi modelleri bir hafta - üç ay arası kısa vadeli ve üç ay- bir yıl arası orta vadeli taleplerin tahmin edilmesinde kullanılır. Üstel düzgülendirme, hareketli ortalama, mevsimsel değişiklikleri ya da eğilimleri içeren birçok zaman serisi modeli vardır.

Nedensel modeller istatistiksel regresyon modellerini kullanarak bağımlı talep değişkeni değerini önceki dönemlere ait talepler ile birlikte talep üzerinde etkisi olan başka diğer değişkenler ile ilişkilendirir. Örneğin otomobil parçalarının talebi, otomobil satışlarına ve GSMH gibi genel ekonomik değişkenlere bağlı olarak tahmin edilebilir. Nedensel modeller bir yıldan daha uzun vadeli tahminler için daha uygundur.

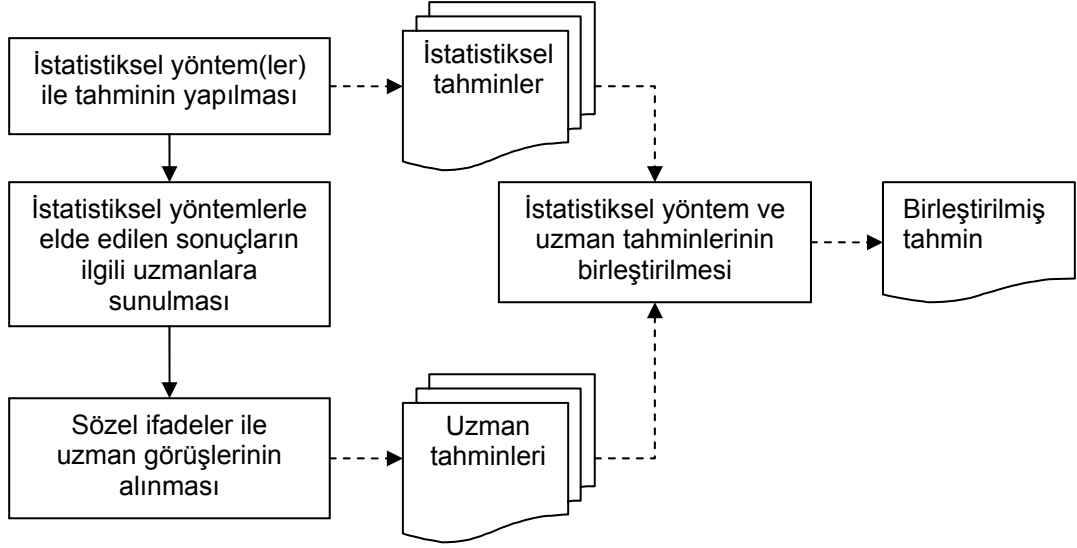
Yargısal modeller geçmiş verisi bulunmayan yeni ürünlerde veya yüksek değişkenlikler içeren durumlarda kullanılabilir. Geçmiş verileri kullanırken yapılan “geleceğin geçmiş gibi olacağı” varsayımı yeniliklerin ve belirsizliklerin çok fazla olduğu sektörlerde ve yeni ürün girişlerinde geçerli olmayabilir. Bu durumlarda ürün ve pazar konusunda uzman kişilerin görüşleri sistematik olarak alınarak birleştirilir. Örneğin Delphi yöntemi (Rowe ve Wright, 1999) bunu gerçekleştirmek için kullanılabilecek yöntemlerden biridir. Daha sonra birleşik tahminler uzmanlar tarafından belirlenmiş parametreler cinsinden olasılık dağılımları ile ifade edilir.

Klasik zaman serisi modellerinin etkin olarak kullanılmadığı, az veri içeren problemler için bulanık yöntemler geliştirilmiştir. Song ve Chimson (1993) bulanık zaman serilerini ortaya koyan ilk çalışmadır. Song ve Chimson (1994)'da verileri netleştirmek için sinir ağları kullanmanın en uygun yöntem olduğu deneye dayalı sonuçlarla gösterilmiştir. Hwang ve diğ. (1998) her yıl için bir bulanık küme tanımlayarak bulanık ilişkiler tanımlamış ve tahminleri buna göre yapmıştır.

Tez çalışmasında ilgilenilen problem olan farklı kaynaklardan gelen tahminlerin birleştirilmesi ile ilgili en önemli çalışma Petrovic ve diğ. (2006) tarafından önerilmiştir. Frantti ve Mahönen (2001) tarafından geliştirilen bulanık mantık öneri aracına (FLAT- fuzzy logic advisory tool) dayanan bir yöntem öneren Petrovic ve diğ. (2006), müşteri ve pazar uzmanı tarafından üretilen tahminler ile farklı istatistiksel yöntemlerin sonuçlarını birleştirmektedir. Çalışmada, uzmanlar tarafından üretilen öznel tahminler sözel değerler ile verilmektedir. Örneğin “talep belli bir değer civarındadır” veya “talep belli bir değerden düşük olamaz” gibi sözel ifadeler kullanılabilir. İstatistiksel yöntem olarak ayrışmaya dayalı zaman serisi analizi (TSAD - time-series analysis based on decomposition) ve iç ilişkili bütünlük hareketli ortalama (ARIMA - auto regressive integrated moving average) yöntemleri ile oluşturulan tahminler kullanılmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen dört tahmin birleştirilerek tek bir bütünlük tahmin oluşturmak için bulanık EĞER-İSE kuralları kullanılmıştır.

Literatürde geliştirilmiş yöntemler incelendiğinde; tahmin sonucu olarak tek bir belirgin sayı elde ettikleri için tez çalışmasında önerilen modelde uygulanamamışlardır. Çünkü önerilen ODP modelinin girdisi olan talep tahminleri ÜBS ile ifade edilmelidir. Bundan dolayı çalışmada, ÜBS ile gösterilecek bir talep tahmini üretmek üzere bir yöntem geliştirilmiştir.

Önerilen yöntemde istatistiksel yöntemlerden, nedensel modeller ve/veya yargısal modeller gibi farklı kaynaklardan elde edilecek talep tahminlerini birleştirip ortak birleştirilmiş bir tahmin oluşturmak için bulanık mantığa dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Buna göre (varsa) verilerden elde edilen tahminler ile firma uzmanları, ilgili pazar uzmanları, müşteriler ve ilgili tüm paydaşlar tarafından üretilen tahminler birleştirilir. Yöntemde uzman görüşlerinin sözel ifadelerle, iyimser, beklenen ve kötümser durumlara göre tahminleri hesaba katılabilir.



**Şekil 5.2 :** Önerilen talep tahmini birleştirme yöntemi

Şekil 5.2’de ayrıntıları verilen yöntemde, öncelikle istatistiksel yöntemler ile tahmin yapılır ve elde edilen sonuçlar tahminde bulunacak uzmanlara sunulur. Burada amaç uzmanların görüşlerini oluşturabilmesi için bir temel ortaya koymaktır. Bu verilerden yararlanıp yararlanmamak uzmana bağlıdır. Eğer tahmin oluşturulacak ürün için yeterli veri yok ise istatistiksel yöntemler hiç kullanılmadan doğrudan uzman görüşleri alınarak işlem yapılabilir. Kullanılacak istatistiksel yöntem sayısı ve çeşidi ile uzman miktarı problem sahibi tarafından belirlenir. Sonuçta elde edilen tahminler bulanık aritmetik işlemler ile birleştirilir. Burada farklı kaynaklardan gelen tahminler için kaynağın önem düzeyine göre bir ağırlıklandırma yapılabilmektedir. Kaynaklardan gelen tahminlerin kaynak önem düzeyleri kullanılarak birleştirilmesi ile toplu bir tahmin elde edilir. Toplu tahmin, modelin sonraki aşamasındaki ODP modeline uygun olarak ÜBS’ler ile ifade edilmektedir.

### 5.1.1 İstatistiksel yöntemler ile tahmin yapılması

İstatistiksel yöntemler ile talep tahminleri, hareketli ortalama, üstel uygunluk, doğrusal tahminler, eğilim tahmini gibi zaman serisi yöntemleri ile regresyon, iç ilişkili hareketli ortalama (ARMA - Autoregressive moving average) ve ARIMA gibi nedensel/ekonometrik yöntemleri içerir (Hair ve diğ., 1995).

Genel olarak istatistiksel yöntemlerde tahmin edilen değer (T) ile gerçekleşen değer (G) arasındaki fark olan hata miktarı ( $\epsilon$ ), en küçüklenmeye çalışılır. Sonuçta elde edilen hata değerlerinin 0 ortalamalı normal dağılıma uyması istenir (Hair ve diğ.,

1995).  $l$  tahmin yapılan verileri göstermek üzere aşağıdaki formül ile tahmin ve gerçekleşen değerler ifade edilebilir.

$$G_l = T_l + \varepsilon_l \quad (5.1)$$

Tüm  $l$  'ler için hesaplanan  $\varepsilon_l$  değerleri kullanılarak hatalar ile ilgili normal dağılımın beklenen değeri 0, standart sapması  $\sigma_\varepsilon$  olarak elde edilir. Sonraki dönem ( $x$ ) için yapılacak tahminde,  $T_x$  ile tahminin beklenen değeri,  $T_x \pm z * \sigma_\varepsilon$  ile tahminin güven aralığı hesaplanabilir (burada  $z$  istenen güven aralığı yüzdesi ile ilgili Z tablosu değeridir).

Önerilen yaklaşımda tahminin beklenen değeri ÜBS'nin orta noktasını, güven aralığının alt sınırı ÜBS'nin sol ayağını, güven aralığının üst sınırı ise ÜBS'nin sağ ayağını belirler.  $s$  farklı istatistiksel yöntemleri göstermek üzere,  $p$  ürünü için  $s$  yönteminden elde edilen tahmin,  $\tilde{T}_{ps} = (\tilde{T}_{ps}^k, \tilde{T}_{ps}^b, \tilde{T}_{ps}^y)$  ÜBS'si ile temsil edilirse ÜBS'nin kritik değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tilde{T}_{ps}^k = t_{ps} - z * \sigma \varepsilon_{ps} \quad (\text{kötümser}) \quad (5.2)$$

$$\tilde{T}_{ps}^b = t_{ps} \quad (\text{beklenen}) \quad (5.3)$$

$$\tilde{T}_{ps}^y = t_{ps} + z * \sigma \varepsilon_{ps} \quad (\text{iyimser}) \quad (5.4)$$

Burada  $t_p$ ,  $p$  ürünü için beklenen tahmin değerini,  $\sigma \varepsilon_p$ ,  $p$  ürünü için tahmin hatalarının standart sapmasını ve  $z$  istenen güven aralığı yüzdesi ile ilgili Z tablosu değerini (örneğin %90 güven aralığı – çift kuyruk – için  $z = 1,645$  alınmalıdır) göstermektedir.

### 5.1.2 Sözel ifadeler ile uzman görüşlerinin alınması

Uzman görüşlerini alabilmek için öncelikle uzmanlara verilerden elde edilen sonuçlar sunulur. Uzmanlar bu sonuçlar ile pazar ve ürünün talebini etkileyecek diğer unsurları göz önüne alarak kötümser, iyimser ve beklenen talepleri tahmin etmeye çalışırlar. Bir uzman grubundan toplu değerlendirme elde edilebileceği gibi her bir uzmandan ayrı ayrı değerlendirmeler işleme alınabilir. Elde edilen sonuçlar  $\tilde{T}_{pj} = (T_{pj}^k, T_{pj}^b, T_{pj}^y)$  olabilsel üçgen dağılım ile ifade edilir ( $k$ : kötümser,  $b$ : beklenen,  $y$ : iyimser tahminleri ve  $j$ : farklı uzman veya uzman gruplarını göstermek üzere).



### 5.1.3 Tahminlerin önem düzeylerinin belirlenmesi

Geçmiş veri sonuçları ve uzman görüşleri olabirsel dağılımlarla ifade edildikten sonra birleşik bir talep tahmini oluşturulmalıdır. Birleştirme işleminde farklı kaynakların önem düzeyleri hesaba katılmalıdır. Çünkü farklı uzman görüşlerinin ve verilerden elde edilen sonuçların taşıdıkları bilgi birbirlerinden farklıdır ve bu farklılığın birleştirme işlemine yansıtılması gerekir.

Karar verme yöntemlerinde ağırlıkların belirlenmesi oldukça önemli bir konudur. Önem düzeylerinin tespit edilmesini içeren bir problemde ölçütler, alternatifler veya genel olarak girdiler için ağırlıkların kimin tarafından ve hangi yöntem ile belirleneceği öngörülmalıdır.

Önem ağırlıklarının değerlendirilmesi ve belirlenmesi çoğu zaman uyumsuzluklar içerir. Sayısal ağırlık parametresinin anlamı kullanılan tercih modeline ve ağırlılığı belirlenecek alternatif dizisine göre değişebilir. Çok ölçütlü karar vermede göreceli önem düzeyini veya değiş tokuş değerini ifade eden ağırlıklar nesnel yöntemler ile veya karar verici/paydaş idrakine göre belirlenir. Ağırlık belirlemede oldukça fazla yöntem vardır, fakat tam doğru sonucu garanti eden tek bir yöntem geliştirilmemiştir. Bu yüzden pratik uygulamalarda ağırlıkların oluşturulması pek kolay değildir ve gerçek ağırlığın ne olduğunu belirlemek için bir kıstas yoktur.

Ağırlıkların belirlenmesi için literatürde çok fazla yöntem vardır, farklı yöntem değerlendirmeleri için Stewart (1992) ile Weber ve Borcharding (1993) incelenebilir. Ağırlık belirleme yöntemleri nesnel ve öznel olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır.

Öznel yöntemlerde karar vericilerden alınan öznel tercihlere göre ağırlıklar belirlenir. Karar vericiler kendi tecrübelerine, bilgilerine ve idraklerine göre belirli bir yöntem yardımı ile ağırlıkları belirlerler. Bu yöntemlere nokta atama ve doğrudan değerlendirme gibi geleneksel basit yöntemler ile SMART, SWING, TRADEOFF ve ikili karşılaştırma gibi daha yapısal yöntemler dâhildir (Shirland ve diğ., 2003). Barron ve Barrett (1996), Hobbs (1978), Schoemaker ve Waid (1982) ve Pöyhönen ve Hämäläinen (2001) gibi bazı kaynaklarda nesnel ağırlık belirleme yöntemlerinin değerlendirmeleri verilmiştir. Bunlara göre aynı karar verici ile farklı yöntemler kullanılarak farklı sonuçlar elde edilebilir. Bunun nedeni karar vericinin farklı yöntemlerde tutarlı değerlendirmeler yapamaması ve ağırlık belirleme sürecinin ilgilenilen konuya bağlı olmasıdır (Deng ve diğ., 2000). Bundan dolayı her zaman

geçerli olan tek bir uygun yöntem bulmak mümkün değildir. Bu problemi çözmek için literatürde duyarlılık analizine dayanan (Örneğin Fisher, 1995; Mareschal, 1988; Triantaphyllou ve Sanchez, 1997) ve karar vericinin tercih belirleme yöntemini kendisinin seçtiği etkileşimli yöntemler (Ribeiro, 1996) gibi yaklaşımlar mevcuttur.

Nesnel ağırlık belirlemede her ölçüt içerisinde seçeneklerde yer alan özgün bilgidен yararlanılır (Diakoulaki ve diğ., 1995). Nesnel ağırlık belirleme için Entropi, CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation – Ölçütler arası korelasyon ile ölçüt ağırlığı belirleme) ve çeşitli matematiksel programlama yöntemleri gibi yaklaşımlar mevcuttur. Bu yöntemlerde karar verici sürece dahil edilmeyerek nesnel yaklaşımlarda karşılaşılan tutarsızlık ve yöneme bağımlılık sorunları çözülmek istenmektedir.

Nesnel ağırlık belirleme yöntemlerinden en bilineni entropi yöntemidir (Hwang ve Yoon, 1981). Bu yöntemde ölçütlerin ağırlıkları karar vericinin doğrudan katılımını gerektirmeden her kriterden alternatiflerin aldıkları değerlere göre belirlenir. Yöntemin temel fikrine göre  $j$  ölçütünün göreceli önem düzeyini gösteren  $w_j$  ağırlığı,  $o$  ölçütün tüm alternatif kümesi vasıtasıyla taşıdığı bilginin doğrudan bir fonksiyonudur. Buna göre  $j$  ölçütüne göre alternatiflerin değerleri ne kadar dağılmış olursa  $j$  ölçütü o kadar önemli olur. Bir ölçütteki bilginin değişim miktarının ölçümü entropi ile belirlenir. Bir başka ifade ile en önemli ölçüt alternatifler arasında en fazla ayırt etme sağlayan ölçüttür.

Literatürde yer alan bir diğer nesnel ağırlık yöntemi Diakoulaki ve diğ. (1995) tarafından önerilen CRITIC yöntemidir. Bu yaklaşım karar matrisinin kolonları arasındaki korelasyona dayanır.  $j$  ölçütünün sağladığı bilgi diğer ölçütlerden ne kadar farklı ise  $j$  ölçütüne o kadar fazla ağırlık verilmiştir.

Ağırlıkların belirlenmesinde matematik programlama modelleri de kullanılmıştır. Bu yöntemlerde genel olarak alternatiflerin birbirlerinden ayrılmasını sağlayacak ağırlıklar belirlenmektedir. Örneğin Horowitz ve Zappe (1995) ölçüt ağırlıklarını belirlemek için bir matematik programlama modeli önermiştir. Ma ve diğ. (1999) ise karar vericiden sağlanan öznel bilgileri kullanarak ağırlıkları oluşturmak için bir matematiksel programlama yöntemi geliştirmiştir.

Tez çalışmasında ilgilenilen problemde çok ölçütlü bir karar verme problemi söz konusu değildir. Farklı kaynaklardan gelen talep tahminlerinin birleştirilmesi söz

konusudur. Çok ölçütlü modeller için geliştirilen ağırlık belirleme yöntemlerindeki değerlendirmelerden yararlanılırsa; öznel ağırlık belirleme yöntemleri karar vericiye ve probleme bağlı olduğundan nesnel bir ağırlık belirleme yönteminin kullanılması tercih edilmiştir.

Benimsenen temel yaklaşım, entropi yöntemi ile benzerlik taşımaktadır. Girdi talep tahminlerinden fazla bilgi içerene yüksek ağırlık verilmesi öngörülmüştür. Bulanık sayılarda daha fazla bilgi içerme daha fazla belirsizlik içerme ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı belirsizliği ölçmek için kullanılan entropi ölçeği ile ağırlıkların belirlenmesi kararlaştırılmıştır. Belirsizliği çok olan yani daha fazla bilgi içeren tahmine daha fazla ağırlık verilerek tüm mümkün talepler dikkate alınmış olur.

Ağırlıkları belirlemek için Bölüm 4.1.5'te verilen bulanık entropi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre  $B(l,m,u)$  ÜBS'sinin entropisi Hamming uzaklığı ile  $H(B) = \frac{3}{4}(l-u)$  şeklinde belirlenir.  $\tilde{T}_{pj} = (T_{pj}^k, T_{pj}^b, T_{pj}^y)$  tahmini için entropi  $H_{pj} = \frac{3}{4}(T_{pj}^y - T_{pj}^k)$  olarak hesaplanır. Ağırlıkları bulmak için normalizasyon gerçekleştirilirse  $p$  ürünü için üretilen  $j$  tahminin ağırlığı,  $w_j$ , aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$w_j = \frac{(T_{pj}^y - T_{pj}^k)}{\sum_{k=1}^J (T_{pk}^y - T_{pk}^k)} \quad (5.5)$$

Burada  $J$  toplam tahmin sayısıdır.

#### 5.1.4 İstatistiksel yöntem sonuçlarının ve uzman tahminlerinin birleştirilmesi

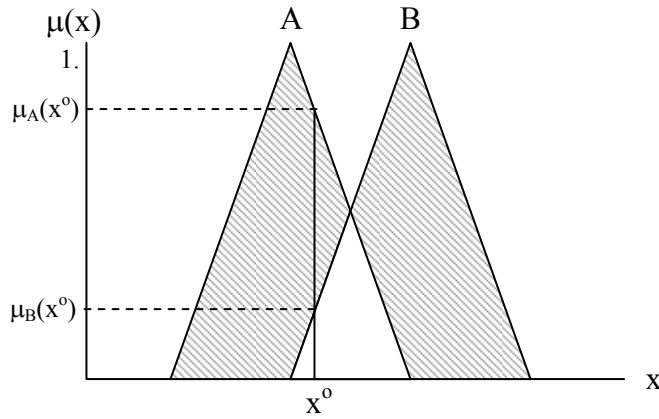
Önceki adımlarda ÜBS'ler ile temsil edilen talep tahminleri oluşturulmuş ve bunların taşıdıkları bilgiye göre ağırlıkları belirlenmiştir. Son olarak elde edilen bu veriler kullanılarak tek bir tahmin oluşturulmalıdır. ÜBS ile ifade edilen tek bir tahmin oluşturmak için ÜBS'ler arasındaki uzaklık tanımlarından yararlanılmıştır. Diğer bir deyişle; tahminlerden gelen ÜBS'lerden ağırlıklı uzaklıkları toplamı en küçük olan tek bir ÜBS'nin bulunması amaçlanmıştır. Bunu hesaplayabilmek için bulanık sayılar için tanımlanan uzaklık tanımları incelenmiştir.

Uzaklık hesaplama yöntemlerinden yaygın kullanılanı Hamming uzaklığıdır. Hamming uzaklığı A ve B gibi iki bulanık küme için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Chen ve Hwang, 1992):

$$d(A,B) = \int_{-\infty}^{+\infty} |\mu_A(x) - \mu_B(x)| dx \quad \{\text{sürekli fonksiyonlar için}\} \quad (5.6)$$

$$d(A,B) = \sum_{i=0}^K |\mu_A(x) - \mu_B(x)| \quad \{\text{kesikli fonksiyonlar için}\} \quad (5.7)$$

A ve B Şekil 5.3'teki gibi sürekli fonksiyonlar ise şekildeki taralı alanlar da Hamming uzaklığını gösterir.



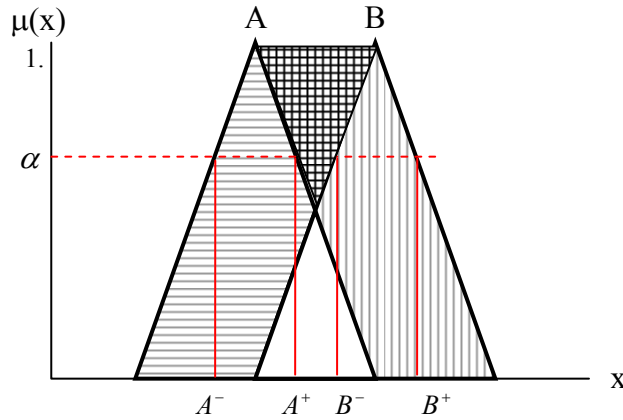
**Şekil 5.3 :** A ve B bulanık sayıları arasındaki Hamming uzaklığı

Hamming uzaklığı üyelik fonksiyonları üzerinden çalışan bir fonksiyondur. Üyelik fonksiyonları parçalı fonksiyonlar oldukları ve uzaklık fonksiyonunda mutlak değer ifadesi olduğu için Hamming uzaklığı ile işlem yapmak oldukça zordur.

Uzaklık fonksiyonları içerisinde alfa kesimler gibi yatay işlem yapılan fonksiyonlar üzerinde çalışmak daha kolaydır. Aralıklar arasındaki uzaklıklar klasik Öklid uzaklığına benzer bir şekilde tanımlanabilir. A ve B bulanık sayılarının  $\alpha$ -kesimleri  $[A^-(\alpha), A^+(\alpha)]$  ve  $[B^-(\alpha), B^+(\alpha)]$  ile ifade edilirse, bu sayılar arasındaki uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$d(A,B) = \sqrt{\int_0^1 [A^-(\alpha) - B^-(\alpha)]^2 d\alpha + \int_0^1 [A^+(\alpha) - B^+(\alpha)]^2 d\alpha} \quad (5.8)$$

Şekil 5.4'de (5.8)'de tanımlanan uzaklık fonksiyonunun şekilsel gösterimi verilmiştir.



**Şekil 5.4 :** A ve B bulanık sayılarının alfa kesime göre uzaklığı

Zeng ve Li (2007), (5.8)'de alfaların ağırlıklarını kullanarak aşağıdaki gibi bir ağırlıklandırılmış uzaklık ölçüsü tanımlamıştır:

$$d(A,B)=\sqrt{\int_0^1 f(\alpha)[A^-(\alpha)-B^-(\alpha)]^2 d\alpha + \int_0^1 f(\alpha)[A^+(\alpha)-B^+(\alpha)]^2 d\alpha} \quad (5.9)$$

burada  $f(\alpha)$  farklı  $\alpha$  değerlerinin ağırlıklarını gösteren fonksiyondur.  $f(\alpha)$  negatif olmayan, ve  $[0,1]$  aralığında artan bir fonksiyondur. Zeng ve Li (2007) bu fonksiyon ile  $D(A,B) = d^2(A,B)$  fonksiyonunun enküçükleme işlemleri çerçevesinde aynı sonucu verdiklerini göstermiştir. Bu yüzden çalışmada, aşağıda verilen uzaklık fonksiyonu kullanılmıştır:

$$D(A,B) = \int_0^1 f(\alpha)[A^-(\alpha)-B^-(\alpha)]^2 d\alpha + \int_0^1 f(\alpha)[A^+(\alpha)-B^+(\alpha)]^2 d\alpha \quad (5.10)$$

A ve B;  $(A^k, A^b, A^y)$  ve  $(B^k, B^b, B^y)$   $\{k: \text{kötümser}, b: \text{beklenen}, y: \text{iyimser}\}$  parametreleri ile tanımlanmış ÜBS'ler için  $\alpha$ -kesim değerleri şu şekilde belirlenebilir:

$$A^-(\alpha) = A^b - (1-\alpha)(A^b - A^k) \quad (5.11)$$

$$A^+(\alpha) = A^b + (1-\alpha)(A^y - A^b) \quad (5.12)$$

$$B^-(\alpha) = B^b - (1-\alpha)(B^b - B^k) \quad (5.13)$$

$$B^+(\alpha) = B^b + (1 - \alpha)(B^y - B^b) \quad (5.14)$$

Bunlara göre A ve B gibi iki ÜBS için uzaklık fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$D(A,B) = \int_0^1 f(\alpha) [A^b - (1 - \alpha)(A^b - A^k) - B^b + (1 - \alpha)(B^b - B^k)]^2 d\alpha + \int_0^1 f(\alpha) [A^b + (1 - \alpha)(A^y - A^b) - B^b - (1 - \alpha)(B^y - B^b)]^2 d\alpha \quad (5.15)$$

Bu uzaklık fonksiyonu kullanılarak, elde edilecek birleştirilmiş talep tahmininin birçok kaynaktan gelen tahminlere en yakın ağırlıklandırılmış uzaklıkta olması sağlanmalıdır. Buna göre enküçüklenecek fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$AU = \left( \sum_s w_s * D(\tilde{T}_{ps}, \tilde{T}_p) + \sum_j w_j * D(\tilde{T}_{pj}, \tilde{T}_p) \right) \quad (5.16)$$

Burada

AU: toplam ağırlıklandırılmış uzaklık

D(): iki bulanık sayı arasındaki uzaklık fonksiyonu

$\tilde{T}_p$ : p ürününün birleştirilmiş talep tahmini

$\tilde{T}_{ps}$ : p ürününün s istatistiksel yöntemine göre talep tahmini ( $s = 1, \dots, S$ )

$\tilde{T}_{pj}$ : p ürününün j uzmanından gelen talep tahmini ( $j = 1, \dots, J$ )

$\tilde{w}_s$ : s istatistiksel yönteminin önem düzeyi

$\tilde{w}_j$ : j uzmanının önem düzeyi

(5.16)'da verilen toplam ağırlıklandırılmış uzaklığı veren fonksiyonda (AU), birleştirilmiş talep değeri parametreleri,  $\tilde{T}_p = (T_p^k, T_p^b, T_p^y)$ , bilinmezken diğer tüm değerler bilinmektedir. AU'yu enküçükleme için  $T_p^k, T_p^b, T_p^y$ 'lere göre kısmi türevler alınarak sıfıra eşitlemek yeterli olacaktır (Zeng ve Li, 2007):

$$\begin{aligned} \frac{\partial AU}{\partial T_p^k} &= \left( \sum_s w_s * \frac{\partial D(\tilde{T}_{ps}, \tilde{T}_p)}{\partial T_p^k} + \sum_j w_j * \frac{\partial D(\tilde{T}_{pj}, \tilde{T}_p)}{\partial T_p^k} \right) \\ \frac{\partial AU}{\partial T_p^b} &= \left( \sum_s w_s * \frac{\partial D(\tilde{T}_{ps}, \tilde{T}_p)}{\partial T_p^b} + \sum_j w_j * \frac{\partial D(\tilde{T}_{pj}, \tilde{T}_p)}{\partial T_p^b} \right) \\ \frac{\partial AU}{\partial T_p^y} &= \left( \sum_s w_s * \frac{\partial D(\tilde{T}_{ps}, \tilde{T}_p)}{\partial T_p^y} + \sum_j w_j * \frac{\partial D(\tilde{T}_{pj}, \tilde{T}_p)}{\partial T_p^y} \right) \end{aligned} \quad (5.17)$$

ÜBS'ler için tanımlanan uzaklık fonksiyonlarının girilmesi ile (5.17)'de verilen kısmi türevler sifira eşitlendiğinde birleştirilmiş talep değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur ( $f(\alpha)$  fonksiyonu  $\alpha$ 'ya eşit kabul edildiğinde veya sabit alındığında sonuç aynı bulunmaktadır):

$$T_p^k = \left( \sum_s T_{ps}^k * w_s + \sum_j T_{pj}^k * w_j \right) / \left( \sum_s w_s + \sum_j w_j \right) \quad (5.18)$$

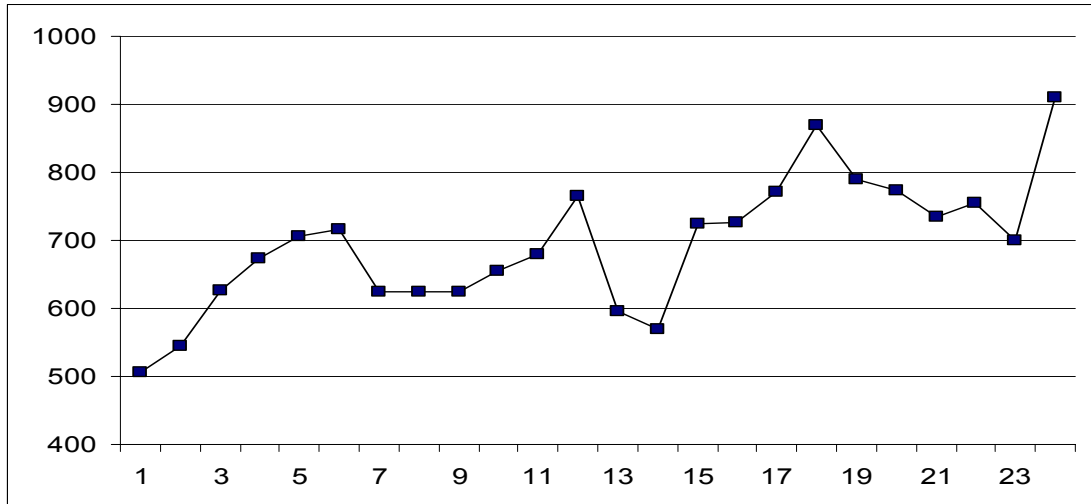
$$T_p^b = \left( \sum_s T_{ps}^b * w_s + \sum_j T_{pj}^b * w_j \right) / \left( \sum_s w_s + \sum_j w_j \right) \quad (5.19)$$

$$T_p^y = \left( \sum_s T_{ps}^y * w_s + \sum_j T_{pj}^y * w_j \right) / \left( \sum_s w_s + \sum_j w_j \right) \quad (5.20)$$

Neticede ortaya çıkan bu sonuçlar farklı kaynaklardan gelen tahminlerin birleştirilmiş halidir. Çıkan sonuçlar incelendiğinde her bir parametre için ağırlıklara göre girdilerin ortalamasının alındığı görülmektedir.

### 5.1.5 Örnek Uygulama

Önerilen talep tahmini birleştirme yöntemini daha ayrıntılı açıklayabilmek için yöntem, Petrovic ve diğ. (2006)'de verilen örnek üzerinde uygulanmıştır. 24 aylık tahminleri Şekil 5.5'te verilen bir ürün için 25. ayın talep tahmini üretilmiştir.



Şekil 5.5 : Örnek uygulamada kullanılan veri kümesi (Petrovic ve diğ., 2006)

İlk önce istatistiksel yöntemler ile tahminler, STATGRAPHICS Centruion yazılımı ile ARIMA(1,1,0), doğrusal eğilim ve basit üstel uygunluk yöntemleri kullanılarak

üretimiştir. Bu yöntemlerden ilki Petrovic ve diğ. (2006) tarafından kullanıldığı, diğ.leri ise hata karelerinin karekökü (RMSE) bakımından en düşük iki sonucu verdikleri için seçilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.1'deki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 5.1** : İstatistiksel yöntem sonuçları

s	Yöntem	25. ay tahmini	%95 güven aralığı	RMSE
1	ARIMA(1,1,0)	889	[720; 1057]	81,12
2	Doğrusal Eğilim	818	[662; 973]	67,67
3	Basit üstel Uyum	844	[692; 997]	79,32

Tablo 5.1'de verilen sonuçlara göre talep tahminleri denklemler (5.2) - (5.4)'e göre  $\tilde{T}_1 = (720,889,1057)$ ,  $\tilde{T}_2 = (662,818,973)$ ,  $\tilde{T}_3 = (692,844,997)$  şeklinde ÜBS ile oluşturulmuştur.

Uzman görüşleri ile tahmin üretmek için Petrovic ve diğ. (2006)'de verilen bilgilerden yararlanılmıştır. Çalışmada iki uzman görüşü bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Buna göre ilk uzman için talebin beklenen değeri 750 iken en kötümser ve en iyimser talepler 700 ve 800'dür. İkinci uzman ise talep beklenen değerini 730, en kötümser ve en iyimser talep değerlerini ise 680 ve 780 olarak tahmin etmiştir. Buna göre ilgili tahmin değerleri  $\tilde{T}_4 = (700,750,800)$  ve  $\tilde{T}_5 = (680,730,780)$  şeklinde ÜBS olarak belirlenmiştir.

Talepleri birleştirmek için öncelikle talep tahmini girdileri için ağırlıklar belirlenmelidir. Ağırlıklar entropi yöntemi ile denklem (5.5)'e göre  $w_1 = 0,292$ ;  $w_2 = 0,270$ ;  $w_3 = 0,265$ ;  $w_4 = 0,087$ ;  $w_5 = 0,087$  şeklinde elde edilmiştir. Örneğin ilk tahminin ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$w_1 = \frac{(T_1^y - T_1^k)}{\sum_{k=1}^5 (T_k^y - T_k^k)} = \frac{1057 - 720}{(1057 - 720) + (973 - 662) + (692 - 997) + (800 - 700) + (780 - 680)} = 0,292$$

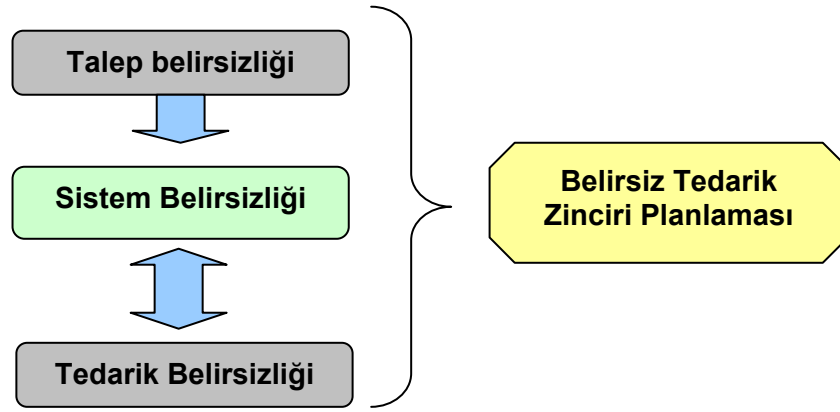
Son olarak üretilen tahminler ve ağırlıklar kullanılarak denklemler (5.18)-(5.20)'a göre  $\tilde{T} = (692,832,972)$  olarak hesaplanmıştır.

Önerilen model ile üretilen tahminin, Petrovic ve diğ. (2006)'nin önerdiği (774) ve gerçekleşen (747) talepler ile karşılaştırıldığında tatmin edici olduğu söylenebilir. Üretilen tahmin ÜBS olduğu için tahminlerdeki belirsizliği ifade edebilmiştir ve gerçekleşen tahmin değeri hesaplanan tahmin aralığı içinde kalmıştır.



## 5.2 Önerilen Olabilirsiz Doğrusal Programlama Modeli

Tedarik zinciri kararlarına etki eden ve belirsizliğin söz konusu olduğu faktörlerin çevresel ve sistem belirsizliği olarak gruplanabildiğinden bahsedilmiştir (Bölüm 3.4). Bu ayırım çerçevesinde, kurulan modelin temel amacı çevresel belirsizliği ve sistem belirsizliğini dengelemek, çevresel belirsizliğe sistem içerisinde tasarlanacak belirsizlikte çözüm bulmaktır. Bunun için uzun dönemli stratejik kararların kesin olarak değil belirsiz olarak yaklaşık değer ile verilmesi önerilmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : Önerilen modelin temel yaklaşımı

Önerilen modelin Şekil 5.6’da verilen temel yaklaşımı şu şekilde özetlenebilir: firma kararlarını alma noktasında dışsal belirsizliklerle karşı karşıyadır. Özellikle uzun vadede talepler kesin olarak belirlenemez, ayrıca tedarik edilecek hammaddeler ile ilgili belirsizlikler de söz konusudur. Talep ve tedarikte oluşan belirsizlikler sistemin kendi içinden kaynaklanan diğer faktörlerdeki belirsizlik ile birleşince sistem içerisinde belirsizliklerden kaçınılamaz. Bu noktada sistemdeki belirsizliklerin de tedarik belirsizliğine etkileri mevcuttur. Sistemde birçok faktöre bağlı belirsizlikleri modelleyebilmek için verilen kararlar da belirsiz olabilir. Böylece ortaya belirsiz TZ planlaması çıkmaktadır.

Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta bu modelin uzun vadeli stratejik kararlar için kullanılabilir olmasıdır. Zaman geçtikçe belirsiz olan girdiler daha iyi öngörülebilir hale geleceğinden kararların buna göre kesinleştirilmesi gerekir.

Karar hiyerarşisine göre düşünüldüğünde stratejik kararların belirsiz olarak verilmesi bu kararlardan etkilenen taktik ve operasyonel kararlara daha fazla hareket alanı bırakacaktır.

Önerilen modelin temel girdileri aşağıda verilmiştir.

- İşletmenin tedarikçileri ve müşterilerini içine alan TZ’de yer alan hammadde, ara ürün ve çıktı ürünler (bundan sonra tüm hammadde, ara ürün ve çıktı ürünler “ürün” olarak adlandırılacaktır),
- Ürünlerin üretiminde kullanılan kaynaklar, kaynaklar ile ilgili maliyetler ve kapasite kısıtları,
- Dışarıdan tedarik edilebilecek ürünler, maliyetleri ve en fazla tedarik edilebilecekleri miktarlar,
- Kaynakları kullanma ve dışarıdan tedarik etmedeki verimlilikler.

Bu girdiler kullanılarak önerilen model ile işletmenin stratejik TZ planlama kararlarının verilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilen modelde TZ, faaliyet tabanlı ağ yapısı olarak görülmüştür.

Önerilen modelde merkezi üretici firmaya odaklanan TZ’yi modelleyebilmek için temel bileşenler ürünler ve kaynaklardır. Kavramsal olarak bir ürün girdi ürünler ve kaynaklar kullanılarak elde edilir. Firmanın tüm ürünleri ve kaynakları sırasıyla P ve R ile gösterilir. Hammaddeler, ara ürünler, son ürünler ve pazarlara gönderilen ürünler modelde “ürün” olarak ele alınmıştır.

Model aracılığı ile verilmesi öngörülen kararlar üretim miktarları ( $\tilde{U}_p$ ), dışarıdan tedarik edilen ürün miktarları ( $\tilde{D}_p$ ), satılan ürün miktarları ( $\tilde{S}_p$ ) ve dışarıdan sağlanan kaynak miktarları ( $\tilde{DK}_r$ ) kararlarıdır. Bu gösterimde  $p$  ürünler,  $r$  ise kaynaklardır ( $p \in P, r \in R$ ). TZ’deki içsel ve dışsal belirsizlikler ile baş edebilmek için karar değişkenlerinin hepsi bulanık sayılarla elde edilecek şekilde tasarlanmıştır. Değişken simgelerinin üzerindeki işaret ( $\sim$ ) bulanıklığı ifade etmektedir.

Teorik olarak tüm ürünler ve kaynaklar dışarıdan ve içeriden tedarik edilebilir. Fakat gerçek hayatta firmalar kendi özel şartlarına göre bazı ürünlerin dıştan sağlanmasına ve bazılarının ise firmanın kendi iç faaliyetleri ile elde edilmesine karar vermiş olabilirler. Bu kararları modele ekleyebilmek için dışarıdan tedarik edilmesi zorunlu ürünler PD ve firmanın iç faaliyetleri ile üretilmesi istenen ürünler ise PU ( $PD, PU \subset P$ ) olarak belirlenmiş ve aşağıdaki kısıtlar yardımıyla modele yansıtılmıştır.

$$\tilde{U}_p \leq 0, \quad \forall p \in PD \quad (5.21)$$

$$\tilde{D}_p \leq 0, \quad \forall p \in PU \quad (5.22)$$

Dışarıdan tedarik edilecek ürünlerin miktarları tedarikçinin kapasitesine veya stratejik olarak verilen bir karara göre sınırlandırılmış olabilir. Her iki durum için  $DC_p$  dıştan tedarik limitini göstermek üzere aşağıdaki kısıt kullanılmıştır:

$$\tilde{D}_p \lesssim DC_p, \quad \forall p \quad (5.23)$$

Burada  $\lesssim$  sembolü “bulanık küçüktür”ü ifade etmektedir.

Önerilen modelde sistem belirsizliğini için “verim oranı” kullanılmaktadır. Bulanık sayılar ile gösterilen üretim verim oranı ( $\tilde{V}U_p$ ), gerçekleşen ve planlanan üretim miktarları arasındaki oranı ifade etmektedir. Benzer şekilde tedarik miktarlarındaki belirsizliği modelleyebilmek için kullanılan tedarik verim oranı ( $\tilde{V}D_p$ ), gerçekleşen ve planlanan tedarik miktarları arasındaki orandır.

Her ürün için toplam üretilen ve dışarıdan tedarik edilen ürün miktarı, bu ürünün diğer ürünler için kullanılan ve satılan miktarından büyük olmalıdır. Burada verim oranları da dikkate alınmalıdır. Bu durumu modele yansıtmak için aşağıdaki gibi bir kısıt tasarlanmıştır.

$$\tilde{V}U_p \oplus \tilde{U}_p \oplus \tilde{V}D_p \oplus \tilde{D}_p \gtrsim \sum_u (BOM_{pu} \otimes \tilde{U}_u) \oplus \tilde{S}_p \quad \forall p \in P \quad (5.24)$$

Burada  $BOM_{pu}$ , ürün ağacı matrisinden elde edilir ve  $u$  ürününü üretmek için gerekli  $p$  ürünü miktarını verir. Denklemden yer alan  $\oplus, \otimes, \gtrsim$  sembolleri ise sırasıyla bulanık toplama, bulanık çarpma ve bulanık büyüktür işlemlerini göstermektedir.

Önerilen modelde üretim miktarları kaynaklara göre kısıtlıdır. Bir ürünün üretimi sırasında bazı kaynaklar tüketilir. Ürünler için kullanılan makine zamanları, işçilik süreleri, ulaştırma ve depolamayla ilgili kaynaklar gibi tüm kaynaklar, modelde kullanılmalıdır.  $p$  ürününü üretmek için kullanılan  $r$  kaynağı miktarı  $KK_{pr}$  ile gösterilmiştir. Her kaynak için firmanın bir kapasitesi vardır. Bu kapasite kiralama ve/veya dış kaynak kullanımı ile arttırılabilir. Kaynakların dış kaynak kullanımı da tedarikçinin kapasitesine göre sınırlıdır.  $KC_r$ , firmanın  $r$  kaynağı için mevcut

kapasitesini ve  $DKC_r$ , tedarikçinin(lerin) kapasitesini ifade ederse üretim ile kaynakları ilişkilendirmek ve kaynak kapasitesini modelle yansıtabilmek için aşağıdaki kısıtlar önerilmiştir.

$$\sum_p (\tilde{U}_p \otimes KK_{pr}) \lesssim KC_r \oplus \tilde{DK}_r, \quad \forall r \quad (5.25)$$

$$\tilde{DK}_r \lesssim DKC_r, \quad \forall r \quad (5.26)$$

Tedarik zinciri planlamada belirsizliğin ana sebebi talep belirsizliğidir. Bu yüzden her bir ürün için talep miktarları  $\tilde{T}_p$ , bulanık sayılar ile gösterilmiştir.

Mevcut matematik programlama modellerinde TZ gibi ağ yapılı sistemleri modelleyebilmek için iki yol vardır: (1) kârın enbüyüklenmesi, (2) maliyetin enküçüklenmesi. İlki için satış miktarları (veya ağın en son safhası) taleplerden küçük olacak şekilde kısıtlanır, ikincisinde ise satışlar en az talepler kadar olmalıdır. Önerilen modelde kâr enbüyüklemesi söz konusu olduğu için satışlar en fazla talepler kadar olmalıdır:

$$\tilde{S}_p \lesssim \tilde{T}_p, \quad \forall p \in P \quad (5.27)$$

Kârı hesaplayabilmek için gelirlerin ve maliyetin belirlenmesi gerekir. Firmanın toplam geliri ürünlerin satışlarından elde edilir.  $F_p$ ,  $p$  ürünün satış fiyatını göstermek üzere toplam gelir aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$Gelirler = \sum_{p \in P} (\tilde{S}_p \otimes F_p) \quad (5.28)$$

Toplam maliyet, ürün dış kaynak kullanım maliyeti, kaynak kullanım maliyeti ve kaynak dıştan sağlama maliyetini içerir. Aşağıda bu maliyet kalemlerini hesaplamak için geliştirilen denklemler verilmiştir.

$$\text{Ürünü dışarıdan tedarik maliyeti} = \sum_{p \in P} (DM_p \otimes \tilde{D}_p) \quad (5.29)$$

$$\text{Kaynak kullanım maliyeti} = \sum_{r \in R} \left( KM_r \otimes \sum_{p \in P} (\tilde{U}_p \otimes KK_{pr}) \right) \quad (5.30)$$

$$\text{Kaynağı dıştan sağlama ilave maliyeti} = \sum_{r \in R} (\tilde{DK}_r \otimes DKM_r) \quad (5.31)$$

Burada  $(DM_p)$ ,  $p$  ürünü için birim dıştan sağlama maliyetini,  $(KM_r)$ ,  $r$  kaynağı için birim kaynak maliyetini,  $(DKM_r)$ ,  $r$  kaynağı için birim dışarıdan sağlamanın ek maliyetini vermektedir.

Sonuç olarak modelin temel amacı olan kâr enbüyüklemesi ( $Z_1$ ) denklemi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$\text{Enb } Z_1 \cong \sum_{p \in P} (\tilde{S}_p \otimes F_p) \left( \sum_{r \in R} \left( KM_r \otimes \sum_{p \in P} (\tilde{U}_p \otimes KK_{pr}) \oplus (\tilde{DK}_r \otimes DKM_r) \right) \oplus \sum_{p \in P} (DM_p \otimes \tilde{D}_p) \right) \quad (5.32)$$

Önerilen modelde tüm karar değişkenleri bulanık sayılar ile elde edilmektedir. Kâr enbüyüklemesi tek amaç olarak varsayıldığında elde edilen bulanık sayıların bulanıklığı kontrol altına alınamaz ve sonuçlar gerçek hayat için uygulanamayabilir. Bu yüzden kârdaki bulanıklığı ve karar değişkenlerindeki bulanıklığı enküçükmek üzere iki ayrı amaç fonksiyonu ilave edilmiştir. Literatüre bakıldığında bulanıklığı ölçmek için entropi kavramı kullanılmaktadır.  $H(\tilde{A})$ ,  $\tilde{A}$  bulanık sayısının entropisini vermek üzere,  $Z_2$  (kârdaki bulanıklık) ve  $Z_3$  (karar değişkenlerindeki toplam bulanıklık) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Enk } Z_2 = H(Z_1) \quad (5.33)$$

$$\text{Enk } Z_3 = \sum_{p \in P} H(\tilde{U}_p) + \sum_{p \in P} H(\tilde{D}_p) + \sum_{p \in P} H(\tilde{S}_p) + \sum_{r \in R} H(\tilde{DK}_r) \quad (5.34)$$

Bu bölümde verilen kısıtlar ve amaç fonksiyonları ile çok amaçlı bir ODP modeli önerilmiştir. Sonraki bölümde bu modeli çözmek için geliştirilen yaklaşım verilmiştir.

### 5.3 Önerilen Çözüm Yordamı

Olabilirsal doğrusal programlama modellerini çözmek için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bölüm 4'te incelenen yöntemler arasında DP'de karar değişkenlerini bulanık kabul eden üç yaklaşım mevcuttur. Bunlardan Buckley and Feuring (2000),

bulanık esnek programlamayı çözmek üzere evrimsel bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma tüm katsayı ve karar değişkenleri bulanık olan çok amaçlı bulanık DP’de tüm domine edilmemiş kümeyi taramaya dayanmaktadır. Tanaka ve diğ. (2000) aralık, üçgen veya üstel fonksiyonlarla tanımlanmış olabilirsel dağılımları doğrusal kısıtlara dönüştürmek üzere bir yaklaşım önermiştir. Maleki ve diğ. (2000), karar değişkenleri bulanık olarak tanımlanan modelin dualini alarak, modeli karar değişkenleri kesin olan ve bulanık katsayılar içeren bir bulanık DP modeline dönüştürmüştür. Çözümü yeni modele göre önermiştir. Bu yöntemlerden ilkinin çözüm yordamı oldukça karmaşık ve çözümü zordur. İkincisinde önceden tanımlı olabilirlik seviyeleri olması gerekmektedir. Üçüncüsü ise karar değişkenleri ile birlikte tüm katsayıların bulanık olduğu duruma çözüm üretememiştir.

Çok amaçlı bulanık programlama modelleri altında incelenen yaklaşımlardan ise iki tanesi karar değişkenlerini bulanık elde etmeyi önermiştir. Stanciulescu ve diğ. (2003) karar değişkenlerinin toplamının bir sabite eşit olduğunu varsayarak karar değişkenlerini alt sınırlarıyla birlikte bulmayı önermiştir. Pramanik ve Roy (2007) çok aşamalı programlama problemi için karar değişkenlerini bulanık varsaymıştır. Her iki model de özel durumlar içerdiği için çalışmada önerilen modelde uygulanması olanaksızdır.

Bölüm 4’te incelenen yöntemlerin özelliklerinden yola çıkarak çalışmada önerilen çözüm yordamının nitelikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çözüm yöntemine göre yapılan değerlendirme sonucunda, önerilen ODP modelinin, incelenen yaklaşımların çoğunda olduğu gibi bir DP modeline dönüştürülmesine karar verilmiştir. Burada, yöntemin gerçek hayat uygulamalarında kullanılmak üzere çok karmaşık olmayan bir yordam ile çözülmesi ve global en iyi çözümün elde edilebilir olması amaçlanmıştır. Böylece yöntem, gerçek hayat uygulamalarında kullanılabilir olacaktır. Ayrıca önerilen ODP modelindeki amaç fonksiyonları bulanık sayılar ile ifade edildiği için amaçların tatmin düzeyini tanımlamak oldukça güç olacaktır. Bu yüzden incelenen çok amaçlı bulanık programlama modellerinde en çok tercih edilen en düşük tatmin düzeyinin en büyüklenmesi şeklinde tanımlanan çözüm yaklaşımlarının kullanılamayacağı saptanmıştır.

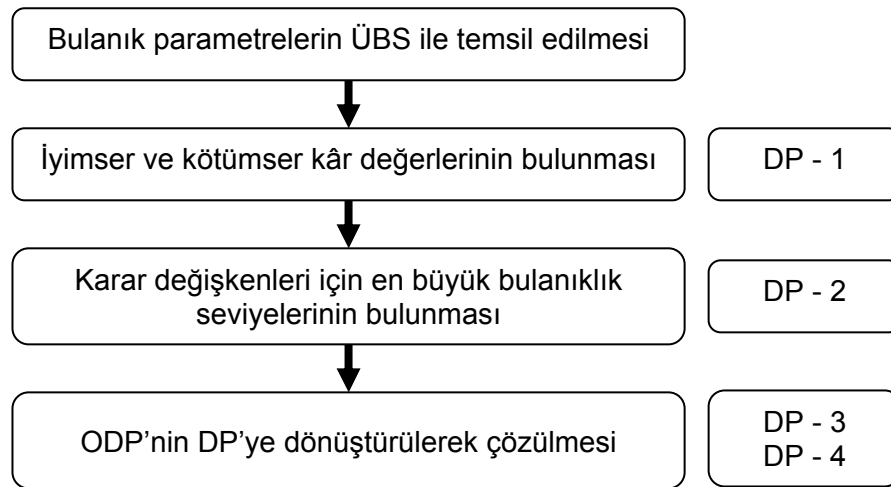
Önerilen ODP modelinde bulanık katsayılar ÜBS ile ifade edilmiştir. Burada tüm parametrelerde bulanıklık söz konusu olabileceği için monoton artan üyelik

fonksiyonları ve karmaşıklığı arttıracığı ve çözümü zorlaştıracığı için yamuk bulanık sayılar, özel tanımlı bulanık sayılar, sol-sağ bulanık sayılar tercih edilmemiştir. Ayrıca ÜBS'lerin bulanıklığı ifade etmede yeterli olacağı ve hesaplamaları kolaylaştıracağı düşünülmüştür.

Önerilen amaçlarla ilgilenebilmek için amaç değerlerinin normalize edilmesi uygun bulunmuştur. Normalizasyon, incelenen çok amaçlı programlama modellerinde tercih edilen amaç gerçekleştirme düzeyleri ile benzer özelliktedir. Fakat önerilen ODP'de amaçlar bulanık olarak ifade edildiği için amaç gerçekleştirme düzeylerini saptamak güçtür. Bu yüzden amaç gerçekleştirme düzeyi yerine normalizasyon kullanılmıştır. Çalışmada normalize edilen amaçlar iki ayrı yaklaşım ile birleştirilmiştir. İlk yaklaşımda (DP-3) amaçlar önceden belirlenen ağırlıklara göre toplanırken, ikinci yaklaşımda (DP-4) amaçların en küçük değerleri referans alınmıştır.

Önerilen ODP'de kısıtlar için incelenen yöntemlerin birçoğunda olduğu gibi  $\alpha$ -kesime dayanan bir yaklaşım benimsenmiştir. Fakat kısıtların sağ ve sol taraflarını karşılaştırmak için önceden belirlenmiş  $\alpha$  değerleri değil  $[0,1]$  aralığındaki tüm  $\alpha$  değerleri dikkate alınmıştır. Tanımlanan tüm bulanık parametre ve karar değişkenleri ÜBS ile ifade edildiği için ÜBS'ye özel  $\alpha$ -kesime dayanan bir karşılaştırma yöntemi benimsenmiştir.

Bu özellikler ışığında önerilen ODP modeli dört aşamadan oluşan bir algoritma ile çözülmüştür. Şekil 5.7'de önerilen çözüm yordamının adımları görülebilir.



Şekil 5.7 : Olabilirsal doğrusal programlama modelinin çözüm yordamı

İlk aşamada ODP'deki tüm bulanık parametreler ÜBS ile ifade edilmiştir. Modelde bulanık olarak varsayılan üretim verim oranı ( $\tilde{V}U_p$ ), tedarik verim oranı ( $\tilde{V}D_p$ ) ve talep miktarları ( $\tilde{T}_p$ ) parametreleri Bölüm 5.1'de verilen yöntem ile ÜBS olarak temsil edilmiştir.

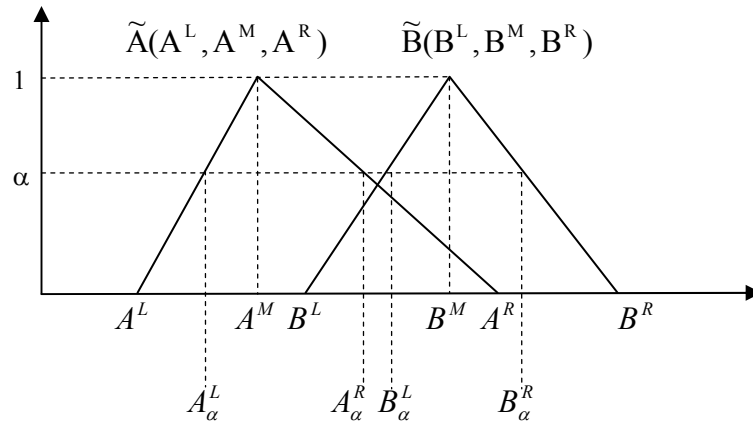
Olabilirsnel modelde ilk amaç olan kârı normalize edebilmek için iyimser ve kötümser kâr değerleri bulunması gerekir. ODP'deki bulanık sayılar netleştirildiğinde ve karar değişkenleri klasik sayılarla ifade edildiğinde oluşan ODP modelinin klasik sayı uyarlaması (DP-1) iyimser ve kötümser kâr değerlerini bulmak için kullanılmıştır.

Kâr değerinin bulanıklığını en küçükleme olarak tanımlanan ikinci amacın normalize edilmesi için de DP-1 ile hesaplanan iyimser ve kötümser kâr değerleri kullanılmıştır.

Karar değişkenlerinin bulanıklığını en küçükleme olan üçüncü amacı normalize etmek için tüm karar değişkenlerinin değişim aralıklarının bulunması gerekmektedir. Bu amaçla farklı bir DP modeli önerilmiştir (DP-2).

Son olarak önceki adımlarda belirlenen değerler ve ÜBS için tanımlanan matematiksel işlemler kullanılarak ODP modeli DP modeline (DP-3 ve DP-4) dönüştürülmüştür. Amaçları birleştirme yaklaşımları farklı olan DP-3 ve DP-4 yardımı ile ODP modeli çözülmüştür.

Önerilen yordamda bulanık parametreler ve karar değişkenleri ÜBS olarak tanımlanmıştır. Örnek iki ÜBS,  $\tilde{A}(A^L, A^M, A^R)$ ,  $\tilde{B}(B^L, B^M, B^R)$ , Şekil 5.8'de verilmiştir (uç noktalar; L: sol destek, M: orta nokta; R: sağ destek).



Şekil 5.8 : Örnek üçgen bulanık sayılar



Bulanık toplama ve çarpma işlemleri verilen  $\tilde{A}, \tilde{B}$  ÜBS'ler için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Chen ve Hwang, 1992):

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (A^L + B^L, A^M + B^M, A^R + B^R) \quad (5.35)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (A^L * B^L, A^M * B^M, A^R * B^R) \quad (5.36)$$

Önerilen modeldeki kısıtları tanımlayabilmek için ÜBS'ler arasındaki büyüktür/küçüktür işlemlerinin tanımlanması gerekmektedir.  $\alpha$ -kesim yaklaşımı ile bakıldığında büyüktür ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\tilde{A} \succeq \tilde{B} \Leftrightarrow A_\alpha^L \geq B_\alpha^L, A_\alpha^R \geq B_\alpha^R, \quad \forall \alpha \in [0,1] \quad (5.37)$$

Burada  $\alpha$ -kesim değerleri Şekil 5.8'de verildiği gibi;  $A_\alpha^L = \inf_x (x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha)$ ,  $A_\alpha^R = \sup_x (x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha)$ ,  $B_\alpha^L = \inf_x (x | \mu_{\tilde{B}}(x) \geq \alpha)$  ve  $B_\alpha^R = \sup_x (x | \mu_{\tilde{B}}(x) \geq \alpha)$ 'dir.

(5.37)'deki ilişki ÜBS'ler için uyarlandığında aşağıdaki sonuca varılmıştır.

$$\tilde{A} \succeq \tilde{B} \Leftrightarrow A^L \geq B^L, A^M \geq B^M, A^R \geq B^R \quad (5.38)$$

Benzer şekilde ÜBS'ler için küçüktür ilişkisi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\tilde{A} \preceq \tilde{B} \Leftrightarrow A^L \leq B^L, A^M \leq B^M, A^R \leq B^R \quad (5.39)$$

(5.35)-(5.39)'da tanımlanan ilişkiler ile ODP'de yer alan amaç fonksiyonlarındaki ve kısıtlardaki toplama ve çarpma işlemleri ile kısıtlarda bulunan büyüktür/küçüktür işlemleri ifade edilmiştir.

### 5.3.1 İyimser ve kötümser kâr değerlerinin bulunması

İlk amaç fonksiyonu olan kârı normalize edebilmek için iyimser ve kötümser kâr değerleri bulunmalıdır. Bunun için önceki bölümde önerilen ODP modelinin klasik DP uyarlaması kullanılmıştır. Burada cevap verilmesi gereken en önemli soru bulanık parametrelerin nasıl netleştirileceğidir. Parametrelerinin netleştirme işlemi elde edilmek istenen sonuca göre yapılmalıdır. Örneğin iyimser kâr değeri bulunmak istendiğinde talebin ve verimlilik oranlarının en üst seviyede olması gerekir. Öyleyse iyimser kârı bulmak için kurulacak modelde ÜBS ile tanımlanan talep ve verimlilik

oranı değerlerinin en büyük olası değeri olan sağ destek noktaları girdi olarak alınmalıdır. Tersi durumda, kötümser kâr bulmak için kurulacak modelde ise parametrelerin sol destekleri girdi olarak alınmalıdır.

Aşağıda iyimser ve kötümser kâr değerlerini bulmak için tasarlanan DP-1 modeli verilmiştir. Modelde kullanılan parametre ve karar değişkenlerinin açıklamaları Tablo 5.2’de görülebilir.

### DP – 1

*Amaç fonksiyonu*

$$\text{Enb } Z = \sum_p (S'_p * F_p) - \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U'_p * KK_{pr}) + (DK'_r * DKM_r) \right) + \sum_p (DM_p + D'_p) \right) \quad (5.40)$$

*Kısıtlar*

$$U'_p \leq 0, \quad p \in \text{PD} \quad (5.41)$$

$$D'_p \leq 0, \quad p \in \text{PU} \quad (5.42)$$

$$D'_p \leq DK_p, \quad \forall p \quad (5.43)$$

$$VU'_p * U'_p + VD'_p * D'_p \geq \sum_u (BOM_{pu} * U'_u) + S'_p, \quad \forall p. \quad (5.44)$$

$$\sum_p (U'_p * KK_{pr}) \leq KC_r + DK'_r, \quad \forall r \quad (5.45)$$

$$DK'_r \leq DKC_r, \quad \forall r \quad (5.46)$$

$$S'_p \leq T'_p, \quad \forall p \quad (5.47)$$

$$U'_p, D'_p, S'_p \geq 0, \quad \forall p \quad (5.48)$$

(DP-1)’de amaç fonksiyonu (5.40), ODP’de tanımlanan ilk amaçta (5.32) karar değişkenlerinin kesin sayılar ifade edilmesi ile oluşturulmuştur. (5.41) ile (5.47) arasındaki kısıtlar, ODP’deki sırasıyla (5.21) ile (5.27) arasındaki kısıtlarda karar değişkenlerinin kesin olarak alınması ve bulanık parametrelerin netleştirilmesi ile elde edilmiştir. Parametrelerin netleştirilmesi kötümser ve iyimser kâr değerlerini hesaplarken farklı şekilde yapılmaktadır. (5.48)’de işaret kısıtları verilmiştir.

**Tablo 5.2 :** DP-1 ve DP-2’de kullanılan parametre ve karar değişkenleri

<i>İndisler:</i>	
$p, u$	Ürünler; $p, u \in P$
$r$	Kaynaklar; $r \in R$
<i>Parametreler:</i>	
P	Toplam ürün sayısı
R	Toplam kaynak sayısı
PD	Dıştan sağlanması gereken ürünler $PD \subset P$
PU	İçeride üretilmesi gereken ürünler $PU \subset P$
$BOM_{pu}$	Ürün Ağacı ( $u$ ürünü için gerekli $p$ ürünü miktarı)
$KK_{pr}$	$p$ ürününü üretmek için gerekli $r$ kaynağı miktarı
$KC_r$	$r$ kaynağının kapasitesi
$KM_r$	$r$ kaynağının birim maliyeti
$DKC_r$	$r$ kaynağının dıştan sağlanma kapasitesi
$DKM_r$	$r$ kaynağının birim dıştan sağlanma maliyeti
$DM_p$	$p$ ürününün dıştan sağlanma ek maliyeti
$DK_p$	$p$ ürününün dıştan sağlanma kapasitesi
$T'_p$	$p$ ürününe olan talep
$F_p$	$p$ ürününün fiyatı
$VU'_p$	$p$ ürününün üretim verim oranı
$VD'_p$	$p$ ürününün dıştan sağlanma verimlilik oranı
<i>Karar Değişkenleri</i>	
$U'_p$	$p$ ürünün üretim miktarı
$D'_p$	$p$ ürününün dıştan sağlanan miktarı
$S'_p$	$p$ ürününün satış miktarı
$DK'_r$	$r$ kaynağının dıştan sağlanan miktarı
$VUU_p$	$p$ ürününün verimlilik sonrası gerçekleşen üretim miktarı
$VDD_p$	$p$ ürününün verimlilik sonrası gerçekleşen tedarik miktarı
Not: $X'$ şeklinde gösterilen parametre ve karar değişkenleri ODP’de bulanık olarak tanımlanmış olup, burada kesin sayılar ile ifade edilmiştir.	

Kötümser kâr değerini bulmak için talep ve verimlilik oranları en düşük seviyede olmalıdır. Bunun için netleştirme işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır:

$$T'_p = \tilde{T}_p^L, VU'_p = \tilde{V}U_p^L, VD'_p = \tilde{V}D_p^L, \quad \forall p \quad (5.49)$$

DP-1, denklem (5.49)’da verilen parametrelere göre çözüldüğünde kötümser kâr değeri ( $Z_1$ ) elde edilir.

İyimser kâr değerini bulmak için talep ve verimlilik oranları en yüksek seviyede varsayılmalıdır. Bunun için netleştirme işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$T'_p = \tilde{T}_p^R, VU'_p = \tilde{V}U_p^R, VD'_p = \tilde{V}D_p^R, \quad \forall p \quad (5.50)$$

DP-1 denklem (5.50)'de verilen parametrelere göre çözüldüğünde iyimser kâr değeri ( $\overline{Z}_1$ ) elde edilir.

(DP-1) ile belirlenen iyimser ve kötümser kâr değerine göre ODP'deki ilk amaç fonksiyonu olan kâr değerinin ve ikinci amaç fonksiyonu olan kârdaki bulanıklık değerinin normalizasyonu sağlanmıştır. Buna göre kâr değerinin normalize değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\frac{Z_1^M - \underline{Z}_1}{\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1} \quad (5.51)$$

Burada  $Z_1^M$ , ÜBS olarak elde edilen kârın orta değeridir. (5.51)'deki formüle göre kârın orta değeri iyimser kâra yaklaştıkça normalize değer 1'e; kötümser kâra yaklaştıkça normalize değer 0'a yakın değerler alacaktır. Kârdaki bulanıklık değerinin normalizasyonu için aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\frac{(\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1) - (Z_1^R - Z_1^L)}{\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1} \quad (5.52)$$

Burada  $Z_1^R$  ve  $Z_1^L$ , ÜBS olarak elde edilen kârın sırasıyla sağ ve sol destek değerleridir. Bu formüle göre kârın sağ ile sol destekleri arasındaki fark azaldıkça formül değeri 1'e; aynı fark arttıkça formül değeri 0'a yaklaşacaktır.

### 5.3.2 Karar değişkenleri için en büyük bulanıklık seviyesinin bulunması

Karar değişkenlerinin bulanıklıklarını normalize edebilmek için her karar değişkeni için en büyük bulanıklık seviyesi tespit edilmelidir. Bir karar değişkeni için en büyük bulanıklık seviyesi çözüm uzayında karar değişkeninin alabileceği en büyük ve en küçük değerlerin farkına eşittir. Aşağıda verilen DP modeli X karar değişkeninin alabileceği en büyük ve en küçük değerleri bulmak üzere tasarlanmıştır.

#### DP – 2

*Amaç fonksiyonu:*

Enb (veya Enk) X

### Kısıtlar

DP – 1’deki (5.41), (5.42), (5.43), (5.45), (5.46), (5.47), (5.48) nolu kısıtlar

$$\sum_p (S'_p * F_p) - \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U'_p * KK_{pr}) + (DK'_r * DKM_r) \right) \right) \geq \underline{Z}_1 \quad (5.53)$$

$$\sum_p (S'_p * F_p) - \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U'_p * KK_{pr}) + (DK'_r * DKM_r) \right) \right) \leq \overline{Z}_1 \quad (5.54)$$

$$VUU_p + VDD_p = \sum_u (BOM_{pu} * U'_u) + S'_p, \quad \forall p. \quad (5.55)$$

$$VU_p^R * U'_p \geq VUU_p \geq VU_p^L * U'_p, \quad \forall p. \quad (5.56)$$

$$VD_p^R * D'_p \geq VDD_p \geq VD_p^L * D'_p, \quad \forall p. \quad (5.57)$$

$$VUU_p, VDD_p \geq 0, \quad \forall p. \quad (5.58)$$

DP-2’de kısıtlar DP-1’dekine benzer şekilde tanımlanmıştır. Farklı olarak DP-1’deki (5.44) nolu kısıt yerine (5.55), (5.56), (5.57) nolu kısıtlar kullanılmıştır. Bu kısıt toplam üretilen ve dışarıdan tedarik edilen ürün miktarının diğer ürünler için kullanılan ve satılan ürün miktarından büyük olmasını sağlamaktadır ve eşitsizliğin iki tarafında da karar değişkenleri vardır. (5.44) doğrudan netleştirilirse bu eşitsizlikte yer alan karar değişkenleri için üst ve alt limit bulmak mümkün olmamakta ve ODP’deki kısıt sağlanmamaktadır. Bu yüzden verimlilik sonrası gerçekleşen üretim ( $VUU_p$ ) ve verimlilik sonrası gerçekleşen tedarik miktarı ( $VDD_p$ ) gibi iki ek karar değişkeni tanımlanarak (5.44) nolu kısıt (5.55), (5.56), (5.57) nolu kısıtlar ile ifade edilmiştir. Ayrıca ihtiyaçtan fazla üretim olmaması için (5.55) eşitlik olarak yazılmıştır.

Bunun yanında talepleri netleştirirken en geniş çözüm uzayını elde etmek için (5.47)’de  $T'_p = \tilde{T}_p^R$  alınmalıdır.

Ayrıca karar değişkenlerinin kârda elde edilen limitler içerisinde yer almasını sağlamak üzere (5.53) ve (5.54) nolu kısıtlar tanımlanmıştır. Bu kısıtlar karar

değişkenlerindeki değişimin kârın iyimser ve kötümser değerleri dışına çıkmayacak şekilde ayarlanmasını sağlar.

DP – 2 modelinin Enb X ve Enk X amaç fonksiyonları ile elde edilen çözümleri sırasıyla  $\overline{X}, \underline{X}$  olarak tanımlanırsa; X değişkenin en büyük bulanıklık seviyesi  $\overline{X^F} = \overline{X} - \underline{X}$  şeklinde hesaplanabilir.

Elde edilen  $\tilde{X}(X^L, X^M, X^R)$  karar değişkenin bulanıklığı (entropisi) sağ ve sol desteklerinin farkı alınarak hesaplanabilir ( $\tilde{X}_F = X^R - X^L$ ). Bunlar kullanılarak,  $\tilde{X}$  karar değişkenin normalize edilmiş bulanıklığı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$X_F = \frac{\overline{X^F} - (X^R - X^L)}{X^F} \quad (5.59)$$

Bu formüle göre karar değişkeninin sağ ile sol noktaları arasındaki fark azaldıkça formül değeri 1'e; fark arttıkça formül değeri 0'a yaklaşacaktır.

### 5.3.3 Olabilirsnel modelin doğrusal modele dönüştürülerek çözülmesi

Önerilen üç amaçlı ODP modelini çözmek üzere iki farklı DP modeli önerilmiştir. Önerilen modellerden DP-3 ile amaçlar ağırlıklar kullanılarak birleştirilirken, DP-4 ile amaçların en küçük değerleri en büyük seviyeye taşınmak istenmiştir.

ODP'yi çözmek için önerilen ilk DP aşağıda tanımlanmıştır. Modelde kullanılan parametre ve karar değişkenlerinin tanımları Tablo 5.3'de verilmiştir.

#### DP - 3

*Amaç Fonksiyonu*

Enb Z =

$$\left( w_1 * \left( \frac{(Z_1^M - \underline{Z}_1)}{(\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1)} \right) + w_2 * \left( \frac{((\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1) - (Z_1^R - Z_1^L))}{(\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1)} \right) \right) + w_3 * \left( \frac{\sum_{\substack{p \in P \\ U_p^F \neq 0}} \frac{\overline{U}_p^F - (U_p^R - U_p^L)}{\overline{U}_p^F} + \sum_{\substack{p \in P \\ D_p^F \neq 0}} \frac{\overline{D}_p^F - (D_p^R - D_p^L)}{\overline{D}_p^F} + \sum_{\substack{p \in P \\ S_p^F \neq 0}} \frac{\overline{S}_p^F - (S_p^R - S_p^L)}{\overline{S}_p^F} + \sum_{\substack{r \in R \\ DK_r^F \neq 0}} \frac{\overline{DK}_r^F - (DK_r^R - DK_r^L)}{\overline{DK}_r^F}}{n^F} \right) \quad (5.60)$$

*Kısıtlar*

$$Z_1^M = \left( \sum_p (S_p^M * F_p) - \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U_p^M * KK_{pr}) + (DK_r^M * DKM_r) \right) + \sum_p (DM_p * D_p^M) \right) \right) \quad (5.61)$$

$$Z_1^L = \sum_p (S_p^L * F_p) - \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U_p^R * KK_{pr}) + (DK_r^R * DKM_r) \right) + \sum_p (DM_p * D_p^R) \right) \quad (5.62)$$

$$Z_1^R = \sum_p (S_p^R * F_p) - \left( \sum_r \left( KM_r * \sum_p (U_p^L * KK_{pr}) + (DK_r^L * DKM_r) \right) + \sum_p (DM_p * D_p^L) \right) \quad (5.63)$$

$$U_p^R \leq 0, \quad p \in \text{PD} \quad (5.64)$$

$$D_p^R \leq 0, \quad p \in \text{PU} \quad (5.65)$$

$$D_p^R \leq DC_p, \quad \forall p \quad (5.66)$$

$$VU_p^i * U_p^i + VD_p^i * D_p^i \geq \sum_u (BOM_{pu} * U_p^i) + S_p^i, \quad \forall(p,i) \quad (5.67)$$

$$\sum_p (U_p^i * KK_{pr}) \leq KC_r + DK_r^i, \quad \forall(r,i) \quad (5.68)$$

$$DK_r^R \leq DKC_r, \quad \forall r \quad (5.69)$$

$$S_p^i \leq T_p^i, \quad \forall(p,i) \quad (5.70)$$

$$U_p^L \leq U_p^M \leq U_p^R, \quad \forall p \quad (5.71)$$

$$D_p^L \leq D_p^M \leq D_p^R, \quad \forall p \quad (5.72)$$

$$S_p^L \leq S_p^M \leq S_p^R, \quad \forall p \quad (5.73)$$

$$DK_r^L \leq DK_r^M \leq DK_r^R, \quad \forall r \quad (5.74)$$

$$U_{pi}, D_{pi}, S_{pi} \geq 0, \quad \forall(p,i) \quad (5.75)$$

**Tablo 5.3 :** DP-3 ve DP-4’te kullanılan parametre ve karar değişkenleri

<i>Indisler:</i>	
$i$	ÜBS’nin uç noktaları, $i = L, M, R$
$p, u$	Ürünler ; $p, u \in P$
$r$	Kaynaklar; $r \in R$
<i>Parametreler:</i>	
P	Toplam ürün sayısı
R	Toplam kaynak sayısı
PD	Dıştan sağlanması gereken ürünler, $PD \subset P$
PU	İçeride üretilmesi gereken ürünler, $PU \subset P$
$BOM_{pu}$	Ürün Ağacı ( $u$ ürünü için gerekli $p$ ürünü miktarı)
$KK_{pr}$	$p$ ürünü üretmek için gerekli $r$ kaynağı miktarı
$KC_r$	$r$ kaynağının kapasitesi
$KM_r$	$r$ kaynağının birim maliyeti
$DKC_r$	$r$ kaynağının dıştan sağlanma kapasitesi
$DKM_r$	$r$ kaynağının birim dıştan sağlanma maliyeti
$DM_p$	$p$ ürününün dıştan sağlanma ek maliyeti
$DK_p$	$p$ ürününün dıştan sağlanma kapasitesi
$T_p^i$	$p$ ürününün talebinin $i$ ‘nci uç noktası
$F_p$	$p$ ürününün fiyatı
$VU_p^i$	$p$ ürününün üretim verim oranının $i$ ‘nci uç noktası
$VD_p^i$	$p$ ürününün dıştan sağlanma verimlilik oranının $i$ ‘nci uç noktası
$\overline{Z}_1$	İyimser kâr değeri
$\underline{Z}_1$	Kötümser kâr değeri
$\overline{U}_p^F$	$p$ ürününün üretim miktarının en büyük bulanıklık seviyesi
$\overline{D}_p^F$	$p$ ürününün dıştan sağlanan miktarının en büyük bulanıklık seviyesi
$\overline{S}_p^F$	$p$ ürününün satış miktarının en büyük bulanıklık seviyesi
$\overline{DK}_r^F$	$r$ kaynağının dıştan sağlanan miktarının en büyük bulanıklık seviyesi
$w_k$	Amaçların önemlerini gösteren ağırlıklar ( $k=1$ : kâr ; $k=2$ : kârın bulanıklığı, $k=3$ : karar değişkenlerinin bulanıklığı)
$n^F$	Bulanıklığın söz konusu olduğu karar değişkeni sayısı
<i>Karar değişkenler</i>	
$U_p^i$	$p$ ürününün üretim miktarının $i$ ’nci uç noktası
$D_p^i$	$p$ ürününün dıştan sağlanan miktarının $i$ ’nci uç noktası
$S_p^i$	$p$ ürününün satış miktarının $i$ ’nci uç noktası
$DK_r^i$	$r$ kaynağının dıştan sağlanan miktarının $i$ ’nci uç noktası
$Z_1^i$	Kârın $i$ ‘nci uç noktası
$\lambda$	Amaçların en düşük değeri

Amaç fonksiyonunun (5.60) kârın en büyüklenmesi, kârdaki bulanıklığın en küçüklenmesi ve karar değişkenlerinin bulanıklığının en küçüklenmesi gibi üç boyutu vardır. Üç fonksiyon değeri (5.51), (5.52) ve (5.59)’da verilen formüller ile



hesaplanır ve normalize değerler oldukları için denklem (5.60)'taki gibi toplanabilirler. Amaç fonksiyonunda yer alan  $n^F$ , bulanıklık içeren karar değişkeni sayısını vermektedir. Model çözüldükten görülmüştür ki; bazı karar değişkeni değerleri her durumda sabit çıkmaktadır (örneğin dışarıdan tedarik edilmesi gereken ürünlerin üretim miktarları). Bu karar değişkenlerinin toplam karar değişkenlerindeki bulanıklığı hesaplarken kullanmak gerçekçi olmayan sonuçlar vermektedir. Bu yüzden sadece bulanıklık içeren karar değişkenlerini dikkate almak üzere bulanıklıkların toplamı bulanıklık içeren karar değişkeni sayısına bölünmüştür. Formülde verilen ağırlıklar karar verici tarafından önceden belirlenmelidir veya farklı ağırlık durumlarına göre elde edilen sonuçlar karar vericiye sunulabilir.

Kâr, toplam gelirlerden toplam maliyetin çıkarılması ile bulunmuştur. Denklem (5.61), (5.62) ve (5.63)'de kârın sırasıyla orta, sol ve sağ destek noktaları hesaplanmaktadır. Denklem (5.64) - (5.70), ODP modelinde önerilen (5.21)-(5.27) nolu kısıtların ÜBS işlemleri uygulanmış eşlenikleridir. Amaç fonksiyonundaki ve kısıtlardaki toplama ve çarpma işlemleri ile büyüktür ve küçüktür eşitsizlikleri sırasıyla (5.35), (5.36), (5.37) ve (5.38) ile verilen formüller kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Denklem (5.71) - (5.73), ÜBS elde edilmesini sağlamak için eklenmiştir ( $\tilde{A}(A^L, A^M, A^R)$  gibi bir ÜBS için  $\tilde{A}^L \leq \tilde{A}^M \leq \tilde{A}^R$  sağlanmalıdır). Denklem (5.75)'te işaret kısıtları verilmiştir.

Önerilen DP – 3 modelinde farklı amaçların önem düzeylerini göstermek üzere ağırlıkların belirlenmesi gerekir. Ağırlıklar doğrudan karar vericiden temin edilebilir veya literatürde önerilen farklı ağırlık belirleme yöntemleri kullanılabilir. Ağırlıklar karar verici tarafından kolayca belirlenemiyorsa farklı ağırlık seçenekleri için model çözüldükten sonuçlar karar vericiye sunulabilir ve buna göre karar vericinin çözümlerden en uygun olanını seçmesi istenebilir.

Bir başka yaklaşım ise tüm amaçların belli bir düzeyde sağlanmasıdır. Bunun için bulanık ÇAKV yöntemlerinde incelenen Zimmermann (1978) yaklaşımına (Bölüm 4.3.1) benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. DP-4 aşağıdaki gibi önerilmiştir (Modelde kullanılan parametre ve karar değişkenlerinin tanımları Tablo 5.3'de verilmiştir).

#### DP – 4

*Amaç Fonksiyonu*

$$\text{Enb } Z = \lambda \quad (5.76)$$

*Kısıtlar*

(5.61)-(5.75) nolu kısıtlar

$$\lambda \leq (Z_1^M - \underline{Z}_1) / (\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1) \quad (5.77)$$

$$\lambda \leq ((\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1) - (Z_1^R - Z_1^L)) / (\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1) \quad (5.78)$$

$$\lambda \leq \left( \begin{array}{l} \sum_{\substack{p \in P \\ U_p^F \neq 0}} \frac{\overline{U}_p^F - (U_p^R - U_p^L)}{\overline{U}_p^F} + \sum_{\substack{p \in P \\ D_p^F \neq 0}} \frac{D_p^F - (D_p^R - D_p^L)}{D_p^F} + \\ \sum_{\substack{p \in P \\ S_p^F \neq 0}} \frac{\overline{S}_p^F - (S_p^R - S_p^L)}{\overline{S}_p^F} + \sum_{\substack{r \in R \\ DK_r^F \neq 0}} \frac{\overline{DK}_r^F - (DK_r^R - DK_r^L)}{DK_r^F} \end{array} \right) \quad (5.79)$$

Burada  $\lambda$  amaçların en düşük değerini vermek üzere tanımlanmıştır. Modelin amacı amaçların en düşük değerini en büyük yapmaktır. Bu yaklaşım ile tüm amaçların belli bir düzeyin üstünde tutulması sağlanmış olur. (5.77), (5.78) ve (5.79) nolu kısıtlar ile  $\lambda$ 'nın amaçların en düşük değerine eşit olması sağlanır. Modelde DP-3'te tanımlanan tüm kısıtlar aynen kullanılmıştır.

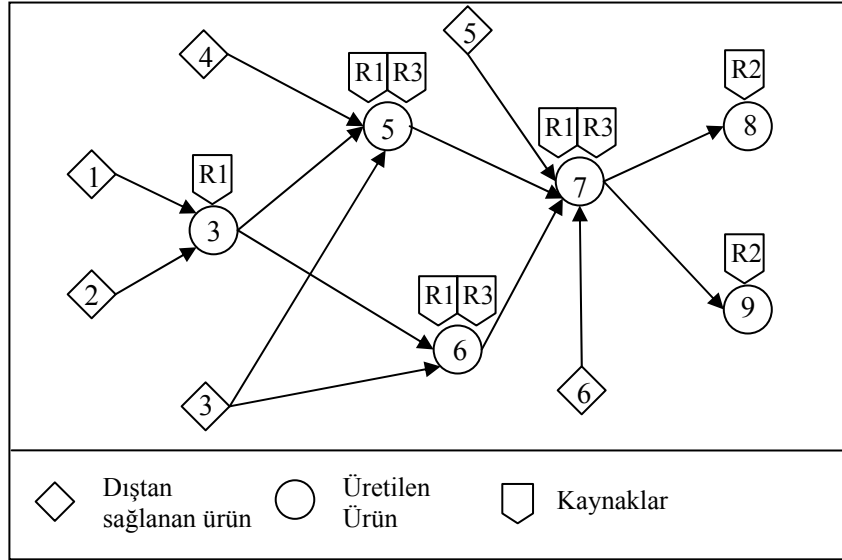
Olabilirsnel modeli çözmek üzere önerilen DP-3 ve DP-4'ün hangisinin kullanılacağı karar vericiye bağlıdır. Öncelikle tüm alternatif çözümleri görmek için DP-3'ün çözülmesi ve karar vericiye sunulması tercih edilmelidir. Karar verici hangi alternatifi seçeceğini belirleyemiyorsa tek bir çözüm önermek üzere DP-4 kullanılabilir.

Sonuç olarak TZ planlama için önerilen ODP'yi çözmek üzere dört farklı DP kullanılmıştır. Önerilen çözüm yordamı, esas uygulamaya geçmeden önce etkinliğinin tespit edilmesi amacı ile örnek bir uygulama üzerinde denenmiştir.

## 5.4 Örnek Uygulama

Önerilen çözüm yordamının etkinliğini test etmek için hipotetik bir örnek kullanılmıştır. Bu örnekte bir ürünün üç hammaddeden ve üç ara ürün üzerinden üretildiği ve iki pazara satıldığı varsayılmıştır. Şekil 5.9’da ürünün ağ yapısı verilmiştir. Zincirde toplam dokuz ürün vardır. Ürün 1, 2 ve 4 hammaddedir (PD: {1,2,4}), ürünler 3, 5 ve 6 ara ürünlerdir; 7 ise son üründür. 8 ve 9 nolu ürünler ise iki farklı pazara taşınmış son ürünlerdir. Ürünlerin ürün ağacı matrisi Tablo 5.4’te verilmiştir.

Örnekte üç kaynak varsayılmıştır. Birincisi işçilik zamanı, ikincisi ulaştırma kaynağı ve üçüncüsü makine zamanı olarak düşünülebilir. Kaynaklarla ilgili parametreler Tablo 5.5’te ve Şekil 5.9’da görülebilir.



Şekil 5.9 : Örnek uygulama tedarik zinciri ağ yapısı

Tablo 5.4 : Örnek uygulama ürün ağacı matrisi

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9
p1			1						
p2			2						
p3					2	1			
p4					1				
p5							1		
p6							1		
p7								1	1
p8									
p9									

**Tablo 5.5 : Örnek uygulama kaynaklarla ilgili parametreler**

<b>Kaynak Kullanımı (ürün başına birim)</b>	<b>r1</b>	<b>r2</b>	<b>r3</b>
p1			
p2			
p3	3		
p4			
p5	4		2
p6	2		3
p7	6		5
p8		5	
p9		7	
<b>Kaynak Kapasitesi (birim)</b>	9000	3000	4500
<b>Kaynak Maliyeti (Birim başına TL)</b>	0,4	0,1	0,2
<b>Dış Kaynak Kapasitesi (birim)</b>	1000	5000	3000
<b>Dış kaynak kullanımı ek maliyeti (birim başına TL)</b>	0,2	0,05	0,2

Örnekte 7, 8 ve 9 dışındaki tüm ürünler dışarıdan tedarik edilebilmektedir (PU:{7,8,9}). Talep ve fiyat sadece pazarlara taşınan ürünler (8 ve 9) için tanımlanmıştır. Üretim verimlilik oranları sadece üretilebilecek ürünler için, dıştan sağlama verimlilik oranı da benzer şekilde sadece dışarıdan tedarik edilebilecek ürünler için tanımlanmıştır. Tablo 5.6’da ürünlerle ilgili parametreler görülebilir.

Çözüm aşamasına geçildiğinde ilk önce iyimser ve kötümser kâr değerlerini bulmak için DP-1 kullanılmıştır. Talep ve verimlilik oranlarının sağ destek noktaları kullanılarak DP-1 çalıştırıldığında iyimser kâr değeri  $\bar{Z}_1 = 17.435,5$  TL olarak bulunmuştur. Parametreler için sol destek değerleri kullanılarak model çözüldüğünde ise kötümser kâr  $\underline{Z}_1 = 13.679,6$  TL olarak elde edilmiştir.

**Tablo 5.6 : Örnek uygulama ürünler ile ilgili parametreler**

	<b>Dıştan sağlama maliyeti</b>	<b>Dıştan sağlama kapasitesi</b>	<b>Talep</b>	<b>Fiyat</b>	<b>Üretim verim oranı</b>	<b>Dıştan sağlama verim oranı</b>
p1	3	1800			-	(0,96;0,98;1)
p2	1	3000			-	(0,99;1;1)
p3	7	1000			(0,94;0,95;0,97)	(0,95;0,96;1)
p4	2	600			-	(1;1;1)
p5	20	500			(0,94;0,96;0,98)	(0,98;0,98;0,99)
p6	10	500			(0,97;0,98;0,99)	(0,94;0,95;0,97)
p7	-	-			(0,97;0,97;0,98)	-
p8	-	-	(180;200;210)	70	(0,90;0,99;0,99)	-
p9	-	-	(240;250;265)	65	(0,97;0,99;1)	-

İkinci olarak DP-2 kullanılarak karar değişkenleri için en büyük bulanıklık seviyeleri hesaplanmıştır. Her karar değişkeni için DP-2 iki kez çalıştırılmış ve Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 5.7 :** Örnek uygulama DP-2 sonuçları – Ürünlerle ilgili karar değişkenleri

p	U <sub>p</sub>			D <sub>p</sub>			S <sub>p</sub>		
	Enb	Enk	En büyük bulanıklık	Enb	Enk	En büyük bulanıklık	Enb	Enk	En büyük bulanıklık
1	0	0	-	1562,5	0	1562,5	0	0	-
2	0	0	-	3000	0	3000	0	0	-
3	1500	0	1500	1000	0	1000	0	0	-
4	0	0	-	555,5	0	555,5	0	0	-
5	555,5	0	555,5	500	0	500	0	0	-
6	538,3	0	538,3	500	0	500	0	0	-
7	522,2	361,5	160,7	0	0	-	0	0	-
8	233,3	102,9	130,4	0	0	-	210	101,9	108,1
9	273,2	142,1	131,1	0	0	-	265	142,1	122,9

**Tablo 5.8 :** Örnek uygulama DP-2 sonuçları – Kaynaklarla ilgili karar değişkenleri

	DK <sub>r</sub>		
	maks	min	En büyük bulanıklık
1	1000	0	1000
2	5000	0	5000
3	3000	0	3000

İlk iki DP modelinden elde edilen sonuçlar son modelde kullanılmıştır. Amaçların ağırlıkları (0,6; 0,1; 0,3) olarak alınarak DP-3 ile model çözüldüğünde Tablo 5.9’da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçta ulaşılan kâr (13355, 15823, 15924)’dir. Buradan en olabilir kârın 15.823 olacağı; en kötümser durumda kârın 13.355’e düşebileceği; en iyimser durumda ise kârın 15.924’e çıkabileceği sonucuna varılmıştır.

**Tablo 5.9 :** Örnek uygulama DP-3 sonuçları

p	Üretim miktarı UR(p)	Dıştan sağlanan ürün miktarı D(p)	Satışlar S(p)
1	0	(1332; 1332; 1332)	0
2	0	(2525; 2525; 2525)	0
3	(1250; 1263; 1263)	0	0
4	0	(361; 361; 361)	0
5	(353; 360; 360)	(125; 125; 125)	0
6	(468; 478; 478)	0	0
7	(454; 469; 469)	0	0
8	(200; 202; 202)	0	(180; 200; 200)
9	(241; 253; 253)	0	(234; 250; 250)

DP-3 çözümü amaçlara atanan ağırlıklara göre değişecektir. Tablo 5.10'da ağırlıklara farklı değerler atanması sonucunda ortaya çıkan çözümler verilmiştir.  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$  olacağı için  $w_1$  ve  $w_2$  değerleri verildiğinde  $w_3$ 'ün değeri  $(1 - w_1 - w_2)$  ortaya çıkacaktır. Ayrıca  $w_1 + w_2 > 1$  olan durumlar için (tablonun boş kısımları) çözüm hesaplanmamıştır.

**Tablo 5.10 : Farklı ağırlıklara göre DP-3 çözümleri**

w1w2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	13430; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680
0,1	13567; 15617; 15636	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	
0,2	13520; 15758; 15815	13640; 15678; 15710	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680		
0,3	13355; 15823; 15924	13637; 15687; 15721	13640; 15678; 15710	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680			
0,4	13157; 15864; 16011	13637; 15687; 15721	13637; 15687; 15721	13640; 15678; 15710	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680	13680; 13680; 13680				
0,5	13156; 15865; 16011	13520; 15758; 15815	13637; 15687; 15721	13637; 15687; 15721	13640; 15678; 15710	13680; 15261; 15261					
0,6	13156; 15865; 16011	13355; 15823; 15924	13637; 15687; 15721	13637; 15687; 15721	13637; 15687; 15721						
0,7	13156; 15865; 16011	13356; 15823; 15923	13520; 15758; 15815	13637; 15687; 15721							
0,8	13156; 15865; 16011	13157; 15865; 16009	13520; 15758; 15815								
0,9	13156; 15865; 16011	13157; 15865; 16009									
1,0	13155; 15865; 16032										

Tablo 5.10'da verilen sonuçlara göre  $w_2 \geq w_1$  olduğu her durumda ( $w_1=w_2=0$  ve  $w_1=w_2=0,5$  hariç) amacın her üç kritik noktası kötümser kâr değerine eşit çıkmaktadır. Beklendiği gibi  $w_1$  arttıkça kârın orta değeri ve kârın sağ değeri ile sol değeri arasındaki fark (kârdaki bulanıklık) artmaktadır. Bu değerlendirmelere göre kurulan modelin istenilen şekilde çalıştığı sonucuna varılabilir.

Son olarak DP-4 çözülmüştür. DP-4'e göre amaç değerleri 0,494; 0,494 ve 0,982 olarak gerçekleşerek,  $\lambda=0,494$  olarak bulunmuştur. Kâr değeri (13656, 15537, 15555) şeklinde belirlenmiştir. Tablo 5.11'de DP-4 sonuçlarına göre belirlenen karar değişkeni değerleri verilmiştir.

**Tablo 5.11 : Örnek uygulama DP-4 sonuçları**

<b>p</b>	<b>Üretim miktarı UR(p)</b>	<b>Dıştan sağlanan ürün miktarı D(p)</b>	<b>Satışlar S(p)</b>
1	0	(1324; 1324; 1324)	0
2	0	(2569; 2569; 2569)	0
3	(1271; 1271; 1271)	0	0
4	0	(360; 360; 360)	0
5	(360; 360; 360)	(126; 126; 126)	0
6	(476; 476; 476)	0	0
7	(461; 466; 466)	0	0
8	(200; 202; 202)	0	(180; 200; 200)
9	(247; 250; 250)	0	(240; 247; 247)

DP-4 sonuçlarına göre karar değişkeni değerlerindeki bulanıklık düşük çıkmıştır. Sadece satışlarda ve üretim miktarı değerlerinden birinde (p7) elde edilen ÜBS'lerin üç kritik değeri birbirine eşit değildir.

Hipotetik örnek üzerinde parametreler değiştirilerek başka denemeler de yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda girdilerdeki belirsizlik arttıkça çıktılardaki belirsizliğin de arttığı tespit edilmiştir. Bir diğer ilginç sonuç ise bir ürünün üretim (veya tedarik) verim oranlarındaki belirsizlik arttıkça o ürünün üretim (veya tedarik) miktarının düşmesidir. Model, belirsizliği çok olan seçenekleri daha az kullanma eğilimindedir. Model kârı arttırırken gerçekte olduğu gibi mümkün olduğu kadar belirsizlikleri azaltma yönünde hareket etmektedir.

Önerilen ODP, DP-3 ve DP-4'e göre çözülmüştür. DP-3 farklı alternatif çözümler sunarak karar vericiye daha geniş bir seçenek kümesi sunarken, DP-4 her amacın gerçekleşmesini birlikte sağlayacak şekilde bir çözüm sunmuştur.

Sonraki bölümde, önerilen model gerçek bir problemde uygulanmıştır.

## 6. UYGULAMA

Önceki bölümde önerilen model Mercedes-Benz Türk A.Ş. (MBT)'nin İstanbul Hoşdere'de bulunan otobüs üretim tesisinde uygulanmıştır. Bu bölüm içerisinde öncelikle MBT ve Hoşdere Fabrikası ile genel bilgiler verilmiştir. İkinci olarak önerilen modelin firmanın karoser imalatına uygulanması ayrıntılarıyla incelenmiştir. Daha sonra karoser imalatı için stratejik planlama oluşturmak üzere gerçekleştirilen çalışmalar sunulmuştur. Son olarak uygulamanın sonuçları tartışılmıştır.

### 6.1 Mercedes-Benz Türk A.Ş. İle İlgili Genel Bilgiler

Mercedes-Benz Türk A.Ş., Daimler-Benz AG, Mengenler Ticaret T.A.Ş. ve Has Otomotiv ortaklığında Otomarsan unvanı ile 1967 yılında İstanbul'da kurulmuştur. Şirket üretime O302 tipi otobüslerle ve günde 0,6 adetlik kapasite ile 1968 yılında Davutpaşa tesislerinde başlamıştır. Üretime başladıktan 2 yıl sonra 1970'te ilk ihracatını gerçekleştirmiştir.

1984 yılında Mercedes-Benz Türkiye genel müessili olan şirket, aynı yıl şirket bünyesine yeni ortaklar katarak kamyon üretimi için gerekli yeni yatırımları başlatmıştır. Yatırımlar neticesinde 1986 yılında bugünkü Aksaray ilinde kamyon fabrikası üretime başlamıştır.

Kuruluşun ticari unvanı 1990'da Mercedes-Benz Türk A.Ş. olarak değiştirilmiştir. Artan ihracat taleplerine cevap verebilmek için Davutpaşa Fabrikası'nın yanı sıra Hoşdere, İstanbul'da ikinci bir otobüs üretim tesisi olarak 1995'te üretime başlamıştır. 2008 yılı başı itibarıyla şirket tüm otobüs üretimini Hoşdere fabrikasında yapmaktadır.

Mercedes-Benz Türk A.Ş. bugün Hoşdere fabrikasında şehirlerarası ve belediye tipi otobüsler, Aksaray fabrikasında ise hafif, orta ağır ve ağır sınıf kamyonlar ve çekiciler üretmektedir.



### **6.1.1 Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere Otobüs Üretim Tesisi**

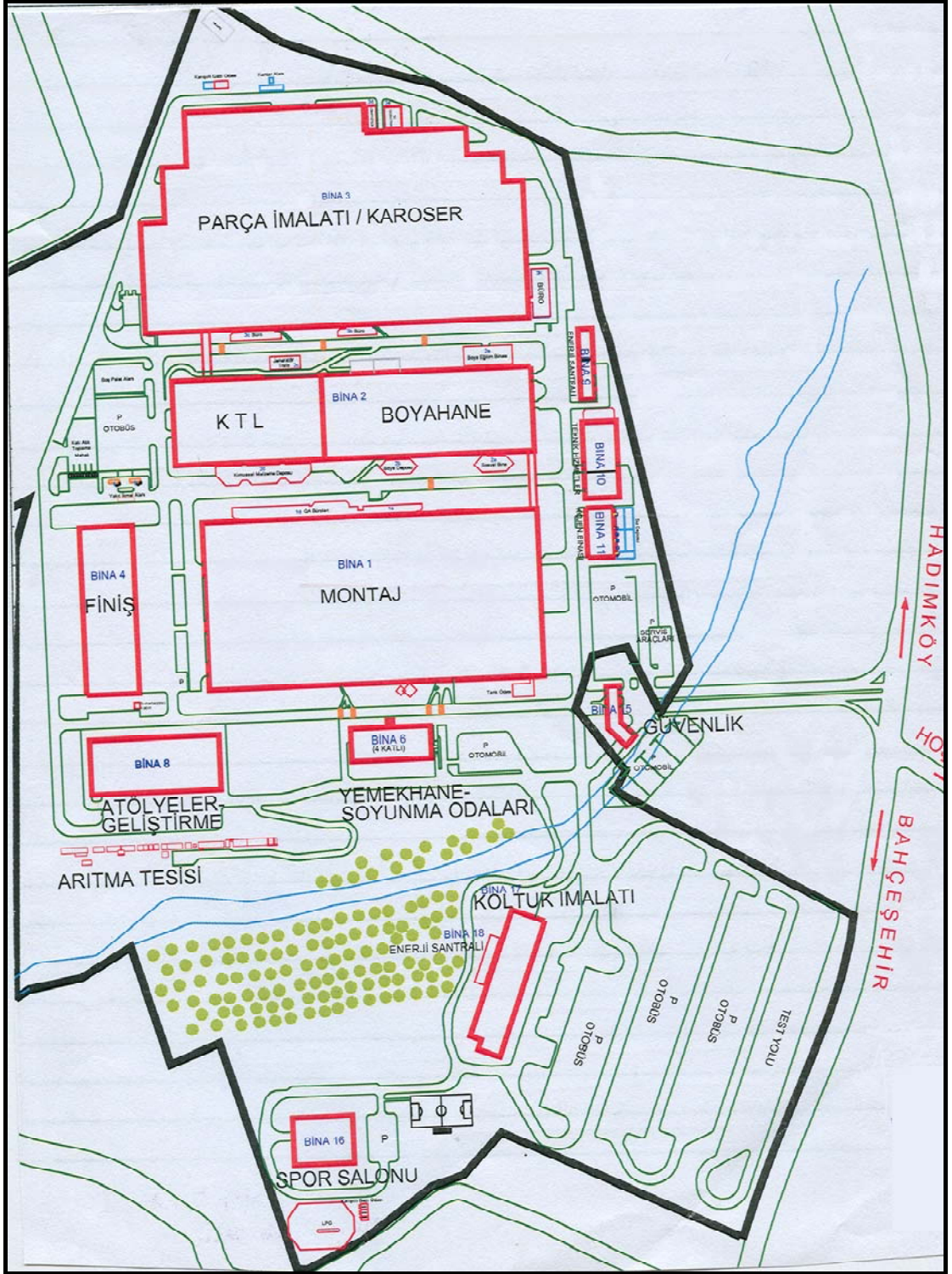
Mercedes-Benz Türk A.Ş. 1968 yılından beri otobüs ürettiği Davutpaşa fabrikasına ek olarak kapasitenin ve verimliliğin artırılması, ürün yelpazesinin genişletilmesi ve kalitenin özellikle Batı Avrupa pazarına ihracat yapacak seviyeye çıkarılması amacı ile 1995 yılında Hoşdere fabrikasını hizmete sokmuştur.

İlk yapım aşamasında boyahane, montaj ve son montaj birimlerinden oluşan Hoşdere fabrikasında 2005 yılında tamamlanan yatırımlar neticesinde parça imalatı ve karoser holü, araçlarda paslanmaya karşı üstün koruma sağlayan katoforez tesisi, otobüs geliştirme merkezi ve fabrikanın ihtiyacı olan enerjinin üretildiği kojenerasyon tesisi kurulmuştur. Hoşdere tesislerinin genel vaziyet planı Şekil 6.1’de görülebilir.

Günümüzde şirketin otobüs üretiminin tüm aşamalarının gerçekleştiği dünyanın en modern otobüs fabrikalarından biri olan Hoşdere tesisleri toplam 360.000 m<sup>2</sup>’lik arazi üzerinde 115.000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir.

Tesis içerisinde imalat yapılan ya da imalata doğrudan yardımcı olan altı bina bulunmaktadır. Parça imalatı / karoser binasında dışarıdan tedarik edilen profil boru ve sac gibi hammaddeler işlenerek otobüste kullanılan parçalara ve son olarak karosere dönüştürülmektedir. KTL binasında araçlarda paslanmaya karşı koruma sağlayan katoforez tesisi bulunmaktadır. Boyahanede bitmiş karoser müşteri isteklerine göre boyanmaktadır. Montaj binasında karoser üzerine elektrik aksamı, motor gibi otobüs için gerekli olan parçaların montajı gerçekleştirilmektedir. Finiş binasında otobüsün son montaj işlemleri ve kontrolleri yapılmaktadır. Koltuk imalatı binasında otobüslerin koltukları müşteri siparişlerine göre hazırlanmakta ve montajı gerçekleştirilmektedir. Bu binalar ile birlikte tesis içerisinde enerji santrali, teknik hizmetler binası, kojen binası, atölyeler binası, yemek ve soyunma odaları ve spor salonu gibi üretime destek binalar da bulunmaktadır. Tesisteki binaların fonksiyonel bir yapılanma ile inşa edildikleri söylenebilir. Otobüs, üretim sürecinde imalat ile ilgili belirtilen altı bina arasında hareket etmektedir.

Hoşdere tesisinde MBT’nin ürettiği tüm otobüslerin ve ara ürün olarak Mercedes, Almanya’ya satılan karoserin imalatı gerçekleştirilmektedir. Şirketin üretim portföyünde şehirlerarası yolculuklar için geliştirilen Travego ve Turismo modelleri ile şehir içi kullanımına yönelik Conecto ve Capacity modelleri olmak üzere dört çeşit otobüs bulunmaktadır.



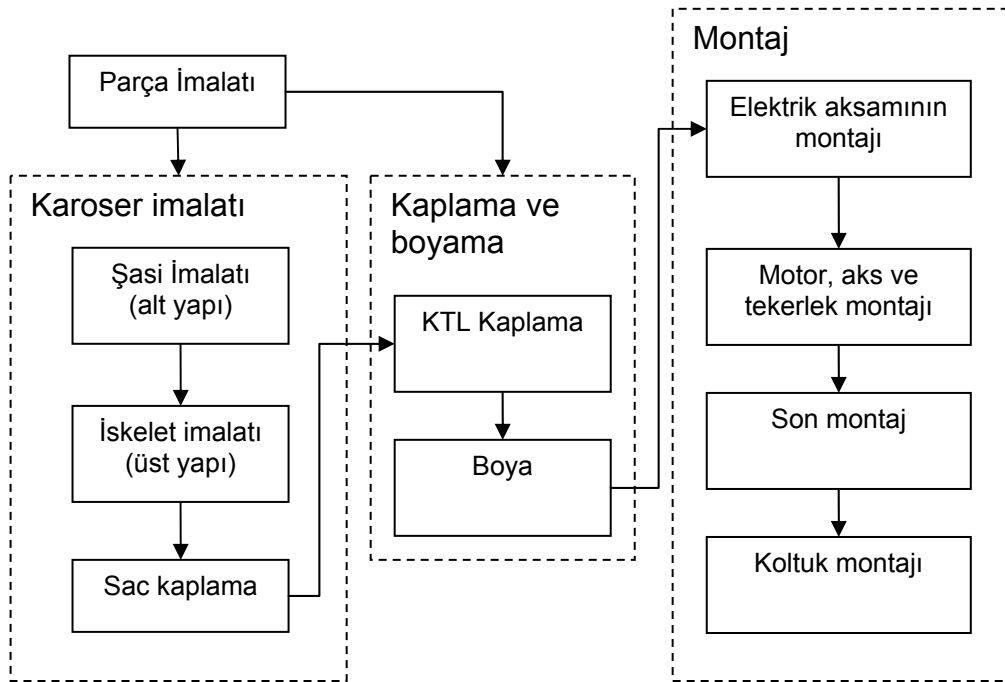
**Şekil 6.1 :** Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere Fabrikası genel vaziyet planı

Hoşdere tesisinin üretim kapasitesi 4000 adet olup, 2007 yılında 3109 adet üretim gerçekleştirilmiştir. 2008 yılında ise 3812 adetlik bir üretim planlanmaktadır. Tablo 6.1’de firmanın 2004, 2007 ve 2008 yıllarındaki üretim adetleri görülebilir.

**Tablo 6.1 :** Mercedes Benz Türk AŞ otobüs üretim miktarları

	2004	2007	2008
Şehirlerarası	1587	1982	2251
Şehir içi	710	798	1086
Karoser	235	475	475
<b>Toplam</b>	<b>2532</b>	<b>3109</b>	<b>3812</b>

Hoşdere tesisinde otobüs üretimi üç ana aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada karoser imalatı yapılmakta, ikinci aşamada karoseri korumak üzere KTL kaplama ve boyama işlemleri yapılmaktadır. Son aşamada ise karosere diğer gerekli tertibatların montajı gerçekleştirilmektedir. Şekil 6.2’de otobüs üretim sürecinin aşamaları görülebilir.



**Şekil 6.2 :** Otobüs üretim süreci genel akışı

Bahsedilen aşamalardan karoser imalatı ve montaj için gerekli olan parçaların çoğu firma tarafından üretilmektedir. Bu aşamalardan önce gerçekleşen parça imalatında CNC ve lazer kesme makinelerinde talaşlı imalat yöntemi ile imal edilen ara mamuller pres ve bükme makinelerinde soğuk form verme yöntemi ile bir sonraki süreç olan manüel ve/veya robot kaynaklı birleştirme işlemi ile bütün hale getirilir. Karoser imalatında kullanılacaklar karoser bandına, montaj bandında kullanılacaklar yüzey koruma işlemleri için fosfatlama ve katoferez kaplama tesisine gönderilir.

Karoser imalatında sırası ile şasi, iskelet ve sac kaplama bantlarından çeşitli tertibat, aparat ve el aletleri yardımı ile kaynaklı birleştirmeleri yapılarak karoser imal edilir.

Karoserler yüzey koruma için gerekli ön hazırlıklar yapıldıktan sonra katoferez daldırma tesisine sevk edilir.

Yağ alma, duşlama ve daldırma katoferez kaplama işlemleri ile ilk yüzey koruma işlemi tamamlanan karoserler, komposit parçaların yapıştırıldığı banda sevk edilir. Yapıştırma merkezinde soğuk, sıcak ve çift komponentli yapıştırma teknikleri kullanılır. Mamul daha sonra izolasyon işlemleri tamamlanarak son kat boya bandına sevk edilir. Burada metalik ve opak olmak üzere müşteri talebine bağlı iki ayrı boya ünitesinden bir tanesine yönlendirilir. Yüzey kontrol işlemleri tamamlanan boyanmış karoserler montaj bandına sevk edilir.

Montaj bandı, montaj merkezleri bazında oluşturulmuş; aracın mekanik, elektrik, iç ve dış tefrişat işlemlerinin yapıldığı bantlar ve bu bantları besleyen ön hazırlık montaj hücrelerinden oluşur.

Ön hazırlık hücrelerinde, elektrik tesisatlarının oluşturulması, motor ve aksların montaja hazır hale getirilmesi, basınçlı hava boruları ile sıcak, soğuk su borularının bükülmesi, iç tefrişatta kullanılan kaplamaların yapıştırma işlemi ile kumaş veya halı kaplanması, hava kanalı ve paket rafı gibi kapsamların ara mamul olarak üretimi gerçekleştirilir. Çeşitli testlere ve kontrollere tabi tutulan mamul, koltuklarının takılması için koltuklandırma kısmına sevk edilir. Koltuklandırma kısmında koltukların hem imalatı hem de araca montajı yapılmaktadır. Yan sanayiden gelen sünger, kızak ve benzeri yarı mamuller koltuk kısmında birleştirilerek koltuk iskeletini oluşturur. Kesim ve dikim işlemlerinden geçerek oluşturulan kılıflar iskeletler ile birleştirilerek koltuk imalatı tamamlanır.

Koltuklandırma merkezinden çıkan araçlar müşteri teslimatı öncesinde son kontrol ve temizlik işlerinin yapıldığı finiş kısmına gönderilir. Buradaki işlemleri tamamlanan araçlar müşteriye teslim edilmek üzere pazarlama merkezine sevk edilir.

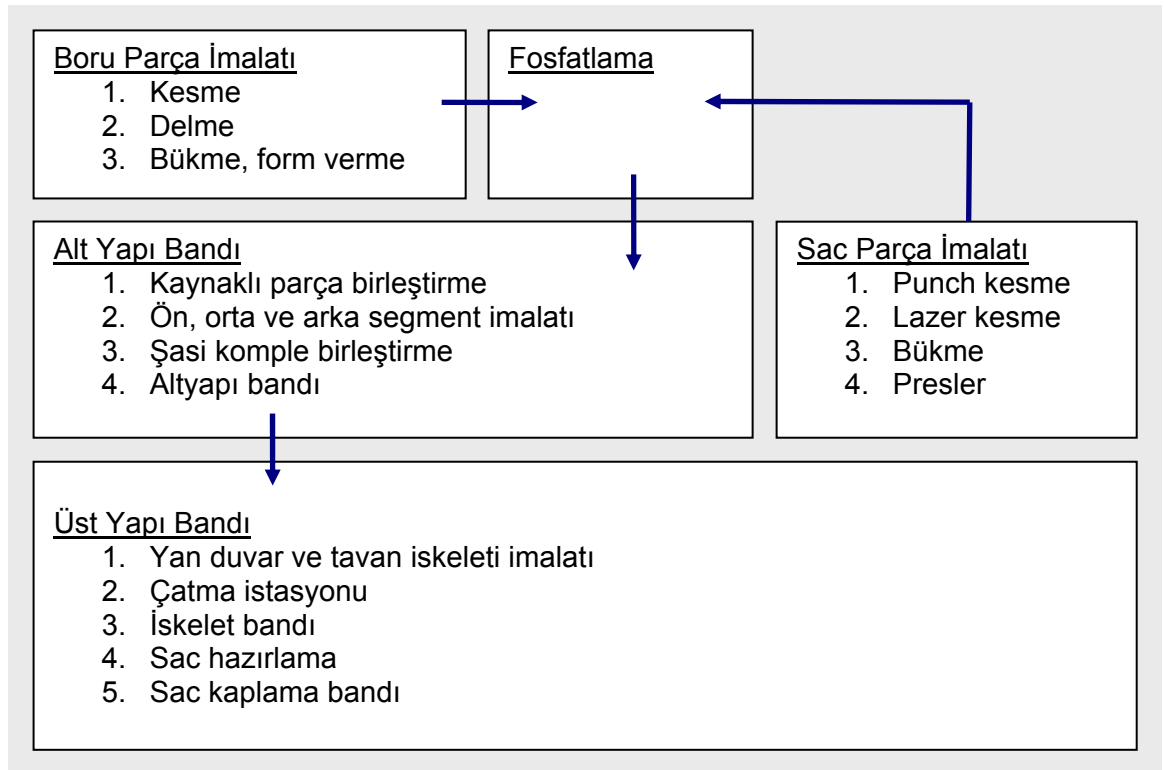
Çalışmada MBT'nin Mercedes, Almanya'ya sattığı karoser için stratejik TZ planlaması gerçekleştirildiğinden karoser üretimi ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

### **6.1.2 Karoser imalatı**

Otobüslerin iskelet sistemi olan karoserin imalatı “parça ve karoser üretim bölümü”nde gerçekleştirilmektedir (Şekil 6.3). Bu bölümde araçlarda kullanılan dâhili parçalar üretilmekte ve bu parçalardan karoser imal edilmektedir. 6.000 m<sup>2</sup> kapalı alanda parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretim, sac ve boru hammaddeler

ile yan sanayi firmalardan gelen yarı mamul parça ve malzemelerle yapılmaktadır. Üretim esnasında değişik özellikteki tezgâh ve makineler kullanılmaktadır. Başlıca üretim süreçleri aşağıda verilmiştir:

- Sac kesme (CNC sac kesme tezgâhı, CNC lazer tezgâhı)
- Sac bükme (CNC sac bükme tezgâhı)
- Sac form verme (hidrolik pres)
- Boru kesme (CNC testere tezgâhı)
- Boru bükme (CNC boru bükme tezgâhı)
- Kaynak (el işçiliği)
- Punta (el işçiliği)
- Yapıştırma (el işçiliği)
- Kaporta (el işçiliği)



**Şekil 6.3 :** Mercedes-Benz Türk A.Ş. karoser binası

Karoser imalatı önceki bölümde bahsedildiği gibi üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalardan önce boru parça imalatı, sac parça imalatı ve fosfatlama işlemleri yapılır. Karoserin temel hammaddeleri profil boru ve sacdır. Profil boru ve saclar farklı bölümlerde kesme ve bükme işlemleri yapıldıktan sonra gerekli ise bu parçaların dayanıklılığını arttırmak amacı ile fosfatlama işlemine tabi tutulurlar.

Fosfatlanan parçalar karoser bandına teslim edilir. Şekil 6.3'te karoser binasındaki fonksiyonel yapılanma ve üretim süreci görülebilir.

Karoser üretiminde sırasıyla şasi imalatı (alt yapı), iskelet imalatı (üst yapı) ve sac kaplama, bantlarda istasyonlar boyunca kaynak puntolama, yapıştırma işlemleri gibi işlemler yapılmaktadır. Araç şasi bandından iskelet bandına oradan da sac kaplama bandına taşıma arabaları yardımı ile kaydırılmaktadır. Karoser bölümünde araç üst iskeleti gibi kısımlar araç üstüne vinç düzeneği ile getirilmektedir.

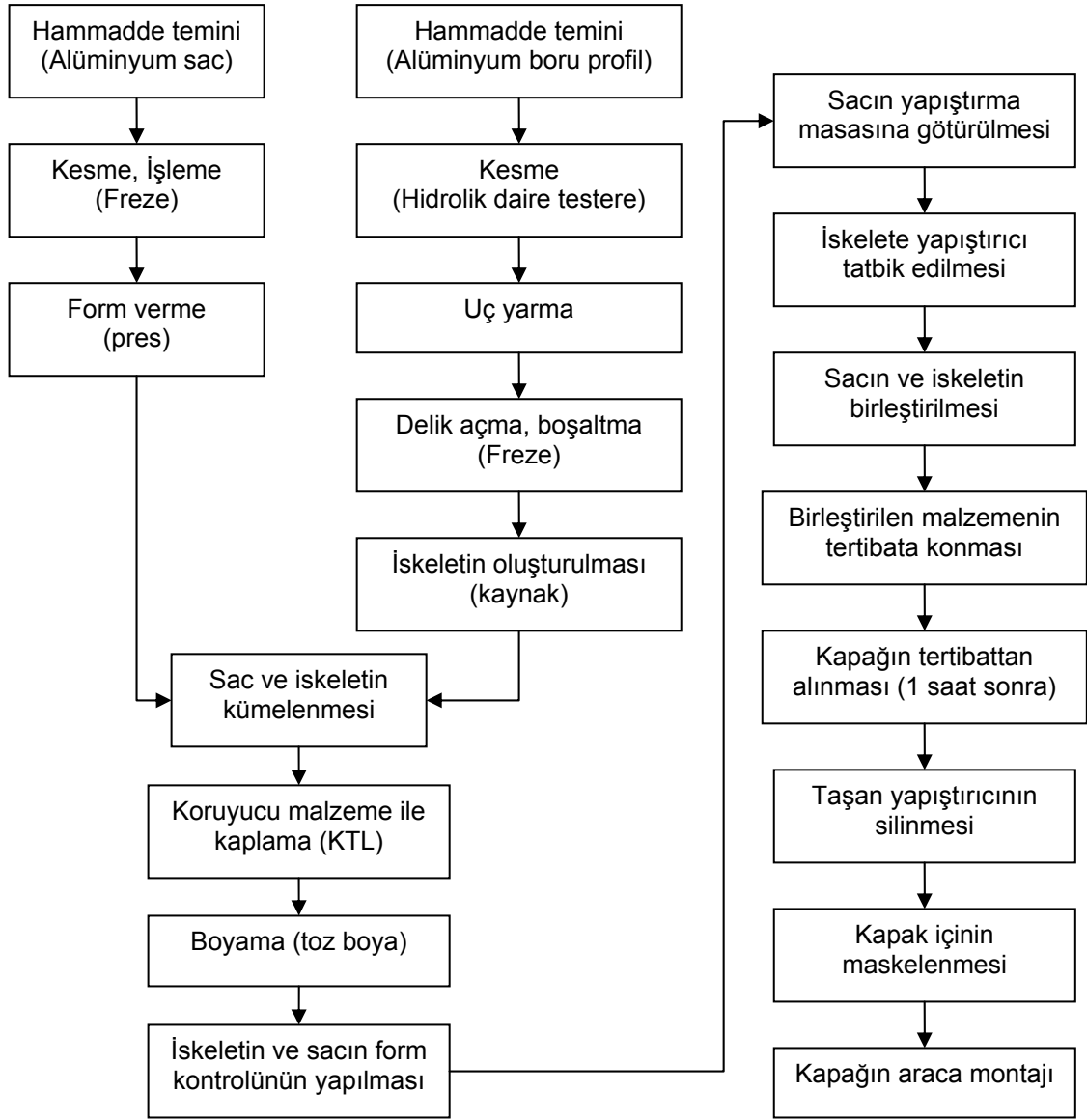
Şasi bandı şehir içi ve şehirlerarası olmak üzere iki ayrı banttandır. Araç imalat bildirisine göre önceden hazırlanan ön, orta, arka alt yapılar birleştirilerek alt yapı oluşturulur. Daha sonraki istasyonlarda şasiye çeşitli parçalar kaynatıldıktan sonra hassas bir şekilde yan duvar formuna göre şasi kol kesimi yapılır. Son kontrol yapıldıktan sonra araç iskelet bandına gönderilir.

İskelet bandında yan duvar, ön ve arka iskeletler birleştirme istasyonunda şasi ile birleştirilir. İş istasyonlarında üst yapıda öngörülen parçalar kaynak yapılır. Kaynak işleminden dolayı meydana gelen kaynak çekmeleri düzeltildikten sonra araç içinde dışında taşlama işlemi yapılarak kaplama bölümüne kaydırılır.

Sac kaplama bandında araca podest, davlumbaz kaynatılır. Kaldırılan araç aşağı ve yukarı hareket ettirilerek yan duvar, tavan, ön ve arka bombe sacları puntolanır. Puntolamadan sonraki istasyonlarda kaporta işlemleri ve aracın son kontrolü yapılarak araç boyahaneye yollanır. Boyahane sonrasında aracın bagaj tabanı yapıştırılır, ön ve arka kaplamalar takılır, arka sağ sol bombe içine poliüretan köpük sıkılır. Kontrollerinin ardından araç "araç boyahanesi"ne yollanır.

Örnek olması için karoser üretiminde yer alan birkaç sürecin ayrıntıları verilmiştir. İlk olarak Şekil 6.4'te gösterilen bagaj kapak imalatı süreci incelenmiştir. Kapak alüminyum sac ve alüminyum boru profilden imal edilmektedir. Bu malzemeler parça imalatı bölümünde ayrı ayrı form verildikten sonra KTL ve boyahane binasının kapak yapıştırma bölümünde birleştirilmektedir.

Alüminyum sac frezede istenilen ölçülere kesilip preste form verildikten sonra KTL'ye gitmek için hazır duruma gelmektedir. Alüminyum boru profiller, hidrolik daire testerede istenilen boyda kesilir. Uç yarma işleminden sonra frezede delik açma ve boşaltma işlemleri gerçekleştirilir. Ardından preste form verilen boru profiller iskeleti oluşturmak üzere kaynak ile birleştirilir.



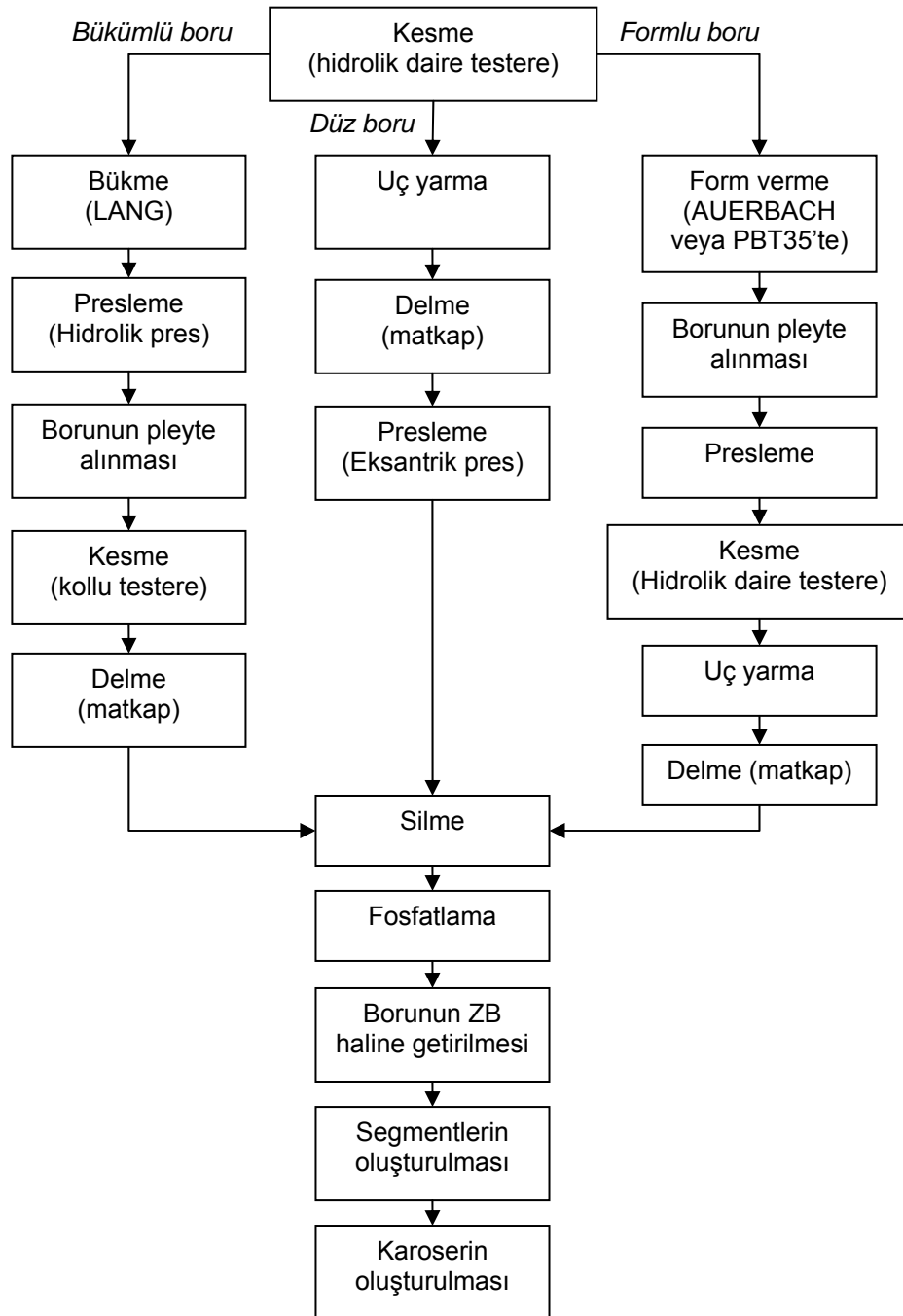
**Şekil 6.4 :** Bagaj kapağı üretim süreci

Alüminyum sac ve boru profiller istenilen şekle getirildikten sonra bir küme haline getirilirler ve sonraki aşamalarda bu şekilde taşınırlar. Parça imalat bölümünde küme haline gelen alüminyum sac ve boru profiller forkliftlerle KTL bölümüne sevk edilmektedirler. Bu bölümde parçalar KTL fırınında KTL ile kaplanmaktadır. Parçaların daha sonra toz boya bölümünde ön boyası gerçekleştirilir. Bu bölümde parçalar yukarıda akan U şeklinde dönen bir askılı sisteme asılır. Parçalar boya kabininden geçerken boya tabancası kullanılarak boyanır. Ardından parçalar fırınlanır ve yapıştırmaya hazır hale gelir.

Kapak kümesi boyandıktan sonra kapak yapıştırma merkezine alınır. Bu bölümde öncelikle iskelet ve sac parçalar kontrol edilir, sonra iskelete yapıştırıcı tatbik edilirken sac parça masaya yerleştirilir ve bir tertibat yardımı ile parçalar birbirlerine

tutturulur. Bir saat boyunca parçalar tertibatta bırakılarak yapışmaları sağlanır. Sonra tertibattan çıkarılan kapaktaki taşan yapıştırıcılar temizlenir. Kapaklar içleri maskelendikten sonra boya öncesinde karosere montajı gerçekleştirilir. Bu aşamadan sonra kapaklar karoser ile birlikte hareket eder.

İkinci olarak karoser üretiminde yer alan boru profillerin akışı incelenmiştir. Şekil 6.5'te karoserin ana malzemelerinden olan borunun akışı gösterilmektedir. Boru hammaddesi dışarıdan tedarik edilerek Kasto boru ambarına istiflenmektedir.



Şekil 6.5 : Karoser üretiminde boru akışı



Bir boru işleneceği zaman testere (CNC veya manüel) tezgâhında çalışan işçi bilgisayara istediği borunun niteliklerini girer. Kasto ile parça istenilen yere gelir ve parçaları tezgâhlara getirmekle görevli işçiler tarafından tezgâha getirir. Hidrolik daire testerede kesilen parçalar üretilmek istenen parçaya göre üç kısma ayrılır.

İşlenecek parça düz boru ise testereden sonra önce uç yarma makinesinden geçer, sonra matkapla ilgili yerlere delik açılır, eksantrik preste preslenir.

İşlenecek parça formlu boru ise AUERBACH veya PBT35 makinelerinden birinde form verilir. Daha sonra hazırlık masasına alınarak preslemeye hazırlanır. Parça preslendikten sonra kontrol masasına alınarak kontrolü yapılır. Kontrol işlemi şablondan ölçülerek yapılır. Formlu boru hidrolik daire testerede kesildikten sonra sırasıyla uç yarma ve delme işlemlerinden geçer.

İşlenecek parça bükümlü boru ise önce LANG makinesinde bükülme işleminden geçer. Hidrolik presle preslendikten sonra kontrol masasında kontrolü yapılır. Daha sonra boru kollu testere ile açılı bir şekilde kesilir. Sonra da matkapla delinir.

Buradan sonra gelen işlemler bütün boru çeşitleri için aynıdır. Yağ silme işlemi gerçekleştirildikten sonra tüm borular fosfatlama ünitesine götürülür. Fosfatlanan borular kuruması için beklemeye bırakılır. Sonra paletler içinde bekleme sahasına konular. Bu borular kaynak yapılarak ZB haline getirilir. ZB haline gelmiş parçalar yine birbirine kaynatılarak kendinden daha büyük olan segmentleri oluşturur. Bu segmentler ise kaynak alanında birleştirilerek karoser oluşumu sağlanır.

İncelenen süreçlerde görülmüştür ki; karoser imalatında birçok hammadde ve ara ürün bulunmaktadır. Mevcut sistemde üretim planlama faaliyetleri karoser üretim planlama bölümünce yürütülmektedir. Stratejik planlama ise Almanya Mercedes ile birlikte yapılmaktadır. Firma içerisinden birçok bölümün katkıda bulunduğu bu çalışma “Controlling” birimi bünyesinde koordine edilmektedir.

## **6.2 Önerilen Modelin Karoser İmalatında Uygulanması**

Bölüm 5’te önerilen ODP modeli MBT Hoşdere tesislerinde üretilen ve Almanya – Mercedes’e satılan “Integro karoser 15/R” kodlu karoser için uygulanmıştır. Bu ürün firmanın ürettiği diğer otobüslerin karoserleri ile benzer süreçte karoser binasında üretilmektedir. Model ile bu ürün için 2009 yılına ait üretim ve tedarik ile ilgili stratejik plan oluşturulmuştur.

### 6.2.1 Model parametrelerinin tespit edilmesi

Modelin uygulanması için firmadan elde edilen veriler ve bilgiler modele uygulanabilir hale getirilmelidir. Bunun için öncelikle ürün, ara ürün ve hammaddelerin belirlenmesi ve ilgili verilerin hazırlanması gerekmektedir. Sonra bu ürünün üretiminde kullanılan kaynaklar belirlenmeli ve bunlarla ilgili parametreler tespit edilmelidir. Son olarak üretimde, hammadde temininde ve talepte karşılaşılan belirsizlikler ortaya konmalı ve uygun şekilde modele aktarılmalıdır.

Firmadan alınan bilgilere göre “Integro karoser 15/R”nin üretiminde toplam 2.178 adet ürün, ara ürün ve hammadde bulunmaktadır. Bunlardan 823 adedi hammadde olarak dışarıdan temin edilmektedir. Dışarıdan temin edilen hammaddelerin büyük kısmını çeşitli ebat, malzeme ve kalitelerdeki sac ve profil borular oluşturmaktadır (toplam hammaddelerin %53’ü sac, %27’si profil borudur). Tüm hammadde ve ara ürünleri içeren ürün ağacı ve hammaddelerin birim maliyetleri firmanın kurumsal kaynak planlama için kullandığı SAP sisteminden temin edilmiştir. SAP sisteminden çekilerek kullanılan dosya EK-B’de verilmiştir. Dışarıya satılan bir ürün (Integro karoser 15/R) olduğu varsayılmıştır. Ayrıca hammaddelerin dışarıdan tedarik edilmesinde herhangi bir kısıt söz konusu değildir. Bu yüzden hammadde dışarıdan tedarik kapasitesi tüm ürünler için büyük bir sayı olarak alınmıştır.

Kaynakların belirlenmesi için firma yetkilileri ile görüşülmüştür. Karoser imalatı emek yoğun bir süreç olduğu için en önemli imalat kaynağı işçiliktir. Bu yüzden modelde “işçilik” ilk kaynak olarak belirlenmiştir. Karoser imalat sürecinde CNC sac kesme tezgâhı, CNC lazer tezgâhı, CNC sac bükme tezgâhı, hidrolik pres, CNC testere tezgâhı, CNC boru bükme tezgâhı, kaynak robotu, kaynak teçhizatı gibi birçok kaynak bulunmaktadır. Bu tezgâhlardan bazıları birbirlerinin yerine kullanılabilir. Bazı ara ürünler sadece bir tezgâhta üretilmektedir. Tüm bunlar değerlendirildiğinde tüm tezgâh ve teçhizatları ayrı ayrı kaynak olarak dikkate almak ilgili parametrelerin tespit edilmesini ve modelin çalıştırılmasını zorlaştıracaktır. Bu yüzden karoser imalatındaki ana üretim süreçleri kaynak olarak göz önüne alınmıştır. Bu yaklaşım modelin önerdiği genel bakışa da ters düşmemektedir.

İşçilik ile birlikte belirlenen ikinci kaynak “boru parça imalat” kaynağıdır. Bu kaynak içerisinde profil boruların form verme, presleme, kesme ve delme işlemleri için kullanılan tezgâhlar yer almaktadır. Üçüncü kaynak olarak “sac parça imalatı”

kaynağı belirlenmiştir. Bu kaynak içerisinde tesiste bulunan sacları kesme, işleme, form verme ve presleme için kullanılan tüm tezgâhlar göz önüne alınmıştır. Dördüncü olarak “kaynak imalatı” kaynak olarak belirlenmiştir. Bu kaynak içerisine kaynak robotu ve kaynak için gerekli teçhizat ve istasyonlar girmektedir.

Kaynak ve ürünlerle ilgili hangi ürünün üretiminde ne kadar kaynak kullandığı verileri SAP sisteminden elde edilmiştir. Kaynaklarla ilgili diğer parametreler firma yetkililerinden alınan bilgiler çerçevesinde oluşturulmuştur. Her bir kaynağın kapasitesini belirlemek üzere o kaynak için kullanılacak tezgâh, işçi veya istasyon sayısı, yıllık çalışma günü sayısı, vardiya süresi ve ilgili ürün için ayrılan kapasite miktarı göz önüne alınmıştır. Örneğin işçilik kapasitesi için karoser imalatındaki toplam işçi sayısı (=650), günlük çalışma saati (=7,5 saat = 450 dakika), 2009 yılı iş günü sayısı (=252) ve firmanın ilgilenilen ürün için ayırdığı kapasite yüzdesi (%6) kullanılarak 4.422.600 işçi\*dakika (650 işçi \* 450 dakika/gün \* 250 gün \* %6) olarak hesaplanmıştır. Diğerleri de benzer şekilde hesaplanırken sac parça ve boru parça imalatı kapasiteleri için bu bölümlerde kullanılan tezgâh sayıları dikkate alınmıştır. Kaynak imalatı kapasitesi için ise kaynak robotu (bir adet) ve kaynak işlemi gerçekleştirilen istasyon sayısı kullanılmıştır. Ayrıca firmada iki vardiyada üretim gerçekleştirildiği için son üç kaynakta günlük kapasite 900 dakika olarak alınmıştır. Tablo 6.2'nin üçüncü sütununda belirlenen kapasiteler verilmiştir.

**Tablo 6.2 : Kaynaklar ile ilgili parametreler**

Kaynak no	Kaynak	Kapasite	Maliyet (€)	Dışarıdan temin etme kapasitesi	Dışarıdan temin etme ek maliyeti
1	İşçilik	4422600	0,216670	2063880	0,1083300
2	Boru parça imalatı	762048	0,022159	76205	0,0110795
3	Sac parça imalatı	394632	0,080577	39463	0,0402885
4	Kaynak imalatı	3129840	0,004029	312984	0,0020145

Firmada maliyetler Avro (€) cinsinden tutulmaktadır. İşçilik maliyeti saat başına yaklaşık 13€'dur. Bu yüzden dakika başına maliyet 0,21667€ olarak belirlenmiştir. Boru parça, sac parça ve kaynak imalatlarındaki tezgahların maliyetlerini bulabilmek için kullandıkları elektrik miktarı, bakım maliyetleri ve amortisman maliyetleri göz önüne alınmıştır. Sonuçta elde edilen bir dakikalık birim maliyetler Tablo 6.2'nin dördüncü sütununda verilmiştir.

Kaynaklar için dışarıdan temin etme kapasiteleri mevcut kapasitelerin fazla mesai veya üçüncü vardiya için kullanımı ile söz konusu olabilmektedir. İşçilik için her işçi günlük 2 saat, haftalık 10 saat fazla mesai yapabilmektedir. Ayrıca vardiya sayısı artırımı gerçekleştirilirse yeni işçiler istihdam etmek gerekecektir. Şirket bir yılın en fazla %20'sinde üçüncü vardiyaya geçebilmektedir. Bu bilgiler kullanılarak işçilik için dışarıdan temin edilebilecek miktar 1.852.200 işçi\*dakika olarak bulunmuştur. Diğer kaynaklar için vardiya artırımı ile elde edilebilecek miktarlar dışarıdan temin edilebilecek miktarlar olarak belirlenmiştir. Böylece iki vardiyalık kapasitenin yarısının %20'si ekstra kapasite olarak hesaplanmıştır. Firmadan alınan bilgilere göre tüm kaynaklar için dışarıdan temin etmenin maliyeti normal maliyetin bir buçuk katıdır. Bu yüzden ek maliyet olarak normal maliyetin yarısı alınmıştır. Kaynakların dıştan temin etme kapasite ve ek maliyetleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Ürün ve kaynaklar ile ilgili parametreler belirlendikten sonra belirsiz parametreler tespit edilmiştir. Önerilen modelde ürünlerin üretim ve dıştan sağlama verim oranları ile talepler belirsiz olarak göz önüne alınabilmektedir. Firmada üretim verim oranları ara ürün bazında elde edilememiştir. Firmada verim oranları son üründe karşılaşılan hatalar cinsinden tutulmaktadır. Alınan bilgilere göre son üründe %3 ile %7 arasında hata tespit edilmektedir. Ayrıca yetkililerle görüşme neticesinde kaynak imalatında daha fazla insan faktörü devreye girdiği için hatalı üretimin bu kısımda daha fazla karşılaşıldığı bilgisi elde edilmiştir. Bununla birlikte sac imalatının boru imalatından daha verimsiz olduğu tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında üretim verim oranlarının sac imalatı, boru imalatı ve kaynak imalatı sonucunda ortaya çıkan ürünler ve bunlar dışında kalan diğer ürünler için ayrı ayrı belirlenmesi kararlaştırılmıştır. Bu ürün grupları için verim oranları toplamda %3 ile %7 arasında bir hataya sebep olacak şekilde Tablo 6.3'teki gibi belirlenmiştir.

**Tablo 6.3 : Üretim verim oranları**

Ürün grubu	Verim oranı kötümser değeri	Verim oranı beklenen değeri	Verim oranı iyimser değeri
Boru imalatında ortaya çıkan ürünler	0,988	0,992	0,995
Sac imalatında ortaya çıkan ürünler	0,982	0,988	0,993
Kaynak imalatında ortaya çıkan ürünler	0,976	0,984	0,990
Diğer ürünler	0,994	0,996	0,997

Dışarıdan tedarik edilen hammaddeler için verim oranı tespit ederken hammaddeler cinslerine göre sınıflandırılmıştır. Tesisin en önemli hammaddeleri olan sac ve boru profiller ve bunlar dışında kalan hammaddeler için verim oranı belirlenmiştir. Firmadan alınan bilgilere göre hammaddelerin kullanılmaması çok fazla rastlanan bir durum değildir. Bununla birlikte sac ve boru hammaddelerin taşınması esnasında korunmamasından kaynaklanan verimsizlikler söz konusu olabilmektedir. Bu durumun sac hammaddelerde borulara göre daha fazla rastlandığı bilgisine göre hammadde verim oranları Tablo 6.4'teki gibi belirlenmiştir.

**Tablo 6.4 : Hammadde (ürün dıştan tedarik) verim oranları**

Ürün grubu	Verim oranı kötümser değeri	Verim oranı beklenen değeri	Verim oranı iyimser değeri
Boru profiller	0,993	0,997	1,000
Saclar	0,990	0,995	1,000
Diğer hammaddeler	0,995	0,998	1,000

Son olarak modelin en önemli girdilerinden birisi olan talepler belirlenmiştir. Talepleri belirlemek için Bölüm 5.1.'de verilen talep tahmini birleştirme yönteminden faydalanılmıştır.

İncelenen karoser firmada iki yıldır üretilmektedir ve daha önceden üretimi gerçekleştirilmediği için iki yıllık veriler ile 2008 yılının planlanan üretim verisi mevcuttur. Satış miktarları 2006 yılı (Mart ayından itibaren satış başlamıştır) içerisinde 112 adet, 2007 yılında ise 164 adet olarak gerçekleşmiştir. 2008 yılı içerisinde ise 180 adet üretilmesi planlanmıştır. Üç adet veri kullanarak anlamlı bir istatistiksel sonuç elde etmek mümkün değildir. Yine de basit bir doğrusal eğilim eğrisi ile bir tahmin üretilmiştir. 2006 yılı üretimi 12 aylık olarak düşünülerek 134,4 adet alınırsa 2009 yılı için talep miktarının beklenen değeri 202,8 adet olarak hesaplanabilir. En kötümser ve en iyimser değerler için satışların 2008 yılındakiyle aynı olacağı ve artışın önceki eğilime göre 2 kat fazla olacağı varsayılmıştır. Buna göre en kötümser tahmin 180 adet, en iyimser tahmin ise 225,6 adet olarak tespit edilmiştir. İlgili ÜBS,  $\tilde{T}_1=(180; 202,8; 225,6)$  olarak belirlenmiştir.

Daha sonra firma uzmanları ile görüşülerek tahminleri kötümser, beklenen ve iyimser olarak belirtmeleri istenmiştir. Tablo 6.5'te görüşmeler neticesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir.

**Tablo 6.5 : İlgilenilen karoser için talep tahminleri**

Tahmin kaynağı	Tahmin no	Kötümser talep tahmini	Beklenen talep tahmini	İyimser Talep tahmin	Tahmin ağırlığı
İstatistiki veri	1	180	202,8	225,6	0,363
Üretim planlama uzmanı (Otobüs)	2	180	190	210	0,239
Üretim planlama uzmanı (Karoser)	3	180	185	200	0,159
Pazarlama uzmanı	4	170	190	200	0,239

Belirlenen tahminleri birleştirmek için öncelikle tahminler ÜBS ile temsil edilmiştir. Daha sonra bulanık entropi tanımından yararlanılarak her tahmin için bir ağırlık hesaplanmıştır. Örneğin istatistiksel veri için ağırlık aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$w_1 = \frac{(T_1^y - T_1^k)}{\sum_{k=1}^4 (T_k^y - T_k^k)} = \frac{225,6 - 180}{(225,6 - 180) + (210 - 180) + (200 - 180) + (200 - 170)} = 0,363$$

Diğer tahminler için de benzer hesaplamalarla elde edilen ağırlık değerleri Tablo 6.5'in son sütununda verilmiştir.

Son olarak tahminler ve ağırlıkları kullanılarak tek bir talep tahmini hesaplanmıştır. Örneğin birleştirilmiş tahminin kötümser değeri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$T^k = 180 * 0,363 + 180 * 0,239 + 180 * 0,159 + 170 * 0,239 = 177,6$$

Beklenen ve iyimser değerlerin de benzer şekilde hesaplanması ile ürünün talep tahmini  $\tilde{T} = (177,6; 193,9; 211,7)$  olarak oluşturulmuştur.

### 6.2.2 Olabilirsal doğrusal programlama modelinin kurulması

Model için gerekli olan parametreler belirlendikten sonra ODP modeli kurulmuştur. MBT için uygulanan model Bölüm 5.2'de önerilen model ile hemen hemen aynı olmakla birlikte amaç fonksiyonunun oluşturulmasında küçük bir değişikliğe gidilmiştir.

Önerilen model kâr enbüyükleme olduğu için ürünün üretiminde karşılaşılan tüm maliyetlerin modele eklenmesi gerekmektedir. Parametreler belirlenirken değinildiği gibi dışarıdan tedarik (hammadde) maliyetleri tam olarak tespit edilmekle birlikte kaynak maliyetlerinin tümü belirlenememiştir. Şöyle ki; modelde “işçilik”, “boru imalatı”, “sac imalatı” ve “kaynak imalatı” gibi maliyetlerin büyük bir kısmını oluşturan kaynaklar göz önüne alınmıştır. Bunlarla birlikte ilgili ürünün üretiminde kapasite olarak herhangi bir sorun yaratmayacak olan diğer kaynaklar ile ilgili

maliyetler ve genel giderler modele dâhil edilememiştir. Fakat modelin gerçeği yansıtabilmesi için bu maliyetlerinin de hesaba katılması gerekir.

Modelde dikkate alınmayan kaynakların ve genel giderlerin maliyet olarak modele eklenmesi için firmada kullanılan maliyet belirleme yaklaşımından yararlanılmıştır. Firmada maliyetler, hammadde ve işçilik maliyetleri üzerinden hesaplanmaktadır. Bir ürünün maliyetini bulabilmek için öncelikle o ürün için harcanan işçilik saatine göre işçilik maliyeti ve hammadde maliyeti belirlenmektedir. Daha sonra bunlardan oluşan toplam maliyetin belli bir yüzdesi diğer maliyetler olarak ilave edilmektedir. Eklenecek yüzde miktarı bir önceki yıl gerçekleşen maliyetlere göre tespit edilmektedir. 2007 yılı maliyetlerinden ortaya çıkan ve firma ile görüşmeler esnasında 2008 yılı hesaplamalarında kullanılan ek maliyet yüzdesi %4'tür.

Önerilen ODP modelinde firmanın kullandığı yüzde miktarını doğrudan uygulamak doğru değildir. Çünkü modelde bu yüzdenin içersinde yer alan temel kaynakların maliyetleri yer almaktadır. Bu yüzden tüm ilave maliyetlerin ve modelde kullanılan maliyetlerin dikkate alınması ile hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve modelde dikkate alınan kaynak maliyetlerinin toplam işçilik ve hammadde maliyetlerinin yaklaşık %1,6 olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta diğer maliyetler için %4'ten geriye kalan miktar olan %2,4 oranının kullanılması kararlaştırılmıştır.

Model amaç fonksiyonunu yeniden düzenlemek üzere teorik modelde yer alan “Ürünün dışarıdan tedarik maliyeti”, “Kaynağı dıştan sağlama ilave maliyeti” ve “Kaynak kullanım maliyeti”ne ek olarak “diğer maliyetler” eklenmiştir. Diğer maliyetlerinin değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Diğer maliyetler} = 0,024 * \left[ \sum_{p \in P} (DM_p \otimes \tilde{D}_p) + \left( KM_r \otimes \sum_{p \in P} (\tilde{U}_p \otimes KK_{pr}) \right) + (\tilde{D}K_r \otimes DKM_r) \right] \quad (6.1)$$

Burada hammadde ve işçilik maliyetinin %2,4'ü diğer maliyetler olarak amaç fonksiyonuna ilave edilmiştir. Parantez içindeki ilk ifade hammadde maliyetidir. İkinci ifade işçilik kaynağının kullanım maliyetidir ( $r$ , işçilik kaynağı ile ilgili kaynak indis numarasına eşit olacaktır). Üçüncü ifade ise işçilik kaynağının dışarıdan tedarik ek maliyetidir.

Önerilen ODP, modelin MBT'de uygulanmasında “diğer maliyetler”in ilave edilmesi dışında aynı şekilde kullanılmıştır. Modeli çözmek için önce iyimser ve kötümser kâr

değerleri bulunmuştur. Daha sonra karar değişkenleri için en büyük bulanıklık seviyesi tespit edilmiş ve model DP modeline dönüştürülerek çözülmüştür.

### 6.2.3 İyimser ve kötümser kâr değerlerinin bulunması

İyimser ve kötümser kâr değerlerini bulabilmek için Bölüm 5’te önerilen DP – 1 kullanılmıştır. DP – 1’de tüm karar değişkenleri kesin değerler ile ifade edilmiş ve parametre değerleri iyimser ve kötümser durumlar için ayrı ayrı belirlenmiştir.

İyimser kârı bulabilmek için verim oranlarının en üst seviyede ve talebin en büyük olacağı varsayılmıştır. Belirlenen parametre değerleri Tablo 6.6’da verilmiştir.

**Tablo 6.6 :** İyimser kâr için belirlenen parametreler

Parametre		Parametre iyimser değeri
Üretim verim oranı parametreleri	Boru imalatında ortaya çıkan ürünler	0,995
	Sac imalatında ortaya çıkan ürünler	0,993
	Kaynak imalatında ortaya çıkan ürünler	0,990
	Diğer ürünler	0,997
Dışarıdan tedarik verim oranı parametreleri	Boru profiller	1,000
	Saclar	1,000
	Diğer hammaddeler	1,000
Talep (ilgili ürün için)		211,7

Tablo 6.6’da verilen parametreler ile olabirsel modelde kesin olarak bilinen ürün ağacı matrisi, ürünün dışarıdan tedarik etme maliyetleri, ürünlerin kaynak kullanım miktarı, kaynak kapasitesi ve kullanım birim maliyeti, kaynak dışarıdan tedarik kapasitesi ve ek maliyeti ve ürünün dışarıdan tedarik kapasitesi parametreleri kullanılarak DP-1 GAMS modelleme platformunda CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. EK-C’de Şekil C.1’de kullanılan GAMS kodları verilmiştir.

DP-1’in iyimser parametrelere göre çözümü sonucunda kâr 788.024 € olarak oluşmuştur. İlgili ürünün satış miktarı 209,294 olmuştur ve tüm talepler (211,7) karşılanmamıştır. Bunun nedeni boru imalat kaynağının kapasitesinin yeterli olmamasıdır. Kaynak kullanımları incelendiğinde boru imalat kaynağının hem mevcut hem de dışarıdan tedarik kapasitesi tamamıyla kullanılırken, sac imalat kaynağının mevcut kapasitesinin tamamı ile dışarıdan tedarik kapasitesinin bir kısmı üretimi gerçekleştirmek için harcanmıştır. Böylece iyimser kâr değeri  $\bar{Z}_1 = 788.024$  olarak belirlenmiştir.



Kötümser kârı bulabilmek için verim oranlarının en alt seviyede ve talebin en küçük muhtemel değerinde olacağı varsayılmıştır. Buna göre belirlenen parametre değerleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

**Tablo 6.7 :** Kötümser kâr için belirlenen parametreler

Parametre		Parametre kötümser değeri
Üretim verim oranı parametreleri	Boru imalatında ortaya çıkan ürünler	0,988
	Sac imalatında ortaya çıkan ürünler	0,982
	Kaynak imalatında ortaya çıkan ürünler	0,976
	Diğer ürünler	0,994
Dışarıdan tedarik verim oranı parametreleri	Boru profiller	0,993
	Saclar	0,990
	Diğer hammaddeler	0,995
Talep (ilgili ürün için)		177,6

DP-1 kötümser parametrelere göre yeniden düzenlenerek GAMS üzerinde CPLEX ile tekrar çözüldüğünde kâr 565.761 € şeklinde oluşmuştur (modelin GAMS kodları EK-C’de Şekil C.2’de verilmiştir. İlgili ürünün satış miktarı talep miktarına eşit (=177,6) olarak bulunmuştur ve tüm kaynakların mevcut miktarı üretimi gerçekleştirmek için yeterli düzeydedir. Böylece kötümser kâr değeri  $\underline{Z}_1 = 565.761$  olarak belirlenmiştir.

Buradan elde edilen sonuçlara göre ilk amaç fonksiyonu olan kârın normalize değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{\overline{Z}_1^M - \underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 - \underline{Z}_1} = \frac{Z_1^M - 565761}{788024 - 565761} = \frac{Z_1^M - 565761}{222263} \quad (6.2)$$

İkinci amaç olan kârdaki bulanıklık değerinin normalizasyonu için ise aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\frac{(\overline{Z}_1 - \underline{Z}_1) - (Z_1^R - Z_1^L)}{\underline{Z}_1 - \underline{Z}_1} = \frac{222263 - (Z_1^R - Z_1^L)}{222263} \quad (6.3)$$

Böylece ODP’nin DP’ye dönüştürülmesinde ilk iki amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Üçüncü amacı netleştirmek için karar değişkenleri için en büyük bulanıklık seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

#### 6.2.4 Karar değişkenleri için en büyük bulanıklık seviyesinin bulunması

Önerilen ODP modelinde üçüncü amaç olarak enküçüklenecek olan “karar değişkenlerinin bulanıklığı”nı normalize edebilmek için her karar değişkeni için en büyük bulanıklık seviyesi belirlenmelidir. Önerilen çözüm yaklaşımında en büyük bulanıklık seviyesi DP-2 ile hesaplanmaktadır.

MBT için kurulan model incelendiğinde toplam 2.185 adet karar değişkeninin sıfırdan farklı bir değer alabileceği saptanmıştır. Bu yüzden DP-2'nin her karar değişkenini en büyük ve en küçük alabileceği değerleri bulmak üzere  $2185 \times 2 = 4370$  kere çalıştırılması gerekmiştir. GAMS platformunda yazılan döngüsel bir algoritma ile çözüme kolayca ulaşılmıştır. EK-C'de Şekil C.3'te DP-2'yi çözmek için kullanılan GAMS kodları görülebilir.

Tablo 6.8'de seçilmiş ürünler için ilgili karar değişkenlerinin en büyük bulanıklık seviyeleri verilmiştir. Firmanın stratejisi gereği ürünler ya içeride üretilmektedir ya da dışarıdan tedarik edilmektedir. Bu yüzden her ürün ile ilgili üretim ( $U_p$ ) veya tedarik ( $D_p$ ) değerlerinden bir tanesinde bulanıklık söz konusu olmaktadır. Dışarıya satılan bir ürün olduğu için sadece bu ürün için satış miktarı değeri söz konusu olmuştur.

**Tablo 6.8 :** Seçilmiş ürünler için ilgili karar değişkenlerinin en büyük bulanıklık seviyeleri

Ürün kodu (p)	Üretim miktarı ( $U_p$ )			Tedarik miktarı ( $D_p$ )			Satış miktarı ( $S_p$ )		
	Enb	Enk	En büyük bulanıklık	Enb	Enk	En büyük bulanıklık	Enb	Enk	En büyük bulanıklık
0 (satılan ürün)	211,4	151,6	59,8	-	-	-	209,3	150,0	59,3
2	-	-	-	503,2	352,1	151,1	-	-	-
28	220,6	154,2	66,4	-	-	-	-	-	-
49	-	-	-	21,8	15,3	6,5	-	-	-
124	680,5	468,8	211,7	-	-	-	-	-	-
319	2726,5	1880,8	845,7	-	-	-	-	-	-
647	-	-	-	1648,2	1124,4	523,8	-	-	-
805	451,0	311,5	139,5	-	-	-	-	-	-
1292	-	-	-	396,4	274,4	122,0	-	-	-
1944	-	-	-	1390,7	975,1	415,6	-	-	-
1946	5197,8	3581,8	1616,0	-	-	-	-	-	-
2655	-	-	-	292,1	199,3	92,8	-	-	-
2699	227,3	156,2	71,1	-	-	-	-	-	-
2930	462,7	314,6	148,1	-	-	-	-	-	-
3040	-	-	-	143,2	100,3	42,9	-	-	-
3104	226,0	155,7	70,3	-	-	-	-	-	-

Dışarıdan sağlanan kaynaklar ile ilgili en büyük bulanıklık seviyeleri Tablo 6.9’da verilmiştir. Bu değerlere göre tüm kaynaklar için dışarıdan kaynak tedarik etmeden istenen üretimin gerçekleşmesi mümkün olabilecektir. Kaynakların en büyük olabilir değerleri incelendiğinde işçilik dışındaki kaynaklar için kapasiteler üst sınırlar olarak ortaya çıkmıştır. İşçilik için belirlenen üretim ve diğer parametrelere göre dışarıdan tedarik miktarının 2.003.636 adam\*saat’in üzerinde çıkması mümkün görünmemektedir.

**Tablo 6.9 :** Dışarıdan sağlanan kaynak miktarı karar değişkeni için en büyük bulanıklık seviyeleri

Kaynak kodu (r) ve açıklaması	Dışarıdan sağlanan kaynak miktarı (DK <sub>r</sub> )		
	Enb	Enk	En büyük bulanıklık
1 (işçilik)	2033255	0	2003636
2 (boru parça imalatı)	76205	0	76205
3 (sac parça imalatı)	39463	0	39463
4 (kaynak imalatı)	312984	0	312984

Bu bölümde karar değişkenleri için belirlenen bulanıklık seviyeleri sayesinde olabilsel modelin üçüncü amacı normalize edilebilir bir hale gelmiştir. Sonraki bölümde ODP modeli çözülmüştür.

### 6.2.5 Olabilsel doğrusal programlama modelinin çözülmesi

Uygulama için kurulan ODP ilk önce Bölüm 5’te önerilen DP-3 ile çözülmüştür. GAMS yazılımı ile çözülen modelin kodları EK-C, Şekil C.4’te görülebilir. DP-3’te amaç fonksiyonu (Z) üç ayrı amacın ağırlıklar yardımı ile birleşmesi ile bulunur. Birleştirilen amaçlardan ilki kârı enbüyüklemektir (A1). İkincisi kârdaki belirsizliği enküçüklerken (A2), üçüncüsü karar değişkenlerindeki belirsizliği enküçüklemektedir (A3). Çözümde önceden ağırlık belirlemek yerine farklı ağırlık seçenekleri için çözümler üretilmiş ve sonuçlar tablolar halinde hazırlanmıştır.

Amaçlara farklı ağırlık verilerek elde edilen kâr değerleri Tablo 6.10’da verilmiştir. Ağırlıkların toplamı 1’e eşit olacağından  $w_1$  ve  $w_2$  belirlendiğinde  $w_3 = 1-w_1-w_2$  şeklinde ortaya çıkmaktadır. Tablo 6.10’daki sonuçlara göre  $w_2 \geq w_1$  olduğunda kârdaki belirsizlik ortadan kalkmakta ve ikinci amacın değeri 1’e eşit çıkmaktadır. Bu durumlarda ÜBS ile ifade edilen kârın her üç kritik değeri Bölüm 6.2.3’te hesaplanan kötümser kâra (565.761) yaklaşık olarak eşit olmaktadır.  $w_1, w_2$ ’den daha büyük değerler aldığı anda ise iyimser ve beklenen kâr artarken kötümser kâr azalmaktadır. Örneğin  $w_1=0,5$ ;  $w_2=0,1$  ve  $w_3 = 0,4$  olduğunda iyimser kâr

682.806'ya; beklenen kâr 675.338'e çıkmış, kötümser kâr ise 460.543'e düşmüştür. Diğer sonuçlarla birlikte değerlendirildiğinde  $w_1$ 'in artması ile ortaya çıkan iyimser ve beklenen kârlardaki artış, kötümser kârdaki azalmadan daha yüksektir.

**Tablo 6.10 : Farklı ağırlıklara göre çözümler (üçgen bulanık sayı olarak)**

$w_1 \backslash w_2$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<b>0</b>	526388; 565761; 565761	564172; 565761; 565761	564172; 565761; 565761	564172; 565761; 565761	564172; 565761; 565761	565761; 565761; 565761	564174; 565761; 565761	564175; 565761; 565761	564175; 565761; 565761	564175; 565761; 565761	564175; 565761; 565761
<b>0,1</b>	509977; 651283; 656688	564167; 565761; 565766	564167; 565761; 565766	564172; 565761; 565761	564172; 565761; 565761	565761; 565761; 565761	564174; 565761; 565761	564175; 565761; 565761	564175; 565761; 565761	564175; 565761; 565761	
<b>0,2</b>	504653; 654268; 660795	558341; 632619; 634809	565758; 565761; 565765	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762		
<b>0,3</b>	459040; 674835; 681303	541471; 646712; 651081	561318; 627364; 628835	565758; 565761; 565765	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762			
<b>0,4</b>	467448; 673268; 689711	521252; 656204; 662539	557306; 634405; 636928	564667; 616682; 617252	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762	565762; 565762; 565762				
<b>0,5</b>	460479; 675319; 682742	460543; 675338; 682806	551838; 640262; 643848	561070; 628211; 629887	565060; 614358; 614731	565765; 609613; 609613					
<b>0,6</b>	461169; 675508; 683432	461184; 675511; 683447	538597; 649296; 654624	557440; 634539; 637194	561422; 627468; 629015						
<b>0,7</b>	461331; 675559; 683594	461350; 675565; 683613	533002; 652354; 658841	552008; 640430; 644249							
<b>0,8</b>	461526; 675616; 683789	461553; 675619; 683816	516680; 658720; 666335								
<b>0,9</b>	467365; 673994; 689628	467414; 673999; 689677									
<b>1,0</b>	461879; 675591; 684142										

DP-3 sonuçları amaçların aldığı değerlere göre de incelenmiştir. Tablo 6.11'de DP-3'ün amaç fonksiyonu ile bu amacı oluşturan amaçların farklı ağırlık kümelerine göre aldıkları değerler verilmiştir. Bu sonuçlara göre ilk amacın değeri 0 ile 0,494 arasında değişmektedir. Kâr değerinin beklenen değeri hiçbir zaman en iyimser kâra ulaşamamıştır. Beklenen kâr değerinin tüm parametrelerin beklenen değerlerine göre hesaplandığı düşünülürse bu mantıklı bir sonuçtur.

İkinci amaç (kârdaki belirsizlik) 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu amacın ağırlığının ilk amacın ağırlığından büyük olduğu durumlarda amaç değeri 1'e eşitlenmiş ve kârdaki belirsizlik yok olmuştur. Ama amaç değerinin tüm uç noktaları en kötümser kâr değeri olan 565.761'e eşit olmaktadır. Bu sonuca göre kârda belirsizlik istemeyen bir karar vericiye en kötümser duruma göre planlama yapması önerilmektedir.

**Tablo 6.11 : Farklı ağırlıklara göre amaç değerleri**

w1\w2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0	Z	1	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995	0,994	0,994	0,993
	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0,823	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
	A3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,1	Z	0,937	0,899	0,899	0,898	0,897	0,896	0,896	0,895	0,894	0,894	
	A1	0,385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	A2	0,34	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	
	A3	0,998	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0,2	Z	0,877	0,825	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800		
	A1	0,398	0,301	0	0	0	0	0	0	0		
	A2	0,297	0,656	1	1	1	1	1	1	1		
	A3	0,997	0,999	1	1	1	1	1	1	1		
0,3	Z	0,845	0,758	0,722	0,700	0,700	0,700	0,700				
	A1	0,491	0,364	0,277	0	0	0	0				
	A2	0	0,507	0,696	1	1	1	1				
	A3	0,996	0,997	0,999	1	1	1	1				
0,4	Z	0,786	0,697	0,651	0,621	0,600	0,600	0,600				
	A1	0,484	0,407	0,309	0,229	0	0	0				
	A2	0	0,364	0,642	0,763	1	1	1				
	A3	0,996	0,996	0,998	1	1	1	1				
0,5	Z	0,744	0,644	0,584	0,547	0,520	0,500					
	A1	0,493	0,493	0,335	0,281	0,219	0,197					
	A2	0	0	0,586	0,690	0,777	0,803					
	A3	0,995	0,995	0,997	0,999	1	1					
0,6	Z	0,694	0,594	0,520	0,478	0,445						
	A1	0,494	0,494	0,376	0,309	0,278						
	A2	0	0	0,478	0,641	0,696						
	A3	0,994	0,993	0,995	0,998	0,999						
0,7	Z	0,644	0,544	0,459	0,411							
	A1	0,494	0,494	0,390	0,336							
	A2	0	0	0,434	0,585							
	A3	0,993	0,993	0,994	0,996							
0,8	Z	0,594	0,495	0,400								
	A1	0,494	0,494	0,418								
	A2	0	0	0,327								
	A3	0,992	0,992	0,992								
0,9	Z	0,536	0,438									
	A1	0,487	0,487									
	A2	0	0									
	A3	0,979	0,979									
1,0	Z	0,494										
	A1	0,494										
	A2	0										
	A3	0,988										

Üçüncü amaç (karar değişkenlerindeki belirsizlik) değeri 0,988 ile 1 arasında değişmektedir. Buna göre karar değişkenlerinde çok fazla belirsizlik ile karşılaşmadığı sonucuna varılabilir. Karar değişkenlerinde fazla belirsizlik olmamasına rağmen kârda belirsizlik olmasının nedeni belirsiz parametrelerdir. Diğer yandan uygulamada belirlenen verim oranlarındaki belirsizlikler düşük olduğu için üretim ve tedarik ile ilgili karar değişkenlerindeki belirsizlik de çok yüksek çıkmamıştır. Modele göre kârı enbüyükleme için karar değişkenlerinin belirsiz olması zorunlu değildir.

Son olarak model sonuçları karar vericiye sunulmalı ve hangi ağırlık kümesinin seçileceğini karar verici belirlemelidir. Eğer karar verici riskten kaçan bir yaklaşım

gösteriyor ve kârdaki belirsizliği daha önemli görüyor ise planlama için  $w_2 \geq w_1$  olan herhangi bir modelin sonucu önerilebilir. Eğer karar verici risk almaya yatkın ise  $w_1 \geq 0,5$  ve  $w_1 > w_2$  olarak alınmalı ve riske yatkınlığı arttıkça  $w_1$  değeri arttırılmalıdır.

Uygulamada karar verici DP-3 sonuçlarına göre karar veremediği için DP-4 kullanılarak tek bir sonuç üretilmiştir. DP-4'ü çözmek için kullanılan GAMS kodları EK-C'de Şekil C.5'te verilmiştir.

DP-4 ile amaç değerlerinin en küçüğünü enbüyüklenmek istenir. DP-4 sonuçlarına göre kâr (527968, 654528, 661464) şeklinde belirlenmiştir. Bu sonuca göre kârın beklenen değeri 654.538€ olacaktır. En kötümser ve en iyimser kâr değerleri ise 527.968€ ve 661.464 €'dur. İlk iki amaç olan kâr ve kârdaki belirsizlik değerleri 0,399 iken üçüncü amaç olan karar değişkenlerindeki belirsizliğin değeri 0,992'dir.

DP-4 sonuçlarına göre ilgili ürünün satış miktarları (177,600; 186,037; 186,037) olarak planlanmıştır. Tablo 6.12'de verilen sonuçlara göre kaynakların mevcut kapasiteleri belirlenen üretim için yeterlidir. Beklenen değerlere göre işçilik kaynağının %86,27'si, boru imalat kaynağının %99,94'ü, sac imalat kaynağının %92,86'sı ve kaynak imalat kaynağının %81,12'si kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi boru imalatı dışındaki kaynakların hiç birinin tamamı kullanılmamaktadır.

**Tablo 6.12 : DP-4 çözümüne göre kaynak kullanımları**

Kaynak	Mevcut Kapasite	Kaynak kullanımı kötümser değeri	Kaynak kullanımı beklenen değeri	Kaynak kullanımı iyimser değeri
İşçilik	4422600	3785198 (%85,59)	3815365 (%86,27)	3815371 (%86,27)
Boru imalatı	762048	759363 (%99,65)	761567 (%99,94)	761567 (%99,94)
Sac imalatı	394632	365400 (%92,59)	366461 (%92,86)	366461 (%92,86)
Kaynak imalatı	3129840	2512592 (%80,28)	2539049 (%81,12)	2539055 (%81,12)

DP-4 çözümünde ortaya çıkan ürünlerin üretim ve dışarıdan tedarik miktarları ile ilgili karar değişkenlerinin ( $U_p$  ve  $D_p$ ) değerleri EK-D'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre dışarıdan tedarik miktarlarında belirsizlik ile karşılaşılmamıştır (bu ürünlerin dışarıdan tedarik miktarlarını oluşturan ÜBS'lerin üç kritik değeri birbirlerine eşit çıkmıştır). Üretim miktarlarında ise üretimi yapılan ürünlerin %66'sında belirsiz kararlar verilmiştir. Bu karar değişkenlerinde belirsizlik oranları %0 ile %12 arasında değişmektedir.

DP - 4 sonuçlarına göre gelir maliyet analizi yapıldığında kar gelirin yaklaşık yüzde %20'sini teşkil etmektedir. Maliyet kalemlerine bakıldığında en fazla maliyeti ürünün dışarıdan tedarik (hammadde) maliyeti oluşturmaktadır (yaklaşık %56).

Diğer yandan kaynak kullanım maliyeti toplam maliyetin yaklaşık %41'idir. Diğer maliyetler ise toplam maliyetin %2'sini oluşturmaktadır. Dışarıdan kaynak sağlanmadığı için kaynak dıştan sağlama maliyeti mevcut değildir.

**Tablo 6.13 : DP-4 çözümüne göre gelir ve maliyetler**

	<b>Kötümser değer</b>	<b>Beklenen değer</b>	<b>İyimser değer</b>
<b>Gelir</b>	2.664.000	2.790.561	2.790.561
<b>Toplam maliyet</b>	2.129.098	2.136.033	2.136.033
Ürünün dışarıdan tedarik maliyeti	1.203.987 (%56,55)*	1.203.987 (%56,37)*	1.203.987 (%56,37)*
Kaynak kullanım maliyeti	876.532 (%41,17)*	883.310 (%41,35)*	883.310 (%41,35)*
Kaynak dıştan sağlama ilave maliyeti	0 (%0)*	0 (%0)*	0 (%0)*
Diğer maliyetler	48.579 (%2,28)*	48.736 (%2,28)*	48.736 (%2,28)*
<b>Kâr</b>	527.968	654.528	661.464

\*Parantez içerisinde maliyetlerin toplam maliyetteki yüzdeleri verilmiştir.

Bu bölümde MBT'nin karoser imalatı için önerilen ODP modeli mevcut durum için çözülmüştür. Sonraki bölümde model parametrelerinin değişimine karşı modelin nasıl tepki verdiği incelenerek modelin tutarlılığı saptanmıştır.

### 6.2.6 Modelin tutarlılığının test edilmesi

Önerilen modelin ve çözüm yordamının tutarlı sonuçlar verdiğini test edebilmek için çeşitli deneyler tasarlanmıştır. Deneylerin amacı parametrelerde meydana gelen değişikliklere modelin nasıl tepki verdiğini test etmektir. Bu amaçla bir düzine deney tasarlanmıştır. Açıklamaları ve uygulama şekilleri Tablo 6.14'te verilen deneylerden ilk yedisinde bulanık parametrelerdeki değişim incelenirken, diğer beş deneyde kesin parametrelerdeki değişimin model sonuçlarına etkisi gözlenmiştir.

Deneylerde ilgili parametreler değiştirilerek DP-1, DP-2 ve DP-4 modelleri çözülmüş ve bu modellerin sonuçlarının tutarlı olup olmadığı değerlendirilmiştir. Sonuçları karşılaştırmak için DP-1'den elde edilen iyimser ve kötümser kâr değerleri kullanılmıştır. Bunun yanında en büyük bulanıklık seviyelerini karşılaştırmak için DP-2'den elde edilen üretim ve dıştan tedarik miktarları kullanılmıştır. Tüm ürünler için bu değerleri karşılaştırmak için orijinal problemdeki toplam en büyük bulanıklık miktarı 100 kabul edilmiş ve deneylerin toplam en büyük bulanıklıkları orijinal probleme göre göreceli olarak değerlendirilmiştir. DP-4 sonuçlarından ise ÜBS

olarak elde edilen kâr ve satışı gerçekleştirilen ürün miktarı ile DP-4'ün amaç değeri ve diğer üç amacın değerleri karşılaştırma için incelenmiştir.

**Tablo 6.14 : Deney planı**

<b>Deney no</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Uygulama şekli</b>
Deney 1	Verimlilik oranlarının düşürülmesi	ÜBS ile gösterilen verimlilik oranlarının her üç kritik noktası %1 düşürülmüştür.
Deney 2	Verimlilik oranlarının bulanıklığının artırılması	ÜBS ile gösterilen verimlilik oranlarının kötümser değerleri %1 azaltılmış, beklenen değerleri değiştirilmemiş ve iyimser değerleri %100'e eşitlenmiştir.
Deney 3	Verimlilik oranlarının bulanıklığının kaldırılması	ÜBS ile gösterilen verimlilik oranlarının her üç kritik noktası beklenen değere eşitlenmiştir.
Deney 4	Talebin düşürülmesi	ÜBS ile gösterilen talebin her üç kritik noktası %10 düşürülmüştür.
Deney 5	Talebin artırılması	ÜBS ile gösterilen talebin her üç kritik noktası %10 artırılmıştır.
Deney 6	Talepteki belirsizliğin artırılması	ÜBS ile gösterilen talebin kötümser değeri %10 azaltılmış, beklenen değeri değiştirilmemiş ve iyimser değeri %10 artırılmıştır.
Deney 7	Talepteki belirsizliğin kaldırılması	ÜBS ile gösterilen talep değerinin üç kritik noktası beklenen değere eşitlenmiştir.
Deney 8	Ürün satış fiyatı düşmesi	Ürün fiyatı %20 düşürülmüştür.
Deney 9	Kaynak maliyetlerin artırılması	Kaynak birim kullanım maliyetleri %20 artırılmıştır.
Deney 10	Hammadde maliyetlerinin artırılması	Hammadde dışarıdan tedarik maliyetleri %20 artırılmıştır.
Deney 11	Tüm maliyetlerin azaltılması	Kaynak birim kullanım maliyetleri ve hammadde dışarıdan tedarik maliyetleri %10 azaltılmıştır.
Deney 12	Kaynak kapasitesinin artırılması	Kaynak dışarıdan tedarik kapasitesi iki katına çıkarılmıştır.

İlk üç deneyde bulanık olarak varsayılan verimlilik oranları değiştirilerek model çözümleri oluşturulmuştur. İlk deneyde verimlilik oranlarındaki azalmanın çözüme etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ÜBS olarak gösterilen verimlilik oranlarının her üç kritik noktası %1 düşürülerek Tablo 6.15'te "Deney 1" satırlarında verilen verimlilik oranları kullanılmıştır.

İlk deneyde varsayılan parametreler ile kârın iyimser ve kötümser değerlerini bulmak için geliştirilen DP-1, karar değişkenlerinin en büyük bulanıklık seviyelerini belirlemek için kullanılan DP-2 ve olabirsel modeli çözmek için önerilen DP-4 modelleri çözüldüğünde elde edilen sonuçlar Tablo 6.16'da verilmiştir. Deneyde elde edilen sonuçlar ile orijinal problem karşılaştırıldığında DP-1 sonuçlarına göre iyimser ve kötümser kâr değerlerinde %16'lık bir azalma söz konusu olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak kârdaki bulanıklık da azalmıştır. Verimlilik oranlarında düşme söz konusu olduğu için bu değerlerdeki düşme tutarlı bir sonuçtur.



**Tablo 6.15 : Deney 1-2-3'te değiştirilen parametre değerleri**

		Ürün grubu	Verim oranı değerleri		
			Kötümser	Beklenen	İyimser
Orijinal Problem	Üretim verim oranları	Boru imalatı ürünleri	0,988	0,992	0,995
		Sac imalatı ürünleri	0,982	0,988	0,993
		Kaynak imalatı ürünleri	0,976	0,984	0,990
		Diğer ürünler	0,994	0,996	0,997
	Dışarıdan tedarik verim oranları	Boru profiller	0,993	0,997	1,000
		Saclar	0,990	0,995	1,000
Deney 1	Üretim verim oranları	Boru imalatı ürünleri	0,978	0,982	0,985
		Sac imalatı ürünleri	0,972	0,978	0,983
		Kaynak imalatı ürünleri	0,966	0,974	0,980
		Diğer ürünler	0,984	0,986	0,987
	Dışarıdan tedarik verim oranları	Boru profiller	0,983	0,987	0,990
		Saclar	0,980	0,985	0,990
Deney 2	Üretim verim oranları	Boru imalatı ürünleri	0,978	0,992	1,000
		Sac imalatı ürünleri	0,972	0,988	1,000
		Kaynak imalatı ürünleri	0,966	0,984	1,000
		Diğer ürünler	0,984	0,996	1,000
	Dışarıdan tedarik verim oranları	Boru profiller	0,983	0,997	1,000
		Saclar	0,980	0,995	1,000
Deney 3	Üretim verim oranları	Boru imalatı ürünleri	0,992	0,992	0,992
		Sac imalatı ürünleri	0,988	0,988	0,988
		Kaynak imalatı ürünleri	0,984	0,984	0,984
		Diğer ürünler	0,996	0,996	0,996
	Dışarıdan tedarik verim oranları	Boru profiller	0,997	0,997	0,997
		Saclar	0,995	0,995	0,995
		Diğer hammaddeler	0,998	0,998	0,998

Deney 1'in DP-2 sonuçları orijinal problem ile yaklaşık olarak aynıdır. Bunun nedeni verimlilik oranlarının tüm kritik değerlerinde düşme varsayıldığı için verimlilik oranlarındaki bulanıklığın sabit kalmasıdır. DP-4 sonuçlarına göre incelenen ürünün satış miktarlarında çok fazla değişiklik olmamasına rağmen kâr düşmüştür. Bunun nedeni verimlilik oranının düşmesidir.

İkinci deneyde verimlilik oranlarındaki bulanıklığın artırılmasıyla model sonuçlarındaki değişim incelenmiştir. Bunun için ÜBS ile gösterilen verimlilik oranlarının iyimser ve kötümser değerleri arasındaki farkı arttırmak için kötümser değerler %1 azaltılmış ve iyimser değerler %100'e eşitlenmiştir. Beklenen değerlerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Deney 2 için kullanılan parametreler Tablo 6.15'in ilgili satırlarında görülebilir.

**Tablo 6.16 : Deney sonuçları**

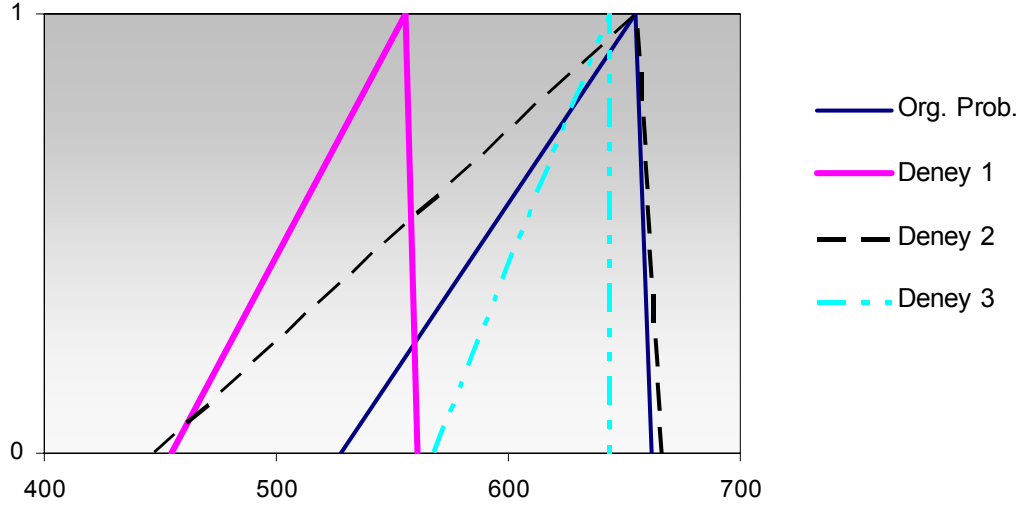
Deney no	DP -1		DP-2 En büyük bulanıklık seviyeleri			DP -4					
	İyimser kâr	Kötümser kâr	Kârdaki en büyük bulanıklık	Üretim değerleri	Dıştan tedarik değerleri	Kâr	İncelen ürün satış miktarı	Lamda	Amaç 1	Amaç 2	Amaç 3
Orijinal Problem	788024	565761	222263	100,00	100,00	(527968, 654528, 661464)	(177,600; 186,037; 186,037)	0,399	0,399	0,399	0,992
Deney 1	661322	475788	185534	99,81	100,00	(454822, 555512, 560631)	(177,600; 184,313; 184,313)	0,430	0,430	0,430	0,994
Deney 2	874144	475788	398356	176,47	177,88	(447678, 655601, 666221)	(177,600; 191,462; 191,462)	0,451	0,451	0,451	0,994
Deney 3	719656	625148	94508	41,46	40,64	(567644, 643650, 643650)	(177,600; 182,667; 182,667)	0,196	0,196	0,196	1,000
Deney 4	718283	509058	209225	98,00	97,97	(469993, 590886, 597390)	(159,800; 167,860; 167,860)	0,391	0,391	0,391	0,992
Deney 5	788024	621665	166359	78,06	78,57	(611703, 698266, 701461)	(195,400; 201,171; 201,171)	0,460	0,460	0,460	0,996
Deney 6	788024	509058	278966	122,25	121,73	(428122, 604347, 611798)	(159,800; 171,548; 171,548)	0,342	0,342	0,342	0,993
Deney 7	730952	617075	113877	60,93	61,80	(600464, 665036, 666380)	(189,595; 193,900; 193,900)	0,421	0,421	0,421	0,999
Deney 8	160143	32962	127181	258,71	255,01	(21173, 88858, 92459)	(177,600; 183,240; 183,240)	0,439	0,439	0,439	0,999
Deney 9	588389	388948	199441	117,77	117,36	(454822, 555512, 560631)	(177,600; 184,313; 184,313)	0,430	0,430	0,430	0,994
Deney 10	517383	322928	194455	129,15	128,47	(295844, 403467, 409761)	(177,600; 184,775; 184,775)	0,414	0,414	0,414	0,995
Deney 11	1023162	775586	247576	87,50	87,79	(730295, 873678, 879779)	(177,600; 187,159; 187,159)	0,396	0,396	0,396	0,991
Deney 12	796804	565761	231043	108,39	108,25	(522588, 656119, 663272)	(177,600; 186,418; 186,418)	0,391	0,391	0,391	0,992

Deney 2 için varsayılan parametreler ile DP-1 çalıştırıldığında orijinal probleme göre beklendiği gibi iyimser kâr değerinde artma, kötümser kâr değerinde ise azalma gözlenmiştir (deney sonuçları Tablo 6.16'da görülebilir). Böylece kârdaki bulanıklık da artmıştır. DP-2 sonuçlarına göre hem üretim hem de dıştan tedarik için en büyük bulanıklık seviyeleri yaklaşık olarak %77 artmıştır. DP-4 sonuçlarına göre kârın iyimser değerinde artma kötümser değerinde azalma söz konusu olurken beklenen kâr yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Fakat kötümser değerdeki azalma iyimser değerdeki artmaya göre daha fazla olmuştur. Bunun nedeni girdi parametrelerindeki belirsizliğin artmasının kâr beklentisini azaltması olabilir. Satış miktarlarında ise kötümser satışta değişiklik olmazken iyimser ve beklenen satış miktarları artmıştır. Amaç değerleri incelendiğinde amaç 1 ile amaç 2'nin daha yüksek bir seviyede bulunduğu söylenebilir, bunun nedeni DP-1 sonucunda elde edilen kârdaki bulanıklığın artmasıdır.

Verimlilik oranları ile ilgili son deney olan Deney 3'te verimlilik oranlarındaki bulanıklık kaldırılmıştır. Bunun için verimlilik oranları için tanımlanan ÜBS'lerin her üç değerinin beklenen değere eşit olduğu varsayılmıştır. Tablo 6.15'in Deney 3 satırlarında kullanılan verimlilik oranı değerleri verilmiştir.

Deney 3 parametreleri ile DP-1 çözüldüğünde orijinal probleme göre iyimser kârda azalma, kötümser kârda artma gözlenmiştir (deney sonuçları Tablo 6.16'da görülebilir). Kârdaki en büyük bulanıklık seviyesi buna bağlı olarak düşmüştür. Verim oranları bulanık olmamasına rağmen kârda bulanıklık elde edilmesinin nedeni talepteki belirsizliktir. DP-2'ye göre üretim ve tedarik için en büyük bulanıklık seviyeleri yaklaşık %59 azalmıştır. DP-4 sonuçlarından satış miktarının iyimser ve beklenen değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Benzer şekilde; elde edilen kâr değerinde iyimser ve beklenen değerler azalmış, kötümser değer ise artmıştır. Bunların nedeni verim oranlarının iyimser değerinin beklenen değerine eşitlenmesidir. Yani verim oranlarındaki iyimser değerde bir düşme söz konusu olduğu için kârın iyimser değerinde de bir azalma meydana gelmiştir. DP-4'ün amaç değerleri incelendiğinde orijinal probleme göre anlamlı bir düşme görülmüştür. Bunun nedeni DP-1 sonucunda elde edilen kârdaki en büyük bulanıklığın düşmesidir. Ayrıca amaç değerlerindeki düşme kâr ve satış miktarlarında çok büyük azalmaya sebep olmamaktadır.

Verim oranlarındaki değişimin model sonuçlarına etkisini incelemek için tasarlanan ilk üç deney sonucunda modelin tutarlı sonuçlar verdiği söylenebilir. Şekil 6.6’da grafik üzerinde verilen kâr değerlerine göre verim oranları düşünce (Deney 1) kâr düşmekte, verim oranlarındaki belirsizlik artınca (Deney 2) kârdaki belirsizlik artmakta ve kâr azalınca (Deney 3) kârdaki belirsizlik azalmaktadır.



**Şekil 6.6 :** Deney 1-2-3 sonucunda elde edilen kâr değerleri

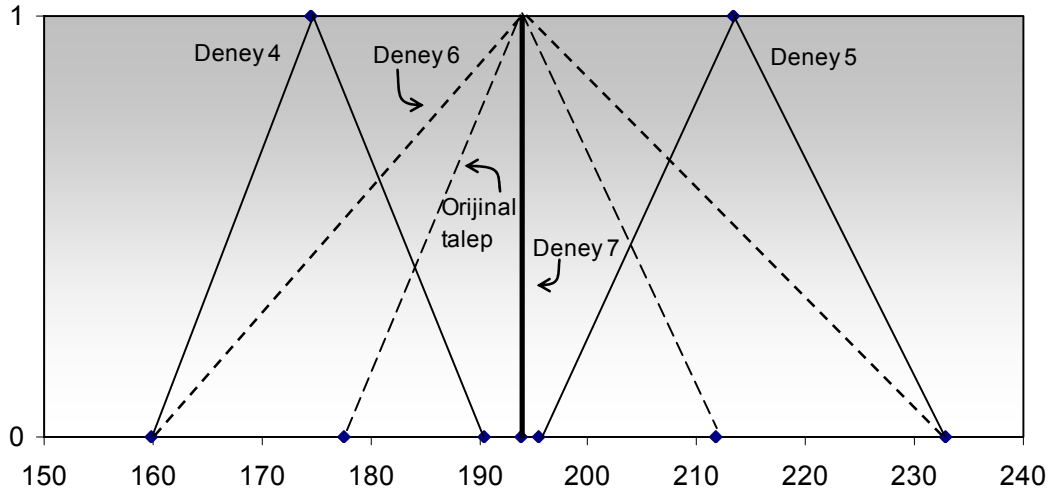
İlk üç deneyden sonraki dört deneyde talepteki değişimlerin model sonuçlarına etkileri incelenmiştir. Deney 4’te talep düşürülerek, Deney 5’te talep artırılarak, Deney 6’da talepteki belirsizlik artırılarak ve Deney 6’da talepteki belirsizlik kaldırılarak önerilen modeller çözülmüştür. Bu deneylerde kullanılan talepler Tablo 6.17 ve Şekil 6.7’de verilmiştir.

**Tablo 6.17 :** Deney 4-5-6-7’de kullanılan talepler

Deney no	Uygulama şekli	Uygulanan Talep
	Orijinal Problem	(176,6; 193,9; 211,7)
Deney 4	ÜBS ile gösterilen talebin her üç kritik noktası %10 düşürülmüştür.	(159,8; 174,5; 190,5)
Deney 5	ÜBS ile gösterilen talebin her üç kritik noktası %10 artırılmıştır.	(195,4; 213,3; 232,9)
Deney 6	ÜBS ile gösterilen talebin kötümser değerleri %10 azaltılmış, beklenen değerleri değiştirilmemiş ve iyimser değerleri %10 artırılmıştır.	(159,8; 193,9; 232,9)
Deney 7	ÜBS ile gösterilen talebin üç kritik noktası beklenen değere eşitlenmiştir.	(193,9; 193,9; 193,9)

Deney 4’te talepteki azalmanın model sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ÜBS olarak gösterilen talep değerinin her üç kritik noktası %10 düşürülmüştür. Sonuçta talep  $\tilde{T} = (159,8; 174,5; 190,5)$  şeklinde ÜBS ile ifade edilmiştir. Bu talebin

girilmesi ile DP-1 çözüldüğünde orijinal probleme göre iyimser kârda %9, kötümser kârda %10'luk azalma görülmüştür (ayrıntılı deney sonuçları Tablo 6.16'da görülebilir). Bunlara bağlı olarak kârdaki bulanıklık da düşmüştür. DP-2 sonuçlarına göre üretim ve dıştan tedarik karar değişkenlerindeki en büyük bulanıklık seviyesi yaklaşık olarak orijinal problemdekilerle aynı değerleri almıştır. DP-4 sonuçlarına göre talep azaldığı için satış miktarlarında ve kârda azalma meydana gelmiştir. DP-4 amaç fonksiyon değerleri yaklaşık olarak aynıdır.



Şekil 6.7 : Deney 4-5-6-7'de kullanılan talepler

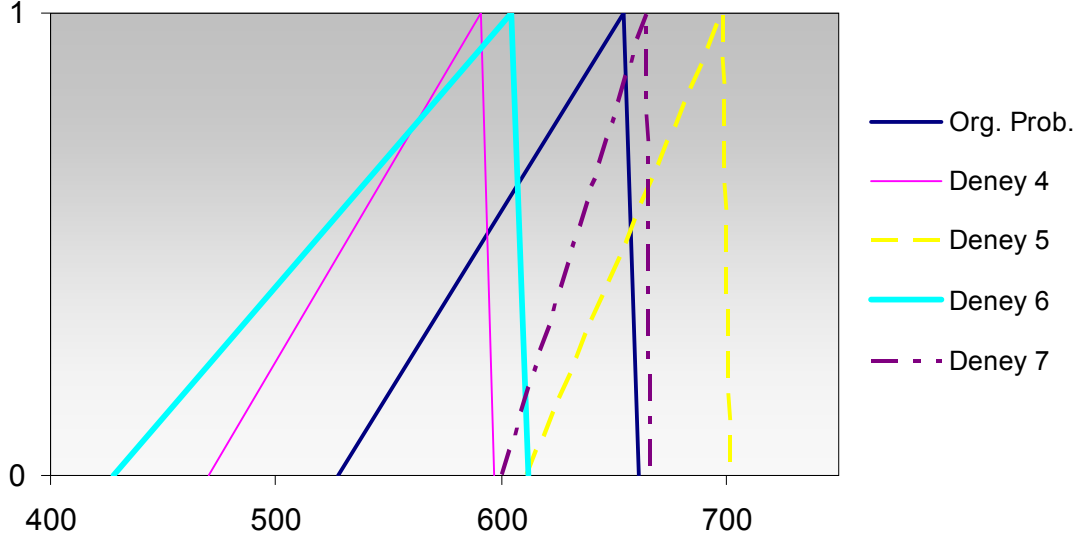
Deney 5'te talep değerinin üç kritik noktası %10 arttırılarak model sonuçları değerlendirilmiştir. Talep  $\tilde{T} = (195,4; 213,3; 232,9)$  şeklinde varsayıldığında DP-1 sonuçlarına göre iyimser kârda bir değişiklik olmazken kötümser kârda %10'luk bir artış oluşmuştur (deney sonuçları Tablo 6.16'da verilmiştir). Talep artmasına rağmen iyimser kârda değişiklik olmamasının sebebi boru imalatı kapasitesinin artan talebi karşılayacak üretim için yeterli olmamasıdır. Kötümser kâr artarken iyimser kâr değişmediği için kârda en büyük bulanıklık seviyesi anlamlı seviyede (%25) azalmıştır. Yine aynı sebepten DP-2 sonucunda ortaya çıkan üretim ve dıştan tedarik en büyük bulanıklık seviyeleri düşmüştür. DP-4 sonuçlarına göre talep artışına bağlı olarak satış miktarları ve dolayısıyla kârda da artış görülmüştür. Bulanıklık seviyeleri düştüğü için amaçları gerçekleştirme yüzdeleri de artmıştır.

Deney 6'da talepteki belirsizliği arttırmak için talebin iyimser ve kötümser değerleri arasındaki fark arttırılmıştır. Bu amaçla talebin kötümser değerleri %10 azaltılmış, iyimser değerleri %10 arttırılmıştır ve beklenen değerleri değiştirilmeyerek  $\tilde{T} = (159,8; 193,9; 232,9)$  olarak varsayılmıştır. Bu talep değeri ile DP-1 çözüldüğünde

iyimser kâr değişmemiştir, bunun nedeni boru imalat kaynağı kapasitesinin artan iyimser talebi karşılamaya yeterli olmamasıdır. Kötümser kâr ise beklendiği gibi azalmıştır (deney sonuçları Tablo 6.16'da görülebilir). DP-2 çözüldüğünde en büyük bulanıklık seviyelerinin %22 civarında arttığı görülmüştür. Talepteki belirsizlik artışı neticesinde ortaya çıkan bu sonuç tutarlıdır. DP-4 sonuçlarına göre satış miktarlarında ve kârda orijinal probleme göre düşmeler söz konusu olmuştur. Bunun ilk nedeni kötümser talep değerinin düşmesidir, ikinci olarak da artan iyimser talep değerine sistemin kapasitesi yüzünden karşılık verememesi söylenebilir. Ayrıca verimlilik oranları ile ilgili yapılan deneylerde gözlemlendiği gibi bulanıklık artınca model sonucunda ortaya çıkan kârda azalmalar meydana gelmektedir. DP-4 amaç fonksiyonu değerlerinde çok büyük değişiklik olmamıştır.

Taleplerle ilgili son deney olan Deney 7'de taleplerdeki belirsizliği kaldırmak üzere talebin tüm kritik noktalarının beklenen değere eşit olduğu varsayılarak  $\tilde{T} = (193,9; 193,9; 193,9)$  alınmıştır. Deney 7'de DP-1 sonucunda orijinal probleme göre iyimser kâr azalmış, kötümser kâr artmış ve böylece kârdaki en büyük bulanıklık seviyesi azalmıştır. İyimser kârdaki düşmenin sebebi iyimser talep değerinin orijinal problemdekine göre düşük olmasıdır. Benzer şekilde kötümser kâr değeri de kötümser kârdaki artış neticesinde artmıştır (deney sonuçları Tablo 6.16'da verilmiştir). DP-2'de üretim ve dışarıdan tedarik için en büyük bulanıklık seviyeleri %40 civarında azalmıştır. Talepteki belirsizliğin azalması sonucunda ortaya çıkan bu netice oldukça mantıklıdır. DP-4 sonuçları incelendiğinde satış miktarı ve kârın tüm kritik değerlerinde artış gözlenmiştir. Belirsizliğin azalması kârı arttırmıştır.

Taleplerdeki değişim ile ilgili dört deney, ortaya çıkan kâr değerleri bakımından değerlendirildiğinde modelin tutarlı sonuçlar ürettiği söylenebilir. Şekil 6.8'de verilen kâr değerlerine göre talep düşürüldüğünde (Deney 4) kâr azalmış, talep arttırıldığında (Deney 5) ise kâr yükselmiştir. Bunun yanında talepteki belirsizliğin değişmesi hem kâr hem de kârdaki belirsizliği etkilemiştir. Talepteki belirsizlik arttığında (Deney 6) kâr düşmüş ve kârdaki belirsizlik artmıştır. Diğer yandan talepteki belirsizlik azaldığında (Deney 7) kâr artmış ve kârdaki belirsizlik azalmıştır. Bu sonuç talep belirsizliğinin kârlılığa etki eden önemli bir etmen olduğunu göstermesi açısından kayda değerdir.



**Şekil 6.8 :** Deney 4-5-6-7 sonucunda elde edilen kâr değerleri

Bundan sonraki deneylerde kesin değerler olarak alınan parametrelerdeki değişimin model sonuçlarına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla ürün satış fiyatı, kaynak maliyetleri, hammadde maliyetleri ve kapasiteler ile ilgili değişiklikler yapılarak önerilen modeller çözülmüştür.

Deney 8’de ürün satış fiyatındaki düşmenin model sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla satışı yapılan ürünün fiyatı 15.000€’dan %20 düşürülerek 12.000€ olarak belirlenmiştir. Ürün fiyatı düştüğünde iyimser ve kötümser kârlarda büyük düşüşler meydana gelmiştir (sonuçlar Tablo 6.16’da görülebilir). İyimser kâr 788.024’ten 160.143’e; kötümser kâr 565.761’den 32.962’e düşmüştür. Kârdaki bulanıklık 222.263’ten 127.181’e düşmüş gibi gözükse de iyimser ve kötümser kâra göre oransal olarak bakıldığında bulanıklığın arttığı söylenebilir. Bu durum DP-2 sonuçlarıyla da desteklenmektedir. Üretim ve tedarik miktarları için belirlenen en yüksek bulanıklık seviyeleri orijinal problemdekilere göre %150’den fazla artmıştır. DP-4’e göre satış miktarları çok fazla değişmemiştir ancak ürün fiyatı düştüğü için kârda büyük düşme söz konusu olmuştur.

Kaynak maliyetlerindeki değişimin etkilerini görebilmek için Deney 9 tasarlanmıştır. Deneyde kaynak birim kullanım maliyetleri %20 artırılarak Tablo 6.18’de verilen değerler kullanılmıştır. Kaynak kullanım maliyetinin artması ile DP-1 ile belirlenen iyimser ve kötümser kârlar azalmıştır. Kârdaki bulanıklık yaklaşık aynı kalırken DP-2 sonucunda ortaya çıkan en büyük bulanıklık seviyeleri %17 civarında artmıştır. DP-4 modelinin çözümünde ilgili ürünün satış miktarı orijinal probleme göre çok

fazla değişmemiştir ama kâr, maliyetlerin artmasıyla azalmıştır (deney sonuçları Tablo 6.16’da görülebilir).

**Tablo 6.18 :** Deney 9 ve 11’de kullanılan kaynak maliyetleri

Kaynak no	Kaynak	Birim kullanım maliyeti			Dışarıdan temin etme ek maliyeti		
		Orijinal Problem	Deney 9	Deney 11	Orijinal Problem	Deney 9	Deney 11
1	İşçilik	0,21667	0,10833	0,19500	0,13000	0,10833	0,09750
2	Boru parça imalatı	0,02216	0,01108	0,01994	0,01330	0,01108	0,00997
3	Sac parça imalatı	0,08058	0,04029	0,07252	0,04835	0,04029	0,03626
4	Kaynak imalatı	0,00403	0,00201	0,00363	0,00242	0,00202	0,00181

Deney 10’da hammadde maliyetleri arttırılmıştır. Bunun için dışarıdan tedarik edilen ürünlerin maliyetleri %20 azaltılarak önerilen modeller çalıştırılmıştır. Model sonuçları Deney 9 sonuçları ile paralellik göstermektedir. DP-1’e göre iyimser ve kötümser kârlar orijinal problemle karşılaştırıldığında azalmıştır. DP-2 sonuçlarından üretim ve tedarik en büyük bulanıklık seviyelerinin yaklaşık %28 arttığı saptanmıştır. DP-4’e göre satış miktarları değişmezken kâr azalmıştır (deney sonuçları Tablo 6.16’da verilmiştir).

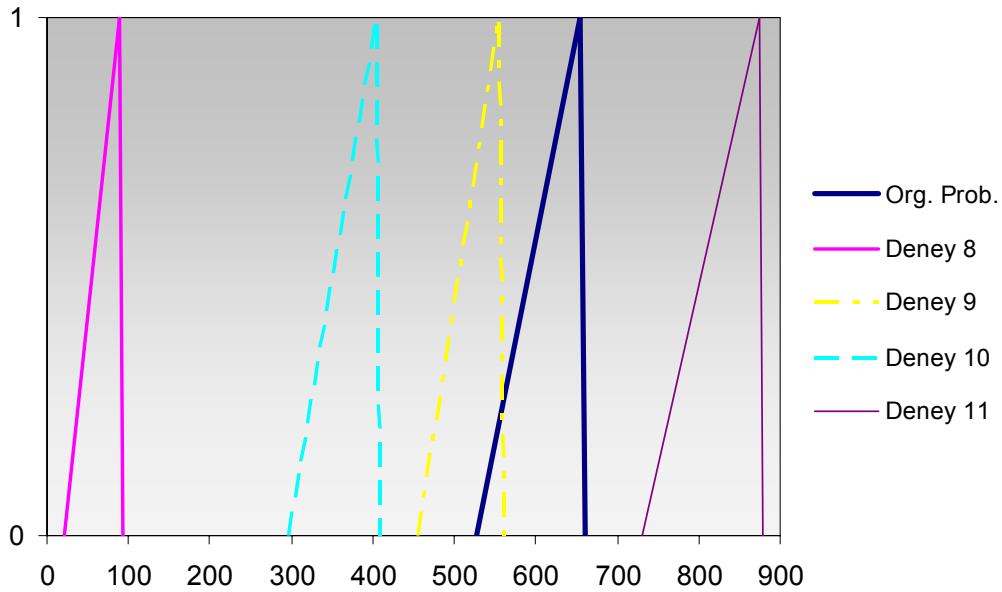
Deney 9 ve 10 sonuçlarından hammadde ve kaynak kullanım maliyetlerine karşı modelin sonuçlarının benzerlikler gösterdiği saptanmıştır. Bu yüzden Deney 11’de her iki maliyet kalemi birlikte düşünülerek maliyetlerde azalışın model sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla kaynak birim kullanım maliyetleri %10 azaltılarak Tablo 6.18’de verilen değerler kullanılmıştır. Hammadde maliyetleri de %10 azaltılmıştır. DP-1 sonucunda beklendiği gibi iyimser ve kötümser kâr değerlerinde artış meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak kârdaki en büyük bulanıklık seviyesi de artmıştır. DP-2 çözüldüğünde üretim ve tedarik miktarlarının en büyük bulanıklık seviyeleri orijinal probleme göre %12 azalmıştır. DP-4’e göre satış miktarlarında anlamlı bir değişiklik olmazken kâr artmıştır.

Deney 8, 9, 10 ve 11 birlikte değerlendirildiğinde kâr marjının modeldeki bulanıklığa etki ettiği sonucuna varılabilir. Deney 8, 9 ve 10’da kâr marjı düşürüldüğünde en büyük bulanıklık seviyeleri artarken, Deney 11’de kâr marjı arttırıldığında en büyük bulanıklık seviyeleri azalmıştır. Bunun nedeni kâr marjının düşük olduğu durumlarda belirsizliklerden dolayı maliyetlerde büyük değişimler meydana gelmesi ve bu nedenle kârın çok daha fazla değişim göstermesidir. Ters durumda, kâr marjı yüksek iken, maliyetlerdeki dalgalanma sonucu oluşan kârdaki değişim oransal olarak düşük



çıkılmaktadır. Kârdeki değişimin az ve çok olması tüm model değişkenlerinin bulanıklığı etkilemektedir.

Diğer yandan deneylerde ortaya çıkan kâr değerleri incelendiğinde modelin tutarlı sonuçlar verdiği söylenebilir (Bakınız Şekil 6.9). Satış fiyatı düşmesi (Deney 8) ya da maliyet düşmesi (Deney 9 ve 10) gibi kâr marjını düşüren denemelerde kâr azalırken; maliyetlerin düşürüldüğünde (Deney 11) kâr artmıştır.



Şekil 6.9 : Deney 8-9-10-11 sonucunda elde edilen kâr değerleri

Önerilen modellerin tutarlılığını test etmek için son olarak kapasitedeki artışın model sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Orijinal problemde DP-4 sonuçlarına göre herhangi bir kaynak kapasitesinin tamamı kullanılmamaktadır. Fakat DP-1 iyimser modelini çözerken boru imalat kapasitesinin yetersizliğinden dolayı iyimser talep tam karşılanmamıştır. Deneyde normal kapasitenin sabit kaldığı ve dışarıdan sağlanabilecek kaynak kapasitesinin iki katına çıktığı varsayılmıştır. Deney 12'de kullanılan kaynak kapasiteleri Tablo 6.19'da görülebilir.

Tablo 6.19 : Deney 12'de kullanılan kaynak kapasiteleri

Kaynak no	Kaynak	Kaynak kapasitesi	Dışarıdan temin etme kapasitesi	
			Orijinal problem	Deney 12
1	İşçilik	4422600	2063880	4127760
2	Boru parça imalatı	762048	76205	152410
3	Sac parça imalatı	394632	39463	78926
4	Kaynak imalatı	3129840	312984	625968

Deney 12 sonuçlarına göre DP-1 kötümser kâr değeri aynı kalırken iyimser kâr değeri kapasite arttığı ve iyimser talebi karşılamaya yettiği için artmıştır. Bu yüzden kârdaki ve diğer karar değişkenlerindeki en büyük bulanıklık seviyesi de artmıştır. DP-4 sonuçlarına göre satış miktarlarında ve kârda çok az bir artış meydana gelmiştir (deney sonuçları Tablo 6.16'da görülebilir).

Deneyler genel olarak değerlendirildiğinde birkaç önemli nokta tespit edilmiştir. Model; verimlilik, talep, maliyetler ve kapasite gibi parametrelerin değişimine makul çıktılar vermiştir. Belirsizliklerin modellenmesi ile ilgili olarak, verimlilik oranları ve talep ile ilgili deneylere göre, kârdaki ve model karar değişkenlerindeki belirsizlik girdi değerlerindeki belirsizliğe bağlıdır. Talep ve verimlilik oranlarındaki belirsizliğin değişmesi tüm deneylerde model çıktılarındaki belirsizliği doğru orantılı olarak etkilemiştir. Ayrıca girdi değerlerindeki belirsizliğin kâra etkisi de tespit edilmiştir. Belirsizlik arttıkça kârda göreceli olarak düşme gözlenirken belirsizlik azaldıkça kâr artmıştır. Maliyet ve fiyat ile deneyler sonucunda kâr marjının belirsizliğe etki ettiği görülmüştür. Kâr marjı arttıkça girdilerdeki belirsizliğin kârdaki belirsizliğe etkisi azalmaktadır. Tüm bunlar değerlendirildiğinde önerilen modelin tutarlı sonuçlar verdiği sonucuna varılabilir.

### **6.3 Karoser İmalatı İçin Stratejik Planlama**

Önceki bölümde MBT karoser imalatı için mevcut duruma göre bir planlama önerilmiş ve bu plandaki kararlar ve kâr değerleri ortaya koyulmuştur. Bu bölümde farklı stratejik kararlar verildiğinde firma performansının nasıl değişeceği araştırılmıştır. Bu amaçla firma bünyesinde üretilen ürünlerin dışarıdan tedarik edilme seçenekleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ilk önce mevcut talep ve kapasite koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ara ürünlerin dışarıdan tedarik edilmesi özellikle mevcut kapasitenin yeterli olmaması veya taleplerin artması durumlarında kapasiteyi arttırmak için tercih edilebilecek bir stratejidir. Bu yüzden talebin artması ve kapasitenin düşmesi durumlarında hangi ürünlerin dışarıdan alınması gerektiğini saptamak üzere önerilen model kullanılmıştır.

#### **6.3.1 Mevcut kapasite ve talebe göre tedarik edilecek ürünlerin belirlenmesi**

Firmanın mevcut durumunda bir hammadde veya ara ürün ya dışarıdan temin edilmektedir ya da firma bünyesinde üretilmektedir. Hem dışarıdan temin edilen hem de içeride üretilen bir ara ürün yoktur. Dışarıdan temin edilen ürünler genellikle

hammadelerdir. Ara ürün olarak dışarıdan temin edilen çok fazla ürün yoktur. Fakat maliyet avantajı sağlamak ve kapasiteyi arttırmak için bazı ara ürünlerin dışarıdan temin edilmesi uygun olabilir. Geliştirilen model ile firmanın mevcut durumunda kendisinin ürettiği ürünlerden hangilerinin dışarıdan temin edilebileceği araştırılmıştır.

Dışarıdan ürün tedarik etmede göz önüne alınması gereken en önemli etmenlerden biri ürün fiyatıdır. Modelin çalıştırılabilmesi için dışarıdan temin edilecek ürünlerin fiyatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla iki tip fiyat senaryosu oluşturulmuştur. İlkinde her ürün için o ürünün firma bünyesine iyimser verim oranları ile üretilmesinin maliyeti bulunmuş ve bu maliyetler dışarıdan temin etme fiyatı olarak belirlenmiştir (Fiyat 1). İkinci olarak ürünlerin kötümser verim oranları ile üretilmesinin maliyeti fiyat olarak belirlenmiştir (Fiyat 2). Fiyat 1 ve Fiyat 2 senaryoları için belirlenen ürün fiyatları EK-E’de verilmiştir. Fiyat 1’de daha verimli üretime göre maliyetler belirlendiği için fiyatlar, Fiyat 2’ye göre daha düşük gerçekleşmiştir. Örneğin son ürünün Fiyat 1 senaryosuna göre maliyeti 11.117,136 € olarak hesaplanırken, Fiyat 2’ye göre 11.530,859 € olarak belirlenmiştir. Fiyat 1 ile Fiyat 2 arasında ortalama % 0,6’lık bir fark vardır.

Fiyat 1 ve Fiyat 2 senaryolarında tüm ara ürün ve hammaddelerin belirlenen fiyatlarla ve esas modelde sac ve boru hammaddeleri dışında kalan hammaddelerin tedarikinde göz önüne alınan verim oranı (0,995; 0,998; 1) ile dışarıdan temin edilebileceği varsayılmıştır. Dışarıdan temin etmede herhangi bir limit olmadığı göz önüne alınmıştır.

Fiyat 1 senaryosuna göre DP-1 çözüldüğünde iyimser kâr 797.867 ve kötümser kâr 632.051 olarak gerçekleşmiştir. DP-1 iyimser kârı belirlemek için çalıştırıldığında mevcut durumda firma bünyesinde üretilen bazı ara ürünlerin dışarıdan temin edildiği, bazılarının ise bir miktarının içeride üretilirken bir miktarının da dışarıdan temin edildiği gözlenmiştir. DP-1 kötümser kâr için çalıştırıldığında ise firmada hiçbir üretimin yapılmadan son ürün dışarıdan temin edilerek en iyi çözüme ulaşılmıştır. Neticede iyimser ve kötümser kâr değerleri orijinal probleme göre daha yüksek gerçekleşmiştir (Fiyat 1 senaryosunun sonuçları Tablo 6.20’de görülebilir).

En büyük bulanıklık seviyelerini bulmak için yürütülen DP-2’nin çözülmesi sonucunda üretim ve tedarik miktarlarının en büyük bulanıklık seviyelerinin orijinal probleme göre %230 civarında arttığı görülmüştür. Bunun nedeni ürünlerin dışarıdan

alınma seçeneği ortaya çıktığında üretilmelerinin zorunlu olmaktan çıkmasından dolayı üretim ve tedarik miktarlarının en küçük olabilir seviyelerinin sıfıra düşmesidir. Böylece karar değişkenlerinin en büyük bulanıklık seviyeleri, en büyük olabilir miktarlarına eşit çıkmıştır.

Fiyat 1 senaryosuna göre sonuçları elde etmek için son olarak DP-1 ve DP-2'den elde edilen veriler ile DP-4 çalıştırılmıştır. DP-4'e göre firma son ürünü dışarıdan almalıdır ve bu ürünle ilgili hiçbir üretim yapmamalıdır. İlgili üründen dışarıdan (186,563; 186,563; 186,563) adet temin edilmesi ve (177,600; 186,190; 186,190) adetlik satılması planlanmalıdır. Sonuçta kâr (540180, 669023, 669024) olarak hesaplanmıştır. Bu değer orijinal problemde belirlenen kârdan yüksektir.

Fiyat 1 senaryosunun çözülmesi sonucunda model, fiyatların firmanın en düşük sağlayabileceği maliyet kadar olması durumunda ürünün dışarıdan alınması gerektiği önermektedir. Bu öneri firmanın ürünü kendisinin üretmesi durumunda daha fazla maliyetle karşılaşması mümkün olabileceğinden dolayı mantıklı bir sonuçtur.

**Tablo 6.20 :** Mevcut durum, Fiyat 1 ve Fiyat 2 senaryoları altında model sonuçları

Senaryo	DP -1		DP-2 En büyük bulanıklık seviyeleri			DP -4	
	İyimser kâr	Kötümser kâr	Kârdaki en büyük bulanıklık	Üretim değerleri	Dıştan tedarik değerleri	Kâr	İncelen ürün satış miktarı
Orijinal Problem	788024	565761	222263	100	100	(527968, 654528, 661464)	(177,600; 186,037; 186,037)
Fiyat 1	797867	632051	165816	325,02	330,7	(540180, 669023, 669024)	(177,600; 186,190; 186,190)
Fiyat 2	797789	565961	231828	325,02	330,7	(522882, 656753, 663918)	(177,600; 186,525; 186,525)

Fiyat 2 senaryosunda fiyatlar, firmanın kötümser verimlilik oranlarına göre belirlendikleri için Fiyat 1'e göre daha yüksektir. Bu senaryoya göre DP-1 çalıştırıldığında iyimser kâr 797.789, kötümser kâr 565.961 olarak bulunmuş. Her iki modelde de mevcut durumda firma bünyesinde üretilen bazı ara ürünlerin dışarıdan temin edilmesi ve bazı ara ürünlerin bir kısmının içeride üretilip bir kısmının da dışarıdan temin edilmesi söz konusu olmuştur (Fiyat 1 senaryosunun sonuçları Tablo 6.20'de görülebilir).

Fiyat 2 senaryosuna göre DP-2 çözüldüğünde üretim ve tedarik miktarları için Fiyat 1 senaryosunda ulaşılan sonuçların aynısı elde edilmiştir. Bunun iki nedeni vardır. İlk

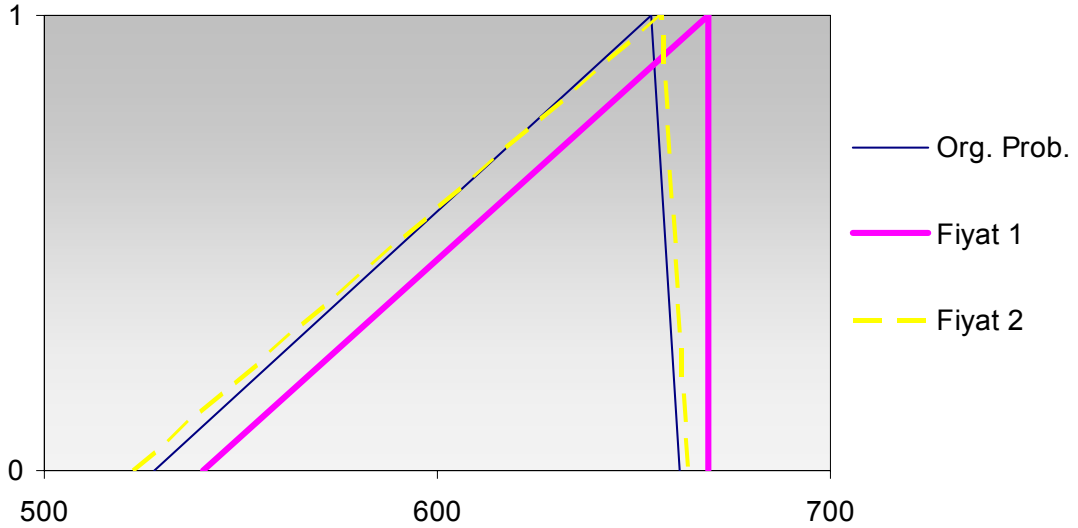
olarak en büyük bulanıklık seviyesini belirlemek üzere kullanılan en küçük üretim veya tedarik miktarı değerinin, ürünlerin hem içeride üretilme hem de dışarıdan temin edilme seçeneği olduğu için sıfır çıkmasıdır. İkinci olarak; bahsedilen esneklikten dolayı, ürünlerin en büyük üretim ve tedarik değerlerinin kapasite ile değil sabit olan talep değerine göre sınırlandırılmasıdır. Bu yüzden farklı senaryolarda en büyük bulanıklık seviyeleri eşit olarak belirlenmektedir.

Fiyat 2 senaryosu altında üretim/tedarik planı oluşturmak için son olarak DP-4 çalıştırılmıştır. DP-4 sonuçlarına göre firma ilgili üründen (177,600; 186,525; 186,525) adetlik satış planlamalıdır. Buna göre kâr (522.882, 656.753, 663.918) şeklinde oluşmuştur. Bu kâr kötümser değer bakımından orijinal probleminkinden küçük olsa da beklenen ve iyimser değere göre daha iyi bir sonuç vermiştir (Tablo 6.20). Üretim ve tedarik planına göre mevcut durumda firma bünyesinde üretilen beş ürünün bir miktarının dışarıdan tedarik edilmesi gerekmektedir. Bir ürünün ise üretimi yapılmayarak ihtiyaç duyulan miktarın tümü dışarıdan temin edilmelidir. Tablo 6.21’de ilgili ürünler ve üretim ile dışarıdan tedarik miktarları verilmiştir.

**Tablo 6.21 :** Mevcut durum Fiyat 2 senaryosu altında dışarıdan alınan ara ürünler

Ürün kodu	Üretim miktarı	Dışarıdan tedarik miktarı
1695	(166,623; 166,623; 166,623)	(32,12; 32,12; 32,12)
1762	(307,228; 308,472; 308,472)	(88,185; 88,185; 88,185)
1783	(194,996; 194,996; 194,996)	(3,904; 3,904; 3,904)
2652	(0; 0; 0)	(199,354; 199,354; 199,354)
2917	(355,866; 357,307; 357,307)	(46,414; 46,414; 46,414)
2996	(177,933; 178,654; 178,654)	(23,207; 23,207; 23,207)

Denenen iki senaryo altında firmanın kendisinin ürettiği bazı ürünleri dışarıdan tedarik etmesi durumunda daha yüksek kâr elde edebileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 6.10’da verilen kâr değerleri incelendiğinde özellikle ilk senaryoda görülmüştür ki; firmanın iyimser verimlilik oranlarına göre belirlenen maliyet değerleri ve bunların altında bir fiyata ürünler temin edilebilirse kârlılık oldukça artacaktır. Ürün fiyatları Fiyat 2 senaryosundaki gibi firma kötümser maliyetleri civarında belirlenmiş olsa bile ürünlerin dışarıdan temin edilmesi daha kârlı olabilmektedir.



**Şekil 6.10** : Ara ürünlerin dışarıdan tedariki mümkün iken elde edilen kâr değerleri

İki senaryo çözümünde ortaya çıkan bir başka sonuç firmanın ilgili ürünü yap/dışarıdan al kararını vermesi için verimlilik oranları neticesinde hesaplanan maliyetleri kullanabileceğidir. Şöyle ki; iyimser verimlilik oranları ile hesaplanan maliyetler fiyat olarak belirlendiğinde model sonucunda son ürünün dışarıdan temin edilmesi gerektiği bulunmuştur. Diğer yandan kötümser verimlilik oranları ile hesaplanan maliyet fiyat olarak alınırsa, model üretimin firmanın kendi bünyesinde yapılması gerektiğini önermiştir. Sonuç olarak firma dışarıdan tedarik etmek için iyimser maliyetlerine eşit veya altında bir fiyat teklifi alırsa ürünü dışarıdan almalı, kötümser maliyetlerine eşit veya üstünde bir fiyat teklifi alırsa ürünü kendisi yapmalıdır.

### 6.3.2 Talep arttığında tedarik edilecek ürünlerin belirlenmesi

Firmanın mevcut durumundaki kapasitesi 2009 yılı için belirlenen talebi karşılamak için yeterli görünmektedir. Fakat model tutarlılığını test etmek için yapılan Deney 5'te ortaya koyulduğu gibi talebin artması durumunda mevcut kapasite yeterli olmayacaktır. Kapasiteyi arttırmak çoğu zaman büyük yatırımlar gerektirir ve maliyeti yüksek olabilir. Kapasiteyi arttırmadan artan talepleri karşılamamanın bir yolu ara ürünlerin bir kısmını dışarıdan tedarik etmektir.

Önerilen model ile talepler arttığında hangi ara ürünlerin dışarıdan tedarik edilmesi gerektiği belirlenmeye çalışılacaktır. Bu amaçla taleplerin %10 ve %20 artması durumları incelenecektir. Bu inceleme için dışarıdan tedarik edilecek ara ürünlerin fiyatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Önceki bölümde önerilen Fiyat 1 (iyimser

verimlilik oranları ile belirlenen maliyetlerin fiyat olarak varsayılması) ve Fiyat 2 (kötümser verimlilik oranları ile belirlenen maliyetlerin fiyat olarak varsayılması) senaryolarına ek olarak Fiyat 2’de belirlenen fiyatların %5 fazlası alınarak belirlenen yeni bir senaryo (Fiyat 3) ile talep artışı durumları incelenecektir (Fiyat 3 senaryosunda ara ürünler için belirlenen fiyatlar EK-E’de verilmiştir.) Yeni senaryonun eklenmesinin nedeni, talepleri karşılamak için mevcut maliyetlerden daha pahalı dıştan alımlara yönelmenin toplam kârlılığa etkisini araştırmaktır.

### **6.3.2.1 Talebin %10 artması**

İlk olarak taleplerin %10 artması incelenmiştir. Bu amaçla mevcut talebin üç kritik noktasının değeri %10 arttırılmış ve talep  $\tilde{T} = (195,4; 213,3; 232,9)$  şeklinde varsayılmıştır. Fiyat 1 senaryosunda DP-1 çalıştırıldığında iyimser kâr 876.964 olmuştur ve modelde belirlenen 232,9’luk talebin hepsi karşılanmıştır. Kötümser kâr 695.399 olarak belirlenirken satışı yapılan son ürünün tümü dışarıdan tedarik edilmiştir. Belirlenen durum ve senaryo için DP-2 çalıştırıldığında tedarik ve üretim için en büyük bulanıklık seviyeleri mevcut duruma uygulanan Fiyat 1 senaryosuna göre %10 artış göstermiştir. Son olarak DP-4 yürütülmüş ve (195,400; 204,804; 204,804) satış değeri ile (594.853, 735.909, 735.909) €’luk kâr hesaplanmıştır. Model sonuçlarına göre tesiste üretim yapılmaması ve son ürünün dışarıdan tedarik edilerek satılması önerilmiştir. Bu sonuç, beklendiği gibi mevcut durum Fiyat 1 senaryosu sonuçları ile paralellik taşımaktadır (Fiyat 1 senaryosunun ve diğer senaryoların sonuçları Tablo 6.22’de görülebilir.).

Talepteki %10’luk artış durumu ikinci olarak Fiyat 2 senaryosu altında incelenmiştir. DP-1’e göre iyimser kâr 876.615, kötümser kâr 622.548’e eşit çıkmıştır. DP-2 çözüldüğünde en büyük bulanıklık seviyelerinin mevcut durum Fiyat 2 senaryosuna göre yaklaşık %10 arttığı görülmüştür. DP-4’e göre ise kâr (575108, 721984, 729739) olarak belirlenirken (195,400; 201,171; 201,171) adetlik satış planlanmıştır. Bu çözüme ulaşabilmek için firmanın üretimini yaptığı 85 ara ürünün üretim/tedarik stratejisi değiştirilmiştir. 85 ara ürünün 59 tanesinin tamamen dışarıdan tedarik edilmesi, 26 tanesinin ise hem içeride üretilmesi hem de dışarıdan tedarik edilmesi önerilmiştir. Bu sayede talepleri karşılamak için kaynak kapasitesini arttırmaya ve dışarıdan kaynak sağlamaya gerek kalmamıştır.

**Tablo 6.22 : Talep %10 arttığında modellerin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar**

Senaryo	DP -1		DP-2 En büyük bulanıklık seviyeleri			DP -4	
	İyimser kâr	Kötümser kâr	Kârdaki en büyük bulanıklık	Üretim değerleri	Dıştan tedarik değerleri	Kâr	İncelen ürün satış miktarı
Orijinal Problem	788024	565761	222263	100	100	(527968, 654528, 661464)	(177,600; 186,037; 186,037)
Mevcut Durum Fiyat 1	797867	632051	165816	325,02	330,70	(540180, 669023, 669024)	(177,600; 186,190; 186,190)
Mevcut Durum Fiyat 2	797789	565961	231828	325,02	330,70	(522882, 656753, 663918)	(177,600; 186,525; 186,525)
Talep %10 Ara ürün tedariki yok (Deney 5)	788024	621665	166359	78,06	78,57	(611703, 698266, 701461)	(195,400; 201,171; 201,171)
Talep %10 Fiyat 1	876964	695399	181565	357,57	363,82	(594853, 735909, 735909)	(195,400; 204,804; 204,804)
Talep %10 Fiyat 2	876615	622548	254067	357,26	362,55	(575108, 721984, 729739)	(195,400; 205,192; 205,192)
Talep %10 Fiyat 3	871974	621826	250148	357,57	363,82	(576671, 720437, 728207)	(195,400; 204,984; 204,984)

Talebin %10'luk artışı durumu için son olarak ürün fiyatlarının Fiyat 2 senaryosundakilerin %5 fazlası olarak belirlenen Fiyat 3 senaryosu altında modeller çözülmüştür. İyimser ve kötümser kâr değerleri sırasıyla 871.974 ve 621.826 olarak belirlenmiştir. Bu senaryoda önceki senaryolara göre daha yüksek dışarıdan alım maliyetleri söz konusu olduğu için her iki değer de Fiyat 1 ve Fiyat 2 senaryolarına göre düşmüştür. DP-2 sonuçlarına göre en büyük bulanıklık seviyeleri diğer senaryolara göre yaklaşık olarak aynıdır. DP-4 çözüldüğünde kâr (576671, 720437, 728207), ürünün satış değeri (195,400; 204,984; 204,984) olarak belirlenmiştir. Bu değerler beklendiği gibi Fiyat 1 senaryosuna göre düşüktür ama ara ürünlerin dışarıdan alınma seçeneği olmadığı Deney 5 ile karşılaştırıldığında daha yüksek kâr elde edilmiştir. DP-4'e göre toplam 28 ara ürünün üretim/tedarik stratejisi değişmiştir. Tablo 6.23'te stratejisi değişen ürünlerin üretim ve dışarıdan tedarik miktarları verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi firmanın mevcut durumunda kendi bünyesinde ürettiği ürünlerden 5 adedinin içeride üretilmeye devam ederken aynı zamanda dışarıdan da tedarik edilmesi önerilmiştir. Diğer 23 ara ürünün ise firma bünyesinde üretiminin kaldırılması, tamamen dışarıdan tedarik edilmesi gerekmektedir.

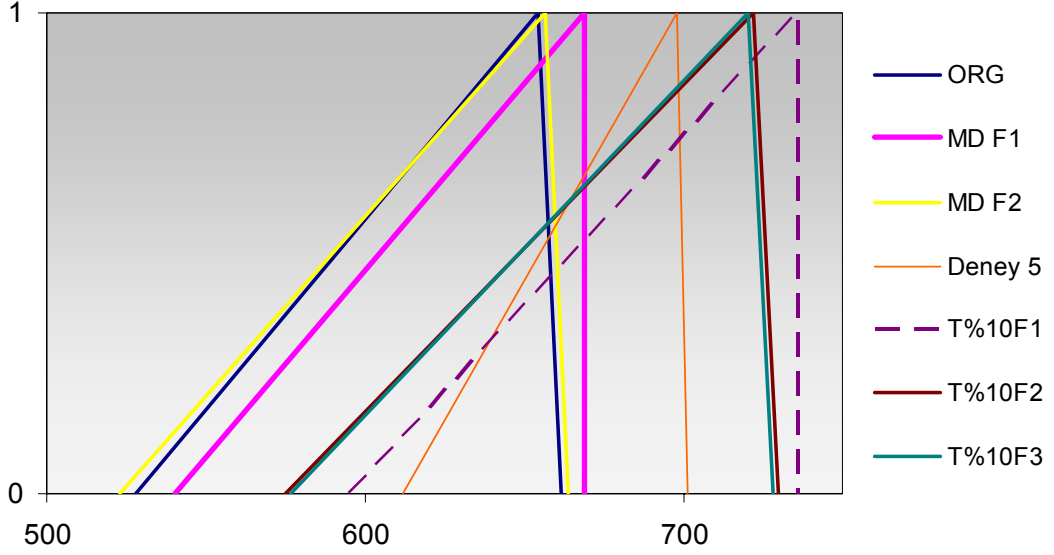


**Tablo 6.23 :** Talep %10 arttığında Fiyat 3 senaryosu altında dışarıdan alınan ara ürünler

Ürün kodu	Üretim miktarı	Dıştan tedarik miktarı
36	(0; 0; 0)	(1909,162; 1909,162; 1909,162)
131	(0; 0; 0)	(657,251; 657,251; 657,251)
171	(67,799; 67,799; 67,799)	(155,526; 155,526; 155,526)
174	(0; 0; 0)	(219,084; 219,084; 219,084)
176	(0; 0; 0)	(219,084; 219,084; 219,084)
178	(0; 0; 0)	(438,167; 438,167; 438,167)
331	(0; 0; 0)	(445,292; 445,292; 445,292)
335	(101,979; 101,979; 101,979)	(344,335; 344,335; 344,335)
485	(0; 0; 0)	(219,084; 219,084; 219,084)
550	(0; 0; 0)	(219,084; 219,084; 219,084)
683	(0; 0; 0)	(431,157; 431,157; 431,157)
705	(0; 0; 0)	(431,157; 431,157; 431,157)
769	(0; 0; 0)	(431,157; 431,157; 431,157)
909	(0; 0; 0)	(219,084; 219,084; 219,084)
1082	(0; 0; 0)	(431,157; 431,157; 431,157)
1243	(0; 0; 0)	(862,313; 862,313; 862,313)
1262	(0; 0; 0)	(215,578; 215,578; 215,578)
1288	(0; 0; 0)	(431,157; 431,157; 431,157)
1470	(123,865; 123,865; 123,865)	(545,982; 545,982; 545,982)
1572	(0; 0; 0)	(219,084; 219,084; 219,084)
1700	(0; 0; 0)	(435,116; 435,116; 435,116)
1702	(0; 0; 0)	(435,116; 435,116; 435,116)
1763	(371,893; 371,893; 371,893)	(69,326; 69,326; 69,326)
2004	(0; 0; 0)	(848,516; 848,516; 848,516)
2024	(0; 0; 0)	(424,258; 424,258; 424,258)
2545	(145,736; 145,736; 145,736)	(286,881; 286,881; 286,881)
2643	(0; 0; 0)	(215,578; 215,578; 215,578)
2652	(0; 0; 0)	(219,084; 219,084; 219,084)

Fiyat 3 senaryosunda varsayılan dıştan alım fiyatları firmanın üretim maliyetlerinin üstündedir. Buna rağmen modele göre Tablo 6.23'te verilen ara ürünlerin tedarik edilmesi durumunda daha yüksek kâr elde edilmektedir. Bunun nedeni artan talep karşılandığında elde edilecek gelirin dışarıdan tedarik maliyetinin üzerinde olmasıdır.

Talebin %10 artması durumundaki tüm senaryolar elde edilen kâr bakımından incelendiğinde dışarıdan tedarik etme senaryolarının hepsi (T%10F1, F2, F3) daha kârlı sonuçlar vermiştir (Bakınız Şekil 6.11). Dışarıdan tedarik seçeneği olmadığında (Deney 5) ortaya çıkan kâr, mevcut talep durumuna göre oluşturulan senaryolarda oluşan kârlardan daha yüksektir. Fakat bu durumda talepler karşılanamamıştır. Dışarıdan tedarik etme seçeneği değerlendirilirse talepler karşılanarak kâr artmaktadır.



Şekil 6.11 : Talep %10 arttığında elde edilen kâr değerleri

### 6.3.2.2 Talebin %20 artması

Tedarik stratejisini oluşturmak için ikinci olarak talebin %20 artması durumu incelenmiştir. Mevcut durumdaki talepler %20 arttırıldığında  $\tilde{T} = (213,12; 232,68; 254,04)$  olarak elde edilmiştir. Bu talebe göre strateji belirlemek için ara ürünlerin dışarıdan satın alma fiyatları önceki bölümde kullanılan fiyat senaryolarına (Fiyat 1, Fiyat 2, Fiyat 3) göre belirlenecektir.

Fiyat 1 senaryosuna (iyimser verim oranları ile hesaplanan maliyetlerin fiyat olarak belirlenmesi) göre iyimser kâr 954.790, kötümser kâr 758.461 olarak bulunmuştur. DP-2 sonuçlarına göre üretim ve tedarik miktarlarındaki en büyük bulanıklık mevcut duruma (talepler orijinal problemdeki gibi, ara ürünlerin dışarıdan tedariki mümkün) göre yaklaşık %20 arttığı görülmüştür. DP-4 çözüldüğünde kâr (649.842, 802.316, 80.2316) olarak, ürünün satış miktarı (213,120; 223,285; 223,285) şeklinde belirlenmiştir. DP-4 sonucunda model, son ürünün dışarıdan alınarak satılmasını ve üretim yapılmamasını önermiştir. Tablo 6.24'te talebin %20 artması durumuyla ilgili tüm sonuçlar görülebilir.

Fiyat 2 senaryosu (kötümser verim oranları ile hesaplanan maliyetlerin fiyat olarak belirlenmesi) altında %20 talep artışı değerlendirildiğinde iyimser kâr 953.875, kötümser kâr 678.740 olarak hesaplanmıştır. İyimser kâr Fiyat 1 senaryosuna göre %0,1'lik bir azalma gösterirken kötümser kâr değeri yaklaşık %11 azalmıştır. Kötümser kârdeki azalmanın daha fazla olmasının nedeni Fiyat 1 senaryosuna göre son ürünün dışarıdan alınmasının kârda büyük iyileşme sağlamasıdır. Fiyat 2

senaryosundaki fiyatlar son ürünün dışarıdan alınması için uygun değildir. Fiyat 2 senaryosundaki en büyük bulanıklık seviyeleri Fiyat 1'inkilerle yaklaşık olarak aynıdır ve mevcut duruma göre %20 fazladır. DP-4 sonuçlarına göre kâr (627.434, 786.493, 794.816) olurken ürünün satış miktarı (213,120; 223,724; 223,724) şeklinde belirlenmiştir. Fiyat 1 sonuçları ile karşılaştırıldığında ürünün satış miktarı yaklaşık olarak aynı kalmışken, fiyatların artmasından dolayı kâr bir miktar azalmıştır. Model sonuçlarından üretim ve tedarik miktarları incelendiğinde 176 ara ürünün dışarıdan tedarik edilmesi önerilmiştir. Bu ara ürünlerin 29 tanesinin hem içeride üretilmesi hem de dışarıdan tedarik edilmesi planlanmıştır.

**Tablo 6.24 :** Talep %20 arttığında modellerin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar

Senaryo	DP -1		DP-2 En büyük bulanıklık seviyeleri			DP -4	
	İyimser kâr	Kötümser kâr	Kârdaki en büyük bulanıklık	Üretim değerleri	Dıştan tedarik değerleri	Kâr	İncelen ürün satış miktarı
Orijinal Problem	788024	565761	222263	100	100	(527968, 654528, 661464)	(177,600; 186,037; 186,037)
Mevcut Durum Fiyat 1	797867	632051	165816	325,02	330,70	(540180, 669023, 669024)	(177,600; 186,190; 186,190)
Mevcut Durum Fiyat 2	797789	565961	231828	325,02	330,70	(522882, 656753, 663918)	(177,600; 186,525; 186,525)
Talep %20 Fiyat 1	954790	758461	196329	390,58	396,84	(649842, 802316, 802316)	(213,120; 223,285; 223,285)
Talep %20 Fiyat 2	953875	678740	275135	390,024	396,84	(627434, 786493, 794816)	(213,120; 223,724; 223,724)
Talep %20 Fiyat 3	942293	676145	266148	390,024	396,84	(629383, 781713, 789963)	(213,120; 223,275; 223,275)

Talebin %20 artması durumu son olarak Fiyat 3 senaryosu altında incelenmiştir. Fiyat 3 senaryosunda fiyatlar, Fiyat 2 senaryosunda belirlenen fiyatların %5 fazlası alınarak hesaplanmıştır. DP-1 sonuçlarına göre iyimser kâr 942.293, kötümser kâr 676.145 olarak belirlenmiştir (senaryo sonuçları Tablo 6.24'te verilmiştir). Bu değerler yaklaşık olarak Fiyat 2 senaryosu ile aynıdır. DP-2 sonucunda ortaya çıkan en büyük bulanıklık seviyeleri de Fiyat 1 ve Fiyat 2 senaryoları sonuçları ile aynıdır. DP-4 sonuçlarına göre kâr (629.383, 781.713, 789.963) ve ürün satışı (213,120; 223,275; 223,275) şeklinde belirlenmiştir. Bu senaryoda belirlenen satış miktarı önceki senaryodakilerle yaklaşık olarak aynıdır, kâr ise dışarıdan tedarik fiyatlarının yüksek olmasından dolayı bir miktar düşmüştür. Ara ürünlerin üretim/tedarik stratejilerinde de değişiklikler olmuştur. Mevcut durumda firmanın ürettiği toplam

156 ara ürünün dışarıdan alınması planlanmıştır. Bunlardan 20 adedinin hem içerde üretilmesi hem dışarıdan alınması, 136 tanesinin ise tamamen dışarıdan alınması önerilmiştir.

Genel olarak bakıldığında taleplerin artması durumunda firmanın mevcut kaynakları ile talepleri karşılaması mümkün görünmemektedir. Artan talepleri karşılamak için model, bazı ara ürünlerin veya son ürünün dışarıdan temin edilmesini önermiştir. Varsayılan fiyat senaryolarına göre eğer bir ürünün fiyatı firmanın üretebileceği en düşük maliyette eşit (Fiyat 1 senaryosu) veya düşük ise dışarıdan temin etmesi uygun olacaktır. Fiyat 1 senaryosunun uygulandığı her durumda model, son ürünün dışarıdan temin edilerek üretim yapılmamasını önermiştir. Fiyatlar biraz artarsa ve firmanın mal edebileceği en kötümser düzeye çıkarsa (Fiyat 2), model son ürünün olmasa bile birçok ara ürünün dışarıdan temin edilebileceğini göstermiştir. Talep daha fazla arttıkça dışarıdan temin edilmesi önerilen ürün miktarı da artmaktadır. Fiyatların, firmanın bir ürünü mal ettiği seviyenin üstüne çıkması durumunda (Fiyat 3 senaryosu) dışarıdan tedarik etme hâlâ daha kârlı olabilmektedir. Bir başka deyişle firma kendi bünyesinde daha ucuza mal ettiği bir ara ürünü daha fazla bir fiyattan dışarıdan temin ederse toplam kârlılığını arttırabilmektedir.

### **6.3.3 Kapasite düştüğünde tedarik edilecek ürünlerin belirlenmesi**

Firmada planlaması yapılan ürün Almanya Mercedes'e satışı gerçekleştirilen "Integro karoser 15/R" kodlu karoserdir. MBT bünyesinde bu ürünün üretimini gerçekleştirildiği karoser imalat alanında bu ürünle birlikte firmanın ürettiği tüm otobüslerin karoserleri de üretilmektedir. Bölüm 6.2.1'de model parametreleri belirlerken değinildiği gibi ilgili ürünün toplam kapasitedeki payının %6 olduğu varsayılmış ve planlama için kullanılan kaynak kapasiteleri tesisin toplam kaynak kapasitesinin %6'sı alınarak belirlenmiştir.

Firma yetkililerinden alınan bilgiye göre firmanın en büyük problemlerinden bir tanesi otobüse yönelik taleplerin yüksek olması ve kapasitenin bunları karşılamakta yetersiz kalmasıdır. Bu çerçevede değerlendirilebilecek bir çözüm önerisi, karoser imalatında firmanın otobüs üretimi için ayırdığı kapasitenin artırılarak karoser olarak satılan ürünlere ayrılan kapasitenin düşürülmesi olabilir. Fakat bu durumda karoser olarak satılan ürünlerin talepleri karşılanamayabilir. Karoser için ayrılan kapasite düşürüldüğünde talebi karşılayabilmek için firmanın bazı ara ürünleri dışarıdan temin etme seçeneği değerlendirilebilir.

Bu bölümde ilgili ürün için ayrılan kapasitenin azaltılması durumunda ara ürünlerin dışarıdan temin edilmesi seçeneği değerlendirilmiştir. Bu amaçla ilgili karoser imalatı için ayrılan %6'lık kapasitenin %5'e düştüğü varsayılmıştır. Analizde kullanılan kaynak kapasiteleri Tablo 6.25'te verilmiştir. Ürünlerin dışarıdan temin edilmesini göz önüne alabilmek için ara ürün fiyatları için önceki bölümde önerilen Fiyat 1, Fiyat 2 ve Fiyat 3 senaryoları kullanılmıştır.

**Tablo 6.25 : Strateji belirlemede kullanılan kaynak kapasiteleri**

<b>Kaynak no</b>	<b>Kaynak</b>	<b>Kapasite (%5)</b>	<b>Kaynak dışarıdan tedarik etme kapasitesi (%5)</b>
1	İşçilik	3685500	1719900
2	Boru parça imalatı	635040	63504
3	Sac parça imalatı	328860	32886
4	Kaynak imalatı	2608200	260820

Dışarıdan tedarik edilen ürünlerin fiyatının bu ürünleri iyimser verimlilik oranları ile üretmenin maliyeti olarak belirlendiği Fiyat 1 senaryosuna göre Tablo 6.25'te verilen kapasiteler kullanılarak DP-1 çözüldüğünde iyimser kâr 795.658, kötümser kâr 632.051 olarak bulunmuştur.

Aynı girdiler ile DP-2 çalıştırıldığında üretim ve tedarik miktarları için en büyük bulanıklık seviyesi mevcut durum Fiyat 1 senaryosu ile aynı çıkmıştır. DP-4 sonuçlarına göre ise ürünün satış miktarı (177,600; 186,071; 186,071) ve oluşan kâr (541.535, 668.597, 668.597) olarak belirlenmiştir (Fiyat 1 ve diğer senaryoların sonuçları Tablo 6.26'da görülebilir). Bu koşullar altında firmanın üretim stratejisi son ürünün dışarıdan tedarik edilmesi ve üretim yapılmaması olmalıdır. Bu sonuç mevcut durum ve talebin arttığı durumların Fiyat 1 senaryoları ile aynıdır. Firma eğer kendi en düşük maliyetlerinde bir fiyata dışarıdan tedarik edebiliyorsa, ürünleri dışarıdan almalıdır.

Kapasitenin düşürülmesi durumu ikinci olarak Fiyat 2 senaryosu altında incelenmiştir. Eğer fiyatlar firmanın kötümser maliyetleri olarak belirlenirse ve karoser kapasitesinin toplam kapasitedeki oranı %5'e düşürülürse iyimser kâr 794.896 €, kötümser kâr 565.616 € olarak hesaplanmıştır. Tedarik ve üretim miktarları için en büyük bulanıklık oranları Fiyat 1 senaryosu ve mevcut analizleri sonucunda çıkan değerler ile aynıdır. DP-4 çözüldüğünde (177,600; 186,030; 186,030) adetlik satış miktarı ile (542.003, 668.449, 668.449) €'luk kâr belirlenmiştir. Bu senaryoya göre son ürünün dışarıdan alımı söz konusu değildir.

Firma kapasite düşmesine ara ürünlerin bir kısmını dışarıdan tedarik ederek çözüm bulmuştur. Buna göre 184 ürünün üretim/tedarik stratejisi değişmiştir. Bu ürünlerin 28 tanesi hem içeride hem dışarıda üretilirken 156 adedinin tamamen dışarıdan temin edilmesi önerilmiştir.

**Tablo 6.26 :** Kapasitenin düşürülmesi durumunda modellerin sonuçları

Senaryo	DP -1		DP-2 En büyük bulanıklık seviyeleri		DP -4		
	İyimser kâr	Kötümser kâr	Kârdaki en büyük bulanıklık	Üretim değerleri	Dıştan tedarik değerleri	Kâr	İncelen ürün satış miktarı
Orijinal Problem	788024	565761	222263	100	100	(527968, 654528, 661464)	(177,600; 186,037; 186,037)
Mevcut Durum Fiyat 1	797867	632051	165816	325,02	330,70	(540180, 669023, 669024)	(177,600; 186,190; 186,190)
Mevcut Durum Fiyat 2	797789	565961	231828	325,02	330,70	(522882, 656753, 663918)	(177,600; 186,525; 186,525)
Kapasite (%5) Fiyat 1	795658	632051	163607	325,02	330,70	(541535, 668597, 668597)	(177,600; 186,071; 186,071)
Kapasite (%5) Fiyat 2	794896	565616	229280	325,02	330,70	(522858, 655409, 662344)	(177,600; 186,437; 186,437)
Kapasite (%5) Fiyat 3	785244	563454	221790	325,02	330,70	(524486, 651428, 658302)	(177,600; 186,063; 186,063)

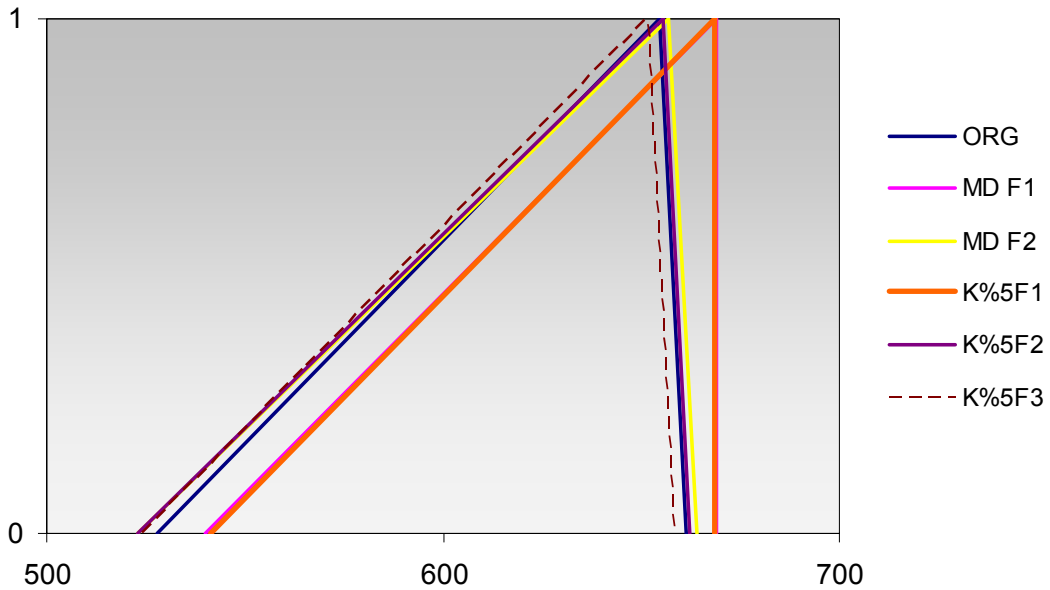
Kapasite düşmesi durumu son olarak Fiyat 3 (Fiyat 2'nin %5 fazlası) senaryosu altında analiz edilmiştir. İyimser ve kötümser kârlar sırasıyla 785.244 ve 563.454 olarak belirlenmiştir. DP-2 sonuçlarına göre en büyük bulanıklık seviyeleri önceki senaryolara göre değişmemiştir. Ürünün satış miktarı (177,600; 186,063; 186,063) adet olarak belirlenirken, kâr (524.486, 651.428, 658.302) şeklinde oluşmuştur. Bu senaryo altında 155 ürünün üretim/tedarik stratejisi değişmiştir. Bunlardan 20 adedinin hem içeride üretilmesi hem dışarıdan tedarik edilmesi söz konusudur.

Dışarıdan tedarik etme seçeneği olduğunda kaynak kapasitesinin kullanım oranlarında artış meydana gelmiştir. Tablo 6.27'de verilen kaynak kullanım miktarları ve oranlarına göre Fiyat 2 ve Fiyat 3'te ilgili ürünün üretimi için ayrılan kaynakların yaklaşık olarak tamamı kullanılmıştır. Fiyat 1 senaryosunda firma son ürünü dışarıdan tedarik ettiği için üretim gerçekleşmemiş ve kaynak kullanımı olmamıştır.

**Tablo 6.27 :** Senaryolara göre kaynak kullanım miktarları ve oranları

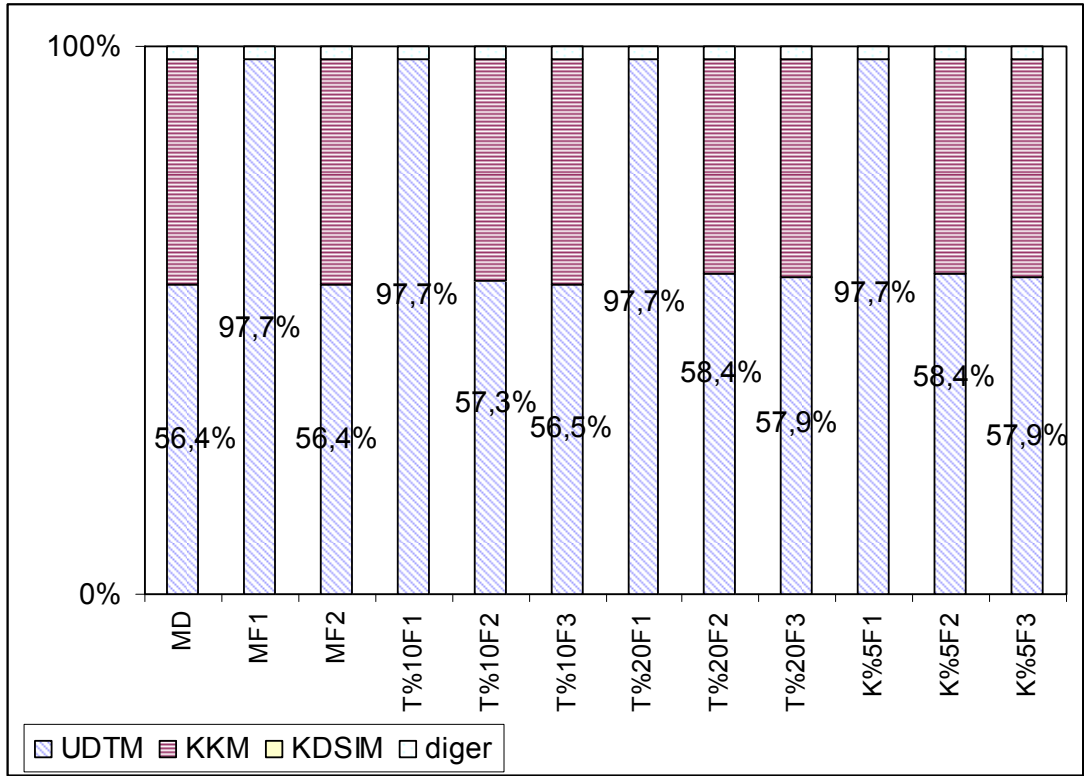
Kaynak no	Kaynak	Fiyat 1	Fiyat 2	Fiyat 3
1	İşçilik	0	(3616360; 3646528; 3646528) %98,12 - %98,94 - %98,94	(3655598; 3685500; 3685500) %99,19 - %100 - %100
2	Boru parça imalatı	0	(632964; 635040; 635040) %99,67 - %100 - %100	(681142; 683271; 683271) %107,26 - %107,6 - %107,6
3	Sac parça imalatı	0	(327760; 328860; 328860) %99,67 - %100 - %100	(327786; 328860; 328860) %99,67 - %100 - %100
4	Kaynak imalatı	0	(2507477; 2534022; 2534022) %96,14 - %97,16 - %97,16	(2498807; 2525060; 2525060) %95,81 - %96,81 - %96,81

Genel olarak değerlendirildiğinde; kapasite düşürüldüğünde eğer ara ürünleri dışarıdan tedarik etme seçeneği mevcut ise kârda ve satılan ürün miktarında büyük değişiklik olmamaktadır. Şekil 6.12’de verilen kâr değerlerine göre Fiyat 1 senaryosu dışındaki tüm denemelerde elde edilen sonuçlar yaklaşık olarak birbiriyle aynıdır. Kaynak kapasitelerinin yetersiz kaldığı durumlarda model ara ürünleri dışarıdan alarak açığı kapatmıştır. Bu durum dışarıdan alma fiyatı firmanın üretim maliyetinden yüksek olduğunda (Fiyat 3 senaryosu) da geçerlidir. Ayrıca ara ürünlerin dışarıdan temin edilmesi mümkün olduğunda mevcut kaynakların kullanım oranları artmış ve kaynaklar tamama yakın olarak kullanılmıştır.



**Şekil 6.12 :** Kapasite düştüğünde elde edilen kâr değerleri

Taleplerin artması ve kapasite düşürülmesi birlikte değerlendirildiğinde her iki durumun firmanın üretim/tedarik stratejisine benzer etkiler yaptığı görülmüştür. Fiyat 1 senaryosu altında firma son ürünü dışarıdan alarak en yüksek kâra ulaşmıştır. Fiyat 2 ve Fiyat 3 senaryolarına göre ise bazı ara ürünlerin dışarıdan alınması talepleri karşılamada veya kapasite açığını kapatmada etkin bir rol oynamıştır.



Açıklamalar: MD: mevcut durum, MF*i*: mevcut durum fiyat *i* senaryosu altında, T%*k*F*i*: Talep %*k* arttığına fiyat *i* senaryosu altında; K%5F*i*: Kapasite %5 olduğunda fiyat *i* senaryosu altında; UDTM: Ürün dıştan tedarik maliyeti; KKM: kaynak kullanım maliyeti; KDSIM: Kaynak dıştan sağlama ilave maliyeti, diger: diğer maliyetler

**Şekil 6.13** : Farklı durum ve senaryolar altında firmanın maliyetleri

Denenen durum ve senaryolar altında beklenen değerlere göre firmanın toplam maliyetinin yapısı Şekil 6.13'de verilmiştir. Buna göre, firmanın mevcut durumunda (ara ürünlerin dışarıdan alınması söz konusu değil) %56,4 olan dıştan tedarik maliyetleri Fiyat 1 senaryosu altındaki her durumda, son ürünün dışarıdan alınması önerildiği için %97,7'ye çıkmıştır. Fiyat 2 senaryosu altında dışarıdan ara ürün alımı mümkün olduğunda mevcut durum için çok fazla dışarıdan alım önerilmediği için ürünün dışarıdan tedarik maliyeti çok değişmemiştir. Diğer durumlarda ise bu maliyetin oranı; talep %10 arttığına yaklaşık %1, talep %20 arttığına ve kapasite kullanımı %6'dan %5'e düşürüldüğünde yaklaşık %2'lik bir artış göstermiştir. Fiyat 3 senaryosu (ara ürün fiyatlarının firma kendi maliyetlerinden yüksek olması) altında da ara ürünlerin dıştan alımı söz konusu olduğu için dıştan alım maliyetlerinin yüzdesinde artış gözükmemektedir. Bu artış, Fiyat 2 senaryosundaki artışa göre daha düşük olsa da özellikle talebin %20 artması ve kapasitenin %5'e düşürülmesi durumları için anlamlı miktardadır. Sonuç olarak talebin artması ve kapasitenin düşmesi daha yüksek olduğunda dışarıdan ara ürün almanın etkisi daha çok olmaktadır.



#### 6.4 Uygulama Sonuçları

Bu bölümde önceki bölümde (Bölüm 5) önerilen ODP modeli dünyadaki sayılı otobüs üretim tesislerinden biri olan MBT Hoşdere otobüs üretim işletmesinde uygulanmıştır. Örnek olması için firmanın karoser imalat alanında ürettiği ve Almanya Mercedes'e sattığı "Integro karoser 15/R" kodlu karoserin imalat süreci incelenmiştir. Bunun için öncelikle mevcut durumda hangi üründen ne kadar üretilmesi gerektiği, hangi hammaddenin ne kadar tedarik edilmesi gerektiği, hangi kaynağın hangi ürünün üretimine ayrıldığı, hangi kaynağın ne kadar dışarıdan tedarik edilmesi gerektiği, ne kadar satış yapılması gerektiği gibi kararlar verilmeye çalışılmıştır.

Önceki bölümde önerilen ODP modelinde varsayıldığı gibi, firma üretim sisteminin taleplerinde ve verimlilik oranlarında bulanıklık söz konusudur. Özellikle talep ile ilgili olarak; veri kullanılarak oluşturulan talep tahmini ve uzmanlardan alınan talep tahminleri farklılık göstermiştir. Tüm girdi talep tahminlerini birleştirmek için önceki bölümde önerilen talep tahmini birleştirme yöntemi uygulanmış ve ÜBS ile temsil edilen bulanık bir tahmin modelde kullanılmıştır. Verim oranları bakımından incelendiğinde firmanın oldukça verimli çalışmakta olduğu gözlenmiştir. Üretim ve hammadde tedarikinde tespit edilen verimlilik oranları %99'un üzerindedir. Modelde kullanılmaya üzere verimlilik oranları da ÜBS ile temsil edilmiştir.

Firma üretim ve tedarik planı önerilen ODP modelinin üç amacı olan kârın en büyüklenmesi, kârdaki bulanıklığın düşürülmesi ve karar değişkenlerinin bulanıklığının düşürülmesi üzerine kurulmuştur. Sonuçta kârın beklenen değerinin 654.528 €, kötümser değerinin 527.968 € ve iyimser değerinin 661.464 € olduğu bir plan önerilmiştir.

Model firmanın mevcut durumuna göre çözüldükten sonra modelin tutarlılığının test edilmesi ve firmaya daha esnek bir üretim/tedarik planı oluşturulması amaçları ile duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Modelin tutarlılığını test etmek için bir düzine deney planlanmıştır. Bu deneyler ile verimlilik oranları ve talep gibi bulanık parametreler ile ürün fiyatı, hammadde maliyeti ve kaynak kapasitesi gibi kesin parametrelerdeki değişimlere modelin nasıl tepki verdiği araştırılmıştır. Model bu değişimlere genel olarak makul tepkiler vermiştir. Beklendiği gibi; belirsiz olarak belirlenen model çıktıları (karar değişkenleri ve kâr) büyük oranda girdilerdeki belirsizliğe bağlı çıkmıştır. Girdilerdeki belirsizlik artınca kâr iki yönden olumsuz

olarak etkilenmiştir. Hem değeri düşmüş hem belirsizliği artmıştır. Maliyetler ile ilgili deneylere göre kâr marjı da çıktıları ve çıktılardaki belirsizliği etkileyen önemli bir etmen olarak ortaya çıkmıştır.

Firma mevcut durumunda kendi bünyesinde ürettiği ara ürünlerin dışarıdan tedarik edilmesi mümkün değildir. Fakat bu, bazı kaynakların tam kullanılamaması, talep artışlarına cevap verememe ve kendi öz yetkinliklerine odaklanamama gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Firmanın hangi ara ürünlerini dışarıdan tedarik edebileceğini tespit etmek ve bu çerçevede bir strateji oluşturmak için talep artışı ve kapasite azalışı durumları önerilen model aracılığı ile incelenmiştir.

Yapılan denemeler sonucunda önemli sonuçlar elde edilmiştir. Firma, kendi iyimser verimlilik oranlarına göre belirlediği maliyetlere eşit veya altında bir fiyatla temin edebiliyorsa, ara ürünleri dışarıdan almalıdır. Ürünleri kendi kötümser verimlilik oranlarına göre belirlediği maliyetler ile temin edebiliyorsa bazı ürünleri dışarıdan alarak kârını arttırabilir. Firmanın kapasitesi şu anki talepleri karşılamak için yeterlidir. Fakat talep artarsa kapasitesi yeterli olmayacaktır. Talep artarsa; ara ürünleri kendi iyimser maliyetleri veya %5 fazlasına temin edebilirse talepleri karşılayıp kârını arttırabilir. Firma bazı ara ürünleri iyimser maliyeti, kötümser maliyeti ya da kötümser maliyetinin %5 fazlası fiyatına temin edebilirse; tesiste üretilen diğer ürünlere kapasite açmak için ilgili ürüne ayrılan kaynak kapasite oranını %6'dan %5'e düşürebilir. Bu sayede firmanın kaynak kapasitesi kullanım oranları arttırılabilir. Gerçekleştirilen maliyet analizi sonunda talebin artması ve kapasitenin düşmesi daha yüksek olduğunda dışarıdan ara ürün almanın etkisi daha çok olmaktadır. Bu yüzden firma taleplerde kayda değer bir artış bekliyorsa ya da ilgili karoserin kapasitesini anlamlı düzeyde düşürerek diğer ürünlerinin kapasitesini arttırmak istiyorsa ara ürünlerin tedarik edilmesini ciddi olarak planlamalıdır.

Sonuç olarak bu bölümde önerilen ODP modelinin bir gerçek hayat probleminde nasıl performans göstereceği araştırılmıştır. İnceleme sonucunda önerilen modelin firmanın mevcut veri tabanından çekilen bilgiler temel alınarak uygulanabileceği görülmüştür. İncelenen sistem tam bir TZ yapısında olmayıp bir üretim sistemi olsa da TZ'nin de benzer şekilde ağ yapısı olarak kurgulanabileceği göz önüne alınırsa önerilen modelin uygulanabilir ve TZ'deki belirsizlikleri etkin olarak modelleyebilir olduğu söylenebilir. Ayrıca model ile farklı üretim/tedarik seçeneklerinin farklı senaryolar altında denenmesi mümkündür.

## 7. SONUÇLAR

Çalışmada, TZ planlamada stratejik kararların verilmesine destek olacak bulanık mantığa dayalı bir model geliştirilmiştir. Stratejik planlama çerçevesinde talep planlama, dış kaynak kullanımı, tedarikçi seçimi ve ağ yapılandırma konularını içeren bir problem incelenmiştir. Modeli geliştirmek için öncelikle TZY ve TZ konusunda kapsamlı bir literatür çalışması yapılmış ve bu konularda gelişime açık alanlar tespit edilmiştir. Literatür çalışması sonucunda TZ'nin ağ yapılı olarak modellendiği ve TZ'deki belirsizliklerin dikkate alındığı bir yaklaşımın geliştirilmesine karar verilmiştir. Daha sonra özellikle bu konular ile ilgilenilen mevcut çalışmalar ayrıntıları ile irdelenmiş ve yeni bir yaklaşım sunma adına bulanık mantık tabanlı bir ODP modeli geliştirilmiştir.

Olabilirsnel doğrusal programlama modelinin geliştirilmesi ve çözümü aşamalarında mevcut literatürdeki yaklaşımlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Mevcut çalışmalarda büyük çaplı problemlerde uygulanabilen, kesin çözümü garanti eden ve TZ'deki temel belirsizliklere odaklanan bir yaklaşım yoktur. Bu yüzden tez çalışmasında öncelikle TZ'deki belirsizlikler tespit edilmiştir. Sonra TZ, ağ yapılı olarak ele alınarak bulanık mantığa dayalı bir ODP yaklaşımı ile modellenmiştir. Olabilirsnel model, gerçek hayat problemlerine uygulayabilmek için tasarlanan dört farklı DP modeli yardımı ile çözülmüştür. Son olarak önerilen model dünyanın sayılı otobüs imalat tesislerinden biri olan MBT Hoşdere otobüs üretim alanında karoser imalatı için uygulanmıştır.

Tedarik zinciri yönetimi, geniş kapsamlı bütünleşik yönetim sistemi yaklaşımı ile tüm zincirdeki ortakların ihtiyaçlarını karşılamada etkin bir yaklaşım sunduğu için yıllar geçtikçe önemini arttırmaktadır. İkinci bölümde ayrıntıları verilen geniş çaplı literatür taraması sonucunda yıllara göre makale sayılarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca TZ'nin sistem bakış açısı sunması nedeni ile birçok alanda uygulanabileceği görülmüştür. Literatür çalışmasında toplam 243 farklı dergi içerisinde TZ ile ilgili makaleler yayımlandığı belirlenmiştir.

Çalışmada gerçekleştirilen ayrıntılı makale taraması sonucunda üç önemli durum tespit edilmiştir. İlk olarak, uygulamaya dayalı ve teori ile uygulamayı birleştiren çalışmalar, teorik olanlara göre oldukça azdır. İkincisi, TZ problemlerinin çözümünde deterministik tek amaçlı modeller diğerlerine göre daha çok kullanılmış, özellikle bulanık mantığa dayalı modeller daha az tercih edilmiştir. Son olarak, TZ hammadde temininden son kullanıcıya kadar olan süreci kapsamasına rağmen tüm TZ'yi iki aşamalı olarak modelleyen makale sayısı çok fazladır. Seri ve ağ yapılı modeller daha az tercih edilmiştir. Bu tespitler neticesinde uygulamaya dayalı veya teori ve uygulamayı birleştiren, bulanık mantık ile belirsizlikleri modelleyen ve tüm TZ'yi dikkate alan modellerin geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Literatür taramasında elde edilen sonuçlar diğer makalelerin sonuçları ile desteklenmektedir. İncelenen makalelerde TZ'yi çok aşamalı olarak modelleyen çalışmaların artacağı, matematik modellerin TZ planlamada yaygın olarak kullanıldığı ve bundan sonra da kullanılacağı, TZ'deki belirsizliklerin gittikçe fazla ilgi göreceği, müşteri odaklılığın temel TZ felsefesi olacağı, tersine lojistik ve küresel lojistik konularının daha fazla ilgi görmeye başlayacağı öngörülmektedir.

Sonuçta tez çalışmasında önerilen modelin, çok aşamalı, veri bulunabilirliğini göz ardı etmeyen, teori ve uygulamaya yönelik ve TZ'deki belirsizlikleri modelleyen yaklaşımı hem diğer makalelerde gelişime açık alanlar arasında değinilen bir konudur, hem de literatürdeki önemli bir açığı gidermektedir.

Gerçek hayattaki birçok sistemde olduğu gibi TZ'de de birçok belirsizlik ile karşılaşmaktadır. TZ'deki belirsizlikler, çevresel ve sistem belirsizliği olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Çalışmada TZ'deki belirsizlikleri modelleyebilmek için çevresel belirsizliklerden talepler ve tedarik miktarları verim oranları ile sistem belirsizliğinden üretim verim oranları bulanık sayılar kullanılarak ifade edilmiştir. Modelde önerilen temel yaklaşım çevresel belirsizlikler ve sistem belirsizliği ile baş edebilmek için belirsiz kararlar vermektir. Bunun için uzun dönemli stratejik kararların kesin olarak değil, belirsiz olarak yaklaşık değer ile verilmesi önerilmektedir. Bunun iki önemli yararı vardır. Birincisi uzun dönemde belirsiz olarak verilen kararların orta ve kısa vadede kesinleştirilmesi ile belirsizlik ortadan kalktığında daha doğru kararlar vermeyi sağlamasıdır. İkincisi, karar hiyerarşisinde üst düzeyde verilen belirsiz kararların alt düzeylere daha geniş bir karar serbestliği vermesidir. Çalışmada önerilen bu yaklaşım tezin en özgün yanlarından bir tanesidir.

Çalışmada TZ, ağ yapısı olarak modellenmiştir. Ağ yapısında faaliyetler düğüm olarak gösterilirken ürünler yaylar ile ifade edilmiştir. Temel olarak her bir faaliyet çeşitli kaynakları ve girdi ürünleri kullanarak çıktı ürünlere dönüştürmektedir. Ağ yapılı TZ yaklaşımları incelendiğinde bunların stratejik TZ planlamasında etkin olarak kullanılabileceği görülmüştür. Ağ yapılı modellerde farklı performans ölçütleri göz önüne alınabilmektedir. Çalışmada kârın en büyüklenmesi temel amaç olarak belirlenmiştir. İncelenen çalışmalarda belirsizliklerin modellere çok fazla yansıtılmadığı görülmüştür. Bununla birlikte planlamaların tek bir merkezden yapıldığı varsayılmaktadır. Ayrıca önerilen çoğu modelin gerçek hayat problemlerine uygulanması oldukça güçtür. Bu açılarından değerlendirildiğinde önerilen model bulanık mantık yaklaşımı ile TZ'deki belirsizlikleri modellemektedir. Diğer yandan önerilen modelde sadece firmanın etkin olduğu kararların verilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca önerilen modelin gerçek hayat problemlerine uygulanabilmesi için etkin bir çözüm yordamı geliştirilmiştir. Çözüm yordamının etkinliği MBT'nin karoser imalatı planlaması için uygulanarak kanıtlanmıştır.

Çalışmada belirsizlikleri modellemek için bulanık mantıktan faydalanılmıştır. İncelenen diğer çalışmalarda bulanık mantığın TZ planlamada etkin olarak kullanılabildiği görülmüştür. Literatürde yer alan diğer yaklaşımlarda belli belirsizliklere odaklanma, çözüm yordamının karmaşık olması, netleştirmenin çözümün başında uygulanarak belirsizliğin tam olarak modellenememesi gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Önerilen yaklaşımda TZ'deki belirsizliğin temel nedeni olan talepler ve diğer belirsizlikler ile ilgili verimlilik oranları bulanık sayılar ile gösterilerek sistemdeki belirsizliğin büyük çoğunluğu dikkate alınmıştır. Ayrıca önerilen çözüm yordamı, farklı DP modellerinin kullanılması sayesinde çok karmaşık değildir ve kesin çözüme ulaşmayı garanti etmektedir. Ayrıca model, temel olarak belirsiz girdiler ile belirsiz çıktılar elde etmek üzerine kurulmuştur. Böylece girdilerdeki belirsizlik tüm süreçte ve kararlarda temsil edilebilmiştir.

Çalışmada kullanılan ODP modelini geliştirebilmek için literatürde yer alan tek amaçlı ve çok amaçlı bulanık DP modelleri ayrıntıları ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda belirsizlik içeren bir DP problemi ile karşılaşıldığında nasıl çözüm aranacağı ile ilgili genel bir yaklaşım önerilmiştir. Genel yaklaşımın adımları şu şekilde tanımlanmıştır: (1) Problemden belirsizliğin yer aldığı parametrelerin tespit edilmesi, (2) belirsizliğin türüne göre bulanıklığın nasıl ifade edileceğinin tespit

edilmesi, (3) bulanık amaçların nasıl çözüleceğinin belirlenmesi, (4) bulanık kısıtların nasıl çözüleceğinin belirlenmesi, (5) çözümün nasıl elde edileceğinin belirlenmesi. Bu genel yaklaşıma göre TZ planlamada karşılaşılan belirsizlikleri modelleyebilmek için öncelikle belirlisizliğin yer aldığı parametreler, talep ve üretim ile tedarik verimsizlik oranları olarak tespit edilmiştir. Belirsizlikleri modelleyebilmek için literatürdeki çoğu çalışmada önerilen, bulanıklığı etkin olarak ifade edebilen ve matematiksel işlemleri kolaylaştıran ÜBS'ler kullanılmıştır. Modelde tanımlanan üç bulanık amacı çözmek için amaçların alabilecekleri değerlere göre normalize edilmesi önerilmiştir. Normalize edilmiş amaçlar ağırlıklar kullanılarak ve en küçüğünün en büyük yapılmasına dayanan bir yaklaşım ile birleştirilmiştir. Bulanık kısıtlar ile ilgilenebilmek için ÜBS'ler için tanımlanmış büyüklük/küçüklük ilişkileri kullanılmıştır. Son olarak çözüm, önerilen DP modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu yaklaşım literatürde yer alan çalışmalardan tamamen farklı özgün bir çözüm yordamı sunmaktadır.

Tedarik zincirindeki en önemli girdilerden bir tanesi olan talep, önceden planlaması gerektiği için en fazla belirsizliğin söz konusu olduğu parametrelerden bir tanesidir. Bu yüzden önerilen modelde talepler belirsiz olarak varsayılmış ve ÜBS'ler ile ifade edilmiştir. Literatür incelendiğinde farklı kaynaklardan gelen taleplerin birleştirilerek tek bir bulanık tahmin oluşturmak için geliştirilen yöntemlerin kısıtlı sayıda olduğu görülmüştür. Bu yüzden çalışmada geçmiş verilere dayanan istatistiksel tahminleri ve uzman yargılarını birleştirerek tek bir bulanık tahmin elde etmek üzere yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda istatistiksel tahminler güven aralıklarına göre ÜBS'ye çevrilmiştir. Uzmanlardan ise iyimser, beklenen ve kötümser tahminler alınarak, uzman yargıları ÜBS'ler ile ifade edilmiştir. Tahminleri birleştirmek için kullanılan ağırlıklar, tahminlerin entropilerine göre nesnel olarak belirlenmiştir.

Çalışmada önerilen ODP modeli kısıt parametrelerinin bir kısmında ve karar değişkenlerinin tümünde bulanıklık içeren bir modeldir. Modelin temel amacı firmanın TZ faaliyetleri sonucunda oluşan kârı enbüyüklemektedir. Modelde amaç fonksiyonu ve karar değişkenleri bulanık sayılar ile tanımlandığı için iki ek amaç ilave edilmiştir. Bunlar amaç fonksiyonundaki ve karar değişkenlerindeki belirsizlikleri enküçülemektedir. Sonuçta ortaya çok amaçlı bir ODP modeli çıkmıştır. Bu modeli çözmek için dört DP modeli önerilmiştir. İlk model ile kârın iyimser ve kötümser değerleri bulunarak limitleri belirlenmektedir. Bu model ile

belirlenen limitler olabilirsel modelin ilk amacı olan kâr ve ikinci amacı olan kârdaki bulanıklık fonksiyonlarının normalize edilmesi için kullanılmaktadır. İkinci model ile karar değişkenlerinin limitleri belirlenmektedir. Bu limitler ile olabilirsel modelin üçüncü amacı olan karar değişkenlerindeki bulanıklık normalize edilmektedir. Üçüncü model ile olabilirsel model önceki adımlarda belirlenen limitlere göre DP modeline dönüştürülür. Modeli çözmek için amaçların önem düzeylerini gösteren ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Dördüncü model, üçüncü modele alternatif olarak önerilmiştir. Bu modelde amaçların ağırlıklarının belirlenmesi gerekmeden amaçların en düşük düzeyinin en büyük yapılmasına dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Önerilen olabilirsel model ve çözüm için geliştirilen DP modellerinin uygulanabilirliğini göstermek için MBT Hoşdere tesislerinde karoser imalatı için bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamada öncelikle firmanın mevcut durumu için parametreler belirlenmiş ve model çözümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çeşitli parametre değişimlerine modelin verdiği tepki analiz edilmiştir. Bir düzine deney ile gerçekleştirilen bu analiz sonucunda belirsiz olarak belirlenen model çıktılarının büyük oranda girdilerdeki belirsizliğe bağlı olduğu görülmüştür. Girdilerdeki belirsizlik artınca kâr azalmış, kârdaki belirsizlik artmıştır. Maliyetler ile ilgili deneylere göre kâr marjının da çıktıları ve çıktılardaki belirsizliği etkilediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak modelin tutarlı sonuçlar verdiği karar verilmiştir.

Önerilen model daha sonra MBT karoser imalatı için stratejik kararların verilmesinde kullanılmıştır. Firmanın mevcut durumunda hangi ürünleri dışarıdan alacağı hangilerini kendisinin üreteceği bellidir. Bu yüzden geliştirilen model mevcut durum için uygulandığında stratejik kararların verilmesi mümkün olmamıştır. Model yaklaşımından faydalanmak için firmanın mevcut durumda kendisinin ürettiği tüm ara ürünleri dışarıdan almasının mümkün olabileceği varsayılarak farklı durum ve senaryolar altında denemeler gerçekleştirilmiştir.

Denemeler sonucunda önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Model sonuçlarına göre firma ara ürünleri, kendi kötümser verimlilik oranlarına göre belirlediği maliyetlere eşit veya altında bir fiyatla temin edebiliyorsa dışarıdan almalıdır. Kendi iyimser verimlilik oranlarına göre belirlediği maliyetler ile dışarıdan ürün temin edebiliyorsa bazı ara ürünleri dışarıdan alarak kârını arttırması mümkün olabilmektedir. Firmanın kapasitesi şu anki talepleri karşılamak için yeterlidir. Fakat talep artarsa kapasitesi

yeterli olmayacaktır. Talep artması durumunda ara ürünleri, kendi iyimser maliyetleri, kötümser maliyetleri veya kötümser maliyetlerinin %5 fazlasına temin edebiliyorsa talepleri karşılayıp kârını arttırabilir. Firma bazı ara ürünleri iyimser maliyetleri, kötümser maliyetleri veya kötümser maliyetlerinin %5 fazlası fiyatla temin edebilirse; tesiste üretilen diğer ürünlere kapasite açmak için ilgili ürüne ayrılan kaynak kapasite oranı %6'dan %5'e düşürülebilir. Bu sayede ilgili ürünün kaynak kapasitesi kullanım oranları arttırılabilir. MBT için geliştirilen stratejik planlamada model varsayılan fiyatlar ile çalıştırılmıştır. Dışarıdan alınması muhtemel ara ürünler için tedarikçilerden fiyatlar alınır; model daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

Önerilen modelde bulanık mantık kullanılarak talep ve verimlilik oranları gibi belirsizliğin yer aldığı girdiler modellenmiştir. Bu parametreler için tek bir değer atamaya gerek kalmadan iyimser, beklenen ve kötümser değerleri hesaba katılmıştır. Ayrıca sonuçlar da iyimser, beklenen ve kötümser değerleri ile ortaya koyulmuştur. Böylece karar vericiye kâr ve diğer karar değişkenleri ile ilgili yaklaşık olarak bilgi sunulmuştur.

Uygulama sonucunda önerilen ODP modelinin bir gerçek hayat probleminde iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Model çok miktarda veri içeren problemde makul zamanda sonuç üretebilmektedir. Önerilen modellerden DP-1, DP-3 ve DP-4 çözümleri kullanılan modeller yazılımı (GAMS platformu, CPLEX çözücüsü) ile hemen sonuca ulaşırken, DP-2'nin çözümü karar değişkenlerinin fazla olmasından dolayı 30 dakikayı bulabilmektedir.

Tedarik zinciri ve TZY konularında bundan sonra yapılabilecek çalışmalara değinilecek olunursa gerçekleştirilen kapsamlı literatür çalışması sonuçlarına göz atılabilir. Gıda sektöründe TZ yaklaşımı, kapalı döngülü TZ, tersine lojistik, internet ve bilişim teknolojileri kullanımının TZ'ye etkileri, TZ ortakları arası bilgi paylaşımı, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı TZ, kamçı etkisi, TZ sözleşmeleri ve TZ'nin işleyişini anlamaya çalışan anket çalışmaları literatürde son zamanlarda sıkça rastlanılan konulardır. Matematiksel modeller TZ modellemesinde kullanılan en önemli araçlardan bir tanesidir ve bundan sonra da kullanılması önerilmektedir. TZ ile ilgili araştırmalarda belirsizlikler göz ardı edilmemelidir. Müşteri odaklılık TZ'lerin temel yaklaşımı olmalıdır. Tersine lojistik ve küresel lojistik konularına bundan sonra daha sık rastlanacaktır.



Çalışma neticesinde bulanık mantığın TZ'deki belirsizlikleri etkin olarak modelleyebildiği sonucuna varılabilir. Bu yüzden bundan sonraki çalışmalarda belirsizliklerin modellenmesi için bulanık mantığa dayalı yöntemlerin kullanılması yaygınlaşmalıdır. Örneğin TZ konusunda en fazla ilgi gören konulardan biri olan kamçı etkisinin bulanık mantık ile incelenmesi yararlı bir çalışma olabilir.

Önerilen modelin geliştirilmesine yönelik olarak yapılabilecek birkaç çalışma vardır. Geliştirilen model stratejik kararların verilmesine yöneliktir. Çalışmanın dağıtık karar verme ile bütünleştirilmesi üst düzeyde verilen kararın alt düzeyde nasıl uygulanacağını belirlenmesi ve alt düzeyin verdiği karara göre üst düzeye bu bilgilerin geri beslemesini sağlaması açısından yararlı olabilir.

Önerilen modelin geçerliliğini güçlendirmek için küçük bir örnek üzerinde kurulması ve çok sayıda denemenin yapılması faydalı olabilir. Bu sayede modelde bulanıklığın ifade edilmesi, amaçların birleştirilmesi gibi konularda kullanılanlardan farklı yaklaşımların denenmesi ve duyarlılık analizleri ile dar boğazların görülmesi sağlanabilir.

Önerilen ODP modelinin geliştirilmesi başka bir araştırma konusu olabilir. Çalışmada TZ planlaması için önerilen özel bir problem üzerine ODP geliştirilmiş ve bu problemi çözmek için bir çözüm yordamı önerilmiştir. Sonraki çalışmalarda bu çalışmada önerilen yaklaşım temel alınarak genel bir ODP için çözüm yordamı oluşturulabilir.

Modelin kullanıcı dostu bir yazılıma dönüştürülmesi gelecek çalışmalara bir diğer örnek olarak söylenebilir. Bu sayede çok daha fazla deney yapılarak incelenen sistemlerin daha ayrıntılı analiz edilmesi mümkün olacaktır.

Uzun vadede, modelin firmaların üretim ve tedarik planlamalarında kullanılabilmesi için firmaların kullandığı mevcut yazılımlar ile bütünleşik olarak çalışacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ackoff, R.L.**, 1979. Resurrecting the future of OR, *Journal of Operational Research Society*, **30**, 189-199.
- Al-Mudimigh, A.S., Zairib, M. and Ahmed A.M.M.**, 2004. Extending the concept of supply chain: The effective management of value chains, *International Journal of Production Economics*, **87**, 309–320.
- Al-Othman, W.B.E., Lababidi, H.M.S., Alatiqi, I.M. and Al-Shayji, K.**, 2008. Supply chain optimization of petroleum organization under uncertainty in market demands and prices, *European Journal of Operational Research*, **189(3)**, 822-840.
- Altan, M.E.**, 1985. Lineer Cebir, *Mimar Sinan Üniv. Yayın no: 13*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T.**, 2006. A generic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks, *Computers & Industrial Engineering*, **51**, 197-216.
- Arıkan, F. and Güngör, Z.**, 2007. A two-phase approach for multi-objective programming problems with fuzzy coefficients, *Information Sciences*, **177**, 5191-5202.
- Balan, S., Vrat, P. and Kumar P.**, 2009. Information distortion in a supply chain and its mitigation using soft computing approach, *Omega*, **37(2)**, 282-299.
- Barron, F.H. and Barrett, B.E.**, 1996. Decision quality using ranked attribute weights, *Management Science*, **42**, 1515-1523.
- Bellman, R.E., and Zadeh, L.A.**, 1970. Decision-making in a fuzzy environment, *Management Science*, **17(4)**, 141-164.
- Bilgen, B. and Ozkarahan, I.**, 2004. Strategic tactical and operational production-distribution models: a review, *International Journal of Technology Management*, **28(2)**, 151-171.
- Biswas, S. and Narahari, Y.**, 2004. Object oriented modeling and decision support for supply chains, *European Journal of Operational Research*, **153(3)**, 704-726.
- Buckley, J.J. and Feuring, T.**, 2000. Evolutionary algorithm solution to fuzzy problems: fuzzy linear programming, *Fuzzy Sets and Systems*, **109**, 35-53.
- Carlsson, C. and Fullér, R.**, 2002. Fuzzy reasoning in decision making and optimization, Physica-Verlag, Germany.

- Chen, C.-L. and Lee W.-C.** 2004. Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices, *Computers & Chemical Engineering*, **28(6-7)**, 1131-1144.
- Chen, S. and Hwang, C.**, 1992. Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer-Verlag, Germany.
- Çapar, İ., Ülengin, F. And Reisman, A.**, 2004. A taxonomy for supply chain management literature, *WCTR 2004 Selected Proceedings*, İstanbul.
- Das, S.K. and Abdel-Malek, L.**, 2003. Modeling the flexibility of order quantities and lead-times in supply chains, *International Journal of Production Economics*, **85(2)**, 171-181.
- De Luca, A. and Termini, S.**, 1972. A definition of nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory, *Information and Control*, **20**, 301–312.
- Deng, H., Yeh, C.H. and Willis, R.J.**, 2000. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights, *Computers & Operations Research*, **27**, 963-973.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. and Papayannakis L.**, 1995. Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method, *Computers and Operations Research*, **122**, 763-770.
- Dolan, A. and Aldous, J.**, 1993. Networks and algorithms: an introductory approach, John Wiley & Sons, Great Britain.
- Dubois, D. and Prade, H.**, 1998. Possibility theory: an approach to computerized processing of uncertainty, Plenum Press, New York, USA.
- Ebanks, B.R.**, 1983. On measures of fuzziness and their representations, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, **94**, 24–37.
- Fischer, G.W.**, 1995. Range sensitivity of attribute weights in multiattribute value model, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, **62**, 252-266.
- Fratti, T. and Mahönen, P.**, 2001, Fuzzy logic-based forecasting model, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **14**, 189–201.
- Giannakis, M., Croom, S. and Slack, N.**, 2004, Supply Chain Paradigms, in *Understanding Supply Chains*, pp. 1-22 Eds New, S. and Westbrook, R., Oxford University Press, Oxford.
- Graves, S.C. and Willems, S.P.**, 2001, Optimizing the supply-chain configuration for new products, Technical Paper, Leaders for Manufacturing Program and Sloan School of Management, MIT, Cambridge, <<http://web.mit.edu/sgraves/www/papers/Supply%20Chain%20Configuration%20June%202004.pdf> >
- Guillén, G., Mele, F.D., Bagajewicz, M.J., España, A. and Puigjaner, L.**, 2005, Multiobjective supply chain design under uncertainty, *Chemical Engineering Science*, **60**, 1535 – 1553.
- Gupta, A. and Maranas, C.D.**, 2003. Managing demand uncertainty in supply chain planning, *Computers and Chemical Engineering*, **27**, 1219-1227.

- Gurnani, H., and Gerchak, Y.**, 2007. Coordination in decentralized assembly systems with uncertain component yields, *European Journal of Operational Research* **176**, 1559–1576.
- Güler, M.G. and Bilgic, T.**, 2009. On coordinating an assembly system under random yield and random demand, *European Journal of Operational Research*, 196, 342-350.
- Hair, J., Anderson, K.,E. and Black, W.,C.**, (1995) Multivariate data analysis with readings, Prentice-Hall, New York.
- Hax, A.C. and Candea, D.**, 1984. Production and inventory management, Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- Hobbs, BF.**,1978. A comparison of weighting methods in power plant citing, *Decision Sciences*, **11**, 725-737.
- Horowitz, I., and Zappe, C.**, 1995. The linear programming alternative to policy capturing for eliciting criteria weights in the performance appraisal process, *Omega*, **23(6)**, 667-676.
- Hsu, H.-M. and Wang, W.-P.**, 2001. Possibilistic programming in production planning of assemble-to-order environments. *Fuzzy Sets and Systems*, **119**, 59-70.
- Hu, C.-F., Teng, C.J. and Li, S.-Y.**, 2007. A fuzzy goal programming approach to multi-objective optimization problem with priorities, *European Journal of Operational Research*, **176**, 1319-1333.
- Hung, Y.W., Samsatli, N.J., and Shah, N.**, 2006, Object-oriented dynamic supply-chain modelling incorporated with production scheduling, *European Journal of Operational Research*, **169(3)**, 1064-1076.
- Hwang, C.L., and Yoon, K.**, 1981. Multi attribute decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Hwang, J., Chen, S.-M., and Lee, C.-H.**, 1998. Handling forecasting problems using fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, **100**, 217–228.
- Jammernegg, W. and Kischka, P.**, 2005. Dynamic, customer-oriented improvement of supply networks, *European Journal of Operational Research*, **167 (2)**, 413-426.
- Kabak, Ö.**, 2003. Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınmadaki yeri: Bir bulanık çok ölçütlü karar verme yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kahraman, C.** (Editör) 2006, Fuzzy applications in industrial engineering, Springer, Netherlands.
- Karabuk, S. and Wu, S.D.**, 2003. Coordinating strategic capacity planning in the semiconductor industry, *Operations Research*, **51(6)**, 839-849.
- Klir, G.J. and Folger T.A.**, 1988, Fuzzy sets, uncertainty, and information, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Kulmala, H.I., Paranko, J. and Uusi-Rauva, E.**, 2002. The role of cost management in network relationships, *International Journal of Production Economics*, **79(1)**, 33-43.

- Lai, Y.J. and Hwang, C.L.**, 1992a. Fuzzy mathematical programming: methods and applications, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Lai, Y.J. and Hwang, C.L.**, 1992b. A new approach to some possibilistic linear programming problem, *Fuzzy Sets and Systems*, **49(2)**, 121-133.
- Lai, Y.J. and Hwang, C.L.**, 1994a. Fuzzy multiple objective decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Lai, Y.J., and Hwang C.L.**, 1994b. TOPSIS for MODM, *European Journal of Operational Research*, **76**, 486-500.
- Lakhal, S., Martel, A., Kettani, O. and Oral, M.**, 2001. On the optimization of supply chain networking decisions, *European Journal of Operational Research*, **129**, 259-270.
- Lakhal, S., Martel, A., Oral, M. and Montreuil, A.**, 1999. Network companies and competitiveness: a framework for analysis, *European Journal of Operational Research*, **118**, 278-294.
- Lakhal, S.Y.**, 2006. An operational profit sharing and transfer pricing model for network-manufacturing companies, *European Journal of Operational Research*, **175**, 543-565.
- Leon, T. and Vercher, E.** 2004. Solving a class of fuzzy linear programs by using semi-infinite programming techniques, *Fuzzy Sets and Systems*, **146**, 235-252.
- Leung, S.C.H., Tsang, S.O.S., Ng, W.L. and Wu, Y.**, 2006. A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment, *European Journal of Operational Research*, **181(1)**, 224-238.
- Liang, T.-F.**, 2006. Distribution planning decisions using interactive fuzzy multi-objective linear programming, *Fuzzy Sets and Systems*, **157**, 1303-1316.
- Lin, C.-W.R. and Chen, H.-Y.S.**, 2004. A fuzzy strategic alliance selection framework for supply chain partnering under limited evaluation resources, *Computers in Industry*, **55 (2)**, 159-179.
- Liu, M.L. and Sahinidis, N.V.**, 1997. Process planning in a fuzzy environment, *European Journal of Operational Research*, **100**, 142-169.
- Ma, J., Fan, Z.-P, and Huang L.-H.**, 1999. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights, *European Journal of Operational Research*, **112**, 397-404.
- Maeda, T.**, 2001. Fuzzy linear programming problems as bi-criteria optimization problems, *Applied Mathematics and Computation*, **120**, 109-121.
- Maity, K. and Maiti, M.**, 2007. Possibility and necessity constraints and their defuzzification – A multi-item production-inventory scenario via optimal control theory, *European Journal of Operational Research*, **177**, 882-896.
- Maleki, H.R., Tata, M. and Mashinchi, M.**, 2000. Linear programming with fuzzy variables, *Fuzzy Sets and Systems*, **109**, 21-33.

- Mareschal, B.**, 1998. Weight stability intervals in multicriteria decision aid, *European Journal of Operational Research*, **33**, 54-64.
- Meixell, M.J. and Gargeya, V.B.**, 2005. Global supply chain design: a literature review and critique, *Transportation Research Part E*, **41**, 531-550.
- Min, H. and Zhou, G.**, 2002. Supply chain modeling: past, present and future, *Computers and Industrial Engineering*, **43**, 231-249.
- Mula, J., Poler, R., Garcia-Sabater, J.P. and Lario F.C.**, 2006a. Models for production planning under uncertainty: a review, *International Journal of Production Economics*, **103**, 271 – 285.
- Mula, J., Poler, R. and Garcia, J.P.**, 2006b. MRP with flexible constraints: A fuzzy mathematical programming approach, *Fuzzy Sets and Systems*, **157**, 74-97.
- Nagurney, A.**, 2006. On the relationship between supply chain and transportation network equilibria: a supernetwork equivalence with computations, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **42(4)**, 293-316.
- Pal, N.R. and Bezdek, J.C.**, 1994. Measuring fuzzy uncertainty, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **2(2)**, 107–118.
- Parra, M.A., Terol, A.B. and Uria, M.V.R.**, 1999. Solving the multi objective possibilistic linear programming problem, *European Journal of Operational Research*, **117**, 175-182.
- Petrovic, D.**, 2001. Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment, *International Journal of Production Economics*, **71**, 429-438.
- Petrovic, D., Roy, R., and Petrovic, R.**, 1998. Modelling and simulation of supply chain in an uncertain environment, *European Journal of Operational Research*, **109**, 299-309.
- Petrovic, D., Roy, R. and Petrovic, R.**, 1999. Supply chain modelling using fuzzy sets, *International Journal of Production Economics*, **59**, 443-453.
- Petrovic, D., Xie, Y., Burnham, K.**, 2006. Fuzzy decision support system for demand forecasting with a learning mechanism. *Fuzzy Sets and Systems*, **157**, 1713 – 1725.
- Porter, E.M.**, 1985. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance, The Free Press, New York, USA.
- Pöyhönen, M. and Hämäläinen, R.P.**, 2001. On the convergence of multiattribute weighting methods, *European Journal of Operational Research*, **129**, 569-585.
- Pramanik, S. and Roy, T.K.**, 2007. Fuzzy goal programming approach to multilevel programming problems, *European Journal of Operational Research*, **176**, 1151-1166.
- Ramik, J., and Rimanek, J.**, 1985. Inequality between fuzzy numbers and its use in fuzzy optimization. *Fuzzy Sets and Systems*, **16**, 123-138.

- Ribeiro, R.A.**, 1996. Fuzzy multiple attribute decision making: a review and new preference elicitation techniques, *Fuzzy Sets and Systems*, **78**, 155-181.
- Roghalian, E., Sadjadi, S.J. and Aryanezhad, M.B.**, 2007. A probabilistic bi-level linear multi-objective programming problem to supply chain planning, *Applied Mathematics and Computation*, **188**, 786-800.
- Rommelfanger, H.J.**, 1989. Interactive decision making in fuzzy linear optimization problems, *European Journal of Operational Research*, **41**, 210-217.
- Rommelfanger, H.J.**, 2004. The advantages of fuzzy optimization models in practical use, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, **3**, 295-309.
- Ross, T.J.**, 1995. Fuzzy logic with engineering applications, McGraw-Hill Inc., USA.
- Rowe, G. and Wright, G.**, 1999. The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis, *International Journal of Forecasting*, **15**, 353-375.
- Ryu, J.-H., Dua, V. and Pistikopoulos, E.N.**, 2004. A bilevel programming framework for enterprise-wide process network under uncertainty, *Computers & Chemical Engineering*, **28**, 1121-1129.
- Sabri, E.H. and Beamon, B.M.**, 2000. A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design, *Omega*, **28**, 581-598.
- Sahinidis, N.V.**, 2004. Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities, *Computers and Chemical Engineering*, **28**, 971-983.
- Sakawa, M. and Kato, K.**, 1997. Interactive decision making for large-scale multiobjective linear programs with fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, **88**, 161-172.
- Sakawa, M. and Kato, K.** 1998. An interactive fuzzy satisficing method for structured multiobjective linear fractional programs with fuzzy numbers, *European Journal of Operational Research*, **107**, 575-589.
- Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M. and Shapiro, A.**, 2005. A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, **167(1)**, 96-115.
- Schneeweiss, C.**, 2003. Distributed decision making, Springer, Second edition, Berlin.
- Schoemaker, P.J.H. and Waid, C.D.**, 1982. An experimental comparison of different approaches to determining weights in additive utility models, *Management Science*, **28**, 182-196.
- Shah, N.**, 2005. Process industry supply chains: Advances and challenges, *Computers and Chemical Engineering*, **29**, 1225-1235.
- Shapiro, J.F.**, 2001. Modeling the supply chain, Duxbury Thomson Learning, USA.
- Shapiro, J.F.**, 2004. Challenges of strategic supply chain planning and modeling, *Computers and Chemical Engineering*, **28**, 855-861.

- Shen, Z.-J.M.**, 2006. A profit maximization supply chain network design model with demand choice flexibility, *Operations Research Letters*, **34**, 673-682.
- Shirland, L.E., Jesse, R.R., Thompson, R.L. and Iacovou, C.L.**, 2003. Determining attribute weights using mathematical programming, *Omega*, **31(6)**, 423-437.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E.**, 2003. Designing and managing the supply chain, Second edition, Mc-Graw-Hill Irwin, New York, USA.
- Snyder, L.V., Daskin, M.S. and Teo, C.-P.**, 2007. The stochastic location model with risk pooling, *European Journal of Operational Research*, **179(3)**, 1221-1238.
- Song, Q. and Chissom, B.S.**, 1993. Fuzzy time series and its models, *Fuzzy Sets and Systems*, **54**, 269–277.
- Song, Q. and Chissom, B.S.**, 1994. Forecasting enrollments with fuzzy time series—Part II, *Fuzzy Sets and Systems*, **62**, 1–8.
- Soyer, A., Kabak, Ö. and Asan, U.**, 2007. A fuzzy approach to value and culture assessment and an application, *International Journal of Approximate Reasoning*, **44**, 182-196.
- Stadtler, H.**, 2005. Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges, *European Journal of Operational Research*, **163**, 575–588.
- Stanciulescu, C., Fortemps, P., Installe, M. and Wertz, V.**, 2003. Multiobjective fuzzy linear programming problems with fuzzy decision variables, *European Journal of Operational Research*, **149**, 654-675.
- Stevens, G.C.**, 1989. Integrating the supply chain, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, **19(8)**, 3-8.
- Stewart, T.** 1992, A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice, *Omega*, **20**, 569-586.
- Stock, J.R. and Lambert, D.M.**, 2001. Strategic logistic management, Fourth edition, Mc-Graw-Hill Irwin, New York, USA.
- Tanaka, H., Guo, P. and Zimmermann, H.-J.**, 2000. Possibility distribution of fuzzy decision variables obtained from possibilistic linear programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, **113**, 323-332.
- Tang, J., Wang, D., and Fung, R.Y.K.**, 2001. Formulation of general possibilistic linear programming problems for complex industrial systems, *Fuzzy Sets and Systems*, **119**, 41-48.
- Topcu, Y.İ.**, 2007. END331 Yöneylem Araştırması 1 ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendiliği Bölümü, İstanbul
- Torabi, S.A. and Hassini, E.**, 2008. An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning, *Fuzzy Sets and Systems*, **159**, 193-214.



- Triantaphyllou, E. and Sanchez A.A.**, 1997. Sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision making methods, *Decision Sciences*, **28(1)**, 151-194.
- Url-1** <<http://www.sciencedirect.com>>, alındığı tarih 10.01.2006.
- Url-2** <<http://www.sciencedirect.com>>, alındığı tarih 13.05.2008.
- Url-3** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Entropi>>, alındığı tarih 30.07.2008
- Verdegay, J.L.**, 1984. A dual approach to solve the fuzzy linear programming problem, *Fuzzy Sets and Systems*, **14**, 131-141.
- Vis, I.F.A. and Roodbergen, K.J.**, 2002. Examining supply chains from practice, in *Quantitative approaches to distribution logistics and supply chain management*, pp. 3-18, Eds Klose, A., Speranza, M.G. and van Wassenhove, L.N., Springer, Heidelberg.
- Wang, J. and Shu, Y.-F.**, 2005. Fuzzy decision modeling for supply chain management, *Fuzzy Sets and Systems*, **150**, 107-127.
- Wang, J. and Shu, Y.-F.**, 2007. A possibilistic decision model for new product supply chain design, *European Journal of Operational Research*, **177**, 1044-1061.
- Wang, R.-C. and Fang, H.H.**, 2001. Aggregate production planning with multiple objectives in a fuzzy environment, *European Journal of Operational Research*, **133**, 521-536.
- Wang, R.-C. and Liang, T.-F.**, 2004. Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning, *Computers & Industrial Engineering*, **46**, 17-41.
- Wang, R.-C. and Liang, T.-F.**, 2005, Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning, *International Journal of Production Economics*, **98**, 328-341.
- Weber, M. and Borcherdig, K.**, 1993. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making, *European Journal of Operational Research*, **67**, 1-12.
- Werner, B.**, 1987. Interactive multiple objective programming subject to flexible constraints, *European Journal of Operations Research*, **31**, 342-349.
- Winston, W.L.**, 2004. Operations research: applications and algorithms, Fourth edition, Thomson Book/Cole, Canada.
- Xie, Y.X., Petrovic, D. and Burnham, K.**, 2006. A heuristic procedure for the two-level control of serial supply chains under fuzzy customer demand, *International Journal of Production Economics*, **102**, 37-50.
- Xu, J., Liu, Q., and 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.
- Zadeh, L.A.**, 1965. Fuzzy sets, *Information and Control*, **8(3)**, 338-353.
- Zeng, W. and Li, H.**, 2007. Weighted triangular approximation of fuzzy numbers, *International Journal of Approximate Reasoning*, **46**, 137-150.

- Zhang, G., Wu, Y.-H., Remias, M. and Lu, J.**, 2003. Formulation of fuzzy linear programming problems as four objective constrained optimization problems, *Applied Mathematics and Computation*, **139**, 393-399.
- Zimmermann, H.J.**, 1978. Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy sets and Systems*, **1**, 45-55.
- Zimmermann, H.J.**, 2000. An application-oriented view of modeling uncertainty, *European Journal of Operational Research*, **122**, 190-198.
- Zimmermann, H.J.**, 2006. Intelligent manufacturing management, in *Fuzzy applications in industrial engineering*, pp. 384-400, Ed. Kahraman, C., Springer, Netherlands.

## EKLER

### EK-C. Uygulamada kullanılan modellerin GAMS kodları

```
sets
  p      urunler /0,1,2,3.../*
  r      kaynaklar /1*4/
  pd(p)  disaridan alinan urunler /2, 3, 4, 5.../*
  pu(p)  uretilmesi zorunlu urunler /0, 1, 6.../*
  pbo(p) borudan uretilen urunler /38, 40, 42.../*
  ps(p)  sactan uretilen urunler /7, 9, 12... /*
  pk(p)  kaynak islemi goren urunler /0, 1, 6... /*
  phs(p) hammadde - sac /2, 3, 4... / *
  phb(p) hammadde - boru /39, 41, 43.../ *
;
Alias (p, u);
parameter BOM(p,p) urun agaci matrisi
/0.1      1
1.2      2.3
1.3      17.7
.../*
parameter KK(p,r) kaynak kullanim bilgileri
/38.2     2.04
40.2     1.6
42.2     1.6
.../*
parameter urunDM (p) urun disaridan alma maliyeti
/2      3.2304347826087
3      2.15028248587571
4      5.53
/*
table Kaynak (r,*) kaynaklar ile ilgili parametreler
      C      Mal      DC      DKM
1      4422600      0.21667      2063880      0.10833
2      762048      0.022159      76205      0.0110795
3      394632      0.080577      39463      0.0402885
4      3129840      0.004029      312984      0.0020145;
parameter urunDK(p) urun disaridan alma kapasitesi ;
UrunDK(p) = 100000000000;
parameter urunF(p) urun satis fiyati / 0 15000 /;
parameter urunT(p) urun talebi /0 211.7/;
parameter VU(p) uretim verimlilik oranı;
VU(p) = 0.997;
VU(pbo) = 0.995;
VU(ps) = 0.993;
```

Şekil C.1 : Uygulamada iyimser kârı bulamak için kullanılan DP-1 modelinin GAMS kodları

\* yer kısıtından dolayı verilerin hepsi gösterilememiştir

```

VU(pk) = 0.990;
parameter VD(p) disaridan saglama verimlilik oranı;
VD(p) = 1;
VD(phs) = 1;
VD(phb) = 1;

variable z;
positive variable UR(p), D(p), S(p), DKR(r);

equations
amac, k540, k541, k542, k543, k544, k545, k546;
amac.. z =e= sum(p, S(p)*urunF(p))
- sum(r, sum(p,UR(p)*KK(p,r))*
Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r)*kaynak(r,"DKM")))
- sum(p, urunDM(p)*D(p))
- 0.024 *(sum(p,
urunDM(p)*D(p))+sum(p,UR(p)*KK(p,"1"))*
Kaynak("1","Mal")+(DKR("1")*kaynak("1","DKM")));

k540(pd).. UR(pd)=l= 0;
k541(pu).. D(pu)=l=0;
k542(p).. D(p)=l= urunDK(p);
k543(p).. UR(p)*VU(p)+D(p)*VD(p)- S(p) =g= sum(u, BOM(u,p)*
UR(u));
k544(r).. sum(p, UR(p)*KK(p,r)) =l= Kaynak(r,"C") + DKR(r);
k545(r).. DKR(r) =l= kaynak(r,"DC");
k546(p).. S(p) =l= urunT(p);

Model DP1 /all/ ;
Solve DP1 using LP maximizing z ;

```

**Şekil C.1** : Uygulamada iyimser kârı bulamak için kullanılan DP-1 modelinin GAMS kodları (devam)

```

sets
p urunler /0,1,2,3.../*
r kaynaklar /1*4/
pd(p) disaridan alinan urunler /2, 3, 4, 5.../*
pu(p) uretilmesi zorunlu urunler /0, 1, 6.../ *
pbo(p) borudan uretilen urunler /38, 40, 42.../*
ps(p) sactan uretilen urunler /7, 9, 12... /*
pk(p) kaynak islemi goren urunler /0, 1, 6... /*
phs(p) hammadde - sac /2, 3, 4... / *
phb(p) hammadde - boru /39, 41, 43.../ *
;
Alias (p, u);
parameter BOM(p,p) urun agaci matrisi
/0.1 1
1.2 2.3
1.3 17.7
.../*
parameter KK(p,r) kaynak kullanim bilgileri
/38.2 2.04
40.2 1.6
42.2 1.6
.../*

```

**Şekil C.2** : Uygulamada kötümser kârı bulamak için kullanılan DP-1 modelinin GAMS kodları

\* yer kısıtından dolayı verilerin hepsi gösterilememiştir

```

parameter urunDM (p) urun disaridan alma maliyeti
/2      3.2304347826087
3      2.15028248587571
4      5.53
/;*

table Kaynak (r,*) kaynaklar ile ilgili parametreler
      C      Mal      DC      DKM
1      4422600      0.21667      2063880      0.10833
2      762048      0.022159      76205      0.0110795
3      394632      0.080577      39463      0.0402885
4      3129840      0.004029      312984      0.0020145;

parameter urunDK(p) urun disaridan alma kapasitesi ;
UrunDK(p) = 100000000000;

parameter urunF(p) urun satis fiyati / 0 15000 /;
parameter urunT(p) urun talebi /0 177.6/;
parameter VU(p) uretim verimlilik orani;
VU(p) = 0.994;
VU(pbo) = 0.988;
VU(ps) = 0.982;
VU(pk) = 0.976;

parameter VD(p) disaridan saglama verimlilik orani;
VD(p) = 0.995;
VD(phs) = 0.990;
VD(phb) = 0.993;

variable z;
positive variable UR(p), D(p), S(p), DKR(r);

equations
      amac, k540, k541, k542, k543, k544, k545, k546;
amac..  z =e= sum(p, S(p)*urunF(p))
      - sum(r, sum(p,UR(p)*KK(p,r))*
      Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r)*kaynak(r,"DKM")))
      - sum(p, urunDM(p)*D(p))
      - 0.024 *(sum(p,
urunDM(p)*D(p))+sum(p,UR(p)*KK(p,"1"))*
      Kaynak("1","Mal")+(DKR("1")*kaynak("1","DKM")));

k540(pd).. UR(pd)=l= 0;
k541(pu).. D(pu)=l=0;
k542(p).. D(p)=l= urunDK(p);
k543(p).. UR(p)*VU(p)+D(p)*VD(p)- S(p) =g= sum(u, BOM(u,p)*
UR(u));
k544(r).. sum(p, UR(p)*KK(p,r)) =l= Kaynak(r,"C") + DKR(r);
k545(r).. DKR(r) =l= kaynak(r,"DC");
k546(p).. S(p) =l= urunT(p);

Model DP1 /all/ ;
Solve DP1 using LP maximizing z ;

```

**Şekil C.2 :** Uygulamada kötümser kârı bulmak için kullanılan DP-1 modelinin GAMS kodları (devam)

```

Sets
p      urunler /0,1,2,3.../*
r      kaynaklar /1*4/
pd(p)  disaridan alinan urunler /2, 3, 4, 5.../*
pu(p)  uretilmesi zorunlu urunler /0, 1, 6.../ *
pbo(p) borudan uretilen urunler /38, 40, 42.../*
ps(p)  sactan uretilen urunler /7, 9, 12... /*
pk(p)  kaynak islemi goren urunler /0, 1, 6... /*
phs(p) hammadde - sac /2, 3, 4... / *
phb(p) hammadde - boru /39, 41, 43.../ *

i ucgen bulanik sayilarin uc noktalarini /L,M,R/
sec(p)  secilen urunler
seck(r) secilen kaynaklar;

Alias (p, u);
parameter BOM(p,p) urun agaci matrisi
/0.1      1
1.2      2.3
1.3      17.7
.../*
parameter KK(p,r) kaynak kullanim bilgileri
/38.2     2.04
40.2     1.6
42.2     1.6
.../*
parameter urunDM (p) urun disaridan alma maliyeti
/2      3.2304347826087
3      2.15028248587571
4      5.53
/*
table Kaynak (r,*) kaynaklar ile ilgili parametreler
      C           Mal           DC           DKM
1      4422600    0.21667    2063880    0.10833
2      762048    0.022159   76205     0.0110795
3      394632    0.080577   39463     0.0402885
4      3129840   0.004029   312984    0.0020145;

parameter urunDK(p) urun disaridan alma kapasitesi ;
UrunDK(p) = 100000000000;

parameter urunF(p) urun satis fiyatı / 0 15000 /;
parameter urunT(p) urun talebi /0 211.7/;
parameter VU(p,i) uretim verimlilik oranı;
VU(p,"R") = 0.997; VU(pbo,"R") = 0.995; VU(ps,"R") = 0.993;
VU(pk,"R") = 0.990; VU(p,"M") = 0.996; VU(pbo,"M") = 0.992;
VU(ps,"M") = 0.988; VU(pk,"M") = 0.984; VU(p,"L") = 0.994;
VU(pbo,"L") = 0.988; VU(ps,"L") = 0.982; VU(pk,"L") = 0.976;

parameter VD(p,i) disaridan saglama verimlilik oranı;
VD(p,"R") = 1; VD(phs,"R") = 1; VD(phb,"R") = 1;
VD(p,"M") = 0.998; VD(phs,"M") = 0.995; VD(phb,"M") = 0.997;
VD(p,"L") = 0.995; VD(phs,"L") = 0.990; VD(phb,"L") = 0.993;

parameter zalt /565761 /
      zust /788024/;
variable z, Dx, URx, Sx, Rx;
positive variable UR(p), D(p), S(p), DKR(r), VUU(p), VDD(p) ;

```

**Şekil C.3 : Uygulamada kullanılan DP-2 modelinin GAMS kodları**

\* yer kısıtından dolayı verilerin hepsi gösterilememiştir

## Equations

```
amac
k540, k541, k542, k544, k545, k546
zaltsinir, zustsinir, Dhesap, URhesap, Shesap, Khesap
k554, k555i, k555ii, k556i, k556ii ;

amac..          z =e=      sum(p, S(p)*urunF(p))
                    - sum(r, sum(p,UR(p)*KK(p,r))*
                    Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r)*kaynak(r,"DKM")))
                    - sum(p, urunDM(p)*D(p))
                    - 0.024 *(sum(p,
                    urunDM(p)*D(p))+sum(p,UR(p)*KK(p,"1"))*
                    Kaynak("1","Mal")+(DKR("1")*kaynak("1","DKM")));
zaltsinir.. z =g= zalt;
zustsinir.. z =l= zust;

Dhesap.. Dx =e= sum(sec, D(sec));
URhesap.. URx =e= sum(sec, UR(sec));
Shesap.. Sx =e= sum(sec, S(sec));
khesap.. Rx =e= sum(seck, DKR(seck));

k540(pd).. UR(pd)=l= 0;
k541(pu).. D(pu)=l=0;
k542(p).. D(p)=l= urunDK(p);
k544(r).. sum(p, UR(p)*KK(p,r)) =l= Kaynak(r,"C") + DKR(r);
k545(r).. DKR(r) =l= kaynak(r,"DC");
k546(p).. S(p) =l= urunT(p);
k554(p).. VUU(p)+VDD(p) - S(p) =e= sum(u, BOM(u,p)* UR(u));
k555i(p).. VU(p,"R")*UR(p) =g= VUU(p) ;
k555ii(p).. VUU(p) =g= VU(p,"L")*UR(p);
k556i(p).. VD(p,"R")*D(p) =g= VDD(p) ;
k556ii(p).. VDD(p) =g= VD(p,"L")*D(p);

Model DP2 /all/ ;

set pp(p) secilen urun /0,1,2,3.../*;
sec(p) = no;
parameter repU urunler ile ilgili rapor;

loop(pp, sec(pp) = yes;
  solve DP2 us lp max URx; repU('UR_obj-max',pp) = DP2.objval;
  solve DP2 us lp min URx; repU('UR_obj-min',pp) = DP2.objval;
  solve DP2 us lp max Dx; repU('D_obj-max',pp) = DP2.objval;
  solve DP2 us lp min Dx; repU('D_obj-min',pp) = DP2.objval;
  solve DP2 us lp max Sx; repU('S_obj-max',pp) =DP2.objval;
  solve DP2 us lp min Sx; repU('S_obj-min',pp) =DP2.objval;
  sec(pp) = no);

set rr(r) analiz edilecek kaynaklar /1*4/;
seck(r) = no;
parameter repK kaynaklar ile ilgili rapor;

loop(rr, sec(rr) = yes;
  solve DP2 us lp max Rx; repK('R_obj-max',rr) = DP2.objval;
  solve DP2 us lp min Rx; repK('R_obj-min',rr) = DP2.objval;
  sec(rr) = no);

display repU, repK ;
```

### Şekil C.3 : Uygulamada kullanılan DP-2 modelinin GAMS kodları (devam)

\* yer kısıtından dolayı verilerin hepsi gösterilememiştir

```

Sets
p      urunler /0,1,2,3.../*
r      kaynaklar /1*4/
pd(p) disaridan alinan urunler /2, 3, 4, 5.../*
pu(p) uretilmesi zorunlu urunler /0, 1, 6.../ *
pbo(p) borudan uretilen urunler /38, 40, 42.../*
ps(p) sactan uretilen urunler /7, 9, 12... /*
pk(p) kaynak islemi goren urunler /0, 1, 6... /*
phs(p) hammadde - sac /2, 3, 4... / *
phb(p) hammadde - boru /39, 41, 43.../ *
i ucgen bulanik sayilarin uc noktaları /L,M,R/;

Alias (p, u);
parameter BOM(p,p) urun agaci matrisi
/0.1      1
1.2      2.3
1.3      17.7
.../*;

parameter KK(p,r) kaynak kullanim bilgileri
/38.2      2.04
40.2      1.6
42.2      1.6
.../*;

parameter urunDM (p) urun disaridan alma maliyeti
/2      3.2304347826087
3      2.15028248587571
4      5.53
.../*;

parameter bulU(pu)
/0      59.846
1      63.513
6      63.502
.../*;

parameter bulD(pd)
/
2      151.113
3      1162.911
4      657.012
.../*;

parameter bulS(p) / 0 59.3 /;
parameter bulDK(r)
/1 2003636
2 76205
3 39463
4 312984/;

table Kaynak (r,*) kaynaklar ile ilgili parametreler
      C      Mal      DC      DKM
1      4422600      0.21667      2063880      0.10833
2      762048      0.022159      76205      0.0110795
3      394632      0.080577      39463      0.0402885
4      3129840      0.004029      312984      0.0020145;

parameter urunDK(p) urun disaridan alma kapasitesi ;
UrunDK(p) = 100000000000;

parameter urunF(p) urun satis fiyatı / 0 15000 /;
parameter urunT(p,i) urun talebi /0.L 177.6, 0.M 193.9, 0.R 211.7/;

```

**Şekil C.4 : Uygulamada kullanılan DP-3 modelinin GAMS kodları**

\* yer kısıtından dolayı verilerin hepsi gösterilememiştir



```

parameter VU(p,i) uretim verimlilik orani;
VU(p,"R") = 0.997; VU(pbo,"R") = 0.995; VU(ps,"R") = 0.993;
VU(pk,"R") = 0.990; VU(p,"M") = 0.996; VU(pbo,"M") = 0.992;
VU(ps,"M") = 0.988; VU(pk,"M") = 0.984; VU(p,"L") = 0.994;
VU(pbo,"L") = 0.988; VU(ps,"L") = 0.982; VU(pk,"L") = 0.976;
parameter VD(p,i) disaridan saglama verimlilik orani;
VD(p,"R") = 1; VD(phs,"R") = 1; VD(phb,"R") = 1;
VD(p,"M") = 0.998; VD(phs,"M") = 0.995; VD(phb,"M") = 0.997;
VD(p,"L") = 0.995; VD(phs,"L") = 0.990; VD(phb,"L") = 0.993;
scalars w1 /-0.1/
          w2 /-0.1/
          w3 /0/
          zlalt /565761/
          zlust /788024/
          nf /2185/ ;
variable z, amac1, amac2, amac3;
positive variable UR(p,i), D(p,i), S(p,i), DKR(r,i), z1(i) ;
equations
      amac
      h1, h2, h3
      k560, k561, k562, k563, k564, k565, k566
      k567, k568, k569, k570, k571, k572, k573 ;

amac.. z =e= w1*amac1 + w2*amac2 + w3*amac3;
h1.. amac1 =e= ((z1("M")-zlalt)/(zlust-zlalt));
h2.. amac2 =e= (((zlust-zlalt)-(z1("R")-z1("L")))/(zlust-zlalt));
h3.. amac3 =e= (
      sum(pu,((bulU(pu)-(UR(pu,"R")-
              UR(pu,"L")))/bulU(pu)))
      +sum(pd,((bulD(pd)-(D(pd,"R")-D(pd,"L")))/bulD(pd)))
      +      ((bulS("0")-(S("0","R")-
              S("0","L")))/bulS("0"))
      + sum(r,((bulDK(r)-(DKR(r,"R")-
              DKR(r,"L")))/bulDK(r)))
      )/nf;

k560.. z1("M")=e= sum(p, S(p,"M")*urunF(p))
      - sum(r,
      sum(p,UR(p,"M")*KK(p,r))*Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r,"M")*kaynak(r,"DKM"
      )))
      - sum(p, urunDM(p)*D(p,"M"))
      - 0.024 *(sum(p,
      urunDM(p)*D(p,"M")+sum(p,UR(p,"M")*KK(p,"1"))*Kaynak("1","Mal")+(D
      KR("1","M")*kaynak("1","DKM"))));

k561.. z1("L")=e= sum(p, S(p,"L")*urunF(p))
      - sum(r,
      sum(p,UR(p,"R")*KK(p,r))*Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r,"R")*kaynak(r,"DKM"
      )))
      - sum(p, urunDM(p)*D(p,"R"))
      - 0.024 *(sum(p,
      urunDM(p)*D(p,"R")+sum(p,UR(p,"R")*KK(p,"1"))*Kaynak("1","Mal")+(D
      KR("1","R")*kaynak("1","DKM"))));

k562.. z1("R")=e= sum(p, S(p,"R")*urunF(p))
      - sum(r,
      sum(p,UR(p,"L")*KK(p,r))*Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r,"L")*kaynak(r,"DKM"
      )))
      - sum(p, urunDM(p)*D(p,"L"))
      - 0.024 *(sum(p,
      urunDM(p)*D(p,"L")+sum(p,UR(p,"L")*KK(p,"1"))*Kaynak("1","Mal")+(D
      KR("1","L")*kaynak("1","DKM"))));

```

**Şekil C.4 :** Uygulamada kullanılan DP-3 modelinin GAMS kodları (devam)

```

k563(pd).. UR(pd,"R")=l= 0;
k564(pu).. D(pu, "R")=l=0;
k565(p).. D(p, "R")=l= urunDK(p);
k566(p,i).. UR(p,i)*VU(p,i)+D(p,i)*VD(p,i) =g= sum(u, BOM(u,p)*
UR(u,i)) + S(p,i);
k567(r,i).. sum(p, UR(p,i)*KK(p,r)) =l= Kaynak(r,"C") + DKR(r,i);
k568(r).. DKR(r,"R") =l= kaynak(r,"DC");
k569(p,i).. S(p,i) =l= UrunT (p,i);

k570(p,i+1).. UR(p,i) =l= UR(p,i+1) ;
k571(p,i+1).. D(p,i) =l= D(p,i+1) ;
k572(p,i+1).. S(p,i) =l= S(p,i+1) ;
k573(r,i+1).. DKR(r,i) =l= DKR(r,i+1) ;

Model DP3 /all/ ;
parameter rep rapor ;
sets adim1 /1*11/, adim2 /1*11/;

loop (adim1,
    w1 = w1 + 0.1;
    w2 = -0.1
loop(adim2,
    w2 = w2 + 0.1 ;
    w3 = 1- w1-w2;
    Solve DP3 using LP maximizing z ;
        rep('w1d',adim1,adim2) = w1;
        rep('w2d',adim1,adim2) = w2;
        rep('w3d',adim1, adim2) = w3;
        rep('obj-max',adim1,adim2) = DP3.objval;
        rep('amac_deg1', adim1,adim2) = amac1.L ;
        rep('amac_deg2', adim1,adim2) = amac2.L ;
        rep('amac_deg3', adim1,adim2) = amac3.L;
        rep('z1L', adim1,adim2) = z1.L("L") ;
        rep('z1M', adim1,adim2) = z1.L("M") ;
        rep('z1R', adim1,adim2) = z1.L("R") ;
    ); );
Display rep;

```

**Şekil C.4 :** Uygulamada kullanılan DP-3 modelinin GAMS kodları (devam)

```

Sets
p      urunler /0,1,2,3.../*
r      kaynaklar /1*4/
pd(p)  disaridan alinan urunler /2, 3, 4, 5.../*
pu(p)  uretilmesi zorunlu urunler /0, 1, 6.../ *
pbo(p) borudan uretilen urunler /38, 40, 42.../*
ps(p)  sactan uretilen urunler /7, 9, 12... /*
pk(p)  kaynak islemi goren urunler /0, 1, 6... /*
phs(p) hammadde - sac /2, 3, 4... / *
phb(p) hammadde - boru /39, 41, 43.../ *
i ucgen bulanik sayilarin uc noktaları /L,M,R/;

Alias (p, u);
parameter BOM(p,p) urun agaci matrisi
/0.1      1
1.2      2.3
1.3      17.7
.../*
parameter KK(p,r) kaynak kullanim bilgileri
/38.2      2.04
40.2      1.6
42.2      1.6
.../*
parameter urunDM (p) urun disaridan alma maliyeti
/2      3.2304347826087
3      2.15028248587571
4      5.53
.../*
parameter bulU(pu)
/0      59.846
1      63.513
6      63.502
.../*
parameter bulD(pd)
/
2      151.113
3      1162.911
4      657.012
.../*
parameter bulS(p) / 0 59.3 /;
parameter bulDK(r)
/1 2003636
2 76205
3 39463
4 312984/;

table Kaynak (r,*) kaynaklar ile ilgili parametreler
      C      Mal      DC      DKM
1      4422600      0.21667      2063880      0.10833
2      762048      0.022159      76205      0.0110795
3      394632      0.080577      39463      0.0402885
4      3129840      0.004029      312984      0.0020145;

parameter urunDK(p) urun disaridan alma kapasitesi ;
UrunDK(p) = 100000000000;

parameter urunF(p) urun satis fiyatı / 0 15000 /;
parameter urunT(p,i) urun talebi /0.L 177.6, 0.M 193.9, 0.R 211.7/;

```

**Şekil C.5 : Uygulamada kullanılan DP-4 modelinin GAMS kodları**

\* yer kısıtından dolayı verilerin hepsi gösterilememiştir.

```

parameter VU(p,i) uretim verimlilik orani;
VU(p,"R") = 0.997; VU(pbo,"R") = 0.995; VU(ps,"R") = 0.993;
VU(pk,"R") = 0.990; VU(p,"M") = 0.996; VU(pbo,"M") = 0.992;
VU(ps,"M") = 0.988; VU(pk,"M") = 0.984; VU(p,"L") = 0.994;
VU(pbo,"L") = 0.988; VU(ps,"L") = 0.982; VU(pk,"L") = 0.976;

parameter VD(p,i) disaridan saglama verimlilik orani;
VD(p,"R") = 1; VD(phs,"R") = 1; VD(phb,"R") = 1;
VD(p,"M") = 0.998; VD(phs,"M") = 0.995; VD(phb,"M") = 0.997;
VD(p,"L") = 0.995; VD(phs,"L") = 0.990; VD(phb,"L") = 0.993;

scalars zlalt /565761/
          zlust /788024/
          nf /2185/ ;

variable z, lamda, amac1, amac2, amac3;
positive variable UR(p,i), D(p,i), S(p,i), DKR(r,i), z1(i) ;
equations
      amac
      h1, h2, h3, h11, h21, h31
      k560, k561, k562, k563, k564, k565, k566
      k567, k568, k569, k570, k571, k572, k573 ;

amac.. z =e= lamda;

h11.. lamda =l= amac1;
h21.. lamda =l= amac2;
h31.. lamda =l= amac3;

h1.. amac1 =e= ((z1("M")-zlalt)/(zlust-zlalt));
h2.. amac2 =e= ((zlust-zlalt)-(z1("R")-z1("L")))/(zlust-zlalt);
h3.. amac3 =e= (
      sum(pu,((bulU(pu)-(UR(pu,"R")-
              UR(pu,"L")))/bulU(pu)))
      +sum(pd,((bulD(pd)-(D(pd,"R")-D(pd,"L")))/bulD(pd)))
      +      ((bulS("0")-(S("0","R")-
              S("0","L")))/bulS("0"))
      + sum(r,((bulDK(r)-(DKR(r,"R")-
              DKR(r,"L")))/bulDK(r)))
      )/nf;

k560.. z1("M")=e= sum(p, S(p,"M")*urunF(p))
      - sum(r,
sum(p,UR(p,"M")*KK(p,r))*Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r,"M")*kaynak(r,"DKM"
)))
      - sum(p, urunDM(p)*D(p,"M"))
      - 0.024 *(sum(p,
urunDM(p)*D(p,"M")+sum(p,UR(p,"M")*KK(p,"1"))*Kaynak("1","Mal")+(D
KR("1","M")*kaynak("1","DKM")));

k561.. z1("L")=e= sum(p, S(p,"L")*urunF(p))
      - sum(r,
sum(p,UR(p,"R")*KK(p,r))*Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r,"R")*kaynak(r,"DKM"
)))
      - sum(p, urunDM(p)*D(p,"R"))
      - 0.024 *(sum(p,
urunDM(p)*D(p,"R")+sum(p,UR(p,"R")*KK(p,"1"))*Kaynak("1","Mal")+(D
KR("1","R")*kaynak("1","DKM")));

```

**Şekil C.5 :** Uygulamada kullanılan DP-4 modelinin GAMS kodları (devam)

```

k562.. z1("R")=e= sum(p, S(p,"R")*urunF(p))
                - sum(r,
sum(p,UR(p,"L")*KK(p,r))*Kaynak(r,"Mal")+(DKR(r,"L")*kaynak(r,"DKM"
)))
                - sum(p, urunDM(p)*D(p,"L"))
                - 0.024 *(sum(p,
urunDM(p)*D(p,"L")+sum(p,UR(p,"L")*KK(p,"1"))*Kaynak("1","Mal")+(D
KR("1","L")*kaynak("1","DKM")));

k563(pd).. UR(pd,"R")=l= 0;
k564(pu).. D(pu, "R")=l=0;
k565(p).. D(p, "R")=l= urunDK(p);
k566(p,i).. UR(p,i)*VU(p,i)+D(p,i)*VD(p,i) =g= sum(u, BOM(u,p)*
UR(u,i)) + S(p,i);
k567(r,i).. sum(p, UR(p,i)*KK(p,r)) =l= Kaynak(r,"C") + DKR(r,i);
k568(r).. DKR(r,"R") =l= kaynak(r,"DC");
k569(p,i).. S(p,i) =l= UrunT (p,i);

k570(p,i+1).. UR(p,i) =l= UR(p,i+1)           ;
k571(p,i+1).. D(p,i) =l= D(p,i+1)             ;
k572(p,i+1).. S(p,i) =l= S(p,i+1)             ;
k573(r,i+1).. DKR(r,i) =l= DKR(r,i+1)         ;

Model cozer /all/           ;
Solve cozer using LP maximizing z ;

```

**Şekil C.5 :** Uygulamada kullanılan DP-4 modelinin GAMS kodları (devam)

## ÖZGEÇMİŞ

Özgür KABAK, 16 Temmuz 1979'da Muğla'nın Milas ilçesinde doğmuştur. 1997 yılında Isparta Süleyman Demirel Fen Lisesi'nden mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne girip lisans eğitimini Haziran 2001'de tamamlamıştır. 2001-2003 yıllarında arasında İTÜ Endüstri Mühendisliği Anabilim dalı Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans programında eğitim görerek, "Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınmadaki yeri: Bir bulanık çok ölçütlü karar verme yaklaşımı" isimli tez çalışması ile mezun olmuştur. 2003 yılı Eylül ayından beri İTÜ Endüstri Mühendisliği Anabilim dalı Endüstri Mühendisliği doktora programına kayıtlıdır. Aynı zamanda 2001 Eylül ayından beri Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır

European Journal of Operational Research, Socio-Economic Planning Sciences, Journal of Transnational Management, Transportation Research Part A: Policy and Practice ve International Journal of Approximate Reasoning dergilerinde makaleleri bulunmaktadır. 2002'den bugüne İstanbul'da düzenlenen "International Conference on Fuzzy Systems and Soft Computational Intelligence in Man. and I.E" (2002), "World Congress on Transportation Research" (2004), "35<sup>th</sup> International Conference on Computers and Industrial Engineering" (2005) ve "IFAC Symposium, Computational Economics and Financial and Industrial Systems" (2007) isimli uluslararası konferansların organizasyon komitelerinde yer almıştır. Dünyanın farklı yerlerinde yapılan 10 uluslararası konferansa katılmıştır. 20'den fazla yayını konferans kitaplarında yayımlanmıştır. Evlidir ve İngilizce bilmektedir.