



**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞL-DR-2011-0001**

**BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASINDA BULANIK
MANTIK YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA**

HAZIRLAYAN

Ayşegül TUŞ IŞIK

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. Muhsin ÖZDEMİR

AYDIN-2011

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞL-DR-2011-0001**

**BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASINDA BULANIK
MANTIK YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA**

HAZIRLAYAN

Ayşegül TUŞ IŞIK




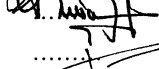

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. Muhsin ÖZDEMİR

AYDIN-2011

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

İşletme Ana Bilim Dalı İşletme Doktora Programı öğrencisi Ayşegül TUŞ IŞIK tarafından hazırlanan “**Bütünleşik Üretim Planlamasında Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama**” başlıklı tez, 07 Ocak 2011 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

<u>Unvanı, Adı ve Soyadı</u> :	<u>Kurumu</u> :	<u>İmzası:</u>
Yrd. Doç. Dr. Muhsin ÖZDEMİR(Danışman)	Adnan Menderes Üniversitesi	
Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU	Adnan Menderes Üniversitesi	
Doç. Dr. Ercan BALDEMİR	Muğla Üniversitesi	
Doç. Dr. Hakan AYGÖREN	Pamukkale Üniversitesi	
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞENKAYAS	Adnan Menderes Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu doktora tezi, Enstitü Yönetim Kurulununsayılı kararıylatarihinde onaylanmıştır.

Doç. Dr. Selçuk ÇOLAKOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı : Ayşegül TUŞ IŞIK

İmza :

YAZAR ADI-SOYADI: Ayşegül TUŞ IŞIK

BAŞLIK: BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASINDA BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI VE BİR UYGULAMA

ÖZET

İşletmelerde karşılaşılan temel karar verme problemlerinden biri Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP)'dir. BÜP, orta dönemli plânlama kararlarının alınmasında işgücü düzeyinin, stok düzeyinin, normal ve fazla mesai üretim miktarlarının, ertelenen sipariş miktarlarının ve taşeron gereksiniminin bir bütün olarak değerlendirilmesini ve dengelenmesini amaçlamaktadır. Ancak, değişen çevre koşulları altında talepler, mevcut kaynaklar, kapasiteler ve ilgili üretim maliyetleri gibi parametreler çoğunlukla belirsizdir. Bu nedenle, BÜP problemlerinde verilerin deterministik değil de stokastik veya bulanık olarak alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, gerçek hayatın özelliklerini yansıtabilen, belirsizliklerini göz ardı etmeyen ve karar verici ile çözüm süreci boyunca etkileşerek onun da karar sürecine katılımını sağlayan çok amaçlı, çok ürünli ve çok dönemli bulanık bir BÜP problemi dikkate alınmıştır. Problemin çözümü için bir Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) modeli önerilmiştir. Önerilen modelin gerçek hayatta uygulanabilirliğini göstermek için Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin konfeksiyon bölümü ele alınarak bu bölümün bütünleşik üretim plâni hazırlanmıştır. Modelin etkileşimli yapısı, ele alınan sistemle ilgili olarak karar vericinin daha iyi çözümlere ulaşmayı öğrenebildiği bir öğrenme süreci ve kendi tercihlerine dayanan etkin bir çözüm sağlamıştır. Dolayısıyla, gerçek hayatta karşılaşılan ve belirsizlikler içeren BÜP problemlerinin çözümünde, bulanık mantığın gerçeğe, insanın düşünce ve karar verme mekanizmasına daha yakın sonuçlar verdiği yapılan bu uygulama ile ortaya konmuştur.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP), Bulanık Mantık, Bulanık BÜP, Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP)

NAME: Ayşegül TUŞ IŞIK

TITLE: FUZZY LOGIC APPROACH TO AGGREGATE PRODUCTION PLANNING AND AN APPLICATION

ABSTRACT

One of the main decision making problems in firms is Aggregate Production Planning (APP). APP aims at evaluating and balancing the work force level, inventory level, regular and overtime production quantities, backordering levels and subcontract requirement as a whole in the process of taking planning decisions over an intermediate time horizon. However, under the changing environmental conditions, parameters such as demands, available resources, capacities and related production costs are often uncertain. Therefore, the data in APP problems should be taken as stochastic or fuzzy rather than deterministic.

In this study, a multi-objective, multi-product and multi-period fuzzy APP problem that is able to reflect real-world features and which does not ignore its uncertainties and ensures decision makers' participation in decision making process by interacting with them during the solution process, has been considered. In order to solve this problem, an Interactive Possibilistic Linear Programming (i-PLP) model has been proposed. By examining the confection department of a textile company operating in Denizli, an aggregate production plan for this department has been prepared in order to demonstrate the applicability of the proposed model in real life. Interactive structure of the model has provided a learning process about the system that the decision makers can learn to achieve better solutions and an efficient solution according to their own preferences. Therefore, with this application it has been revealed that the fuzzy logic provides results closer to reality, human thought and decision-making mechanism for solving APP problems encountered in real life and including uncertainties.

KEYWORDS

Aggregate Production Planning (APP), Fuzzy Logic, Fuzzy APP, Interactive Possibilistic Linear Programming (i-PLP)

ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışmanın konu ile ilgili bundan sonra yapılacak olan çalışmalara kaynak oluşturmasını temenni ederek; bu tezin oluşmasında sağladığı katkılarından dolayı danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Muhsin ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez izleme komitesinde bulunan Sayın Prof. Dr. Selim BEKÇİOĞLU ve Sayın Doç. Dr. Ercan BALDEMİR hocalarıma vermiş oldukları öneriler ve olumlu eleştiriler için çok teşekkür ederim. Tez kapsamındaki uygulama için işletmelerini konu almama ve verilerini kullanmama izin veren, değerli vakitlerini ve ilgilerini esirgemeyen işletme yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim. Bu süre zarfında akademik hayata birlikte adım attığımız yol arkadaşım Arş. Gör. Sayın Esra AYTAÇ'a, çalışma arkadaşım Arş. Gör. Sayın Nilsen KUNDAKCI'ya çok teşekkür ederim. Yine, beni bugünlere getiren ve hep yanımda olan aileme çok teşekkür ederim. Son olarak, bu tezi hazırlarken elinden geldiğince bana yardım eden, beni yalnız bırakmayan ve bana sürekli moral veren çok değerli eşim Andaç IŞIK'a sonsuz teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
EKLER LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	
BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI	
1.1 ÜRETİM PLÂNLAMASI	3
1.1.1 Üretim Plânlamasının Amacı ve Önemi	4
1.1.2 Üretim Plânının Hazırlanması ve Üretim Plânlama Süreci	6
1.2 BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI	11
1.2.1 Bütünleşik Üretim Plânlaması Stratejileri	16
1.2.1.1 Talebi İzleme Stratejisi	20
1.2.1.2 Sabit Üretim Hızı Stratejisi	20
1.2.1.3 Karma Strateji	21
1.2.2 Bütünleşik Üretim Plânlaması Stratejilerine İlişkin Maliyetler	22
1.2.2.1 İşgücü Büyüklüğünü Değiştirme Maliyeti	22
1.2.2.2 Stok Bulundurma Maliyetleri	23
1.2.2.3 Stok Bulundurmama Maliyetleri	23
1.2.2.4 Normal Mesai Maliyetleri	23
1.2.2.5 Fazla Mesai ve Taşeron Maliyetleri	24
1.2.3 Bütünleşik Üretim Plânlaması Problemleri için Geliştirilen Yöntemler	24
1.2.3.1 Klâsik Yöntemler	28
1.2.3.1.1 Grafikselsel Yöntemler	28
1.2.3.1.2 Matematiksel Optimizasyon Yöntemleri	28

1.2.3.1.3 Sezgisel Yöntemler	38
1.2.3.1.4 Klâsik Bütünleşik Üretim Plânlaması Yöntemlerinin Karşılaştırılması	43
1.2.3.2 Stokastik Programlama Yöntemleri	45
1.2.3.3 Bulanık Optimizasyon Yöntemleri	46
1.2.4 Bütünleşik Üretim Plânlamasının Avantaj ve Dezavantajları	48

İKİNCİ BÖLÜM

BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI VE BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI

2.1 BULANIK MANTIK	50
2.1.1 Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonu	52
2.1.2 Bulanık Kümelerin Özellikleri	57
2.1.3 Bulanık Sayılar	61
2.1.4 Sözel Değişkenlerin Bulanık Kümedeki Gösterimi	63
2.1.5 Bulanık Mantık Yaklaşımının Avantaj ve Dezavantajları	65
2.2 BULANIK ORTAMDA KARAR VERME	66
2.2.1 Bulanık Doğrusal Programlama	70
2.2.2 Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama	76
2.2.2.1 Zimmermann Yaklaşımı	79
2.2.2.2 Lai ve Hwang Yaklaşımı	81
2.3 BULANIK ORTAMDA BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI	87
2.3.1 Bulanık Bütünleşik Üretim Plânlaması ile İlgili Literatür Taraması	90
2.3.1 Bütünleşik Üretim Plânlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli	103
2.3.2 Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modelinin Çözümü	111
2.3.2.1 Amaç Fonksiyonlarındaki Bulanıklığın Giderilmesi	111
2.3.2.2 Kısıtlardaki Bulanıklığın Giderilmesi	113
2.3.2.3 Amaç Fonksiyonlarına İlişkin Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması	115
2.3.2.4 Amaçlara İlişkin Hedeflerin Başarım Derecelerinin ve Öncelik İlişkilerinin Belirlenmesi	117
2.3.2.5 Eşdeğer Doğrusal Programlama Modeli ve Çözümü	119
2.3.2.6 Algoritma	121

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

3.1 UYGULAMANIN YAPILDIĞI TEKSTİL İŞLETMESİ VE KONFEKSİYON BÖLÜMÜ HAKKINDA BİLGİ	124
3.1.1 İşletmenin Tanıtımı	124
3.1.2 Üretim Bilgileri	125
3.1.3 Üretim Süreci	127
3.2 İŞLETMENİN KONFEKSİYON BÖLÜMÜ İÇİN BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI PROBLEMİNİN TANIMLANMASI	128
3.3 ÇÖZÜM ALGORİTMASI	132
3.3.1 Tanımlanan Bütünleşik Üretim Plânlaması Problemi için Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modelinin Oluşturulması	132
3.3.2 Amaç Fonksiyonlarındaki Bulanıklığın Giderilmesi	141
3.3.3 Kısıtlardaki Bulanıklığın Giderilmesi	145
3.3.4 Amaç Fonksiyonlarına İlişkin Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması	151
3.3.5 Amaçlara İlişkin Hedeflerin Başarım Derecelerinin ve Öncelik İlişkilerinin Belirlenmesi	157
3.3.6 Eşdeğer Doğrusal Programlama Modeli ve Çözümü	158
3.3.7 Daha İyi Bir Çözümün Elde Edilmesi	162
SONUÇ VE ÖNERİLER	169
KAYNAKÇA	174
EKLER	193
ÖZGEÇMİŞ	214

EKLER LİSTESİ

Ek 1a: Genel organizasyon şeması.....	193
Ek 1b: Konfeksiyon üretim organizasyon şeması.....	194
Ek 2: İşletme yerleşim plânı.....	195
Ek 3: Kesim süreci.....	196
Ek 4: Nakış süreci.....	197
Ek 5: Dikim süreci.....	198
Ek 6: Ütü - kalite kontrol - paketleme süreci.....	199
Ek 7: Kolileme ve sevkiyat süreci.....	200
Ek 8: Taleplere ilişkin en kötümser ($D_{n,0,5}^p$), en olası ($D_{n,0,5}^m$) ve en iyimser ($D_{n,0,5}^o$) değerler ile bu değerlerin ağırlıklı ortalamaları.....	201
Ek 9: Tüm bulanık amaçlara ilişkin memnuniyet düzeyi ve karar değişkenlerinin aldığı değerler.....	202
Ek 10: Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler.....	204
Ek 11: Öncelik ilişkisini dikkate alarak her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler.....	206
Ek 12: Tüm bulanık amaçlara ilişkin memnuniyet düzeyi ve karar değişkenlerinin aldığı değerler.....	208
Ek 13: Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler.....	210
Ek 14: Öncelik ilişkisini dikkate alarak her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler.....	212

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Üretim plânlamasını etkileyen faktörler.....	4
Şekil 1.2: Plânlama dönemleri, faaliyetleri ve sorumluları.....	10
Şekil 1.3: Bütünleşik üretim plânlamasının girdi ve çıktıları.....	12
Şekil 1.4: Bütünleşik plân ve ilişkileri.....	15
Şekil 1.5: Talebi izleme stratejisi.....	20
Şekil 1.6: Sabit üretim hızı stratejisi.....	21
Şekil 1.7: Tek dönemli plânlama süreci karar modeli.....	25
Şekil 1.8: BÜP problemleri için geliştirilen yöntemler.....	27
Şekil 2.1: Üyelik fonksiyonunun kısımları.....	56
Şekil 2.2: Normal bulanık küme.....	57
Şekil 2.3: Normal altı bulanık küme.....	57
Şekil 2.4: Dışbükey bulanık küme.....	58
Şekil 2.5: α kesimi	59
Şekil 2.6: İki bulanık kümenin birleşimi.....	60
Şekil 2.7: İki bulanık kümenin kesişimi.....	60
Şekil 2.8: Üçgensel bulanık sayı.....	62
Şekil 2.9: Yamuksal bulanık sayı.....	63
Şekil 2.10: Yaş sözel değişkeni.....	64
Şekil 2.11: Bulanık karar.....	68
Şekil 2.12: $c^T x \gtrsim b_0$ şeklindeki bulanık amacın üyelik fonksiyonu	74
Şekil 2.13: $(Ax)_i \lesssim b_i$ şeklindeki bulanık kısıtlayıcının üyelik fonksiyonu	75
Şekil 2.14: Doğrusal üyelik fonksiyonu.....	80

Şekil 2.15: \tilde{c}_{kj} 'nin üçgensel olabilirlik dağılımı	83
Şekil 2.16: Z_{k1} ve Z_{k2} amaçlarının üyelik fonksiyonları	84
Şekil 2.17: \tilde{a}_m 'nin üçgensel olabilirlik dağılımı.....	110
Şekil 2.18: Maliyetleri minimize etme stratejisi.....	112
Şekil 2.19: Z_{k1} ve Z_{k3} amaçlarının doğrusal üyelik fonksiyonları ($k = 1, 2, 3$)	116
Şekil 2.20: Z_{k2} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu ($k = 1, 2, 3$)	117
Şekil 2.21: Farklı amaçların önem derecesi ile ilgili sözel terimler için üyelik fonksiyonları.....	118
Şekil 2.22: Etkileşimli BÜP sistemi.....	123
Şekil 3.1: Z_{11} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	154
Şekil 3.2: Z_{12} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	154
Şekil 3.3: Z_{13} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	154
Şekil 3.4: Z_{21} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	155
Şekil 3.5: Z_{22} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	155
Şekil 3.6: Z_{23} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	155
Şekil 3.7: Z_{31} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	156
Şekil 3.8: Z_{32} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	156
Şekil 3.9: Z_{33} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu.....	156
Şekil 3.10: Optimal toplam maliyetin olabilirlik dağılımı.....	167
Şekil 3.11: Optimal toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin olabilirlik dağılımı.....	167
Şekil 3.12: Optimal işgücü düzeylerindeki değişim maliyetinin olabilirlik dağılımı...	168

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1: Bütünleşik üretim plânlaması seçenekleri: Avantaj ve dezavantajları.....	18
Çizelge 1.2: Klâsik BÜP yöntemlerinin karşılaştırması.....	44
Çizelge 2.1: En çok kullanılan üyelik fonksiyonu çeşitleri.....	55
Çizelge 2.2: Temel BÜP modellerinin karşılaştırması.....	101
Çizelge 3.1: İlgili maliyet katsayı verileri.....	130
Çizelge 3.2: Tahmini talep verileri.....	131
Çizelge 3.3: Bulanık amaçlara karar vericiler tarafından verilen önem dereceleri.....	157
Çizelge 3.4: Bulanık amaçların karar vericiler tarafından değerlendirme sonuçlarının üçgensel bulanık sayılar şeklinde ifadesi.....	157
Çizelge 3.5: Bulanık sayıların toplam integral değerleri ve bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlar dereceleri.....	158
Çizelge 3.6: Her bir amaç için karar vericilerden elde edilen PIS ve NIS değerleri....	163

KISALTMALAR LİSTESİ

- BÜP: Bütünleşik Üretim Plânlaması
- MİP: Malzeme İhtiyaç Plânlaması
- DKK: Doğrusal Karar Kuralı
- HMS: Holt, Modigliani ve Simon
- HMMS: Holt, Modigliani, Muth ve Simon
- DP: Doğrusal Programlama
- HH: Hanssmann ve Hess
- HP: Hedef Programlama
- STEM: Step Yöntemi
- SEMOPS: Sıralı Çok Amaçlı Problem Çözme Yöntemi
- YKM: Yönetim Katsayılar Modeli
- AKK: Arama Karar Kuralı
- BDP: Bulanık Doğrusal Programlama
- BHP: Bulanık Hedef Programlama
- ÇADP: Çok Amaçlı Doğrusal Programlama
- BÇADP: Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama
- ODP: Olabilirlikçi Doğrusal Programlama
- EODP: Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama
- PIS: Pozitif İdeal Çözüm
- NIS: Negatif İdeal Çözüm

GİRİŞ

İşletmeler, belirli bir ürünün ne zaman ve ne miktarda talep edileceğini belirlemek ve buradan hareketle ihtiyaç duyulacak üretim faktörlerini de zaman, miktar ve nitelik yönünden plânlamak durumundadır. Plânlama, üretimin ayrılmaz bir parçasıdır ve geleceğe yönelik belirsizlikler, plânlama fonksiyonunun etkin şekilde yerine getirilmesini güçleştirmektedir. Dolayısıyla, belirsizliği azaltmak için atılacak her adım, doğru kararlar alınması yönünde önemli bir katkı sağlayacaktır (Üreten, 1999: 122).

Üretim plânlamasının amacı, üretim sürecinde yapılmakta olan faaliyetleri zamanında ve minimum maliyetle gerçekleştirerek tüketici taleplerini karşılamaktır. Tahmin edilen talep ile üretimi birbirine uydurabilme çabaları, genellikle tek grup çıktı veya birkaç birleştirilmiş ürün grubu için yapılmaktadır. Bu nedenle, plânlamada “bütünleşik” veya “toplam” terimi kullanılmaktadır. Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP), üretim hızı ve işgücü düzeyinin tespiti ve böylece, nihaî mal stok düzeyinin ve talebi karşılamak üzere fazla mesai veya taşeron ihtiyacının belirlenmesi ile ilgilenen orta dönemli bir üretim plânlamasıdır (Acar, 1996: 20). BÜP’te talebin deterministik yani kesin olarak bilindiği varsayılır (Nahmias, 1997: 121). Gerçek hayatta ise, üretim plânlama sistemlerinde her bir dönemde bir ürünün bütünleşik piyasa talebi belirsizdir (Fung vd., 2003: 302). Ayrıca ürün fiyatı, taşeron maliyeti, işgücü düzeyi ve üretim kapasitesi genellikle veri eksikliği veya plânlama dönemi içinde gerekli verilerin elde edilememesi nedeniyle belirsizlik içermektedir (Wang ve Liang, 2004: 18). İşletme çevresindeki bu tür belirsizliklerden dolayı, BÜP’ü bulanık mantık yaklaşımını kullanarak tanımlamak çok daha uygundur (Wang ve Fang, 1997: 636).

Bu çalışmada, bir üretim işletmesinde bütünleşik üretim plâni geliştirilmiş ve bulanıklık kavramının BÜP problemlerindeki önemi, gerçek hayattaki problemlere nasıl uygulandığı ve ne derece etkili olduğu gösterilmeye çalışılmıştır.

“Bütünleşik Üretim Plânlamasında Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama” başlıklı bu çalışma, giriş ve sonuç bölümleri hariç olmak üzere üç bölüm olarak plânlanmıştır.

Birinci bölümün başlığı, “Bütünleşik Üretim Plânlaması”dır. Bu bölümde üretim plânlaması, üretim plânlamasının amacı ve önemi, üretim plânının hazırlanması, üretim plânlama süreci, BÜP, BÜP stratejileri, bu stratejilere ilişkin maliyetler, BÜP problemleri için geliştirilen yöntemler ile BÜP’ün avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

İkinci bölüm, “Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bütünleşik Üretim Plânlaması” başlığını taşımaktadır. Dolayısıyla, bu bölümde öncelikle BÜP’teki belirsizliği açıklayabilmek için bulanıklık olgusu, bulanık küme teorisine dayanılarak ele alınmış ve bulanık ortamda BÜP için karar verme sürecine ve bulanık BÜP problemlerine ilişkin çözüm yaklaşımlarını açıklamak için gerekli olan kavram ve konulara yer verilmiştir. Daha sonra bulanık ortamda BÜP problemleri ile ilgili çalışmalarını anlatan bir literatür taraması yapılmış ve BÜP problemlerini çözmek için kullanılan temel modeller karşılaştırılarak gerçek hayatın bulanık olan yapısını dikkate alan, karar verici ile etkileşimli olarak çalışan, onun tercihleri doğrultusunda amaçları önceliklendiren ve çözüm aşamasında da bu etkileşimi sürdürerek en iyi çözüme ulaşmayı amaç edinen etkileşimli bir çözüm modeli önerilmiştir.

Üçüncü bölüm, “Bulanık Bütünleşik Üretim Plânlaması Üzerine Bir Uygulama” başlığını taşımaktadır. Bu bölümde, bir önceki bölümde önerilen Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) modelinin gerçek hayatta uygulanabilirliğini göstermek için Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin konfeksiyon bölümü ele alınarak bu bölümün bütünleşik üretim plânı hazırlanmıştır.

Sonuç bölümünde ise, elde edilen sonuçların bir değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen bulgular ışığında BÜP’te bulanık mantık uygulamaları ile ilgili birtakım önerilerde bulunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI

İşletmelerin temel sorunlarından biri, kıt kaynakların işletme amacına uygun ve etkin şekilde kullanılarak üretimin artırılmasıdır. Bu nedenle, işletmelerde üretim için vazgeçilmez bir fonksiyon olan üretim plânlamasının önemi ve gerekliliği, gün geçtikçe daha çok hissedilmektedir.

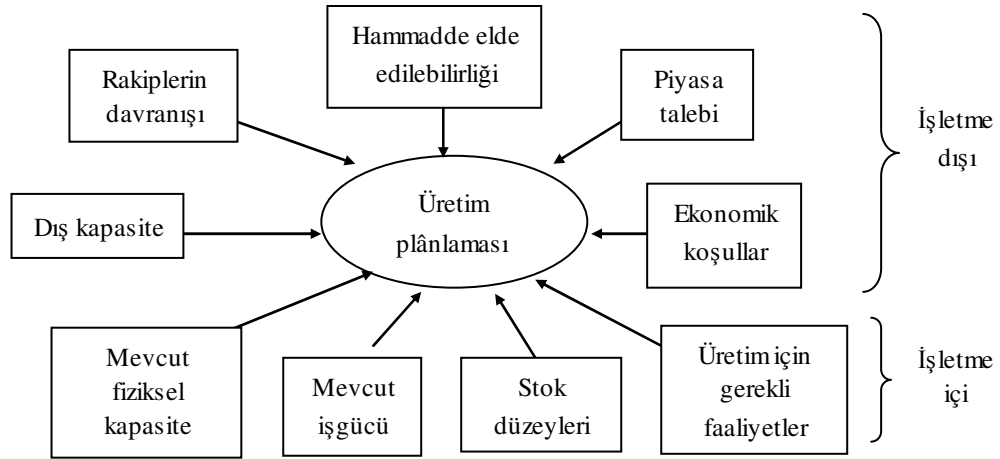
Üretim plânlamasının amacı, üretim için gerekli olan işgücü, makine, hammadde gibi kaynakların doğru zamanda, doğru yerde ve yeterli miktarda bulunmasını sağlayarak kaynak kayıplarını en aza indirmek, dolayısıyla üretimde en yüksek verimliliği sağlamaktır. Üretimde en yüksek verimlilik ise, istenilen miktarda ürünü, istenilen zamanda ve kalitede en iyi ve en ucuz yöntemlerle üreterek sağlanmaktadır. Diğer bir ifade ile üretim plânlaması, üretimde verimlilik hedefine ulaşmak için üretim faaliyetlerinin koordinasyonunu sağlayan bir araçtır.

Üretim plânlama sistemlerinin karmaşıklığı, kapsamının genişliği ve koordinasyon zorluğu sonucu oluşan belirsizliği mümkün olduğunca yok etmek ve etkin plânlama yapabilmek amacı ile Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP) geliştirilmiştir. BÜP, orta dönemli plânlama kararlarının alınmasında işgücü düzeyinin, dolayısıyla işe alma ve işten çıkarma oranlarının, stok düzeyinin, taşeron ve fazla mesai üretim miktarlarının, ertelenen sipariş miktarlarının bir bütün olarak değerlendirilmesini ve dengelenmesini amaçlamaktadır. Yöneticiler, karar alırken bu bileşenlerin pek çoğunu birlikte değerlendirmek durumundadır. Kararların hızlı ve etkin bir şekilde alınabilmesi için ise, BÜP problemlerinin mümkün olduğunca yapılandırılmış hale getirilmesi ve bu problemlere uygun modellerin kurulması gerekmektedir (Hasgül, 2005: 1).

1.1 ÜRETİM PLÂNLAMASI

Üretim, mal ve hizmetlerin yaratıldığı bir süreçtir (Buffa, 1981: 33). Bütün üretim sistemleri, amaçlarına ulaşmak için üretim kaynaklarını verimli kullanmak zorundadır. Üretim kaynakları genelde hammadde, işgücü, sermaye ve yönetim olmak üzere dört ana başlık altında toplanmaktadır. Üretim yönetiminin amacı, bu mevcut üretim kaynaklarını en ekonomik şekilde kullanarak bir ürünü istenilen miktar, kalite ve

zamanda en düşük maliyetle üretmektir. Üretim plânlaması, bir üretim yönetimi faaliyeti olup gelecek bir plânlama dönemi için belirlenen üretim hedeflerine ulaşabilmek veya mevcut satış imkânlarından faydalanabilmek için kaynakların optimal şekilde kullanılmasıdır (Acar, 1996: 52; Thompson vd., 1993: 1957).



Şekil 1.1: Üretim plânlamasını etkileyen faktörler

Kaynak: Chase, R. B., Aquilano, N. J. ve Jacobs, F. R. (1998) *Production and Operations Management, Manufacturing and Services* (8. Basım), McGraw-Hill: New York, s. 556.

Üretim plânlamasını etkileyen gerek işletme içi gerekse işletme dışı pek çok faktör bulunmaktadır. Şekil 1.1, bu faktörleri göstermektedir. İç faktörleri, mevcut fiziksel kapasite, mevcut işgücü, stok düzeyleri ve üretim için gerekli faaliyetler oluşturmaktadır. Bu faktörleri yönetmede her zaman bazı esneklikler söz konusudur. Dış çevre faktörlerini ise, dış kapasite, rakiplerin davranışı, hammadde elde edilebilirliği, piyasa talebi ve ekonomik koşullar oluşturmaktadır. Dış çevre faktörleri çoğu zaman, üretim plânlamacısının kontrolü dışındadır (Chase vd., 1998: 556).

1.1.1 Üretim Plânlamasının Amacı ve Önemi

Dinamik bir ortamda faaliyet gösteren işletmeler için ileriye dönük çalışmaların önceden tasarlanması, seçeneklerin bulunması, belirlenmesi ve beklenen sonuçların neler olabileceğinin önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bunun için geçmişteki çalışmaların verileri incelenmeli, mevcut durum tespit edilmeli ve geleceğe dönük kararlar alınmalıdır. Alınan kararlar işletmede satın alma, pazarlama, kontrol ve

finansman gibi bütün işletme fonksiyonları ile yakından ilgilidir. Öncelikle, gelecek hakkında alınacak kararlar, tahmin gerektirmektedir. Bu nedenle, ileride ortaya çıkacak olayları önceden kesin olarak tespit etmek güçtür. Sonuca ulaşmak için çeşitli analizler yapılmakta, modeller kurulmakta ve amaca uygunluk tartışılmaktadır. Plânlarda elde edilen sonuçların amaca uygunluğu ve bunun gerçekleştirilmesi, işletme yönetiminin temel konuları arasındadır. Uygunluk, hem plânlarda hem de işletme faaliyetlerinde yapılacak değişikliklerle sağlanabilmektedir. Ancak, tam bir uygunluğa ulaşmak her zaman söz konusu değildir. Karar almada kullanılan tahmin yöntemleri, geçmişte tespit edilen olayların belirli bir eğilim içinde bazı sapmalarla birlikte, gelecekte tekrarlanacağını varsaymaktadır. Bu nedenle, belirsizliğin en aza indirilmesi ve hazırlanacak plânların objektif yöntem ve kriterlere dayalı olması gerekmektedir. Geçmişe yönelik verilerin analizi, temel amaç olarak değil geleceği görmeye bir araç olarak kullanılmalıdır. Bu şekilde, gelecekteki faaliyetlerin sınırları amaca uygun bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Üretim plânlamasında amaç, işletmelerde kaynakların en uygun biçimde kullanılması, kayıpların en aza indirilmesi ve dolayısıyla, minimum toplam maliyetle istenen kalite, miktar ve zamanda üretimin yapılmasıdır. Bu yüzden plânlama, üretimde önemli bir yer tutmakta ve üretim plânlamasının önemi, üretim sistemlerinin gelişmesine paralel olarak hızla artmaktadır. Modern bir üretim işletmesinde, üretim plânlamasının yer almasını gerektiren nedenler şu şekilde sıralanabilmektedir (Kobu, 2003: 481):

- Üretim sistemlerinin faaliyet yoğunluğu ve karmaşıklığı,
- İşletme içi faaliyetlerin koordinasyonunun zorluğu,
- İşletmeler arasındaki ilişkiler ve bağımlılığın artması,
- Talebin artması ve çeşitlilik kazanması,
- Tedarik ve dağıtım faaliyetlerinin geniş bir alana yayılması,
- Hizmet, kalite ve fiyat rekabetinin artması,
- İşletmenin ekonomik düzeyde çalışmasını sağlamak amacı ile malzeme, makine zamanı ve işgücü kayıplarını minimum düzeye indirme zorunluluğu.

1.1.2 Üretim Plânının Hazırlanması ve Üretim Plânlama Süreci

Bir işletmenin düzenli bir şekilde üretim faaliyetlerini yapabilmesi ve amaçlarına ulaşabilmesi için öncelikle, bir üretim plânı hazırlaması gerekmektedir. Üretim plânlaması, girdi olarak stok düzeyleri, sipariş miktarları, talep tahminleri, üretim ara stok düzeyleri, işgücü düzeyleri, her üretim merkezinin kapasitesi, malzeme temin edilebilirliği, üretim standartları, maliyet standartları, satış fiyatları ve yönetim politikaları verilerini kullanmaktadır. Bu verilerin periyodik olarak toplanıp analizi sonucunda üretim plânları hazırlanmaktadır. Hazırlanan plânlar, genel olarak üretilecek her ürünün üretim miktarı, her ürün için alternatif üretim süreci ve her üretim süreci ile üretilecek ürün miktarı, her bir bölüm, hat, makine vb. tarafından üretilecek her tip ürün miktarı, ürünlerin hedeflenen stok düzeyleri, fazla mesai, ek vardiyalar, kullanılmayan kapasite, işgücü düzeyleri, üretim sistemi içindeki alt sistemler arasında hareket edecek malzeme ve yarı mamul miktarı, yan üreticilerden hangi tip girdinin hangi miktarda temin edileceğini belirleyen plânlar ve satın alınacak malzeme ihtiyaçlarına ilişkin bilgileri içermektedir (Acar, 1996: 52-53).

Üretim plânlarında öncelikle ele alınan bilgi, taleptir. Üretim plânları, ileriye dönük çalışmalar olduğu için talep tahminleri ile çok yakından ilgilidir. Talep tahminleri, beklenen üretim hacmini vermektedir (Gürdoğan, 1981: 19). Talep tahminlerinin duyarlılığını, “zaman” ve “ayrıntıya inme derecesi” olmak üzere iki faktör etkilemektedir. Tahminlerin kapsadığı zaman aralığı uzadıkça ve talebi tahmin edilecek ürün sayısı arttıkça yani, ayrıntıya inildikçe duyarlılık azalmaktadır. Uygun biçimde oluşturulan ürün grupları için yapılan talep tahminleri daha duyarlıdır. Bu iki faktör göz önüne alınırsa, üretim plânlarının uygun bir zaman aralığını kapsayacak biçimde ve ayrıntıya fazla inilmeden düzenlenmesinin yerinde olacağı söylenebilmektedir. Üretim plânında yer alan ürün grupları, aynı üretim işlemlerini gören veya aynı makinelerde işlenen ürünlerden oluşmaktadır. Ürünlerin gruplandırılması, üretim araçları ve üretim yöntemleri hakkında köklü bilgiye sahip olmayı gerektirmektedir. Teknolojik olanakların, makine ve işgücü kapasitesinin ve diğer faktörlerin kısıtlayıcı etkilerini hesaba katmak, ancak bu konuda bilgi sahibi olmakla mümkündür.

Bir üretim plânının hazırlanması; uygun plânlama döneminin seçimini, uygun ürün gruplarının oluşturulmasını ve kısıtlayıcı faktörlerin bilinçli olarak hesaba katılmasını gerektirmektedir. Bu şekilde hazırlanacak bir üretim plânı, belirli zaman

aralıklarındaki üretim miktarını, üretimin plâna uygun yürütülmesini kontrol edecek yöntemleri ve tüm işletmeyi kapsayan iş yükü dağıtım düzenini belirleyen bir araç niteliği taşımaktadır.

Üretim plânlarının yönetici ve uygulayıcılara daha yararlı olmasını sağlamak için kolay ve anlaşılır bir biçimde hazırlanması gerekmektedir. Özellikle, üretim plânlarında miktarların ortak, anlamlı ve uygun bir kriter ile ölçülmesi istenmektedir. Ölçme birimlerinin parça sayısı, işçilik saati gibi üretimde kullanılan birimler arasından seçilmesine dikkat edilmelidir. Kriterlerin ortak olması, grupta ve kıyaslama bakımından gereklidir. Anlamlılık; plânları yorumlayan, diğer işletme faaliyetleri ile ilgili kuran ve sonunda karar veren kişiler yani yöneticiler için önemlidir. Ölçme kriterinin uygunluğu, hesaplama işlemlerinin kolay yapılmasını ve hatalara yol açmamasını sağlayan özellikler ile belirlenmektedir (Kobu, 2003: 481-482, 492).

Üretim plânlaması, üretim sistemlerinin tiplerine göre farklılık göstermektedir. Kesikli üretimden sürekli üretime geçildikçe, üretim plânlaması basitleşmektedir. İşletmelerde üretim tiplerini kesin olarak birbirinden ayırmak zordur. Genelde, bir işletme için birkaç üretim tipini bir arada görmek mümkündür. Ancak, üretim tiplerinin doğru olarak belirlenmesi, üretim plânlama çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Çünkü, üretim tiplerinin yapısal çeşitliliğinden kaynaklanan değişik problemler, plânlama çalışmalarını yönlendirmektedir (Acar, 1996: 11, 15).

Bir üretim plânının hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken noktaları şu şekilde genelleştirmek mümkündür (Kobu, 2003: 490-491):

- Üretim hızının değiştirilmesi için işletmenin yapısına ve üretim tipine bağlı olan belirli bir hazırlık süresine ihtiyaç vardır. Bir çeşit reaksiyon süresi olarak nitelenebilen bu sürenin plânın esnekliğine zarar vermeyecek biçimde hesaba katılması gerekmektedir.
- Önceden plânlanan toplu izinlerin dışında yıl içindeki bayram tatillerinin normal çalışma süresini azaltıcı etkisi göz önüne alınmalıdır. Üretim plânlarında günlük üretim hızı ve haftalık mesai saati ölçülerinin kullanılması, tatillerin yanılmaya meydan bırakmadan hesaba girmesini sağlamaktadır.
- Günümüzün toplu sözleşme şartları, işçilere iki haftalık toplu tatilin üstünde izin hakları vermektedir. Dolayısıyla, tüm işgücünün ortalama olarak iki

haftanın üstünde bir süre izinde bulunacağı düşünülmelidir. Yaz aylarında fabrikanın tüm personelinin % 25-40 kadarının tatile çıkma olasılığı yüksektir. Stokların minimum düzeyin altına düşmesinde talep değişimi kadar izinli personel oranının artması da rol oynamaktadır.

- Fazla mesaide normal mesai ücretine % 50-100 oranında ekleme yapılmaktadır. Bu eklemeye rağmen fazla mesai, yeni makine ve işçi olarak kapasiteyi arttırmaktan daha avantajlı olabilmektedir. Fazla mesainin en önemli avantajı, yeni sabit maliyetlere gerek göstermemesi ve toplam maliyeti düşürmesidir. Fazla mesai, sürekli bir çare olarak düşünülmemelidir. Fazla mesaiye beklenmedik talep artışı, yüksek ıskarta veya arıza halinde başvurulmalıdır.
- Mevsimsel dalgalanmaları karşılamak için öncelik, makine ve işçilik saati yüksek olan parçalara verilmelidir. Malzemesi pahalı, işlem süresi ve maliyeti düşük parçaların üretimini yoğun zamanlarda arttırmak daha kolaydır.

Üretim plânlama süreci; talep tahmini, Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP), ana üretim programlaması, Malzeme İhtiyaç Plânlaması (MİP) ve kısa dönem programlama faaliyetlerinden oluşmaktadır. Bu faaliyetlerin tümü birbiriyle uyumlu olmalı, faaliyetlerin detayı artarken, kapsanan süre azalmalıdır. Üretim plânlama süreci, plânlanan dönemin uzunluğuna göre üç ana kısımda incelenebilmektedir:

Uzun Dönemli Plânlama

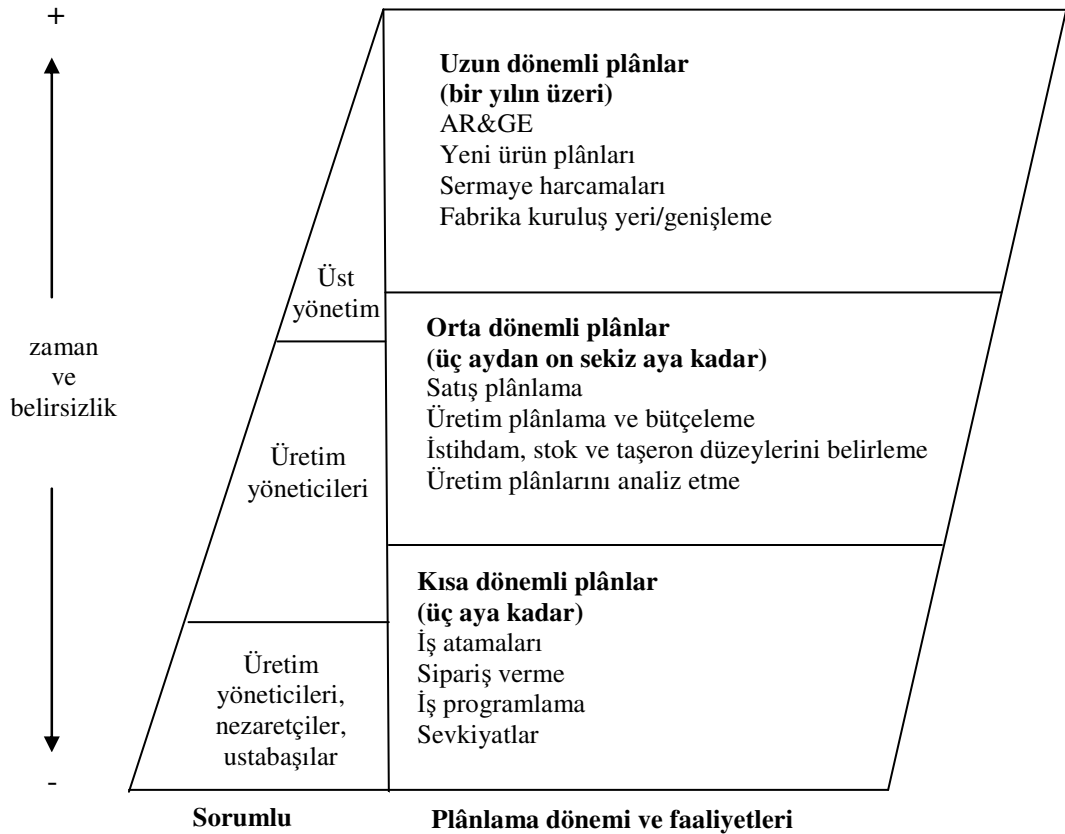
Uzun dönemli plânlama; kuruluş yeri seçimi ve büyüme, yeni ürün geliştirme, araştırma fonları ve yatırım gibi işletmenin genel politikasına ve kaynak teminine ilişkin stratejik kararları içermektedir (Heizer ve Render, 2000: 540). Bu nedenle, bu tip kararlar, üst düzey yöneticiler tarafından bir ile beş yıllık bir plânlama dönemi göz önünde tutularak verilmektedir. Bu kararların verilebilmesi için pazar araştırması, uzun dönemli tahminler ve kaynak plânlaması gibi ön çalışmaların yapılması şarttır (Acar, 1996: 18).

Orta Dönemli Plânlama

Uzun dönemli plânlama süreci sonunda belirlenen işletmenin genel politikası ve kaynak kısıtları çerçevesinde üç ay ile on sekiz aylık bir plânlama dönemi göz önünde tutularak orta dönemli kararlar verilmektedir. Bu kararların verilebilmesi için tahminler, işgücü plânlaması, üretim plânlaması gibi ön çalışmaların yapılması gerekmektedir. Orta dönemli plânlamadan taktik kararlar alan üretim yöneticileri yani orta düzey yöneticiler sorumludur. Taktik kararlar, kaynak temininden ziyade kaynakların tahsisi ve kullanımı ile ilgili kararları içermektedir. Bu kararlar, bir ürünün üretilmesi için gerekli kaynakların plânlanmasına, insan kaynakları politikalarının uygulanmasına ve kalitenin iyileştirilmesine ilişkindir (Üreten, 1999: 44). Orta dönemli bir plânlama, BÜP ile gerçekleştirilmektedir. Üst yönetimin uzun dönemli plânlamayı eksik ve tutarsız yapması, bütünlük üretim plânlamacılarının işini zorlaştıracak problemler ortaya çıkarmaktadır (Heizer ve Render, 2000: 540).

Kısa Dönemli Plânlama

Kısa dönemli plânlama; üretim miktarlarının belirlenen hedeflere ulaşmak üzere sürekli kontrolü ve gerekirse yeniden ayarlanması, malzeme eksikliği, makine bozulmaları gibi aksaklıkların giderilmesi, işçilerin üretim merkezlerine tahsisi, önceliklerin belirlenmesi, fazla mesai kararları ve imalât ara stok düzeylerinin tespiti gibi işlemsel kararları içermektedir (Acar, 1996: 19). Kısa dönemli plânlama, bir yıla kadar sürebilmekte ancak, genellikle üç aydan daha kısa bir süreyi kapsamaktadır. Bu plânlamadan, orta dönemli plâni bütünlüklikten çıkarıp haftalık, günlük ve saatlik programlar haline getiren denetçiler ve ustabaşılarda çalışan üretim personeli sorumludur (Heizer ve Render, 2000: 540).



Şekil 1.2: Plânlama dönemleri, faaliyetleri ve sorumluları

Kaynak: Heizer, J. ve Render, B. (2000) *Operations Management (6. Basım)*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, s. 541.

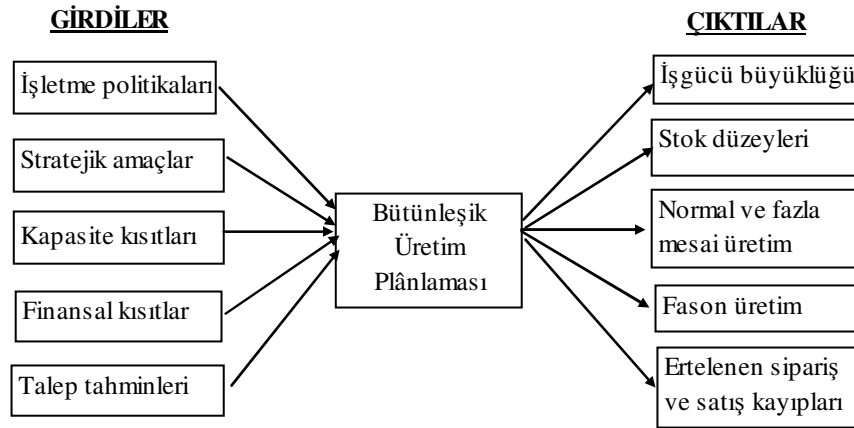
Üretim plânlaması, gelecekteki üretim faaliyet ve miktarlarının sınırlarını ve düzeylerini belirlemek amacı ile yapılan bir karar alma işlemi olup farklı düzey yöneticilerin alacağı kararlarda önemli bir yer tutmaktadır. Şekil 1.2’de plânlama dönemleri, her plânlama döneminde alınan kararlar ve bu kararların alınmasında sorumlu olanlar özetlenmektedir (Heizer ve Render, 2000: 541). Bu şekil, aynı zamanda genel olarak üretim plânlamasının aşamalarını da göstermektedir. Şekil 1.2’de görüleceği üzere üretim plânlamasında hiyerarşik bir yapı söz konusudur. İlk olarak, uzun dönemli plânlama yapılmaktadır. Uzun dönemli plânlama, orta dönemli plânlara, orta dönemli plânlara da kısa dönemli plânlara girdi sağlamaktadır (Sipper ve Bulfin, 1997: 165). Yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe plânlama dönemi ve belirsizlik derecesi azalmaktadır (Saad, 1982: 106).

Üretim plânlama süreci, her bir plânlama dönemi için üretim hedefleri ve uygun kaynak dağılımlarını sağlamaktadır. Üretim plâni, yeni bir bilgi edinildiğinde güncellenmekte (Thompson vd., 1993: 1957) ve üretim plânları üzerinde ihtiyaç duyulduğu zaman değişiklikler yapılabilmektedir (Kobu, 2003: 481).

1.2 BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI

Birçok yönetici, üretimi en genel düzeyde plânlamak ve denetlemek için ürün ayrıntılarını ve ayrıntılı fabrika ve işgücü programlamasını içermeyen bir çeşit bütünlük plânlama yoluna gitmektedir. Yönetim, daha çok tasarlanan işgücü ve taşeron kullanım düzeylerini gözden geçirmek ve belli bir işgücü düzeyinde iş saatlerini değiştirerek üretim hızını saptamak suretiyle kaynakların kullanımını plânlama kararı ile ilgilenmektedir. Plânlama sürecinin bir sonraki dönemine ilişkin bu temel kararlar verildikten sonra, bu geniş plânın getirdiği kısıtlar içinde daha alt düzeyde ayrıntılı programlar yapılabilmektedir (Buffa, 1981: 449).

Bütünlük Üretim Plânlaması (BÜP), genellikle gelecek 3 aydan 18 aya kadar üretim miktarını ve zamanını belirlemekle ilgilenen orta dönemli bir üretim plânlamasıdır. Bir başka deyişle BÜP, orta dönem için beklenen talebi karşılayabilecek üretimi sağlama çalışmalarının tümüdür. Beklenen talep ile üretimi birbirine uydurabilme çabaları, genellikle ürün bazında değil de tek grup çıktı veya birkaç birleştirilmiş ürün grubu için yapıldığından “bütünlük” veya “toplam” terimi kullanılmaktadır. Örneğin, otomobil üretiminde bütünlük plân, renk ve model ayrımı yapılmaksızın üretilecek toplam otomobil sayısı için yapılmaktadır.



Şekil 1.3: Bütünleşik üretim plânlamasının girdi ve çıktıları

Kaynak: Russell, R. S. ve Taylor, B. W. (2006) *Operations Management, Quality and Competitiveness in a Global Environment* (5. Basım), John Wiley & Sons Inc.: New York, s. 582.

BÜP, üretim ve üretim yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Üretim yöneticileri; üretim oranlarını, işgücü düzeylerini, stok düzeylerini, taşeron ve fazla mesai üretim miktarlarını, işe alma ve işten çıkarma oranlarını ve diğer kontrol edilebilir değişkenleri düzenleyerek tahmin edilen talebi karşılamak için en iyi yolu belirlemeye çalışmaktadır. Şekil 1.3, BÜP'ün girdi ve çıktıları göstermektedir (Russell ve Taylor, 2006: 582). BÜP'te üretim miktarı, ertelenen sipariş miktarı, taşeron (fason) miktarı, stok düzeyi, işgücü düzeyi, işe alma ve işten çıkarma ile ilgili kararlar almak için gerekli girdiler; işletme politikaları, stratejik amaçlar, kapasite kısıtları, finansal kısıtlar ve talep tahminleridir (Phruksaphanrat vd., 2006: 2).

Yöneticiler, talepteki dalgalanmaların etkisini azaltmak için ilgili kısıtları ihlâl etmeden plânlama dönemi boyunca optimal üretim, işgücü ve stok düzeylerini belirleyen politikaları yaratarak birçok amacı aynı anda başarmaya çalışmaktadır (Chen ve Liao, 2003: 3359). BÜP, plânlama dönemi boyunca talebi karşılamak için ihtiyaç duyulan kaynakların maliyetini, işgücü düzeyindeki değişimleri, stok yatırımını, ertelenen siparişleri, fazla mesai kullanımını minimize etmek ve hizmet düzeyini maksimize etmek gibi birbirleriyle rekabet eden ve çelişen çok sayıda amacı içermektedir. Örneğin, stok düzeyinde düşüş; fazla mesai kullanımında artışa, fazla sayıda işçi alımına veya müşteri hizmet düzeyinde azalmaya ve dolayısıyla, daha az kâra neden olmaktadır (Masud ve Hwang, 1980: 741). Sabit bir işgücü düzeyinde kalmak; işe alma ve işten çıkarma maliyetlerini azaltmakta ancak, artan stok yatırımına veya talep

azaldıkça normalden daha az mesai kullanım maliyetlerine neden olmaktadır (Duchessi ve O'Keefe, 1990: 378).

Makro üretim plânlaması olarak da adlandırılan BÜP, işletmenin bulundurması gereken işçi sayısını ve bir üretim işletmesi için üretilen ürün sayısı ve karmasını belirleme problemidir. BÜP'ü yalnızca üretim işletmeleri ile sınırlandırmak doğru değildir. Hizmet işletmeleri de işgücü ihtiyaçlarını belirlemek durumundadır. Örneğin, havayolları, uçuş takımı ve pilotlar için; hastaneler, hemşireler için personel düzeyini plânlamalıdır.

BÜP için dört unsura ihtiyaç vardır (Heizer ve Render, 2000: 540):

- Satışları ve çıktıyı ölçmek için uygun bütünleşik birim,
- Uygun bir orta dönemli plânlama için talep tahmini,
- Maliyetleri belirlemek için bir yöntem,
- Plânlama kararlarının plânlama döneminde yapılabilmesi için tahminleri ve maliyetleri birleştiren bir model.

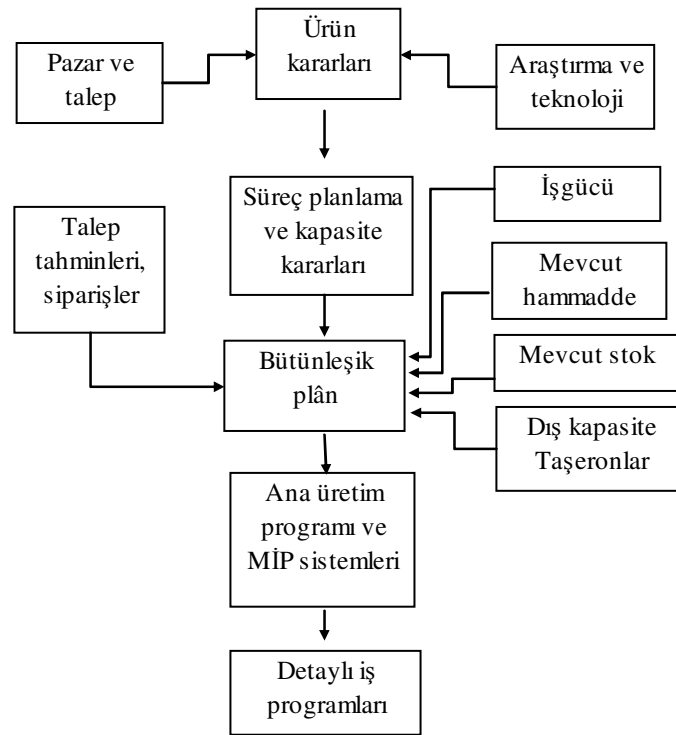
Bütünleşik plânlar için gerekli olan ilk unsur, satışların ve çıktının ölçülmesinde kullanılacak uygun bütünleşik bir birimin seçilmesidir. BÜP; üretimi örneğin, otomobil için adet, kömür için ton, boya için litre, kumaş için metre vb. ortak birimlerle ifade etmektedir. Üretilen ürün tipleri benzer olduğunda, bütünleşik bir üretim birimi ortak bir kaleme karşılık gelebilmektedir. Eğer çok farklı tipte ürün üretilirse, ağırlık (ton), miktar (adet), gerekli işgücü miktarı (işçi/yıl) veya parasal değer (TL olarak stok değeri) aracılığı ile bütünleşik birimleri dikkate almak daha uygundur. BÜP'ün amacı, bütünleşik üretim miktarlarını ve bu üretim hedeflerini başarmak için istenen kaynak düzeylerini belirlemektir (Nahmias, 1997: 122-123, 125).

İkinci olarak, yönetim bu bütünleşik koşullarda bir yıl gibi uygun bir plânlama dönemi için tahmin yapabilmelidir (Buffa, 1967: 87). Birçok uygulamada bütünleşik plân; haftalık, aylık veya üçer aylık süreler için geliştirilmesine rağmen, genellikle bir plânlama dönemi, birer aylık dilimler halinde bir yıldır (Nahmias, 1997: 125; Fahimnia vd., 2006: 68). Talep, zamanla değiştiği ve mevsimsellik gösterebildiği için (Thompson vd., 1993: 1957) plânlama döneminin seçimi, bütünleşik plânın kullanılabilirliğini belirlemede önemli olabilmektedir (McClain ve Thomas, 1977: 728). Belirlenen dönem çok kısa ise, mevcut üretim düzeyleri, dönem uzunluğunun ötesindeki talebi karşılamaya yetmeyebilmektedir. Belirlenen dönem çok uzun ise, uzak geleceğe yönelik

tahminler hataya neden olacaktır. Gerçekleşen talepler, tahminlerinden çok farklı ise, bütünleşik plânla belirtilen kararlar yanlış olacaktır. Plânlama döneminin uzunluğunu içeren diğer konu, dönem sonu etkisidir. Örneğin, bütünleşik plân, stok bulundurma maliyetini minimize etmek için dönem sonunda stoğu sıfıra çekmeyi önerebilmektedir. Bu, özellikle aynı zamanda talep artarsa zayıf bir strateji olabilmektedir. Ancak bu önemli problem, minimum dönem sonu stok düzeyleri belirlenerek önlenebilmektedir.

BÜP'ün önemli bir özelliği, talebin önceden bilindiği varsayımdır. Yani tahmin hatası sıfır varsayılmaktadır. Bu, BÜP'ün hem zayıf hem güçlü yanıdır. Zayıf yanı, tahmin hatalarının olasılığını görmezden gelmesidir. BÜP, tahmin hatalarına karşı bir koruma sağlamamaktadır. Ancak, tesadüfî talebe izin veren pek çok stok modeli, ortalama talebin dönem boyunca sabit olmasını gerektirmektedir. BÜP, yönetimin tesadüfî talebi varsayan modellerde genellikle olmayan sistematik değişikliklere odaklanmasına izin vermektedir. Deterministik talebi varsayarak mevsimsel dalgalanmalar ve işletme ömrünün etkileri, plânlama fonksiyonları ile birleştirilebilmektedir (Nahmias, 1997: 125-126).

Son olarak, yönetim BÜP ile ilgili maliyetleri ayırabilmeli ve bunları ölçebilmelidir. Daha sonra kullanılan yöntemlere dayanarak bu maliyetler, plânlama sürecindeki plânlama dönemleri dizisi için optimale yakın kararları verecek bir model şeklinde yeniden kurulabilmelidir. Bu kararların birbirini izleme özellikleri akılda tutulmalıdır. Bir sonraki dönemin işgücü düzeyleri ile ilgili olarak verilen bir karar; doğru veya yanlış, iyi veya kötü olarak nitelendirilememektedir. Ayrıca, yeni verilen kararlara, satışların gerçekleşen durumları ile ilgili yeni bilgilere ve plânlama sürecinin geri kalan kısmı ile ilgili tahminlere dayanılarak iki dönem sonrası için de kararlar verilecektir. Sonuç, bütün kararların sadece bir dönem içinde birbirini izleyen kararlar çerçevesinde doğru veya yanlış olacağı şeklindedir (Buffa, 1967: 87-88).



Şekil 1.4: Bütünleşik plân ve ilişkileri

Kaynak: Heizer, J. ve Render, B. (2000) *Operations Management (6. Basım)*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, s. 542.

BÜP, daha büyük bir üretim plânlama sisteminin bir parçasıdır. Bunun için plân ile çeşitli iç ve dış faktörler arasındaki ortak yönleri anlamak yararlıdır. Şekil 1.4, üretim yöneticilerinin sadece pazarlama bölümünün verdiği talep tahminlerini girdi olarak almadığını, finansal veri, personel, kapasite ve hammadde durumuyla da ilgilenmesi gerektiğini göstermektedir. Bir üretim ortamında bütünleşik plâni daha fazla detaylara ayırmaya “ayrıştırma (disaggregation)” denir. Ayrıştırma, Malzeme İhtiyaç Plânlaması (MİP) sistemlerine girdi sağlayan bir ana üretim programı ile sonuçlanmaktadır. Ana üretim programı, nihaî ürünü üretmek için gerekli parça veya bileşenlerin satın alımı veya üretimini belirtmektedir. İnsanlar için detaylı iş programları ve ürünler için öncelik programlama, üretim plânlama sisteminin son adımı olarak sonuçlanmaktadır (Heizer ve Render, 2000: 542-543).

BÜP süreci, temel olarak hizmet ve üretim için aynı olup, talep tahmini ile başlamaktadır. Bütünleşik planlama aşamasından sonra üretim ve hizmet plânlama faaliyetleri genel olarak farklıdır (Chase vd., 1998: 552). Üreticiler için BÜP, işletmenin

stratejik hedeflerini üretim plânlarına bağlamaktadır. Ancak, hizmet işletmeleri için BÜP, stratejik hedefleri işgücü plânlarına bağlamaktadır (Heizer ve Render, 2000: 540).

1.2.1 Bütünleşik Üretim Plânlaması Stratejileri

Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP) stratejileri, işletme stratejilerinin tümünün önemli bir parçasıdır. Bir bütünleşik plân hazırlanırken üretim yöneticisinin cevaplaması gereken çeşitli sorular bulunmaktadır:

- Plânlama dönemi boyunca talepteki değişiklikleri gidermek için stok kullanılmalı mıdır?
- Değişiklikler, işgücü büyüklüğünü değiştirerek mi giderilmelidir?
- Dalgalanmaları gidermek için kısmi zamanlı (part time), fazla veya normalden az mesai mi kullanılmalıdır?
- Dalgalanan siparişler karşısında işgücünü aynı düzeyde korumak amacı ile taşeronlar kullanılmalı mıdır?
- Talebi etkilemek amacı ile fiyatlar veya diğer faktörler değiştirilmeli midir?

Tüm bunlar, yasal plânlama stratejileridir. Bunlar stok, üretim oranları, işgücü düzeyleri, kapasite ve diğer kontrol edilebilir değişkenlerin kullanımını içermektedir. BÜP stratejileri, kapasite ve talep seçenekleri olarak ikiye ayrılabilir. *Kapasite seçenekleri*, talebi değiştirmeye kalkışmak yerine dalgalanmaları gidermeye çalışmaktadır. *Talep seçenekleri* ise, işletmelerin plânlama dönemi boyunca taleplerindeki değişiklikleri düzeltmeye çalışmaktadır (Heizer ve Render, 2000: 543).

Kapasite seçenekleri

Stok düzeylerini değiştirmek: Yöneticiler, gelecek dönemlerde yüksek talebi karşılamak için düşük talepli dönemlerde stoğu arttırabilmektedir. Bu seçenek seçildiğinde stok bulundurma ile ilgili maliyetler artmaktadır. Diğer yandan, işletmeler artan talep dönemine girdiğinde, tükenen stoklar; muhtemelen daha uzun temin süreleri ve daha kötü müşteri hizmetinden dolayı, satış kayıpları ile sonuçlanabilmektedir.

İşe alma veya işten çıkarma yolu ile işgücü büyüklüğünü değiştirmek: Talebi karşılamamanın bir başka yolu, üretim oranlarına bağlı olarak işçileri işe almak veya işten çıkarmaktır. Ancak, çoğu kez işe yeni alınan işçilerin eğitilmesi gerekmekte ve geçici

olarak ortalama verimlilik düşmektedir. İşe alma veya işten çıkarmalar, tüm işçilerin moralini olumsuz etkileyeceği için daha düşük verimliliğe yol açabilmektedir.

Fazla veya normalden az mesai yolu ile üretim oranlarını değiştirmek: Bazen çalışma saatlerinde değişiklikler yaparak; talebin düşük olduğu dönemlerde çalışma saatlerini azaltarak, talebin yüksek olduğu dönemlerde ise, çalışma saatlerini arttırarak işgücü büyüklüğünü aynı düzeyde tutmak mümkündür. Ancak, talep çok yüksek olduğunda ne kadar fazla mesai yapmanın gerçekçi olabileceğinin bir sınırı vardır. Fazla mesai, daha fazla para ödemeyi gerektirmekte ve aşırı fazla mesai, tüm verimliliğin düşmesi noktasında işçileri yıpratabilmektedir. Fazla mesai, işletmenin faaliyette olduğu süre boyunca ısıtma, aydınlatma, kira gibi genel giderlerinin artmasına da neden olmaktadır. Diğer yandan, işletme azalan talep döneminde işçilerin boş geçen zamanını bir tür giderme yolu bulmalıdır ki bu da genellikle zor bir süreçtir.

Taşeron kullanmak: Bir işletme, talebin yüksek olduğu dönemlerde taşeron kullanarak, yani fason üretim yaptırarak geçici kapasite yaratabilmektedir. Ancak, bu seçeneğin çeşitli sakıncaları bulunmaktadır. İlk olarak, bu seçenek maliyetli olabilmektedir. İkincisi, işletmenin kendi müşterisinin kapısını bir rakibe açma riski yaratabilmektedir. Üçüncüsü, istenilen zamanda kaliteli ürün dağıtan mükemmel bir taşeron bulmak çoğu zaman zor olmaktadır (Heizer ve Render, 2000: 544-546). Tedarikçi ile ilişkiler güçlü olmadıkça üretici, plân ve kalite üzerinde kontrolünü kaybedebilmektedir. Bu nedenle, çok fazla taşeron kullanmak, riski yüksek bir seçenek olarak görülebilmektedir (Chase vd., 1998: 558).

Geçici işçi kullanmak: Özellikle hizmet sektöründe geçici işçi yolu ile vasıfsız işçi gereksinimi giderilebilmektedir. Bu seçenek, fast-food restoranlarda, perakende dükkânlarda ve süpermarketlerde yaygındır.

Talep seçenekleri

Talebi etkilemek: Bir işletme, talep düşük olduğunda reklâm, promosyon, kişisel satış ve fiyat indirimleri ile talebi arttırmaya çalışabilmektedir. Örneğin, hava yolları ve oteller, hafta sonu veya ölü sezon indirimleri yapabilmekte; telefon şirketleri, düşük gece tarifeleri uygulayabilmekte; bazı okullar, son sınıf öğrencilerine indirim yapabilmekte; klimalar, kışın daha ucuz olabilmektedir. Ancak, bu seçeneği kullanarak üretim kapasitesi ile talebi dengelemek her zaman mümkün olmayabilmektedir.

Yüksek talep dönemlerinde siparişi ertelemek: Ertelenen siparişler, bir işletmenin kabul ettiği fakat o anda karşılayamadığı mal veya hizmetlerin siparişidir. Eğer müşteriler iyi niyetlerini kaybetmeden siparişlerini beklemeye razı ise, siparişi ertelemek olası bir seçenektir. Özellikle, otomobil satışlarında bu yol izlenmektedir. Pek çok işletme, siparişleri ertelemekte ancak, bu yaklaşım çoğu kez satış kayıpları ile sonuçlanmaktadır.

Mevsimlik talepte tamamlayıcı ürünler üretmek: Üreticiler arasında en yaygın kullanılan aktif düzeltme tekniği, zıt mevsimlere ilişkin parçalardan bir ürün karması geliştirmektir. Hem ısıtıcı hem soğutucu, hem çim biçme hem kar temizleme makinesi üreten işletmeler buna örnek gösterilebilmektedir. Ancak, bu yaklaşımı izleyen işletmeler, kendilerini uzmanlık alanları dışında veya hedef pazarın gerisinde ürün veya hizmetlerle ilgileniyor bulabilmektedir.

Çizelge 1.1: Bütünleşik üretim plânlaması seçenekleri: Avantaj ve dezavantajları

Seçenekler	Avantajlar	Dezavantajlar	Bazı tavsiyeler
Stok düzeylerini değiştirmek	İnsan kaynaklarındaki değişiklikler kademe kademedir veya hiç yoktur. Üretimde beklenmedik bir değişiklik yoktur.	Stok bulundurma maliyeti artabilir. Stoksuzluk, satış kayıplarına neden olabilir.	Temel olarak hizmet sektöründe değil üretim sektöründe uygulanır.
İşe alma veya işten çıkarma yolu ile işgücü büyüklüğünü değiştirmek	Diğer seçeneklerin maliyetlerini önler.	İşe alma, işten çıkarma ve eğitim maliyetleri önemli olabilir.	İşgücünün fazla olduğu yerlerde kullanılır.
Fazla veya normalden az mesai yolu ile üretim oranlarını değiştirmek	İşe alma/işten çıkarma maliyetleri olmadan mevsimsel dalgalanmaları karşılar.	Fazla mesai için yapılan ödemeler, yorgun işçiler, talebi karşılayamama gibi durumlara neden olabilir.	Bütünleşik plân içinde esneklik sağlar.
Taşeron kullanmak	İşletme çıktılarını düzeltmeye ve esnekliğe izin verir.	Kalite kontrol kaybı, azalan kârlar, gelecekteki iş kaybı gibi durumlara neden olabilir.	Temel olarak üretim ortamlarında uygulanır.

Geçici işçi kullanmak	Tam zamanlı işçilerden daha az maliyetli ve daha fazla esneklik.	Yüksek değişim/egitim maliyetleri, düşük kalite, plânlama zorluğu ile karşılaşılabılır.	Geçici işgücü alanlarında yeteneğe gerek olmayan (vasıfsız) işler için iyidir.
Talebi etkilemek	Aşırı kapasite kullanmaya çalışır. İndirimler, yeni müşterileri çeker.	Talepteki belirsizlik, arzın talebi tam olarak karşılama zorluğu ile karşılaşılabılır.	Pazarlama fikirleri yaratır. Bazı işlerde çifte rezervasyon (overbooking) kullanılır.
Yüksek talep dönemlerinde siparişi ertelemek	Fazla mesaiyi önleyebilir. Kapasiteyi sabit tutar.	Müşterinin iyi niyet kaybına neden olabilir.	Pek çok işletme siparişi erteler.
Mevsimlik ürünler ve hizmet karması	Kaynakları tam kullanır. Sabit işgücüne izin verir.	İşletmenin uzmanlık alanı dışında beceri veya donanım gerektirebilir.	Karşıt talep örnekleri ile ürün veya hizmetleri bulmak, risklidir.

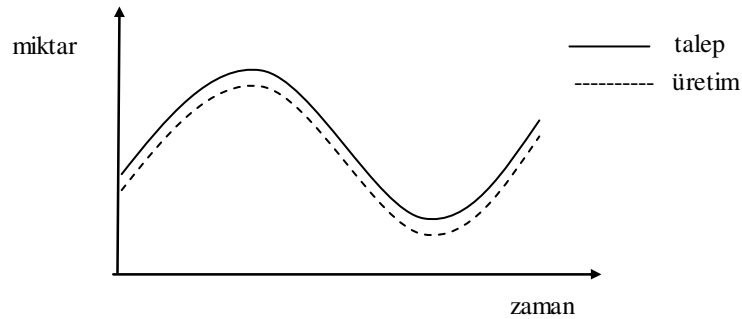
Kaynak: Heizer, J. ve Render, B. (2000) *Operations Management (6. Basım)*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, s. 546.

Kapasite ve talep seçenekleri, avantaj ve dezavantajları ile Çizelge 1.1'de özetlenmektedir. Yukarıda açıklanan her bir kapasite ve talep seçeneği etkili bir bütünleşik plân üretebilse de bu seçeneklerin bazılarının birlikte uygulanmaları daha iyi olabilmektedir. Birçok üretici, talep seçeneklerinin kullanımının tamamıyla pazarlama bölümü tarafından ortaya çıkarıldığını varsaymakta ve bu uygun seçenekler talep tahmini ile birleşmektedir. Üretim yöneticisi, daha sonra bu tahmine dayanarak bütünleşik plân hazırlamaktadır. Ancak, kendi sorumluluğunda kapasite seçeneklerini kullanan üretim yöneticisinin hâlâ çok sayıda olası plânı bulunmaktadır. Bu plânlar, bir uçta *talebi izleme (chase) stratejisi* ve diğer uçta *sabit üretim hızı (level) stratejisi* olarak somutlaştırılabilmektedir (Heizer ve Render, 2000: 546). Talebi izleme ve sabit üretim hızı stratejileri, seçenekleri desteklemek için geliştirilmekte ve bu seçenekler sonucu yapılan kıyaslamalara göre değerlendirilmektedir (Vollman vd., 2005: 344). Plânlama döneminin uzunluğu ve talebin davranış şekli, bir plânlama stratejisinin performansı

üzerinde etkili olabilmektedir. BÜP stratejileri, üretim düzeyindeki değişme durumuna göre üçe ayrılmaktadır:

1.2.1.1 Talebi İzleme Stratejisi

Talebi izleme stratejisi, üretimi tahmin edilen talebe eşitlemektedir. Bu strateji, değişik yollarla başarılabilir. Örneğin, üretim yöneticisi işe alma veya işten çıkarma yolu ile işgücü düzeyini değiştirebilmekte veya fazla mesai, normalden az mesai, geçici işçi alma veya taşeron aracılığı ile üretimi değiştirebilmektedir (Heizer ve Render, 2000: 547). Tam zamanında üretim plânı olarak da bilinen bu stratejide üretim hızı, talepteki değişimleri çok yakından izlediği için stok düzeyi sifıra yakındır. Buna karşılık üretim hızı değişimlerinde yapılan hazırlık, işe alma ve işten çıkarma işlemlerinin maliyeti yüksektir. Dolayısıyla, bu strateji, üretim oranını değiştirme maliyetinin görece olarak pahalı olmadığı durumlarda uygundur. Pek çok hizmet işletmesi, stok imkânına sahip olmadığı için bu stratejiyi desteklemektedir (Buxey, 2003: 335). Şekil 1.5'te talebi izleme stratejisi gösterilmektedir.



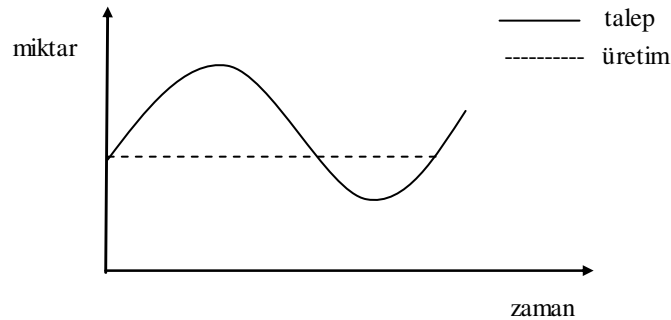
Şekil 1.5: Talebi izleme stratejisi

Kaynak: Russell, R. S. ve Taylor, B. W. (2006) *Operations Management, Quality and Competitiveness in a Global Environment* (5. Basım), John Wiley & Sons Inc.: New York, s. 583.

1.2.1.2 Sabit Üretim Hızı Stratejisi

Sabit üretim hızı stratejisi, dönemden döneme günlük üretimin aynı düzeyde olduğu bir bütünleşik plândır. Plânlama dönemi boyunca üretim oranı veya işgücü düzeyi sabittir. Sabit işgücünün; daha kaliteli bir ürüne, daha az işgücü devrine ve işten kaytarmaya, işçilerin işletme amaçlarına daha fazla katılımına yol açtığı

düşünülmektedir (Heizer ve Render, 2000: 547). Japonlar tarafından uygulanan “ömür boyu iş” isteğinden doğan bu strateji, talep uygun şekilde sabit olduğunda çalışmaktadır (Demir ve Gümüşoğlu, 2003: 461). Genellikle ortalama talebi karşılayabilecek şekilde sabit bir üretim düzeyi temel alınmaktadır. Düşük talebin söz konusu olduğu dönemlerde talepteki değişikliği sonradan karşılamak üzere stoğa üretim yapılmaktadır (Kağnıcıoğlu ve Hasgöl, 2006). Ancak, bu strateji düşük talep dönemlerinde büyük stoklarla sonuçlanabilmektedir. Hizmet işletmeleri, düşük talep dönemlerinde ödemeleri karşılamak için büyük borca girebilmektedir (Nahmias, 1997: 122). Talep ile üretim arasındaki farklılıklar, stok bulundurma ve bulundurmama maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla, bu strateji stok bulundurma maliyetinin düşük olduğu durumlarda uygundur. Bu stratejinin avantajı; daha deneyimli işçi, daha kolay plânlama/denetim ve çok düşük hazırlık maliyetidir (Kobu, 2003: 487). Şekil 1.6’da sabit üretim hızı stratejisi gösterilmektedir.



Şekil 1.6: Sabit üretim hızı stratejisi

Kaynak: Russell, R. S. ve Taylor, B. W. (2006) *Operations Management, Quality and Competitiveness in a Global Environment* (5. Basım), John Wiley & Sons Inc.: New York, s. 583.

1.2.1.3 Karma Strateji

Etkili üretim plânları, her bir stratejinin görece avantaj ve dezavantajlarını incelemenin ve karma strateji geliştirmenin sonucu ortaya çıkmaktadır (Chen ve Liao, 2003: 3359). Karma strateji, uygun bir üretim plâni oluşturmak için iki veya daha çok kontrol edilebilir değişkeni kullanan bir plânlama stratejisidir (Heizer ve Render, 2000: 547). Örneğin, bir işletme fazla mesai yapma, taşeron kullanma ve stok düzeylerini değiştirme seçeneklerinden oluşan bir bileşimi, strateji olarak kullanabilmektedir.

Ancak, çok sayıda olası karma strateji olabileceği için bütünleşik plânlama, üreticiler için rekabeti gerektiren bir görevdir (Demir ve Gümüşoğlu, 2003: 461) ve optimal bir plân bulmak her zaman mümkün değildir (Heizer ve Render, 2000: 547).

1.2.2 Bütünleşik Üretim Plânlaması Stratejilerine İlişkin Maliyetler

Belirli bir ürün için bütünleşik üretim plânının hazırlanmasında en uygun stratejinin seçimi; her stratejinin ayrı ayrı değerlendirilmesi, her stratejiye ilişkin maliyetlerin incelenmesi ve bu maliyetlerin birbirleriyle karşılaştırılması sonucunda mümkündür. Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP) stratejilerine ilişkin maliyetler şunlardır:

1.2.2.1 İşgücü Büyüklüğünü Değiştirme Maliyeti

BÜP kapsamında en belirgin maliyet, işgücü büyüklüğünü değiştirme maliyetidir. İşgücü büyüklüğünü arttırmak, işe yeni işçilerin alınması gerektiği anlamına gelmekte ve yeni işe alınanları eğitmek, zaman ve harcama gerektirmektedir. Yeni işçiler işe alındığında mülâkat ve seçim, yeni personel kayıtları, bordro hazırlanması, yeni personelin eğitimi ve işe alıştırılması gerekmektedir (Acar, 1996: 82). Dolayısıyla, işe alma ve eğitim maliyetlerinin yanı sıra işçilerin işe alışma döneminde düşük üretkenlik nedeniyle maliyetler yükselmektedir (Buffa, 1981: 451). İşgücü büyüklüğünü azaltmak, işçilerin işten çıkarılması gerektiği anlamına gelmektedir. İşten çıkarılanlar için ödenen tazminatlar, işgücü büyüklüğünü azaltmanın bir maliyetidir. Bunun dışında işçileri işten çıkarmanın ölçümü zor olabilecek başka maliyetleri olabilmektedir. Sık sık işçi alıp çıkarmak, toplum üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Bu, satışları olumsuz yönde etkilemekte ve potansiyel işçilerin işletmeye katılmalarında cesaretini kırmaktadır. İşten çıkarılan işçiler, başka işletmelerde iş edinecekleri için bu durum, işletmenin gelecekte işgücü büyüklüğüne zarar verebilmektedir. Ancak, pek çok işletme, iş sözleşmeleri gereği dilediği zaman işe alma ve işten çıkarma özgürlüğüne sahip değildir.

Pek çok model, işgücü büyüklüğünü arttırma ve azaltma maliyetlerinin, işe alınan ve işten çıkarılan işçi sayısı ile doğrusal olduğunu varsaymaktadır. Yani, işe alınan ve işten çıkarılan her bir işçi için ödenen sabit bir para miktarı vardır. Doğrusallık varsayımı, bir noktaya kadar kabul edilebilmektedir. İstihdam azaldıkça daha fazla

işçiyi işe almak için ek maliyetler gerekebilmekte ve işgücü sayısı çok fazla azalırsa yani çok fazla işçi çıkarılırsa, işçileri işten çıkarma maliyetleri hayli artabilmektedir (Nahmias, 1997: 125-127).

1.2.2.2 Stok Bulundurma Maliyetleri

En önemli stok bulundurma maliyeti, stoğa bağlanan sermaye maliyetidir. Diğer maliyetler ise, taşıma, depolama, emniyet, vergiler, kırılma, bozulma, çalınma, eskime ve kullanılmamadır (Chase vd., 1998: 558). Stok bulundurma maliyetlerinin hemen hemen her zaman için belli bir noktada tutulan birim sayısı ile doğrusal olduğu ve bütünlük plânlama analizinin amaçları gereği, birim başına stok bulundurma maliyetinin her plânlama dönemi için parasal değer ile ifade edildiği varsayılmaktadır. Stok bulundurma maliyetlerinin plânlama döneminin sonunda elde kalan stoğa göre fiyatlandırıldığı varsayımı da sadece kolaylık için yapılmaktadır (Nahmias, 1997: 127-128).

1.2.2.3 Stok Bulundurmama Maliyetleri

Stok bulundurmama maliyetleri, talep üretim kapasitesini aştığında veya talep beklenenden daha yüksek olduğunda oluşabilmektedir. Bu durumda siparişler ertelenmektedir. Yoğun rekabet ortamında talebi zamanında karşılayamamak, genellikle müşteri kaybına neden olmaktadır. Bu durum, satış kaybı olarak bilinmektedir. Dolayısıyla, sipariş erteleme maliyetlerini ölçmek oldukça zordur (Chase vd., 1998: 558; Schroeder, 1993: 448).

Stok bulundurma maliyetlerinde olduğu gibi stok bulundurmama maliyetlerinin de genellikle doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Konveks fonksiyonlar, stok bulundurmama maliyetlerini tanımlamak için daha doğru olabilmekte ancak, doğrusal fonksiyonlar çok daha uygun görünmektedir (Nahmias, 1997: 128).

1.2.2.4 Normal Mesai Maliyetleri

Normal mesai maliyetleri, normal mesai saatleri boyunca bir birim çıktı üretme maliyetini içermektedir. Bu maliyetlere normal mesai saatlerinde çalışan işçilere ödenen ücretler, doğrudan ve dolaylı malzeme maliyetleri ve diğer üretim harcamaları girmektedir (Nahmias, 1997: 128).

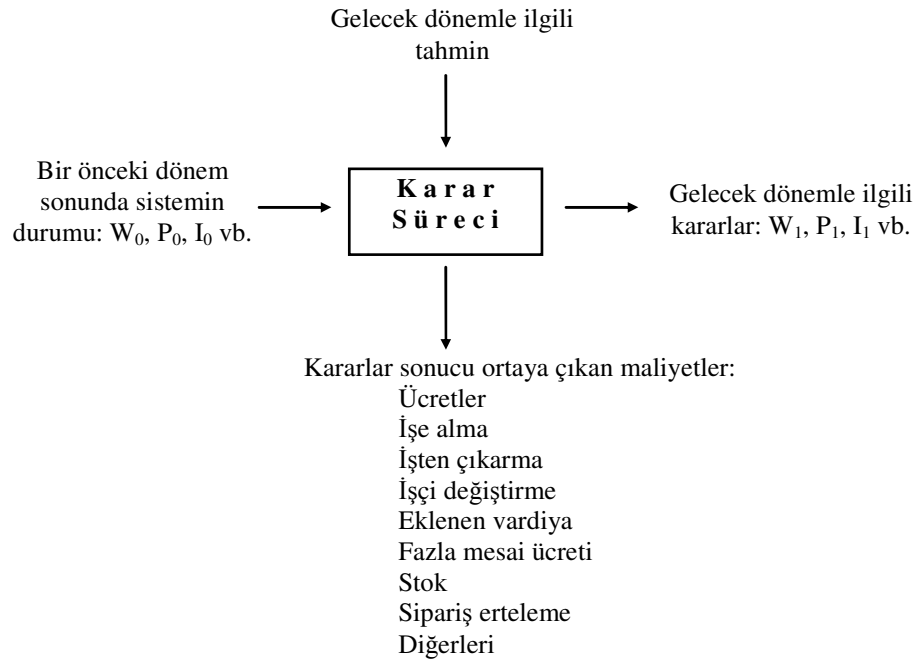
1.2.2.5 Fazla Mesai ve Taşeron Maliyetleri

Fazla mesai ve taşeron maliyetleri, normal mesaide üretilmeyen birimlerin üretim maliyetidir. Fazla mesai, normal çalışma saatleri dışında normal mesai işçileri ile yapılan üretimdir. Taşeron, dışarıdan bir üretici ile ürünlerin üretimini ifade etmektedir. Genellikle bu iki maliyetin de doğrusal olduğu varsayılmaktadır (Nahmias, 1997: 129). Ancak, üretim hızı sürekli olarak arttırıldığında, birtakım yeni işlemlerde fazla mesaiye geçilmekte ve bunun sonucunda maliyet eğrisi hızlı bir artış göstermektedir. Bunun nedenleri arasında, işçilerin daha uzun saatler çalışmaları sonunda üretkenliğinin azalması ve çalışılan saat başına işçi verimliliğinin düşmesi gelmektedir (Acar, 1996: 80-81).

1.2.3 Bütünleşik Üretim Plânlaması Problemleri için Geliştirilen Yöntemler

Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP); tahmin edilen talebi karşılamak için üretim miktarını, işgücü büyüklüğünü, her bir ürün tipi için stok düzeyini ve taşeron düzeyini belirleme problemidir (Silva vd., 2006: 167). BÜP problemlerinin esası, verilmek istenen kararlar üzerinde tahmin edilen talep değişikliklerinin ne gibi bir etkisi olacağını görmek üzere ileriye bakmaktır (Buffa, 1981: 476). BÜP problemlerinde bütün ürünlerin toplam üretim değerini temsil eden bir üretim değişkeni vardır. BÜP problemlerinin çözümü, her dönem için üretim kapasitesini ve toplam üretim düzeylerini belirlemektedir. Bu problemlere aynı zamanda “kaynak dengelemesi” problemleri denmesinin nedeni, bu problemlerde dalgalanan talep grafiğini en ekonomik şekilde karşılamak üzere üretim kaynaklarının ve üretim hızının bir dönemden diğerine değiştirilmesidir. Bunu yaparken üretim kaynaklarını ve üretim hızını değiştirme maliyetleri göz önünde tutulmaktadır (Acar, 1996: 77).

BÜP problemlerinde talebin dönemler boyunca değişmesi, dolayısıyla, işgücü düzeyi ve üretim miktarının bu değişikliklere göre düzenlenmesinin gerekliliği, problemi güçleştirmektedir. Bu yüzden plânlama sistemi, bu değişikliklerin üstesinden gelmek için yeterli esnekliği içermelidir.



Şekil 1.7: Tek dönemli plânlama süreci karar modeli

Plânlama sürecinin sadece bir dönem olduğu tek aşamalı bütünlük plânlama karar sistemi
 W = işgücü büyüklüğü, P = üretim hızı, I = stok düzeyi

Kaynak: Buffa, E. S. (1981) *Temel Üretim Yönetimi (2. Basım)* (Çev. A. Sezgin, K. Gölbaşı, S. Baklacioğlu, A. Ersoy, E. Ada), Ankara İktisadî ve Ticarî İlimler Akademisi Yayını, Olgaç Yayın Basım Dağıtım: Ankara, s. 453.

BÜP probleminin en basit yapısı, Şekil 1.7'deki tek aşamalı sistemde gösterilmektedir. Şekilde, plânlama dönemi olarak sadece bir dönem sonrası alınmıştır. Sistemin son dönemdeki durumu, bir sonraki dönemin başlangıç koşullarını oluşturmaktadır. Bir sonraki dönemin gereksinimlerine ait bir tahmin yapılmakta ve bu döneme ait işgücü büyüklüğünü ve üretim hızını saptayan kararlar, belirli bir karar süreci içinde verilmektedir. Verilen kararlar, işe alma veya işten çıkarma yoluyla üretim sisteminin etkin kapasitesinde genişletme veya daraltma yapılmasını gerektirebilmektedir. İşgücü büyüklüğü; daha sonra dönem içindeki üretim hızı kararıyla birlikte, gereken fazla mesai tutarını, stok düzeylerini veya siparişin ertelenmesi durumunu belirlemektedir. Bir vardiyanın eklenmesinin veya kaldırılmasının gerekli olup olmadığı ve üretim sürecinde olabilecek diğer değişiklikler de aynı şekilde saptanmaktadır. İşgücü büyüklüğü ve üretim düzeyi ile ilgili olarak

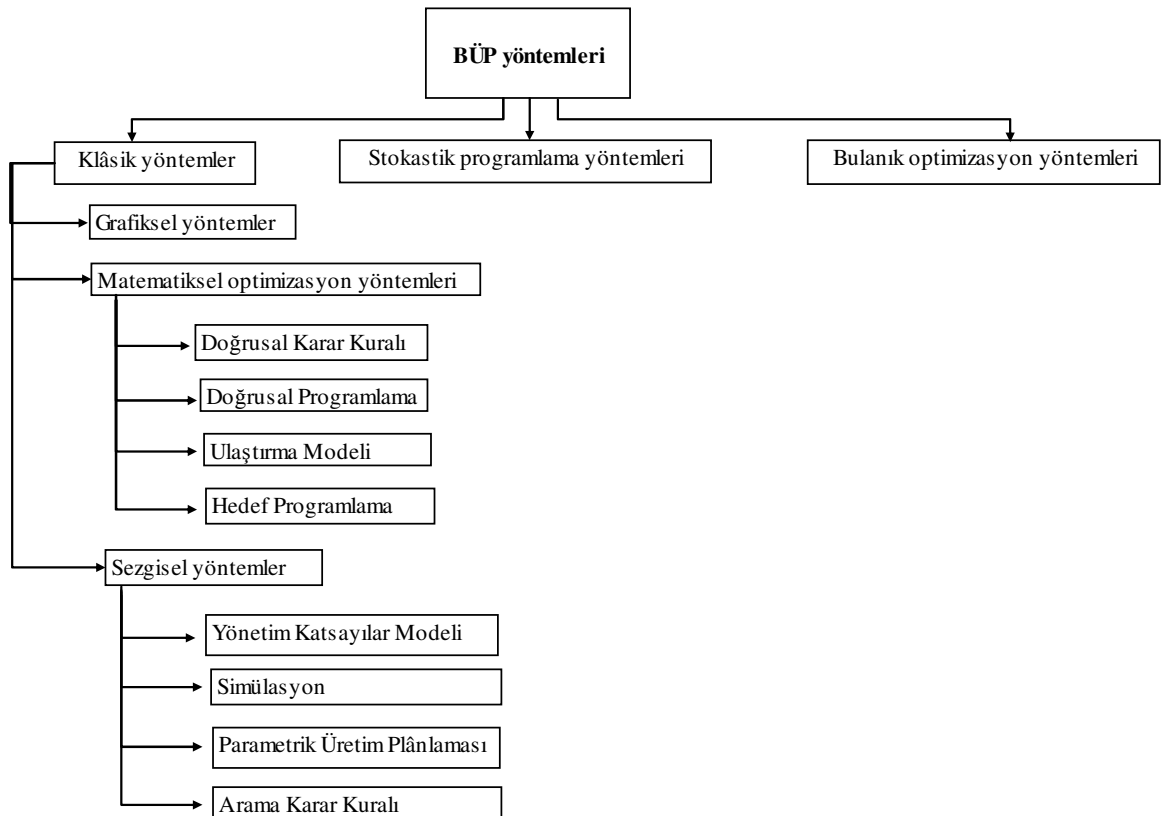
verilebilen alternatif kararlar sonucu ortaya çıkan karşılaştırılabilir maliyetler, verilen kararların ve kullanılan karar sürecinin etkinliğini saptamada büyük önem taşımaktadır. Bu tür bir alternatif karar dizisinin karşılaştırmalı maliyeti, tek aşamalı modelin uygulanabilirliğinin saptanmasında da önemlidir.

Şekil 1.7'deki tek aşamalı modelin yapısına uygun olarak bir dizi karar verildiği ve ilk dört dönemin her biri için yapılan tahminlerin sürekli düşüş gösterdiği düşünülün. Karar süreci, bu duruma hem işgücünü azaltarak hem de üretim düzeyini düşürerek cevap verir. Bu durumda, işten çıkarma ve değişim maliyetleri söz konusudur. Daha sonra beşinci dönemden onuncu dönemin sonuna kadar dönem tahminlerinin giderek yükseldiği düşünülün. Karar süreci, bu duruma her dönem işçi olarak ve üretim hızlarını yükselterek cevap verir. Bu durumda, işe alma ve değişim maliyetleri söz konusudur.

Tek aşamalı plânlama süreci, her bağımsız kararın kendi içinde mantıklı görünmesini sağlamakta, ancak, işçilerin önce işten çıkartılıp daha sonra tekrar işe alınmalarını gerektirmektedir. Dolayısıyla, üretim hızlarının değiştirilmesi nedeniyle karşılaşılan değişim maliyetlerine ek olarak, her iki işlem için de maliyetler söz konusu olmaktadır. Oysa, uygun bir karar süreci ile birkaç dönem ileriye görme olanağı olsa işgücünü, en azından belli bir dereceye kadar sabit tutup, talepteki dalgalanmaları başka bir yoldan karşılamaya karar verilebilmektedir. Bu yollardan biri, fazla veya normalden az mesai ile üretim hızında değişiklikler yapmak; bir diğeri ise, talepteki düşüşler sırasında fazla stok, artışlar sırasında az stok bulundurmadır. Örneğin, gelecek iki ayda kısa dönemli talebin artacağı tahmin edilse bile minimum maliyet tepkisi, talepteki değişikliği işgücünü büyütürken karşılamaktansa fazla mesai kullanarak veya stokları azaltarak karşılamak şeklinde olabilmektedir. Bu, özellikle talepteki kısa dönemli artışı izleyen bir düşüş tahmin edilmesi halinde geçerlidir. Fazla mesai veya stoklara başvurarak gelecekte işe alma ve işten çıkarma maliyetleri önlenebilmekte ve plânlama dönemindeki toplam maliyetler minimize edilebilmektedir. Dolayısıyla, plânlama döneminin genişletilmesi, bütünleşik üretim plânlama sisteminin etkinliğini arttırabilmektedir. Karar süreçlerinin birçoğu, bu çok aşamalı yapıyı yansıtmaktadır.

BÜP problemlerinin yapısına uygun olarak geliştirilen karar yöntemlerinden en çok kullanılanı, grafiksel yöntemlerdir. Bu yöntemleri dinamikleştirmek, optimal plânu arar şekle sokmak ve problemin çok aşamalı özelliğini gösterir hale getirmek suretiyle

klâsik yöntemlerin iyileştirilmesine çalışılmıştır (Buffa, 1981: 452-454, 475-476). Holt, Modigliani ve Simon (HMS) (1955), HMS kuralını önerdiğinden beri araştırmacılar BÜP problemlerini çözmek için çok sayıda yöntem geliştirmiştir (Wang ve Liang, 2004: 18; 2005a: 590; Baykoç ve Sakallı, 2009: 154). Nam ve Logendran (1992), 140 makale ve 14 kitaptan BÜP yöntemlerini incelemiş ve yöntemleri optimal ve optimale yakın olarak sınıflandırmıştır (Leung vd., 2003: 427). Optimizasyon yöntemleri; deterministik optimizasyon yöntemleri, stokastik programlama yöntemleri ve bulanık optimizasyon yöntemleri olarak da sınıflandırılmıştır (Tang vd., 2000: 671). Bu çalışmada BÜP problemleri için geliştirilen yöntemler; Şekil 1.8’de görüleceği üzere klâsik yöntemler, stokastik programlama yöntemleri ve bulanık optimizasyon yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 1.8: BÜP problemleri için geliştirilen yöntemler

1.2.3.1 Klâsik Yöntemler

Bu çalışmada klâsik BÜP yöntemleri; kendi içinde grafiksel yöntemler, matematiksel optimizasyon yöntemleri ve sezgisel yöntemler olarak sınıflandırılmıştır.

1.2.3.1.1 Grafiksel Yöntemler

Plânlamacılar tecrübe, sezgi ve maliyet verilerini kullanarak bütünleşik plânlar ortaya çıkarabilmektedir. İşletmeler genellikle bütünleşik plâni geliştirmek için grafiksel yöntemleri kullanmaktadır (Chase vd., 1998: 559; Duchessi ve O'Keefe, 1990: 377). Grafiksel yöntemler, deneme yanılmayı esas alan (Tersine, 1985: 463), anlaşılması ve kullanılması kolay yöntemlerdir. Gerçek hayatta BÜP, pek çok deneme yanılmayı içermektedir. Deneme-yanılma yaklaşımı, değişik üretim alternatiflerinden en iyi olanı seçmeyi içermekle birlikte, minimum maliyetli (optimal) çözümü garanti etmemektedir (Chase vd., 1998: 559, 564; Duchessi ve O'Keefe, 1990: 377; Stevenson, 2009: 621). Denemeler, subjektif olarak bir karar verici tarafından belirlendiği için uygun ve memnun edici çözüm elde etmek genellikle uzun zaman almakta ancak, yazılım programlarına uygulanırsa daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir (Techawiboonwong ve Yenradee, 2002: 291). Alternatif plânları göstermek için grafikler kullanılmaktadır. Grafikler aracılığıyla plânlanan talep ve mevcut üretim kapasitesi karşılaştırılmaktadır. Bir üretim plâni eğer kümülatif üretim grafiğinin üzerinde olursa talebi karşılamaktadır (Nahmias, 1997: 161).

1.2.3.1.2 Matematiksel Optimizasyon Yöntemleri

Bu bölümde BÜP ile ilgili geliştirilen klâsik matematiksel optimizasyon yöntemleri anlatılmıştır.

Doğrusal Karar Kuralı

Doğrusal Karar Kuralı (DKK), Holt, Modigliani ve Simon (1955) tarafından geliştirilmiştir. Bir sonraki çalışmada Holt, Modigliani ve Muth (1956), optimal karar kurallarının nasıl türetilebileceğini ve kuralların sayısal katsayılarının nasıl hesaplanabileceğini göstermiştir. Yöntemin tam bir tanımı ve bir boya işletmesi için üretim plânlamasına uygulanması, Holt, Modigliani, Muth ve Simon (HMMS) (1960) tarafından yapılmıştır (Nahmias, 1997: 160). HMMS'nin çalışması, üretim yönetiminde

bir dönüm noktası olmuştur (Singhal ve Singhal, 2007: 301). Bergstorm ve Smith (1970), gelecek dönemlerde üretilecek ürünler için optimal satışları, üretim ve stok düzeylerini doğrudan çözebilen çok ürünlü bir formülasyon kullanarak DKK yöntemini genelleştirmiştir. Silva, Lisboa ve Huang (2000) ise, bütün plânlama dönemi boyunca sabit işgücü düzeyini dikkate alan bir karar kuralı geliştirmek için DKK yöntemini genişletmiştir.

DKK, söz konusu işletme için ikinci dereceden bir maliyet fonksiyonunun geliştirilmesine dayanmaktadır. Maliyet bileşenleri; normal mesai ücretleri, işe alma ve işten çıkarma, fazla mesai ve stok bulundurma, sipariş erteleme ve makine kurulum maliyetleri olarak belirlenmiştir. Toplam maliyet fonksiyonu, belirtilen bu maliyet bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Amaç, N dönemli plânlama süreci boyunca aylık toplam maliyet fonksiyonunu minimize etmektir. İkinci dereceden maliyet fonksiyonu, belli bir plânlama dönemi için yapılan toplam satış tahminlerine dayalı olarak bir sonraki dönemin üretim oranı ve işgücü büyüklüğünü hesaplamak için iki doğrusal karar kuralı türetmede kullanılmaktadır (Holt vd., 1955: 1-30).

Bu modelde, işgücü ve ücretler arasında doğrusal olduğu kabul edilen ilişki ile işçilere normal mesai ücretlerinin her ay ödeneceği varsayılmaktadır. Dolayısıyla, normal mesai maliyeti, C_1W_t olarak belirtilmiştir. Burada W_t , t dönemindeki işçi sayısını; C_1 ise, sabit bir sayıyı ifade etmektedir.

İşe alma ve işten çıkarma maliyeti, işgücü büyüklüğünün değiştirilmesinden kaynaklanan bir maliyettir. Modelde bu maliyetler, hem işgücü büyüklüğünü artırırken hem de işgücü büyüklüğünü azaltırken arttığı için $C_2 (W_t - W_{t-1})^2$ şeklinde ikinci dereceden bir fonksiyon olarak belirtilmiştir. $(W_t - W_{t-1})$, işgücündeki aylık değişiklikleri ifade etmektedir.

İşgücü büyüklüğünün söz konusu dönemde sabit tutulması halinde üretim oranındaki değişiklikler, fazla veya normalden az mesai kullanarak yapılabilmektedir. Normalden az mesai, normal mesai ücreti alan aylak işgücünün maliyetidir. Fazla mesai ücreti, işgücü büyüklüğüne (W) ve toplam üretim oranına (P) bağlıdır. Modelde fazla mesai maliyeti, $C_3 (P_t - C_4W_t)^2 + C_5P_t - C_6W_t$ şeklinde ikinci dereceden bir fonksiyon olarak belirtilmiştir. Fazla mesai olmaksızın bir ayda üretilebilecek maksimum miktar, KW_t 'dir. K , ortalama bir işçinin üretkenliğini ifade etmektedir. Üretim oranı (P_t), işgücü büyüklüğüyle belirlenmiş C_4W_t düzeyini aştıkça fazla mesai maliyetleri artmaktadır.

Denklemdaki C_5P_t ve C_6W_t doğrusal terimleri, gerçek maliyetlerin bu ikinci dereceden fonksiyon tarafından daha doğru bir şekilde temsil edilmesi için ilave edilmiştir (Holt vd., 1955: 7-11).

Stoklar, optimal düzeylerinden saptığında ilave stok maliyetleri, sipariş erteleme maliyetleri veya satış kaybı ortaya çıkmaktadır (Buffa ve Miller, 1979: 264). Bütünleşik stok azaldıkça, stok dengesini sağlamak için ortalama üretim parti büyüklüğünün azaltılması gerekecek, dolayısıyla ilave makine kurulum maliyetleri oluşacaktır. DKK'de stok bulundurma, sipariş erteleme ve kurulum maliyetleri, $C_7 [I_t - (C_8 + C_9D_t)]^2$ şeklinde ikinci dereceden bir fonksiyon olarak belirtilmiştir. Fonksiyonda $C_8 + C_9D_t$, optimal stok miktarını; I_t ise, net stok miktarını ifade etmektedir. Net stok miktarı = stok - ertelenen sipariş miktarı olarak hesaplanmaktadır. Bütün bu bilgiler ışığında model, şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\text{Min } C_N = \sum_{t=1}^N C_t$$

$$\begin{aligned} C_t = & [(C_1W_t) && \text{(normal mesai maliyetleri)} \\ & + C_2(W_t - W_{t-1})^2 && \text{(işe alma ve işten çıkarma maliyetleri)} \\ & + C_3(P_t - C_4W_t)^2 + C_5P_t - C_6W_t && \text{(fazla mesai maliyetleri)} \\ & + C_7(I_t - C_8 - C_9D_t)^2 && \text{(stok ile ilgili maliyetler)} \end{aligned}$$

Kısıtlayıcılar:

$$I_{t-1} + P_t - D_t = I_t, t = 1, 2, \dots, N$$

Burada C_N , N dönem boyunca toplam maliyeti; C_t ise, her dönemin maliyetini göstermektedir. Kısıtlayıcı denklemler ise, her dönem için dönem başı stok, dönem boyunca üretim, dönem boyunca satışlar ve dönem sonu stok arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Holt vd., 1955: 11-15).

DKK'de amaç fonksiyonunun minimizasyonu, diğer bir deyişle, ikinci dereceden toplam maliyet fonksiyonunun türevinin alınması ve her dönemin P_t ve W_t değerlerinin bulunması ile karar kuralları geliştirilmektedir. Türevi alınan fonksiyonun ikinci dereceden olması nedeniyle elde edilen karar kuralları, doğrusal denklemler şeklindedir (Nahmias, 1997: 152).

DKK'nin birçok üstünlüğü vardır. İlk olarak, model ile optimal sonuç bulunabilmektedir. İki karar kuralı bir kez türetildikten sonra modelin uygulanması oldukça kolaydır. Buna ek olarak, model dinamiktir ve çok aşamalı sistem türünü temsil

etmektedir. Ancak, ikinci dereceden maliyet yapısının birçok sınırlaması bulunabilmekte ve bu yapı, herhangi bir işletmenin maliyet yapısını yeterince temsil etmeyebilmektedir. Ayrıca işgücü, fazla mesai, stok ve sermaye üzerinde hiçbir kısıtlama olmadığından bazı bakımlardan uygulanabilirliği olmayan kararlar oluşturması da olasıdır (Buffa, 1981: 465).

Doğrusal Programlama

BÜP için literatürde klâsik olarak en çok kullanılan yöntem, Doğrusal Programlama (DP)'dir (Wang ve Fang, 2000: 5; 2001: 522). Bu yöntem, diğerlerine göre daha anlaşılır olup pek çok gerçek sistem için uygun bir yöntem olabilmektedir (Nahmias, 1997: 161). DP, maliyet ve değişken ilişkileri doğrusal veya yaklaşık olarak doğrusal parçalara ayrılabiliriyorsa ve talep deterministik olarak ele alınabiliyorsa bütünsel plânlamaya uygundur (Chase vd., 1998: 569). Doğrusallık, ek bir işçiyi işe alma maliyetinin bir önceki işçiyi işe alma maliyeti ile aynı olduğu ve ek bir birim stok bulundurma maliyetinin bir önceki stok bulundurma maliyeti ile aynı olduğu anlamına gelmektedir.

BÜP için pek çok DP modeli bulunmaktadır. DP modelleri, problemin özelliklerine ve maliyetlerin niteliklerine göre yapısal farklılıklar göstermektedir. Amaç; tüm işgücü, üretim ve stok düzeyleri için en düşük maliyetli bütünsel plânları hazırlamaktır. Ölçek ekonomisi, DP modeli ile hesaba katılmamaktadır (Vollman vd., 2005: 344, 346). BÜP problemi, DP'nin hem Simplex Yöntemi hem de ulaştırma modelleri çerçevesinde geliştirilmiştir (Buffa, 1981: 466). Üretim plânlama problemi için diğer DP modelleri, genellikle çok sayıda ürün veya daha karmaşık maliyet yapıları içermektedir (Nahmias, 1997: 160).

Simplex Yöntemi, üretim düzeyinde yapılan değişikliklere ilişkin maliyetlerin ve stok bulundurmama maliyetlerinin model kapsamına alınmasını olanaklı kılmaktadır (Buffa, 1981: 467). Hanssmann ve Hess (HH) (1960), DKK yöntemine bütünüyle paralel bir Simplex Yöntemi geliştirmiştir. Haehling (1970), kapasite kısıtları altında optimal ayrıştırma kararlarının alınabildiği çok ürünlü ve çok aşamalı üretim sistemleri için HH modelini genişletmiştir.

DP'nin DKK'den en önemli farkı, bütün maliyet fonksiyonlarının ikinci dereceden değil, doğrusal olduğunun varsayılması ve DP'nin bir çözüm şekli olarak

kullanılmasıdır (Hanssmann ve Hess, 1960: 46-51). İki model arasında yapılacak bir seçim, belli bir uygulama için ikinci dereceden maliyet modeli ile doğrusal maliyet modeli arasında yapılacak seçime dayanmaktadır (Buffa, 1981: 468).

DP'nin BÜP problemlerine uygulanmasına ilişkin olarak, Greene, Chatto, Hix ve Cox (1959) tarafından bir paketleme endüstrisinde, Eisemann ve Young (1960) tarafından bir tekstil fabrikasında, Fabian (1967) tarafından bir maden ocağında ve Fuller (1975) tarafından bir kamyon parçası üreticisi için yapılan çalışmalar verilebilir.

Tüm maliyet fonksiyonları doğrusal olduğunda genel bir BÜP problemi için bir DP modeli aşağıdaki gibidir (Nahmias, 1997: 139-141):

Parametreler:

c_H = Bir işçiyi işe alma maliyeti

c_F = Bir işçiyi işten çıkarma maliyeti

c_I = Bir dönem için bir birim stok bulundurma maliyeti

c_R = Normal mesaide bir birim ürün üretmenin maliyeti

c_O = Fazla mesaide bir birim ürün üretmenin artan maliyeti

c_U = Üretimin birim başına kullanılmama maliyeti

c_S = Bir birim üretimin taşeron maliyeti

n_t = t döneminde üretim yapılabilecek gün sayısı

K = Bir günde bir işçi ile üretilen bütünleşik birim sayısı

I_0 = Plânlama dönemi başında mevcut stok düzeyi

W_0 = Plânlama dönemi başında mevcut işgücü düzeyi

D_t = t döneminin talep tahmini

Maliyet parametreleri, zamana bağlı olabilmekte, yani t ile değişebilmektedir. Zamana bağlı maliyet parametreleri, işe alma veya işten çıkarma maliyetlerinde değişiklikleri modellemek için kullanışlı olabilmektedir. İstihdam havuzunda veya kaynakların üretiminde eksikliklerden dolayı üretim ve/veya stoklama maliyetlerinde değişiklikler veya faiz oranlarında değişiklikler örnek olarak verilebilmektedir.

Karar Değişkenleri:

W_t = t döneminde işgücü düzeyi

P_t = t döneminde üretim düzeyi

I_t = t döneminde stok düzeyi

H_t = t döneminde işe alınacak işçi sayısı

$F_t = t$ döneminde işten çıkarılacak işçi sayısı

$O_t =$ Birim başına fazla mesai üretim miktarı

$U_t =$ Birim başına işçinin atıl kaldığı süre (“normalden az mesai”)

$S_t =$ Taşeron ile sağlanacak üretim miktarı

Fazla ve normalden az mesai değişkenleri şu şekilde belirlenmektedir. Kn_t terimi, t döneminde bir işçiyle üretilen birim sayısını göstermektedir. $Kn_t W_t$, t döneminde başlangıç işgücü ile üretilen birim sayısıdır. Ancak, $Kn_t W_t = P_t$ olması istenmez. Eğer $P_t > Kn_t W_t$ ise, üretilen birim sayısı işgücünün normal mesaide üretebileceği miktarı aşmaktadır. Bu, farklılığın fazla mesaide üretildiği anlamına gelmektedir. Bu yüzden fazla mesaide üretilen birim sayısı tam olarak $O_t = P_t - Kn_t W_t$ 'dir. $P_t < Kn_t W_t$ olması ise, işgücünün normal mesaide üretmesi gerekenden az üretmesi anlamına gelmekte, yani işçinin atıl kalması söz konusu olmaktadır. Bu süre, zamandan çok üretim birimleri ile ölçülmekte ve $U_t = Kn_t W_t - P_t$ olarak verilmektedir.

Problem Kısıtları

DP modeli için üç kısıt kümesi gereklidir:

1. İşgücü kısıtları

$$W_t = W_{t-1} + H_t - F_t \quad 1 \leq t \leq T \text{ için}$$

(t 'de işçi sayısı = $t-1$ 'de işçi sayısı + t 'de işe alınan işçi sayısı - t 'de işten çıkarılan işçi sayısı)

2. Stok kısıtları

$$I_t = I_{t-1} + P_t + S_t - D_t \quad 1 \leq t \leq T \text{ için}$$

(t 'de stok birim sayısı = $t-1$ 'de stok birim sayısı + t 'de üretilen birim sayısı + t 'de taşeronla yaptırılan birim sayısı - t 'de talep birim sayısı)

3. Üretim düzeylerinin işgücü düzeyleri ile ilgili kısıtları

$$P_t = Kn_t W_t + O_t - U_t \quad 1 \leq t \leq T \text{ için}$$

(t 'de üretilen birim sayısı = t 'de normal mesaide üretilen birim sayısı + t 'de fazla mesaide üretilen birim sayısı - t 'de kullanılmayan üretim birim sayısı)

Bu kısıtlara ilave olarak, DP modelinde tüm karar değişkenlerinin negatif olmaması (*negatif olmama kısıtı*) ve model için başlangıç stok düzeyi I_0 ve başlangıç işgücü düzeyi W_0 'ın da belirlenmesi gerekmektedir. Model, son dönemde bitiş stok düzeyi I_t 'nin belirlenmesini de içerebilmektedir.

Amaç fonksiyonu, yukarıda tanımlanan tüm maliyetleri içermektedir. W_t , P_t , I_t , H_t , F_t , O_t , U_t ve S_t karar değişkenlerinin değerlerini bulmak ve toplam maliyeti minimize etmek için kurulan DP modeli aşağıdaki gibidir:

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T (c_H H_t + c_F F_t + c_I I_t + c_R P_t + c_o O_t + c_U U_t + c_S S_t)$$

Kısıtlar

$$W_t = W_{t-1} + H_t - F_t \quad 1 \leq t \leq T \text{ için (işgücü)}$$

$$I_t = I_{t-1} + P_t + S_t - D_t \quad 1 \leq t \leq T \text{ için (stok dengesi)}$$

$$P_t = K_n W_t + O_t - U_t \quad 1 \leq t \leq T \text{ için (üretim ve işgücü)}$$

$$H_t, F_t, I_t, O_t, U_t, S_t, W_t, P_t \geq 0 \quad (\text{negatif olmama})$$

DP modelleri, çok ürünlü ve çok dönemli daha genel plânlama durumları için genişletilebilmektedir (Sipper ve Bulfin, 1997: 203). Bununla birlikte, bu modelde istenilen şekilde ve sayıda kısıtlayıcının formülasyonu mümkündür. Modelin formülasyonundaki kolaylık ve duyarlılık analizlerine elverişli olması, diğer modellere oranla daha yaygın uygulama alanı bulmasını sağlamıştır. Ayrıca, DP ile üretim plânlaması, sınırlı kaynakların hangilerinin arttırılmasının daha fazla katkı sağlayacağını gösteren gölge fiyatları konusunda da bilgi sağlamaktadır (Yıldız, 1999: 109-110).

DP ile üretim plânının hazırlanmasının öngörülen avantajlarının yanı sıra bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Model, bütün verilerin deterministik olduğunu varsaymaktadır (Jääskeläinen, 1969: 15). Ancak, gerçek hayatta BÜP ortamında önemli bir belirsizlik söz konusudur. Parametrik programlama veya optimallik sonrası analiz, belirli bir aralık boyunca DP'de belirli sabitleri değiştirmenin etkilerini araştırmak için kullanılabilir. Ancak bu yöntemler, belirsizliği dikkate almak için çok sınırlayıcı olup etkin değildir (Thompson ve Davis, 1990: 1000). Bununla birlikte, modelde maliyet fonksiyonlarının doğrusal kabul edilmesi de bir dezavantajdır. Maliyet fonksiyonlarının istenilen şekilde oluşturulamaması, kurulan modelin gerçek hayattaki modelden uzaklaşmasına ve onu tam olarak yansıtamamasına yol açmaktadır (Yıldız, 1999: 110).

Ulaştırma Modeli

Sabit işgücü ile BÜP için DP'ye dayalı ulaştırma modeli ilk olarak, Bowman (1956) tarafından önerilmiştir. Bu model, üretim ve depolama maliyetlerinin minimize

edilmesini ve talebin mevcut kapasite kısıtlamaları içinde karşılanmasını sağlayacak şekilde üretken kapasite birimlerinin dağıtımını amacı üzerinde durmuştur. Dağıtım matrisinin kenar koşulları, bir taraftan satış gelirlerinin karşılanmasını, diğer taraftan başlangıç stoğu, normal mesai üretim kapasitesi, fazla mesai üretim kapasitesi ve taşeron miktarı şeklindeki üretim sınırlamalarının karşılanmasını gerektiren kısıtlamaları oluşturmaktadır. Plânlama sürecindeki N dönemi içermek üzere geliştirilen program için hem dönem başı hem de dönem sonu stoklarının belirlenmesi gerekmektedir. Matris unsurlarını maliyetler oluşturmaktadır.

BÜP problemine uygulanan ulaştırma modeli, grafiksel yöntemler gibi deneme-yanılma yaklaşımı olmayıp maliyetleri minimize eden bir optimal plân üretmektedir. Bu model daha esnek olup kolay formüle edilebilmektedir. Stok bulundurma, fazla mesai kullanma ve taşeronun etkilerini analiz etmede bu model kullanışlıdır (Heizer ve Render, 2000: 552). Ancak, bu modelin bazı önemli sınırlamaları bulunmaktadır. İlk olarak, ulaştırma modeli işe alma ve işten çıkarma maliyetleri gibi üretim değişikliği maliyetlerini dikkate almamaktadır. Siparişin ertelenmesi ve satışların kaybedilmesi halinde maliyet yükü söz konusu değildir. Bu durumda ortaya çıkan programlar, üretim düzeylerinde bir dönemlik değişiklikler gerektirebilmektedir. Programlar, söz konusu değişiklikleri sağlamak amacıyla, sonraki dönemlerde işten çıkarılmaları gerekebilecek işçilerin ilgili dönemde işe alınmalarını, yani ilerideki etkilerini göz önüne almaksızın o dönemde işgücünün genişletilmesini gerekli kılabilmektedir (Buffa, 1981: 467). Pratikte bu durum gerçekçi olmayabilmektedir (Jääskeläinen, 1969: 15). Ayrıca, doğrusallık gereksinimi çok kuvvetlidir (Buffa, 1981: 467). Doğrusal olmayan veya negatif faktörler olduğunda bu model kullanılmamaktadır (Heizer ve Render, 2000: 553).

Hedef Programlama

BÜP problemleri, doğası gereği genellikle doğrusaldır ve bu, DP'yi uygun bir optimizasyon yaklaşımı haline getirmektedir. Klâsik olarak BÜP'ün amacı, kârı maksimize etmek veya maliyeti minimize etmektir ve DP'de tek amaçlı bir fonksiyon ile formüle edilmektedir. Ancak, DP ve beraberindeki amaç fonksiyonu, birbiriyle çelişen amaçları ele almada yetersiz esnekliktedir ve genellikle çok sınırlayıcı olarak kabul edilmektedir (Maria vd., 2003: 21). BÜP problemi için çok amaçlı bir formülasyon, daha gerçekçi modelleme yaklaşımı sağlamak ve farklı amaçlar

hakkında mantıklı uzlaşmacı kararlar almak için üretimden sorumlu kişiye imkân tanımaktadır (Masud ve Hwang, 1980: 749). Hedef Programlama (HP), çok amaçlı programlama modellerinin bir türüdür (Özkan, 2003a: 265). Doğrudan amaçları optimize eden DP'nin aksine HP, hedef değerler ve gerçekleşmiş sonuçlar arasındaki sapmaları minimize ederek, çelişen amaçları yönetmek amacıyla kullanılmaktadır. Bilgisayarların hesaplama kapasitelerindeki hızlı artış ile hem doğrusal hem doğrusal olmayan HP, LINDO gibi iyi geliştirilmiş bir yazılım kullanılarak veya Tavlama Benzetimi, Genetik Algoritma, Tabu Arama gibi modern sezgisel optimizasyon yöntemleri ile çözülebilmektedir (Leung ve Chan, 2009: 1054-1055).

BÜP problemi, HP modeli olarak ilk defa Jääskeläinen (1969) tarafından formüle edilmiştir. Jääskeläinen, belirli bir dönem boyunca talep ihtiyaçlarını karşılamak için üretim, işgücü ve stokları plânlamada HP modelini önermiştir. Modelde, stok bulundurmama maliyetlerinin işgücü düzeyini değiştirme maliyetlerinden ve işgücü düzeylerini değiştirme maliyetlerinin de stok maliyetlerinden daha yüksek olduğu varsayılarak üretim, işgücü ve stok düzeyleri olmak üzere üç ayrı ve birbiriyile çelişen hedef belirlenmiştir. Bu hedefler, önceliklerine göre sıralanmıştır. Lee and Jääskeläinen (1971) ise, BÜP için pek çok yönetim hedefini içeren bir HP modeli geliştirmiştir. Bu hedeflerden bazıları, üretim ve satış kapasitesinin yetersiz kullanımını ve fazla mesai üretimini minimize etmektir. Ayrıca talep, montaj, stok ve üretim kapasitesi ile ilgili kısıtlar da bu modelde birleştirilmiştir.

Goodman (1974), doğrusal olmayan BÜP modellerini çözmek için bir HP modeli geliştirmiştir. Bu modelde, istenen ve ulaşılan düzeyler arasında sapmaları minimize eden çok amaçlı bir fonksiyon kullanılmıştır (Saad, 1982: 108). Goodman'ın çalışmasında HP modeline dayalı alternatif bir doğrusallaştırma yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntem, iki örnek uygulama ile açıklanmıştır. İlk olarak, HP modeli Holt, Modigliani ve Simon'un DKK modeline uygulanmış ve elde edilen sonuçlar, Hanssmann ve Hess'in DP modelini kullanarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. HP modeli, DKK modeli için Hanssmann ve Hess'in DP modelinden % 10 daha az maliyetli bir çözüm vermiştir. Ayrıca, HP çözümü optimalden sadece yaklaşık % 3 daha yüksek maliyetli çıkmıştır. Her iki durumda kullanılan doğrusallaştırma yöntemi aynı olduğu için sonuçlardaki farklılık, yaklaşımdaki farklılığa dayandırılabilir. İki DP modeli ile ortaya koyulan karar stratejileri, oldukça farklıdır. DP modeli, plânlama

dönemi boyunca işgücü ve üretim kararlarını hemen hemen sabit tutmaktadır. Talepteki dalgalanmanın üstesinden neredeyse tamamen stok düzenleme yoluyla gelinmektedir. HP modeli de işgücünü ilk üç dönemden sonra sabit tutmakta, ancak bunun tersine talep dalgalanmalarını temel olarak sadece geçici stok düzenleme yoluyla üretim düzeyini değiştirerek gidermektedir. Bu sonuçlar, HP'nin ikinci dereceden model için etkili bir yaklaşım olabileceğini göstermiştir. HP modelinin ikinci örneği, daha yüksek dereceden maliyet terimleri durumu için verilmiştir. İkinci dereceden modelde sunulan maliyet çeşitlerine ek olarak geliştirilen model, üretim düzeyini değiştirme maliyetini içermektedir. Modelde, ikinci dereceden yerine dördüncü dereceden doğrusal olmayan maliyet bileşenleri söz konusudur. Model, her bir maliyet bileşeni için kuramsal maliyet verileri kümesine eğrisel parçaları uydurarak yapılandırılmıştır. Maliyetlerin yaklaşık olarak simetrik olduğu varsayılmıştır. Normal mesai maliyetleri, doğrusal varsayılmıştır. İkinci dereceden duruma benzer şekilde problemin HP modeli kurulmuştur. Dördüncü dereceden model, bilgisayar arama yöntemi ve HP ile çözülmüştür. Plânlama dönemi boyunca toplam maliyet, HP için arama yönteminden yaklaşık % 15 daha yüksek çıkmıştır. Bu, verilerin çok fazla doğrusal olmamasından kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmama, etkisini daha çok karar değişkenlerinde büyük değişikliklerin olduğu dönemlerde göstermiştir. HP karar stratejisi, kararları birkaç dönem için sabit tutup, daha sonra bir anda büyük düzenlemeler yapma eğilimindedir. Bu, büyük düzenlemelerin çok fazla doğrusal olmayan amaç fonksiyonu kullanarak fiyatlandırıldığında oldukça maliyetli olduğunu kanıtlamıştır. Sonuç olarak, Goodman yapılan iki uygulamada bu tür bir yöntemin etkinliğinin doğrusal olmama derecesine bağlı olduğunu, daha düşük dereceli modeller için HP'nin etkili bir çözüm yöntemi olurken daha yüksek dereceli modeller için yöntemin uygun olmadığını göstermiştir (Goodman, 1974: 1569-1575).

Laurent (1976), Goodman modelinin bir uzantısını sunmuştur. Bu model, HP'deki gibi bir optimal noktadan ziyade aralık kavramını karşılamaya dayanan bir aralık programlama olarak tanımlanmıştır. Hindelang ve Hill (1978) ise, işçi verimliliği ve motivasyon, stok yatırımı ve taşeron maliyetleri ile ilgili hedefleri içeren bir HP modeli sunmuştur. Fisk (1979), BÜP için kullanılmayan kapasiteyi minimize etme hedefini içeren bir HP modeli sunmuştur. Her iki çalışma, önceki modellere göre BÜP için daha detaylı amaçlar içermektedir. Masud ve Hwang (1980), çok ürünlü ve çok

dönemli BÜP problemi için çok amaçlı bir model önermiştir. Bu çalışmada optimal üretim, stok, normal ve fazla mesai işgücü düzeylerini elde etmek için üç çok amaçlı karar verme yöntemi sayısal bir örnekle uygulanmıştır. Kullanılan yöntemler; HP, Step Yöntemi (STEM) ve Sıralı Problem Çözme Yöntemi (SEMOPS)'dir. Model; işgücü dengesi, üretim dengesi, üretim kapasitesi ve normal ve/veya fazla mesai gibi bazı kısıtlar içermektedir. Başarılmak istenen amaçlar; kâra katılımı maksimize etmek, işgücü düzeylerinde değişiklikleri, stok yatırımını ve ertelenen siparişleri minimize etmektir. Rakes, Franz ve Wynne (1984), olasılıklı ürün talebi ile birlikte, üretim plânlaması için stokastik programlamanın özel bir durumu olan şans kısıtlı HP yaklaşımını sunmuştur. Baykasoğlu (2001) ise, tabu arama yöntemini kullanan benzer bir yaklaşım önermiştir. Son yıllarda Leung, Wu ve Lai (2003), Mezghani, Loukil ve Aouni (2008), Leung ve Chan (2009) BÜP problemi için HP modelini önermiştir.

BÜP için geliştirilen Karma Tamsayı Programlama, Dinamik Programlama, Şebeke Modelleri de diğer matematiksel optimizasyon yöntemleridir.

1.2.3.1.3 Sezgisel Yöntemler

Bu bölümde, BÜP ile ilgili geliştirilen optimal olmayan ancak, optime yakın sonuçlar sağlayan sezgisel yöntemlerden bazıları anlatılmıştır. Bu yöntemler, sezgisel yolla klâsik plânlama kurallarını birleştirmektedir. Sezgisel yöntemlerden elde edilen bütünlük plânlama, sezgisel yöntemlerin BÜP problemleri için güvenilir olduğunu göstermiştir (Sipper ve Bulfin, 1997: 202).

Yönetim Katsayılar Modeli

Bowman (1963) tarafından geliştirilen Yönetim Katsayılar Modeli (YKM), yöneticilerin geçmişte aldığı kararlara bağlı olarak üretim düzeylerini programlamak için kullandıkları karar kurallarından oluşan sezgisel bir yöntemdir. Bu yöntem, bir yöneticinin deneyim ve performansı çerçevesinde biçimsel bir karar modeli oluşturmaktadır. Varsayım, yöneticinin geçmiş performansının çok iyi olduğudur ve bu yüzden gelecek kararlar için bir temel olarak kullanılabilir. Yöntem, yöneticilerin geçmiş üretim kararlarından elde edilen bir regresyon analizinden yararlanmaktadır. Regresyon doğrusu, gelecek kararlar için talep ve işgücü gibi

değişkenler arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. Bowman'a göre yöneticilerin eksiklikleri daha çok, karar vermedeki tutarsızlıklarıdır (Heizer ve Render, 2000: 554).

BÜP için geliştirilen bu yöntemde Bowman'ın fikri, üretim düzeylerini kontrol etmek için duyarlı bir model oluşturmak ve modelin parametrelerini yönetim tarafından verilen önceki gerçek kararlara olabildiğince benzetmektir. Böylece, klâsik modelleme yöntemlerini kullanırken doğan problemlerden kaçınılmaktadır. Bu problemlerden biri, model tarafından istenen varsayımların kesinliğini belirlemektir. Kaçınılan bir başka problem ise, ölçmesi zor olabilen girdi parametrelerinin değerlerini belirleme ihtiyacıdır (Nahmias, 1997: 152-153).

Üretim plânlaması için, çok yalın bir karar kuralı şu şekilde olabilmektedir:

$$P_t = D_t$$

P_t , t döneminde plânlanan üretimi ve D_t , t döneminde beklenen satışları ifade etmektedir. Üretimi tam olarak talebe eşitlemeye uğraşmak, genellikle çok düzensiz bir üretim plâni ile sonuçlanmaktadır. Üretim düzgünleştirme, bir karar kuralı kullanarak başarılabilmektedir:

$$P_t = D_t + \alpha (P_{t-1} - D_t)$$

α = Bowman'ın modelinde kullanılan üretim ve talep için düzgünleştirme sabiti

$0 \leq \alpha \leq 1$ olmak üzere α karar kuralı katsayısı, üretim için düzgünleştirme faktörüdür. Buradaki düzgünleştirme etkisi, üstel düzgünleştirme ile aynıdır. $\alpha = 1$ olduğunda t döneminde üretim, tam olarak t-1 dönemindeki üretimle aynıdır. α seçimi, dönemden döneme üretimi sabit tutmasına karşılık taleple üretimi eşitlemede görece bir ağırlığı yerleştirmeyi sağlamaktadır.

Üretimi düzgünleştirmeye ek olarak, stok düzeylerini hedef düzeye (I_N) yakın tutmak da önemli olabilmektedir. Hem stoğu hem de üretimi aynı anda düzgünleştiren bir model aşağıdaki gibidir:

$$P_t = D_t + \alpha (P_{t-1} - D_t) + \beta (I_N - I_{t-1})$$

β = Bowman'ın modelinde kullanılan stok için düzgünleştirme sabiti

$0 \leq \beta \leq 1$ olmak üzere β karar kuralı katsayısı, stoğu düzgünleştirmede yerleştirilen görece ağırlığı ölçmektedir.

Son olarak, modelin talep tahminlerini birleştirmesi gerekmektedir. Bu yolla üretim düzeyleri, talep örneğinde bir değişim beklentisiyle arttırılabilmekte veya

azaltılabilmektedir. Gelecek talep tahminlerinde olduğu gibi üretim ve stoğu düzgülendirmeyi içeren bir kural aşağıdaki gibidir:

$$P_t = \sum_{i=t}^{t+n} a_i \hat{D}_i + \alpha(P_{t-1} - D_t) + \beta(I_N - I_{t-1}), \quad (a_t > a_{t+1} > a_{t+2} > \dots > a_{t+n})$$

Burada a_i 'ler, gelecek dönemler için \hat{D}_i satış tahminlerinin ağırlıklı katsayılarını ifade etmektedir (Bowman, 1963: 311).

Bu tür bir kuralı izleyen bir işletmenin üretim plânlama davranışı, a_t, \dots, a_n , α , β ve I_N katsayıları için üretilen sayılardan etkilenmektedir. Bowman, bu parametrelerin değerlerini, uygun bir zaman periyodu için sistemi geriye dönük olarak izleyerek ve bu süre boyunca En Küçük Kareler Yöntemi gibi bir teknik kullanarak parametreleri yönetim faaliyetlerinin gerçekleştiği zamana eşleyerek belirlemeyi önermektedir. Bu yolla model, geçmiş yönetim davranışının bir yansıması olmaktadır.

Bowman, işletmelerin gerçek deneyimlerini, geliştirdiği model ile karşılaştırmış ve birçok durumda maliyette önemli bir azalış olduğunu göstermiştir. Çoğu zaman sistem durağan olduğu için teori; bu modelin, rasyonel kararlar alan yönetimin bir yansıması olduğudur. Pek çok yönetici, yüksek talep veya örneğin, bir makinenin bozulması veya personel kaybından dolayı üretken kapasitede ani bir düşüş olursa, aşırı tepki gösterme eğilimindedir. Ancak model, geçmişte alınan kararlarla tutarlı olan üretim düzeylerini önermektedir. Yöntem, kavramsal olarak çekici olmasına rağmen bu tür bir yöntemin başarılı uygulamaları literatürde çok azdır (Nahmias, 1997: 153-154).

Simülasyon

Simülasyon, Vergin (1966) tarafından geliştirilen ve bir boya işletmesine uygulanan bir bilgisayar modelidir. Bu model, işgücü büyüklüğü ve üretim oranı değerlerinin minimum maliyetli birleşimine ilişkin bir arama yöntemi kullanmaktadır (Heizer ve Render, 2000: 554). Simülasyon, çok sayıda farklı karar kuralı veya üretim seçeneğini hızlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılabilen bir yöntemdir. DP ve DKK yöntemlerinde maliyet fonksiyonu sırasıyla doğrusal ve ikinci dereceden olmalıdır. Pratikte, bu herhangi bir şekilde olabilmektedir. DP ve DKK'nin her ikisinin de ürün grupları ve plânlama dönemine bağlı olarak, karmaşık matematiksel sınırlamaları bulunmaktadır. Simülasyonun önemli bir özelliği, stokastik talep

örneklerinin modele dâhil edilebilmesidir. Bu, strateji geliştirmede tahmin hata etkilerinin analizine izin vermektedir (Saad, 1982: 108).

Parametrik Üretim Plânlaması

Jones (1967) tarafından geliştirilen parametrik plânlama modeli, işgücü ve üretim düzeylerini belirlemek üzere iki karar kuralına bağlı sezgisel bir yöntemdir. Her bir karar kuralının bunları belirleyen iki parametresi bulunmaktadır. Böylece, bir işletme için dört boyutlu alan, minimum maliyetli parametrelerin birleşimi ile sonuçlanmaktadır. Jones'un yaklaşımı, en azından plânlama dönemi süresince minimum maliyeti veren kümeyi seçmek için bir işletmenin maliyet yapısıyla parametrelerin kümelerini değerlendirmektir. Maliyet yapısı; doğrusal fonksiyonlar, ikinci dereceden fonksiyonlar veya başka herhangi bir çeşit fonksiyon ile sınırlanmamaktadır. Yani hiçbir kısıtlama, maliyet fonksiyonlarının matematiksel şeklini etkilememektedir. Daha doğrusu, onların maliyet fonksiyonlarının en iyi olası tahminleri olması gerekmektedir. Seçilen parametreler, daha sonra verilen bir işletmeye ait kuralları belirlemek için iki karar kuralı ile birleştirilmektedir (Jones, 1967: 844). Bunların her biri, plânlama dönemi boyunca gelecek satışları karşılamak için istenen oranların ağırlıklı toplamı olarak ifade edilmektedir (Saad, 1982: 109).

Jones, modelini dört farklı duruma uygulamıştır. İlk uygulama, DKK aracılığıyla yapılan çalışmada kullanılan boya işletmesidir. İkincisi, bir DP modeli ile kesin tahmin ve karşılaştırmayı içeren kuramsal bir işletme; İşletme X'tir. Üçüncüsü de X işletmesidir ve DP modeli ile bir karşılaştırmadır, ancak kesin tahmin yerine belirsiz bir tahmin söz konusudur. Dördüncü uygulama, Jones'un kendi modeli, DKK ve DP modeli arasında üçlü bir karşılaştırma yaptığı karmaşık bir yönetim simülasyonunu içermektedir. İlk uygulamada, Jones'un parametrik üretim plânlaması aslında DKK'nin maliyet performansını ikiye katlamıştır. Kesin bir tahmini içeren ikinci uygulamada, parametrik üretim plânlamasının, DP maliyetlerinden % 8 daha masraflı olduğu ortaya çıkmıştır. Belirsiz tahmini içeren üçüncü uygulamada, parametrik üretim plânlamasının DP çözümünden yaklaşık % 8,5 daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Son olarak, karmaşık bir yönetim oyununu içeren dördüncü uygulamada, parametrik üretim plânlaması, DP veya DKK'den biraz daha iyi sonuç vermiştir (Jones, 1967: 852).

Sonuç olarak, parametrik üretim plânlaması yönteminde maliyet yapısını değerlendirmek, matematiksel şekil kısıtlarından bağımsız olduğu için karar kurallarının gelişiminde bu yöntemin daha fazla esneklik sağladığı söylenebilmektedir (Buffa, 1967: 97).

Arama Karar Kuralı

Arama Karar Kuralı (AKK), Taubert (1968) tarafından BÜP problemleri için geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, bilgisayar destekli optimizasyon kurallarının kullanımına dayanmaktadır. AKK ile doğrusal ve ikinci dereceden maliyet modellerinin sınırlılıklarını gidermek mümkündür. Bu yöntem sayesinde tam olarak optimal değil ancak, optimale yakın kararlar alınabilmektedir. Yöntemde maliyet, bir noktada değerlendirilip elde edilen sonuç, önceki deneme sonuçları ile karşılaştırılmakta ve sezgisel bir hareket tarzı saptanmaktadır. Böylece, yeni bir nokta bulunmakta ve fonksiyonun daha iyi bir değeri bulununcaya kadar veya önceden saptanmış olan bilgisayar zaman sınırına ulaşıncaya kadar bu yöntem tekrarlanmaktadır (Buffa, 1967: 95).

Taubert, bütünleşik üretim ve işgücü programlama problemi için Hooke ve Jeeves (1961)'in örnek arama yöntemini, DKK ile alınan optimal kararlar ve AKK ile alınan optimale yakın kararlar arasında bir karşılaştırma yapmak için ise, bir test aracı olarak, Holt, Modigliani, Muth ve Simon (1960)'un uygulama yaptığı boya işletmesi örneğini seçmiştir. Genel anlamda toplam maliyet amaç fonksiyonu, plânlama süreci boyunca minimize edilmesi gereken maliyetleri göstermekte ve üretim sürecinin her bir dönemindeki üretim oranı ve işgücü düzeylerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir. Bu nedenle, plânlama süreci içinde her dönem, amaç fonksiyonuna işgücü düzeyi ve üretim oranı için birer tane olmak üzere iki bağımsız değişkenin eklenmesini gerektirmektedir. Yani, plânlama sürecinin uzunluğu, arama probleminin boyutunu belirlemektedir. Çalışmada kullanılan arama programının en fazla yirmi bağımsız değişkeni kapsayabildiği belirtilmiştir. Bu nedenle, yapılan boya işletmesi analizinde plânlama süreci on ay ile sınırlandırılmıştır. AKK ve DKK ile elde edilen ilk yirmi dört aya ait sonuçlar karşılaştırıldığında, aydan aya verilen kararların tamamen aynı olmasa da birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. AKK'nin toplam maliyeti, DKK'nin toplam maliyetinden sadece 806 \$ veya % 0,1 daha yüksek çıkmıştır.

DKK'nin on iki aylık bir plânlama dönemi için kullanılmasına karşılık AKK'nin on aylık bir plânlama dönemi için kullanılmış olması bu farkın nedeni olarak gösterilmiştir (Taubert, 1968: 344-345, 347,354).

DP yöntemi, doğrusal maliyet varsayımları ile sınırlıdır. Aynı şekilde DKK, doğrusal ve ikinci dereceden maliyetler ile sınırlandırılmıştır. AKK, bu kısıtlamaların üstesinden gelmeye yardım etmektedir. AKK, maliyet verilerinin çok genel anlamda belirtilmesine izin vermektedir. Tek gereksinim, herhangi bir üretim plânının maliyetini belirsiz olmayacak şekilde değerlendirecek bir bilgisayar programının kullanılmasıdır. Daha sonra yöntem, alternatif plânlar arasından minimum maliyetli plânı arar. DP ve DKK'nin aksine, AKK'de matematiksel optimallik garantisi yoktur. Ancak, girdilerde artan gerçekçilik, yönetsel algılarla bir problemi çözmeye daha fazla potansiyel sağlamaktadır. Bu yöntem, çok sayıda işletmeye uygulanmış olup yöntemin çok yönlü oluşu, gerçek hayattaki uygulamalar için çekicilik sağlamıştır (Vollman vd., 2005: 349-350).

1.2.3.1.4 Klâsik Bütünleşik Üretim Plânlaması Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Klâsik modeller, belirli koşullar altında kullanılabilir. Klâsik BÜP modellerini kullanırken karşılaşılan en önemli sorun, bu matematiksel modellerin oldukça karmaşık ve anlaşılması zor bir yapıya sahip olmasıdır. Bu nedenle, yönetim, bu tür modelleri kullanmaya isteksizdir (Baykasoğlu, 2001: 3686). Üretim yöneticileri, değişen çevre koşullarında hızlı ve doğru bir şekilde karar alma ihtiyacı duymaktadır. Bu, grafiksel yaklaşımın genel olarak daha kabul edilebilir olduğunu açıklayabilmektedir (Heizer ve Render, 2000: 554). Diğer bir sorun ise, BÜP problemlerinin klâsik yöntemlerden başka yöntemlerle başarılıp başarılı olmayacağıdır. Schwarz ve Johnson (1978), BÜP için bir DKK kullanarak başarılı maliyet tasarruflarının yalnız başına geliştirilmiş bütünleşik stok yönetimi ile elde edilebileceğini iddia etmiştir. Yazarlar; Holt, Modigliani, Muth ve Simon (1960)'un raporladığı verileri kullanarak hipotezlerini ispat etmiş ve boya işletmesinin durumu için gerçekte DKK'nin tüm maliyet tasarruflarının, emniyet stoğunu arttırmanın ve işgücü büyüklüğünde büyük değişiklikler yapmanın bir sonucu olduğunu göstermişlerdir. Bu tek karşılaştırma, yazarların hipotezinin doğruluğunu

göstermemekle birlikte, daha iyi bir stok yönetiminin, bir işletmenin BÜP ile fark edebileceği kadar büyük bir fayda sağlayacağını göstermektedir (Nahmias, 1997: 160).

Çizelge 1.2: Klâsik BÜP yöntemlerinin karşılaştırması

Yöntemler	Varsayımlar	Teknikler
Grafiksel	Yok	Deneme-yanılma yaklaşımı ile alternatif plânları test eder. Optimal değildir ancak, geliştirilmesi ve anlaşılması kolaydır.
Doğrusal Karar Kuralı (DKK)	İkinci dereceden maliyet fonksiyonları	Matematiksel olarak, eşitlik dizisinde üretim oranları ve işgücü düzeylerini belirlemek için türetilen katsayıları kullanır.
Doğrusal Programlama (DP)	Doğrusallık	Herhangi bir değişken sayısını kullanabilir ancak, genelde modellemesi zordur. Optimal çözüm verir.
Ulaştırma	Doğrusallık, sabit işgücü	İşe alma ve işten çıkarma maliyetlerini dikkate almayan özel bir durum için kullanışlıdır. Optimal çözüm verir.
Yönetim Katsayıları Modeli (YKM)	Bu yöneticiler, temel olarak iyi karar vericilerdir.	Gelecek kararları almak için geçmiş kararların istatistiksel analizini (regresyon) kullanır. Bu yüzden bir grup yöneticiye uygulanır, optimal değildir. Uygulaması kolaydır. Sezgiseldir. Yöneticinin karar sürecini taklit etmeye çalışır.
Simülasyon	Bilgisayar uygulamalı üretim sisteminin varlığı	Diğer yöntemler tarafından geliştirilen bütünlük plânları test eder.
Arama Karar Kuralı (AKK)	Herhangi bir maliyet yapısı çeşidi	Toplam maliyet eğrilerinde minimum noktaları bulmak için örnek araştırma yöntemini kullanır. Geliştirilmesi karmaşıktır. Optimal değildir.

Kaynak: Chase, R. B., Aquilano, N. J. ve Jacobs, F. R. (1998) *Production and Operations Management, Manufacturing and Services* (8. Basım), McGraw-Hill: New York, s. 571.

Çizelge 1.2’de, klâsik BÜP yöntemlerinin bir karşılaştırması yapılmaktadır. Genelde bazı gerçek BÜP kararları, doğrusal varsayımlara dayanmaktadır (Vollman, 2005: 345). DP’nin gerçek hayatta sayılabilecek bir yöntem olup pek çok uygun ölçekli problemler için yeterli olduğuna inanılmaktadır. Ancak, büyük ölçekli problemler için daha etkili olabilecek ve maliyet fonksiyonlarının bazıları doğrusal olmadığı zaman

çözüm sağlayabilecek alternatif çözüm yöntemleri olduğu da unutulmamalıdır (Nahmias, 1997: 145).

1.2.3.2 Stokastik Programlama Yöntemleri

Klâsik deterministik BÜP yöntemleri kullanıldığında, amaçlar ve model girdilerinin kesin olarak bilindiği varsayılmaktadır. Ancak, uygulamalı üretim sistemlerinde talepler, mevcut kaynaklar, kapasiteler ve ilgili üretim maliyetleri gibi parametreler çoğunlukla belirsizdir. Bunun için klâsik deterministik BÜP yöntemleri, belirsiz ortamlarda BÜP problemlerini etkin bir biçimde çözemeyebilmektedir.

Belirsizliğin üstesinden gelmek için Hausman ve McClain (1971), tesadüfi talep ile BÜP kararlarına olasılık teorisi tekniklerini sunmuştur. Bitran ve Yanasse (1984), belirsiz talebi olan çok dönemli BÜP karar problemlerini çözmek için bir dağılım sınırının deterministik bir yaklaşım kullanarak türetilmediği belirli bir dağılım fonksiyonu ile stokastik bir programlama modeli sunmuştur (Liang, 2007a: 549).

Stokastik programlama yöntemleri, belirsizlikleri tesadüfi değişkenler olarak tanımlayarak problemlerdeki belirsizlikleri gözönüne almaya çalışmaktadır. Stokastik süreçler, zamana bağlı parametrelerin belirsiz geçici değişimini modellemek için kullanıldığı gibi tesadüfi değişkenler de parametrelerdeki belirsizlikleri modellemek için uygun matematiksel araçlar olarak kullanılmaktadır. Her bir tesadüfi değişkene atanan olasılık dağılımı, her bir olası değer için ilgili model parametresi için nasıl uygun olduğunu açıklamaktadır. Objektif olasılık açısından olasılık modellerinin bir başka yorumu, belirsizliği sıklık anlamında düşünmesidir. Yani olasılık, tekrarlanan deneyimlerle ölçülebilmektedir (Jensen ve Maturana, 2002: 145-146).

BÜP problemleri, stokastik kontrol modelleri kullanılarak halen çözülebilmektedir. Love ve Turner (1993) ve Shen (1994) stokastik kontrol modellerini HMS problemini çözmek için uygulamışlardır (Hsieh ve Wu, 2000: 356). Bakır ve Byrne (1998), tesadüfi talep ile çok ürünlü ve çok dönemli bir üretim plânlama modeli sunmuştur. Filho (1999), çok ürünlü ve çok dönemli bir BÜP problemi için bir stokastik optimizasyon modeli kurmuştur. Leung, Wu ve Lai (2006), belirsiz talep verilerinin üstesinden gelmek için bir stokastik programlama yaklaşımı önermiştir. Ancak, stokastik programlama yöntemleri ile çözülen BÜP problemleri, temel olarak, olasılık teorisinin kavram ve tekniklerine dayanmakta ve sadece verilen bir olasılık dağılım

fonksiyonunun sınırlı şeklini alabilmektedir. Dolayısıyla, uygulamalı BÜP kararlarına çok az yardımcı olabilmektedir. Stokastik programlama modellerini uygulamanın temel zorlukları, sayısal verilerin eksikliği ve karar vericinin gerçek hayattaki belirsizlikleri modellemede karşılaştığı esnek olmayan olasılık kuramlarıdır (Liang, 2007a: 549).

1.2.3.3 Bulanık Optimizasyon Yöntemleri

Belirsizliği incelemek için olasılık teorisine alternatif olarak, Zadeh (1965) tarafından bulanık küme teorisi geliştirilmiştir. Bulanık küme teorisinde ayırım, tesadüflük ve belirsizlik arasında yapılmaktadır. Bellman ve Zadeh (1970), pek çok durumda belirsizliğin tesadüfliğe eşit olmadığı görüşünde oldukları için olasılık yaklaşımının kullanımını sorgulamıştır (Mula vd., 2006: 277). Yazenin (1987) ve Buckley (1990) bulanık/olabilirlikçi ve stokastik programlamanın karşılaştırmasını göz önünde bulundurarak bazı önerilerde bulunmuştur (Hsieh ve Wu, 2000: 356; Liang, 2007b: 106).

Tesadüflük; genel olarak, olayın meydana gelmesindeki belirsizliğin sayısal ölçüsüdür. Tesadüflüğün en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukla önceden yapılamamasıdır. Ancak, bilinen belirsizliklerin hepsi tesadüflü karakterde değildir. Sözel belirsizlikler *bulanıklık* adını almaktadır. Bulanıklık; belirsiz anlamlılık, değişik anlamlara gelebilme olarak tanımlanmaktadır. Ne kadar çok yetersiz veri varsa bulanıklık da o kadar artmaktadır. Tesadüflük, olayın oluşundaki kesin olmayışlığı ifade etmektedir. Bulanıklık ise, olayın olup olmadığını değil, hangi dereceye kadar olduğunu ölçmektedir (Baykal ve Beyan, 2004a: 310-311). Bir başka deyişle tesadüflük, bir olayın meydana gelme olasılığını tanımlarken bulanıklık, bir olayın belirsizliğini tanımlamaktadır (Ross vd., 2002: 31).

Bulanık küme teorisinin temelinde, olabilirlik yatmaktadır. Olabilirlik, risk ortamında karar vermede kullanılan olasılıktan daha farklıdır. Olabilirlik ile olasılık arasında yapısal bir farklılık bulunmaktadır. Bu yapısal farklılık, her iki kavramın açıklamaya çalıştığı belirsizliğin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Olasılığın doğruluk değeri, zamana bağlı olmaktadır. Ayrıca, gerçekleşmesi beklenen durum, bu zaman sonunda test edilmekte ve ifadenin doğruluk değeri kesinleşmektedir. Oysa, olabilirlikte zamana bağlılık ve zaman sonunda varılan durumun test edilmesi, verilen

bulanık bir ifadenin doğruluk değerini etkilemeyecektir. Ayrıca, olasılık dağılımı belli sayıda tekrarlanan gözlem sonuçlarından elde edilirken, olabirlikte böyle bir durum söz konusu değildir. Olabirlikte insanların, genelde uzmanların değerlendirilmesine başvurulmaktadır (Baray, 1993: 98).

Kısaca bulanık küme teorisi, sözel terimlerden kaynaklanan kesin olmayışı veya belirsizliği modellemeyi mümkün kılan bir matematiksel disiplindir ve sayısal olmayan, insanların algı ve yorumlarını içeren sistemleri modellemek için kullanılmaktadır (Marler vd., 2004: 115). Bu teori; belirsiz katsayılar, amaçlar ve kısıtları sayısal olarak ele alan uygun bir metodoloji sağlamış ve farklı alanlarda kapsamlı uygulamalar bulmuştur. Bu uygulama alanlarından biri de BÜP'tür.

Üretim plânlama sistemlerinde her bir dönemde bir ürünün bütünleşik piyasa talebi belirsizdir. Pratikte talep tahmini, dinamik bir piyasada kesin olarak elde edilememektedir (Fung vd., 2003: 302). Ayrıca, makine kapasitesi, işgücü piyasası arz ve talebi belirsiz olduğu için maksimum makine kapasitesi ve maksimum işgücü düzeyi belirsizdir. Diğer taraftan, minimum stok düzeylerini, maksimum sipariş ve taşeron düzeylerini ve gerçek depo alanlarını sınırlamak mümkündür (Wang ve Liang, 2004: 22-23). İşletme çevresinde bu tür belirsizlikler, özellikle geçmiş veri olmadığında olasılık dağılımları ile tam olarak tanımlanamamaktadır. Stokastik olasılıkçı teoriyi kullanmanın önemli bir dezavantajı ve zorluğu, belirsiz parametrelerin istatistiksel dağılımı hakkında pekçok bilgiye ihtiyaç duymasıdır. Bu nedenle, BÜP'ü formüle etmek için bulanık küme teorisine ve bulanık optimizasyon yöntemlerine ihtiyaç vardır (Tang vd., 2000: 671).

BÜP problemlerini çözmek için kullanılmaya başlanan bulanık optimizasyon yöntemleri, klâsik yöntemlerde karşılaşılan pek çok sınırlamadan etkilenmeyip klâsik çözüm yöntemlerinin neden olduğu zorluğun üstesinden gelmeye yardımcı olmaktadır. Probleme bağlı bir yapıya sahip olduğu için belirlenen problemin ihtiyacına uygun olarak düzenlenebilmektedir (Baykasoğlu, 2001: 3686-3687). Bulanık BÜP modellerinin klâsik matematiksel BÜP modellerinden üstünlüğü; bu modellerin, yöneticilerin yaklaşık düşünme yeteneklerini dikkate almasından, formülasyon ve uygulama kolaylığından kaynaklanmaktadır (Guiffreda ve Nagi, 1998: 49). Bulanık mantık, bulanık ortamda bir BÜP yapılandırması için karar vericiye daha fazla seçim imkânı sağlamaktadır. Bulanık mantık ile durum daha gerçekçi olarak

yansıtılabilmektedir. Böylece, bilgi maliyetleri azalmaktadır (Ertuğrul ve Tuş, 2007: 29).

1.2.4 Bütünleşik Üretim Plânlamasının Avantaj ve Dezavantajları

Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP), bir işletmenin üretim ve işgücü düzeylerinin plânlanmasında destek sağlayan önemli bir araçtır. BÜP'ün avantajlarından biri; bireysel ürün bazında tahminleri hazırlama, üretkenlik ve maliyet parametrelerini belirleme maliyetinin engelleyici olabilmesidir. Detaylı üretim plânlarında büyük ölçekli matematiksel programlama modelleri için veri toplama ve girdi maliyeti, gerçekleşen hesaplama maliyetinden daha büyük bir engel oluşturabilmektedir. BÜP'ün ikinci bir avantajı, bütünleşik ürünlerle başarılabilen talep kesinliğinin görece gelişimidir. Bütünleşik tahminler, genellikle bireysel tahminlerden daha kesindir. Sonuç olarak, bir bütünleşik plânlama çatısı, yönetimin “büyük resmi” görmesine izin vermekte ve detaylardan etkilenmemektedir.

Tüm bu avantajlarla BÜP, pek çok işletmenin üretim faaliyetlerinin plânlanmasında önemli bir yere sahiptir. Ancak, bunun yanı sıra BÜP'ün bazı dezavantajları da söz konusudur. Bunlardan birincisi, bütünleşik birimi doğru olarak belirleme zorluğudur. Bireysel ürünlerin tüm koşullarda kullanılacak şekilde nasıl bütünleştirilmesi gerektiğini belirlemenin kolay bir yolu yok gibidir. İkincisi, bütünleşik bir plân geliştirildiğinde, bütünleşik birimler için talep ve maliyet tahminleri yapmak gerekmektedir. Birimler için kesin maliyet ve talep bilgisi elde etmek oldukça zordur. Bütünleşik bazda bu tür bir bilgi elde etme, kullanılan bütünleşik plâna bağlı olarak, daha zor olabilmektedir. Üçüncüsü, BÜP modelleri, işletmenin içinde bulunduğu ortamın politik ve işlemsel gerçeklerini pek yansıtmamaktadır. İşgücü düzeylerinin kolayca değiştirilebileceğini varsaymak, pek çok işletme için gerçekçi olmayabilmektedir (Nahmias, 1997: 159-160). Ayrıca, bazı işçiler diğerlerinden daha değerli olabilmekte, dolayısıyla işe alma ve işten çıkarma maliyetleri birbirine eşit olmayabilmektedir (Leung vd., 2003: 427). Sonuç olarak, yöneticiler bu analizde belirtilen oldukça duyarlı ve önemli konuları yanıtlamak için matematiksel bir modele güvenmek istemeyebilmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI VE BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI

Gerçek hayatta karşılaşılan durumların çoğu, çeşitli şekillerde belirsizlik içermektedir. Bilgi eksikliği nedeniyle bir sistemin gelecekteki durumu tam olarak bilinemeyebilmektedir. Stokastik yapıdaki bu belirsizlik türü, uzun zamandır olasılık teorisi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak ele alınmaktadır. Ancak, kullanılan temel olasılık yaklaşımları, olayların veya durumların açık bir şekilde tanımlı ve ayırt edilebilir olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu belirsizlik türü, “stokastik belirsizlik” olarak tanımlanmaktadır. Olayların veya durumların ifade edilmesinde kullanılan kelimelerin ve tanımlamaların içerdiği belirsizlik türü ise, “bulanıklık” olarak adlandırılmaktadır. Bulanıklık ile günlük yaşamın birçok alanında özellikle, insanların görüşlerinin, değerlendirmelerinin ve kararlarının önemli olduğu tüm alanlarda sıklıkla karşılaşılmaktadır (Zimmermann, 1991: 3-4).

Lotfi A. Zadeh (1965) tarafından yayınlanan “Bulanık Kümeler” adlı makale, belirsizlik kavramının yeniden değerlendirilmesinde bir dönüm noktası olmuştur. Sistemlerin karmaşıklığından ve insan algılayışlarındaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik durumunu hesaba katmadan modelleme ve karar süreçlerinin gerçekleştirilmesi, sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu durumun üstesinden bulanık mantık yaklaşımı ile gelinebilmektedir.

İşletmelerde üretim yöneticilerinin karşılaştığı temel karar verme problemlerinden biri, Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP)’dir. BÜP probleminin pek çok yönü ve BÜP problemlerini çözmek için kullanılan çözüm işlemleri, bulanık mantık yaklaşımına uygundur (Guiffreda ve Nagi, 1998: 49). Finansal piyasalar, iktisadî ve sosyal birçok olaydan etkilendiği için belirsiz bir yapıdadır ve karar vericiler, çoğu zaman kesin sayılarla piyasa taleplerini veya ilgili maliyet katsayılarını nasıl belirleyeceği hakkında yeterli bilgiye sahip değildir (Wang ve Fang, 2000: 5; 2001: 522). Bu nedenle, gerçek üretim ortamında BÜP problemleri, üretim yöneticilerinin deneyimlerine ve sezgilerine dayalı olarak çözülmektedir (Zhang ve Huang, 1994: 1266). Belirsizliğin hâkim olduğu piyasalarda, deterministik yaklaşımlar yerine bulanık

mantık yaklaşımından faydalanarak karar vermek daha etkili olmaktadır. Bulanık BÜP, tahmin edilen talebi ve problemin modelinde bulunan nakliye masrafları, sipariş erteleme maliyetleri, satış kayıpları vb. ile ilgili parametrelerin belirsizliğine izin vermektedir. Bulanık küme teorisinin faydası, çelişen amaçlardan dolayı ek bir belirsizliğin probleme girdiği çok amaçlı BÜP modellerine kadar uzamaktadır (Guiffrida ve Nagi, 1998: 49).

2.1 BULANIK MANTIK

İnsanoğlu günlük hayatını sürdürürken pek çok sorun ile karşılaşmakta ve geçmişte edindiği bilgi ve deneyimlerden yararlanarak çözümler üretmektedir. Bu sorunların bir kısmı tamamen belirli olduğu ve kolayca tanımlanabildiği için bu sorunların çözümlenmesi de kolay olmaktadır. Bunun yanı sıra, belirsizlikler içeren veya tam olarak tanımlanamayan sorunların çözümü ise, nispeten zor olmakta ve görelilik arz etmektedir. Belirsizliğin bu önemli rolünün anlaşılması, klâsik anlayıştan belirsizliği temel alan modern anlayışa geçişi sağlayan dönüşümü başlatmıştır. Bu anlayış, literatüre ilk girdiği anda deterministik anlayıştaki klâsik görüşe ters düşmesinden dolayı sıcak karşılanmamıştır. Bu alandaki gelişme sürecinde, olasılık teorisinden farklı olarak, belirsizlikle ilgili birçok teorisinin ortaya çıktığı görülmüştür (Sarı vd., 2005: 78).

Belirsizliği tanımlama ve modellemenin önemini ünlü fizikçi Einstein şu şekilde ifade etmiştir: “Matematiğin kavramları kesin oldukları sürece gerçeği yansıtmaz, gerçeği yansıttıkları sürece de kesin değildir.” 1930’larda ünlü filozof Max Black belirsizliği açıklayıcı öncü kavramlar geliştirmiş olsa bile, bugün Lotfi A. Zadeh (1965) tarafından “Information and Control” dergisinde yayınlanan “Bulanık Kümeler” adlı makale, modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilmektedir (Aktaş ve Çağman, 2005: 14). Bu makalede bulanık kümelerin tanımı, temel işlemleri, kavramları ve özellikleri verilmiştir. Zadeh, gerçek hayat sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir. Yani bir sistemdeki karmaşıklık arttıkça, sistemi tanımlayan ifadelerin anlamı azalmakta ve anlamlı ifadeler de belirsizliğe doğru gitmektedir. Çünkü insan, bilgi kaynaklarının tümünü aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamamakta ve

bunlardan kesin sonuçlar çıkaramamaktadır. Burada bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ilave olarak, özellikle, sözel olan bilgileri de içerdiği vurgulanmalıdır. Genellikle insan sözel düşünebildiği ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiği için bu ifadelerin kesin olması beklenemez (Şen, 2004: 7-8).

Kesin olmayan bilginin üstesinden gelmek için güçlü bir araç olan bulanık mantık, bilimsel terminolojide ve teknolojide “Fuzzy Logic” kelimelerinin karşılığı olarak kullanılmakta olup temelleri Aristo mantığına dayanan klâsik mantık sistemine karşı geliştirilen belirsizlik altında akıl yürütme ile çok değerli mantığın birleştirildiği mantıksal bir sistemdir. Bir mantık sisteminin temel amacı, verilen önermelerden yeni önermeler elde etmek ve bu önermelerin doğruluk değerlerini belirlemektir.

Klâsik mantık (iki değerli mantık) ile çok değerli mantığın birbirinden ayrıldığı tek nokta, oluşturulan önermelere atanan doğruluk değerlerinin sayısıdır. Oluşturulan önermelerin klâsik mantıkta sadece 1 ve 0 ile eşleştirilebilen doğruluk değerleri, çok değerli mantıkta genişletilmiştir. Sonuç olarak, klâsik mantığın oluşturulan bazı önermelerin doğruluk değerlerinin belirlenmesindeki yetersizliği ile “çok, oldukça, hemen hemen” gibi belirsizlik içeren kavramların insan düşünce biçimine yaklaşabilmek için kullanılma gerekliliği, bulanık mantığın gelişmesine yol açmıştır (Özkan, 2003b: 124,126). Böylece, belirsiz kavramlar içeren insan bilgisini açıklamak kolaylaşmış ve gerçek hayattaki problemlere daha etkin çözümler getirilebilmiştir.

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan birincisi, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesidir İkincisi ise, insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gerek duyulan hallerdir (Kandel, 1986: 2). Gerçekte verilen kararlar belirsizdir ve kesin sayısal değerlerle ifade edilmeye uygun değildir. Bu nedenle, kararları modellemede sözel değişkenler kullanmak daha gerçekçi olabilmektedir. İşte bulanık mantığın diğer mantık sistemlerinden önemli bir farklılığı, bulanık mantığın sözel değişkenlerin kullanımına izin vermesidir. Değişken değeri olarak, bir dildeki kelimeleri alabilen değişken, *sözel değişken* olarak ifade edilmektedir (Zadeh, 1975: 199). Burada sözü edilen kelimeler, klâsik küme teorisinde sınır koşulunu net olarak ifade edemeyen kelimelerdir. Bazı kelimelerin anlamı; bir karmaşıklık, subjektiflik veya belirsizlik gösterebildiği için sözel değişkenin bulanık kümelere dayanarak tanımlanması gerekmektedir. Örneğin, “suyu ılıklaştır”, “yemeği biraz pişir”,

“hava çok rüzgârlı” ifadelerinde yer alan “ılık”, “biraz”, “çok” kelimeleri belirsiz ama tesadüfî olmayan kelimelerdir (Sarı vd., 2005: 79). Bütün bunlar insan beyninin belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğiine dair birer örnektir. Klâsik mantık yaklaşımı ile bu belirsiz ifadeleri gerçeğe yakın biçimde tanımlamak çok zordur. Fakat bulanık mantık ile bu kelimeler kolayca ve fazla ilave bilgiye ihtiyaç duyulmadan tanımlanabilmektedir.

Bulanık mantık, ortaya atıldığı tarihten bu yana, başta yöneylem araştırması, yönetim bilimi, kontrol teorisi, yapay zekâ/akıllı sistemler, insan davranışları olmak üzere pek çok uygulama alanı bulmuştur (Paksoy ve Atak, 2002: 457). Günümüzde yıkanacak çamaşırı değerlendirip gerekli olan deterjanı, su sıcaklığını ve yıkama şeklini ayarlayan çamaşır makineleri; elin titremesini çekilen nesnenin hareketinden ayıran ve mercekleri otomatik olarak ayarlayıp net görüntü üreten video kameralar ve kontrastı, parlaklığı, rengi ve netliği otomatik olarak ayarlayan televizyonlar piyasaya hâkim olmuştur. Günlük hayatta her noktada karşılaşılan bulanık mantık uygulamaları, ona olan ticari ve akademik ilgiyi daha da arttırmaktadır (Paksoy, 2002: 2-3).

2.1.1 Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonu

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisi, esas olarak, insan düşünce ve algılarındaki belirsizlikle ve bu belirsizliğin sayısallaştırılması ile ilgilenmektedir. Başka bir ifade ile, tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında, insanların tutarlı ve doğru karar vermelerini sağlayan düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesi ile ilgilenmektedir (Türkbey, 2003: 81). Belirsiz bilgiyi sınıflandırma genelde uygulamanın kapsamına ve karar vericinin yargısına bağlı olmaktadır. Örneğin, belirsizlik bilgisi sınırlı olduğunda veya bilgi sadece öznel inanç veya tahmin olduğunda bulanık modelleme yöntemlerini kullanmak, olasılıktan daha uygundur. Bu modelleme tekniği klâsik olasılık yaklaşımından, belirsiz parametrelerin istatistiksel dağılımlar yerine üyelik dağılımları kullanması bakımından farklıdır. Belirsiz katsayılar ve parametreler, değerleri bir üyelik derecesine göre sıralanan aralıklardır. Bulanık programlama yöntemleri, optimizasyon problemine bulanık kümeleri sunarak orijinal modelin yorumunu değiştirmektedir. Aralıklarda rekabet eden değerler arasında kullanılan üyelik düzeyleri olasılık yerine olabilirlik ve sayısal yerine sözel gibi değişik anlamlar taşımaktadır. Bu anlamda, orijinal optimizasyon modeli gerçek hayattaki

problemler için istenen esnekliği sağlayan genel bir karar destek sistemi olarak geliştirilebilmektedir (Jensen ve Maturana, 2002: 146).

Bulanık bir küme, değişik üyelik veya ait olma derecelerine sahip elemanları olan bir küme türüdür. Böyle bir küme, elemanlarının her birine 0 ile 1 arasında üyelik değeri atayabilen bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilmektedir (Zadeh, 1965: 338; Zadeh ve Kacprzyk, 1992: 214). Kümeye dâhil olmayan elemanların üyelik değerleri 0, kümeye tam dâhil olanların üyelik değerleri de 1 olarak atanmaktadır. Kümeye dâhil olup olmadıkları belirsiz olan elemanlara ise, belirsizlik durumuna göre 0 ile 1 arasında değerler atanmaktadır. Oysa, klâsik küme teorisinde belirsiz eleman diye bir şey söz konusu değildir. Bir eleman, kümeye dâhildir veya tamamen kümenin dışındadır. Dolayısıyla, klâsik kümelerde bir elemanın alabileceği üyelik değeri 0 veya 1'dir. Bu yüzden bulanık küme, klâsik kümenin genelleştirilmiş şeklidir (Chen ve Pham, 2001: 1). Bulanık kümenin amacı; belirsizlik ifade eden, tanımlanması güç kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmektir (Türkşen, 1985: 3).

“x” ile gösterilen tüm elemanların oluşturduğu E evrensel kümesinin bir alt kümesi olan A klâsik kümesi, matematiksel olarak, $\forall x \in E : \mu_A(x) \in \{0,1\}$ biçiminde ifade edilmektedir. $\mu_A(x)$, “karakteristik fonksiyon” veya “üyelik fonksiyonu” olarak adlandırılmaktadır (Kaufmann ve Gupta, 1988: 10). Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye *üyelik fonksiyonu* adı verilmektedir. Küme elemanlarının üyelik fonksiyonunda alacağı değerler, *üyelik derecesi* olarak tanımlanmaktadır. Klâsik küme ile bulanık küme arasındaki en önemli fark, üyelik fonksiyonlarıdır. Klâsik bir küme, sadece bir üyelik fonksiyonu ile nitelenebilirken; bulanık bir küme, teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile nitelenebilmektedir (Özkan, 2003b: 182). Üyelik fonksiyonu kullanmanın avantajı, sadece nicel değil nitel ölçüm yapılabilmesidir (Zhang ve Huang, 1994: 1270).

Üyelik fonksiyonunun değer kümesi [0,1] aralığında sürekli ve bu kapalı aralıkta her gerçel sayıyı alabilecek şekilde tanımlanırsa A kümesine bulanık küme denilmekte ve \tilde{A} ile gösterilmektedir. “x” ile gösterilen tüm elemanların oluşturduğu E evrensel kümesinin bir alt kümesi olan \tilde{A} kümesinin üyelik fonksiyonu $\forall x \in E : \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ biçiminde ifade edilmekte ve \tilde{A} kümesi, $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x), x \in E\}$ şeklinde sıralı ikililerden oluşan bir küme olarak tanımlanmaktadır (Rommelfanger, 1996: 524).

Üyelik fonksiyonlarının doğru ve uygulama ile örtüşen bir şekilde belirlenmesi, bulanık küme teorisinin esasını oluşturmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için genel bir yöntem bulunmamaktadır. Bulanık bir kümeye ilişkin üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, tesadüfî bir değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesine benzetilebilmektedir. Bir sistemin işleyişi veya bir nesne için “ne kadar” veya “hangi noktadan sonra” gibi soruların yanıtları ile bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları oluşturulmaya çalışılmaktadır (Yakupoglu vd., 2008: 122). Üyelik fonksiyonunu oluşturmak için üç yol izlenebilmektedir. Bunlardan birincisi, kavram hakkında bilgi sahibi olan kişiler ile görüşmek ve daha sonra gerekli düzenlemeleri yapmaktır. Karar verici tarafından belirlenen üyelik fonksiyonları karar vericinin tecrübesine, kültürüne, bakış açısına bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. İkinci yol, verilerden yararlanarak üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktır. Üçüncü yol ise, sistem performansından gelen geri bildirimlerden yararlanarak üyelik fonksiyonlarını belirlemektir. İlk yaklaşım, 1980’li yılların sonundan beri bulanık mantık araştırmacıları ve uygulamacıları tarafından izlenen temel yaklaşımdır. Sistematik düzenleme stratejilerinin eksikliğinden dolayı günümüzde birçok bulanık sistem deneme yanılma süreci şekline dönüşmüştür (Yen ve Langari, 1999: 24).

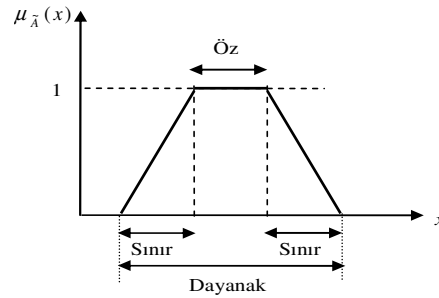
Çizelge 2.1: En çok kullanılan üyelik fonksiyonu çeşitleri

Üyelik fonksiyonunun		
Adı	Matematiksel ifadesi	Grafiksel şekli
Üçgensel üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \text{ veya } x < a_1 \end{cases}$	
Yamuksal üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4 - x)/(a_4 - a_3), & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \text{ veya } x < a_1 \end{cases}$	
Gaussian üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; m, \sigma) = \exp\left\{-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right\}$	
Çan şekilli üyelik fonksiyonu	$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left \frac{x - a_3}{a_1} \right ^{2a_2}} \right\}$	

Çok sayıda üyelik fonksiyonu çeşidi bulunmaktadır. Çizelge 2.1’de en çok kullanılan üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi üyelik fonksiyonları farklı şekillerde olabilmektedir. Özel bir şeklin uygun olup olmayacağını tespit etmek, çalışılan uygulama alanı tarafından elde edilen verilerle belirlenmektedir. Fakat birçok uygulama, bu tür şekil değişikliklerine karşı çok fazla duyarlılık göstermemektedir. Hesaplama açısından getirdiği kolaylıklar göz önüne alınarak istenilen şekilde üyelik fonksiyonunun seçilmesi, bulanık küme teorisinin esnekliğini yansıtmasında öne çıkan bir durumdur. Çoğu durumda, üçgensel ve yamuksal üyelik

fonksiyonları kullanılmaktadır. Üçgensel üyelik fonksiyonu, yamuksal üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur. Formüllerin basit oluşu ve bilgi işlemedeki kolaylık açısından hem üçgensel hem de yamuksal üyelik fonksiyonları çok sık kullanılmaktadır (Yen ve Langari, 1999: 64). Bulanık kümeler üzerine kurulan matematiksel yapı, klâsik matematikten daha fazla açıklayıcı bir güce sahip olmasına rağmen kullanılabilirliği, uygulama alanlarında karşılaşılan kavramlar için uygun üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasına bağlıdır (Aktaş ve Çağman, 2005: 15).

Bir bulanık alt kümede birden fazla elemanın üyelik derecesi 1'e eşit alınabilmektedir. Sadece o alt kümeye ait olan ve üyelik dereceleri 1'e eşit olan elemanlara *öz* adı verilmekte ve $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ ile gösterilmektedir. Bir alt kümenin tüm elemanlarını içeren aralığa *dayanak* adı verilmekte ve $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ ile gösterilmektedir. Üyelik dereceleri 1 veya 0'a eşit olmayan elemanların oluşturduğu kısımlara ise, üyelik fonksiyonunun *sınırları* veya *geçiş bölgeleri* adı verilmekte ve $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ ile gösterilmektedir. Tüm elemanların derecesi 0'dan büyük olan küme, A 'nın dayanak kümesidir ve $Dayanak(\tilde{A}) = \{x \in E | \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$ ile gösterilmektedir (Baykal ve Beyan, 2004a: 84). Bazı kaynaklarda dayanak kümesine *destek kümesi* de denilmektedir.



Şekil 2.1: Üyelik fonksiyonunun kısımları

Yamuksal bir üyelik fonksiyonunun öz, dayanak ve sınırları Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Yamuksal üyelik fonksiyonunda, bir alt kümede birden fazla elemanın üyelik derecesi 1'e eşit olmaktadır. Üçgensel üyelik fonksiyonunda ise, bir tane elemanın üyelik derecesi 1'e eşittir bu yüzden üçgensel üyelik fonksiyonun özü bir noktadan oluşmaktadır.

2.1.2 Bulanık Kümelerin Özellikleri

Bu bölümde bulanık kümelerin özelliklerinden söz edilmiştir.

Yükseklik

Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik derecesi, bu kümenin yüksekliğini belirlemektedir. Yükseklik, matematiksel olarak, şu şekilde tanımlanabilmektedir:

$$\text{yükseklik}(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)]; \forall x \in E \quad (2.1)$$

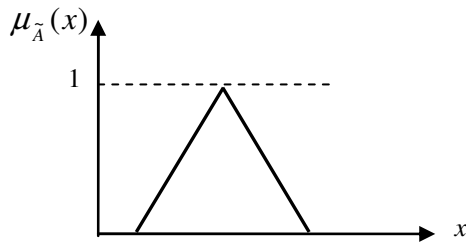
Burada, \tilde{A} kümesi sonlu bir evrensel kümede tanımlı ise, en küçük üst sınırı gösteren sup (supremum) terimi yerine maksimum terimi kullanılmaktadır.

Normallik

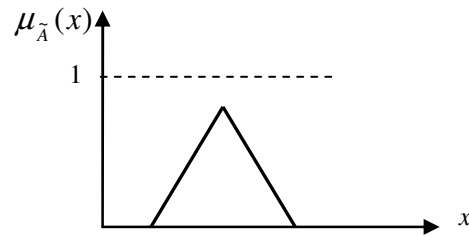
Yüksekliği 1'e eşit olan bulanık kümeler, normallik özelliğine sahiptir. Bu özellik matematiksel olarak, aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$\text{yükseklik}(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)] = 1; \exists x \in E \quad (2.2)$$

Yüksekliği 1'den küçük olan bulanık kümeler ise, normal altı bulanık kümeler olarak tanımlanmaktadır (Özkan, 2003b: 39).



Şekil 2.2: Normal bulanık küme

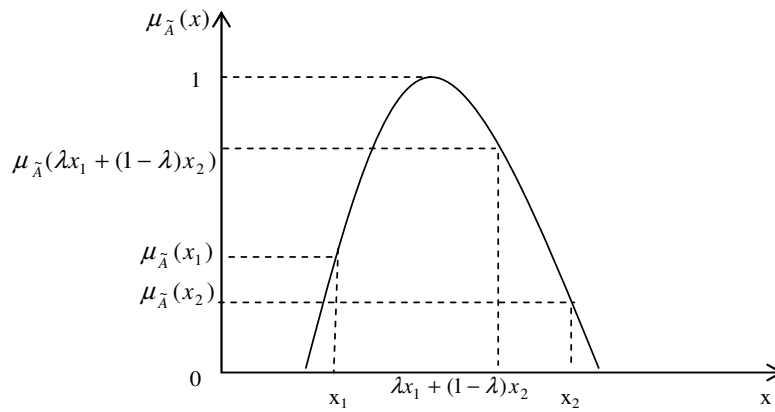


Şekil 2.3: Normal altı bulanık küme

Şekil 2.2 ve 2.3'te sırasıyla normal ve normal altı bulanık kümeler gösterilmektedir. Normal olmayan bulanık kümeleri, normal hale dönüştürmek için (dış bükey olmaları şartı ile) kümenin üyelik derecesinin, en büyük üyelik derecesine bölünmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle, \tilde{A} kümesi, maksimum üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ olan normal altı bulanık küme olmak üzere \tilde{A} kümesini normalize etmek için $\mu_{\tilde{A}}(x) / \max \mu_{\tilde{A}}(x)$ işlemi uygulanmaktadır (Bojadziej ve Bojadziej, 1995: 114).

Dışbükeylik (Konvekslik)

Dışbükey olan bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu, kümenin dayanağı üzerinde sürekli artmakta, sürekli azalmakta veya üçgensel üyelik fonksiyonunda olduğu gibi önce sürekli olarak, üyelik derecesi 1'e eşit oluncaya kadar artmakta ve ondan sonraki dayanağa düşen elemanlar için sürekli azalmaktadır. Diğer bir deyişle, bir kümedeki herhangi iki noktayı birleştiren çizgideki her nokta, bu kümenin elemanı ise, küme, dışbükeydir.



Şekil 2.4: Dışbükey bulanık küme

Dışbükey bulanık küme, Şekil 2.4'te gösterilmektedir. $\forall x_1, x_2 \in R$ ve $\forall \lambda \in [0,1]$ için $A \subset R$ kümesi, aşağıdaki koşulu sağlıyorsa dışbükeydir (Zadeh, 1965: 347):

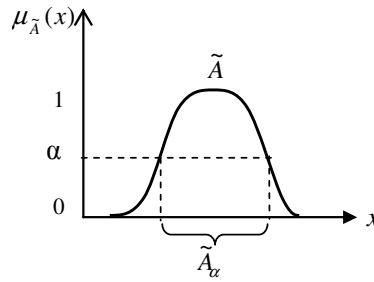
$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)) \quad (2.3)$$

Simetriklik

Simetriklik, üyelik derecesi 1'e eşit olan elemandan sağa ve sola eşit mesafede hareket edildiği zaman elemanların üyelik derecelerinin birbirine eşit olması anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle, bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonu belirli bir $x = c$ noktası için simetrik ise, bulanık küme simetrik olarak tanımlanmakta ve bu durum matematiksel olarak, $\forall x \in E$ için $\mu_{\tilde{A}}(x+c) = \mu_{\tilde{A}}(c-x)$ şeklinde ifade edilmektedir. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında üyelik derecelerinin 0,5'e eşit olması durumundaki noktaya *geçiş noktası* adı verilmektedir.

α kesim kümesi

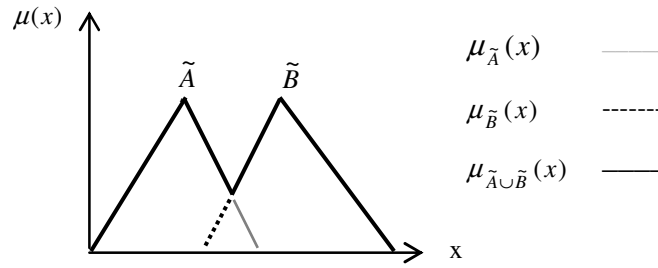
Bulanık bir kümenin α kesim kümesi, \tilde{A}_α , üyelik fonksiyonu değeri α 'ya eşit veya α 'dan daha büyük olan elemanların yer aldığı klâsik bir kümedir. Seçilen her bir α değeri ile farklı bir α kesim kümesi oluşturulmaktadır. α değeri, $\alpha \in [0,1]$ koşuluyla tanımlanan gerçel bir sayıdır. Her bir α kesimi ile üyelik fonksiyonunun farklı bir dilimi belirlenmektedir. α değeri arttıkça α kesimiyle oluşturulan klâsik kümedeki eleman sayısı azalmaktadır. α kesim kümesi, matematiksel olarak, $\tilde{A}_\alpha = \{x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$ şeklinde ifade edilmektedir. α kesim kümesi, Şekil 2.5'te gösterilmektedir (Tanaka, 1997: 30).



Şekil 2.5: α kesimi

Birleşim

\tilde{A} ve \tilde{B} kümelerinin birleşimi, $\tilde{A} \cup \tilde{B} = \int_x (\mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x)) / x$ şeklinde tanımlanmaktadır (Uzun, 1995: 4). Bulanık birleşim kümesi, sözel olarak, hem \tilde{A} hem de \tilde{B} kümesini kapsayan en küçük üyelik dereceli bulanık küme olarak ifade edilebilmektedir (Özkan, 2002: 18). Burada \vee bir maksimum işaretidir ve mantıksal olarak “veya” şeklinde düşünülmektedir (Tuncel, 1997: 15). $\tilde{A}, \tilde{B} \subset E$ olmak üzere; $\forall x \in E$ için $\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x)$ ifadesi ile gösterilmektedir (Tomsovic, 1992: 288). İki bulanık kümenin birleşiminin üyelik fonksiyonu, bireysel üyelik fonksiyonlarının maksimumu olarak tanımlanmaktadır (Nguyen ve Walker, 1999: 7). Şekil 2.6’da iki bulanık kümenin birleşimi gösterilmektedir.

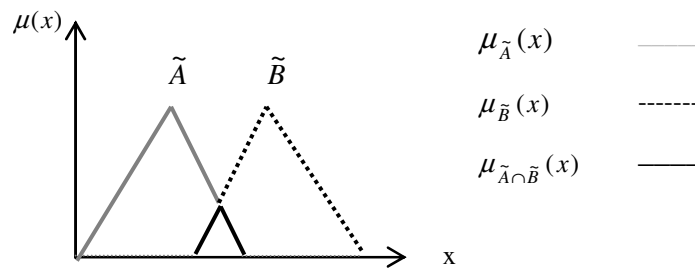


Şekil 2.6: İki bulanık kümenin birleşimi

Kesişim

\tilde{A} ve \tilde{B} kümelerinin kesişimi, $\tilde{A} \cap \tilde{B} = \int_x (\mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x)) / x$ şeklinde

tanımlanmaktadır (Uzun, 1995: 4). Bulanık kesişim kümesi, sözel olarak, hem A hem de B kümesi tarafından kapsanan en büyük üyelik dereceli bulanık küme olarak ifade edilebilmektedir (Özkan, 2002: 18). Burada \wedge bir minimum işaretidir ve mantıksal olarak “ve” şeklinde düşünülmektedir (Tuncel, 1997: 15). $\tilde{A}, \tilde{B} \subset E$ olmak üzere; $\forall x \in E$ için $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x)$ ifadesi ile gösterilmektedir (Tomsovic, 1992: 288). İki bulanık kümenin kesişiminin üyelik fonksiyonu, bireysel üyelik fonksiyonlarının minimumu olarak tanımlanmaktadır (Nguyen ve Walker, 1999: 7). Şekil 2.7’de iki bulanık kümenin kesişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.7: İki bulanık kümenin kesişimi

Maksimum ve minimum işlemcilerin hesaplanması ve kodlanması kolay olduğundan karar vericilerin davranış biçimine uygun düşmektedir. Bazen karar vericiler, en büyük kayıplarının en küçüğünü veya en küçük kazançlarının en büyüğünü

seçme eğilimindedir. Uygun işlemci seçilirken aşağıda belirtilen noktalara dikkat edilmesi önerilmektedir (Yılmaz, 1998: 21-22):

- Varsayımları az işlemci daha iyidir.
- Bir işlemcinin gerçek hayat şartlarına uyup uymadığı deneysel gözlemlerle ispatlanmalıdır.
- Bir işlemci, sözel yoruma ve ilgilenilen duruma uymalıdır.
- Hesaplanması karmaşık olmamalıdır.
- Sonuç üyelik derecesinin değişim aralığı olabildiğince geniş olmalıdır.
- İşlemcinin olabildiğince düşük ölçü düzeyine uygun olması tercih edilir.

2.1.3 Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Her bulanık sayı, bulanık bir küme olmasına rağmen, her bulanık küme bulanık bir sayı değildir. Bulanık bir kümenin bulanık bir sayı olabilmesi için:

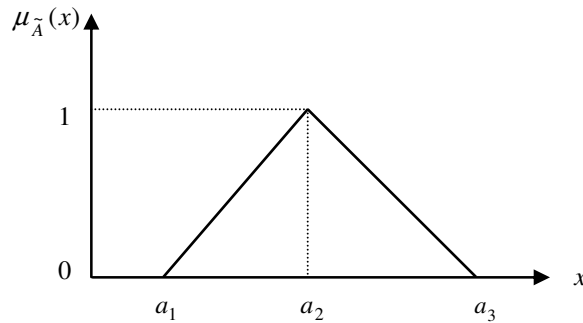
- Bulanık küme, normal bir bulanık küme olmalıdır.
- Bulanık küme, dışbükey bir küme olmalıdır.
- Bulanık kümenin destek kümesi sınırlı olmalıdır.
- Bulanık kümenin her bir α kesimi, gerçel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır.

5 civarı, hemen hemen 9, yaklaşık olarak 15, 200'den küçük vb. gibi kesin olmayan veya yaklaşık sayısal miktarların nitelenmesinde bulanık sayılar, oldukça yararlı olmaktadır. Bulanık sayılarla hesap yapmanın temeli, aralık analizine dayanmaktadır. Aralık analizi, bulanık sayılarda bir tür tolerans veya güven aralığı olarak algılanabilmektedir. Örneğin, bir ürünün gelecek aya ilişkin talebinin 100 birim olacağı bilgisi yerine, söz konusu talep miktarının 80 ile 120 birim arasında değişebileceği bilgisi daha anlamlı olabilmektedir. Böyle bir durumda, kesin bir sayı olan 100 yerine [80, 120] şeklinde ifade edilen kapalı bir aralık, talep miktarını niteleyebilmektedir. Dolayısıyla, kesin olarak belirlenemeyen sayısal bir değer, reel sayı doğrusu üzerindeki kapalı bir aralık içine yerleştirilmesi mümkündür (Özkan, 2003b: 59-62). Bulanık bir ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenmektedir (Zadeh, 1965: 339).

Bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ile tanımlandıkları için üyelik fonksiyonu çeşidi kadar bulanık sayı çeşidi bulunmaktadır (Baykal ve Bayan, 2004b: 115). Ele alınan konuya göre değişik bulanık sayılar kullanmak mümkündür. Bulanık sayıların oluşturulmasında kullanılan bir yöntem olmamakla birlikte, karar vericinin tecrübeleri ve üretim sisteminden geçmiş dönemlerde sağlanan veriler ve piyasa durumuna göre plânlanan stratejiler yardımı ile bulanık veriler belirlenebilmektedir (Umarusman, 2007: 88). Çeşitli bulanık sayı biçimleri arasında en önemli grubu, üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar oluşturmaktadır. Özellikle, olabilirlikçi matematiksel programlama problemlerini çözmede bu tip bulanık sayılar kullanılmaktadır (Çelik, 2000: 19).

Üçgensel Bulanık Sayılar

Üçgensel bulanık sayılar, üç tane gerçek sayı (a_1, a_2, a_3) ile tanımlanmış bulanık sayıların özel bir çeşididir.



Şekil 2.8: Üçgensel bulanık sayı

Üçgensel bulanık bir sayı, Şekil 2.8'deki gibi gösterilebilmektedir. a_1 ve a_3 , bulanık küme desteğinin alt ve üst sınır değerleri ve a_2 , tam üyelikli tek sayı olmak üzere üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanmaktadır:

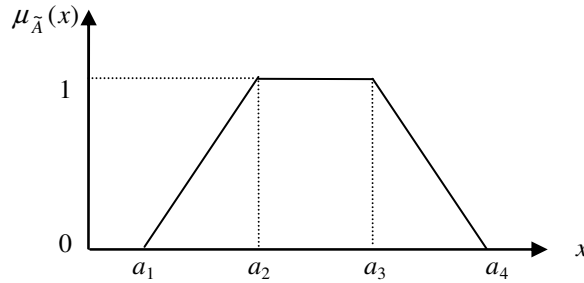
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2), & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.4)$$

Üçgensel bulanık sayılar; bulanık denetleyiciler, yönetsel karar verme, sosyal bilimler ve bunun gibi birçok alandaki uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca,

az bilgi olması durumunda da kolaylıkla oluşturulabilmektedir (Bojadziev ve Bojadziev, 1995: 36-37).

Yamuksal Bulanık Sayılar

Yamuksal bulanık sayılar en sık kullanılan bulanık sayı çeşitlerinden biridir. Yamuksal bulanık sayıların sık kullanılmasının nedenleri arasında, üçgensel bulanık sayıların yamuksal bulanık sayıların özel bir şekli olması ve sözel değişkenlerle kolay kavranabilmesi sayılabilmektedir.



Şekil 2.9: Yamuksal bulanık sayı

Yamuksal bulanık bir sayı, dört parametre ile tanımlanmakta ve Şekil 2.9'daki gibi gösterilebilmektedir. a_1 ve a_4 , bulanık küme desteğinin alt ve üst sınır değerlerini; a_2 ve a_3 , tam üyelikli sayılar kümesinin sınırlarını göstermek üzere yamuksal bulanık sayının üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanmaktadır:

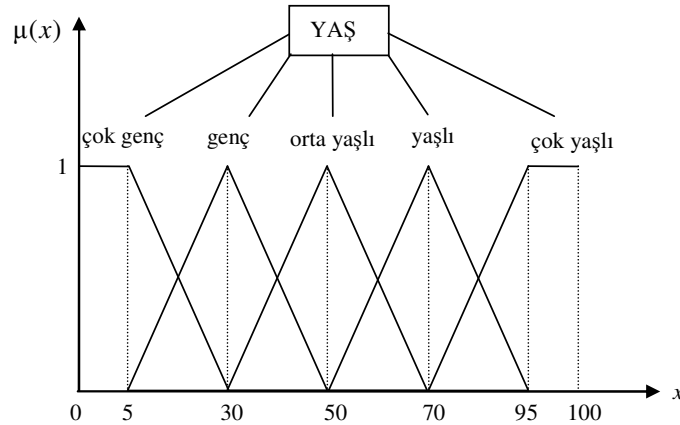
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4 - x)/(a_4 - a_3), & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (2.5)$$

2.1.4 Sözel Değişkenlerin Bulanık Kümedeki Gösterimi

Zadeh (1973), "Aşırı karmaşıklıktan kaçınmak için sözel değişkenler kullanılır. Sözel değişkenlerin değeri doğal veya yapay dillerde sayı değil, kelimeler veya cümlelerdir. Kelimelere veya cümlelere sözel karakter atamak, sayılara atamaktan daha kolaydır." demektedir. x , değişken adı; $T(x)$, değişkene değer olabilecek sözel terim

kümesi; E , değişken karakteristiklerini tanımlayacak evrensel küme; G , $T(x)$ terimlerinin söz dizimi (sentaks) kuralları; M , sözel değer ile ilgili anlam bilimi (semantik) kurallarını göstermek üzere sözel değişken şu şekilde tanımlanabilmektedir (Zadeh, 1975: 199):

$$\text{Sözel değişken} = (x, T(x), E, G, M)$$



Şekil 2.10: Yaş sözel değişkeni

Örneğin, yaş; çok genç, genç, orta yaşlı, yaşlı ve çok yaşlı gibi bulanık kümeleri içeren bir sözel değişkendir. Burada, her terim uygun bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Yaş sözel değişkeni, evrensel küme $[0, 100]$ olmak üzere çok genç, genç, orta yaşlı, yaşlı ve çok yaşlı terimleri; üçgensel bulanık sayılar yardımıyla tanımlanırsa üyelik fonksiyonu, Şekil 2.10'daki gibi gösterilmektedir (Bojadziew ve Bojadziew, 1995: 179). Bu terimlerin üyelik fonksiyonları şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\mu_{\text{çok genç}}(x) = \begin{cases} 1 & , 0 < x \leq 5 \\ \frac{30-x}{25} & , 5 \leq x \leq 30 \end{cases} , \quad \mu_{\text{genç}}(x) = \begin{cases} \frac{x-5}{25} & , 5 \leq x \leq 30 \\ \frac{50-x}{20} & , 30 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{orta yaşlı}}(x) = \begin{cases} \frac{x-30}{20} & , 30 \leq x \leq 50 \\ \frac{70-x}{20} & , 50 \leq x \leq 70 \end{cases} , \quad \mu_{\text{yaşlı}}(x) = \begin{cases} \frac{x-50}{20} & , 50 \leq x \leq 70 \\ \frac{95-x}{25} & , 70 \leq x \leq 95 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{çok yaşlı}}(x) = \begin{cases} \frac{x-70}{25} & , 70 \leq x \leq 95 \\ 1 & , 95 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

2.1.5 Bulanık Mantık Yaklaşımının Avantaj ve Dezavantajları

Bulanık mantık yaklaşımının klâsik yaklaşımlara göre bir takım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bulanık mantığın insan düşünüş tarzına yakın olması, matematiksel modellere uyum sağlaması, uygulamalarının kolay, hızlı ve ekonomik olması, insan davranışlarını modellemesi ve yeni olanaklara açık olması en önemli avantajlarından (Menteş, 2000: 28). Belirsiz bilginin işlenebilmesini ve niteliklerin göreceli önemlerinin kesin sayılar yerine bulanık sayılar ile ifade edilmesini sağlayan bulanık mantık ile belirsizlik ve eksik veri içeren problemler kolayca modellenebilmektedir. Bu nedenle, bulanık mantık, klâsik matematiksel modellemeden daha esnek ve güvenli olup daha gerçekçi çözümler sunmaktadır (Gu ve Zhu, 2006: 400). Stokastik programlama yaklaşımına kıyasla da çözüm, daha kolay şekilde elde edilebilmektedir (Mula vd., 2006: 95). Bulanık mantık yaklaşımı, matematiksel modele ihtiyaç duymadığı için matematiksel modeli iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemlere kolay ve anlaşılır bir çözüm getirebilmektedir. Bulanık mantık ile problemlerin çözümü genellikle daha küçük bir yazılımla daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmaktadır (Keleşoğlu ve Ülker, 2006: 3773). Bulanık mantık, uzmanların deneyimlerinden büyük ölçüde faydalanılmasına olanak sağlayarak ve karar vericinin yargılarındaki belirsizliği de modele dâhil ederek karar problemlerine yönelik bilgi alışverişinde, uzmanlar ile yöneticiler arasında daha iyi bir iletişim kurulmasını sağlamaktadır (Türkşen ve Fazel Zarandi, 1999: 480). Bulanık mantığın en önemli avantajlarından birisi de değişen koşullar altında karar verici için alternatif optimal çözümler sunma kabiliyetinin olmasıdır (Yılmaz ve Yalçın Seçme, 2008). Bulanık mantık, karar vericiye sadece verilen kısıtlar altında alternatiflerin değerlendirilmesinde değil (verilen bir sistemin optimizasyonu), yeni alternatiflerin geliştirmesinde de (sistem tasarımı) yardımcı olmaktadır (Lai and Hwang, 1996: 1).

Bulanık mantığın avantajlarının yanında bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bulanık mantık uygulamalarında, kuralların mutlaka uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekmektedir. Üyelik fonksiyonlarını ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay olmamaktadır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem, deneme-yanılma yöntemidir; bu da çok uzun zaman alabilmektedir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini

kestirmek çok güç olabilmektedir. Bunun yanında bulanık mantık yaklaşımında üyelik fonksiyonu değişkenleri sisteme özeldir ve başka sistemlere uyarlanması çok zordur. Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Günümüzde bu, sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır (Elmas, 2003: 39-40).

2.2 BULANIK ORTAMDA KARAR VERME

Bulanık küme teorisi uygulamalarının önemli bir alanı, karar vermedir (Werners, 1987: 131). Karar verme, bir amaca ulaşabilmek için mevcut olanak ve koşullara göre mümkün olabilecek çeşitli faaliyetlerden en uygun olanını seçmektir (Öztürk, 2005: 14). Başka bir tanıma göre karar verme, hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde alternatif eylem plânlarından birini seçme sürecidir (Tulunay, 1991: 4).

İşletmelerin değişen pazar ve ekonomi koşullarında ayakta kalabilmeleri için doğru, etkin ve hızlı bir şekilde karar vermeleri gerekmektedir. İşletmelerin ellerindeki sınırlı kaynakları verimli bir şekilde kullanabilmesi, alternatif çözüm yolları arasından iyi bir seçim yapmasına bağlıdır (Tekin, 2004: 18). Ancak, gerçek hayatta karşılaşılan durumlarda, eksik veya elde edilemeyen bilgi yüzünden veriler kolay belirlenmemektedir. Karar vericiler, bazen eksik ve sayısal olmayan bilgiler kullanarak karar vermek zorunda kalabilmektedir. Ayrıca, karar verme, kişiden kişiye değişen subjektif ve belirsizlikler içeren bir süreçtir. Karar vericiler, genellikle sabit değerli yargılara varmaktansa belirli aralıklar dâhilinde yargılara varmayı tercih etmektedir. Bunun sebebi karar vermede, alternatifleri karşılaştırma sürecinin bulanık doğası gereği kişinin kendi tercihlerini tam olarak belirtememesidir (Büyüközkan vd., 2004: 260-261). Bu gibi durumlarda bulanık mantık, karar verme sürecine dâhil edilerek daha etkin kararlara ulaşılabilir. Bulanık mantık, karar verme sürecinin kapsamlılığını ve uygunluğunu güçlendiren önemli bir araçtır.

Bulanık ortamda karar problemi, ilk defa Bellman ve Zadeh (1970) tarafından ele alınmıştır. Klâsik karar modelini inceleyip bulanık ortamda karar vermek için bir model geliştiren Bellman ve Zadeh, bulanık hedef, bulanık kısıt ve bulanık karar olmak üzere üç temel kavramdan bahsetmiştir. Bulanık hedef ve bulanık kısıtlarla nasıl karar verilebileceği “bulanık ortamda karar verme” olarak tanımlanmıştır.

Klâsik bir karar verme probleminin özünü, mevcut kısıt koşullarını dikkate alarak karar vericinin belirlediği amaç veya hedef doğrultusunda ilerleme çabası oluşturmaktadır. Bulanık ortamda karar verme probleminde ise, karar verici ve evrensel kümede herhangi bir bulanıklık olmadığı kabul edilmektedir. Amaç ve karar ölçütü (fayda, kâr, gelir veya maliyet fonksiyonları) bileşenleri ise, bulanıklık içerebilmektedir. Karar verici, amaç fonksiyonu için maksimizasyon veya minimizasyon yerine ulaşmak istediği erişim düzeyini bulanık olarak belirleyebilmektedir. Ayrıca, karar ölçütünü gösteren fonksiyonun parametre değerleri bulanık sayılarla tanımlanabilmektedir. Birbirini tamamlayan amaç ve karar ölçütü bileşenleri *bulanık bir hedef* olarak ele alınabilmektedir (Özkan, 2003b: 155-156). Bulanık bir hedef, evrensel küme E'nin bir alt kümesi olan \tilde{G} kümesi ile ifade edilebilmektedir.

Diğer taraftan, olayları niteleyen kısıtlayıcıların parametre değerleri ve/veya sağ taraf sabitleri kesin tanımlanamadığı veya nitel özellikleri yansıttıkları için doğal yapıları gereği bulanık olabilmektedir. Ayrıca, kısıtlayıcıları ifade etmede kullanılan $\leq, =, \geq$ ilişkilerinde bazı toleranslara izin verilebilmektedir. Dolayısıyla, bulanık ortamdaki olaylar bileşeni, *bulanık kısıtlayıcılar* olarak ele alınabilmektedir. Bulanık bir kısıtlayıcı, evrensel küme E'de yer alan \tilde{C} kümesi olarak ifade edilebilmektedir (Dai vd., 2003: 83-84).

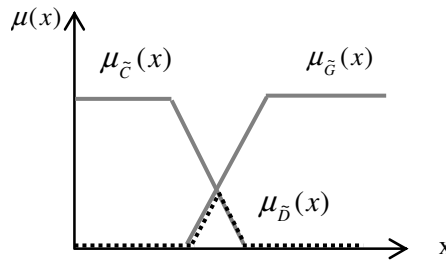
Bulanık hedefler ve/veya bulanık kısıtlayıcılarla verilen bir kararın bulanık olması kaçınılmazdır. Bellman ve Zadeh'e göre *bulanık bir karar*, verilen hedefler ve kısıtlayıcıların uzlaştırılmasıyla belirlenen bulanık bir küme olarak tanımlanmaktadır. Bulanık hedef ve bulanık kısıtlayıcıların bir alt kümesi olan bulanık karar kümesi, \tilde{D} ile ifade edilebilmektedir. Bulanık karar kümesi, bulanık kısıtlayıcı ve bulanık hedef başarımının aynı anda karşılanma derecesini göstermektedir. Diğer bir deyişle, bulanık karar kümesi için temel kural, " \tilde{G} hedefine ulaşmak ve \tilde{C} kısıtlayıcısını sağlamak" şeklindedir. Bu durumda bulanık bir karar, belirlenen hedef ve kısıtlayıcıların bir kesişim kümesi olarak ele alınmalıdır. Dolayısıyla, bulanık karar kümesi matematiksel olarak $\tilde{D} = \tilde{G} \cap \tilde{C}$ şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada, kesişim kümesi genellikle minimum işlemcisi ile belirlenmektedir. n adet bulanık hedef ve m adet bulanık kısıtlayıcı olduğunda bulanık karar kümesinin üyelik fonksiyonu;

$$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \tilde{G}_2 \cap \dots \cap \tilde{G}_n \cap \tilde{C}_1 \cap \tilde{C}_2 \cap \dots \cap \tilde{C}_m \quad (2.6)$$

veya,

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min [\mu_{\tilde{G}_i}(x), \mu_{\tilde{C}_j}(x)] \quad \forall x \in E; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (2.7)$$

ile gösterilmektedir. \tilde{G} , \tilde{C} ve \tilde{D} arasındaki ilişki, Şekil 2.11'de gösterilmektedir (Zimmermann, 1991: 245-246).



Şekil 2.11: Bulanık karar

Bulanık karar kümesi $\mu_{\tilde{D}}(x)$ 'in bulanıklıktan arındırılması veya diğer bir ifade ile $\mu_{\tilde{D}}(x)$ kümesinden klâsik bir kararın verilmesi gerekebilmektedir. Böyle bir durum, bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanının belirlenmesi anlamına gelmektedir. Bu ise, matematiksel olarak, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Bojadziev ve Bojadziev, 1995: 210):

$$\mu_{\tilde{D}}(x^*) = \max_{x \in E} \mu_{\tilde{D}}(x) = \max_{x \in E} \{\min[\mu_{\tilde{G}}(x), \mu_{\tilde{C}}(x)]\} \quad (2.8)$$

Burada x^* , optimal kararı ifade etmektedir. Bulanık hedef ve/veya kısıtlayıcıların kesişim kümesinde en yüksek üyelik dereceli tek bir eleman olması için bulanık karar kümesinin aşağıda verilen dış bükeylik tanımını karşılaması gerekmektedir (Terano vd., 1992: 127):

$$\mu_{\tilde{D}}[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[\mu_{\tilde{D}}(x_1), \mu_{\tilde{D}}(x_2)]; \forall \lambda \in [0, 1] \quad (2.9)$$

Bulanık matematiksel programlama yöntemlerinden biri olan bulanık optimizasyon, bulanık ortamda karar vermeyi sağlamaktadır. Bugüne kadar bulanık optimizasyon ile ilgili yapılan çalışmalara bakılacak olursa; Bellman ve Zadeh (1970) tarafından sunulan bulanık karar verme kavramının ardından Zimmermann (1976) tarafından ilk defa bulanık küme teorisi, klâsik Doğrusal Programlama (DP)

problemlerinde kullanılmıştır (Baykoç ve Sakallı, 2009: 154). Bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtları olan DP problemlerini ele alan bu çalışmanın ardından, literatürde birçok bulanık optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

Zimmermann (1978) ilk defa, 1976'daki Bulanık Doğrusal Programlama (BDP) yaklaşımını, klâsik Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (ÇADP) problemi halinde genişletmiştir. Bu problemin her bir amaç fonksiyonu için karar vericinin “amaç fonksiyonlarının yaklaşık bir değerden küçük veya yaklaşık bir değere eşit olması gerekmektedir” gibi bulanık bir hedefi olduğu varsayılmıştır. Daha sonra uygun doğrusal üyelik fonksiyonu belirlenip tüm amaç fonksiyonlarını birleştirmek için Bellman ve Zadeh tarafından önerilen minimum işlemcisi uygulanmıştır. Bu problem, yardımcı değişken kullanılarak klâsik DP problemine eşdeğer hale dönüştürülmüş ve Simplex Yöntemi ile kolaylıkla çözülebilmıştır (Wang ve Liang, 2004: 18).

Zadeh (1978), bulanık küme teorisi ile ilgili olabilirlik teorisini önermiştir. Bu çalışma, verilen kararlar üzerinde pek çok bilginin doğada olasılıkçı olmaktan çok olabilirlikçi olduğu gerçeğini göstermiştir (Liang, 2007b: 98). Bu teoriye göre modelde var olan belirsizlik, olasılık olarak değil yakınlık olarak modellenmektedir. Bunun sebebi, karar vericilerin çoğu zaman geçmiş istatistikî veriler olmadan uzman görüşüne göre karar vermek durumunda bulunmalarındır (Çubukçu, 2008: 34). Buckley (1988, 1989), tüm parametrelerin olabilirlik dağılımına dayanan bulanık değişkenler olabildiği bir matematiksel programlama problemi tasarlamış ve BDP'nin özel bir ifadesi olan (Tang vd., 2001: 41) Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (ODP)'yı kullanarak bu problemi örneklendirmiştir (Liang, 2007b: 98). Lai ve Hwang (1992a), kesin olmayan amaç ve/veya kısıt katsayıları ile bir ODP problemini çözmek için yardımcı bir ÇADP modeli geliştirmiştir.

Narasimhan (1980), bulanık küme teorisini çok amaçlı karar verme yöntemlerinden biri olan Hedef Programlama (HP)'ya uygulamıştır. Narasimhan, bulanık ortamda hedeflerin belirsiz istek düzeylerini belirlemek için Zimmerman (1978) tarafından sunulan bulanık programlama yaklaşımından esinlenerek üçgen üyelik fonksiyonlarını kullanmıştır (Chen ve Tsai, 2001: 549). Bu araştırmada, ilk olarak, eşit ağırlıklara sahip çok sayıda hedef ile Bulanık Hedef Programlama (BHP) problemi dikkate alınmış ve DP'ye dayalı bir çözüm geliştirilmiştir. Daha sonra bu çözüm yaklaşımı, eşit olmayan ağırlıkların çok sayıda hedefle birleştirildiği bir boyuta

getirilmiştir. Hannan (1981) ise, HP problemlerinde bulanık küme teorisini uygulayarak karar vericilerin bulanık veya kesin olmayan isteklerinin parçalı doğrusal ve sürekli üyelik fonksiyonlarının kullanımı ile nasıl belirlenebileceğini kanıtlamış ve daha sonra tercih öncelikleri, arşimedyan ağırlıklar ve minimum amaca uygun üyelik fonksiyonunun maksimizasyonu ile BHP'nin kullanımı için modeller sunmuştur. BHP üzerine yapılan sonraki çalışmalar; Leberling (1981), Luhandjula (1982), Rubin ve Narasimhan (1984), Tiwari, Dharmar ve Rao (1987), Sakawa ve Yano (1988), Dubois, Fargier ve Prade (1996), Kuwano (1996), Mohamed (1997), Wang ve Fu (1997), Kim ve Whang (1988), Chen ve Tsai (2001), Chanas ve Kuchta (2002), Hashemi, Ghatee ve Hashemi (2006), Yaghoobi ve Tamiz (2007), Aköz ve Petrovic (2007), Hop (2007), Chang (2007), Hu, Teng ve Li (2007) olarak verilebilmektedir (Jamalnia ve Soukhakian, 2009: 1475).

2.2.1 Bulanık Doğrusal Programlama

Optimizasyon, değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı kalarak bir amaç fonksiyonunun iyileştirilmesi olarak ifade edilebilmektedir. Optimizasyon problemlerinde amaç fonksiyonu ve kısıtlar, doğrusal olarak ifade edilebiliyorsa model “doğrusal programlama” adını almaktadır. Klâsik bir DP problemi aşağıda verildiği gibi ifade edilebilmektedir (Sarıaslan ve Karacabey, 2003: 70):

$$\begin{aligned} \max / \min Z(x) &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\{ \leq, =, \geq \} b_i, i = 1, \dots, m \\ x_j &\geq 0, j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2.10)$$

Burada x_j , karar değişkenlerini; $Z(x)$, amaç fonksiyonunu; c_j , j. karar değişkeninin amaç fonksiyonundaki katkı katsayısını; a_{ij} , j. karar değişkeninin i. kısıttaki katkı katsayısını (teknoloji katsayıları); b_i , i. sınırlı kaynak miktarını yani i. kısıtın sağ taraf sabitini göstermektedir.

Klâsik DP modelinde, kısıtlayıcılardan hareketle uygun çözüm alanı veya olası çözümler kümesi oluşturulmaktadır. Uygun çözüm alanı oluşturulurken temel olarak yapılan işlem, kısıtlayıcıların kesişim kümesinin belirlenmesidir. Belirlenen bu kesişim

kümesinde yer alan olası seçenekler, amaç fonksiyonunda değerlendirilmektedir. DP modellerinde maksimizasyon veya minimizasyon şeklinde oluşturulan amaç fonksiyonları, kısıtlayıcı kümesine göre optimize edilmekte ve amaç fonksiyonlarının olabildiğince iyi değerler alması istenmektedir. Diğer bir deyişle, belirli bir seçenekler kümesinin sağlayacağı fayda (maksimum kâr, minimum maliyet vb.) olabildiğince arttırılmaya çalışılmaktadır.

Klâsik DP modellerinde doğrusallık, toplanabilirlik, sınırlılık ve negatif olmama varsayımlarına ek olarak, kapalı bir şekilde geçerli olan bazı varsayımlar bulunmaktadır. Bunlar, her bir kısıtlayıcının önem derecesinin eşit olması; kısıtlayıcılarda matematiksel anlamda herhangi bir ihlâlâ izin verilmemesi; sağ taraf sabitleri (b_i), teknoloji katsayıları (a_{ij}) ve amaç fonksiyonu katsayılarının (c_j) kesin olarak bilinmesi; maksimizasyon veya minimizasyonun tam zorunluluk olması şeklinde ifade edilebilmektedir.

DP modellerindeki bulanıklık, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı katsayılarının tam olarak bilinmediği ve modeldeki bazı eşitsizlikler ve eşitlikler için kesin olmayan sınırların tanımlanabileceği anlamına gelmektedir. Bunlar, eksik bilgidен veya yapısal durumdan kaynaklanabilmektedir. Örneğin, “maliyeti olabildiğince azaltmak” şeklindeki bir hedef, bulanık bir amacı nitelemektedir. Diğer bir deyişle, amaç fonksiyonu için belirlenen erişim düzeyi, bulanık olarak ifade edilmektedir. Benzer olarak, $Ax \leq b$ şeklinde ifade edilen kısıtlayıcı kümesinde, \leq işaretinin matematiksel anlamına belirli bir aralıkta tolerans gösterilebilmektedir. c_j , b_i ve a_{ij} parametreleri de bulanıklık içerebilmektedir. Dolayısıyla, bu parametreler, bulanık sayılarla veya bulanıklığı niteleyen tolerans aralıkları ile ifade edilmektedir (Özkan, 2003b: 161-162).

BDP problemleri, bulanıklık kavramının ele alınışına göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Zimmermann, BDP problemlerini simetrik ve simetrik olmayan modeller olmak üzere iki sınıfta incelemiştir (Tang vd., 2001: 41). BDP'nin birçok çözüm yöntemi bulunmaktadır. Ancak, Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (BÇADP) problemlerinin çözümü için geliştirilen yaklaşımların birçoğunda Zimmermann yaklaşımı temel alınmıştır. Dolayısıyla, BÇADP problemlerinin çözümüne bir zemin hazırlamak için bu bölümde sadece Zimmermann yaklaşımı açıklanmıştır.

Zimmermann (1976), bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı DP problemleri için simetrik bir yaklaşım önermiştir. Model (2.10), tüm kısıtlar ve amaç fonksiyonu bulanık olarak ele alındığında,

$$\begin{aligned} \text{ma}\tilde{x} Z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\lesseqgtr b_i, i = 1, 2, \dots, m \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

biçiminde ifade edilmektedir. Matris notasyonu ile model (2.11), şu şekilde ifade edilebilmektedir (Lai ve Hwang, 1992b: 174):

$$\begin{aligned} \text{ma}\tilde{x} Z &= c^T x \\ (Ax)_i &\lesseqgtr b_i, i = 1, 2, \dots, m \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Zimmermann'a göre bulanık amaç fonksiyonu, karar vericiden sağlanan bulanık bir erişim düzeyi ile bulanık bir kısıtlayıcı olarak ifade edilebilmektedir. Bu durumda, bulanık karar kümesi belirlenirken bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar, birbirlerinden farksız olarak ele alınmaktadır (Kaymak ve Sousa, 2001: 3). Dolayısıyla, model (2.12), x'in bulunması problemine dönüşmektedir (Lai ve Hwang, 1992b: 174):

$$\begin{aligned} x' \text{ i bul} \\ c^T x &\gtrreqless b_0 \\ (Ax)_i &\lesseqgtr b_i, i = 1, 2, \dots, m \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Burada \lesseqgtr işareti, \leq işaretinin bulanıklaştırılmış halidir. \lesseqgtr işareti, “ $(Ax)_i$ kısıtlayıcısı b_i civarında veya daha azdır” şeklinde yorumlanmaktadır. Benzer olarak, \gtrreqless işareti de \geq işaretinin bulanıklaştırılmış halidir. \gtrreqless işareti, “ $c^T x$ amacı b_0 civarında veya daha fazladır” şeklinde yorumlanmaktadır (Terano vd., 1992: 128). Bulanık amaç fonksiyonunun her iki tarafı da (-1) ile çarpılırsa, BDP problemi aşağıda verildiği gibi tamamen simetrik olarak ifade edilebilmektedir:

$$-c^T x \lesseqgtr -b_0$$

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$x \geq 0 \quad (2.14)$$

Burada $B = \begin{bmatrix} -c^T \\ A_i \end{bmatrix}$ ve $d = \begin{bmatrix} -b_0 \\ b_i \end{bmatrix}$ sütun vektörleri tanımlanırsa BDP problemi aşağıda

verildiği gibi düzenlenebilmektedir:

$$Bx \lesseqgtr d$$

$$x \geq 0 \quad (2.15)$$

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar, seçenekler kümesindeki bulanık kümeler olarak tanımlandığı için bunlara ilişkin üyelik fonksiyonları belirlenmelidir. (2.15)'te verilen modelin i. satırı için, üyelik fonksiyonunun monotonik olarak artmayan bir yapıda olması gerekmektedir. Yani, i. bulanık eşitsizlik tamamen sağlanırsa, üyelik derecesi 1 olmalı, $[d_i, d_i + p_i]$ aralığında üyelik derecesi 1'den 0'a doğru monotonik olarak azalmalı ve i. bulanık eşitsizlik tamamen sağlanmıyorsa, üyelik derecesi 0 olmalıdır. Burada, $d_i = b_i$ ($i = 0, 1, 2, \dots, m$)'dir. p_i ise, i. bulanık eşitsizliğin sağ taraf sabiti için karar vericinin belirlediği maksimum toleranstır. Diğer bir ifade ile p_i 'ler amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılardaki kabul edilebilir toleransları gösteren ve karar verici tarafından belirlenen sabitlerdir. Bu durumda, i. bulanık eşitsizliğin üyelik fonksiyonu matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Zimmermann, 1991: 250-251):

$$\mu_i[(Bx)_i] = \begin{cases} 0 & , (Bx)_i > d_i + p_i \\ \in [0,1] & , d_i \leq (Bx)_i \leq d_i + p_i \\ 1 & , (Bx)_i < d_i \end{cases} \quad (2.16)$$

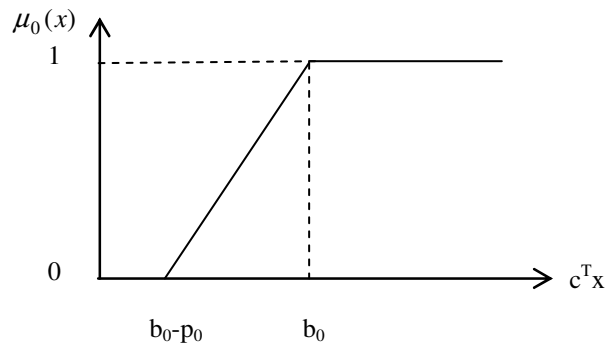
Buradan hareketle, bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlayıcıların parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları sırasıyla aşağıda verildiği gibi tanımlanmaktadır (Lai ve Hwang, 1992b: 173-174):

Zimmermann'a göre bulanık amaç fonksiyonu, karar vericiden sağlanan bulanık bir erişim düzeyi ile bulanık bir kısıtlayıcı olarak ifade edilebilmektedir. Bu durumda, bulanık karar kümesi belirlenirken bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar, birbirlerinden farksız olarak ele alınmaktadır (Kaymak ve Sousa, 2001: 3). Dolayısıyla, model (2.12), x 'in bulunması problemine dönüşmektedir (Lai ve Hwang, 1992b: 174):

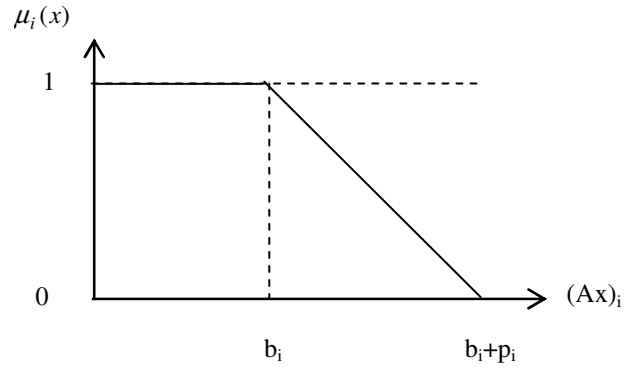
$$\mu_0(x) = \begin{cases} 0 & , c^T x < b_0 - p_0 \\ 1 - \frac{b_0 - c^T x}{p_0} & , b_0 - p_0 \leq c^T x \leq b_0 \\ 1 & , c^T x > b_0 \end{cases} \quad (2.17)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 1 & , (Ax)_i < b_i \end{cases} \quad (2.18)$$

Burada, örneğin, $\mu_0(x)$ üyelik fonksiyonu, çözüm vektörü x 'in bulanık eşitsizlik $c^T x \gtrsim b_0$ 'i sağlama derecesi olarak yorumlanmaktadır. Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları, Şekil 2.12 ve 2.13'te gösterilmektedir (Özkan, 2003b: 167-168).



Şekil 2.12: $c^T x \gtrsim b_0$ şeklindeki bulanık amacın üyelik fonksiyonu



Şekil 2.13: $(Ax)_i \leq b_i$ şeklindeki bulanık kısıtlayıcının üyelik fonksiyonu

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları belirlendiği için bulanık karar kümesi,

$$\mu_{\bar{D}}(x) = \min[\mu_0(x), \mu_i(x)] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.19)$$

eşitliğinden oluşturulabilmektedir. Bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanı ise,

$$\mu_{\bar{D}}(x^*) = \max_{x \geq 0}(\min[\mu_0(x), \mu_i(x)]) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.20)$$

veya,

$$\mu_{\bar{D}}(x^*) = \max_{x \geq 0}(\min[(1 - \frac{b_0 - c^T x}{p_0}), (1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}]) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.21)$$

eşitliklerinden belirlenmektedir.

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar için tolerans betimlemesi kullanıldığı zaman, bir maksimizasyon kararı olan $\mu_{\bar{D}}(x^*)$, klâsik bir DP modelinin kurulması ile belirlenebilmektedir. Diğer bir ifade ile, simetrik BDP problemleri, yardımcı bir değişken olan λ 'nın kullanılması ile klâsik bir DP modeli olarak ifade edilebilmektedir. Dolayısıyla, bulanık karar kümesi için,

$$\min_i[\mu_0(x), \mu_i(x)] = \mu_0(x) \wedge \mu_i(x) = \lambda \quad (2.22)$$

ifadesi yazılabilmektedir (Özkan, 2002: 65). Burada λ değişkeni, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların çözüm vektörü x tarafından aynı anda sağlanma derecesini göstermektedir. λ değişkeni, $\lambda \in [0,1]$ aralığında tanımlanmaktadır. Bu durumda,

bulanık karar kümesinin eşitlik (2.22) ile verilen tanımı, aşağıda verilen ifadeye denktir (Zhao vd., 1992: 57):

$$\begin{aligned}\mu_0(x) &\geq \lambda \\ \mu_i(x) &\geq \lambda\end{aligned}\quad (2.23)$$

Buradan, $\mu_{\tilde{D}}(x^*)$ 'ı belirleme problemi, klâsik bir DP problemi olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned}\max \lambda \\ \mu_0(x) &\geq \lambda \\ \mu_i(x) &\geq \lambda \\ \lambda &\in [0,1]\end{aligned}\quad (2.24)$$

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları yukarıdaki modelde yerine konduğu zaman aşağıda verilen DP modeline ulaşılmaktadır (Kaymak ve Sousa, 2001: 8):

$$\begin{aligned}\max \lambda \\ 1 - \frac{b_0 - c^T x}{p_0} &\geq \lambda \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} &\geq \lambda; \forall i \\ \lambda &\in [0,1] \\ x &\geq 0\end{aligned}\quad (2.25)$$

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı DP problemlerinde bazı kısıtlayıcılar bulanıklık içermeyebilmektedir. Bu durumda, ilgili kısıtlayıcıların maksimum toleransları sıfır olarak kabul edilmektedir. Diğer bir ifade ile bulanık olmayan kısıtlayıcılar herhangi bir dönüşüm işlemi yapılmadan bir önceki modele ilave edilebilmektedir. Bu konuda önemli çalışmalar, amaç katsayılarını ve sağ taraf sabitlerini bulanık olarak modelleyen Tanaka, Ichihashi ve Asai (1984) tarafından yapılmıştır.

2.2.2 Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama

Genellikle karar verme problemleri çok amaçlı olup, belirsiz bir ortamda meydana gelmektedir. Gerçek hayattaki karar problemlerinin iki temel özelliği bulunmaktadır. Birincisi, problemin yapısında birbirleriyle çelişen amaçlar olması, ikincisi ise, problem parametrelerinin tanımındaki bulanıklıktır. Çok amaçlı yapı ve

belirsiz parametreler, problemlerin matematiksel ifadesini klâsik yaklaşımlarla çözmeyi zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için bulanık küme teorisi, çok amaçlı karar vermeye uygulanmıştır (Arıkan ve Güngör, 2007: 5191).

DP yöntemi kullanılarak, belirli kısıtlayıcı koşullar altında tek bir amaç optimize edilmeye çalışılmaktadır. Günümüz koşullarında tek bir amacı optimize etmek yetmeyip aynı anda birden çok amacın optimizasyonu gerektiği için çok amaçlı karar verme modelleri kullanılmaktadır. Çok amaçlı karar verme modellerinde, birbirleriyle çelişen birden çok amaç, belirli koşullar altında optimize edilmeye çalışılmaktadır. K amaçlı genel bir doğrusal çok amaçlı karar verme problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$\begin{aligned} \max / \min Z_k(x) &= c_k^T x & k = 1, 2, \dots, K \\ (Ax)_i &\leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Çok amaçlı karar verme modellerinin en önemli özelliği, birbirleri ile çelişen amaçların öncelik sıralamasına veya görelî olarak ağırlıklandırılmasına göre çözüm yapabilme yeteneğidir. Bu tür karar verme modellerinde, her bir amaç için hedeflerin oluşturulması gerekmektedir. Hedefler, öncelik yapısına göre iki şekilde ele alınabilmektedir. Bunlardan birincisi, bütün hedeflerin aynı tercih önceliğinde olduğu modellerdir. Bu modellerde, hedeflerin görelî önemi birbirine eşittir ve bütün hedefler eşanlı olarak doyurulmaya çalışılmaktadır. İkincisi ise, hedeflerin farklı tercih önceliklerinde olduğu tercih öncelikli modellerdir. Bu modellerde, hedeflere ilişkin hiyerarşik bir yapının karar verici tarafından ortaya konması ve söz konusu hedeflerin en önemliden daha az önemliye doğru sıralanması gerekmektedir. Bu sıralama işlemi, sözel olarak yapılabileceği gibi ağırlık kavramının kullanılması ile sayısal olarak da yapılabilmektedir (Özkan, 2003b: 177).

Çok amaçlı karar verme modellerinde amaç fonksiyonları, bunların erişim düzeyleri ve kısıtlayıcılar, deterministik olarak ifade edilmektedir. Hedeflere ilişkin erişim düzeylerinin, hedeflerin tercih öncelikli sıralamasının ve ağırlıkların kesin olarak belirlenmesi, aslında oldukça zor bir iştir (Al-azzaz ve Abo-Sinna, 1998: 41-42; Chen ve Tsai, 2001: 548; Osman vd., 2005: 2; Hu vd., 2007: 1320). Erişim düzeyleri, hedeflerin tercih öncelikli sıralaması ve görelî ağırlıklar, çoğu kez karar vericinin

sübjektif yargılarına dayanarak belirlenmektedir. Bu sübjektiflik olgusu, bulanık küme teorisi ile ele alınabilmektedir. Bulanık küme teorisi ile hedeflerin erişim düzeyleri ve tercih öncelikleri kesin olmayan ifadelerle nitelenebilmektedir. Bulanık küme teorisi, karar vericilerin sübjektif yargılara dayanan hedefleri için “yaklaşık olarak ...’e eşit” ve “...’den oldukça küçük” gibi bir dilin doğal yapısına göre ifade edilebilen erişim düzeylerinin tanımlanmasına izin vermektedir. Hedeflere ilişkin bu tür tanımlamalar, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları ile ele alınmaktadır (Özkan, 2003b: 181).

Bulanık çok amaçlı karar verme modellerinde hedeflerin farklı görelî önemi ve önceliklerini dikkate almak gerekmektedir. Çünkü, bazı hedefler diğerlerinden daha önemlidir (Chen ve Tsai, 2001: 549). Hedeflerin aynı tercih önceliğinde yer aldığı modeller için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının birçoğunda bulanık hedeflerin ortak bir doyum derecesine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu durum, optimal çözümde bulanık hedeflerin her birinin aynı üyelik derecesini alması ile sonuçlanmaktadır. Tercih öncelikli modellerde karar vericinin hedefler arasındaki tercih önceliğini belirlemesi, bulanık hedeflerin farklı düzeylerde doyurulabilmesini olanaklı kılmaktadır (Özkan, 2003b: 210). Narasimhan (1980), hedeflerin bulanık ağırlıklarını belirtmek için “çok önemli”, “orta derecede önemli” gibi sözel terimler kullanmış ve önemi yansıtmak için üyelik derecesinin istenen aralıklarını belirleyerek uygun üyelik fonksiyonlarını tanımlamıştır. Ancak, bu yaklaşım, anlamsız bir çözüm kümesine neden olabilmektedir. Hannan (1981), hedeflerin görelî önemini yansıtmak için değişik hedefler için farklı ağırlıklar kullanmış ve ağırlıkları, amaç fonksiyonunun katsayıları olarak düşünmüştür (Chen ve Tsai, 2001: 549). Tiwari, Dharmar ve Rao (1986), hedeflerin gerçekleştirilebilme oranlarının belirlenmesinde *toplamsal model* yaklaşımını kullanmıştır. Bu yaklaşımda kural, öncelik düzeyi yüksek hedefler gerçekleştirilmedikçe düşük öncelikli hedeflerin dikkate alınmaması olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı fonksiyonun ne oranda gerçekleştiğini belirleyen λ yardımcı değişkeni yani karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi, her hedefte ayrı ayrı tanımlanmış $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k)$ ve bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilmeye çalışılmıştır:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k \\ & \mu_k(x) \in [0,1], \forall k, x \geq 0 \end{aligned} \quad (2.27)$$

Daha sonra Tiwari, Dharmar ve Rao (1987), bulanık hedefleri birleştirmek için *ağırlıklı toplamsal model* yaklaşımını önermiştir. Bu yaklaşımda ise, toplamsal model, hedeflerin görelî önemini yansıtmak amacıyla hedeflere farklı ağırlıklar atanarak uygulanmaktadır. Ağırlıklar, amaç fonksiyonunun katsayıları olarak düşünölmüştür:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= \sum_k w_k \mu_k \\ \mu_k(x) &\in [0,1], \forall k, x \geq 0 \\ w_k &= k. \text{ hedefin ağırlığı ve } \sum w_k = 1 \end{aligned} \quad (2.28)$$

Ancak, hedeflerin görelî önemi değiştiginde bu tür yaklaşımlar beklenmeyen sonuçlar vermiştir. Bu nedenle, Chen ve Tsai (2001), bütün bulanık hedefleri başarıma dereceleri toplamını maksimize etmek için toplamsal modeli kullanarak farklı önem ve tercih önceliklerini birleştiren bir yaklaşım önermiştir. Önceki çalışmaların aksine önerilen yaklaşım, bu hedeflerin görelî önemini açıkça yansıtmak için karar vericinin her bir bulanık hedefin istenen başarıma derecesini belirlemesine ve modele eklemesine izin vermiştir. Bu yaklaşım, hedeflerin görelî önemi değişse de karar vericinin beklentileri ile tutarlı bir başarıma dereceleri kümesi sağlayabilmektedir. Bulanık ağırlık veya önem ile ilgili olarak yazarlar, bulanık hedeflerin önemini anlatan sözel terimleri uygulamayı ve bulanık sayılar için sıralama yöntemlerinden birini kullandıktan sonra uygun gerçek değerleri, başarıma dereceleri olarak kullanmayı önermektedir.

Çok amaçlı karar verme problemleri, bulanık ortamda incelenirken iki farklı veri çeşidi kullanılmaktadır. Bunlardan biri, sübjektif tercihe dayalı üyelik fonksiyonları ile tanımlanması gereken bulanık veriler; diğeri ise, olayın oluş derecesi sübjektif veya objektif olabilen ve olabilirlik dağılımı ile tanımlanması gereken kesin olmayan verilerdir (Lai ve Hwang, 1996: 10).

2.2.2.1 Zimmermann Yaklaşımı

Çok amaçlı karar verme problemlerine bulanık küme teorisi, ilk defa Zimmermann (1978) tarafından uygulanmıştır. Zimmermann, model (2.26)'da verilen K amaç fonksiyonlu genel bir doğrusal çok amaçlı karar verme problemine BDP yaklaşımını şu şekilde uygulamıştır:

$$c_k^T x \underset{\sim}{\geq} b_0$$

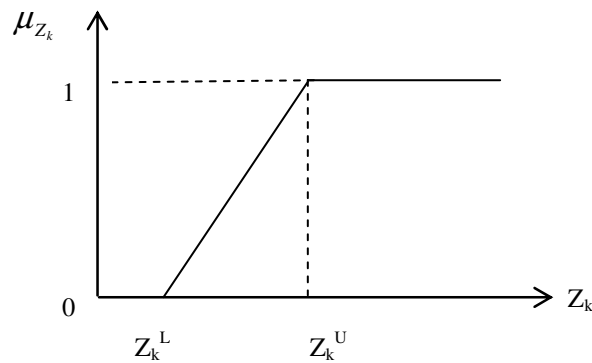
$$(Ax)_i \underset{\sim}{\leq} b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$x \geq 0 \quad (2.29)$$

Zimmermann, $Z_k(x) = c_k(x)$, $k = 1, 2, \dots, K$ olmak üzere bu problemin her bir amaç fonksiyonu için doğrusal bir üyelik fonksiyonu kullanmayı önermiştir. $b_0 = \max c_k^T x = Z_k^U$ ve $b_0 - p_0 = \min c_k^T x = Z_k^L$ olarak tanımlanması durumunda her bir amaç fonksiyonu için uygun doğrusal üyelik fonksiyonu şu şekilde belirlenmektedir:

$$\mu_{Z_k}(x) = \begin{cases} 1 & , Z_k(x) > Z_k^U \\ \frac{Z_k(x) - Z_k^L}{Z_k^U - Z_k^L} & , Z_k^L \leq Z_k(x) \leq Z_k^U \\ 0 & , Z_k(x) < Z_k^L \end{cases} \quad (2.30)$$

Burada Z_k^L ve Z_k^U , her bir amaç fonksiyonu için sırasıyla alt ve üst sınırlardır.



Şekil 2.14: Doğrusal üyelik fonksiyonu

Bulanık kısıtlayıcıların doğrusal üyelik fonksiyonları da aşağıda verildiği gibi tanımlanmaktadır:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 1 & , (Ax)_i < b_i \end{cases} \quad (2.31)$$

Doğrusal üyelik fonksiyonlarını oluşturduktan sonra Bellman ve Zadeh (1970)'in bulanık kavramını kullanarak ÇADP problemi şu şekilde formüle edilebilmektedir (Selim, 2006: 93-94):

$$\max_{x \geq 0} (\min\{\mu_{Z_k}(x), \mu_i(x)\}) \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.32)$$

Yardımcı değişken λ ile bu problem klâsik DP problemi olarak şu şekilde kısaltılabilmektedir:

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \mu_{Z_k}(x) \geq \lambda, \quad k = 1, 2, \dots, K \\ & \mu_i(x) \geq \lambda, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \lambda \in [0,1] \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (2.33)$$

veya,

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \frac{Z_k(x) - Z_k^L}{Z_k^U - Z_k^L} \geq \lambda, \quad k = 1, 2, \dots, K \\ & 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} \geq \lambda, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \lambda \in [0,1] \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (2.34)$$

2.2.2.2 Lai ve Hwang Yaklaşımı

Lai ve Hwang (1992a), kesin olmayan amaç ve/veya kısıt katsayıları ile bir DP problemini çözmek için yardımcı ÇADP modeli geliştirmiştir.

Durum 1: Kesin olmayan amaç katsayıları (\tilde{c})

$$\begin{aligned} & \max \tilde{Z}_k(x) = \tilde{C}_k x, \quad k = 1, 2, \dots, K \\ & \text{Kısıtlar} \\ & (Ax)_i \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (2.35)$$

$\tilde{C}_k = (\tilde{c}_{k1}, \dots, \tilde{c}_{kn})$ 'dir ve $\tilde{c}_{kj} = (c_{kj}^m, c_{kj}^p, c_{kj}^o)$, kesin olmayan katsayılar olup üçgensel olabilirlik dağılımına sahiptir. Şekil 2.15'te görüleceği gibi c_{kj}^m , en olası (muhtemel) değer; c_{kj}^p , en kötümser değer ve c_{kj}^o , en iyimses değerdir. Olabilirlik dağılımları (π_{kj}), olasılık dağılımlarına benzer şekilde bir olayın oluş derecesi olarak ifade edilebilmektedir. Normalize edildiğinde $\pi_{kj}(c_{kj}^m) = 1$ ve $\pi_{kj}(c_{kj}^p) = \pi_{kj}(c_{kj}^o) = 0$ 'dır. Model (2.35), şu şekilde de ifade edilebilmektedir:

$$\max_{x \in X} \sum_j (c_{kj}^m x_j, c_{kj}^p x_j, c_{kj}^o x_j), \forall k$$

veya,

$$\max_{x \in X} (C_k^m x, C_k^p x, C_k^o x), \forall k$$

(2.36)

$C_k^m = (c_{k1}^m, c_{k2}^m, \dots, c_{kn}^m)$, $C_k^p = (c_{k1}^p, c_{k2}^p, \dots, c_{kn}^p)$ ve $C_k^o = (c_{k1}^o, c_{k2}^o, \dots, c_{kn}^o)$ 'dir.

Amaçlar, aslında üçgensel olabilirlik dağılımları ile $((C_k^m x, C_k^p x, C_k^o x), \forall k)$ kesin olmayan fonksiyonlardır. Bu bulanık amaç, tam olarak üç köşe noktası ile $((C_k^m x, 1)$, $(C_k^p x, 0)$ ve $(C_k^o x, 0)$, $\forall k$) geometrik olarak tanımlanmaktadır. Böylece, bulanık amacı maksimize etme, bu üç kritik noktayı sağ tarafa öteleyerek elde edilebilmektedir. Kritik noktaların dikey koordinatları, 1 veya 0'da sabittir. Sadece göz önünde tutulması gereken üç yatay koordinattır. $(C_k^m x, C_k^p x, C_k^o x)$, her bir k için üç amaç fonksiyonunun bir vektörüdür. Olabilirlik dağılımının üçgensel şeklini (normal ve konveks) korumak için küçük bir değişiklik yapmak gerekmektedir. Bu üç amacı aynı anda maksimize etmek yerine, $C_k^m x$ maksimize, $(C_k^m x - C_k^p x)$ minimize ve $(C_k^o x - C_k^m x)$ maksimize edilmektedir. Son iki amaç fonksiyonu, ilk amaç fonksiyonu $C_k^m x$ 'ten görece uzaklıklardır. Bu durumda model (2.36), şu yardımcı problem haline gelmektedir:

$$\text{Min } Z_{k1}(x) = (C_k^m - C_k^p)x, \forall k$$

$$\text{Max } Z_{k2}(x) = C_k^m x, \forall k$$

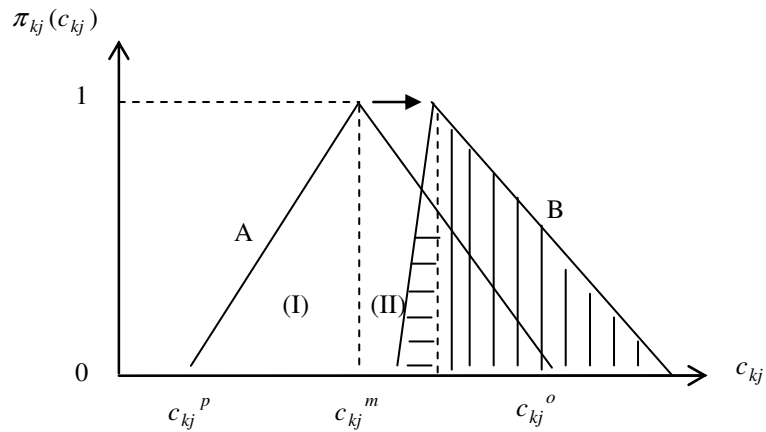
$$\text{Max } Z_{k3}(x) = (C_k^o - C_k^m)x, \forall k$$

Kısıtlar

$$(Ax)_i \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x \geq 0 \quad (2.37)$$

Model (2.37)'deki kesin ÇADP, kesin olmayan kârın (olabilirlik derecesi 1 noktasında olan) en olası değerlerini maksimize etmeye eşdeğerdir. Aynı zamanda olabilirlik dağılımlarının alt kısımları minimize edilmiştir. Bu, “daha düşük kâr elde etme riski”ne eşdeğer olan Şekil 2.15'teki bölge (I)'i minimize etmek anlamına gelmektedir. Burada olabilirlik dağılımlarının tercih edilen kısımları da maksimize edilmiştir. Bu da “daha yüksek kâr elde etme olabilirlikleri”ne eşdeğer olan bölge (II)'yi maksimize etmek anlamına gelmektedir. B'nin olabilirlik dağılımı, A'nın olabilirlik dağılımına tercih edilmektedir.



Şekil 2.15: \tilde{c}_{kj} 'nin üçgensel olabilirlik dağılımı

Model (2.37)'yi çözmek için fayda teorisi, HP, bulanık programlama veya etkileşimli yaklaşımlar gibi herhangi bir ÇADP yöntemi kullanılabilir. Lai ve Hwang (1992a), Zimmermann (1978)'in bulanık programlama yöntemini kullanmayı önermiştir.

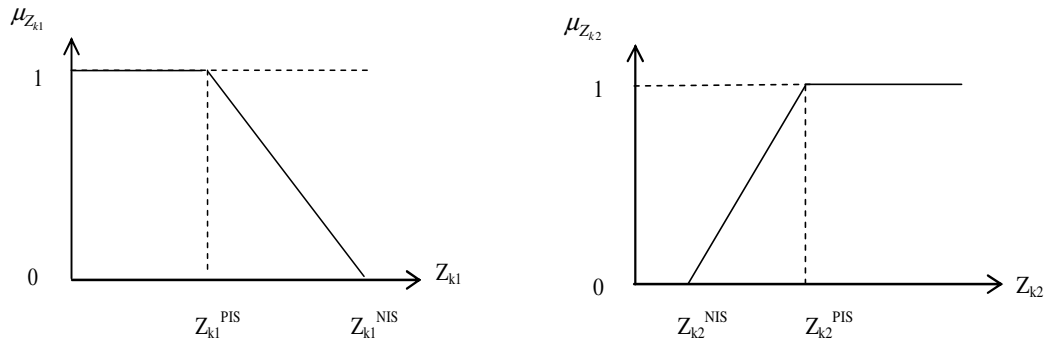
İlk olarak, üç amaç fonksiyonunun pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bunlar:

$$\begin{aligned}
Z_{k1}^{PIS} &= \min_{x \in X} (C_k^m - C_k^p)x & Z_{k1}^{NIS} &= \max_{x \in X} (C_k^m - C_k^p)x \\
Z_{k2}^{PIS} &= \max_{x \in X} C_k^m x & Z_{k2}^{NIS} &= \min_{x \in X} C_k^m x \\
Z_{k3}^{PIS} &= \max_{x \in X} (C_k^o - C_k^m)x & Z_{k3}^{NIS} &= \min_{x \in X} (C_k^o - C_k^m)x
\end{aligned} \tag{2.38}$$

Bu amaç fonksiyonlarının doğrusal üyelik fonksiyonları, şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\mu_{k1}(Z_{k1}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{k1}(x) < Z_{k1}^{PIS} \\ \frac{Z_{k1}^{NIS} - Z_{k1}(x)}{Z_{k1}^{NIS} - Z_{k1}^{PIS}} & , Z_{k1}^{PIS} \leq Z_{k1}(x) \leq Z_{k1}^{NIS} \\ 0 & , Z_{k1}(x) > Z_{k1}^{NIS} \end{cases} \tag{2.39}$$

$$\mu_{k2}(Z_{k2}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{k2}(x) > Z_{k2}^{PIS} \\ \frac{Z_{k2}(x) - Z_{k2}^{NIS}}{Z_{k2}^{PIS} - Z_{k2}^{NIS}} & , Z_{k2}^{NIS} \leq Z_{k2}(x) \leq Z_{k2}^{PIS} \\ 0 & , Z_{k2}(x) < Z_{k2}^{NIS} \end{cases} \tag{2.40}$$



Şekil 2.16: Z_{k1} ve Z_{k2} amaçlarının üyelik fonksiyonları

Z_{k1} ve Z_{k2} amaçlarının üyelik fonksiyonları, Şekil 2.16'da gösterilmektedir. $\mu_{Z_{k3}}$, $\mu_{Z_{k2}}$ ile aynıdır. Son olarak, Zimmermann'ın tek amaçlı DP modeli çözülmektedir:

$$\max \lambda$$

Kısıtlar

$$\mu_{kj}(Z_{kj}(x)) \geq \lambda, k = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, 3$$

$$(Ax)_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

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

$$x \geq 0 \quad (2.41)$$

Model (2.41)'in optimal çözümü, daha düşük kâr riskini minimize etme, en olası değeri ve daha yüksek kâr olabilirliğini maksimize etme stratejisi altında memnun edici bir çözüm sağlamaktadır. DP probleminin minimizasyonu için ise, şu problem ele alınmaktadır:

$$\text{Max } Z_{k1}(x) = (C_k^m - C_k^p)x, \forall k$$

$$\text{Min } Z_{k2}(x) = C_k^m x, \forall k$$

$$\text{Min } Z_{k3}(x) = (C_k^o - C_k^m)x, \forall k$$

Kısıtlar

$$(Ax)_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$x \geq 0 \quad (2.42)$$

Bu problem de yukarıda belirtilen aynı yaklaşım kullanılarak çözülebilmektedir.

Durum 2: Kesin olmayan amaç ve teknoloji katsayıları (\tilde{c} , \tilde{A})

$$\max \tilde{Z}_k(x) = \tilde{C}_k x, k = 1, 2, \dots, K$$

Kısıtlar

$$(\tilde{A}x)_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$x \geq 0 \quad (2.43)$$

$b_i = (b_1, \dots, b_m)^T$ kesin ancak, $\tilde{C}_k = (\tilde{c}_{k1}, \dots, \tilde{c}_{kn})$ ve $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]$ katsayıları kesin değildir ve sırasıyla $\tilde{c}_{kj} = (c_{kj}^m, c_{kj}^p, c_{kj}^o)$ ve $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^m, a_{ij}^p, a_{ij}^o)$ üçgensel olabilirlik dağılımına sahiptir. Lai ve Hwang (1992a), bulanık kaynakları sunmak için en olası, en kötümser ve en iyimser değerlerin ağırlıklı ortalamasını önermiştir. Yani, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ olmak üzere $w_1 A^m x + w_2 A^p x + w_3 A^o x$ 'tir.

Yardımcı kesin kısıtlar, $w_1 A^m x + w_2 A^p x + w_3 A^o x \leq b$ olmaktadır. Kabul edilebilir minimum olabilirlik düzeyi (β) verildiğinde yardımcı kesin kısıtlar, $w_1 A_\beta^m x + w_2 A_\beta^p x + w_3 A_\beta^o x \leq b$ olmaktadır. $w_1 = 4/6$ ve $w_2 = w_3 = 1/6$ varsayımı ile şu elde edilmektedir:

$$\text{Min } Z_{k1}(x) = (C_k^m - C_k^p)x, \forall k$$

$$\text{Max } Z_{k2}(x) = C_k^m x, \forall k$$

$$\text{Max } Z_{k3}(x) = (C_k^o - C_k^m)x, \forall k$$

Kısıtlar

$$\left\{ \frac{1}{6} (4A_\beta^m x + A_\beta^p x + A_\beta^o x) \right\} \leq b$$

$$x \geq 0 \quad (2.44)$$

A_β^m , A_β^p ve A_β^o arasındaki ağırlıklar, subjektif olarak değiştirilebilmektedir.

Yukarıdaki ağırlıklı ortalama değerlerini kullanma sebebi, A_β^p 'nin en kötümser ve A_β^o 'nin en iyimser olmasıdır. Bu iki sınır değeri, sınır çözümler sağlamaktadır. Bunun yanında, en olası değerler, genellikle en önemli olanlardır. Bu nedenle, daha fazla ağırlık atanması gerekmektedir. (2.44), doğrusal olmayan bir programlama modelidir. Ancak, eğer β başlangıçta karar verici tarafından verilirse (2.44), bir DP modeli olmaktadır. Böylece, karar vericiye $\beta = 0, 0,1, \dots, 0,9, 1$ ile bir çözüm kümesi sağlanabilmektedir.

Durum 3: Kesin olmayan amaç ve teknoloji katsayıları ve kesin olmayan kullanılabilir kaynaklar (\tilde{c} , \tilde{A} , \tilde{b})

$$\max \tilde{Z}_k(x) = \tilde{C}_k x, k = 1, 2, \dots, K$$

Kısıtlar

$$(\tilde{A}x)_i \leq \tilde{b}_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$x \geq 0 \quad (2.45)$$

$\tilde{C}_k = (\tilde{c}_{k1}, \dots, \tilde{c}_{kn})$, $\tilde{b} = (\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_m)^T$ ve $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]$ kesin değildir ve sırasıyla $\tilde{c}_{kj} = (c_{kj}^m, c_{kj}^p, c_{kj}^o)$, $\tilde{b}_i = (b_i^m, b_i^p, b_i^o)$ ve $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}^m, a_{ij}^p, a_{ij}^o)$ üçgensel olabilirlik dağılımına sahiptir. Model (2.45)'in kesin olmayan kısıtlarını çözmek için Ramik ve Rimanek (1985)'in bulanık sıralama kavramı kullanılabilmekte ve şu yardımcı eşitsizlik kısıtları elde edilmektedir:

$$(A^m)_\beta x \leq (b^m)_\beta, (A^p)_\beta x \leq (b^p)_\beta, (A^o)_\beta x \leq (b^o)_\beta \quad (2.46)$$

$(A^m)_\beta = [(a_{ij}^m)]_\beta$, $(b^m)_\beta = ((b_1^m)_\beta, \dots, (b_m^m)_\beta)^T$, $(A^p)_\beta = [(a_{ij}^p)]_\beta$, $(b^p)_\beta = ((b_1^p)_\beta, \dots, (b_m^p)_\beta)^T$, $(A^o)_\beta = [(a_{ij}^o)]_\beta$ ve $(b^o)_\beta = ((b_1^o)_\beta, \dots, (b_m^o)_\beta)^T$ 'dir. Kesin olmayan katsayılar üçgensel olabilirlik dağılımına sahip olduğunda kesin olmayan amaçlar için bulanık sıralama kavramı, Lai ve Hwang (1992a)'ın stratejisi ile birleştirilebilmekte ve şu yardımcı model elde edilmektedir:

$$\text{Min } Z_{k1}(x) = (C_k^m - C_k^p)x, \forall k$$

$$\text{Max } Z_{k2}(x) = C_k^m x, \forall k$$

$$\text{Max } Z_{k3}(x) = (C_k^o - C_k^m)x, \forall k$$

Kısıtlar

$$(A^m)_\beta x \leq (b^m)_\beta$$

$$(A^p)_\beta x \leq (b^p)_\beta$$

$$(A^o)_\beta x \leq (b^o)_\beta$$

$$x \geq 0$$

$$(2.47)$$

β verildiğinde (2.47), bir ÇADP modeli olmaktadır (Lai ve Hwang, 1996: 290-292).

2.3 BULANIK ORTAMDA BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI

Bütünleşik Üretim Planlaması (BÜP), belirli bir plânlama dönemi boyunca bir işletmenin üretim, taşeron, stok ve işgücü düzeylerini aynı anda belirlemeyi gerektirmektedir (Guiffrida ve Nagi, 1998: 49). BÜP'ün maliyeti, stok düzeylerini, işgücü düzeylerindeki değişiklikleri, fazla mesai ve taşeron kullanımını, üretim oranlarında değişiklikleri, makine ayarlama sayılarını, fabrika/personel boş zamanını

minimize etmek, kârı ve müşteri memnuniyetini maksimize etmek gibi çok sayıda birbiriyle çelişen amacı bulunmaktadır. “Yıllık toplam üretim maliyeti, 5 milyar veya daha az olmalı” veya “işgücü düzeylerindeki değişiklikler, 200 adam/saat veya daha az olmalı” gibi çelişen amaçların aynı anda bulanık istek düzeyleri çerçevesinde karar verici tarafından optimize edilmesi gerekmektedir (Wang and Liang, 2004: 18). Buna ek olarak bir BÜP probleminde kullanılan parametreler, genellikle veri eksikliği veya plânlama dönemi içinde gerekli verilere erişilememesi yüzünden belirsizdir. Örneğin, bir ürünün satış fiyatının, dolayısıyla, bu üründen elde edilecek birim kârın rekabet, maliyet vb. faktörlerle kesin olarak ifade edilmesi gerçekçi bulunmayabilmektedir. Diğer taraftan, belirli bir ürüne olan talep miktarı ve talebin mevsimlere göre değişimi kesin olarak bilinmemekte veya oluşan arızalar nedeniyle kesin bir şekilde makine kapasiteleri hesaplanamamaktadır. Ayrıca, istihdam edilen işgücünden fazla mesai yapması istenebileceği gibi, işgücünün de greve gitmesi söz konusu olabilmektedir. Ya da çeşitli sebeplerden dolayı aylara göre işgücü devri tam olarak öngörülememektedir (Ural, 2006: 2). Benzer olarak, istihdam edilen vasıfsız işgücünün belirli bir işte uzmanlaşması veya işgücünde tutarsızlıklar nedeniyle işgücü kısıtlayıcılarına ilişkin teknoloji katsayıları bulanıklık içerebilmektedir (Özkan, 2003b: 162). Bir taşerondan sağlanan ürünlerin miktarı ve kalitesi, istenilenden farklı olabilmektedir. Bu gibi durumlar, makine arızaları gibi üretimdeki belirsizliklerden, kalite sorunlarından, tedarikçi stok düzeyinin düşük olmasından veya daha farklı sebeplerden kaynaklanabilmektedir (Petrovic vd., 1999: 444). Özellikle, emek yoğun çalışılan sektörlerde işçilik ve makine kullanım sürelerini tespit etmek oldukça zor olabilmektedir. Psikolojik olgular, çevresel faktörler ve diğer insana bağlı etkenler, bu sürelerin değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Söz konusu değişkenliğin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikteki işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç-gereç bozulmaları bulunmaktadır. Bu tür belirsizlikleri yok sayarak bir BÜP problemi, tüm parametreleri kesinmiş gibi modellenmektense bulanık matematiksel programlama kullanılarak daha doğru ve daha gerçekçi şekilde çözülebilmektedir.

Bulanık küme teorisi, gerçek hayatta işletmelerde karşılaşılan belirsizliklerin tanımlanmasında kullanılabilir uygun ve yararlı bir araçtır. Bulanık matematiksel programlama ise, bulanık küme teorisine dayanan karar verme yaklaşımlarından

birisidir. Geliştirilen BÜP modellerinin çoğu, gerçek hayatta sıkça karşılaşılan belirsizlikleri göz ardı etmekte veya olasılıklı yaklaşımlar kullanarak yaklaşık olarak hesaba katmaya çalışmaktadır. Olasılık dağılımları, genellikle geçmişte kaydedilmiş durumlar incelenerek elde edilmektedir. Ancak, tutulan verilerin kesinliğinin tartışılır olduğu, eksik olduğu veya kaydedilmiş veri bulunmadığı durumlarda, standart olasılıklı mantığa dayalı yöntemlerin kullanılması uygun değildir. Bu durumda kesin olmayan parametreler, deneyimlere ve yönetsel muhakemelere dayanarak tayin edilebilmektedir. Genellikle konuyla ilgili uzman, bir parametreye ilişkin kesin bir değer aralığı söyleyebilmekte ve söz konusu parametrenin, o aralıkta en büyük olasılıkla hangi değeri alacağına ilişkin bir sezgiye sahip olabilmektedir. Böyle durumlarda, bulanık mantık yaklaşımının kullanılması çok daha uygundur (Petrovic vd., 1999: 444-445). Bulanık mantığı kullanmanın en önemli faydası, gerçeğe daha yakın modellerin oluşturulmasına olanak vermesidir. Ayrıca, bulanık mantık, veri toplama ve işleme maliyetlerini düşürme imkânı sağlamaktadır (Çubukçu, 2008: 18). Bunun yanı sıra BÜP, çok amaçlı bir karar verme problemi olmasına rağmen, BÜP modellerinin büyük bir kısmı tek amaçlıdır. Bu, çok amaçlı karar verme problemlerini çözmenin zorluğundan kaynaklanmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için çeşitli maliyet amaçları tek bir amaç olarak birleştirilmektedir. Pek çok araştırmacı ve uygulayıcı, gerçek hayattaki problemlerin çok amaçlılığının farkında olup bu durumu dikkate alan bir model geliştirmek istemektedir. BÜP problemlerini etkin bir şekilde çözmenin yolu, çok sayıda amacı aynı anda göz önünde bulundurmadır.

Bu çalışma kapsamında hem veri toplama ve işleme maliyetlerini azaltmak hem de daha gerçekçi çözümler elde etmek için bir üretim işletmesine ait bütünleşik üretim plâni, bulanık ortamda karar vermeyi sağlayan modellerden biri olan Lai ve Hwang (1992a)'ın Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (ODP) modeli esas alınarak çözülmeye çalışılmıştır. Talep, işgücü/makine kapasitesi ve ilgili maliyet katsayıları bulanıklık varsayımı altında belirlenmiştir. Karar verme sürecini kolaylaştırmak için etkileşimli bir sistem oluşturulmuştur. Böylece, karar verici, memnun edici bir çözüm bulana kadar etkileşimli olarak, amaç ve kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonlarını değiştirebilmiştir.

2.3.1 Bulanık Bütünleşik Üretim Plânlaması ile İlgili Literatür Taraması

Literatürde Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP)'na ilişkin birçok çalışma bulunmasına rağmen belirsizlik faktörünün dikkate alındığı çalışma sayısı oldukça azdır. Oysa, pek çok durumda mevcut veriler sınırlı olmakta ve kesin olarak elde edilememektedir.

Rinks (1981), BÜP konusunda teori ve pratik arasında bir boşluk olduğunu, yöneticilerin matematiksel BÜP modellerinden ziyade kendi sezgisel karar kurallarını kullanmayı tercih ettiklerini belirtmiştir. Bu nedenle, Rinks (1981), bulanık koşullu “eğer-o halde (if-then)” anlatımlarını kullanarak bulanık BÜP için algoritmalar geliştirmiştir. Çalışmada BÜP ile ilgili sözel terim kümesi belirlenmiş ve yönetici karar kurallarını düzenlemek için kullanılmıştır. Üstel üyelik fonksiyonları uyarlanarak algoritmalarda kullanılmıştır. Bulanık algoritma sistemi, klâsik Holt, Modigliani, Muth ve Simon (HMMS) boya işletmesi veri kümesine uygulanmıştır. Bulanık BÜP algoritması ile oluşturulan toplam maliyet çözümü, HMMS'nin DKK çözümünü % 5 aşmıştır. Bulanık BÜP modelinin klâsik matematiksel BÜP modellerinden üstünlüğü, bu modelin, yöneticilerin yaklaşık düşünme yeteneklerini dikkate almasından, formülasyon ve uygulama kolaylığından kaynaklanmaktadır. Değişen maliyet yapıları altında bulanık BÜP modelinin sağlamlığı, Rinks (1982a)'in çalışmasında incelenmiştir. 40 üretim oranı ve işgücü kuralının detaylı kümesi, Rinks (1982b)'in çalışmasında oluşturulmuştur.

Türkşen (1988a,b), BÜP için sözel üretim kurallarını belirlerken Rinks tarafından önerilen “nokta değerli” üyelik fonksiyonları yerine “aralık değerli” üyelik fonksiyonlarını kullanmayı savunmuştur. HMMS veri kümesine uygulandığında aralık değerli üyelik yaklaşımı, DKK çözümüne kıyasla % 3 daha fazla toplam maliyet çözümü vermiştir. Rinks tarafından belirlenen orijinal 40 kurala karşılık, 27 kuralı içeren daha az kural kullanarak yapılan bu analiz, güçlü sonuçlar sağlamıştır.

Hintz ve Zimmerman (1989), esnek üretim sistemlerinde BÜP'ü çözmek için BDP ve yaklaşık düşünmeyi temel alan bir yaklaşım sunmuştur.

Lee (1990), BÜP'te bulanık küme teorisinin olası uygulamalarını araştırmıştır. Farklı zaman periyotlarında bulanık amaç, bulanık işgücü düzeyleri ve bulanık talepler altında tek tip ürün için bulanık BÜP problemlerini tartışmıştır. Çalışmada işgücü düzeyi ve ürün talepleri, bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Bulanık amaç ve bulanık

kısıtlarla bir DP modeli geliştirilmiş ve farklı düzeylerde bulanık çözümler parametrik programlama teknolojisiyle başarılabilmektedir.

Ward, Ralston ve Davis (1992), Rinks'in bulanık BÜP sistemine dayalı bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Program, Rinks'in karar kurallarını, üyelik fonksiyonlarını ve HMMS verilerini içermektedir. Yazarlar, programı kullanarak Rinks (1981)'in bulduğu sonuçlara çok yakın sonuçlar elde etmiştir. Daha sonra üçgensel ve üstel üyelik fonksiyonları ile genişletilmiş bir kural tabanı içerecek şekilde programda değişiklik yapılmıştır. Üyelik fonksiyonları değiştirildiğinde, % 2-4,5 maliyet artışları meydana gelmiştir. Kural tabanını arttırmak, Rinks'in bulduğu sonuca yakın toplam maliyet çözümleri vermiştir.

Gen, Tsujimura ve Ida (1992), üçgensel bulanık sayılarla sunulan amaç fonksiyonu katsayıları, teknoloji katsayıları ve kaynak kısıtları ile BÜP için çok amaçlı bulanık bir model önermiştir. Çalışmada bulanık çok amaçlı BÜP modelini kesin bir modele dönüştürmek için bir dönüşüm işlemi sunulmuştur. Dönüşüm işleminin ve algoritmanın, altı aylık bir plânlama dönemini içeren sayısal bir örneğe uygulanarak iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Toplam üretim maliyetini, stok ve sipariş erteleme maliyetlerini, işgücü düzeyinde değişiklikleri minimize eden çok sayıda amaç kullanılmıştır.

Lee (1993), BÜP problemlerini çözmek için bir etkileşimli BDP modeli önermiştir. Ancak model, yalnızca bulanık kısıtlar ve toplam maliyet için tek bir amaç fonksiyonu durumunu dikkate almıştır.

Miller, Leung, Azhar ve Sargent (1997), bir taze domates paketleme şirketinin üretim plânını belirlemek için öncelikle deterministik bir DP modeli, daha sonra da belirsizlikleri dikkate alarak BDP modeli oluşturmuş ve bu iki modelden elde edilen maliyetleri karşılaştırmıştır. DP'den elde edilen maliyet, daha yüksek çıkmıştır. DP'deki kesin isteklerin gerçekçi olmayan optimal çözüme neden olurken, bulanık programlamanın karar vericinin algıladığı gibi bazı kaynak kısıtlamalarını esneterek arzu edilir bir çözüm bulmaya çalıştığı gözlenmiştir.

Wang ve Fang (1997), bulanık amaç ve kaynaklarla doğrusal BÜP için karar sürecini taklit eden genetik algoritmaya dayalı bir yaklaşım önermiştir. Tek kesin bir optimal çözüm yerine, önerilen yaklaşım ile kabul edilebilir bir düzeyde kesin olmayan çözümler kümesi elde edilmiştir. Daha sonra karar vericiye bu çözüm kümesinden tercih

ettiği çözümü seçme imkânı verilmiştir. Bu çalışmada, girişimci yöneticilerin bu yeni yaklaşımla nasıl daha fazla memnun olabileceği örneklendirilmiştir.

Hsieh ve Wu (2000), bilgisayarlı üretim yönetim sisteminde belirsizliğin plânlama sonuçlarını nasıl etkileyeceğini incelemiştir. Belirsizliğin olduğu BÜP problemi için ODP modelini önermiştir. Önerilen model, bir üretim sistemindeki belirsizlikleri yeterince tanımlayabilmekte ve böylece, bilgisayarlı üretim yönetim sistemi, gerçek bir sistemdeki kesin olmayan özellik türlerine uyarlanabilmektedir. Karşılaştırma için, Holt, Modigliani ve Simon (HMS) tarafından verilen klâsik BÜP problemi, Hanssmann ve Hess (HH)'in kesin modeli ve önerilen olabirlikçi model kullanılarak çözülmüştür. Maliyet katsayılarını ve talebi değiştirmek, hem olabirlikçi hem de kesin HH yaklaşımlarıyla gerçek hayattaki belirsizliklerin simülasyonuna ve üretim plânlarında belirsizliklerin etkisini değerlendirmeye imkân vermiştir. Deneysel sonuçlar, olabirlikçi modelin kesin HH modeli ile elde edilen sonuçlara göre daha iyi plânlar sağladığını göstermiştir.

Tang, Wang ve Fung (2000), bulanık talep ve bulanık kapasitelerle çok ürünlü BÜP problemlerini modellemede yeni bir yaklaşım sunmuştur. İncelenen problemin amacı, ikinci dereceden üretim maliyetleri ve doğrusal stok bulundurma maliyetlerinin toplamını minimize etmektir. Bu problem, bulanık amaçlar ve bulanık kısıtlarla bulanık ikinci dereceden bir programlama olarak modellenmiş ve model için bulanık çözüm yaklaşımı önerilmiştir.

Wang ve Fang (2000), piyasa talepleri ve birim taşeron maliyetlerinin bulanık olduğu tek amaçlı bir BÜP problemini çözmek için yeni bir BDP modeli sunmuştur. Çalışmada, orta dönemli üretim plânlamasında klâsik matematiksel programlama yöntemlerini uygulamanın sınırlılıkları da tartışılmıştır. Ayrıca, uzlaşmacı bir çözüm sağlamak için etkileşimli bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Son olarak, çözüm yönteminin etkililiğini kanıtlamak için Masud ve Hwang (1980)'in çalışmasındaki veri kümesinin ilk alt ayı kullanılarak sayısal bir örnek sunulmuştur. Önerilen yöntem, karar vericiye mevcut bilgisine göre problemi modelleme imkânı vermiştir. Önerilen model, gerçek bir durumu yansıtmak açısından bulanık olmayan problem formülasyonundan çok daha uygun olduğu için bilgi maliyetleri genel olarak azalmıştır.

Wang ve Fang (2001), bir önceki çalışmalarını genişleterek ürün fiyatı, birim taşeron maliyeti, işgücü düzeyi, üretim kapasitesi ve piyasa talebinin belirsiz olduğu çok amaçlı bir BÜP problemini çözmek için yeni bir BDP modeli sunmuştur.

Hsu ve Wang (2001), bir üretim ortamında belirsiz amaç ve talebi içeren üretim plânlama kararlarını yönetmek için Lai ve Hwang (1992a)'ın ODP modelini uygulamıştır. Fiyat dalgalanmaları, malzeme eskimesi ve sermayenin zaman değeri nedeniyle maliyet belirsizliği, modelin amaç fonksiyonunda dikkate alınmıştır. Üç kesin amaç, bulanık amaç fonksiyonunun yerini almıştır. Bu amaçlar; en olası maliyeti minimize etmek, daha düşük maliyet elde etme olasılığını maksimize etmek ve daha yüksek maliyet elde etme riskini minimize etmek olarak ifade edilmiştir. Daha sonra memnun edici genel bir uzlaşmacı çözümü başarmak için Zimmermann'ın bulanık programlama yöntemi uygulanmıştır. Son olarak, modeli açıklamak için bir örnek verilmiştir.

Lin ve Liang (2002), BÜP karar problemi için bir BÇADP modeli sunmuştur. Önerilen model; çok amaçlı fonksiyonları, daha esnek karar yöntemini ve daha geniş karar bilgisini içermektedir. Karar vericinin memnuniyet düzeyini de ölçebildiği için bu modelin diğer BÜP modellerinden daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Tang, Fung ve Yung (2003), bulanık talepler ve bulanık kapasitelerle çok ürünlü BÜP problemleri için bir formülasyon ve simülasyon analizine odaklanan bir yaklaşım sunmuştur. Yazarlar, bulanık optimizasyon modelleri ve yaklaşımlarının temel olarak, tek bir ürün tipini göz önünde bulundurduğuna ve uygulamalı iş ortamında finansal kısıtları gözden kaçırdıklarına dikkat çekmiştir. Fernando ve Verissimo (2000), BÜP'te finansal faktörleri dikkate almıştır. Genelde BÜP, sadece makine ve işgücü gibi üretim kapasiteleriyle sınırlanmayıp sermaye düzeyi gibi finansal kısıtlarla da sınırlanır ve tüm bu kısıtlar, BÜP'te göz önünde bulundurulmalıdır. Bulanık ortamda üretim-stok denge eşitliği için uygun bir formülasyon ve yorumlama yaklaşımı olmamasına rağmen bu eşitliği ele almak, teori ve pratikte BÜP için gereklidir. Bu çalışmada bulanık üretim-stok dengesi eşitliğinin, bir esnek eşitlik olarak formüle edilmesi ve piyasa taleplerini karşılamanın olasılık düzeyi olarak yorumlanabilmesi, daha anlamlı ve kabul edilebilir olduğu için bulanık çok ürünlü BÜP problemleri, parametrik programlama modeline dönüştürülmüştür. Modeli örneklendirmek ve optimal BÜP üzerinde değişik parametrelerin performans ve etkisini kanıtlamak için uygulamalı örneğin

simülasyonuna başvurulmuştur. Önerilen formülasyon ve simülasyon analizi, karar vericinin daha uygun ve tercih edilir bir bütünleşik plân hazırlamasına yardımcı olmuştur.

Fung, Tang ve Wang (2003), bulanık talep, bulanık kapasite ve finansal kısıtlarla çok ürünlü BÜP modelini ortaya koymuştur. Bulanık talep, bulanık eşitlik ve bulanık kapasiteler ile tek dönem için bulanık bir üretim-stok denge eşitliği ve bir dinamik denge eşitliği, bulanık eşitlikler olarak formüle edilmiştir. Bunlar, piyasa taleplerini karşılamanın olabirlikçi düzeylerini göstermektedir. Bu formülasyon ve açıklamayı kullanarak bulanık çok ürünlü bir BÜP modeli geliştirilmiş ve parametrik programlama, en iyi denge ve etkileşimli teknikler kullanılarak elde edilen çözümler, değişik karar verme öncelikleri altında farklı senaryoları sağlamak için sunulmuştur. Önerilen model ve teknikleri kullanarak ilk olarak, karar verici, piyasa talepleri ve mevcut üretim kapasitelerine göre ortak bir memnuniyet düzeyi ile veya tercih edilen olabirlik düzeyi ve memnuniyet düzeylerinin farklı kombinasyonları ile tercih edilen üretim plânını seçebilmiştir. İkinci olarak, optimal çözümün elde edilen yapısı, karar vericiye BÜP'te yardımcı olabirlikmiştir.

Dai, Fan ve Sun (2003), endüstriyel BÜP uygulamalarında belirsizlikleri ve kesin olmayan bilgiyi yönetmek için hedef, işgücü düzeyi ve talebin belirsiz olduğu bir üretim ortamında tek amaçlı bir BÜP problemi için bir BDP modeli önermiştir. Bu çalışma ile üretim plânlamasında stokastik faktörlerin parametreleri güvenilir ve kesin değilse BDP'nin BÜP'te büyük avantaj sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca, bu çalışma, BÜP'ün etkinlik ve etkililiğinde müşteri hizmet düzeyi ve hizmet kapasitesinin birbiriyle ilgili etkilerinin önemli olduğunu ve BÜP uygulamalarında dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Selim, Araz ve Özkarahan (2004), çok dönemli, çok ürünlü ve çok üretim merkezli bütünleşik bir üretim/dağıtım modeli geliştirmiştir. Bu model, kapasite ve stok denge kısıtları altında üretim, dağıtım ve stok bulundurma maliyetlerini minimize eden çok amaçlı bir yapıdadır. Karar vericilerin kesin olmayan hedef değerlerini modele dâhil edebilmek amacıyla BHP yaklaşımları kullanılmıştır. Bulanık modelleme yaklaşımlarının çözüm karmaşıklığı ve modelleme esnekliği açısından üstünlüğünü ortaya koymak amacıyla model; DP, HP ve BHP yaklaşımları kullanılarak çözülmüştür.

Çalışmada sunulan uygulama sonuçları, BHP yaklaşımının diğer yaklaşımlara göre daha kısa sürede çözüm sağladığını göstermiştir.

Baykasoğlu, Dereli, Göçken ve Daş (2004), bulanık BÜP problemi için çok amaçlı tabu arama algoritmasına dayalı bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Yöntemin uygulaması, Masud ve Hwang (1980)'in orijinal BÜP modeli üzerine kurulmuştur. Model, taşeron seçimi ve kurulum kararı gibi ek kısıtlarla genişletilmiştir. Bulanık hedefler ile BÜP problemi, üç değişik tabu arama algoritması ile çözülmüştür. Bu algoritmalar, bulanık modeli herhangi bir dönüşüme gerek duymadan doğrudan çözebilmiştir. Problemin çözümü için, her bir tabu arama algoritması için MOAPPS 1.0 (Multiple Objective Aggregate Production Planning Software) bilgisayar programı revize edilmiş ve MOAPPS 1.0'ın üç değişik versiyonu oluşturulmuştur. Ayrıca, bu çalışmaya ek olarak, Baykasoğlu ve Gökçen (2006), çözüm kalitesi üzerinde tabu arama parametrelerinin etkilerini analiz etmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, çok amaçlı bir BÜP problemini BHP ile modelleyerek tabu arama algoritması ile doğrudan çözmenin alternatif bir çözüm mekanizması olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Phruksaphanrat ve Ohsato (2004), bulanık hedeflerle çok ürünlü ve çok dönemli BÜP için bir doğrusal çözüm yöntemi sunmuştur. Çalışmada, BÜP'ün iki amacı olan kârın maksimizasyonu ve işgücü düzeyindeki değişimlerin minimizasyonu, bulanık hedeflerle tanımlanmıştır. Bulanık hedefler, doğrudan karar vericiden veya sürekli konkav (içbükey) üyelik fonksiyonlarının doğrusal yakınlaştırmasından elde edilen konkav çok yüzlü üyelik fonksiyonları ile ölçülmüştür. Tahmin edilen talepler de bulanık olarak kabul edilmiştir. Bunları sunmak için yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Konveks çok yüzlü ceza fonksiyonlarını formüle etmede avantajları gösterilen doğrusal koordinasyon modeli, bulanık hedefler ve taleplerle çok amaçlı bir BÜP problemini, sadece doğrusal eşitlikleri kullanarak kesin optimizasyon problemine dönüştürmek için kullanılmış ve karar vericinin isteklerine yakın memnun edici etkin bir çözüm elde edilebilmiştir. Bu model, mevcut DP çözücüleri ile kolaylıkla çözülebilmektedir. Önerilen etkin doğrusal koordinasyon modeli, gerçekçi bir problemi yansıtması açısından bulanık olmayan formülasyonlardan daha uygundur. Ayrıca, karar vericinin tercih bilgisi, mevcut BÜP problemlerinde kullanılmayan konkav çok yüzlü üyelik fonksiyonlarını kullanarak açıkça gösterilebilmiştir. Son olarak, sayısal bir örnek gösterilmiştir.

Wang ve Liang (2004), bulanık ortamda çok ürünlü BÜP karar problemini çözmek için parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları ile BÇADP'yi geliştirmiştir. Önerilen model; stok düzeyi, işgücü düzeyleri, kapasite, depo alanı ve paranın zaman değerini dikkate alarak toplam üretim maliyetleri, stok bulundurma ve sipariş erteleme maliyetleri ve işgücü düzeylerindeki değişim oranlarını minimize etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, BÜP problemi için önerilen modelin uygunluğu bir örnekle kanıtlanmış ve bunun avantajları tartışılmıştır. Bu model, etkileşimli bir uzlaşmacı çözüm ve karar verici için tam bir memnuniyet sağlamıştır. Diğer BÜP modellerine karşılık, önerilen modelin bazı önemli özellikleri sunulmuştur.

Wang ve Liang (2005a), bulanık ortamda BÜP karar problemini çözmek için yeni bir etkileşimli BÇADP modeli önermiştir. Önerilen model, stok düzeyleri, işgücü düzeyleri, makine kapasitesi, depo alanı ve paranın zaman değerini göz önünde bulundurarak, toplam üretim maliyetlerini, stok bulundurma ve sipariş erteleme maliyetlerini ve işgücü düzeylerinde değişikliklerin maliyetlerini minimize etmiştir. Çalışmada verilen uygulama örneği, BÜP problemi için önerilen modelin uygulanabilirliğini kanıtlamıştır. Önerilen model, birden çok bulanık hedef değeri ile etkin bir uzlaşmacı çözüm ve karar vericinin toplam memnuniyet düzeylerini sağlamıştır. Ayrıca, önerilen model, karar verme sürecini kolaylaştırmak için sistematik bir çatı sağlamış ve karar vericiye, memnun edici bir çözüm elde edene kadar bulanık veriler ve ilgili parametreler üzerinde etkileşimli olarak değişiklikler yapma olanağı vermiştir. Çalışmada, önerilen modeli diğer BÜP modellerinden ayıran önemli özelliklere de yer verilmiştir.

Wang ve Liang (2005b), belirsiz talep tahmini, ilgili üretim maliyetleri ve kapasite ile çok ürünlü BÜP problemlerini çözmek için Lai ve Hwang (1992a)'ın yaklaşımını kullanarak yeni bir Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) yaklaşımı önermiştir. Önerilen yaklaşım, toplam maliyeti minimize etmeye çalışmıştır. Bu yaklaşım, aynı anda belirsiz toplam maliyetin en olası değerini minimize etme, daha düşük toplam maliyet elde etme olabilirliğini maksimize etme ve daha yüksek toplam maliyet elde etme riskini minimize etme stratejisini kullanmıştır. Çalışmada verilen örnek, gerçek BÜP karar problemlerine önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini kanıtlamıştır. Sonuç olarak, önerilen EODP yaklaşımı, etkili bir uzlaşmacı çözüm ve belirlenen hedef değerleri ile karar vericinin toplam memnuniyet derecesini sağlamıştır.

Çalışmada ayrıca, önerilen EODP yaklaşımını, diğer BÜP karar modellerinden ayıran birçok önemli yönetim uygulamalarına ve özelliklerine de yer verilmiştir.

Yan, Zhao ve Cao (2005), bulanık birim kâr, bulanık kapasite ve bulanık talepler ile üretim plânlama problemlerini araştırmıştır. Bulanık üretim plânlama problemleri için güvenilirlik ölçümüne dayalı bir bulanık programlama modeli kurulmuş ve modeli çözmek için genetik algoritmaya dayalı bir bulanık simülasyon geliştirilmiştir. Son olarak, algoritmanın etkililiği, sayısal bir örnek ile açıklanmıştır.

Ertay (2006), BÜP problemlerine BÇADP uygulaması için etkileşimli bir HP yaklaşımını dikkate almıştır. Çalışmada, çoklu bulanık hedef değerleri ile karar vericinin toplam memnuniyet derecesini belirlemek ve karar vericiye tam olarak memnun edici çözümler sunmak amaçlanmıştır.

Aliev, Fazlollahi, Guirimov ve Aliev (2007), tedarik zincirinde çok dönemli ve çok ürünlü bütünleşik üretim ve dağıtım plânlaması için belirsiz plânlama verileri ile bir model geliştirmiştir. Model, bulanık programlama ile formüle edilmiş ve çözüm genetik optimizasyon ile sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin etkin olduğunu göstermiştir.

Liang (2007a), belirsiz ortamda üçgenel olabilirlik dağılımlarıyla ifade edilen çok sayıda belirsiz amaç ve maliyet katsayıları ile çok ürünlü ve çok dönemli BÜP problemlerine Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) yaklaşımı sunmuştur. Olabilirlikçi yaklaşımların temel sınırlılığı, toplam maliyeti minimize eden veya toplam kârı maksimize eden sadece tek bir belirsiz amacı göz önünde bulundurmasıdır. Bu çalışmada, belirsiz çok amaçlı BÜP modeli; belirsiz talep, maliyet katsayıları, mevcut kaynaklar ve kapasitelerle toplam üretim maliyetleri ve işgücü düzeyindeki değişiklikleri minimize etmek için araştırılmıştır. Bu çelişen amaçların belirsiz istek düzeyleri çerçevesinde karar verici tarafından aynı anda çözülmesi istenmiştir. Ayrıca, önerilen EODP yaklaşımı, memnun edici bir çözüm elde edilene kadar karar vericinin etkileşimli olarak belirsiz veriyi ve ilgili parametreleri değiştirmesine imkân tanıyan, karar verme sürecine yardım eden sistematik bir çatı sağlamıştır. Önerilen yaklaşımın çok amaçlı BÜP problemine uygulanabilirliği bir örnekle kanıtlanmıştır.

Liang (2008), bütünleştirilmiş çok ürünlü ve çok dönemli üretim/dağıtım plânlama karar problemlerini çözmek için parçalı doğrusal üyelik fonksiyonu ile

BÇADP modeli geliştirmiştir. Bu model, her bir fabrikadaki stok düzeyleri, mevcut makine kapasitesi ve işgücü düzeyleri ile her bir gönderim yerindeki tahmini talep, mevcut boş alan ve toplam bütçe ile ilgili toplam maliyet ve toplam dağıtım zamanını aynı anda minimize etmeye çalışmaktadır. Önerilen model, bulanık karar verme sürecini kolaylaştıran sistematik bir çatı sağlamıştır. Bu süreç, karar vericinin tercih ettiği memnun edici bir çözüm elde etmek için çözüm yöntemi boyunca arama yönünü etkileşimli olarak düzenlemesine imkân vermiştir. Ayrıca, karar verici önerilen modelde paranın zaman değerini dikkat alarak her bir maliyet sınıfındaki değeri hesaplamıştır. Son olarak, önerilen modelin belirsiz ortamlarda bir tedarik zincirinde bütünleştirilmiş üretim/dağıtım plânlama karar problemine uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Mezghani, Loukil ve Aouni (2008), bulanık amaçlar ile belirsiz bir ortamda BÜP problemi çözmek için genel bir HP modeli önermiştir. Hedefler ve teknolojik parametreler, belirsizdir ve aralık olarak ifade edilmektedir. Karar vericinin önceliklerini açıkça tamamlamak için memnuniyet (satisfaction) fonksiyonları kavramından yararlanılmıştır. Önerilen modeli incelemek için literatürde Dai, Fun ve Sun (2003)'ün çalışmasından alınan sayısal örnek tanımlanmıştır. Yapılan karşılaştırma, bu çalışmanın daha yüksek memnuniyet düzeyi ile bir üretim plâni sağladığını göstermiştir. Önerilen modelin bir avantajı da esnekliği ve diğer problemlere de uygulanabilir olmasıdır.

Zhu (2008), BÜP'ü indirilmiş fiyatlama politikası ile birleştirerek kısa dönemli ürünlerin gücünü arttırmak için bir yol önermiştir. Bu çalışmada önerilen BÜP-İndirilmiş Fiyatlama Politikası Modeli, bulanık amaç ve bulanık kısıtlarla bulanık doğrusal olmayan programlamadır.

Yenradee, Kitpipit, Thangthong ve Charoenpunthong (2008), bir şeker fabrikası için uygun bir BÜP modeli geliştirmiştir. Şekerin hammaddesi olan şeker kamışının fiyat ve arzı arasındaki ilişki belirsiz olduğu için kâr; en olası, en kötümser ve en iyimser olmak üzere üçgenel bulanık sayılar olarak tahmin edilmiştir. Aynı anda bu kâr değerlerini maksimize ederek fabrika yönetiminin tercihlerini karşılayan uzlaşmacı çözümleri belirlemek için bulanık programlama yöntemi önerilmiştir.

Lin (2008), bulanık amaçlar ile çok ürünlü BÜP problemlerini modellemek için bir HP yaklaşımı sunmuştur. Önerilen model, çok sayıda fabrikası olan uluslararası bir işletmeye uygulanmıştır. Modeldeki üç amaç; toplam kârı maksimize etmek, stok

düzyini minimize etmek ve işgücü düzeyindeki değişim maliyetini minimize etmektir. Hedeflerin hiyerarşik düzeyleri, bulanık olarak belirlenmiş ve hem hedeflerin başarıım dereceleri hem de bulanık önem ilişkilerinin memnuniyet derecelerini dikkate alan toplamsal fonksiyon kullanılmıştır.

Jamalnia ve Soukhakian (2009), bulanık ortamda çok ürünli çok dönemli bir BÜP için farklı hedef öncelikleri ile bir karma (hem nitel ve hem nicel amaçları içeren) bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmiştir. Modelin doğrusal olmamasına yol açan öğrenme eğrisi etkileri de dikkate alınmıştır. Etkileşimli karar verme süreci kullanılarak önerilen model; stok düzeyi, talep, işgücü düzeyi, makine kapasitesi ve depo boşluğunu dikkate alarak toplam üretim maliyetlerini, stok bulundurma ve sipariş erteleme maliyetlerini, işgücünde değişikliklerin maliyetlerini minimize etmeye (nicel amaçlar) ve toplam müşteri memnuniyetini maksimize etmeye (nitel amaçlar) çalışmıştır. Son olarak, karma bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli, tüm amaçların başarıım derecelerinin toplamını maksimize eden eşdeğer tek amaçlı kesin doğrusal olmayan programlamaya çevrilmiştir. Bu kesin doğrusal olmayan programlama problemini çözmek için GENOCOP III programı kullanılmıştır. Çalışmada yapılan uygulama, önerilen modelin pratik BÜP karar problemlerine uygunluğunu kanıtlamıştır.

Liang, Yang, Chen ve Shen (2009), bulanık hedefler ve bulanık talep ile çok ürünli ve çok dönemli BÜP problemlerini çözmek için iki aşamalı bulanık matematiksel programlama yaklaşımını kullanmıştır. Elde edilen BÇADP modeli; stok düzeyleri, makine kapasitesi ve işgücü düzeyleri, boş alan ve mevcut bütçe kısıtı ile toplam üretim maliyetlerini, toplam işgücü değişim oranlarını, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerini aynı anda minimize etmeye çalışmıştır. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliği, bir örnekle gösterilmiştir.

Liang ve Cheng (2009), tedarik zincirlerinde her bir üretim maliyet sınıfı için paranın zaman değerini dikkate alan çok ürünli ve çok dönemli bütünleştirilmiş üretim/dağıtım plânlama karar problemlerine bulanık kümeleri uygulamıştır. Önerilen BÇADP modeli, toplam maliyet ve toplam dağıtım zamanını aynı anda minimize etmeye çalışmaktadır. Çalışmada önerilen model, gerçek bir üretim/dağıtım plânlama karar problemlerine uygulanmıştır. Ayrıca, hesapsal analize ve mevcut üretim/dağıtım plânlama karar yöntemlerine dayalı bazı yönetim uygulamaları sunulmuştur. Önerilen

modelin temel avantajı, belirsiz bir ortamda çok ürünlü ve çok dönemli tedarik zincirlerinde çok amaçlı üretim/dağıtım plânlama karar problemlerini çözmek için bulanık karar vermeyi kolaylaştıran sistematik bir çatı sunmasıdır. Bu da, karar vericiye tercih edilen memnun edici bir çözüm bulmak için çözüm yöntemi boyunca arama yönünü düzenlemesine imkân tanımaktadır.

Belmokaddem, Mekidiche ve Sahed (2009), BÜP için Chen ve Tsai (2001) tarafından geliştirilen farklı önem ve öncelikler ile BHP yaklaşımını uygulamıştır. Önerilen model, toplam üretim ve işgücü maliyetleri, stok bulundurma maliyetleri ve işgücü değişim oranlarını minimize etmeye çalışır. Bu model LINGO paket programı kullanılarak çözülmüş ve optimal üretim plâni elde edilmiştir. Model, çoklu bulanık amaç değerleri ile etkili uzlaşmacı bir çözüm ve tüm karar verme memnuniyet düzeylerini vermiştir.

BÜP modellerinden biri kullanıldığında çoğu zaman amaçların ve model girdilerinin kesin olarak bilindiği kabul edilmektedir. Pratikte ise talep, kaynak ve maliyetler genellikle kesin olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada, hangi BÜP modelinin kullanılacağına karar verebilmek için literatürdeki temel BÜP modelleri incelenmiştir. İncelenen temel BÜP modelleri ile bu çalışmada önerilen BÜP modelinin bir karşılaştırması Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

2.3.1 Bütünleşik Üretim Plânlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli

Bu çalışmada BÜP problemi, bulanık bir ortamda olup talep, işgücü düzeyleri, makine ve depo kapasitesi kısıtlarına bağlı olarak toplam maliyeti, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerini ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerini minimize edecek bir matematiksel modelin oluşturulması ve oluşturulan modelin etkin şekilde çözülmesi amaçlanmıştır. Talep, normal ve fazla mesai üretim maliyeti, taşeron maliyeti, stok bulundurma maliyeti, ertelenen sipariş maliyeti, bir işçiyi işe alma ve işten çıkarma maliyeti, işçilik süresi, makine kullanım süresi, maksimum işgücü düzeyi ve maksimum makine kapasitesi parametrelerindeki bulanıklığın giderilmesinde Lai ve Hwang (1992a) tarafından kullanılan yaklaşım esas alınmıştır. Bu yaklaşımda bulanık parametrelerin stokastik modellerde kullanılan istatistiksel Beta dağılımının yerine üyelik fonksiyonları kullanılması öngörülmüştür. Bulanık parametrelerin ifadesinde Beta dağılımında olduğu gibi ilgili parametrenin en iyimser, en olası ve en kötümser değerleri esas alınmıştır. Ancak, bulanık parametrelerin matematiksel ifadesinde bu değerlerin gerçeği ne kadar temsil ettiği de ağırlık belirlenerek tespit edilmiştir. Araştırmacılar, bu yaklaşımın gerçek BÜP problemlerinin modellenmesinde daha başarılı olduğunu ve özellikle, bulanık parametrelerin istatistiksel olarak hesaplanması için yeterli veri olmadığı durumlarda da kullanılabilmesi için geniş bir uygulama sahası olduğunu ifade etmektedir (Çubukçu, 2008: 2-3). Kullanılan üyelik fonksiyonları yaklaşımı ile ilgili parametrelerin belirli olduğunu varsayan deterministik yaklaşıma ve parametrelerin bilinen bir istatistikî dağılıma uygun olduğunu varsayan stokastik yaklaşıma göre, pratik kullanımı daha etkin olan bir yaklaşım oluşturulması hedeflenmiştir. Modelde kullanılan notasyonlar şu şekildedir:

İndeks kümeleri

n = ürün tipi

t = plânlama dönemi

Karar değişkenleri

Q_{nt} = t döneminde ürün n 'nin normal mesai üretim miktarı (adet)

O_{nt} = t döneminde ürün n 'nin fazla mesai üretim miktarı (adet)

S_{nt} = t döneminde ürün n 'nin taşeron miktarı (adet)

I_{nt} = t döneminde ürün n'nin stok miktarı (adet)

B_{nt} = t döneminde ürün n'nin ertelenen sipariş miktarı (adet)

H_t = t döneminde işe alınan işçi miktarı (işçi-saat)

F_t = t döneminde işten çıkarılan işçi miktarı (işçi-saat)

Parametreler

\tilde{D}_{nt} = t döneminde ürün n'nin talep tahmini (adet)

\tilde{a}_{nt} = t döneminde ürün n'nin normal mesai üretim maliyeti (TL/adet)

\tilde{b}_{nt} = t döneminde ürün n'nin fazla mesai üretim maliyeti (TL/adet)

\tilde{c}_{nt} = t döneminde ürün n'nin taşıeron maliyeti (TL/adet)

\tilde{d}_{nt} = t döneminde ürün n'nin stok bulundurma maliyeti (TL/adet)

\tilde{e}_{nt} = t döneminde ürün n'nin ertelenen sipariş maliyeti (TL/adet)

\tilde{k}_t = t döneminde bir işçiyi işe alma maliyeti (TL/işçi-saat)

\tilde{m}_t = t döneminde bir işçiyi işten çıkarma maliyeti (TL/işçi-saat)

$i_{a,b,c,d,e,f}$ = eskalasyon faktörü (her bir maliyet sınıfı için) (%)

l_{nt} = t döneminde bir adet ürün n için gerekli işçilik süresi (işçi-saat/adet)

$S_{nt \max}$ = t döneminde ürün n'nin maksimum taşıeron miktarı (adet)

$I_{nt \min}$ = t döneminde ürün n'nin minimum elde tutulan stok miktarı (adet)

$B_{nt \max}$ = t döneminde ürün n'nin maksimum ertelenen sipariş miktarı (adet)

\tilde{r}_{nt} = t döneminde ürün n'nin makine kullanım süresi (makine-saat/adet)

v_{nt} = t döneminde ürün n'nin kapladığı depo alanı (m^2 / adet)

$\tilde{W}_{m \max}$ = t döneminde maksimum normal mesai işgücü düzeyi (işçi-saat)

$\tilde{W}_{f \max}$ = t döneminde maksimum fazla mesai işgücü düzeyi (işçi-saat)

$\tilde{M}_{m \max}$ = t döneminde normal mesaide maksimum makine kapasitesi (makine-saat)

$\tilde{M}_{f \max}$ = t döneminde fazla mesaide maksimum makine kapasitesi (makine-saat)

$V_{t \max}$ = t döneminde maksimum depo alanı (m^2)

$H_{t \max}$ = t döneminde maksimum işe alınan işçi miktarı (işçi-saat)

$F_{t \max}$ = t döneminde maksimum işten çıkarılan işçi miktarı (işçi-saat)

Amaç Fonksiyonları

Model için toplam maliyetin minimizasyonu, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin minimizasyonu ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerinin minimizasyonu olmak üzere üç amaç fonksiyonu düşünülmüştür:

Amaç 1: Toplam maliyetin minimizasyonu

Modelin birinci amaç fonksiyonu, birçok BÜP modelinde olduğu gibi maliyetlerin minimizasyonu şeklindedir. Toplam maliyet; plânlama dönemi süresince karşılaşılan üretim maliyetlerinin ve işgücü düzeyindeki değişikliğin neden olduğu maliyetlerin toplamıdır. Önerilen modele ait amaç fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \text{Min } \tilde{z}_1 = & \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{a}_{nt} Q_{nt} (1+i_a)^t + \tilde{b}_{nt} O_{nt} (1+i_b)^t + \tilde{c}_{nt} S_{nt} (1+i_c)^t + \tilde{d}_{nt} I_{nt} (1+i_d)^t + \tilde{e}_{nt} B_{nt} (1+i_e)^t] \\ & + \sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t) (1+i_f)^t \end{aligned} \quad (2.48)$$

Burada $\tilde{a}_{nt}, \tilde{b}_{nt}, \tilde{c}_{nt}, \tilde{d}_{nt}, \tilde{e}_{nt}, \tilde{k}_t$ ve \tilde{m}_t üçgensel olabilirlik dağılımlarıyla ifade edilen kesin olmayan katsayılardır.

Amaç fonksiyonunun,

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{a}_{nt} Q_{nt} (1+i_a)^t + \tilde{b}_{nt} O_{nt} (1+i_b)^t + \tilde{c}_{nt} S_{nt} (1+i_c)^t + \tilde{d}_{nt} I_{nt} (1+i_d)^t + \tilde{e}_{nt} B_{nt} (1+i_e)^t]$$

ile gösterilen ilk bölümü toplam üretim maliyetini ifade etmektedir. Toplam üretim maliyeti ise, 5 bileşenden oluşmaktadır:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{a}_{nt} Q_{nt} (1+i_a)^t] \quad \text{Normal Mesai Maliyeti}$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{b}_{nt} O_{nt} (1+i_b)^t] \quad \text{Fazla Mesai Maliyeti}$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{c}_{nt} S_{nt} (1+i_c)^t] \quad \text{Taşeron Maliyeti}$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{d}_{nt} I_{nt} (1+i_d)^t] \quad \text{Stok Bulundurma Maliyeti}$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{e}_{nt} B_{nt} (1+i_e)^t] \quad \text{Ertelenen Sipariş Maliyeti}$$

Amaç fonksiyonunun $\sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t)(1+i_f)^t$ ile ifade edilen ikinci bölümü

ise, işgücü düzeyindeki değişikliği ifade etmektedir. İşgücü düzeyindeki değişikliği, işe alma ve işten çıkarma maliyetleri etkilemektedir. Ayrıca, her bir maliyet sınıfı için eskalasyon faktörü eklenmiştir. Eskalasyon, enflasyon nedeniyle artan fiyatlar için belirlenen birim artış katsayısıdır.

Amaç 2: Toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin minimizasyonu

$$\text{Min } \tilde{z}_2 = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [\tilde{d}_{nt} I_{nt} (1+i_d)^t + \tilde{e}_{nt} B_{nt} (1+i_e)^t] \quad (2.49)$$

Amaç 3: İşgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerinin minimizasyonu

$$\text{Min } \tilde{z}_3 = \sum_{t=1}^T (\tilde{k}_t H_t + \tilde{m}_t F_t)(1+i_f)^t \quad (2.50)$$

Eşitlik (2.48)'deki birinci amaç fonksiyonu toplam maliyetin, eşitlik (2.49)'daki ikinci amaç fonksiyonu toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin, eşitlik (2.50)'deki üçüncü amaç fonksiyonu ise, işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerinin minimizasyonunu ifade etmektedir. Maliyetlerin çoğu kolayca hesaplanamadığı için büyük ölçüde algıya dayalı olarak değerlendirilmektedir. Ürünün üretimi bir gün geciktiğinde satış kayıp oranının tam olarak ne kadar olacağı bilinmemektedir. Gecikme nedeniyle üreticilerin memnun olmama maliyetini tahmin etmek zordur. Aynı şekilde, sipariş erteleme maliyeti bulanıktır. Bu, iyi niyet kaybından kaynaklanan maliyet gibi ertelenen siparişlerle başa çıkmak için yönetim maliyeti içermektedir. Bu tür maliyet genellikle insanların yargılarını kullanarak tahmin edilmektedir. Normal ve fazla mesai maliyetleri kesin değildir, çünkü, işgücü büyüklüğü günden güne değişebilmektedir. Yönetim, iş maliyetini hesaplamada bunu bulanık yapan saat başına algılanan ortalama üretim maliyetini kullanmaktadır. Kısaca, amaç fonksiyonu bu bulanık maliyetlerden dolayı bulanık olmaktadır (Miller vd., 1997: 230). Bu maliyetleri objektif olarak belirlemenin bilimsel bir yöntemi yoktur. Bu şartlar altında çoğunlukla kullanılan yol, yönetime bu maliyetlerin bir tahminini sormak ve daha sonra modelde sübjektif tahminler kullanmaktır. Ancak, sorumlu yöneticileri saptamak ve her bir maliyet çeşidi için somut bir tahmin elde etmek zor olabilmektedir.

Kısıtlar

Modeldeki kısıtlar; talep, işgücü düzeyleri, makine kapasitesi, depo alanı ile ilgili kısıtlar ve negatif olmama kısıtları olarak ele alınmıştır:

Talep ile ilgili kısıtlar

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = \tilde{D}_{nt} \quad \forall n, \forall t \quad (2.51)$$

$$S_{nt} \leq S_{nt \max} \quad \forall n, \forall t \quad (2.52)$$

$$I_{nt} \geq I_{nt \min} \quad \forall n, \forall t \quad (2.53)$$

$$B_{nt} \leq B_{nt \max} \quad \forall n, \forall t \quad (2.54)$$

Talep ile ilgili kısıtlarda eşitlik (2.51)'de \tilde{D}_{nt} , t. dönemdeki ürün n'nin bulanık tahmini talebini göstermektedir. Gerçek hayatta BÜP problemlerinde tahmini talep, piyasanın dinamik olması nedeniyle değişkenlik göstermekte, kesin olarak bilinmemektedir. Normal ve fazla mesai üretim miktarı, taşeron, stok ve ertelenen sipariş düzeylerinin toplamı, piyasa talebine eşit düzeyde olmalıdır. Ayrıca, dönem boyunca tahmin edilen talep, karşılanabilir veya sipariş edilebilir olmalı, ancak, bir sipariş bir önceki dönemden mutlaka karşılanmalıdır. Yani uygulamada siparişler bir dönemden daha fazla ertelenmemektedir. Eşitlik (2.52), her bir dönemde taşeron miktarının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir. Eşitlik (2.53), siparişlerin ertelenmesini önlemek için belirlenen minimum stok düzeyini göstermektedir. Bu, her bir dönemde stok düzeyinin, kendi alt limitinden daha az olamayacağı anlamına gelmektedir. Eşitlik (2.54) ise, her bir dönemde ertelenen sipariş miktarının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir.

İşgücü düzeyleri ile ilgili kısıtlar

$$\sum_{n=1}^N \tilde{l}_{nt-1} (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t = \sum_{n=1}^N \tilde{l}_{nt} (Q_{nt} + O_{nt}) \quad \forall t \quad (2.55)$$

$$\sum_{n=1}^N \tilde{l}_{nt} Q_{nt} \leq \tilde{W}_{tn \max} \quad \forall t \quad (2.56)$$

$$\sum_{n=1}^N \tilde{l}_{nt} O_{nt} \leq \tilde{W}_{tf \max} \quad \forall t \quad (2.57)$$

$$H_t \leq H_{t \max} \quad \forall t \quad (2.58)$$

$$F_t \leq F_{t \max} \quad \forall t \quad (2.59)$$

İşgücü düzeyleri ile ilgili kısıtlara göre $\tilde{I}_{nt}, \tilde{W}_{m \max}$ ve $\tilde{W}_{f \max}$ sırasıyla t döneminde bir adet ürün n için gerekli bulanık işgücü süresi, bulanık maksimum normal ve fazla mesai işgücü düzeylerini göstermektedir. Eşitlik (2.55)'e göre; t-1. dönemdeki işgücü düzeyi ile yeni işe alınanlar ve işten çıkarılanların toplamı, t. dönemdeki işgücü düzeyine eşit olmalıdır. Eşitlik (2.56), normal mesaide fiilî işgücü düzeyinin her dönemdeki maksimum mevcut normal mesai işgücü düzeyinden fazla olamayacağı, Eşitlik (2.57) ise, fazla mesaide fiilî işgücü düzeyinin her dönemdeki maksimum mevcut fazla mesai işgücü düzeyinden fazla olamayacağı anlamına gelmektedir. Her dönemdeki maksimum elverişli işgücü düzeyi, piyasa taleplerine göre belirsizlik gösterecektir. Bu nedenle, t döneminde bir adet ürün n için gerekli işgücü düzeyi ve maksimum normal ve fazla mesai işgücü düzeyi bulanık alınmıştır. Eşitlik (2.58) ve (2.59), her bir dönemde işe alınan ve işten çıkarılan işçi miktarının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir.

Makine kapasitesi ile ilgili kısıtlar

$$\sum_{n=1}^N \tilde{r}_{nt} Q_{nt} \leq \tilde{M}_{m \max} \quad \forall t \quad (2.60)$$

$$\sum_{n=1}^N \tilde{r}_{nt} O_{nt} \leq \tilde{M}_{f \max} \quad \forall t \quad (2.61)$$

Makine kapasitesi ile ilgili kısıtlara göre $\tilde{r}_{nt}, \tilde{M}_{m \max}$ ve $\tilde{M}_{f \max}$ sırasıyla t döneminde bir adet ürün n için gerekli bulanık makine kullanım süresi, bulanık maksimum normal ve fazla mesai makine kapasitelerini göstermektedir. Eşitlik (2.60) ve (2.61)'e göre her bir dönemde normal ve fazla mesai makine kapasiteleri kendi üst limitlerini aşamamaktadır. t döneminde bir adet ürün n için gerekli makine kullanım süresi ve maksimum normal ve fazla mesai makine kapasiteleri de t döneminde bir adet ürün n için gerekli işgücü düzeyi ve maksimum normal ve fazla mesai işgücü düzeyleri gibi piyasa taleplerine göre belirsizlik göstereceği için bulanık alınmıştır.

Depo alanı ile ilgili kısıtlar

$$\sum_{n=1}^N v_{nt} I_{nt} \leq V_{t \max} \quad \forall t \quad (2.62)$$

Depo alanı ile ilgili kısıta göre ise, eşitlik (2.62), her bir dönemde depo alanının kendi üst limitini aşamayacağı anlamına gelmektedir.

Negatif olmama kısıtları

$$Q_{nt}, O_{nt}, S_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, H_t, F_t \geq 0 \quad (2.63)$$

Eşitlik (2.63) ise, karar değişkenlerinin negatif değer alamayacağını belirtmektedir.

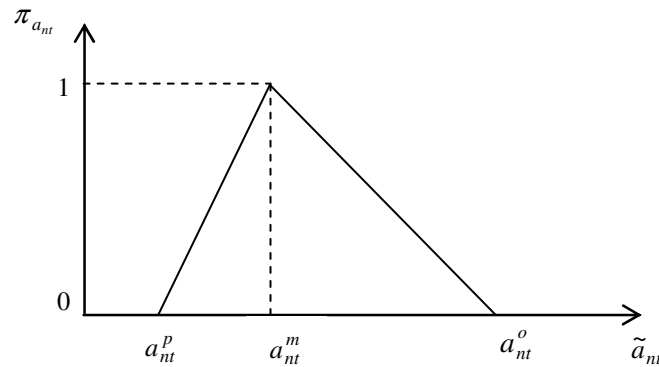
Kurulan modeldeki varsayımlar şunlardır:

- Tüm amaç fonksiyonları ve kısıtlar doğrusaldır. Bu varsayım, standart DP yapısının elde edilebilmesi için doğrusallık özelliğinin teknik olarak sağlandığını belirtmektedir.
- Bütün amaç fonksiyonları belirsiz istek düzeyleri ile bulanıktır. Bu varsayım, gerçek hayattaki BÜP problemlerinin amaç fonksiyonlarının bulanıklığıyla ilgilidir ve karar vericinin düşünceleri ile muhakemelerindeki değişiklikleri içermektedir. Ayrıca, bu çalışmada bulanık amaçlara ilişkin belirlenen hedeflerin aynı önem derecesine sahip değil de hedefler arası öncelik ilişkisinin olduğu durum da dikkate alınmıştır.
- Bulanık kümeleri temsil etmek üzere doğrusal üyelik fonksiyonları belirlenmiş ve bulanık kümeleri birleştirmek için minimum işlemcisi kullanılmıştır. Bu varsayım, bulanık çok amaçlı problemin, eşdeğer bir DP yapısına çevrilmesi aşaması için konmuştur.
- Her bir dönemde mevcut işgücü düzeyi, işe alınan ve işten çıkarılan işçi miktarı, makine kapasitesi ve depo alanı kendi üst limitlerini aşmamaktadır.
- Dönem boyunca tahmin edilen talep, karşılanabilir veya sipariş edilebilir, ancak, bir sipariş bir önceki dönemden mutlaka karşılanmalıdır. Yani uygulamada siparişler bir dönemden daha fazla ertelenmemektedir.
- Karar vericinin çözüme yönelik bilgilere sahip olduğu, talep tahmininin ve parametre değerlerinin belirlenmesi çalışmalarının karar verici tarafından yapıldığı varsayılmıştır.
- Karar vericilerin tüm belirsiz katsayılar için üçgensel olabilirlik dağılım şeklini benimsediği varsayılmıştır. Bu varsayım ise, bulanık aritmetik işlemlerin basitliği ve esnekliği ile ilişkilidir.

Üçgensel Olabilirlik Dağılımı ile Belirsiz Verinin Modellenmesi

Bu çalışmada, karar vericilerin tüm belirsiz katsayılar için üçgensel olabilirlik dağılım şeklini benimsediği varsayılmıştır. Olabilirlik dağılımı, belirsiz verilerle bir olayın oluş derecesi olarak ifade edilebilmektedir. Şekil 2.17, $\tilde{a}_{nt} = (a_{nt}^p, a_{nt}^m, a_{nt}^o)$ sayısının üçgensel olabilirlik dağılımını göstermektedir. Pratikte bir karar verici, üç belirgin veriye dayanan \tilde{a}_{nt} 'nin üçgensel olabilirlik dağılımını şu şekilde düzenleyebilir:

- Mevcut değerler kümesine ait olma olasılığı çok düşük (normalize edilirse olabilirlik derecesi = 0) olan en kötümser değer (a_{nt}^p)
- Mevcut değerler kümesine tam olarak ait (normalize edilirse olabilirlik derecesi = 1) olan en olası değer (a_{nt}^m)
- Mevcut değerler kümesine ait olma olasılığı çok düşük (normalize edilirse olabilirlik derecesi = 0) olan en iyimser değer (a_{nt}^o)



Şekil 2.17: \tilde{a}_{nt} 'nin üçgensel olabilirlik dağılımı

Dolayısıyla, BÜP modeli için belirsiz veriler, üçgensel olabilirlik dağılımlarıyla şu şekilde modellenebilir:

$$\tilde{a}_{nt} = (a_{nt}^p, a_{nt}^m, a_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t,$$

$$\tilde{b}_{nt} = (b_{nt}^p, b_{nt}^m, b_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t,$$

$$\tilde{c}_{nt} = (c_{nt}^p, c_{nt}^m, c_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t,$$

$$\tilde{d}_{nt} = (d_{nt}^p, d_{nt}^m, d_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t,$$

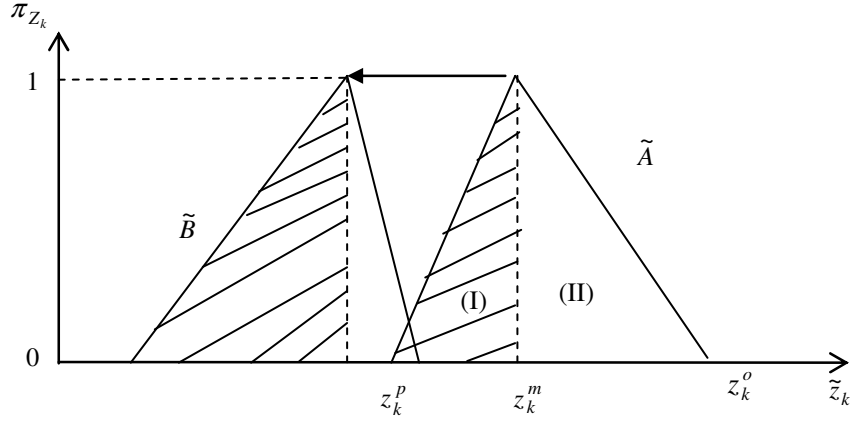
$$\tilde{e}_{nt} = (e_{nt}^p, e_{nt}^m, e_{nt}^o) \quad \forall n, \forall t,$$

$$\begin{aligned}
\tilde{k}_t &= (k_t^p, k_t^m, k_t^o) & \forall t, \\
\tilde{m}_t &= (m_t^p, m_t^m, m_t^o) & \forall t, \\
\tilde{l}_{nt} &= (l_{nt}^p, l_{nt}^m, l_{nt}^o) & \forall n, \forall t, \\
\tilde{r}_{nt} &= (r_{nt}^p, r_{nt}^m, r_{nt}^o) & \forall n, \forall t, \\
\tilde{D}_{nt} &= (D_{nt}^p, D_{nt}^m, D_{nt}^o) & \forall n, \forall t, \\
\tilde{W}_{m \max} &= (W_{m \max}^p, W_{m \max}^m, W_{m \max}^o) & \forall t, \quad \tilde{W}_{tf \max} = (W_{tf \max}^p, W_{tf \max}^m, W_{tf \max}^o) & \forall t, \\
\tilde{M}_{m} &= (M_{m \max}^p, M_{m \max}^m, M_{m \max}^o) & \forall t, \quad \tilde{M}_{tf} = (M_{tf \max}^p, M_{tf \max}^m, M_{tf \max}^o) & \forall t.
\end{aligned}$$

2.3.2 Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modelinin Çözümü

2.3.2.1 Amaç Fonksiyonlarındaki Bulanıklığın Giderilmesi

Oluşturulan modelde \tilde{z}_k ($k = 1, 2, 3$) amaç fonksiyonları, üçgensel olabilirlik dağılımlarıyla belirsizdir. Geometrik olarak bu belirsiz amaçlar, üç belirgin nokta $(z_k^p, 0)$, $(z_k^m, 1)$ ve $(z_k^o, 0)$ ile tam olarak belirlenebilmektedir. Belirsiz amaçlar, bu üç noktayı sola iterek minimize edilebilmektedir. Belirgin noktaların dikey koordinatları 1 veya 0 olarak sabitlendiği için sadece üç yatay koordinat dikkate alınmaktadır. Sonuç olarak, belirsiz amacı çözmek z_k^p , z_k^m ve z_k^o 'yu aynı anda minimize etmeyi gerektirmektedir. Lai ve Hwang (1992a)'ın yaklaşımını kullanarak burada geliştirilen yaklaşım z_k^p , z_k^m ve z_k^o 'yu aynı anda minimize etmek yerine z_k^m 'yi minimize etmekte, $(z_k^m - z_k^p)$ 'yi maksimize etmekte ve $(z_k^o - z_k^m)$ 'yi minimize etmektedir. Yani, önerilen yaklaşım aynı anda belirsiz maliyetlerin en olası değeri z_k^m 'yi minimize etmeyi, daha düşük maliyet $(z_k^m - z_k^p)$ 'yi elde etme olabilirliğini maksimize etmeyi ve daha yüksek maliyet $(z_k^o - z_k^m)$ 'yi elde etme riskini minimize etmeyi içermektedir. Son iki amaç, aslında belirsiz toplam maliyetlerin en olası değeri z_k^m 'den görece uzaklıklardır. Şekil 2.18, belirsiz amaç fonksiyonunu minimize etme stratejisini göstermektedir.



Şekil 2.18: Maliyetleri minimize etme stratejisi

Şekil 2.18'de gösterildiği gibi \tilde{B} olabirlik dağılımı, \tilde{A} olabirlik dağılımına tercih edilmektedir. Bu nedenle, her bir belirsiz amaç fonksiyonu için üç yeni kesin amaç fonksiyonu şu şekilde gösterilmektedir:

Amaç 1: Toplam maliyetin minimizasyonu

$$\begin{aligned} \text{Min}z_{11} &= z_1^m \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [a_{nt}^m Q_{nt} (1+i_a)^t + b_{nt}^m O_{nt} (1+i_b)^t + c_{nt}^m S_{nt} (1+i_c)^t + d_{nt}^m I_{nt} (1+i_d)^t + e_{nt}^m B_{nt} (1+i_e)^t] \\ &\quad + \sum_{t=1}^T (k_t^m H_t + m_t^m F_t) (1+i_f)^t \end{aligned} \quad (2.64a)$$

$$\begin{aligned} \text{Max}z_{12} &= (z_1^m - z_1^p) \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(a_{nt}^m - a_{nt}^p) Q_{nt} (1+i_a)^t + (b_{nt}^m - b_{nt}^p) O_{nt} (1+i_b)^t + (c_{nt}^m - c_{nt}^p) S_{nt} (1+i_c)^t + (d_{nt}^m - d_{nt}^p) I_{nt} (1+i_d)^t \\ &\quad + (e_{nt}^m - e_{nt}^p) B_{nt} (1+i_e)^t] + \sum_{t=1}^T ((k_t^m - k_t^p) H_t + (m_t^m - m_t^p) F_t) (1+i_f)^t \end{aligned} \quad (2.64b)$$

$$\begin{aligned} \text{Min}z_{13} &= (z_1^o - z_1^m) \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(a_{nt}^o - a_{nt}^m) Q_{nt} (1+i_a)^t + (b_{nt}^o - b_{nt}^m) O_{nt} (1+i_b)^t + (c_{nt}^o - c_{nt}^m) S_{nt} (1+i_c)^t + (d_{nt}^o - d_{nt}^m) I_{nt} (1+i_d)^t \\ &\quad + (e_{nt}^o - e_{nt}^m) B_{nt} (1+i_e)^t] + \sum_{t=1}^T ((k_t^o - k_t^m) H_t + (m_t^o - m_t^m) F_t) (1+i_f)^t \end{aligned} \quad (2.64c)$$

Amaç 2: Toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin minimizasyonu

$$\text{Min}z_{21} = z_2^m$$

$$= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [d_{nt}^m I_{nt} (1+i_d)^t + e_{nt}^m B_{nt} (1+i_e)^t] \quad (2.65a)$$

$$\begin{aligned} Maxz_{22} &= (z_2^m - z_2^p) \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(d_{nt}^m - d_{nt}^p) I_{nt} (1+i_d)^t + (e_{nt}^m - e_{nt}^p) B_{nt} (1+i_e)^t] \end{aligned} \quad (2.65b)$$

$$\begin{aligned} Minz_{23} &= (z_2^o - z_2^m) \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [(d_{nt}^o - d_{nt}^m) I_{nt} (1+i_d)^t + (e_{nt}^o - e_{nt}^m) B_{nt} (1+i_e)^t] \end{aligned} \quad (2.65c)$$

Amaç 3: İşgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerinin minimizasyonu

$$Minz_{31} = z_3^m = \sum_{t=1}^T (k_t^m H_t + m_t^m F_t)(1+i_f)^t \quad (2.66a)$$

$$Maxz_{32} = (z_3^m - z_3^p) = \sum_{t=1}^T ((k_t^m - k_t^p) H_t + (m_t^m - m_t^p) F_t)(1+i_f)^t \quad (2.66b)$$

$$Minz_{33} = (z_3^o - z_3^m) = \sum_{t=1}^T ((k_t^o - k_t^m) H_t + (m_t^o - m_t^m) F_t)(1+i_f)^t \quad (2.66c)$$

Gerçek BÜP karar problemlerinde eşitlik (2.64) - (2.66), aynı anda maliyetlerin en olası değerini minimize etmeye, daha düşük maliyet elde etme olabilirliğini (Şekil 2.18'de bölge I'i) maksimize etmeye ve daha yüksek toplam maliyet elde etme riskini (Şekil 2.18'de bölge II'yi) minimize etmeye denktir.

2.3.2.2 Kısıtlardaki Bulanıklığın Giderilmesi

Eşitlik (2.51)'de mevcut kaynak yani kısıtlayıcıların sağ taraf sabiti (\tilde{D}_{nt}), belirsiz olup en çok ve en az olası değerler ile üçgensel olabilirlik dağılımına sahiptir. Gerçek hayat BÜP karar problemlerinde bir karar verici deneyim ve bilgilerine dayanarak belirsiz talep için olası bir aralık tahmin edebilmektedir. Temel sorun, belirsiz talep için kesin temsili bir sayı elde etmedir. Bu çalışmada, \tilde{D}_{nt} 'yi kesin bir sayıya çevirmek için Lai ve Hwang (1992a) tarafından önerilen ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır. Kabul edilebilir minimum olabilirlik düzeyi (β) verildiğinde, (2.51)'deki bulanık eşitlik kısıtları, kesin (bulanık olmayan) eşitlik kısıtları olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^p + w_2 D_{nt,\beta}^m + w_3 D_{nt,\beta}^o \quad \forall n, \forall t$$

Burada w_1, w_2 ve $w_3 \geq 0$; $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ olmak üzere sırasıyla belirsiz talep miktarlarının en kötümser, en olası ve en iyimser değerinin ağırlıklarını ifade etmektedir. w_1, w_2 ve w_3 ağırlıkları, karar vericinin deneyim ve bilgisine bağlı olarak sübjektif olarak belirlenebilmektedir.

Aynı şekilde, eşitlik (2.55)'te teknoloji katsayısı (\tilde{l}_{nt}) belirsizdir. β verildiğinde, (2.55)'teki bulanık eşitsizlik kısıtları, kesin eşitsizlik kısıtları olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\sum_{n=1}^N w_1 l_{nt-1,\beta}^p + w_2 l_{nt-1,\beta}^m + w_3 l_{nt-1,\beta}^o (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t - \sum_{n=1}^N w_1 l_{nt,\beta}^p + w_2 l_{nt,\beta}^m + w_3 l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) = 0 \quad \forall t$$

Ayrıca, belirsiz teknoloji katsayısı (\tilde{l}_{nt}) ve mevcut kaynaklar ($\tilde{W}_{m \max}$ ve $\tilde{W}_{tf \max}$) ile eşitlik (2.56) ve (2.57)'yi çözmek için burada önerilen yaklaşım, bulanık sıralama kavramını kullanarak belirsiz eşitsizlik kısıtlarını kesin olana çevirmektir. Sonuç olarak (2.56) ve (2.57)'deki bulanık eşitsizlik kısıtları, kesin eşitsizlik kısıtları olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq W_{m \max,\beta}^p \quad \forall t & \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq W_{tf \max,\beta}^p \quad \forall t \\ \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq W_{m \max,\beta}^m \quad \forall t & \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq W_{tf \max,\beta}^m \quad \forall t \\ \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq W_{m \max,\beta}^o \quad \forall t & \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq W_{tf \max,\beta}^o \quad \forall t \end{aligned}$$

Aynı şekilde, belirsiz teknoloji katsayısı (\tilde{r}_{nt}) ve mevcut kaynaklar ($\tilde{M}_{m \max}$ ve $\tilde{M}_{tf \max}$) ile (2.60) ve (2.61)'deki bulanık eşitsizlik kısıtları da kesin eşitsizlik kısıtları olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq M_{m \max,\beta}^p \quad \forall t & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq M_{tf \max,\beta}^p \quad \forall t \\ \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq M_{m \max,\beta}^m \quad \forall t & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq M_{tf \max,\beta}^m \quad \forall t \\ \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq M_{m \max,\beta}^o \quad \forall t & \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) &\leq M_{tf \max,\beta}^o \quad \forall t \end{aligned}$$

Yukarıdaki eşitlik ve eşitsizliklerde verilen β , üyelik fonksiyonunun alması gereken en az değeri gösteren bir üyelik derecesidir. β kesmeleri ile tanımlanan fonksiyonlar model içerisinde kullanılarak, diğer kısıtların da sağlandığı uygun alternatif çözümler oluşturulabilmektedir (Kalender vd., 2008: 133).

2.3.2.3 Amaç Fonksiyonlarına İlişkin Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması

İlk olarak, üç amaç fonksiyonunun pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) değerleri sırasıyla şu şekilde belirtilebilir:

1. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{11}^{PIS} = \text{Min } z_1^m \quad Z_{11}^{NIS} = \text{Max } z_1^m \quad (2.67a)$$

$$Z_{12}^{PIS} = \text{Max } (z_1^m - z_1^p) \quad Z_{12}^{NIS} = \text{Min } (z_1^m - z_1^p) \quad (2.67b)$$

$$Z_{13}^{PIS} = \text{Min } (z_1^o - z_1^m) \quad Z_{13}^{NIS} = \text{Max } (z_1^o - z_1^m) \quad (2.67c)$$

2. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{21}^{PIS} = \text{Min } z_2^m \quad Z_{21}^{NIS} = \text{Max } z_2^m \quad (2.68a)$$

$$Z_{22}^{PIS} = \text{Max } (z_2^m - z_2^p) \quad Z_{22}^{NIS} = \text{Min } (z_2^m - z_2^p) \quad (2.68b)$$

$$Z_{23}^{PIS} = \text{Min } (z_2^o - z_2^m) \quad Z_{23}^{NIS} = \text{Max } (z_2^o - z_2^m) \quad (2.68c)$$

3. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{31}^{PIS} = \text{Min } z_3^m \quad Z_{31}^{NIS} = \text{Max } z_3^m \quad (2.69a)$$

$$Z_{32}^{PIS} = \text{Max } (z_3^m - z_3^p) \quad Z_{32}^{NIS} = \text{Min } (z_3^m - z_3^p) \quad (2.69b)$$

$$Z_{33}^{PIS} = \text{Min } (z_3^o - z_3^m) \quad Z_{33}^{NIS} = \text{Max } (z_3^o - z_3^m) \quad (2.69c)$$

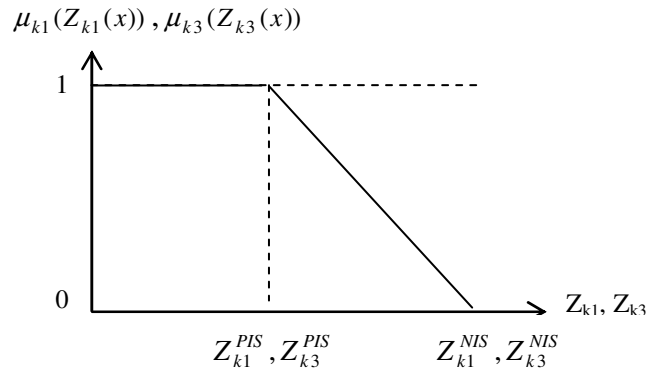
Birinci amaç fonksiyonu için uygun doğrusal üyelik fonksiyonları, şu şekildedir:

$$\mu_{11}(Z_{11}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{11}(x) < Z_{11}^{PIS} \\ \frac{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}(x)}{Z_{11}^{NIS} - Z_{11}^{PIS}} & , Z_{11}^{PIS} \leq Z_{11}(x) \leq Z_{11}^{NIS} \\ 0 & , Z_{11}(x) > Z_{11}^{NIS} \end{cases} \quad (2.70)$$

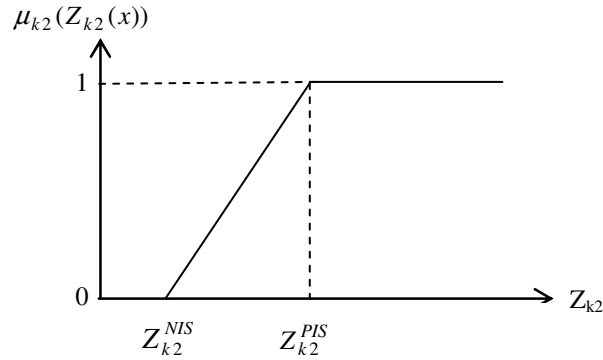
$$\mu_{12}(Z_{12}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{12}(x) > Z_{12}^{PIS} \\ \frac{Z_{12}(x) - Z_{12}^{NIS}}{Z_{12}^{PIS} - Z_{12}^{NIS}} & , Z_{12}^{NIS} \leq Z_{12}(x) \leq Z_{12}^{PIS} \\ 0 & , Z_{12}(x) < Z_{12}^{NIS} \end{cases} \quad (2.71)$$

$$\mu_{13}(Z_{13}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{13}(x) < Z_{13}^{PIS} \\ \frac{Z_{13}^{NIS} - Z_{13}(x)}{Z_{13}^{NIS} - Z_{13}^{PIS}} & , Z_{13}^{PIS} \leq Z_{13}(x) \leq Z_{13}^{NIS} \\ 0 & , Z_{13}(x) > Z_{13}^{NIS} \end{cases} \quad (2.72)$$

İkinci ve üçüncü amaç fonksiyonu için uygun üyelik fonksiyonları da birinci amaç fonksiyonu gibidir. Şekil 2.19 ve 2.20, eşitlik (2.70) - (2.72) için doğrusal üyelik fonksiyonlarının grafiklerini göstermektedir.



Şekil 2.19: Z_{k1} ve Z_{k3} amaçlarının doğrusal üyelik fonksiyonları ($k = 1, 2, 3$)

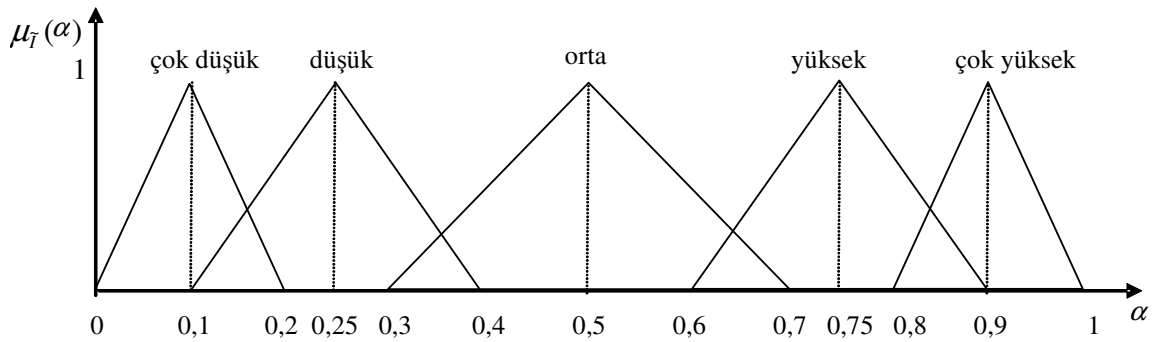


Şekil 2.20: Z_{k2} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu ($k = 1, 2, 3$)

2.3.2.4 Amaçlara İlişkin Hedeflerin Başarım Derecelerinin ve Öncelik İlişkilerinin Belirlenmesi

Oluşturulan modelde, belirlenen amaçlara ilişkin hedeflerin farklı önceliklere sahip olduğu durum da incelenmiş ve tüm bulanık hedeflerin başarım derecelerinin toplamını maksimize etmek için Chen ve Tsai (2001)'nin yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım, karar verici tarafından daha önemli olarak belirlenen hedeflerin daha yüksek başarım derecelerine sahip olmasını sağlamıştır. Diğer bir ifade ile hedef ne kadar önemli ise, istenen başarım derecesi de o kadar yüksek olmalıdır. Bunu yapmak için her bir bulanık hedefin istenen başarım dereceleri bulunmaktadır. Daha sonra elde edilen bu değerlere göre hedeflerin öncelikleri belirlenerek görelî öncelik ilişkisi modele kısıt olarak eklenmektedir.

Bulanık ortamda bir hedefin istenen başarım derecesini belirlemek, karar verici için zor bir iş olabilmektedir. Bu çalışmada istenen başarım derecelerini tam olarak değerlendirmek için “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” gibi sözel terimler kullanılmış ve böylece, her bir bulanık amacın önem derecesi sözel olarak belirlenmiştir. Şekil 2.21, bu sözel terimler için $\mu_{\bar{7}}(\alpha)$ 'yı göstermektedir. $\mu_{\bar{7}}(\alpha)$, $\mu_{\bar{7}}(\alpha) \in [0,1]$ olmak üzere farklı hedeflerin önemi hakkında her bir sözel terimin üyelik fonksiyonunu göstermek için belirlenmiştir. Chen ve Hwang (1992) tarafından önerilen bu sözel terimlere uygun üçgensel bulanık sayılar şunlardır: Çok Düşük (ÇD) = (0, 0,1, 0,2), Düşük (D) = (0,1, 0,25, 0,4), Orta (O) = (0,3, 0,5, 0,7), Yüksek (Y) = (0,6, 0,75, 0,9), Çok Yüksek (ÇY) = (0,8, 0,9, 1).



Şekil 2.21: Farklı amaçların önem derecesi ile ilgili sözel terimler için üyelik fonksiyonları

Şekil 2.21'de $0 \leq \alpha_{\min} \leq \alpha_{\max} \leq 1$ olmak üzere α , $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$ aralığında bir başarımlık derecesi alan değişkeni ifade etmektedir. Bulanık hedeflerin önemini $[0, 1]$ aralığında temsil eden bir sayı elde etmek için bulanık sayıları sıralama yöntemlerinden biri kullanılabilir (Chen ve Tsai, 2001: 552). Bu çalışmada, bulanık sayıları sıralamak için Liou ve Wang (1992)'in yaklaşımı kullanılmıştır. Liou ve Wang (1992)'in yaklaşımında, $\alpha \in [0, 1]$ olarak verildiğinde üçgensel bulanık sayı $\tilde{A} = (a, b, c)$ 'nin toplam integral değeri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 I_T^\alpha(\tilde{A}) &= \alpha I_R(\tilde{A}) + (1 - \alpha) I_L(\tilde{A}) \\
 &= \alpha \int_0^1 g_{\tilde{A}}^R(y) dy + (1 - \alpha) \int_0^1 g_{\tilde{A}}^L(y) dy \\
 &= \alpha \int_0^1 [c + (b - c)y] dy + (1 - \alpha) \int_0^1 [a + (b - a)y] dy \\
 &= \frac{1}{2} [\alpha.c + b + (1 - \alpha).a]
 \end{aligned}$$

$I_T^\alpha(\tilde{A})$, \tilde{A} üçgensel bulanık sayısının toplam integral değeridir. $g_{\tilde{A}}^R(y)$, \tilde{A} bulanık sayısının sağ üyelik fonksiyonu $R(x)$ 'in ters fonksiyonudur; $g_{\tilde{A}}^L(y)$, \tilde{A} bulanık sayısının sol üyelik fonksiyonu $L(x)$ 'in ters fonksiyonudur; $I_R(\tilde{A})$, \tilde{A} bulanık sayısının sağ integral değeridir; $I_L(\tilde{A})$, \tilde{A} bulanık sayısının sol integral değeridir ve α , bir karar vericinin iyimserlik derecesini sunan iyimserlik indeksidir. α yükseldikçe iyimserlik derecesi yükselmektedir.

$\alpha = 0$ olduğunda, kötümser bir karar vericinin görüşünü sunan toplam integral değeri $I_T^0(\tilde{A})$, \tilde{A} 'nın sol integral değerine yani $I_L(\tilde{A})$ 'ya eşittir:

$$I_L(\tilde{A}) = \int_0^1 g_{\tilde{A}}^L(y) dy = \int_0^1 [a + (b-a)y] dy = \frac{1}{2}(a+b)$$

$$I_T^0(\tilde{A}) = \frac{1}{2}[b+a]$$

Tam tersine, iyimser bir karar verici için, yani $\alpha = 1$ için toplam integral değeri $I_T^1(\tilde{A})$, $I_R(\tilde{A})$ 'ya eşittir:

$$I_R(\tilde{A}) = \int_0^1 g_{\tilde{A}}^R(y) dy = \int_0^1 [c + (b-c)y] dy = \frac{1}{2}(b+c)$$

$$I_T^1(\tilde{A}) = \frac{1}{2}[c+b]$$

Ne iyimser ne kötümser bir karar verici için $\alpha = 0,5$ ile toplam integral değeri ise, şu şekildedir:

$$I_T^{0,5}(\tilde{A}) = \frac{1}{2}[I_R(\tilde{A}) + I_L(\tilde{A})] = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{2}(b+c)\right) + \left(\frac{1}{2}(a+b)\right)\right] = \frac{1}{2}[0,5c + b + 0,5a]$$

Bu çalışmada $\alpha_k = I_T^\alpha(\tilde{A}_k)$, k. bulanık hedefin istenen başarımlı derecesi olarak değerlendirilmiştir. \tilde{A}_k , k. bulanık hedefin önemini gösteren bir bulanık sayıdır.

2.3.2.5 Eşdeğer Doğrusal Programlama Modeli ve Çözümü

BÜP karar problemini çözmek için oluşturulan model, Bellman ve Zadeh (1970)'in bulanık karar verme kavramı ve Zimmermann (1978)'in bulanık programlama yaklaşımı kullanılarak bu modele eşdeğer tek amaçlı bir DP modeli olarak şu şekilde formüle edilebilir:

Amaç fonksiyonu

$$\max \lambda$$

Kısıtlar

$$\lambda \leq \mu_{1j}(Z_{1j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\lambda \leq \mu_{2j}(Z_{2j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\lambda \leq \mu_{3j}(Z_{3j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + Q_{nt} + O_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^p + w_2 D_{nt,\beta}^m + w_3 D_{nt,\beta}^o \quad \forall n, \forall t$$

$$S_{nt} \leq S_{nt \max} \quad \forall n, \forall t$$

$$I_{nt} \geq I_{nt \min} \quad \forall n, \forall t$$

$$B_{nt} \leq B_{nt \max} \quad \forall n, \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N w_1 l_{nt-1,\beta}^p + w_2 l_{nt-1,\beta}^m + w_3 l_{nt-1,\beta}^o (Q_{nt-1} + O_{nt-1}) + H_t - F_t - \sum_{n=1}^N w_1 l_{nt,\beta}^p + w_2 l_{nt,\beta}^m + w_3 l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) = 0 \quad \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tn \max,\beta}^p \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^p \quad \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tn \max,\beta}^m \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^m \quad \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tn \max,\beta}^o \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N l_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq W_{tf \max,\beta}^o \quad \forall t$$

$$H_t \leq H_{t \max} \quad \forall t$$

$$F_t \leq F_{t \max} \quad \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tn \max,\beta}^p \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^p (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^p \quad \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tn \max,\beta}^m \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^m (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^m \quad \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tn \max,\beta}^o \quad \forall t \quad \sum_{n=1}^N r_{nt,\beta}^o (Q_{nt} + O_{nt}) \leq M_{tf \max,\beta}^o \quad \forall t$$

$$\sum_{n=1}^N v_{nt} I_{nt} \leq V_{t \max} \quad \forall t$$

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

$$Q_{nt}, O_{nt}, S_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, H_t, F_t, \lambda \geq 0$$

Bu çalışmada model, öncelikle yukarıda görüldüğü gibi bir yardımcı değişken (λ)'in modele ilave edilmesiyle, eşdeğer bir DP modeline çevrilmiş ve WinQSB paket programıyla çözülmüştür. λ , karar vericinin tüm bulanık amaçlarına ilişkin hedeflerinin toplam memnuniyet düzeyidir. Bu durumda her bir hedefin başarımlarının eşit olduğu varsayılmaktadır.

İkinci olarak, model, Tiwari, Dharmar ve Rao (1986)'nın toplamsal model yaklaşımı kullanılarak λ 'nın maksimizasyonu yerine $\mu_1 + \mu_2 + \mu_3$ toplamının maksimizasyonu dikkate alınarak çözülmüştür. Bu yöntemde kural, öncelik düzeyi yüksek hedefler gerçekleştirilmedikçe düşük öncelikli hedeflerin dikkate alınmaması olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı λ , yani karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi her hedefte ayrı ayrı tanımlanmış (μ_1, μ_2, μ_3) ve bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilmeye çalışılmıştır. Bu durumda amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar şu şekilde formüle edilmiştir:

Amaç fonksiyonu

$$\max \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$$

Amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar

$$\mu_1 \leq \mu_{1j}(Z_{1j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\mu_2 \leq \mu_{2j}(Z_{2j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\mu_3 \leq \mu_{3j}(Z_{3j}(x)), \quad j = 1, 2, 3$$

$$\mu_k(x) \in [0,1], \quad \forall k, \quad x \geq 0 \quad k = 1, 2, 3$$

$$Q_{nt}, O_{nt}, S_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, H_t, F_t, \mu_1, \mu_2, \mu_3 \geq 0$$

Diğer kısıtlar aynıdır. Burada μ_k , her bir bulanık hedefin başarımlı derecesidir. Böylece, her bir bulanık amaca ilişkin hedeflerin başarımlı dereceleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Son olarak, bulanık hedeflerin her birinin istenen başarımlı derecesi ve önceliğini karar vericilerin belirlemesine izin veren Chen ve Tsai (2001)'nin yaklaşımı kullanılmıştır. Bunun için hedeflerin istenen başarımlı derecelerine göre oluşturulan görelil öncelik ilişkisi, toplamsal model yaklaşımı ile çözülen bir önceki modele kısıt olarak ilave edilmiştir. Böylece, karar verici tarafından daha önemli olan hedefin, başarımlı derecesinin de yüksek olması sağlanmıştır.

2.3.2.6 Algoritma

BÜP karar problemini çözmek için bu çalışmada önerilen Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) modelinin algoritması aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Bulanık çok amaçlı, çok ürünli ve çok dönemli BÜP karar problemi için EODP modeli oluşturulur.

Adım 2: Üçgensel olasılık dağılımları kullanılarak belirsiz katsayılar $(\tilde{a}_{nt}, \tilde{b}_{nt}, \tilde{c}_{nt}, \tilde{d}_{nt}, \tilde{e}_{nt}, \tilde{k}_t, \tilde{m}_{nt}, \tilde{l}_{nt}, \tilde{r}_{nt})$ ve sağ taraf sabitleri $(\tilde{D}_{nt}, \tilde{W}_t, \tilde{M}_t)$ modellenir.

Adım 3: Bulanık amaç fonksiyonlarının her biri için aynı anda en olası maliyet değerini minimize etmeye, daha düşük maliyet elde etme olasılığını maksimize etmeye ve daha yüksek maliyet elde etme riskini minimize etmeye denk olan üç yeni kesin amaç fonksiyonu geliştirilir.

Adım 4: Verilen kabul edilebilir minimum olasılık düzeyi (β) ile ağırlıklı ortalama yöntemi veya bulanık sıralama kavramı kullanılarak belirsiz kısıtlar, kesin kısıtlara dönüştürülür.

Adım 5: Her bir bulanık amaç fonksiyonu için geliştirilen üç yeni amaç fonksiyonunun doğrusal üyelik fonksiyonları belirlenir.

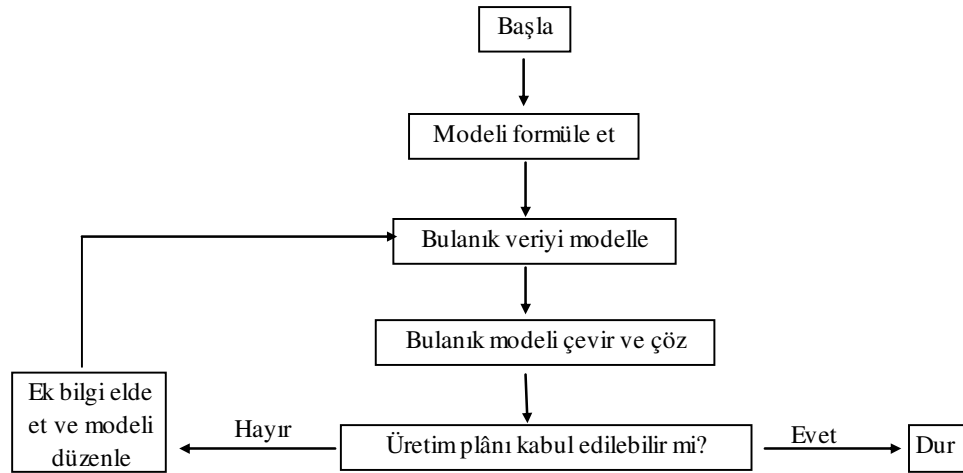
Adım 6: Bellman ve Zadeh (1970)'in bulanık karar verme kavramı ve Zimmermann (1978)'in bulanık programlama yaklaşımı kullanılarak model, klâsik DP modeline çevrilir.

Adım 7: Model çözülerek ilk olarak, karar vericinin tüm bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi belirlenir.

Adım 8: İkinci olarak, Tiwari, Dharmar ve Rao (1986)'nın toplamsal model yaklaşımı kullanılarak karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi her hedefte ayrı ayrı tanımlanır ve bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilir.

Adım 9: Son olarak, bulanık hedeflerin her birinin istenen başarımlı derecesi ve önceliğini karar vericilerin belirlemesine izin veren Chen ve Tsai (2001)'nin yaklaşımı kullanılarak model çözülür.

Adım 10: Karar verici başlangıç çözümünden memnun değilse model, memnun edici çözüm bulunana kadar etkileşimli olarak değiştirilir.



Şekil 2.22: Etkileşimli BÜP sistemi

Kaynak: Wang, R. C. ve Fang, H. H. (2001) "Aggregate Production Planning with Multiple Objectives in a Fuzzy Environment", *European Journal of Operational Research*, c. 133, s. 3, s. 532.

Şekil 2.22, etkileşimli BÜP sistemini göstermektedir. Karar verici, öncelikle pahalı veri toplama yöntemlerini kullanmadan toplayabileceği basit bilgilerle etkileşimli modeli oluşturarak bir "başlangıç çözüm" elde etmektedir. Daha sonra bu çözümdeki sonuçlara göre ek hangi verilere ihtiyacı olduğunu belirlemektedir. Ek verilerin etkileşimli modele eklenmesiyle bulunan "başlangıç çözüm" adım adım iyileştirilmektedir (Çubukçu, 2008: 18). Etkileşimli kavramı, sistem için karar vericinin en iyi çözümü kendi kriterleri doğrultusunda seçmesi anlamına gelmektedir. Karar verici, kendi problemi için en önemli gördüğü faktörlere dayalı olarak amacını en iyi düzeyde gerçekleştirmek istemektedir. Etkileşimli BÜP sistemleri, eğer-o halde kuralını uygulayarak probleme mantıklı düzenlemeler ve sıralamalar getirmekte, etkili ve sistematik yaklaşımları probleme yerleştirmeyi sağlamaktadır. Buna uygun olarak karar verici çözüm sonuçlarını ortaya koymaktadır. Bu sonuçların karar vericiye yeterli gelmesi durumunda problem çözüme ulaşmış olmakta, yeterli gelmemesi durumunda ise, karar verici memnun oluncaya kadar işlemler tekrarlanmakta veya orijinal problem karar vericinin oluşturacağı yeni kriterler doğrultusunda değiştirilerek tekrar çözülmektedir. Etkileşimli yaklaşımda karar vericinin kendisi, bulanık kuramın kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Böylece, etkileşimli süreç, karar verici ve karar süreci arasında bir ilişkiye olanak sağlamaktadır. Bu ilişki, problemin çözümü için gerekli olmaktadır (Atalay, 2006: 44-45).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin konfeksiyon bölümü için bütünleşik üretim plânı hazırlanmıştır. İşletmeye ait bütünleşik üretim plânı için bir önceki bölümde önerilen, bulanık ortamda karar vermeyi sağlayan modellerden biri olan Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) modeli oluşturulmuştur.

Bu uygulamadaki amaç, gerçek hayatın bulanık yapısını yansıtabilen, karar verici ile etkileşimli olarak çalışan, onun tercihleri doğrultusunda amaçları önceliklendiren ve çözüm aşamasında da, bu etkileşimi sürdürerek en iyi çözüme ulaşmaya çalışan bir model kullanılarak endüstriyel üretim sisteminde bütünleşik üretim plânı gerçekleştirmektir.

3.1 UYGULAMANIN YAPILDIĞI TEKSTİL İŞLETMESİ VE KONFEKSİYON BÖLÜMÜ HAKKINDA BİLGİ

Bu bölümde, öncelikle uygulamanın yapıldığı tekstil işletmesi tanıtılmış, daha sonra işletmenin konfeksiyon bölümünün üretim bilgileri ve üretim süreci hakkında bilgi verilmiştir.

3.1.1 İşletmenin Tanıtımı

Uygulamanın yapıldığı işletme, 1994 yılında Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulmuş tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir anonim şirkettir. Bu işletme, başlangıçta havlu, bornoz, örgü kumaş boyama işlemleri amacıyla kurulmuştur. 1996 yılında penye örgü iç ve dış giyime yönelik konfeksiyon bölümü, 1997 yılında da, yuvarlak örgü ve bobin boyama bölümleri kurulmuştur. 2001 yılında ise, konfeksiyon bölümü yeni binasına taşınmış ve mevcut bina tamamıyla işletmenin boyahane ve örgü bölümüne devredilmiştir. 2004 yılı içerisinde örgü bölümünün de faaliyete geçen iplik fabrikasına taşınması ile mevcut alan tümüyle işletme boyahanesine devredilmiştir.

İşletme, 9.000 m²'si konfeksiyon bölümü, 18.000 m²'si iplik ve örgü bölümü, 6.000 m²'si boyahane bölümü olmak üzere 33.000 m²'lik kapalı alana sahiptir ve toplam 65.000 m²'lik bir alana inşa edilmiştir. Konfeksiyon bölümünde 500 kişi, iplik ve örgü bölümünde 150 kişi ve boyahane bölümünde 175 kişi olmak üzere toplam 825 kişi çalışmaktadır. İşletmede sistemin işleyişini etkileyen çalışanların sorumluluk, yetki ve karşılıklı ilişkilerini gösteren organizasyon şeması, iki aşamalı olarak hazırlanmıştır. Bu organizasyon şemaları, Ek 1a ve Ek 1b'de gösterilmektedir. Uygulama, işletmenin konfeksiyon bölümü için yapılmıştır. İşletme, ürettiği konfeksiyon ürünlerini uluslararası lojistik sistemine sahip perakendecilere satmaktadır. İhracat yaptığı ülkeler; Almanya, İngiltere, İtalya, Rusya, Hollanda, Fransa, Belçika, Portekiz, Ukrayna, İrlanda, İspanya, İsveç ve İsviçre'dir.

3.1.2 Üretim Bilgileri

İşletmenin konfeksiyon bölümünde, iç ve dış giyim ürünlerinin üretimi yapılmaktadır. Kesim, nakış ve baskı, dikim, ütüleme ve paketleme bölümlerinde üretim gerçekleştirilmektedir. Kullanılan hammadde; boyahaneden gelen kumaşlar, dış tedarikçilerden alınan malzemeler ve aksesuarlardır. Müşterilerin verdiği siparişlere göre kumaş, boyahanede boyama ve kurutma işlemlerinden geçirilmektedir. Müşterilerin isteği doğrultusunda gerekli malzeme ve aksesuarlar, dış tedarikçilerden temin edilip ürün üzerine gerekli şekilde işlenmektedir. Bu bölümdeki tüm ünitelerin özellikleri, hangi faaliyetlerin hangi ünitelerde gerçekleştirilebileceği ve kullanılacak makineler aşağıdaki gibidir:

Mamül kumaş girişi: Boyahaneden gelen kumaşın kabul edildiği bölümdür. Bu bölümde mamülün genel kontrolü yapılmaktadır. Genel kontrolde kumaşın renk, gramaj gibi nitelik ve niceliklerine dair bilgiler bilgisayara kaydedilmekte, kontrolleri yapılmakta ve uygun bulunması durumunda kesime sevkedilmektedir. Kesim onayı verilmemiş mamul kumaş ise, kumaş kontrolleri yapıldıktan sonra müşteriden kesim onayı gelinceye kadar depoda bekletilmektedir.

Aksesuar girişi: Düğme, çıtçıt, dantel, fiyonk, biye, fermuar, ayar halkası, lastik, kılıçık, askı, marka ve beden etiketleri, yıkama talimatı gibi ürün aksesuarları ve poşet, koli, asorti bandı, barkod, ara kart, karton etiketi, fiyat ve ülke etiketleri gibi paket aksesuarlarının kabul edildiği bölümdür. Bu bölümde aksesuarların genel kontrolü

yapılmaktadır. Kumaş kesildikten sonra taşeron firmada üretilecek ürünlerin aksesuarları taşeron firmaya, bantta dikilecek ürünlerin aksesuarları ise, üretim bandına gönderilmektedir.

Pastal serme ünitesi: Top veya pastal halindeki kumaşın masalara serildiği bölümdür. Bu bölümde 3 adet tüp kumaş serim ve 3 adet açık en kumaş serim masası bulunmaktadır. Bu bölümde, 2 adet CAD kalıp sistem ile model kalıpları oluşturulup pastal yerleştirme, çizim ve serim işlemleri yürütülmektedir.

Kesim ünitesi: Pastal halinde serilmiş kumaşların dikilecek ürüne göre uygun şekilde kesilmesi işlemidir. Kesim makineleri kullanılmaktadır. Kesilen malların tüm parçalarını birbirinden ayırt etmek için numaratorler aracılığıyla numaralandırma yapılmaktadır. Daha sonra buradan baskı veya nakış ünitesine, baskı ve nakış yapılmayacaksa doğrudan dikim ünitesine gönderilmektedir.

Nakış ünitesi: Nakış deseni olan ürünlerde ürünün üzerine nakış işlenen ünitelerdir. Nakış makineleri kullanılmaktadır. 2 adet 9 renkli 10 kafalı nakış makinesi bulunmaktadır.

Baskı ünitesi: Baskı yapılacak ürünlerde ürünün üzerine baskı yapılan ünitelerdir. Baskı makineleri kullanılmaktadır. 1 adet 12 renkli, 2 adet 9 renkli ve 1 adet de 6 renkli parça baskı makinesi bulunmaktadır.

Dikim ünitesi: Kesilmiş parçaların birleştirildiği, ütülenmeye hazır ürün haline getirildiği ünitelerdir. Üretim, bant sistemiyle süreç akış sırasına göre yapılmaktadır. Toplam 275 adet makine parkı bulunmaktadır. Dikiş özelliğine göre overlok, reçme, düğme dikme makineleri kullanılmaktadır. Bu ünitenin çıkışında fazla iplikleri temizlenen (ön kontrol) ve sayımı yapılan ürün, ütü ünitesine gönderilmektedir.

Ütü ünitesi: Dikim sonrası ürünün ütülenerek son halinin verildiği ünitelerdir. Buharlı pres ütü makineleri kullanılmaktadır. Ütüsü yapılan ürünler son kontrol için kalite kontrole gönderilmektedir.

Kalite kontrol ünitesi: Dikilmiş ve ütülenmiş ürünlerin leke, delik, sökük, yırtık, gibi herhangi bir kalite bozukluğunun olup olmadığının kontrol edildiği ünitelerdir. Kalite kontrol sonucu uygun olmayan ürünler ikinci kalite olarak ayrılmaktadır. Belirlenen kabul kriterleri dışına çıkan her hammadde, mamul ve/veya yarı mamul, “uygun olmayan ürün” statüsüne sokulmaktadır.

İşletme; ürünün güvenilirliğini, kalitesini ve yasal şartlara uygunluğunu doğrulamak için kritik noktalarda yapılacak ürün analizi ve testlerini, müşteri ile birlikte belirlemektedir. Ürün kalite ve güvenlik özellikleri, müşteri ile sipariş onayı sırasında referans numunenin kontrolü ve onayı, belirlenen akredite laboratuvarlarda yaptırılan testler, üretim numunelerinin dış kalite denetçileri tarafından üretim süreci sırasında ve sevkiyat öncesinde kontrolü, aksesuar ve malzemelerin kontrolü, kalite yönetim sistemi kapsamında belirlenen kontrol noktalarında ürünlerin kontrolü ve son kalite kontrolleri kapsamında kontrol altına alınarak izlenmektedir.

Paketleme ünitesi: Ürünlerin tüm üretim işlemleri tamamlandıktan sonra müşteri isteğine göre değişen şekillerde kolileme ve sevkiyat öncesi işlemlerin yapıldığı ünedir. Ürünlerin paketleme şartları yani, ürünün tüketicilere sunulacağı ülkeye ve bu ülkedeki yasal düzenlemelere ilişkin özel kontrol yöntemleri, ürünlerin ambalaj şekli, ambalaj içi ürünlerin adet, asorti (renk, beden) şartları, dış ambalaj (nakliye ambalajı) şekli ve yerleştirme adetlerinin tamamı, müşteri tarafından bildirilmektedir. Bu bölümde, müşteri kalite kontrolleri için uygun sistemde hazırlanmış iki adet kalite kontrol odası bulunmaktadır. Sevkiyata hazır olan ürünlere bu odalarda uygun aydınlatma değerleri altında son kontroller yapılmaktadır. Müşteri tarafından tanımlanan iç ve dış ambalaj şeklinin amaca uygun olup olmadığı ve bozulma riskini azaltacak şartlarda muhafaza edilme koşulları, ürün güvenliği veya kalitesini bozucu bir etki yaratıp yaratmayacağı müşteri ile temas kurularak değerlendirilmekte ve uygun görüldüğü takdirde değişiklikler yapılmaktadır.

Sevkiyat ünitesi: Paketlenmiş ürünlerin koliler halinde tır, kamyon vb. araçlara yüklendiği ve müşterilere gönderildiği ünedir.

Tüm bu süreç merkezlerinin işletme alanındaki yerleşim plânı, Ek 2'de gösterilmektedir.

3.1.3 Üretim Süreci

İşletmenin konfeksiyon bölümünün üretim süreci kısaca şu şekildedir:

- Dış müşteriden pazarlama bölümü tarafından sipariş alınır.
- Pazarlama bölümü tarafından sipariş, plânlama bölümüne gönderilir.
- Plânlama bölümü tarafından sipariş değerlendirilir. Kumaş ve aksesuar için gider hesapları yapılır. Kumaş için iplik ve kumaş bölümlerine gerekli

bilgiler verilir. İplik ve kumaş üretimi için sipariş verilir. Kumaş üretildikten sonra boyahane bölümüne boya talimatları verilir, plânlaması yapılır ve boyatılır. Aksesuar için ise, dış tedarikçilere gerekli siparişler verilir.

- Plânlama bölümü tarafından verilen siparişler teslim alındıktan sonra üretim sürecine geçilir.
- Boyahanedен gelen kumaşın ve dış tedarikçilerden alınan aksesuarların genel kontrolleri yapılır.
- Kumaş, pastal serme makinelerinde serilir.
- Kesim makinelerinde gerekli ölçülerde kesilir.
- Siparişe göre nakış, baskı ve dikiş makinelerinde gerekli işlemler gerçekleştirilir. Üzerine aksesuarlar monte edilir.
- Ütü makinelerinde ütüleme işlemi yapılır.
- Ütüsü yapılan ürünlerin kalite kontrolü yapılır.
- Kalite kontrolü yapılan ürünler sevk edilmek üzere paketlenir.
- Paketlenen ürünler kolilere yerleştirilerek sevk edilir.

Üretim sürecini daha iyi ifade edebilmek için kesim, nakış, dikim, ütü - kalite kontrol – paketlenme, kolileme ve sevkiyat süreçleri sırasıyla Ek 3, Ek 4, Ek 5, Ek 6 ve Ek 7’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

3.2 İŞLETMENİN KONFEKSİYON BÖLÜMÜ İÇİN BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLÂNLAMASI PROBLEMİNİN TANIMLANMASI

Çalışma kapsamında ele alınan işletmenin konfeksiyon bölümünün 2010 yılı için bütünleşik üretim plânı yapılmak istenmiştir. Plânlama dönemi, aylık olarak düşünülmüştür. İşletme, üretmekte olduğu tüketici ürünlerini BRC Tüketici Ürünleri Uluslararası Standardı’na göre tanımlanan ‘Karar Ağacı’ doğrultusunda ‘Ürün Grubu 2’ olarak tespit etmiştir. Bunlar; atlet, kilt ve boxer (şort kilt) ürünlerinden oluşan iç giyim grubu ile t-shirt, üst giyim, alt giyim, pijama, sabahlık ve gecelik ürünlerinden oluşan dış giyim grubudur. İşletmenin Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP) problemi; maliyetlerin, taleplerin, işçilik ve makine kullanım sürelerinin, maksimum işgücü düzeylerinin ve makine kapasitelerinin bulanık olduğu bir ortamda toplam maliyeti, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerini ve işgücü düzeylerindeki

değişim maliyetlerini minimize etmek olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, konfeksiyon bölümü için bulanık çok dönemli (12 ay), çok ürünlü (2 ürün grubu) ve çok amaçlı (3 amaç) bir BÜP problemi söz konusudur. Bu problem için ikinci bölümde gösterilen bir Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (EODP) modeli kurulması düşünülmüştür. Modeli oluşturmak için işletmeden alınan veriler şu şekildedir:

Normal mesai üretim maliyeti, normal mesaide üretilecek iç ve dış giyim ürünleri için adet başına doğrudan ilk madde ve malzeme maliyetleri, doğrudan işçilik maliyeti ve genel üretim giderlerinden oluşmaktadır. Doğrudan ilk madde ve malzeme maliyetleri; kumaş, malzeme ve aksesuar maliyetleridir. Kumaş maliyeti iplik, örgü ve boya maliyetlerini; malzeme maliyeti, baskı ve nakış malzeme maliyetlerini; aksesuar maliyeti ise, ürün ve paket aksesuar maliyetlerini içermektedir. Doğrudan işçilik maliyeti, işçilere ödenen normal mesai ücretleridir. Genel üretim giderleri ise, dolaylı malzeme ve işçilik maliyeleri, üretimde kullanılan duran varlıkların amortisman giderleri, üretimde kullanılan sabit değerlerin sigorta, vergi, resim, harç ve kira giderleri, enerji ve yakıt giderleri ve servis giderleridir. İşletme tarafından genel üretim giderleri, ürün başına doğrudan ilk madde ve malzeme maliyetleri ile doğrudan işçilik maliyetleri toplamının % 15'i olarak belirlenmiştir.

Aynı şekilde, fazla mesai üretim maliyeti de fazla mesaide üretilecek iç ve dış giyim ürünleri için adet başına doğrudan ilk madde ve malzeme maliyetleri, doğrudan işçilik maliyeti ve genel üretim giderlerinden oluşmaktadır.

Taşeron üretim maliyeti, taşeron firmaya gönderilen ürünlerin üretim ve nakliye maliyetidir. Stok bulundurma maliyeti ise, şu şekilde hesaplanmıştır: T.C. İş Bankası'ndan 2010 yılı beklenen aylık faiz getirisi 0,006 olarak alınmıştır. Bir adet iç ve dış giyim ürününün stok değeri, bu faiz getirisi ile çarpılarak fırsat maliyeti elde edilmiştir. Stokta bekleyen ürünün fire oranı, işletme tarafından 0,002 olarak belirlenmiştir. İşletmeden alınan taşıma, depolama, emniyet ve vergi maliyetleri ile ilgili maliyetler de sermaye ve fire maliyetine eklenerek stok bulundurma maliyeti bulunmuştur.

İşletmeden sipariş erteleme durumunda kaldığında haftalık % 5 yani aylık yaklaşık % 20 gibi bir fiyat indirimi yapmakta olduğu bilgisi alınmıştır. Ayrıca, siparişin yüklenememesinden dolayı o ay içinde gerçekleşen % 15'lik genel üretim maliyeti, ertelenen siparişin üzerinde gösterilemediği için diğer satış ve yüklemelere

eklenmektedir. Dolayısıyla, ertelenen sipariş maliyeti de bir adet iç ve dış giyim ürününün satış değerinin % 35'i alınarak hesaplanmıştır.

Bir işçiyi işe alma ve işten çıkarma maliyetleri de bir işçinin aylık maksimum çalışma süresine bölünerek işçi-saat olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1: İlgili maliyet katsayı verileri

Maliyet katsayıları	Ürün Grubu	
	İç Giyim	Dış Giyim
\tilde{a}_{nt} - Normal mesai maliyeti (TL/adet)	(3,09, 3,29, 3,39)	(4,69, 4,92, 5,04)
\tilde{b}_{nt} - Fazla mesai maliyeti (TL/adet)	(3,12, 3,33, 3,44)	(4,75, 4,99, 5,11)
\tilde{c}_{nt} - Taşeron maliyeti (TL/adet)	(3,04, 3,24, 3,34)	(4,59, 4,79, 4,89)
\tilde{d}_{nt} - Stok bulundurma maliyeti (TL/adet)	(0,035, 0,040, 0,045)	(0,057, 0,063, 0,069)
\tilde{e}_{nt} - Ertelenen sipariş maliyeti (TL/adet)	(0,95, 1,24, 1,39)	(1,42, 1,86, 2,08)
\tilde{k}_t - İşe alma maliyeti (TL/işçi-saat)	(1,94, 2,13, 2,20)	
\tilde{m}_t - İşten çıkarma maliyeti (TL/işçi-saat)	(5,62, 5,91, 6,20)	

Maliyetler tam olarak ifade edilemediği için işletmenin plânlama müdürü, geçmiş verilere ve tecrübelerine dayanarak bu değerleri en iyimser, en olası ve en kötümser olmak üzere yaklaşık olarak vermiştir. Çizelge 3.1, işletmeden alınan ilgili maliyet katsayı verilerini göstermektedir. Görüldüğü gibi bu veriler, üçgensel olasılık dağılımlarıyla ifade edilen belirsiz sayılardır. Normal ve fazla mesai üretim maliyeti, taşeron maliyeti, stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetleri için alt sınır; bir adet ürünün üretilebilmesi için gerekli minimum maliyet, üst sınır; üretimin belirsizlikten kaynaklanan fakat gerçekleşme olasılığı düşük olan daha yüksek bir üretim maliyetini ve orta değer (en olası değer) ise, bir adet ürünün üretilmesi için gerekli ve gerçekleşme olasılığı en yüksek olan maliyeti ifade etmektedir. Bir işçiyi işe alma ve işten çıkarma maliyetleri için alt sınır; bir işçiyi işe alma ve işten çıkarmanın minimum maliyetini, üst sınır, belirsizlikten kaynaklanan fakat gerçekleşme olasılığı düşük olan en yüksek maliyeti, orta değer ise, gerçekleşme olasılığı en yüksek olan maliyeti ifade etmektedir.

T.C.M.B. verilerine bakılarak 2010 yılı için beklenen enflasyon oranı yıl sonu hedefinin ise, % 6,5 olduğu görülmüştür. Bu durumda $(1+i)^{12} = 1,065$ 'tir. Dolayısıyla,

üretim maliyet sınıflarının her biri için aylık beklenen eskalasyon faktörü (i), yaklaşık 0,005 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.2: Tahmini talep verileri

Dönemler (t)	Ürün Grubu	
	İç Giyim (\tilde{D}_{1t})	Dış Giyim (\tilde{D}_{2t})
Ocak	(304.768, 312.788, 336.849)	(991.552, 1.069.833, 1.095.926)
Şubat	(528.960, 542.880, 584.640)	(775.640, 836.875, 857.287)
Mart	(538.434, 552.604, 595.112)	(1.336.073, 1.441.552, 1.476.712)
Nisan	(566.870, 581.788, 626.542)	(826.667, 891.931, 913.685)
Mayıs	(758.460, 778.420, 838.298)	(1.104.494, 1.191.691, 1.220.757)
Haziran	(376.208, 386.108, 415.808)	(702.822, 758.309, 776.804)
Temmuz	(604.754, 620.669, 668.412)	(760.386, 820.416, 840.426)
Ağustos	(253.524, 260.196, 280.210)	(1.350.673, 1.457.305, 1.492.849)
Eylül	(296.500, 304.303, 327.710)	(1.351.689, 1.458.402, 1.493.972)
Ekim	(488.751, 501.613, 540.198)	(1.390.440, 1.500.212, 1.536.802)
Kasım	(498.525, 511.644, 551.001)	(1.487.993, 1.605.466, 1.644.624)
Aralık	(294.246, 301.990, 325.219)	(651.570, 703.010, 720.156)

İşletmenin plânlama müdürü, geçmiş verilere ve tecrübelerine dayanarak 2010 yılı iç ve dış giyim ürün gruplarının talep beklentileri için de en kötümser, en olası ve en iyimser değerleri vermiştir. Çizelge 3.2, işletmeden alınan tahmini talep verilerini göstermektedir.

2010 yılı Ocak ayı başında mevcut başlangıç stok miktarı, iç giyim için 125.000 adet ve dış giyim için 183.000 adet, 2010 yılı Aralık ayı sonu bitiş stok miktarı ise, iç giyim için 135.000 adet ve dış giyim için 223.000 adet olarak belirlenmiştir. Bir sonraki aya ertelenen maksimum sipariş miktarı, iç giyim için aylık 80.000 adet ve dış giyim için ise, aylık 200.000 adet olarak verilmiştir. Siparişlerin ertelenme olasılığını azaltmak için işletmenin belirlemiş olduğu minimum stok miktarı, iç giyim için aylık 120.000 adet, dış giyim için ise, aylık 175.000 adettir. Maksimum taşeron miktarı ise, iç giyim için aylık 300.000, dış giyim için ise, aylık 980.000 adet olarak verilmiştir.

İşletmenin 2010 yılı başlangıç işgücü düzeyi 510 işçidir. İşletme, çalışmalarını dokuz saat beş gün gündüz tek vardiya şeklinde sürdürmektedir. Bir işçinin aylık yasal

çalışma süresi maksimum 198 saattir. Bir işçinin aylık fazla mesai çalışma süresi ise, maksimum 60 saattir. Bu nedenle, başlangıç işgücü düzeyi, 131.580 işçi-saat olarak alınmıştır. Bir işçinin iç giyim ürün grubu için her ay adet başına işçilik süresi, (0,10, 0,11, 0,12) işçi-saat, dış giyim ürün grubu için her ay adet başına işçilik süresi ise, (0,23, 0,25, 0,27) işçi-saat olarak verilmiştir. Bir aylık maksimum normal mesai işçilik düzeyi (99.000, 108.900, 118.800) işçi-saat ve bir aylık maksimum fazla mesai işçilik düzeyi ise, (30.000, 33.000, 36.000) işçi-saat olarak verilmiştir. Aylık maksimum işe alınan işçi düzeyi 1.548 işçi-saat ve işten çıkarılan işçi düzeyi 774 işçi-saattir.

Bir makinenin iç giyim ürün grubu için adet başına makine kullanım süresi, (0,030, 0,033, 0,036) makine-saat, dış giyim ürün grubu için adet başına makine kullanım süresi ise, (0,045, 0,050, 0,055) makine-saat olarak verilmiştir. Bir aylık maksimum normal mesai makine kullanım kapasitesi (39.600, 49.500, 59.400) makine-saat ve bir aylık maksimum fazla mesai makine kullanım kapasitesi ise, (12.000, 15.000, 18.000) makine-saat olarak verilmiştir.

İç giyim ürün grubu için adet başına depo alanı $0,0024 \text{ m}^2$, dış giyim ürün grubu için ise, $0,0040 \text{ m}^2$ 'dir. Maksimum depo alanı ise, 2.000 m^2 'dir.

3.3 ÇÖZÜM ALGORİTMASI

3.3.1 Tanımlanan Bütünleşik Üretim Plânlaması Problemi için Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modelinin Oluşturulması

İşletmenin konfeksiyon bölümü için tanımlanan Bütünleşik Üretim Plânlaması (BÜP) problemi için mevcut veriler ile oluşturulan modelin açılımı şu şekildedir:

Amaç Fonksiyonları

Amaç 1: Toplam maliyetin minimizasyonu

$$\begin{aligned} \text{Min } \tilde{z}_1 = & (3,09, 3,29, 3,39) Q_{11} (1 + 0,005)^1 + (3,12, 3,33, 3,44) O_{11} (1 + 0,005)^1 + (3,04, \\ & 3,24, 3,34) S_{11} (1 + 0,005)^1 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{11} (1 + 0,005)^1 + (0,95, 1,24, 1,39) \\ & B_{11} (1 + 0,005)^1 + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{12} (1 + 0,005)^2 + (3,12, 3,33, 3,44) O_{12} (1 + \\ & 0,005)^2 + (3,04, 3,24, 3,34) S_{12} (1 + 0,005)^2 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{12} (1 + 0,005)^2 + \\ & (0,95, 1,24, 1,39) B_{12} (1 + 0,005)^2 + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{13} (1 + 0,005)^3 + (3,12, 3,33, \\ & 3,44) O_{13} (1 + 0,005)^3 + (3,04, 3,24, 3,34) S_{13} (1 + 0,005)^3 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{13} (1 \\ & + 0,005)^3 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{13} (1 + 0,005)^3 + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{14} (1 + 0,005)^4 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (3,12, 3,33, 3,44) O_{14} (1 + 0,005)^4 + (3,04, 3,24, 3,34) S_{14} (1 + 0,005)^4 + (0,035, 0,040, \\
& 0,045) I_{14} (1 + 0,005)^4 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{14} (1 + 0,005)^4 + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{15} (1 + \\
& 0,005)^5 + (3,12, 3,33, 3,44) O_{15} (1 + 0,005)^5 + (3,04, 3,24, 3,34) S_{15} (1 + 0,005)^5 + \\
& (0,035, 0,040, 0,045) I_{15} (1 + 0,005)^5 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{15} (1 + 0,005)^5 + (3,09, 3,29, \\
& 3,39) Q_{16} (1 + 0,005)^6 + (3,12, 3,33, 3,44) O_{16} (1 + 0,005)^6 + (3,04, 3,24, 3,34) S_{16} (1 + \\
& 0,005)^6 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{16} (1 + 0,005)^6 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{16} (1 + 0,005)^6 + \\
& (3,09, 3,29, 3,39) Q_{17} (1 + 0,005)^7 + (3,12, 3,33, 3,44) O_{17} (1 + 0,005)^7 + (3,04, 3,24, \\
& 3,34) S_{17} (1 + 0,005)^7 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{17} (1 + 0,005)^7 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{17} (1 \\
& + 0,005)^7 + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{18} (1 + 0,005)^8 + (3,12, 3,33, 3,44) O_{18} (1 + 0,005)^8 + \\
& (3,04, 3,24, 3,34) S_{18} (1 + 0,005)^8 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{18} (1 + 0,005)^8 + (0,95, 1,24, \\
& 1,39) B_{18} (1 + 0,005)^8 + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{19} (1 + 0,005)^9 + (3,12, 3,33, 3,44) O_{19} (1 + \\
& 0,005)^9 + (3,04, 3,24, 3,34) S_{19} (1 + 0,005)^9 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{19} (1 + 0,005)^9 + \\
& (0,95, 1,24, 1,39) B_{19} (1 + 0,005)^9 + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{110} (1 + 0,005)^{10} + (3,12, 3,33, \\
& 3,44) O_{110} (1 + 0,005)^{10} + (3,04, 3,24, 3,34) S_{110} (1 + 0,005)^{10} + (0,035, 0,040, 0,045) \\
& I_{110} (1 + 0,005)^{10} + (0,95, 1,24, 1,39) B_{110} (1 + 0,005)^{10} + (3,09, 3,29, 3,39) Q_{111} (1 + \\
& 0,005)^{11} + (3,12, 3,33, 3,44) O_{111} (1 + 0,005)^{11} + (3,04, 3,24, 3,34) S_{111} (1 + 0,005)^{11} + \\
& (0,035, 0,040, 0,045) I_{111} (1 + 0,005)^{11} + (0,95, 1,24, 1,39) B_{111} (1 + 0,05)^{11} + (3,09, \\
& 3,29, 3,39) Q_{112} (1 + 0,005)^{12} + (3,12, 3,33, 3,44) O_{112} (1 + 0,005)^{12} + (3,04, 3,24, 3,34) \\
& S_{112} (1 + 0,005)^{12} + (0,035, 0,040, 0,045) I_{112} (1 + 0,005)^{12} + (0,95, 1,24, 1,39) B_{112} (1 + \\
& 0,005)^{12} + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{21} (1 + 0,005)^1 + (4,75, 4,99, 5,11) O_{21} (1 + 0,005)^1 + \\
& (4,59, 4,79, 4,89) S_{21} (1 + 0,005)^1 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{21} (1 + 0,005)^1 + (1,42, 1,86, \\
& 2,08) B_{21} (1 + 0,005)^1 + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{22} (1 + 0,005)^2 + (4,75, 4,99, 5,11) O_{22} (1 + \\
& 0,005)^2 + (4,59, 4,79, 4,89) S_{22} (1 + 0,005)^2 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{22} (1 + 0,005)^2 + \\
& (1,42, 1,86, 2,08) B_{22} (1 + 0,005)^2 + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{23} (1 + 0,005)^3 + (4,75, 4,99, \\
& 5,11) O_{23} (1 + 0,005)^3 + (4,59, 4,79, 4,89) S_{23} (1 + 0,005)^3 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{23} (1 \\
& + 0,005)^3 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{23} (1 + 0,005)^3 + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{24} (1 + 0,005)^4 + \\
& (4,75, 4,99, 5,11) O_{24} (1 + 0,005)^4 + (4,59, 4,79, 4,89) S_{24} (1 + 0,005)^4 + (0,057, 0,063, \\
& 0,069) I_{24} (1 + 0,005)^4 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{24} (1 + 0,005)^4 + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{25} (1 + \\
& 0,005)^5 + (4,75, 4,99, 5,11) O_{25} (1 + 0,005)^5 + (4,59, 4,79, 4,89) S_{25} (1 + 0,005)^5 + \\
& (0,057, 0,063, 0,069) I_{25} (1 + 0,005)^5 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{25} (1 + 0,005)^5 + (4,69, 4,92, \\
& 5,04) Q_{26} (1 + 0,005)^6 + (4,75, 4,99, 5,11) O_{26} (1 + 0,005)^6 + (4,59, 4,79, 4,89) S_{26} (1 + \\
& 0,005)^6 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{26} (1 + 0,005)^6 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{26} (1 + 0,005)^6 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (4,69, 4,92, 5,04) Q_{27} (1 + 0,005)^7 + (4,75, 4,99, 5,11) O_{27} (1 + 0,005)^7 + (4,59, 4,79, \\
& 4,89) S_{27} (1 + 0,005)^7 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{27} (1 + 0,005)^7 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{27} (1 \\
& + 0,005)^7 + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{28} (1 + 0,005)^8 + (4,75, 4,99, 5,11) O_{28} (1 + 0,005)^8 + \\
& (4,59, 4,79, 4,89) S_{28} (1 + 0,005)^8 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{28} (1 + 0,005)^8 + (1,42, 1,86, \\
& 2,08) B_{28} (1 + 0,005)^8 + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{29} (1 + 0,005)^9 + (4,75, 4,99, 5,11) O_{29} (1 + \\
& 0,005)^9 + (4,59, 4,79, 4,89) S_{29} (1 + 0,005)^9 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{29} (1 + 0,005)^9 + \\
& (1,42, 1,86, 2,08) B_{29} (1 + 0,005)^9 + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{210} (1 + 0,005)^{10} + (4,75, 4,99, \\
& 5,11) O_{210} (1 + 0,005)^{10} + (4,59, 4,79, 4,89) S_{210} (1 + 0,005)^{10} + (0,057, 0,063, 0,069) \\
& I_{210} (1 + 0,005)^{10} + (1,42, 1,86, 2,08) B_{210} (1 + 0,005)^{10} + (4,69, 4,92, 5,04) Q_{211} (1 + \\
& 0,005)^{11} + (4,75, 4,99, 5,11) O_{211} (1 + 0,005)^{11} + (4,59, 4,79, 4,89) S_{211} (1 + 0,005)^{11} + \\
& (0,057, 0,063, 0,069) I_{211} (1 + 0,005)^{11} + (1,42, 1,86, 2,08) B_{211} (1 + 0,005)^{11} + (4,69, \\
& 4,92, 5,04) Q_{212} (1 + 0,005)^{12} + (4,75, 4,99, 5,11) O_{212} (1 + 0,005)^{12} + (4,59, 4,79, 4,89) \\
& S_{212} (1 + 0,005)^{12} + (0,057, 0,063, 0,069) I_{212} (1 + 0,005)^{12} + (1,42, 1,86, 2,08) B_{212} (1 + \\
& 0,005)^{12} + ((1,94, 2,13, 2,20) H_1 + (5,62, 5,91, 6,20) F_1) (1 + 0,005)^1 + ((1,94, 2,13, \\
& 2,20) H_2 + (5,62, 5,91, 6,20) F_2) (1 + 0,005)^2 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_3 + (5,62, 5,91, \\
& 6,20) F_3) (1 + 0,005)^3 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_4 + (5,62, 5,91, 6,20) F_4) (1 + 0,005)^4 + \\
& ((1,94, 2,13, 2,20) H_5 + (5,62, 5,91, 6,20) F_5) (1 + 0,005)^5 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_6 + \\
& (5,62, 5,91, 6,20) F_6) (1 + 0,005)^6 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_7 + (5,62, 5,91, 6,20) F_7) (1 + \\
& 0,005)^7 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_8 + (5,62, 5,91, 6,20) F_8) (1 + 0,005)^8 + ((1,94, 2,13, 2,20) \\
& H_9 + (5,62, 5,91, 6,20) F_9) (1 + 0,005)^9 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_{10} + (5,62, 5,91, 6,20) F_{10}) \\
& (1 + 0,005)^{10} + ((1,94, 2,13, 2,20) H_{11} + (5,62, 5,91, 6,20) F_{11}) (1 + 0,005)^{11} + ((1,94, \\
& 2,13, 2,20) H_{12} + (5,62, 5,91, 6,20) F_{12}) (1 + 0,005)^{12} \tag{3.1}
\end{aligned}$$

Amaç 2: Toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin minimizasyonu

$$\begin{aligned}
\text{Min } \tilde{z}_2 = & (0,035, 0,040, 0,045) I_{11} (1 + 0,005)^1 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{11} (1 + 0,005)^1 + \\
& (0,035, 0,040, 0,045) I_{12} (1 + 0,005)^2 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{12} (1 + 0,005)^2 + (0,035, \\
& 0,040, 0,045) I_{13} (1 + 0,005)^3 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{13} (1 + 0,005)^3 + (0,035, 0,040, 0,045) \\
& I_{14} (1 + 0,005)^4 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{14} (1 + 0,005)^4 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{15} (1 + \\
& 0,005)^5 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{15} (1 + 0,005)^5 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{16} (1 + 0,005)^6 + \\
& (0,95, 1,24, 1,39) B_{16} (1 + 0,005)^6 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{17} (1 + 0,005)^7 + (0,95, 1,24, \\
& 1,39) B_{17} (1 + 0,005)^7 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{18} (1 + 0,005)^8 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{18} (1 \\
& + 0,005)^8 + (0,035, 0,040, 0,045) I_{19} (1 + 0,005)^9 + (0,95, 1,24, 1,39) B_{19} (1 + 0,005)^9 +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (0,035, 0,040, 0,045) I_{110} (1 + 0,005)^{10} + (0,95, 1,24, 1,39) B_{110} (1 + 0,005)^{10} + (0,035, \\
& 0,040, 0,045) I_{111} (1 + 0,005)^{11} + (0,95, 1,24, 1,39) B_{111} (1 + 0,005)^{11} + (0,035, 0,040, \\
& 0,045) I_{112} (1 + 0,005)^{12} + (0,95, 1,24, 1,39) B_{112} (1 + 0,005)^{12} + (0,057, 0,063, 0,069) I_{21} \\
& (1 + 0,005)^1 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{21} (1 + 0,005)^1 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{22} (1 + 0,005)^2 \\
& + (1,42, 1,86, 2,08) B_{22} (1 + 0,005)^2 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{23} (1 + 0,005)^3 + (1,42, \\
& 1,86, 2,08) B_{23} (1 + 0,005)^3 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{24} (1 + 0,005)^4 + (1,42, 1,86, 2,08) \\
& B_{24} (1 + 0,005)^4 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{25} (1 + 0,005)^5 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{25} (1 + \\
& 0,005)^5 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{26} (1 + 0,005)^6 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{26} (1 + 0,005)^6 + \\
& (0,057, 0,063, 0,069) I_{27} (1 + 0,005)^7 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{27} (1 + 0,005)^7 + (0,057, \\
& 0,063, 0,069) I_{28} (1 + 0,005)^8 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{28} (1 + 0,005)^8 + (0,057, 0,063, \\
& 0,069) I_{29} (1 + 0,005)^9 + (1,42, 1,86, 2,08) B_{29} (1 + 0,005)^9 + (0,057, 0,063, 0,069) I_{210} (1 \\
& + 0,005)^{10} + (1,42, 1,86, 2,08) B_{210} (1 + 0,005)^{10} + (0,057, 0,063, 0,069) I_{211} (1 + \\
& 0,005)^{11} + (1,42, 1,86, 2,08) B_{211} (1 + 0,005)^{11} + (0,057, 0,063, 0,069) I_{212} (1 + 0,005)^{12} \\
& + (1,42, 1,86, 2,08) B_{212} (1 + 0,005)^{12} \tag{3.2}
\end{aligned}$$

Amaç 3: İşgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerinin minimizasyonu

$$\begin{aligned}
\text{Min } \tilde{z}_3 = & ((1,94, 2,13, 2,20) H_1 + (5,62, 5,91, 6,20) F_1) (1 + 0,005)^1 + ((1,94, 2,13, 2,20) \\
& H_2 + (5,62, 5,91, 6,20) F_2) (1 + 0,005)^2 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_3 + (5,62, 5,91, 6,20) F_3) \\
& (1 + 0,005)^3 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_4 + (5,62, 5,91, 6,20) F_4) (1 + 0,005)^4 + ((1,94, 2,13, \\
& 2,20) H_5 + (5,62, 5,91, 6,20) F_5) (1 + 0,005)^5 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_6 + (5,62, 5,91, \\
& 6,20) F_6) (1 + 0,005)^6 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_7 + (5,62, 5,91, 6,20) F_7) (1 + 0,005)^7 + \\
& ((1,94, 2,13, 2,20) H_8 + (5,62, 5,91, 6,20) F_8) (1 + 0,005)^8 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_9 + \\
& (5,62, 5,91, 6,20) F_9) (1 + 0,005)^9 + ((1,94, 2,13, 2,20) H_{10} + (5,62, 5,91, 6,20) F_{10}) (1 + \\
& 0,005)^{10} + ((1,94, 2,13, 2,20) H_{11} + (5,62, 5,91, 6,20) F_{11}) (1 + 0,005)^{11} + ((1,94, 2,13, \\
& 2,20) H_{12} + (5,62, 5,91, 6,20) F_{12}) (1 + 0,005)^{12} \tag{3.3}
\end{aligned}$$

Kısıtlar

Talep ile ilgili kısıtlar

$$125.000 - 0 + Q_{11} + O_{11} + S_{11} - I_{11} + B_{11} = (304.768, 312.788, 336.849)$$

$$I_{11} - B_{11} + Q_{12} + O_{12} + S_{12} - I_{12} + B_{12} = (528.960, 542.880, 584.640)$$

$$I_{12} - B_{12} + Q_{13} + O_{13} + S_{13} - I_{13} + B_{13} = (538.434, 552.604, 595.112)$$

$$I_{13} - B_{13} + Q_{14} + O_{14} + S_{14} - I_{14} + B_{14} = (566.870, 581.788, 626.542)$$

$$I_{14} - B_{14} + Q_{15} + O_{15} + S_{15} - I_{15} + B_{15} = (758.460, 778.420, 838.298)$$

$$I_{15} - B_{15} + Q_{16} + O_{16} + S_{16} - I_{16} + B_{16} = (376.208, 386.108, 415.808)$$

$$I_{16} - B_{16} + Q_{17} + O_{17} + S_{17} - I_{17} + B_{17} = (604.754, 620.669, 668.412)$$

$$I_{17} - B_{17} + Q_{18} + O_{18} + S_{18} - I_{18} + B_{18} = (253.524, 260.196, 280.210)$$

$$I_{18} - B_{18} + Q_{19} + O_{19} + S_{19} - I_{19} + B_{19} = (296.500, 304.303, 327.710)$$

$$I_{19} - B_{19} + Q_{110} + O_{110} + S_{110} - I_{110} + B_{110} = (488.751, 501.613, 540.198)$$

$$I_{110} - B_{110} + Q_{111} + O_{111} + S_{111} - I_{111} + B_{111} = (498.525, 511.644, 551.001)$$

$$I_{111} - B_{111} + Q_{112} + O_{112} + S_{112} - I_{112} + B_{112} = (294.246, 301.990, 325.219)$$

$$I_{112} - B_{112} = 135.000$$

$$183.000 - 0 + Q_{21} + O_{21} + S_{21} - I_{21} + B_{21} = (991.552, 1.069.833, 1.095.926)$$

$$I_{21} - B_{21} + Q_{22} + O_{22} + S_{22} - I_{22} + B_{22} = (775.640, 836.875, 857.287)$$

$$I_{22} - B_{22} + Q_{23} + O_{23} + S_{23} - I_{23} + B_{23} = (1.336.073, 1.441.552, 1.476.712)$$

$$I_{23} - B_{23} + Q_{24} + O_{24} + S_{24} - I_{24} + B_{24} = (826.667, 891.931, 913.685)$$

$$I_{24} - B_{24} + Q_{25} + O_{25} + S_{25} - I_{25} + B_{25} = (1.104.494, 1.191.691, 1.220.757)$$

$$I_{25} - B_{25} + Q_{26} + O_{26} + S_{26} - I_{26} + B_{26} = (702.822, 758.309, 776.804)$$

$$I_{26} - B_{26} + Q_{27} + O_{27} + S_{27} - I_{27} + B_{27} = (760.386, 820.416, 840.426)$$

$$I_{27} - B_{27} + Q_{28} + O_{28} + S_{28} - I_{28} + B_{28} = (1.350.673, 1.457.305, 1.492.849)$$

$$I_{28} - B_{28} + Q_{29} + O_{29} + S_{29} - I_{29} + B_{29} = (1.351.689, 1.458.402, 1.493.972)$$

$$I_{29} - B_{29} + Q_{210} + O_{210} + S_{210} - I_{210} + B_{210} = (1.390.440, 1.500.212, 1.536.802)$$

$$I_{210} - B_{210} + Q_{211} + O_{211} + S_{211} - I_{211} + B_{211} = (1.487.993, 1.605.466, 1.644.624)$$

$$I_{211} - B_{211} + Q_{212} + O_{212} + S_{212} - I_{212} + B_{212} = (651.570, 703.010, 720.156)$$

$$I_{212} - B_{212} = 223.000$$

(3.4)

$$B_{11} \leq 80.000$$

$$B_{21} \leq 200.000$$

$$B_{12} \leq 80.000$$

$$B_{22} \leq 200.000$$

$$B_{13} \leq 80.000$$

$$B_{23} \leq 200.000$$

$$B_{14} \leq 80.000$$

$$B_{24} \leq 200000$$

$$B_{15} \leq 80.000$$

$$B_{25} \leq 200.000$$

$$B_{16} \leq 80.000$$

$$B_{26} \leq 200.000$$

$$B_{17} \leq 80.000$$

$$B_{27} \leq 200.000$$

$$B_{18} \leq 80.000$$

$$B_{28} \leq 200.000$$

$$\begin{array}{ll}
B_{19} \leq 80.000 & B_{29} \leq 200.000 \\
B_{110} \leq 80.000 & B_{210} \leq 200.000 \\
B_{111} \leq 80.000 & B_{211} \leq 200.000 \\
B_{112} \leq 80.000 & B_{212} \leq 200.000
\end{array} \tag{3.5}$$

$$\begin{array}{ll}
I_{11} \geq 120.000 & I_{21} \geq 175.000 \\
I_{12} \geq 120.000 & I_{22} \geq 175.000 \\
I_{13} \geq 120.000 & I_{23} \geq 175.000 \\
I_{14} \geq 120.000 & I_{24} \geq 175.000 \\
I_{15} \geq 120.000 & I_{25} \geq 175.000 \\
I_{16} \geq 120.000 & I_{26} \geq 175.000 \\
I_{17} \geq 120.000 & I_{27} \geq 175.000 \\
I_{18} \geq 120.000 & I_{28} \geq 175.000 \\
I_{19} \geq 120.000 & I_{29} \geq 175.000 \\
I_{110} \geq 120.000 & I_{210} \geq 175.000 \\
I_{111} \geq 120.000 & I_{211} \geq 175.000 \\
I_{112} \geq 120.000 & I_{212} \geq 175.000
\end{array} \tag{3.6}$$

$$\begin{array}{ll}
S_{11} \leq 300.000 & S_{21} \leq 980.000 \\
S_{12} \leq 300.000 & S_{22} \leq 980.000 \\
S_{13} \leq 300.000 & S_{23} \leq 980.000 \\
S_{14} \leq 300.000 & S_{24} \leq 980.000 \\
S_{15} \leq 300.000 & S_{25} \leq 980.000 \\
S_{16} \leq 300.000 & S_{26} \leq 980.000 \\
S_{17} \leq 300.000 & S_{27} \leq 980.000 \\
S_{18} \leq 300.000 & S_{28} \leq 980.000 \\
S_{19} \leq 300.000 & S_{29} \leq 980.000 \\
S_{110} \leq 300.000 & S_{210} \leq 980.000 \\
S_{111} \leq 300.000 & S_{211} \leq 980.000 \\
S_{112} \leq 300.000 & S_{212} \leq 980.000
\end{array} \tag{3.7}$$

İşgücü düzeyleri ile ilgili kısıtlar

$$\begin{aligned}
&131.580 + H_1 - F_1 - [(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{11} + O_{11}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{21} + O_{21})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{11} + O_{11}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{21} + O_{21}) + H_2 - F_2 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{12} + O_{12}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{22} + O_{22})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{12} + O_{12}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{22} + O_{22}) + H_3 - F_3 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{13} + O_{13}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{23} + O_{23})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{13} + O_{13}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{23} + O_{23}) + H_4 - F_4 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{14} + O_{14}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{24} + O_{24})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{14} + O_{14}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{24} + O_{24}) + H_5 - F_5 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{15} + O_{15}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{25} + O_{25})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{15} + O_{15}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{25} + O_{25}) + H_6 - F_6 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{16} + O_{16}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{26} + O_{26})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{16} + O_{16}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{26} + O_{26}) + H_7 - F_7 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{17} + O_{17}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{27} + O_{27})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{17} + O_{17}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{27} + O_{27}) + H_8 - F_8 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{18} + O_{18}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{28} + O_{28})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{18} + O_{18}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{28} + O_{28}) + H_9 - F_9 - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{19} + O_{19}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{29} + O_{29})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{19} + O_{19}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{29} + O_{29}) + H_{10} - F_{10} - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{110} + O_{110}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{210} + O_{210})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{110} + O_{110}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{210} + O_{210}) + H_{11} - F_{11} - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{111} + O_{111}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{211} + O_{211})] = 0 \\
&(0,10, 0,11, 0,12)(Q_{111} + O_{111}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{211} + O_{211}) + H_{12} - F_{12} - [(0,10, 0,11, \\
&0,12)(Q_{112} + O_{112}) + (0,23, 0,25, 0,27)(Q_{212} + O_{212})] = 0 \tag{3.8}
\end{aligned}$$

$$(0,10, 0,11, 0,12) Q_{11} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{21} \leq (99.000, 108.900, 118.800)$$

$$(0,10, 0,11, 0,12) Q_{12} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{22} \leq (99.000, 108.900, 118.800)$$

$$(0,10, 0,11, 0,12) Q_{13} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{23} \leq (99.000, 108.900, 118.800)$$

$$(0,10, 0,11, 0,12) Q_{14} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{24} \leq (99.000, 108.900, 118.800)$$

$$(0,10, 0,11, 0,12) Q_{15} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{25} \leq (99.000, 108.900, 118.800)$$

$$(0,10, 0,11, 0,12) Q_{16} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{26} \leq (99.000, 108.900, 118.800)$$

$$(0,10, 0,11, 0,12) Q_{17} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{27} \leq (99.000, 108.900, 118.800)$$

$$\begin{aligned}
(0,10, 0,11, 0,12) Q_{18} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{28} &\leq (99.000, 108.900, 118.800) \\
(0,10, 0,11, 0,12) Q_{19} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{29} &\leq (99.000, 108.900, 118.800) \\
(0,10, 0,11, 0,12) Q_{110} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{210} &\leq (99.000, 108.900, 118.800) \\
(0,10, 0,11, 0,12) Q_{111} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{211} &\leq (99.000, 108.900, 118.800) \\
(0,10, 0,11, 0,12) Q_{112} + (0,23, 0,25, 0,27) Q_{212} &\leq (99.000, 108.900, 118.800)
\end{aligned} \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned}
(0,10, 0,11, 0,12) O_{11} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{21} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{12} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{22} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{13} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{23} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{14} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{24} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{15} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{25} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{16} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{26} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{17} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{27} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{18} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{28} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{19} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{29} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{110} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{210} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{111} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{211} &\leq (30.000, 33.000, 36.000) \\
(0,10, 0,11, 0,12) O_{112} + (0,23, 0,25, 0,27) O_{212} &\leq (30.000, 33.000, 36.000)
\end{aligned} \tag{3.10}$$

$$H_1 \leq 1.548$$

$$F_1 \leq 774$$

$$H_2 \leq 1.548$$

$$F_2 \leq 774$$

$$H_3 \leq 1.548$$

$$F_3 \leq 774$$

$$H_4 \leq 1.548$$

$$F_4 \leq 774$$

$$H_5 \leq 1.548$$

$$F_5 \leq 774$$

$$H_6 \leq 1.548$$

$$F_6 \leq 774$$

$$H_7 \leq 1.548$$

$$F_7 \leq 774$$

$$H_8 \leq 1.548$$

$$F_8 \leq 774$$

$$H_9 \leq 1.548$$

$$F_9 \leq 774$$

$$H_{10} \leq 1.548$$

$$F_{10} \leq 774$$

$$H_{11} \leq 1.548$$

$$F_{11} \leq 774$$

$$H_{12} \leq 1.548$$

$$(3.11)$$

$$F_{12} \leq 774$$

$$(3.12)$$

Makine kapasitesi ile ilgili kısıtlar

$$\begin{aligned}
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{11} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{21} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{12} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{22} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{13} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{23} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{14} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{24} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{15} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{25} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{16} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{26} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{17} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{27} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{18} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{28} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{19} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{29} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{110} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{210} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{111} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{211} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \\
(0,030, 0,033, 0,036) Q_{112} + (0,045, 0,050, 0,055) Q_{212} &\leq (39.600, 49.500, 59.400) \quad (3.13)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(0,030, 0,033, 0,036) O_{11} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{21} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{12} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{22} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{13} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{23} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{14} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{24} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{15} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{25} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{16} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{26} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{17} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{27} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{18} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{28} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{19} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{29} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{110} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{210} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{111} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{211} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \\
(0,030, 0,033, 0,036) O_{112} + (0,045, 0,050, 0,055) O_{212} &\leq (12.000, 15.000, 18.000) \quad (3.14)
\end{aligned}$$

Depo alanı ile ilgili kısıtlar

$$\begin{aligned}
0,0024I_{11} + 0,0040I_{21} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{12} + 0,0040I_{22} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{13} + 0,0040I_{23} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{14} + 0,0040I_{24} &\leq 2.000
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
0,0024I_{15} + 0,0040I_{25} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{16} + 0,0040I_{26} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{17} + 0,0040I_{27} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{18} + 0,0040I_{28} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{19} + 0,0040I_{29} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{110} + 0,0040I_{210} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{111} + 0,0040I_{211} &\leq 2.000 \\
0,0024I_{112} + 0,0040I_{212} &\leq 2.000
\end{aligned} \tag{3.15}$$

Negatif olmama kısıtları

$$\begin{aligned}
&Q_{11}, Q_{12}, Q_{13}, Q_{14}, Q_{15}, Q_{16}, Q_{17}, Q_{18}, Q_{19}, Q_{110}, Q_{111}, Q_{112}, Q_{21}, Q_{22}, Q_{23}, Q_{24}, Q_{25}, Q_{26}, \\
&Q_{27}, Q_{28}, Q_{29}, Q_{210}, Q_{211}, Q_{212}, O_{11}, O_{12}, O_{13}, O_{14}, O_{15}, O_{16}, O_{17}, O_{18}, O_{19}, O_{110}, O_{111}, \\
&O_{112}, O_{21}, O_{22}, O_{23}, O_{24}, O_{25}, O_{26}, O_{27}, O_{28}, O_{29}, O_{210}, O_{211}, O_{212}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, \\
&S_{16}, S_{17}, S_{18}, S_{19}, S_{110}, S_{111}, S_{112}, S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}, S_{25}, S_{26}, S_{27}, S_{28}, S_{29}, S_{210}, S_{211}, S_{212}, \\
&I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{110}, I_{111}, I_{112}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{210}, \\
&I_{211}, I_{212}, B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{15}, B_{16}, B_{17}, B_{18}, B_{19}, B_{110}, B_{111}, B_{112}, B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}, \\
&B_{25}, B_{26}, B_{27}, B_{28}, B_{29}, B_{210}, B_{211}, B_{212}, H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6, H_7, H_8, H_9, H_{10}, H_{11}, H_{12}, \\
&F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12} \geq 0
\end{aligned} \tag{3.16}$$

3.3.2 Amaç Fonksiyonlarındaki Bulanıklığın Giderilmesi

Ele alınan problemin çözümü için Lai ve Hwang (1992a)'ın Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (ODP) modeli esas alınmıştır. Bu modele göre, her bir bulanık amaç fonksiyonu için üç yeni kesin amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

Amaç 1: Toplam maliyetin minimizasyonu

$$\begin{aligned}
Minz_{11} = z_1^m = &3,3065 Q_{11} + 3,3467 O_{11} + 3,2562 S_{11} + 0,0402 I_{11} + 1,2462 B_{11} + 3,3230 \\
&Q_{12} + 3,3634 O_{12} + 3,2725 S_{12} + 0,0404 I_{12} + 1,2524 B_{12} + 3,3396 Q_{13} + 3,3802 O_{13} + \\
&3,2888 S_{13} + 0,0406 I_{13} + 1,2587 B_{13} + 3,3563 Q_{14} + 3,3971 O_{14} + 3,3053 S_{14} + 0,0408 I_{14} \\
&+ 1,2650 B_{14} + 3,3731 Q_{15} + 3,4141 O_{15} + 3,3218 S_{15} + 0,0410 I_{15} + 1,2713 B_{15} + 3,3899 \\
&Q_{16} + 3,4312 O_{16} + 3,3384 S_{16} + 0,0412 I_{16} + 1,2777 B_{16} + 3,4069 Q_{17} + 3,4483 O_{17} + \\
&3,3551 S_{17} + 0,0414 I_{17} + 1,2841 B_{17} + 3,4239 Q_{18} + 3,4656 O_{18} + 3,3719 S_{18} + 0,0416 \\
&I_{18} + 1,2905 B_{18} + 3,4410 Q_{19} + 3,4829 O_{19} + 3,3888 S_{19} + 0,0418 I_{19} + 1,2969 B_{19} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 3,4583 Q_{110} + 3,5003 O_{110} + 3,4057 S_{110} + 0,0420 I_{110} + 1,3034 B_{110} + 3,4755 Q_{111} + \\
& 3,5178 O_{111} + 3,4227 S_{111} + 0,0423 I_{111} + 1,3099 B_{111} + 3,4929 Q_{112} + 3,5354 O_{112} + \\
& 3,4398 S_{112} + 0,0425 I_{112} + 1,3165 B_{112} + 4,9446 Q_{21} + 5,0150 O_{21} + 4,8140 S_{21} + 0,0633 \\
& I_{21} + 1,8693 B_{21} + 4,9693 Q_{22} + 5,0400 O_{22} + 4,8380 S_{22} + 0,0636 I_{22} + 1,8786 B_{22} + \\
& 4,9942 Q_{23} + 5,0652 O_{23} + 4,8622 S_{23} + 0,0639 I_{23} + 1,8880 B_{23} + 5,0191 Q_{24} + 5,0906 \\
& O_{24} + 4,8865 S_{24} + 0,0643 I_{24} + 1,8975 B_{24} + 5,0442 Q_{25} + 5,1160 O_{25} + 4,9110 S_{25} + \\
& 0,0646 I_{25} + 1,9070 B_{25} + 5,0695 Q_{26} + 5,1416 O_{26} + 4,9355 S_{26} + 0,0649 I_{26} + 1,9165 \\
& B_{26} + 5,0948 Q_{27} + 5,1673 O_{27} + 4,9602 S_{27} + 0,0652 I_{27} + 1,9261 B_{27} + 5,1203 Q_{28} + \\
& 5,1931 O_{28} + 4,9850 S_{28} + 0,0656 I_{28} + 1,9357 B_{28} + 5,1459 Q_{29} + 5,2191 O_{29} + 5,0099 \\
& S_{29} + 0,0659 I_{29} + 1,9454 B_{29} + 5,1716 Q_{210} + 5,2452 O_{210} + 5,0350 S_{210} + 0,0662 I_{210} + \\
& 1,9551 B_{210} + 5,1975 Q_{211} + 5,2714 O_{211} + 5,0601 S_{211} + 0,0666 I_{211} + 1,9649 B_{211} + \\
& 5,2235 Q_{212} + 5,2978 O_{212} + 5,0854 S_{212} + 0,0669 I_{212} + 1,9747 B_{212} + 2,1407 H_1 + \\
& 5,9396 F_1 + 2,1514 H_2 + 5,9692 F_2 + 2,1621 H_3 + 5,9991 F_3 + 2,1729 H_4 + 6,0291 F_4 + \\
& 2,1838 H_5 + 6,0592 F_5 + 2,1947 H_6 + 6,0895 F_6 + 2,2057 H_7 + 6,1200 F_7 + 2,2167 H_8 + \\
& 6,1506 F_8 + 2,2278 H_9 + 6,1813 F_9 + 2,2389 H_{10} + 6,2122 F_{10} + 2,2501 H_{11} + 6,2433 \\
& F_{11} + 2,2614 H_{12} + 6,2745 F_{12} \tag{3.17a}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& Max_{z_{12}} = (z_1^m - z_1^p) = 0,2010 Q_{11} + 0,2111 O_{11} + 0,2010 S_{11} + 0,0050 I_{11} + 0,2915 B_{11} + \\
& 0,2020 Q_{12} + 0,2121 O_{12} + 0,2020 S_{12} + 0,0051 I_{12} + 0,2929 B_{12} + 0,2030 Q_{13} + 0,2132 \\
& O_{13} + 0,2030 S_{13} + 0,0051 I_{13} + 0,2944 B_{13} + 0,2040 Q_{14} + 0,2142 O_{14} + 0,2040 S_{14} + \\
& 0,0051 I_{14} + 0,2958 B_{14} + 0,2051 Q_{15} + 0,2153 O_{15} + 0,2051 S_{15} + 0,0051 I_{15} + 0,2973 \\
& B_{15} + 0,2061 Q_{16} + 0,2164 O_{16} + 0,2061 S_{16} + 0,0052 I_{16} + 0,2988 B_{16} + 0,2071 Q_{17} + \\
& 0,2175 O_{17} + 0,2071 S_{17} + 0,0052 I_{17} + 0,3003 B_{17} + 0,2081 Q_{18} + 0,2185 O_{18} + 0,2081 \\
& S_{18} + 0,0052 I_{18} + 0,3018 B_{18} + 0,2092 Q_{19} + 0,2196 O_{19} + 0,2092 S_{19} + 0,0052 I_{19} + \\
& 0,3033 B_{19} + 0,2102 Q_{110} + 0,2207 O_{110} + 0,2102 S_{110} + 0,0053 I_{110} + 0,3048 B_{110} + \\
& 0,2113 Q_{111} + 0,2218 O_{111} + 0,2113 S_{111} + 0,0053 I_{111} + 0,3064 B_{111} + 0,2123 Q_{112} + \\
& 0,2230 O_{112} + 0,2123 S_{112} + 0,0053 I_{112} + 0,3079 B_{112} + 0,2312 Q_{21} + 0,2412 O_{21} + \\
& 0,2010 S_{21} + 0,0060 I_{21} + 0,4422 B_{21} + 0,2323 Q_{22} + 0,2424 O_{22} + 0,2020 S_{22} + 0,0061 \\
& I_{22} + 0,4444 B_{22} + 0,2335 Q_{23} + 0,2436 O_{23} + 0,2030 S_{23} + 0,0061 I_{23} + 0,4466 B_{23} + \\
& 0,2346 Q_{24} + 0,2448 O_{24} + 0,2040 S_{24} + 0,0061 I_{24} + 0,4489 B_{24} + 0,2358 Q_{25} + 0,2461 \\
& O_{25} + 0,2051 S_{25} + 0,0062 I_{25} + 0,4511 B_{25} + 0,2370 Q_{26} + 0,2473 O_{26} + 0,2061 S_{26} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&0,0062 I_{26} + 0,4534 B_{26} + 0,2382 Q_{27} + 0,2485 O_{27} + 0,2071 S_{27} + 0,0062 I_{27} + 0,4556 \\
&B_{27} + 0,2394 Q_{28} + 0,2498 O_{28} + 0,2081 S_{28} + 0,0062 I_{28} + 0,4579 B_{28} + 0,2406 Q_{29} + \\
&0,2510 O_{29} + 0,2092 S_{29} + 0,0063 I_{29} + 0,4602 B_{29} + 0,2418 Q_{210} + 0,2523 O_{210} + 0,2102 \\
&S_{210} + 0,0063 I_{210} + 0,4625 B_{210} + 0,2430 Q_{211} + 0,2535 O_{211} + 0,2113 S_{211} + 0,0063 I_{211} \\
&+ 0,4648 B_{211} + 0,2442 Q_{212} + 0,2548 O_{212} + 0,2123 S_{212} + 0,0064 I_{212} + 0,4671 B_{212} + \\
&0,1910 H_1 + 0,2915 F_1 + 0,1919 H_2 + 0,2929 F_2 + 0,1929 H_3 + 0,2944 F_3 + 0,1938 H_4 + \\
&0,2958 F_4 + 0,1948 H_5 + 0,2973 F_5 + 0,1958 H_6 + 0,2988 F_6 + 0,1968 H_7 + 0,3003 F_7 + \\
&0,1977 H_8 + 0,3018 F_8 + 0,1987 H_9 + 0,3033 F_9 + 0,1997 H_{10} + 0,3048 F_{10} + 0,2007 H_{11} \\
&+ 0,3064 F_{11} + 0,2017 H_{12} + 0,3079 F_{12}
\end{aligned} \tag{3.17b}$$

$$\begin{aligned}
Minz_{13} = (z_1^o - z_1^m) = &0,1005 Q_{11} + 0,1105 O_{11} + 0,1005 S_{11} + 0,0050 I_{11} + 0,1508 B_{11} + \\
&0,1010 Q_{12} + 0,1111 O_{12} + 0,1010 S_{12} + 0,0051 I_{12} + 0,1515 B_{12} + 0,1015 Q_{13} + 0,1117 \\
&O_{13} + 0,1015 S_{13} + 0,0051 I_{13} + 0,1523 B_{13} + 0,1020 Q_{14} + 0,1122 O_{14} + 0,1020 S_{14} + \\
&0,0051 I_{14} + 0,1530 B_{14} + 0,1025 Q_{15} + 0,1128 O_{15} + 0,1025 S_{15} + 0,0051 I_{15} + 0,1538 \\
&B_{15} + 0,1030 Q_{16} + 0,1133 O_{16} + 0,1030 S_{16} + 0,0052 I_{16} + 0,1546 B_{16} + 0,1036 Q_{17} + \\
&0,1139 O_{17} + 0,1036 S_{17} + 0,0052 I_{17} + 0,1553 B_{17} + 0,1041 Q_{18} + 0,1145 O_{18} + 0,1041 \\
&S_{18} + 0,0052 I_{18} + 0,1561 B_{18} + 0,1046 Q_{19} + 0,1151 O_{19} + 0,1046 S_{19} + 0,0052 I_{19} + \\
&0,1569 B_{19} + 0,1051 Q_{110} + 0,1156 O_{110} + 0,1051 S_{110} + 0,0053 I_{110} + 0,1577 B_{110} + \\
&0,1056 Q_{111} + 0,1162 O_{111} + 0,1056 S_{111} + 0,0053 I_{111} + 0,1585 B_{111} + 0,1062 Q_{112} + \\
&0,1168 O_{112} + 0,1062 S_{112} + 0,0053 I_{112} + 0,1593 B_{112} + 0,1206 Q_{21} + 0,1206 O_{21} + \\
&0,1005 S_{21} + 0,0060 I_{21} + 0,2211 B_{21} + 0,1212 Q_{22} + 0,1212 O_{22} + 0,1010 S_{22} + 0,0061 \\
&I_{22} + 0,2222 B_{22} + 0,1218 Q_{23} + 0,1218 O_{23} + 0,1015 S_{23} + 0,0061 I_{23} + 0,2233 B_{23} + \\
&0,1224 Q_{24} + 0,1224 O_{24} + 0,1020 S_{24} + 0,0061 I_{24} + 0,2244 B_{24} + 0,1230 Q_{25} + 0,1230 \\
&O_{25} + 0,1025 S_{25} + 0,0062 I_{25} + 0,2256 B_{25} + 0,1236 Q_{26} + 0,1236 O_{26} + 0,1030 S_{26} + \\
&0,0062 I_{26} + 0,2267 B_{26} + 0,1243 Q_{27} + 0,1243 O_{27} + 0,1036 S_{27} + 0,0062 I_{27} + 0,2278 \\
&B_{27} + 0,1249 Q_{28} + 0,1249 O_{28} + 0,1041 S_{28} + 0,0062 I_{28} + 0,2290 B_{28} + 0,1255 Q_{29} + \\
&0,1255 O_{29} + 0,1046 S_{29} + 0,0063 I_{29} + 0,2301 B_{29} + 0,1261 Q_{210} + 0,1261 O_{210} + 0,1051 \\
&S_{210} + 0,0063 I_{210} + 0,2313 B_{210} + 0,1268 Q_{211} + 0,1268 O_{211} + 0,1056 S_{211} + 0,0063 I_{211} \\
&+ 0,2324 B_{211} + 0,1274 Q_{212} + 0,1274 O_{212} + 0,1062 S_{212} + 0,0064 I_{212} + 0,2336 B_{212} + \\
&0,0704 H_1 + 0,2915 F_1 + 0,0707 H_2 + 0,2929 F_2 + 0,0711 H_3 + 0,2958 F_3 + 0,0714 H_4 + \\
&0,2958 F_4 + 0,0718 H_5 + 0,2973 F_5 + 0,0721 H_6 + 0,2988 F_6 + 0,0725 H_7 + 0,3003 F_7 +
\end{aligned}$$

$$0,0728 H_8 + 0,3018 F_8 + 0,0732 H_9 + 0,3033 F_9 + 0,0736 H_{10} + 0,3048 F_{10} + 0,0739 H_{11} + 0,3064 F_{11} + 0,0743 H_{12} + 0,3079 F_{12} \quad (3.17c)$$

Amaç 2: Toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin minimizasyonu

$$\begin{aligned} \text{Min}z_{21} = z_2^m = & 0,0402 I_{11} + 1,2462 B_{11} + 0,0404 I_{12} + 1,2524 B_{12} + 0,0406 I_{13} + 1,2587 \\ & B_{13} + 0,0408 I_{14} + 1,2650 B_{14} + 0,0410 I_{15} + 1,2713 B_{15} + 0,0412 I_{16} + 1,2777 B_{16} + \\ & 0,0414 I_{17} + 1,2841 B_{17} + 0,0416 I_{18} + 1,2905 B_{18} + 0,0418 I_{19} + 1,2969 B_{19} + 0,0420 I_{110} \\ & + 1,3034 B_{110} + 0,0423 I_{111} + 1,3099 B_{111} + 0,0425 I_{112} + 1,3165 B_{112} + 0,0633 I_{21} + \\ & 1,8693 B_{21} + 0,0636 I_{22} + 1,8786 B_{22} + 0,0639 I_{23} + 1,8880 B_{23} + 0,0643 I_{24} + 1,8975 B_{24} \\ & + 0,0646 I_{25} + 1,9070 B_{25} + 0,0649 I_{26} + 1,9165 B_{26} + 0,0652 I_{27} + 1,9261 B_{27} + 0,0656 \\ & I_{28} + 1,9357 B_{28} + 0,0659 I_{29} + 1,9454 B_{29} + 0,0662 I_{210} + 1,9551 B_{210} + 0,0666 I_{211} + \\ & 1,9649 B_{211} + 0,0669 I_{212} + 1,9747 B_{212} \end{aligned} \quad (3.18a)$$

$$\begin{aligned} \text{Max}z_{22} = (z_2^m - z_2^p) = & 0,0050 I_{11} + 0,2915 B_{11} + 0,0051 I_{12} + 0,2929 B_{12} + 0,0051 I_{13} + \\ & 0,2944 B_{13} + 0,0051 I_{14} + 0,2958 B_{14} + 0,0051 I_{15} + 0,2973 B_{15} + 0,0052 I_{16} + 0,2988 B_{16} \\ & + 0,0052 I_{17} + 0,3003 B_{17} + 0,0052 I_{18} + 0,3018 B_{18} + 0,0052 I_{19} + 0,3033 B_{19} + 0,0053 \\ & I_{110} + 0,3048 B_{110} + 0,0053 I_{111} + 0,3064 B_{111} + 0,0053 I_{112} + 0,3079 B_{112} + 0,0060 I_{21} + \\ & 0,4422 B_{21} + 0,0061 I_{22} + 0,4444 B_{22} + 0,0061 I_{23} + 0,4466 B_{23} + 0,0061 I_{24} + 0,4489 B_{24} \\ & + 0,0062 I_{25} + 0,4511 B_{25} + 0,0062 I_{26} + 0,4534 B_{26} + 0,0062 I_{27} + 0,4556 B_{27} + 0,0062 \\ & I_{28} + 0,4579 B_{28} + 0,0063 I_{29} + 0,4602 B_{29} + 0,0063 I_{210} + 0,4625 B_{210} + 0,0063 I_{211} + \\ & 0,4648 B_{211} + 0,0064 I_{212} + 0,4671 B_{212} \end{aligned} \quad (3.18b)$$

$$\begin{aligned} \text{Min}z_{23} = (z_2^o - z_2^m) = & 0,0050 I_{11} + 0,1508 B_{11} + 0,0051 I_{12} + 0,1515 B_{12} + 0,0051 I_{13} + \\ & 0,1523 B_{13} + 0,0051 I_{14} + 0,1530 B_{14} + 0,0051 I_{15} + 0,1538 B_{15} + 0,0052 I_{16} + 0,1546 B_{16} \\ & + 0,0052 I_{17} + 0,1553 B_{17} + 0,0052 I_{18} + 0,1561 B_{18} + 0,0052 I_{19} + 0,1569 B_{19} + 0,0053 \\ & I_{110} + 0,1577 B_{110} + 0,0053 I_{111} + 0,1585 B_{111} + 0,0053 I_{112} + 0,1593 B_{112} + 0,0060 I_{21} + \\ & 0,2211 B_{21} + 0,0061 I_{22} + 0,2222 B_{22} + 0,0061 I_{23} + 0,2233 B_{23} + 0,0061 I_{24} + 0,2244 B_{24} \\ & + 0,0062 I_{25} + 0,2256 B_{25} + 0,0062 I_{26} + 0,2267 B_{26} + 0,0062 I_{27} + 0,2278 B_{27} + 0,0062 \\ & I_{28} + 0,2290 B_{28} + 0,0063 I_{29} + 0,2301 B_{29} + 0,0063 I_{210} + 0,2313 B_{210} + 0,0063 I_{211} + \\ & 0,2324 B_{211} + 0,0064 I_{212} + 0,2336 B_{212} \end{aligned} \quad (3.18c)$$

Amaç 3: İşgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerinin minimizasyonu

$$\begin{aligned} \text{Min}z_{31} = z_3^m = & 2,1407 H_1 + 5,9396 F_1 + 2,1514 H_2 + 5,9692 F_2 + 2,1621 H_3 + 5,9991 F_3 + \\ & 2,1729 H_4 + 6,0291 F_4 + 2,1838 H_5 + 6,0592 F_5 + 2,1947 H_6 + 6,0895 F_6 + 2,2057 H_7 + \\ & 6,1200 F_7 + 2,2167 H_8 + 6,1506 F_8 + 2,2278 H_9 + 6,1813 F_9 + 2,2389 H_{10} + 6,2122 F_{10} \\ & + 2,2501 H_{11} + 6,2433 F_{11} + 2,2614 H_{12} + 6,2745 F_{12} \end{aligned} \quad (3.19a)$$

$$\begin{aligned} \text{Max}z_{32} = (z_3^m - z_3^p) = & 0,1910 H_1 + 0,2915 F_1 + 0,1919 H_2 + 0,2929 F_2 + 0,1929 H_3 + \\ & 0,2944 F_3 + 0,1938 H_4 + 0,2958 F_4 + 0,1948 H_5 + 0,2973 F_5 + 0,1958 H_6 + 0,2988 F_6 + \\ & 0,1968 H_7 + 0,3003 F_7 + 0,1977 H_8 + 0,3018 F_8 + 0,1987 H_9 + 0,3033 F_9 + 0,1997 H_{10} + \\ & 0,3048 F_{10} + 0,2007 H_{11} + 0,3064 F_{11} + 0,2017 H_{12} + 0,3079 F_{12} \end{aligned} \quad (3.19b)$$

$$\begin{aligned} \text{Min}z_{33} = (z_3^o - z_3^m) = & 0,0704 H_1 + 0,2915 F_1 + 0,0707 H_2 + 0,2929 F_2 + 0,0711 H_3 + 0,2958 \\ & F_3 + 0,0714 H_4 + 0,2958 F_4 + 0,0718 H_5 + 0,2973 F_5 + 0,0721 H_6 + 0,2988 F_6 + 0,0725 \\ & H_7 + 0,3003 F_7 + 0,0728 H_8 + 0,3018 F_8 + 0,0732 H_9 + 0,3033 F_9 + 0,0736 H_{10} + 0,3048 \\ & F_{10} + 0,0739 H_{11} + 0,3064 F_{11} + 0,0743 H_{12} + 0,3079 F_{12} \end{aligned} \quad (3.19c)$$

3.3.3 Kısıtlardaki Bulanıklığın Giderilmesi

Talep ile ilgili kısıtlarda eşitlik (3.4)'te belirsiz talep verileri, üçgensel olabilirlik dağılımına sahiptir. Temel sorun, belirsiz talep verileri için temsilî bir sayı elde etmedir. Bu problemi çözmek için bu çalışmada $w_2 = 4/6$ ve $w_1 = w_3 = 1/6$ olduğunu varsayan Lai ve Hwang (1992a) yaklaşımıyla önerilen en olası değerler kavramı uygulanmıştır. Burada en olası değerleri kullanma sebebi, en olası değerlerin genellikle en önemli olması ve bu nedenle, daha fazla ağırlık atanması gerektiğidir. Talep miktarlarının alabileceği en olası değerler, uç değerlere göre daha önemli olduğu için en fazla ağırlık, en olası değere verilmiştir. Öte yandan, talep miktarları çok nadir olarak en iyimser ve en kötümser değerleri alacağı için bu değerlere nispeten az ağırlık verilmiştir. Kabul edilebilir minimum olabilirlik düzeyi (β) ise, 0,5 olarak alınmıştır. $\beta = 0,5$ 'te incelenen modelde taleplere ilişkin en kötümser ($D_{nt,\beta}^p$), en olası ($D_{nt,\beta}^m$) ve en iyimser ($D_{nt,\beta}^o$) değerler ile bu değerlerin yukarıdaki ağırlıklar kullanılarak hesaplanan ağırlıklı ortalamaları Ek 8'de verilmektedir. Bu durumda, eşitlik (3.4)'teki bulanık eşitlik kısıtları için kesin eşitlik ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
125.000 - 0 + Q_{11} + O_{11} + S_{11} - I_{11} + B_{11} &= 314.125 \\
I_{11} - B_{11} + Q_{12} + O_{12} + S_{12} - I_{12} + B_{12} &= 545.200 \\
I_{12} - B_{12} + Q_{13} + O_{13} + S_{13} - I_{13} + B_{13} &= 554.965 \\
I_{13} - B_{13} + Q_{14} + O_{14} + S_{14} - I_{14} + B_{14} &= 584.274 \\
I_{14} - B_{14} + Q_{15} + O_{15} + S_{15} - I_{15} + B_{15} &= 781.746 \\
I_{15} - B_{15} + Q_{16} + O_{16} + S_{16} - I_{16} + B_{16} &= 387.758 \\
I_{16} - B_{16} + Q_{17} + O_{17} + S_{17} - I_{17} + B_{17} &= 623.321 \\
I_{17} - B_{17} + Q_{18} + O_{18} + S_{18} - I_{18} + B_{18} &= 261.307 \\
I_{18} - B_{18} + Q_{19} + O_{19} + S_{19} - I_{19} + B_{19} &= 305.603 \\
I_{19} - B_{19} + Q_{110} + O_{110} + S_{110} - I_{110} + B_{110} &= 503.756 \\
I_{110} - B_{110} + Q_{111} + O_{111} + S_{111} - I_{111} + B_{111} &= 513.831 \\
I_{111} - B_{111} + Q_{112} + O_{112} + S_{112} - I_{112} + B_{112} &= 303.280 \\
I_{112} - B_{112} &= 135.000
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
183.000 - 0 + Q_{21} + O_{21} + S_{21} - I_{21} + B_{21} &= 1.065.484 \\
I_{21} - B_{21} + Q_{22} + O_{22} + S_{22} - I_{22} + B_{22} &= 833.473 \\
I_{22} - B_{22} + Q_{23} + O_{23} + S_{23} - I_{23} + B_{23} &= 1.435.692 \\
I_{23} - B_{23} + Q_{24} + O_{24} + S_{24} - I_{24} + B_{24} &= 888.305 \\
I_{24} - B_{24} + Q_{25} + O_{25} + S_{25} - I_{25} + B_{25} &= 1.186.847 \\
I_{25} - B_{25} + Q_{26} + O_{26} + S_{26} - I_{26} + B_{26} &= 755.226 \\
I_{26} - B_{26} + Q_{27} + O_{27} + S_{27} - I_{27} + B_{27} &= 817.081 \\
I_{27} - B_{27} + Q_{28} + O_{28} + S_{28} - I_{28} + B_{28} &= 1.451.381 \\
I_{28} - B_{28} + Q_{29} + O_{29} + S_{29} - I_{29} + B_{29} &= 1.452.473 \\
I_{29} - B_{29} + Q_{210} + O_{210} + S_{210} - I_{210} + B_{210} &= 1.494.113 \\
I_{210} - B_{210} + Q_{211} + O_{211} + S_{211} - I_{211} + B_{211} &= 1.598.940 \\
I_{211} - B_{211} + Q_{212} + O_{212} + S_{212} - I_{212} + B_{212} &= 700.152 \\
I_{212} - B_{212} &= 223.000
\end{aligned}$$

(3.20)

Aynı şekilde, eşitlik (3.8)'de birim işçilik süresi belirsizdir. $\beta = 0,5$ 'te incelenen modelde birim işçilik sürelerine ilişkin en kötümser, en olası ve en iyimser değerler, iç giyim ürün grubu için (0,105, 0,110, 0,115) işçi-saat ve dış giyim ürün grubu için (0,240, 0,250, 0,260) işçi-saat'tir. Bu değerlerin aynı ağırlıklar kullanılarak hesaplanan

ağırlıklı ortalamaları, iç giyim için 0,11 işçi-saat ve dış giyim için ise, 0,25 işçi-saat'tir. Bu durumda Eşitlik (3.8)'deki bulanık eşitlik kısıtları için kesin eşitlik kısıtları şu şekilde ifade edilmiştir:

$$\begin{aligned}
&131.580 + H_1 - F_1 - 0,11 (Q_{11} + O_{11}) + 0,25 (Q_{21} + O_{21})] = 0 \\
&0,11 Q_{11} + O_{11}) + 0,25 (Q_{21} + O_{21}) + H_2 - F_2 - [0,11 (Q_{12} + O_{12}) + 0,25 (Q_{22} + O_{22})] = 0 \\
&0,11 (Q_{12} + O_{12}) + 0,25 (Q_{22} + O_{22}) + H_3 - F_3 - [0,11 (Q_{13} + O_{13}) + 0,25 (Q_{23} + O_{23})] = 0 \\
&0,11 (Q_{13} + O_{13}) + 0,25 (Q_{23} + O_{23}) + H_4 - F_4 - [0,11 (Q_{14} + O_{14}) + 0,25 (Q_{24} + O_{24})] = 0 \\
&0,11 (Q_{14} + O_{14}) + 0,25 (Q_{24} + O_{24}) + H_5 - F_5 - [0,11 (Q_{15} + O_{15}) + 0,25 (Q_{25} + O_{25})] = 0 \\
&0,11 (Q_{15} + O_{15}) + 0,25 (Q_{25} + O_{25}) + H_6 - F_6 - [0,11 (Q_{16} + O_{16}) + 0,25 (Q_{26} + O_{26})] = 0 \\
&0,11 (Q_{16} + O_{16}) + 0,25 (Q_{26} + O_{26}) + H_7 - F_7 - [0,11 (Q_{17} + O_{17}) + 0,25 (Q_{27} + O_{27})] = 0 \\
&0,11 (Q_{17} + O_{17}) + 0,25 (Q_{27} + O_{27}) + H_8 - F_8 - [0,11 (Q_{18} + O_{18}) + 0,25 (Q_{28} + O_{28})] = 0 \\
&0,11 (Q_{18} + O_{18}) + 0,25 (Q_{28} + O_{28}) + H_9 - F_9 - [0,11 (Q_{19} + O_{19}) + 0,25 (Q_{29} + O_{29})] = 0 \\
&0,11 (Q_{19} + O_{19}) + 0,25 (Q_{29} + O_{29}) + H_{10} - F_{10} - [0,11 (Q_{110} + O_{110}) + 0,25 (Q_{210} + O_{210})] \\
&= 0 \\
&0,11 (Q_{110} + O_{110}) + 0,25 (Q_{210} + O_{210}) + H_{11} - F_{11} - [0,11 (Q_{111} + O_{111}) + 0,25 (Q_{211} + \\
&O_{211})] = 0 \\
&0,11 (Q_{111} + O_{111}) + 0,25 (Q_{211} + O_{211}) + H_{12} - F_{12} - [0,11(Q_{112} + O_{112}) + 0,25(Q_{212} + \\
&O_{212})] = 0 \tag{3.21}
\end{aligned}$$

Ayrıca, belirsiz birim işçilik süresi ve maksimum normal/fazla mesai işgücü düzeyleri ile eşitlik (3.9) ve (3.10)'u çözmek için bulanık sıralama kavramı kullanılmıştır. $\beta = 0,5$ 'te incelenen modeldeki maksimum normal ve fazla mesai işgücü düzeylerine ilişkin en kötümser, en olası ve en iyimser değerler, sırasıyla (103.950, 108.900, 113.850) işçi-saat ve (31.500, 33.000, 34.500) işçi-saat'tir. Bu durumda eşitlik (3.9) ve (3.10)'daki bulanık eşitsizlik kısıtları, kesin eşitsizlik kısıtları olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

$$\begin{aligned}
0,105 Q_{11} + 0,240 Q_{21} &\leq 103.950 & 0,105 Q_{11} + 0,240 Q_{21} &\leq 31.500 \\
0,110 Q_{11} + 0,250 Q_{21} &\leq 108.900 & 0,110 Q_{11} + 0,250 Q_{21} &\leq 33.000 \\
0,115 Q_{11} + 0,260 Q_{21} &\leq 113.850 & 0,115 Q_{11} + 0,260 Q_{21} &\leq 34.500
\end{aligned}$$

$$0,105 Q_{12} + 0,240 Q_{22} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{12} + 0,250 Q_{22} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{12} + 0,260 Q_{22} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{12} + 0,240 Q_{22} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{12} + 0,250 Q_{22} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{12} + 0,260 Q_{22} \leq 34.500$$

$$0,105 Q_{13} + 0,240 Q_{23} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{13} + 0,250 Q_{23} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{13} + 0,260 Q_{23} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{13} + 0,240 Q_{23} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{13} + 0,250 Q_{23} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{13} + 0,260 Q_{23} \leq 34.500$$

$$0,105 Q_{14} + 0,240 Q_{24} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{14} + 0,250 Q_{24} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{14} + 0,260 Q_{24} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{14} + 0,240 Q_{24} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{14} + 0,250 Q_{24} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{14} + 0,260 Q_{24} \leq 34.500$$

$$0,105 Q_{15} + 0,240 Q_{25} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{15} + 0,250 Q_{25} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{15} + 0,260 Q_{25} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{15} + 0,240 Q_{25} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{15} + 0,250 Q_{25} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{15} + 0,260 Q_{25} \leq 34.500$$

$$0,105 Q_{16} + 0,240 Q_{26} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{16} + 0,250 Q_{26} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{16} + 0,260 Q_{26} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{16} + 0,240 Q_{26} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{16} + 0,250 Q_{26} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{16} + 0,260 Q_{26} \leq 34.500$$

$$0,105 Q_{17} + 0,240 Q_{27} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{17} + 0,250 Q_{27} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{17} + 0,260 Q_{27} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{17} + 0,240 Q_{27} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{17} + 0,250 Q_{27} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{17} + 0,260 Q_{27} \leq 34.500$$

$$0,105 Q_{18} + 0,240 Q_{28} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{18} + 0,250 Q_{28} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{18} + 0,260 Q_{28} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{18} + 0,240 Q_{28} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{18} + 0,250 Q_{28} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{18} + 0,260 Q_{28} \leq 34.500$$

$$0,105 Q_{19} + 0,240 Q_{29} \leq 103.950$$

$$0,110 Q_{19} + 0,250 Q_{29} \leq 108.900$$

$$0,115 Q_{19} + 0,260 Q_{29} \leq 113.850$$

$$0,105 Q_{19} + 0,240 Q_{29} \leq 31.500$$

$$0,110 Q_{19} + 0,250 Q_{29} \leq 33.000$$

$$0,115 Q_{19} + 0,260 Q_{29} \leq 34.500$$

$$\begin{array}{ll}
0,105 Q_{110} + 0,240 Q_{210} \leq 103.950 & 0,105 Q_{110} + 0,240 Q_{210} \leq 31.500 \\
0,110 Q_{110} + 0,250 Q_{210} \leq 108.900 & 0,110 Q_{110} + 0,250 Q_{210} \leq 33.000 \\
0,115 Q_{110} + 0,260 Q_{210} \leq 113.850 & 0,115 Q_{110} + 0,260 Q_{210} \leq 34.500 \\
\\
0,105 Q_{111} + 0,240 Q_{211} \leq 103.950 & 0,105 Q_{111} + 0,240 Q_{211} \leq 31.500 \\
0,110 Q_{111} + 0,250 Q_{211} \leq 108.900 & 0,110 Q_{111} + 0,250 Q_{211} \leq 33.000 \\
0,115 Q_{111} + 0,260 Q_{211} \leq 113.850 & 0,115 Q_{111} + 0,260 Q_{211} \leq 34.500 \\
\\
0,105 Q_{112} + 0,240 Q_{212} \leq 103.950 & 0,105 Q_{112} + 0,240 Q_{212} \leq 31.500 \\
0,110 Q_{112} + 0,250 Q_{212} \leq 108.900 & 0,110 Q_{112} + 0,250 Q_{212} \leq 33.000 \\
0,115 Q_{112} + 0,260 Q_{212} \leq 113.850 & 0,115 Q_{112} + 0,260 Q_{212} \leq 34.500 \quad (3.22) \quad (3.23)
\end{array}$$

Eşitlik (3.9) ve (3.10) gibi belirsiz birim makine kullanım süresi ve maksimum normal ve fazla mesai makine kapasiteleri ile eşitlik (3.13) ve (3.14), bulanık sıralama kavramı kullanılarak çözülmüştür. $\beta = 0,5$ 'te incelenen modeldeki birim makine kullanım süresine ilişkin en kötümser, en olası ve en iyimser değerler, iç giyim ürün grubu için (0,0315, 0,0330, 0,0345) makine-saat ve dış giyim ürün grubu için (0,0475, 0,0500, 0,0525) makine-saat'tir. Maksimum normal ve fazla mesai makine kapasitelerine ilişkin en kötümser, en olası ve en iyimser değerler ise, sırasıyla (44.550, 49.500, 54.450) makine-saat ve (13.500, 15.000, 16.500) makine-saat'tir. Bu durumda eşitlik (3.13) ve (3.14)'teki bulanık eşitsizlik kısıtları için kesin eşitsizlik kısıtları şu şekilde ifade edilmiştir:

$$\begin{array}{ll}
0,0315 Q_{11} + 0,0475 Q_{21} \leq 44.550 & 0,0315 Q_{11} + 0,0475 Q_{21} \leq 13.500 \\
0,0330 Q_{11} + 0,0500 Q_{21} \leq 49.500 & 0,0330 Q_{11} + 0,0500 Q_{21} \leq 15.000 \\
0,0345 Q_{11} + 0,0525 Q_{21} \leq 54.450 & 0,0345 Q_{11} + 0,0525 Q_{21} \leq 16.500 \\
\\
0,0315 Q_{12} + 0,0475 Q_{22} \leq 44.550 & 0,0315 Q_{12} + 0,0475 Q_{22} \leq 13.500 \\
0,0330 Q_{12} + 0,0500 Q_{22} \leq 49.500 & 0,0330 Q_{12} + 0,0500 Q_{22} \leq 15.000 \\
0,0345 Q_{12} + 0,0525 Q_{22} \leq 54.450 & 0,0345 Q_{12} + 0,0525 Q_{22} \leq 16.500
\end{array}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{13} + 0,0475 Q_{23} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{13} + 0,0500 Q_{23} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{13} + 0,0525 Q_{23} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{13} + 0,0475 Q_{23} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{13} + 0,0500 Q_{23} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{13} + 0,0525 Q_{23} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{14} + 0,0475 Q_{24} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{14} + 0,0500 Q_{24} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{14} + 0,0525 Q_{24} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{14} + 0,0475 Q_{24} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{14} + 0,0500 Q_{24} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{14} + 0,0525 Q_{24} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{15} + 0,0475 Q_{25} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{15} + 0,0500 Q_{25} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{15} + 0,0525 Q_{25} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{15} + 0,0475 Q_{25} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{15} + 0,0500 Q_{25} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{15} + 0,0525 Q_{25} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{16} + 0,0475 Q_{26} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{16} + 0,0500 Q_{26} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{16} + 0,0525 Q_{26} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{16} + 0,0475 Q_{26} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{16} + 0,0500 Q_{26} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{16} + 0,0525 Q_{26} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{17} + 0,0475 Q_{27} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{17} + 0,0500 Q_{27} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{17} + 0,0525 Q_{27} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{17} + 0,0475 Q_{27} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{17} + 0,0500 Q_{27} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{17} + 0,0525 Q_{27} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{18} + 0,0475 Q_{28} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{18} + 0,0500 Q_{28} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{18} + 0,0525 Q_{28} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{18} + 0,0475 Q_{28} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{18} + 0,0500 Q_{28} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{18} + 0,0525 Q_{28} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{19} + 0,0475 Q_{29} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{19} + 0,0500 Q_{29} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{19} + 0,0525 Q_{29} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{19} + 0,0475 Q_{29} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{19} + 0,0500 Q_{29} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{19} + 0,0525 Q_{29} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{110} + 0,0475 Q_{210} &\leq 44.550 \\ 0,0330 Q_{110} + 0,0500 Q_{210} &\leq 49.500 \\ 0,0345 Q_{110} + 0,0525 Q_{210} &\leq 54.450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,0315 Q_{110} + 0,0475 Q_{210} &\leq 13.500 \\ 0,0330 Q_{110} + 0,0500 Q_{210} &\leq 15.000 \\ 0,0345 Q_{110} + 0,0525 Q_{210} &\leq 16.500 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
0,0315 Q_{111} + 0,0475 Q_{211} \leq 44.550 & 0,0315 Q_{111} + 0,0475 Q_{211} \leq 13.500 \\
0,0330 Q_{111} + 0,0500 Q_{211} \leq 49.500 & 0,0330 Q_{111} + 0,0500 Q_{211} \leq 15.000 \\
0,0345 Q_{111} + 0,0525 Q_{211} \leq 54.450 & 0,0345 Q_{111} + 0,0525 Q_{211} \leq 16.500 \\
\\
0,0315 Q_{112} + 0,0475 Q_{212} \leq 44.550 & 0,0315 Q_{112} + 0,0475 Q_{212} \leq 13.500 \\
0,0330 Q_{112} + 0,0500 Q_{212} \leq 49.500 & 0,0330 Q_{112} + 0,0500 Q_{212} \leq 15.000 \\
0,0345 Q_{112} + 0,0525 Q_{212} \leq 54.450 & 0,0345 Q_{112} + 0,0525 Q_{212} \leq 16.500 \quad (3.24) \quad (3.25)
\end{array}$$

3.3.4 Amaç Fonksiyonlarına İlişkin Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması

İlk olarak, üç amaç fonksiyonunun $\beta = 0,5$ 'te pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) değerleri, sırasıyla şu şekilde belirtilmiştir:

1. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{11}^{PIS} = \text{Min } z_1^m = 88.136.860 \quad Z_{11}^{NIS} = \text{Max } z_1^m = 94.283.660 \quad (3.26a)$$

$$Z_{12}^{PIS} = \text{Max } (z_1^m - z_1^p) = 5.620.147 \quad Z_{12}^{NIS} = \text{Min } (z_1^m - z_1^p) = 4.181.120 \quad (3.26b)$$

$$Z_{13}^{PIS} = \text{Min } (z_1^o - z_1^m) = 2.120.759 \quad Z_{13}^{NIS} = \text{Max } (z_1^o - z_1^m) = 2.875.075 \quad (3.26c)$$

2. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{21}^{PIS} = \text{Min } z_2^m = 244.764,1 \quad Z_{21}^{NIS} = \text{Max } z_2^m = 6.129.340 \quad (3.27a)$$

$$Z_{22}^{PIS} = \text{Max } (z_2^m - z_2^p) = 1.397.733 \quad Z_{22}^{NIS} = \text{Min } (z_2^m - z_2^p) = 25.867,2 \quad (3.27b)$$

$$Z_{23}^{PIS} = \text{Min } (z_2^o - z_2^m) = 25.867,2 \quad Z_{23}^{NIS} = \text{Max } (z_2^o - z_2^m) = 725.603,2 \quad (3.27c)$$

3. amaç fonksiyonu için:

$$Z_{31}^{PIS} = \text{Min } z_3^m = 13.860,71 \quad Z_{31}^{NIS} = \text{Max } z_3^m = 84.230,4 \quad (3.28a)$$

$$Z_{32}^{PIS} = \text{Max } (z_3^m - z_3^p) = 4.022,323 \quad Z_{32}^{NIS} = \text{Min } (z_3^m - z_3^p) = 0 \quad (3.28b)$$

$$Z_{33}^{PIS} = \text{Min } (z_3^o - z_3^m) = 0 \quad Z_{33}^{NIS} = \text{Max } (z_3^o - z_3^m) = 2.509,799 \quad (3.28c)$$

Her bir amaç fonksiyonu için uygun doğrusal üyelik fonksiyonları şu şekilde belirlenmiştir:

1. amaç fonksiyonu için:

$$\mu_{11}(Z_{11}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{11}(x) < 88.136.860 \\ \frac{94.283.660 - Z_{11}(x)}{94.283.660 - 88.136.860} & , 88.136.860 \leq Z_{11}(x) \leq 94.283.660 \\ 0 & , Z_{11}(x) > 94.283.660 \end{cases} \quad (3.29a)$$

$$\mu_{12}(Z_{12}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{12}(x) > 5.620.147 \\ \frac{Z_{12}(x) - 4.181.120}{5.620.147 - 4.181.120} & , 4.181.120 \leq Z_{12}(x) \leq 5.620.147 \\ 0 & , Z_{12}(x) < 4.181.120 \end{cases} \quad (3.29b)$$

$$\mu_{13}(Z_{13}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{13}(x) < 2.120.759 \\ \frac{2.875.075 - Z_{13}(x)}{2.875.075 - 2.120.759} & , 2.120.759 \leq Z_{13}(x) \leq 2.875.075 \\ 0 & , Z_{13}(x) > 2.875.075 \end{cases} \quad (3.29c)$$

2. amaç fonksiyonu için:

$$\mu_{21}(Z_{21}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{21}(x) < 244.764,1 \\ \frac{6.129.340 - Z_{21}(x)}{6.129.340 - 244.764,1} & , 244.764,1 \leq Z_{21}(x) \leq 6.129.340 \\ 0 & , Z_{21}(x) > 6.129.340 \end{cases} \quad (3.30a)$$

$$\mu_{22}(Z_{22}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{22}(x) > 1.397.733 \\ \frac{Z_{22}(x) - 25.867,2}{1.397.733 - 25.867,2} & , 25.867,2 \leq Z_{22}(x) \leq 1.397.733 \\ 0 & , Z_{22}(x) < 25.867,2 \end{cases} \quad (3.30b)$$

$$\mu_{23}(Z_{23}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{23}(x) < 25.867,2 \\ \frac{725.603,2 - Z_{23}(x)}{725.603,2 - 25.867,2} & , 25.867,2 \leq Z_{23}(x) \leq 725.603,2 \\ 0 & , Z_{23}(x) > 725.603,2 \end{cases} \quad (3.30c)$$

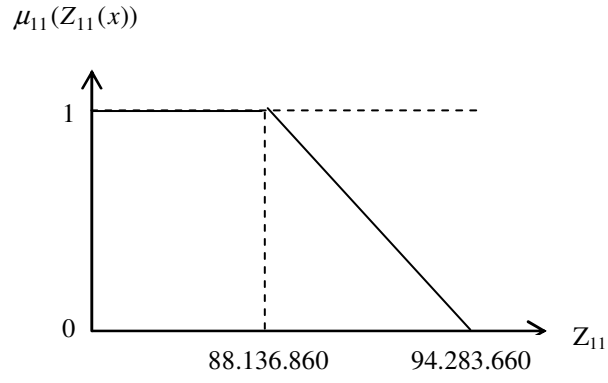
3. amaç fonksiyonu için:

$$\mu_{31}(Z_{31}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{31}(x) < 13.860,71 \\ \frac{84.230,4 - Z_{31}(x)}{84.230,4 - 13.860,71} & , 13.860,71 \leq Z_{31}(x) \leq 84.230,4 \\ 0 & , Z_{31}(x) > 84.230,4 \end{cases} \quad (3.31a)$$

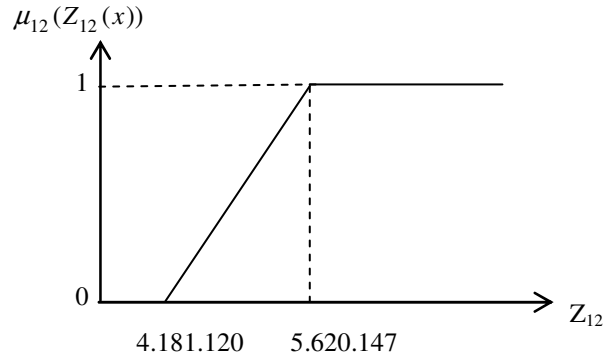
$$\mu_{32}(Z_{32}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{32}(x) > 4.022,323 \\ \frac{Z_{32}(x) - 0}{4.022,323 - 0} & , 0 \leq Z_{32}(x) \leq 4.022,323 \\ 0 & , Z_{32}(x) < 0 \end{cases} \quad (3.31b)$$

$$\mu_{33}(Z_{33}(x)) = \begin{cases} 1 & , Z_{33}(x) < 0 \\ \frac{2.509,799 - Z_{33}(x)}{2.509,799 - 0} & , 0 \leq Z_{33}(x) \leq 2.509,799 \\ 0 & , Z_{33}(x) > 2.509,799 \end{cases} \quad (3.31c)$$

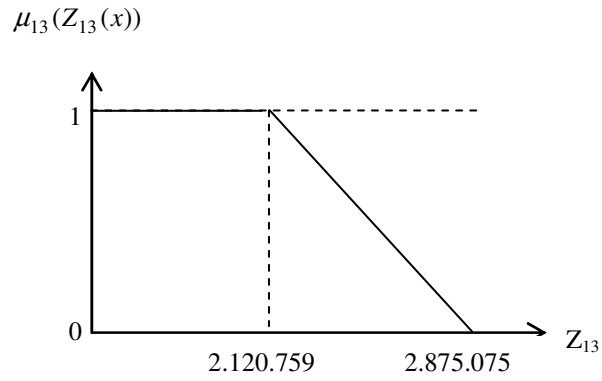
Eşitlik (3.29) - (3.31) için doğrusal üyelik fonksiyonlarının grafikleri sırasıyla Şekil 3.1 - 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.1: Z_{11} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

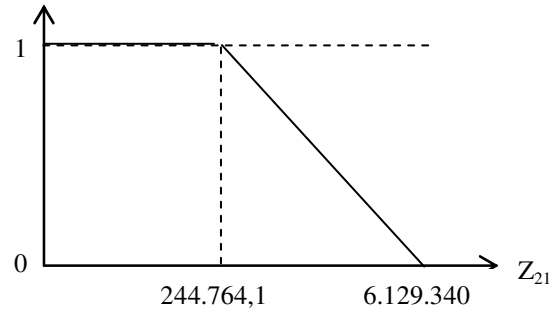


Şekil 3.2: Z_{12} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu



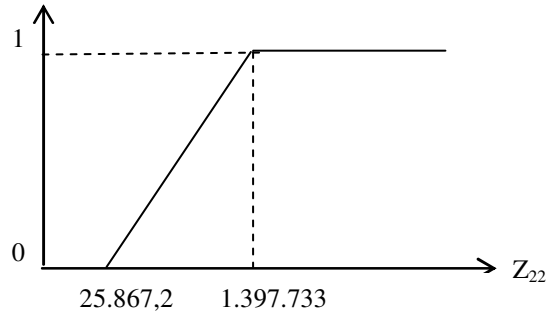
Şekil 3.3: Z_{13} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

$$\mu_{21}(Z_{21}(x))$$



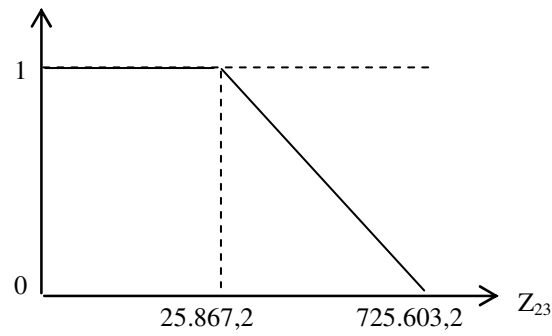
Şekil 3.4: Z_{21} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

$$\mu_{22}(Z_{22}(x))$$



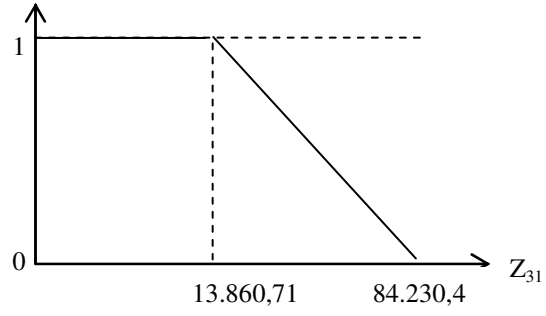
Şekil 3.5: Z_{22} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

$$\mu_{23}(Z_{23}(x))$$



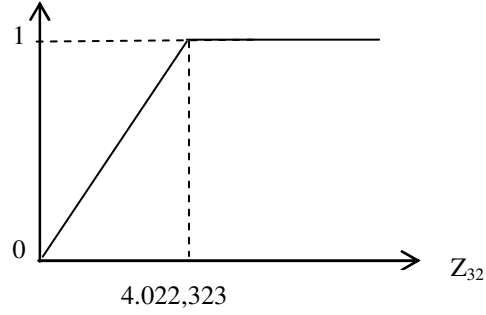
Şekil 3.6: Z_{23} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

$$\mu_{31}(Z_{31}(x))$$



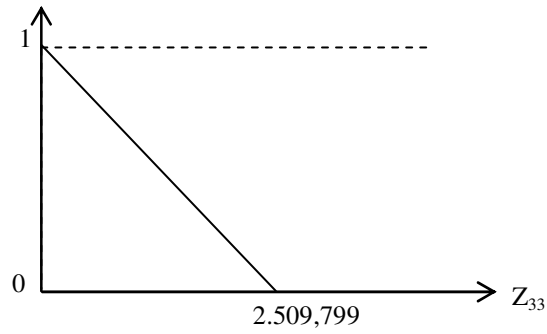
Şekil 3.7: Z_{31} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

$$\mu_{32}(Z_{32}(x))$$



Şekil 3.8: Z_{32} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

$$\mu_{33}(Z_{33}(x))$$



Şekil 3.9: Z_{33} amacının doğrusal üyelik fonksiyonu

3.3.5 Amaçlara İlişkin Hedeflerin Başarım Derecelerinin ve Öncelik İlişkilerinin Belirlenmesi

Yapılan çalışmada, belirlenen her bir bulanık amaca ilişkin hedeflerin farklı önceliklere sahip olduğu durum da incelenmiştir. Her bir hedefin istenen başarım derecelerini ve öncelik ilişkilerini belirlemek için işletmedeki dört karar vericiye bulanık amaçların önem dereceleri sorulmuştur. Karar vericiler; plânlama müdürü, pazarlama müdürü, insan kaynakları müdürü ve satın alma müdürüdür. Karar vericilerden alınan bilgiler, Çizelge 3.3'teki gibidir.

Çizelge 3.3: Bulanık amaçlara karar vericiler tarafından verilen önem dereceleri

Amaçlar	Karar Vericiler (KV)			
	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄
Amaç 1	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY
Amaç 2	Y	O	ÇY	O
Amaç 3	Y	Y	Y	Y

Çizelge 3.3'teki dört karar vericiye ait sözel değerlendirmeler, ikinci bölümde gösterilen Chen ve Hwang (1992)'in önerdiği üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek Çizelge 3.4 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.4: Bulanık amaçların karar vericiler tarafından değerlendirme sonuçlarının üçgensel bulanık sayılar şeklinde ifadesi

Amaçlar	Karar Vericiler (KV)			
	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄
Amaç 1	(0,8, 0,9, 1)	(0,8, 0,9, 1)	(0,8, 0,9, 1)	(0,8, 0,9, 1)
Amaç 2	(0,6, 0,75, 0,9)	(0,3, 0,5, 0,7)	(0,8, 0,9, 1)	(0,3, 0,5, 0,7)
Amaç 3	(0,6, 0,75, 0,9)	(0,6, 0,75, 0,9)	(0,6, 0,75, 0,9)	(0,6, 0,75, 0,9)

Bu çalışmada, farklı bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin başarım derecesini tam olarak belirlerken bulanık sayıları sıralamak için Liou ve Wang (1992)'in yaklaşımı kullanılmıştır. $\alpha = 0,5$ olarak alınmıştır. Her bir karar vericinin ağırlıkları ise, eşit

olarak alınmıştır. Çizelge 3.5, Çizelge 3.4'teki bulanık sayıların toplam integral değerlerini ve bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlarını göstermektedir.

Çizelge 3.5: Bulanık sayıların toplam integral değerleri ve bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlarını

Amaçlar	Karar Vericiler (KV)				Ortalama
	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	
Amaç 1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,90
Amaç 2	0,75	0,5	0,9	0,5	0,66
Amaç 3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Çizelge 3.5'teki değerlere bakıldığında bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin istenen başarımlarına göre öncelik ilişkisi, $\mu_1 > \mu_3 > \mu_2$ şeklindedir. Yani, karar vericiler tarafından belirlenen toplam maliyeti minimize etme amacına ilişkin hedefin istenen başarımları ilk sırada, toplam işgücü düzeylerindeki değişim maliyetlerini minimize etme amacına ilişkin hedefin istenen başarımları ikinci sırada ve toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerini minimize etme amacına ilişkin hedefin istenen başarımları üçüncü sıradadır.

3.3.6 Eşdeğer Doğrusal Programlama Modeli ve Çözümü

Tüm Bulanık Amaçlara İlişkin Memnuniyet Düzeyinin Belirlenmesi

Bu bölümde, öncelikle oluşturulan model, yardımcı değişken (λ)'nin de modele dâhil edilmesi ve tüm bulanık kümeleri birleştirmek için minimum işlemcisinin kullanılmasıyla, eşdeğer bir klâsik DP modeline dönüştürülmüştür. Bu durumda modeldeki amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonları ile ilgili kısıtlar şu şekildedir:

$$\max \lambda$$

Kısıtlar

1. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\lambda \leq \frac{94.283.660 - Z_{11}(x)}{94.283.660 - 8.136.860}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{12}(x) - 4.181.120}{5.620.147 - 4.181.120}$$

$$\lambda \leq \frac{2.875.075 - Z_{13}(x)}{2.875.075 - 2.120.759}$$

2. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\lambda \leq \frac{6.129.340 - Z_{21}(x)}{6.129.340 - 244.764,1}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{22}(x) - 25.867,2}{1.397.733 - 25.867,2}$$

$$\lambda \leq \frac{725.603,2 - Z_{23}(x)}{725.603,2 - 25.867,2}$$

3. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\lambda \leq \frac{84.230,4 - Z_{31}(x)}{84.230,4 - 13.860,71}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{4.022,323 - 0}$$

$$\lambda \leq \frac{2.509,799 - Z_{33}(x)}{2.509,799 - 0}$$

Bu modelde λ , karar vericinin tüm bulanık amaçlara ilişkin toplam memnuniyet düzeyidir. Model, WinQSB paket programı kullanılarak çözülmüş ve şu sonuçlar bulunmuştur:

$Z_{11} = 91.194.230$	$Z_{21} = 3.171.705$	$Z_{31} = 27.301,02$
$Z_{12} = 4.911.257$	$Z_{22} = 715.378$	$Z_{32} = 2.328,706$
$Z_{13} = 2.493.703$	$Z_{23} = 373.810,5$	$Z_{33} = 940,2806$
$\tilde{Z}_1 = (86.282.973, 91.194.230, 93.687.933)$		
$\tilde{Z}_2 = (2.456.327, 3.171.705, 3.545.515,5)$		
$\tilde{Z}_3 = (24.972,314, 27.301,02, 28.241,3006)$		

Bu durumda toplam maliyet (86.282.973, 91.194.230, 93.687.933) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.456.327, 3.171.705, 3.545.515,5) TL ve

işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise, (24.972,314, 27.301,02, 28.241,3006) TL olarak elde edilmiştir. Çözüm sonucunda karar değişkenlerinin aldığı değerler ise, Ek 9'da verilmektedir. Bu sonuç, karar vericinin tüm bulanık amaç fonksiyonları için isteklerini % 48,62 düzeyinde karşılamaktadır.

Her Bir Bulanık Amaca İlişkin Memnuniyet Düzeylerinin Belirlenmesi

Bu bölümde ise, her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeylerinin farklı olması durumunda Tiwari, Dharmar ve Rao (1986)'nın önerdiği toplamsal model yaklaşımı kullanılarak karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi her hedefte ayrı ayrı tanımlanmış ve bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilmeye çalışılmıştır. Bu durumda modeldeki amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar şu şekilde formüle edilmiştir:

$$\max \mu_1 + \mu_2 + \mu_3$$

Kısıtlar

1. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\mu_1 \leq \frac{94.283.660 - Z_{11}(x)}{94.283.660 - 8.136.860}$$

$$\mu_1 \leq \frac{Z_{12}(x) - 4.181.120}{5.620.147 - 4.181.120}$$

$$\mu_1 \leq \frac{2.875.075 - Z_{13}(x)}{2.875.075 - 2.120.759}$$

2. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\mu_2 \leq \frac{6.129.340 - Z_{21}(x)}{6.129.340 - 244.764,1}$$

$$\mu_2 \leq \frac{Z_{22}(x) - 25.867,2}{1.397.733 - 25.867,2}$$

$$\mu_2 \leq \frac{725.603,2 - Z_{23}(x)}{725.603,2 - 25.867,2}$$

3. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\mu_3 \leq \frac{84.230,4 - Z_{31}(x)}{84.230,4 - 13.860,71}$$

$$\mu_3 \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{4.022,323 - 0}$$

$$\mu_3 \leq \frac{2.509,799 - Z_{33}(x)}{2.509,799 - 0}$$

Modelin çözümünden elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

$Z_{11} = 91.161.660$	$Z_{21} = 3.171.211$	$Z_{31} = 28.353,97$
$Z_{12} = 4.912.013$	$Z_{22} = 715.493,1$	$Z_{32} = 2.529,172$
$Z_{13} = 2.491.952$	$Z_{23} = 372.396,3$	$Z_{33} = 931,6779$
$\tilde{Z}_1 = (86.249.647, 91.161.660, 93.653.612)$		
$\tilde{Z}_2 = (2.455.717,9, 3.171.211, 3.543.607,3)$		
$\tilde{Z}_3 = (25.824,798, 28.353,97, 29.285,6479)$		

Bu durumda toplam maliyet (86.249.647, 91.161.660, 93.653.612) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.455.717,9, 3.171.211, 3.543.607,3) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise, (25.824,798, 28.353,97, 29.285,6479) TL olarak elde edilmiştir. Çözüm sonucunda karar değişkenlerinin aldığı değerler, Ek 10'da verilmektedir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 52,02, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 51,51 ve üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 62,87 düzeyinde karşılamaktadır.

Her Bir Bulanık Amaca İlişkin Memnuniyet Düzeylerinin Karar Vericilerin Amaçlar İçin Verdiği Öncelik İlişkisi Dikkate Alınarak Belirlenmesi

Yapılan çalışmada karar vericilerin tüm bulanık amaçlara ilişkin verdikleri öncelik farklıdır. Bu nedenle, bu bölümde Chen ve Tsai (2001)'nin önerdiği gibi bir önceki modele öncelik ilişkisi ile ilgili kısıt ilave edilerek tüm bulanık amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlarının toplamı maksimize edilmeye çalışılmıştır. Bir önceki modelin sonuçlarına bakıldığında $\mu_3 > \mu_1 > \mu_2$ 'dir. Oysa, karar vericilerin vermiş olduğu öncelik ilişkisi $\mu_1 > \mu_3 > \mu_2$ 'dir. Bu nedenle, bir önceki modele $\mu_1 > \mu_3$ kısıtı eklenmiştir. Çıkan sonuçlar şu şekildedir:

$Z_{11} = 91.160.620$	$Z_{21} = 3.169.189$	$Z_{31} = 25.682,9$
$Z_{12} = 4.912.258$	$Z_{22} = 715.964,6$	$Z_{32} = 2.092,704$
$Z_{13} = 2.491.824$	$Z_{23} = 372.313,7$	$Z_{33} = 923,9636$
$\tilde{Z}_1 = (86.248.362, 91.160.620, 93.652.444)$		
$\tilde{Z}_2 = (2.453.224,4, 3.169.189, 3.541.502,7)$		
$\tilde{Z}_3 = (23.590,196, 25.682,9, 26.606,8636)$		

Bu durumda toplam maliyet (86.248.362, 91.160.620, 93.652.444) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.453.224,4, 3.169.189, 3.541.502,7) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise, (23.590,196, 25.682,9, 26.606,8636) TL olarak elde edilmiştir. Çözüm sonucunda karar değişkenlerinin aldığı değerler, Ek 11’de verilmektedir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 52,04, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 51,56 ve üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 52,02 düzeyinde karşılamaktadır.

3.3.7 Daha İyi Bir Çözümün Elde Edilmesi

Karar vericiler, verilen sonuçlara bakarak belirlenen bulanık amaçların başarımlarından memnun olmadıklarını belirtmiştir. Bu durumda karar vericilerin memnuniyetini arttırmak için Wang ve Liang (2005b)’in önerdiği gibi bulanık amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarını değiştirmek gerekmektedir. Başlangıçta bulanık amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarını belirlerken her bir amaca ilişkin PIS ve NIS değerleri için teoride de anlatıldığı gibi modelden çıkan sonuçlar dikkate alınmıştır. Daha iyi bir çözüm elde etmek için karar vericilere sorularak yeni PIS ve NIS değerleri elde edilmiştir. Her bir amaç için karar vericilerden elde edilen PIS ve NIS değerleri ise, Çizelge 3.6’daki gibidir.

Çizelge 3.6: Her bir amaç için karar vericilerden elde edilen PIS ve NIS değerleri

1. amaç için:			2. amaç için:			3. amaç için:		
	PIS	NIS		PIS	NIS		PIS	NIS
Z ₁₁	90.000.000	95.000.000	Z ₂₁	3.000.000	6.000.000	Z ₃₁	25.000	100.000
Z ₁₂	4.000.000	2.000.000	Z ₂₂	750.000	0	Z ₃₂	2.500	0
Z ₁₃	2.000.000	4.000.000	Z ₂₃	300.000	800.000	Z ₃₃	0	3.000

Tüm Bulanık Amaçlara İlişkin Memnuniyet Düzeyinin Belirlenmesi

Yeni PIS ve NIS değerleri dikkate alınarak her bir amaç için üyelik fonksiyonları yeniden belirlenmiştir. Bu durumda amaç fonksiyonları ile ilgili kısıtlar, modelde şu şekilde değiştirilmiştir:

1. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\lambda \leq \frac{95.000.000 - Z_{11}(x)}{95.000.000 - 90.000.000}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{12}(x) - 2.000.000}{4.000.000 - 2.000.000}$$

$$\lambda \leq \frac{4.000.000 - Z_{13}(x)}{4.000.000 - 2.000.000}$$

2. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\lambda \leq \frac{6.000.000 - Z_{21}(x)}{6.000.000 - 3.000.000}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{22}(x) - 0}{750.000 - 0}$$

$$\lambda \leq \frac{800.000 - Z_{23}(x)}{800.000 - 300.000}$$

3. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\lambda \leq \frac{100.000 - Z_{31}(x)}{100.000 - 25.000}$$

$$\lambda \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{2.500 - 0}$$

$$\lambda \leq \frac{3.000 - Z_{33}(x)}{3.000 - 0}$$

Modelin çözümünden elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

$Z_{11} = 90.647.560$	$Z_{21} = 2.569.512$	$Z_{31} = 21.443,29$
$Z_{12} = 4.782.764$	$Z_{22} = 573.838,4$	$Z_{32} = 1.912,795$
$Z_{13} = 2.431.381$	$Z_{23} = 301.628,5$	$Z_{33} = 704,6462$
$\tilde{Z}_1 = (85.864.796, 90.647.560, 93.078.941)$		
$\tilde{Z}_2 = (1.995.673,6, 2.563.512, 2.871.140,5)$		
$\tilde{Z}_3 = (19.530.495, 21.443,29, 22.147,9362)$		

Bu durumda toplam maliyet (85.864.796, 90.647.560, 93.078.941) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (1.995.673,6, 2.563.512, 2.871.140,5) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise, (19.530.495, 21.443,29, 22.147,9362) TL olarak elde edilmiştir. Çözüm sonucunda karar değişkenlerinin aldığı değerler ise, Ek 12’de verilmektedir. Bu sonuç, karar vericinin tüm bulanık amaç fonksiyonları için isteklerini % 75,86 düzeyinde karşılamaktadır.

Her Bir Bulanık Amaca İlişkin Memnuniyet Düzeylerinin Belirlenmesi

Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeylerinin farklı olması durumunda karar vericinin bulanık amaçlarına ilişkin toplam memnuniyet düzeyi her hedefte ayrı ayrı tanımlanıp, bu değişkenlerin toplamını maksimum yapan çözüm kümesi elde edilmeye çalışıldığında modeldeki amaç fonksiyonlarına ilişkin kısıtlar şu şekilde değiştirilmiştir:

1. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\mu_1 \leq \frac{95.000.000 - Z_{11}(x)}{95.000.000 - 90.000.000}$$

$$\mu_1 \leq \frac{Z_{12}(x) - 2.000.000}{4.000.000 - 2.000.000}$$

$$\mu_1 \leq \frac{4.000.000 - Z_{13}(x)}{4.000.000 - 2.000.000}$$

2. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\mu_2 \leq \frac{6.000.000 - Z_{21}(x)}{6.000.000 - 3.000.000}$$

$$\mu_2 \leq \frac{Z_{22}(x) - 0}{750.000 - 0}$$

$$\mu_2 \leq \frac{800.000 - Z_{23}(x)}{800.000 - 300.000}$$

3. amaç fonksiyonu ile ilgili kısıtlar:

$$\mu_3 \leq \frac{100.000 - Z_{31}(x)}{100.000 - 25.000}$$

$$\mu_3 \leq \frac{Z_{32}(x) - 0}{2.500 - 0}$$

$$\mu_3 \leq \frac{3.000 - Z_{33}(x)}{3.000 - 0}$$

Modelin çözümünden elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

$Z_{11} = 91.016.790$	$Z_{21} = 3.007.304$	$Z_{31} = 21.444,77$
$Z_{12} = 4.869.186$	$Z_{22} = 670.829,1$	$Z_{32} = 1.912,832$
$Z_{13} = 2.477.478$	$Z_{23} = 352.780,6$	$Z_{33} = 704,6017$
$\tilde{Z}_1 = (86.147.604, 91.016.790, 93.494.268)$		
$\tilde{Z}_2 = (2.336.474,9, 3.007.304, 3.360.084,6)$		
$\tilde{Z}_3 = (19.531,938, 21.444,77, 22.149,3717)$		

Bu durumda toplam maliyet (86.147.604, 91.016.790, 93.494.268) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.336.474,9, 3.007.304, 3.360.084,6) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise, (19.531,938, 21.444,77, 22.149,3717) TL olarak elde edilmiştir. Çözüm sonucunda karar değişkenlerinin aldığı değerler, Ek 13'te verilmektedir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,17, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 89,86 ve üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,52 düzeyinde karşılamaktadır.

Her Bir Bulanık Amaca İlişkin Memnuniyet Düzeylerinin Karar Vericilerin Amaçlar İçin Verdiği Öncelik İlişkisi Dikkate Alınarak Belirlenmesi

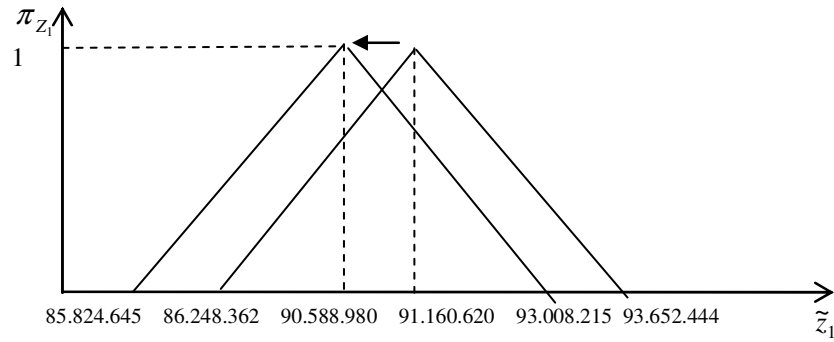
Bu bölümde ise, karar vericilerin tüm bulanık amaçlara ilişkin verdikleri öncelik farklı olduğu için bir önceki modele öncelik ilişkisi ile ilgili kısıt ilave edilerek tüm bulanık amaçların başarımlarının toplamı maksimize edilmeye çalışılmıştır. Bir önceki modelin sonuçlarına bakıldığında $\mu_2 > \mu_3 > \mu_1$ 'dir. Oysa, karar vericilerin vermiş olduğu öncelik ilişkisi, $\mu_1 > \mu_3 > \mu_2$ 'dir. Bu nedenle, modele $\mu_1 > \mu_3$, $\mu_1 > \mu_2$ ve $\mu_3 > \mu_2$ kısıtları eklenmiştir. Çıkan sonuçlar şu şekildedir:

$Z_{11} = 90.588.980$	$Z_{21} = 2.587.938$	$Z_{31} = 21.444,78$
$Z_{12} = 4.764.335$	$Z_{22} = 573.849,6$	$Z_{32} = 1.912,832$
$Z_{13} = 2.419.235$	$Z_{23} = 302.356,6$	$Z_{33} = 704,6011$
$\tilde{Z}_1 = (85.824.645, 90.588.980, 93.008.215)$		
$\tilde{Z}_2 = (2.014.088,4, 2.587.938, 2.890.294,6)$		
$\tilde{Z}_3 = (19.531,948, 21.444,78, 22.149,3811)$		

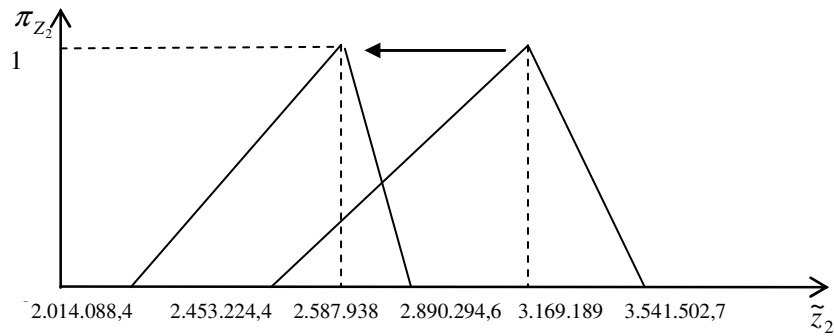
Bu durumda toplam maliyet (85.824.645, 90.588.980, 93.008.215) TL, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti (2.014.088,4, 2.587.938, 2.890.294,6) TL ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti ise, (19.531,948, 21.444,78, 22.149,3811) TL olarak elde edilmiştir. Çözüm sonucunda karar değişkenlerinin aldığı değerler, Ek 14'te verilmektedir. Bu sonuçlar, karar vericinin birinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 79,72, ikinci amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,51 ve üçüncü amaç fonksiyonu için isteklerini % 76,51 düzeyinde karşılamaktadır.

Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeylerinin karar vericilerin amaçlar için verdiği öncelik ilişkisi dikkate alınarak belirlendiği Ek 11 ve Ek 14'teki sonuçlar karşılaştırıldığında, amaç fonksiyonlarının PIS ve NIS değerlerindeki değişim, amaçlara ilişkin hedeflerin başarımlarını etkilemiştir. Toplam maliyet, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti sırasıyla (86.248.362, 91.160.620, 93.652.444) TL'den (85.824.645, 90.588.980, 93.008.215) TL'ye, (2.453.224,4, 3.169.189, 3.541.502,7) TL'den (2.014.088,4, 2.587.938, 2.890.294,6) TL'ye ve (23.590,196, 25.682,9, 26.606,8636) TL'den (19.531,948, 21.444,78, 22.149,3811) TL'ye düşmüştür. Bu durumda karar vericinin

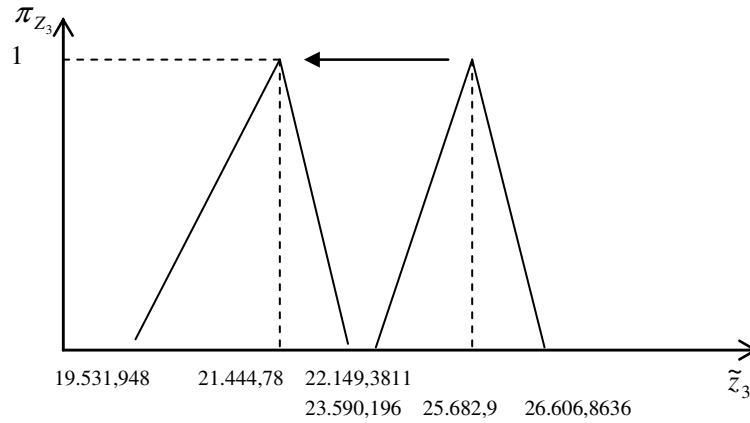
toplam maliyet için isteklerini karşılama derecesi % 52,04'den % 79,72'ye, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyeti için isteklerini karşılama derecesi % 51,56'dan % 76,51'e ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyeti için isteklerini karşılama derecesi % 52,02'den % 76,51'e çıkmıştır. Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 sırasıyla işletmenin belirsiz amaç fonksiyonları için üçgensel olabilirlik dağılımlarındaki değişimi göstermektedir.



Şekil 3.10: Optimal toplam maliyetin olabilirlik dağılımı



Şekil 3.11: Optimal toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetlerinin olabilirlik dağılımı



Şekil 3.12: Optimal işgücü düzeylerindeki değişim maliyetinin olabilirlik dağılımı

Bu durum, karar vericinin her bir amaç fonksiyonu için doğru olan doğrusal üyelik fonksiyonunu etkin bir şekilde araştırmak için uygun PIS ve NIS değerler kümesi belirlemesi gerektiğini göstermektedir. Önerilen model, karar vericiye memnun edici bir çözüm bulana kadar belirsiz veri ve ilgili model parametrelerini etkileşimli olarak düzenleyerek karar verme sürecini kolaylaştıran sistematik bir çatı oluşturmuştur. Ayrıca, model, tahmin edilen talepteki değişikliklere karşılık normal ve fazla mesai, taşeron, stok, ertelenen sipariş miktarı, işe alınan ve işten çıkarılan işçi miktarı için alternatif stratejiler hakkında bilgi sağlamıştır.

Sonuç olarak, BÜP problemi için bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak geliştirilen etkileşimli çözüm modelinin, karar vericinin etkisi altında probleme bir esneklik tanınmasından dolayı çözüm aşamasında daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Karar değişkenlerinin aldığı değerlere bakarak, 2010 yılı için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde model, işe alınan işçi miktarını arttırıp, işten çıkarılan işçi miktarını azaltarak normal mesaide üretilen ürün miktarının arttırılmasını, fazla mesaide üretilen ürün miktarının azaltılmasını, taşerona üretmesi için sipariş edilen ürün miktarının arttırılmasını ve stokta tutulan ürün miktarını arttırarak ertelenen sipariş miktarının azaltılmasını önermektedir. Böylece, maliyetler düşecek ve karar vericinin memnuniyeti artacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz rekabet ortamı, işletmeleri hızlı ve doğru hareket etmeye, müşterilerine en iyi hizmeti sunmaya zorlamaktadır. İşletmeler, müşterilerinden gelen talebe uygun hareket etmediğinde ve gerekli zamanlarda müşterilerinin isteklerini karşılayamadığında pazar kaybına uğramaktadır. Bu nedenle, hızla küreselleşen dünyada işletmeler, rakiplerinden bir adım daha önde olabilmek için yeni arayışlar içerisine girmekte, maliyetlerini düşürmek için çeşitli yollara başvurmaktadır.

İşletmeler, rekabet ortamında hızlı ve doğru bir şekilde hareket edebilmek için öncelikle, belirli bir ürünün ne zaman ve ne miktarda talep edileceğini belirlemek ve buradan hareketle ihtiyaç duyulacak üretim faktörlerini de zaman, miktar ve nitelik yönünden plânlamak durumundadır. BÜP, orta dönemli plânlama kararlarının alınmasında işgücü düzeyinin, dolayısıyla, işe alma ve işten çıkarma oranlarının, stok düzeyinin, taşeron ve fazla mesai üretim miktarlarının, ertelenen sipariş miktarlarının bir bütün olarak değerlendirilmesini ve dengelenmesini amaçlamaktadır. Yöneticiler, karar alırken bu bileşenlerin pek çoğunu birlikte değerlendirmek durumundadır. Kararların hızlı ve etkin bir şekilde alınabilmesi için ise, BÜP problemlerinin mümkün olduğunca yapılandırılmış hale getirilmesi ve BÜP yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Holt, Modigliani ve Simon (1955), HMS kuralını önerdiğinden beri araştırmacılar, BÜP problemlerini çözmek için çok sayıda yöntem geliştirmiştir. Bu çalışmada, BÜP ve BÜP yöntemleri detaylı olarak incelenmiş ve yöntemler klâsik, stokastik programlama ve bulanık optimizasyon yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır.

Gerçek hayatta üretim sistemleri dinamiktir ve değişen çevre koşulları altında talepler, mevcut kaynaklar, kapasiteler ve ilgili üretim maliyetleri gibi parametreler çoğunlukla belirsizdir. Deterministik yöntemlerde bu parametreler için kesin değerler kullanıldığı için gerçeği tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle, BÜP problemlerinde verilerin deterministik değil de stokastik veya bulanık olarak alınması gerekmektedir. Verilerin stokastik olarak alınabilmesi için ise, uygun olasılık dağılımı belirlenmelidir. Bunun için geçmişe ait yeterli veri olmalıdır. Ayrıca, dağılım fonksiyonları tam olarak gerçeği yansıtmayabilmektedir. Deterministik ve stokastik yöntemlerdeki veri toplama, veri hesaplama, model kurma ve modeli test etme çalışmaları oldukça uzun zaman

almakta ve maliyetli olmaktadır. Değişen üretim teknolojilerine ve rekabet şartlarına daha hızlı yanıt verebilmek için daha esnek ve daha kısa zamanda çözüm üretebilecek çalışmaların yapılması zorunlu hale gelmektedir. Bu nedenle, kesin olarak belirlenemeyen veya geçmişe ait yeterli veri bulunamayan parametreler için belirsizliği ve uzman deneyimini dikkate alan bulanık mantık yaklaşımını kullanmak oldukça yararlı olabilmektedir. Sistemi modellerken verilerin uzman görüşünden de yararlanılarak alınması, model dışında yer alan parametrelerin etkisini daha da azaltmakta büyük fayda sağlayacaktır. Bunun yanında, ilgili girdi verilerinin belirlenmesinde deneyimle gelen bilgi birikimi ile uzman görüşünün, büyük zaman ve maliyet kazancı sağlayacağı açıktır. Ayrıca, matematiksel olarak kesin bir şekilde belirlenemeyen parametre değerlerinin, uzman görüşünden yararlanıp, bulanık olarak belirlenmesi şartıyla; karar vericiye, değişik alternatifler sunulabilecektir. Dolayısıyla, uzman, hangi bütünleşik üretim plânını uygulaması gerektiğine karar verebilecektir. Bütün bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada BÜP için bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, öncelikle literatürde bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak oluşturulan BÜP modelleri incelenmiştir. Daha sonra gerçek hayatın özelliklerini yansıtabilen, belirsizliklerini göz ardı etmeyen ve karar verici ile çözüm süreci boyunca etkileşerek onun da karar sürecine katılımını sağlayan çok amaçlı, çok ürünlü ve çok dönemli bulanık bir BÜP problemi dikkate alınmıştır. Bu problemde gerçek hayatta olduğu gibi talep miktarları, işgücü düzeyi, makine kapasitesi ve maliyetler belirsizdir. Tüm belirsiz veriler için üçgensel olabilirlik dağılımının benimsendiği varsayılmıştır. Ayrıca, paranın zaman değeri de dikkate alınmıştır. Günümüz rekabet ortamında işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için belirsizlik altında birçok amacı optimize edecek kararları verebilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, amaçlar; toplam maliyeti, toplam stok bulundurma ve ertelenen sipariş maliyetini ve işgücü düzeylerindeki değişim maliyetini minimize etmek olarak belirlenmiştir. Karar vericinin amaç fonksiyonlarına ilişkin istek düzeyleri ise, bulanık olarak ele alınmıştır. Oluşturulan bu BÜP probleminin çözümü için farklı amaçları aynı anda karşılayabilen Lai ve Hwang (1992a)'ın Olabilirlikçi Doğrusal Programlama (ODP) modeli esas alınmıştır. Bulanık amaçların ifade edilmesinde doğrusal üyelik fonksiyonları, bulanık kümelerin birleştirilmesinde ise minimum işlemcisi

kullanılmıştır. Bulanık çok amaçlı model, bir yardımcı değişkenin modele ilave edilmesi ile eşdeğer bir DP modeline çevrilebilmiştir. Modelin çözümünün etkileşimli olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Önerilen bulanık BÜP modelinin gerçek hayatta uygulanabilirliğini test etmek için Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin konfeksiyon bölümünün 2010 yılı için bütünleşik üretim plânı hazırlanmıştır. Model için gerekli olan tüm veriler, işletmenin plânlama müdüründen elde edilmiştir. İşletme, ürettiği ürünleri iç ve dış giyim olarak gruplandırmıştır. Bu nedenle, oluşturulan modelde ürün grubu sayısı, iç ve dış giyim olmak üzere ikidir. Plânlama dönemi ise, bir yıldır. Dolayısıyla, modelde dönem sayısı, on iki aydır. Her bir ürün grubu için aylık tahmini talep miktarları, maliyetler, birim işçilik ve makine süreleri, normal ve fazla mesai işgücü düzeyleri ve makine kapasiteleri gerçek hayatta belirsiz olduğu için işletmenin plânlama müdürü tarafından geçmiş verilere ve deneyimlerine dayanarak verilmiştir. Bu veriler, oluşturulan modelde varsayılan üçgensel olasılık dağılımına uygun olacak şekilde en yüksek olası ve en düşük olası değerler olarak alınmıştır. Paranın zaman değeri de dikkate alınarak işletme için önerilen bulanık BÜP modeli oluşturulmuştur. Başlangıç çözüm için karar vericinin amaç fonksiyonlarına ilişkin istek düzeyleri Lai ve Hwang'ın önerdiği şekilde bulanık olarak ele alınmıştır. Böylece, bulanık amaçlar, doğrusal üyelik fonksiyonları şeklinde ifade edilebilmiştir. Modelin çözümü etkileşimli olarak incelenmiştir. Öncelikle, Bellman ve Zadeh'in bulanık karar verme kavramı ve Zimmermann'ın bulanık programlama yaklaşımı ile tüm bulanık amaçlara ilişkin memnuniyet düzeyi bulunmuştur. Daha sonra Tiwari, Dharmar ve Rao'nun toplamsal model yaklaşımı kullanılarak her bir amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri hesaplanmıştır. Son olarak, Chen ve Tsai'nin yaklaşımı ile karar vericilerin amaçlar için vermiş oldukları öncelik ilişkisi dikkate alınarak bir sonuç bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, işletmenin belirlenen amaçları ne düzeyde gerçekleştirdiğini göstermektedir. Karar verici, bu sonuçlardan memnun kalmamıştır. Karar vericinin memnuniyet düzeyini yükseltmek için işletmenin hedef değerleri için vermiş olduğu yargıları kullanarak bulanık amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonları değiştirilmiş ve çözüm, etkileşimli olarak tekrarlanmıştır. Sonuç olarak, daha iyi bir çözüm elde edilmiştir. Böylece, yönetime değişik stratejik varsayımlarla alternatif çözümlerin olduğu çok sayıda farklı senaryoların olası çıktılarını tahmin etmesinde önemli bir

esneklik sağlanmıştır. Değişen koşullar altında hangi kararın alınması gerektiği, karar verici tarafından belirlenmiştir. Bulanık kümelerin klâsik kümelere göre en önemli avantajlarından biri, bu şekilde değişen koşullar altında karar verici için alternatif optimal çözümler sunma kabiliyetinin olmasıdır. Dolayısıyla, gerçek hayatta karşılaşılan ve belirsizlikler içeren BÜP problemlerin çözümünde, bulanık mantığın, gerçeğe ve insanın düşünce ve karar verme mekanizmasına daha yakın sonuçlar verdiği yapılan bu uygulama ile ortaya konmuştur. Yapılan bu çalışma ile önerilen bulanık BÜP modelinin gerçek hayattaki problemlere uygulanabildiği ve bu tür problemlerde etkin çözüm üretmek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu aşamaya kadar bu çalışmada geliştirilen modelin özellikleri ve literatüre katkıları anlatılmıştır. Bunun yanı sıra, modelin sonraki çalışmalarda geliştirilebilmesi için aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Modelin tekstil sektöründe başka işletmelerin veya başka sektörlerdeki işletmelerin bütünleşik üretim plânlarının hazırlanmasında etkinliği denenebilir.
- Bu çalışmada oluşturulan model, kabul edilebilir minimum olabilirlik düzeyi (β), 0,5 alınarak çözülmüştür. Kullanılan yöntemin en büyük avantajı, karar vericiye alternatif durumlarda çeşitli kararlar sunmasıdır. Böylece, karar verici, kesin verilerin kullanıldığı deterministik BÜP yöntemlerinden farklı olarak belirsiz veriler için tayin ettiği kabul edilebilir minimum olabilirlik düzeyi parametresine bağlı olarak farklı plânlar elde edebilir ve bunlar arasından seçim yapabilme olanağına sahip olabilir.
- Her model, bazı varsayımlardan hareket edilerek düzenlenmektedir. Kuşkusuz sonuçların geçerliliği, modelin hazırlanmasında gerekli bilgilerin tutarlılığına bağlıdır. Varılan sonuçlar, mutlak ve değişmez değildir. Verilerin toplandığı dönemle uygulanacağı dönemin farklı olması veya istenen doğrulukta bilgi bulunmaması gibi nedenlerle kesin sonuçlara varılamayabilmektedir. Ancak, problemin nasıl çözüleceği belirlendiği için yeni verilerle gerçek durumu tespit etmek daha da kolaylaşmaktadır. Çözümün etkinliğini belirleyen en önemli unsur, bulanıklığın modele yansıtılmasında kullanılacak olan parametrelerdir. Bu parametrelerin nasıl bir bulanık şekil teşkil ettiği karar verme sürecinin en hassas noktasıdır.

Çünkü çözümün başarısı, modelin sistemi yansıtmadaki başarısına bağlıdır. Elbette bu da modeli oluşturan parametrelerin belirlenmesini son derece önemli hale getirmektedir. Önerilen yaklaşımın temel zorluğu, belirsiz veriyi sunmak için üçgensel olasılık dağılımlarının varsayımıdır. Ancak, gerçek hayatta karar vericinin sübjektif karar ve geçmişe ilişkin kayıtlara bağlı olarak uygun dağılımlar (dörtgensel, çan şekilli, üstel, hiperbolik veya belirsiz sayıları sunmak için diğer olasılık dağılım örnekleri) üretmesi ve elde etmesi gerekmektedir. Ayrıca önerilen yaklaşım, minimum işlemcisini varsayan Zimmermann'ın bulanık programlama yaklaşımına dayanmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda bulanık BÜP problemlerini çözmek için birleşim, ortalama ve diğer işlemciler uygulanabilir. Özetle, bundan sonra yapılacak çalışmalarda, parametrelerin bulanıklığını yansıtacak şekillerin belirlenmesinde, yani üyelik fonksiyonlarının oluşturulması üzerinde çalışma derinleştirilebilir.

Deterministik BÜP'ün amaç fonksiyonu, maliyetlerin minimizasyonu iken bulanık modellerde kısıtların toplam memnuniyetinin maksimizasyonudur. Yani toplam memnuniyet, üretim maliyet aralığı ve teknoloji katsayıları veya sağ taraf sabitlerindeki değişikliklerle ilişkilendirilen memnuniyetin bireysel ölçümlerini bütünleştirmektedir. BÜP için önerilen bulanık modellerin amacı; deterministik modellerin yerini almak değil, deterministik modelleri kullanmanın çok gerçekçi olmadığı belirsizlik koşullu ortamlarda uygulamalar için güvenilir ve etkili bir seçenek sağlamaktır. Yapılan bu çalışma ile bulanık mantık yaklaşımının sübjektiflik içeren karar verme durumlarında sağladığı avantajlarından yararlanılmıştır. Bu anlamda, belirsizlik taşıyan bir üretim işletmesinde bulanık BÜP uygulaması; daha gerçekçi, esnek ve tutarlı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen analitik bulguların, üretim işletmelerinin sorunlarının belirlenmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi yönünde karar vericilere ışık tutması beklenmektedir. Ayrıca çalışma, gelişmekte olan ülkelerin üretim işletmelerine ilişkin literatür boşluğunun giderilmesi yönünde bir adım niteliğindedir.

KAYNAKÇA

- Acar, N. (1996) *Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları (5. Basım)*, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: Ankara.
- Aköz, O. ve Petrovic, D. (2007) “A Fuzzy Goal Programming Method with Imprecise Goal Hierarchy”, *European Journal of Operational Research*, c. 181, s. 3, ss. 1427-1433.
- Aktaş, H. ve Çağman, N. (2005) “Bulanık ve Yaklaşımlı Kümeler”, *Çankaya University Journal of Arts and Sciences*, s. 3, ss. 13-25.
- Al-azzaz, A. S. ve Abo-Sinna M. A. (1998) “A Fuzzy Goal Programming Approach to Resource Allocation Problem: A Case Study”, *Journal of King Saud University (Administrative Sciences)*, c. 10, s. 1, ss. 41-52.
- Aliev, R. A., Fazlollahi, B., Guirimov, B. G. ve Aliev, R. R. (2007) “Fuzzy-Genetic Approach to Aggregate Production-Distribution Planning in Supply Chain Management”, *Information Sciences*, c. 177, s. 20, ss. 4241-4255.
- Arıkan, F. ve Güngör, Z. (2007) “A Two-Phase Approach for Multi-Objective Programming Problems with Fuzzy Coefficients”, *Information Sciences*, c. 177, s. 23, ss. 5191-5202.
- Atalay, K. D. (2006) *Çok Amaçlı Stokastik Programlama Problemlerine Etkileşimli Bulanık Programlama Yaklaşımı*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara.
- Bakır, M. A. ve Byrne, M. D. (1998) “Stochastic Linear Optimisation of an MPMP Production Planning Model”, *International Journal of Production Economics*, c. 55, s. 1, ss. 87-96.
- Baray, A. (1993) “Bulanık Kümeler Kuramı ve İşletme Uygulamaları”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 91-104.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004a) *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Bıçaklar Kitabevi: Ankara.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004b) *Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler*, Bıçaklar Kitabevi: Ankara.

- Baykasoğlu, A. (2001) “MOAPPS 1.0: Aggregate Production Planning Using the Multiple-Objective Tabu Search”, *International Journal of Production Research*, c. 39, s. 16, ss. 3685-3702.
- Baykasoğlu, A., Dereli, T., Gökçen, T. ve Daş, G. S. (2004) “Çok Objektifli Üretim Planlaması Probleminin Bulanık Matematiksel Programlama ile Çözülmesi”, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 24. Ulusal Kongresi*, 15-18 Haziran, ss. 500-502, Gaziantep-Adana.
- Baykasoğlu, A. ve Gökçen, T. (2006) “A Tabu Search Approach to Fuzzy Goal Programs and an Application to Aggregate Production Planning”, *Engineering Optimization*, c. 38, s. 2, ss. 155-177.
- Baykoç, Ö. F. ve Sakallı, Ü. S. (2009) “An Aggregate Production Planning Model for Brass Casting Industry in Fuzzy Environment”, *International Journal of Mathematical and Statistical Sciences*, c. 1, s. 3, ss. 154-158.
- Bellman, R. ve Zadeh, L. (1970) “Decision Making in a Fuzzy Environment”, *Management Science*, c.17, s. 4, ss. 141-164.
- Belmökkaddem, M., Mekidiche, M. ve Sahed, A. (2009) “Application of a Fuzzy Goal Programming Approach with Different Importance and Priorities to Aggregate Production Planning”, *Journal of Applied Quantitative Methods*, c. 4, s. 3, ss. 317-331.
- Bergstrom, G. L. ve Smith, B. E. (1970) “Multi-Item Production Planning - An Extension of the HMMS Rules”, *Management Science*, c. 16, s.10, ss. 614-629.
- Bitran, G. R. ve Yanasee, H. H. (1984) “Deterministic Approximations to Stochastic Production Problem”, *Operations Research*, c. 32, s. 5, ss. 999-1018.
- Bojadziev, G. ve Bojadziev, M. (1995) *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*, World Scientific: London.
- Bowman, E. H. (1956) “Production Scheduling by the Transportation Method of Linear Programming”, *Operations Research*, c. 4, s. 1, ss. 100-103.
- Bowman, E. H. (1963) “Consistency and Optimality in Managerial Decision Making”, *Management Science*, c. 9, s. 2, ss. 310-321.
- Buckley, J. J. (1988) “Possibilistic Linear Programming with Triangular Fuzzy Numbers”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 26, s. 1, ss. 135-138.

- Buckley, J. J. (1989) "Solving Possibilistic Programming Problems", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 31, s. 3, ss. 329-341.
- Buckley, J. J. (1990) "Stochastic versus Possibilistic Programming", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 34, s. 2, ss. 173-177.
- Buffa, E. S. (1967) "Aggregate Planning for Production", *Business Horizons*, c. 110, s. 3, ss. 87-97.
- Buffa, E. ve Miller, J. G. (1979) *Production-Inventory Systems: Planning and Control* (3. Basım), Richard D. Irwin, Inc.: Homewood, Illionis.
- Buffa, E. S. (1981) *Temel Üretim Yönetimi* (2. Basım) (Çev. A. Sezgin, K. Gölbaşı, S. Baklacioğlu, A. Ersoy, E. Ada), Ankara İktisadî ve Ticarî İlimler Akademisi Yayını, Olgaç Yayın Basım Dağıtım: Ankara.
- Buxey, G. (2003) "Strategy not Tactics Drives Aggregate Planning", *International Journal of Production Economics*, c. 85, s. 3, ss. 331-346.
- Büyüközkan, G., Kahraman, C. ve Ruan, D. (2004) "A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection", *International Journal of General Systems*, c. 33, s. 2-3, ss. 259-280.
- Chanas, S., ve Kuchta, D. (2002) "Fuzzy Goal Programming - One Notation, Many Meanings", *Control and Cybernetics*, c. 31, s. 4, ss. 871-890.
- Chang, C. T. (2007) "Binary Fuzzy Goal Programming", *European Journal of Operational Research*, c. 180, s. 1, ss. 29-37.
- Chase, R. B., Aquilano, N. J. ve Jacobs, F. R. (1998) *Production and Operations Management, Manufacturing and Services* (8. Basım), McGraw-Hill: New York.
- Chen, S. J. ve Hwang, C. L. (1992) *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer: New York.
- Chen, G. ve Pham, T. T. (2001) *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems*, CRC Press: Boca Raton.
- Chen, L. H ve Tsai, F. C., (2001) "Fuzzy Goal Programming with Different Importance and Priorities", *European Journal of Operational Research*, c. 133, s. 3, ss. 548-556.

- Chen, Y. K. ve Liao, H. C. (2003) “An Investigation on Selection of Simplified Aggregate Production Planning Strategies Using MADM Approaches”, *International Journal of Production Research*, c. 41, s. 14, ss. 3359-3374.
- Çelik, S. H. (2000) *Bulanık Rastgele Doğrusal Programlama*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara.
- Çubukçu, R. (2008) *Proje Yönetiminde Zaman ve Maliyet Risklerinin Çizelgeleme Yöntemiyle Minimize Edilmesi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Adana.
- Dai , L., Fan, L. ve Sun, L. (2003) “Aggregate Production Planning Utilizing a Fuzzy Linear Programming”, *Society for Design and Process Science*, c. 7, s. 4, ss. 81-95.
- Demir, H. ve Gümüšoğlu, Ş. (2003) *Üretim Yönetimi, İşlemler Yönetimi (6. Basım)*, Beta Basım Yayım Dağıtım: İstanbul.
- Dubois, D., Fargier, H. ve Prade, H. (1996) “Refinements of the Maximin Approach to Decision-Making in a Fuzzy Environment”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 81, s. 1, ss. 103-122.
- Duchessi, P ve O’Keefe, R. M. (1990) “A Knowledge-Based Approach to Production Planning”, *The Journal of the Operational Research Society*, c. 41, s. 5, ss. 377-390.
- Eisemann, K. ve Young, W. M. (1960) “Study of a Textile Mill with the Aid of Linear Programming”, *Management Technology*, c. 1, s.1, ss. 52-63.
- Elmas, Ç. (2003) *Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık)*, Seçkin Kitabevi: Ankara.
- Ertay, T. (2006) “Fuzzy Multi-Objective Interactive Goal Programming Approach to Aggregate Production Planning”, *Applied Artificial Intelligence Proceedings of the 7th International FLINS Conference*, August 29-31, ss. 299-306, Genova, Italy.
- Ertuğrul, İ. ve Tuş, A. (2007) “Interactive Fuzzy Linear Programming and an Application Sample at a Textile Firm”, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, c. 6, s. 1, ss. 29-49.
- Fabian, T. (1967) “Blast Furnace Production - A Linear Programming Example”, *Management Science*, c. 14, s. 2, ss. 1-27.

- Fahimnia, B., Luong, L. H. S. ve Marian, R. M. (2006) "Modeling and Optimization of Aggregate Production Planning – A Genetic Algorithm Approach", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, c. 21, ss. 68-73.
- Fernando, P. M., ve Verissimo, L. J. (2000) "The Financial Aspects of Aggregate Production Planning: An Application of Time-Proven Techniques", *International Journal of Commerce and Management*, c. 10, s. 3 / 4, ss. 35-42.
- Filho, O. S. S. (1999) "An Aggregate Production Planning Model with Demand Under Uncertainty", *Production Planning & Control*, c. 10, s. 8, ss. 745-756.
- Fisk, J. C. (1979) "A Goal Programming Model for Output Planning", *Decision Sciences*, c. 10, s. 4, ss. 593-603.
- Fuller, J. A. (1975) "A Linear Programming Approach to Aggregate Scheduling", *The Academy of Management Journal*, c. 18, s. 1, ss. 129-136.
- Fung, R. Y. K., Tang, J. ve Wang, D. (2003) "Multiproduct Aggregate Production Planning with Fuzzy Demands and Fuzzy Capacities", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: A Systems and Humans*, c. 33, s. 3, ss. 302-313.
- Gen, M., Tsujimura, Y. ve Ida, K. (1992) "Method for Solving Multi Objective Aggregate Production Planning Problem with Fuzzy Parameters", *Computers and Industrial Engineering*, c. 23, s. 1-4, ss. 117-120.
- Goodman, D. A. (1974) "A Goal Programming Approach to Aggregate Planning of Production and Work Force", *Management Science*, c. 20, s. 12, ss. 1569-1575.
- Greene, J. H., Chatto, K., Hicks, C. R. ve Cox, C. B. (1959) "Linear Programming in the Packing Industry", *Journal of Industrial Engineering*, c. 10, s. 5, ss. 364-372.
- Gu, X. ve Zhu, Q. (2006) "Fuzzy Multi-Attribute Decision-Making Method Based on Eigenvector of fuzzy Attribute Evaluation Space", *Decision Support Systems*, c. 41, s. 2, ss. 400-410.
- Guiffrida, A. L. ve Nagi, R. (1998) "Fuzzy Set Theory Applications in Production Management Research: A Literature Survey", *Journal of Intelligent Manufacturing*, c. 9, s. 1, ss. 39-56.

- Gürdoğan, N. (1981) *Üretim Planlamasında Doğrusal Programlama ve Demir Çelik Endüstrisinde Bir Uygulama*, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları: Ankara.
- Haehling, L. C. (1970) "Production and Employment Scheduling in Multi-Stage Production Systems", *Naval Research Logistics Quarterly*, c. 17, s. 2, ss. 193-198.
- Hannan, E. L. (1981) "Linear Programming with Multiple Fuzzy Goals", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 6, s. 3, ss. 235-248.
- Hanssmann, F. ve Hess, S. W. (1960) "A Linear Programming Approach to Production and Employment Scheduling", *Management Technology*, c. 1, s. 1, ss. 46-51.
- Hasgül, Ö. (2005) *Ana Üretim Planlamasında Karar Destek Sistemlerinin Kullanılması ve Stoksuz Üretim Yapılan Bir İşletmede Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Eskişehir.
- Hashemi, S. M., Ghatee, M. ve Hashemi, B. (2006) "Fuzzy Goal Programming: Complementary Slackness Conditions and Computational Schemes", *Applied Mathematics and Computation*, c. 179, s. 2, ss. 506-522.
- Hausman, W. H. ve McClain, J. D. (1971) "A Note on the Bergstrom-Smith Multi-Item Production Planning Model", *Management Science*, c. 17, s. 11, ss. 783-785.
- Heizer, J. ve Render, B. (2000) *Operations Management (6. Basım)*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Hindelang, T. J. ve Hill, J. L. (1978) "A New Model for Aggregate Output Planning", *Omega*, c. 6, s. 3, ss. 267-272.
- Hintz, G. W. ve Zimmermann, H. J. (1989) "A Method to Control Flexible Manufacturing Systems", *European Journal of Operational Research*, c. 41, s. 3, ss. 321-334.
- Holt, C. C., Modigliani, F. ve Simon, H. A. (1955) "A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling", *Management Science*, c. 2, s. 1, ss. 1-30.

- Holt, C. C., Modigliani, F. ve Muth, J. F. (1956) "Derivation of a Linear Decision Rule for Production and Employment", *Management Science*, c. 2, s. 2, ss. 159-177.
- Holt, C. C., Modigliani, F., Muth, J. F. ve Simon, H. A. (1960) *Planning Production, Inventories, and Work Force*, Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.
- Hooke, R. ve Jeeves, T. A. (1961) " 'Direct Search' Solution of Numerical and Statistical Problems", *Journal of Association for Computing Machinery*, c. 8, s. 2, ss. 212-229.
- Hop, N. V. (2007) "Fuzzy Stochastic Goal Programming Problems", *European Journal of Operational Research*, c. 176, s. 1, ss. 77-86.
- Hsieh, S. ve Wu, M. S., (2000) "Demand and Cost Forecast Error Sensitivity Analyses in Aggregate Production Planning by Possibilistic Linear Programming Models", *Journal of Intelligent Manufacturing*, c. 11, s. 4, ss. 355-364.
- Hsu, H. M. ve Wang, W. P. (2001) "Possibilistic Programming in Production Planning of Assemble-to-Order Environments", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 119, s.1, ss. 59-70.
- Hu, C. F., Teng, C. J. ve Li, S. Y. (2007) "A Fuzzy Goal Programming Approach to Multi-Objective Optimization Problem with Priorities", *European Journal of Operational Research*, c. 176, s. 3, ss. 1319-1333.
- Jääskeläinen, V. (1969) "A Goal Programming Model of Aggregate Production Planning", *The Swedish Journal of Economics*, c. 71, s. 1, ss. 14-29.
- Jamalnia, A. ve Soukhakian, M. A. (2009) "A Hybrid Fuzzy Goal Programming Approach with Different Goal Priorities to Aggregate Production Planning", *Computers and Industrial Engineering*, c. 56, s. 4, ss. 1474-1486.
- Jensen, H. A. ve Maturana, S. (2002) "A Possibilistic Decision Support System for Imprecise Mathematical Programming Problems", *International Journal of Production Economics*, c. 77, s. 2, ss. 145-158.
- Jones, C. H. (1967) "Parametric Production Planning", *Management Science*, c. 13, s. 11, ss. 843-866.
- Kağncıoğlu, C. H. ve Hasgül, Ö. (2006) "Ana Üretim Planlamasında Karar Destek Sistemlerinin Kullanılması ve Stoksuz Üretim Yapılan Bir İşletmede

- Uygulama”, *Mevzuat Dergisi*, c. 8, s. 106, ISSN 1306-0767, www.mevzuatdergisi.com/2006/10a/03.htm
- Kalender, F. Y., Yılmaz, M. M. ve Türkbey, O. (2008) “Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 1, ss. 129-138.
- Kandel, A. (1986) *Fuzzy Mathematical Techniques with Applications*, Addison-Wesley Publishing Company: Boston.
- Kaufmann, A. ve Gupta, M. M. (1988) *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, Elsevier Science Publishers B.V.: Amsterdam.
- Kaymak, U. ve Sousa, J. M. (2001) *Weighted Constraints in Fuzzy Optimization*, ERIM Report Series Research in Management, ERS-2001-19-LIS, 21 pages.
- Keleşoğlu, Ö. ve Ülker, M. (2006) “Düzlem Çerçeve Sistemlerin Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyonu”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, ss. 3771 -3782.
- Kim, J. S., ve Whang, K. S. (1998) “A Tolerance Approach to The Fuzzy Goal Programming Problems with Unbalanced Triangular Membership Function”, *European Journal of Operational Research*, c. 107, s. 3, ss. 614-624.
- Kobu, B. (2003) *Üretim Yönetimi (11. Basım)*, Avcıol Basım Yayım: İstanbul.
- Kuwano, H. L. (1996) “On the Fuzzy Multi-Objective Linear Programming Problem: Goal Programming Approach”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 82, s. 1, ss. 57-64.
- Lai Y. J. ve Hwang, C. L. (1992a) “A New Approach to Some Possibilistic Linear Programming Problems”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 49, s. 2, ss. 121-133.
- Lai Y. J. ve Hwang, C. L. (1992b) “Interactive Fuzzy Linear Programming”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 45, s. 2, ss. 169-183.
- Lai Y. J. ve Hwang C. L. (1996) *Fuzzy Multiple Objective Decision Making (2. Basım)*, Springer-Verlag: New York.
- Laurent, G. (1976) “A Note on Range Programming: Introducing a “Satisficing Range” in a L.P.”, *Management Science*, c. 22, s. 6, ss. 713-716.

- Leberling, H. (1981) "On Finding Compromise Solutions in Multi Criteria Problems Using the Fuzzy Min-Operator", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 6, s. 2, ss. 105-118.
- Lee, Y. Y. (1990) *Fuzzy Set Theory Approach to Aggregate Production Planning and Inventory Control*, PhD. Dissertation, Department of Industrial Engineering, Kansas State University, Manhattan.
- Lee, Y. Y. (1993) "A Fuzzy Linear Programming Approach to Aggregate Production Planning", *Journal of Chinese Institute of Industrial Engineers*, c. 10, s.1, ss. 25-32.
- Lee, S. M. ve Jääskeläinen, V. (1971) "Goal Programming: Management's Math Model", *Industrial Engineering*, c. 3, s. 2, ss. 30-35.
- Leung, S. C. H., Wu, Y. ve Lai, K. K. (2003) "Multi-Site Aggregate Production Planning with Multiple Objectives: A Goal Programming Approach", *Production Planning & Control*, c. 14, s. 5, ss. 425-436.
- Leung, S. C. H., Wu, Y. ve Lai, K. K. (2006) "A Stochastic Programming Approach for Multi-Site Aggregate Production Planning", *Journal of the Operational Research Society*, c. 57, s. 2, ss. 123-132.
- Leung, S. C. H. ve Chan, S. S. W. (2009) "A Goal Programming Model for Aggregate Production Planning with Resource Utilization Constraint", *Computers & Industrial Engineering*, c. 56, s. 3, ss. 1053-1064.
- Liang, T. F. (2007a) "Application of Interactive Possibilistic Linear Programming to Aggregate Production Planning with Multiple Imprecise Objectives", *Production Planning and Control*, c. 18, s. 7, ss. 548-560.
- Liang, T. F. (2007b) "Application of Possibilistic Linear Programming to Multi-Objective Distribution Planning Decisions", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, c. 24, s. 2, ss. 97-109.
- Liang, T. F. (2008) "Fuzzy Multi-Objective Production/Distribution Planning Decisions with Multi-Product and Multi-Time Period in a Supply Chain", *Computers & Industrial Engineering*, c. 55, s. 3, ss. 676-694.
- Liang, T. F. ve Cheng, H. W. (2009) "Application of Fuzzy Sets to Manufacturing/Distribution Planning Decisions with Multi-Product and

- Multi-Time Period in Supply Chains”, *Expert Systems with Applications*, c. 36, s. 2, ss. 3367-3377.
- Liang, T. F., Yang, C. Y., Chen, P. Y. ve Shen, K. H. (2009) “Application of Fuzzy Programming Approach to Multi-Objective Aggregate Production Planning Decisions”, edoc.ypu.edu.tw:8080/paper/antai/2009
- Lin, T. M. ve Liang, T. F. (2002) “Aggregate Production Planning with Multiple Fuzzy Goals”, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, c. 19, s. 4, ss. 39-47.
- Lin, Y. H. (2008) *A Fuzzy Goal Programming for Aggregate Production Planning Model with Imprecise Preemptive Priority*, Master's Thesis, Department of Industrial and Information Management, National Cheng-Kung University, Tainan.
- Liou, T. S. ve Wang, M. J. J. (1992) “Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 50, s. 3, ss. 247-255.
- Love, C. E ve Turner, M. (1993) “Note on Utilizing Stochastic Optimal Control in Aggregate Production Planning”, *European Journal of Operational Research*, c. 65, s. 2, ss. 199-206.
- Luhadjula, M. K. (1982) “Compensatory Operations in Fuzzy Linear Programming with Multiple Objectives”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 8, s. 3, ss. 245-252.
- Maria, A., Mattson, C. A, Ismail-Yahaya, A. ve Messac, M., (2003) “Linear Physical Programming for Production Planning Optimization”, *Engineering Optimization*, c. 35, s. 1, ss. 19-37.
- Marler, R. T., Yang, J. ve Rao, S. S. (2004) “A Fuzzy Approach for Determining a Feasible Point in a Constrained Problem”, *ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, July 25-29, ss. 115-124, San Diego, California, USA.
- Masud, A. M. ve Hwang, C. L. (1980) “ An Aggregate Production Planning Model and Application of Three Multiple Objective Decision Methods”, *International Journal of Production Research*, c. 18, s. 6, ss. 741-752.
- McClain, J. O. ve Thomas, J. (1977) “Horizon Effects in Aggregate Production Planning with Seasonal Demand”, *Management Science*, c. 23, s. 7, ss. 728-736.

- Menteş, A. (2000) *Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Mezghani, M., Loukil, T. ve Aouni, B. (2008) “Aggregate Production Planning in an Imprecise Environment Through the Goal Programming and the Satisfaction Functions”, *ASAC 2008*, May 24-27, Halifax, Nouvelle-Ecosse, ojs.acadiau.ca/index.php/ASAC/article/viewFile/707/615
- Miller, W. A., Leung, L. C., Azhar, T. M ve Sargent, S. (1997) “Fuzzy Production Planning Model for Fresh Tomato Packing”, *International Journal of Production Economics*, c. 53, s. 3, ss. 227-238.
- Mohamed, R. H. (1997) “The Relationship Between Goal Programming and Fuzzy Programming”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 89, s. 2, ss. 215-222.
- Mula, J., Poler, R., Garcia-Sabater, J. P. ve Lario, F. C. (2006) “Models for Production Planning under Uncertainty: A Review”, *International Journal of Production Economics*, c. 103, s. 1, ss. 271-285.
- Mula, J., Poler, R. ve Garcia, J. P. (2006) “MRP with Flexible Constraints: A Fuzzy Mathematical Programming Approach”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 157, s. 1, ss. 74-97.
- Nahmias, S. (1997) *Production and Operations Analysis (3. Basım)*, Irwin/McGraw-Hill: Chicago.
- Nam, S. J., ve Logendran, R. (1992) “Aggregate Production Planning - A Survey of Models and Methodologies” *European Journal of Operational Research*, c. 61, s. 3, ss. 255-272.
- Narasimhan, R. (1980) “Goal Programming in a Fuzzy Environment”, *Decision Sciences*, c.11, s. 2, ss. 325-336.
- Nguyen, H. T. ve Walker, E. A. (1999) *A First Course in Fuzzy Logic*, Chapman & Hall/Crc.: Boca Raton.
- Osman, M. S., Abo-Sinna, M. A. ve El-Sayed, M. K. (2005) “An Algorithm for Solving Multi-Stage Decision Making Model with Multiple Fuzzy Goals Based on Genetic Algorithms”, *University of Sharjah Journal of Pure & Applied Sciences*, c. 2, s. 3, ss. 1-30.

- Özkan, M. (2002) *Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulama Denemesi*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Bursa.
- Özkan, M. M. (2003a) “Bulanık Hedef Programlama Modeli ve Bir Uygulama Denemesi”, *Review of Social Economic & Business Studies*, c. 2, ss. 265-301.
- Özkan, M. M. (2003b) *Bulanık Hedef Programlama*, Ekin Kitabevi: Bursa.
- Öztürk, A. (2005) *Yöneylem Araştırması (10. Basım)*, Uludağ Üniversitesi Yayınları: Bursa.
- Paksoy, T. (2002) Bulanık Küme Teorisi ve Doğrusal Programlamada Kullanımı: Karşılaştırmalı Bir Analiz, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 1, ss.1-16.
- Paksoy, T. ve Atak, M. (2002) “Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama ile Bütünleşik Üretim Planlama”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 15, s. 2, ss. 457-466.
- Petrovic, D., Roy, R. ve Petrovic, R. (1999) “Supply Chain Modelling Using Fuzzy Sets”, *International Journal of Production Economics*, c. 59, s.1-3, ss. 443-453.
- Phruksaphanrat B. ve Ohsato A. (2004) “Linear Solution Method for Aggregate Production Planning with Fuzzy Goals”, *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, c. 16, s. 2, ss. 171-183.
- Phruksaphanrat, B., Ohsato, A. ve Yenradee, P. (2006) “A Comment on the Formulation of an Aggregate Production Planning”, *Cybernetics and Intelligent Systems, 2006 IEEE Conference on*, ss. 1-6.
- Rakes, T. R., Franz, L. S. ve Wynne, A. J. (1984) “Aggregate Production Planning Using Chance-Constrained Goal Programming”, *International Journal of Production Research*, c. 22, s. 4, ss. 673-684.
- Ramik, J. ve Rimanek, J. (1985) “Inequality Relation Between Fuzzy Number and Its Use in Fuzzy Optimization”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 16, s. 2, ss. 123-138.

- Rinks, D. B. (1981) "A Heuristic Approach to Aggregate Production Scheduling Using Linguistic Variables", In: Laske, G.E. (Ed.), *Applied Systems and Cybernetics*, c. 6, Pergamon Pres: New York, ss. 2877-2883.
- Rinks, D. B., (1982a) "The Performance of Fuzzy Algorithm Models for Aggregate Planning Under Differing Cost Structures", In: Gupta, M.M., Sanchez, E. (Eds.), *Fuzzy Information and Decision Processes*, North-Holland: Amsterdam, ss. 267-278.
- Rinks, D. B., (1982b) "A Heuristic Approach to Aggregate Planning Production Scheduling Using Linguistic Variables: Methodology and Application", In: Yager, R. (Ed.) *Fuzzy Set and Possibility Theory*, Pergamon Pres: New York, ss. 562-581.
- Rommelfanger, H. (1996) "Fuzzy Linear Programming and Applications", *European Journal of Operational Research*, c. 92, s. 3, ss. 512-527.
- Ross T. J., Booker J. M. ve Parkinson W. J. (2002) *Fuzzy Logic and Probability Applications: Bridging the Gap*, SIAM Publishers: Philadelphia.
- Rubin, P. A. ve Narasimhan, R. (1984) "Fuzzy Goal Programming with Nested Priorities", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 14, s. 2, ss. 115-129.
- Russell, R. S. ve Taylor, B. W. (2006) *Operations Management Quality and Competitiveness in a Global Environment (5. Basım)*, John Wiley & Sons Inc.: New York.
- Saad, G. (1982) "An Overview of Production Planning Model: Structure Classification and Empirical Assessment", *International Journal of Production Research*, c. 20, s. 1, ss. 105-114.
- Sakawa, M. ve Yano, H.(1988) "An Interactive Fuzzy Satisficing Method for Multiobjective Linear Fractional Programming Problems", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 28, s. 2, ss. 129-144.
- Sarı, M., Murat, Y. Ş. ve Kırabalı, M. (2005) "Bulanık Modelleme Yaklaşımı ve Uygulamaları", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 9, ss. 77-92.
- Sarıaslan, H. ve Karacabey, A. A. (2003) *İşletmelerde Sayısal Analizler*, Turhan Kitabevi: Ankara.

- Schroeder, R. G. (1993) *Operations Management, Decision Making in the Operations Function (4. Basım)*, McGraw-Hill Inc.: New York.
- Schwarz, L. B. ve Johnson, R. E. (1978) “An Appraisal of the Empirical Performance of the Linear Decision Rule for Aggregate Planning”, *Management Science*, c. 24, s. 8, ss. 844-849.
- Selim, H. (2006) *Strategic and Tactical Planning in Collaborative Supply Chains: Fuzzy Modeling Approach*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İzmir.
- Selim, H. Araz, C. ve Özkarahan, İ. (2004) “An Integrated Multi-Objective Supply Chain Model in a Fuzzy Environment”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, c. 15, s. 3, ss. 2-16.
- Shen, R. F. C. (1994) “Aggregate Production Planning by Stochastic Control”, *European Journal of Operational Research*, c. 73, s. 2, ss. 346-359.
- Silva, J., Lisboa, J. ve Huang, P. A. (2000) “A Labour-Constrained Model for Aggregate Production Planning”, *International Journal of Production Research*, c. 38, s. 9, ss. 2143-2152.
- Silva, C. G., Figueira, J., Lisboa, J. ve Barman, S. (2006) “An Interactive Decision Support System for an Aggregate Production Planning Model Based on Multiple Criteria Mixed Integer Linear Programming”, *Omega*, c. 34, s. 2, ss. 167-177.
- Singhal, J. ve Singhal, K. (2007) “Holt, Modigliani, Muth, and Simon’s Work and Its Role in the Renaissance and Evolution of Operations Management”, *Journal of Operations Management*, c. 25, s. 2, ss. 300-309.
- Sipper, D. ve Bulfin, R. L. (1997) *Production Planning, Control, and Integration*, The McGraw-Hill Companies, Inc.: New York.
- Stevenson, W. J. (2009) *Operations Management (10. Basım)*, McGraw-Hill Companies/Irwin: New York.
- Şen Z. (2004) *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri (2. Basım)*, Su Vakfı Yayınları: İstanbul.
- Tanaka, H., Ichihashi, H., Asai, K. (1984) “A Formulation of Fuzzy Linear Programming Problem Based on Comparison of Fuzzy Numbers”, *Control and Cybernetics*, c. 13, ss. 185-194.

- Tanaka, K. (1997) *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications* (Çev. T. Niimura), Springer-Verlag: New York.
- Tang, J., Wang, D. ve Fung, R. Y. K. (2000) “Fuzzy Formulation for Multiproduct Aggregate Production Planning”, *Production Planning Control*, c. 11, s.7, ss. 670-676.
- Tang, J., Wang, D. ve Fung, R. Y. K. (2001) “Formulation of General Possibilistic Linear Programming Problems for Complex Industrial Systems” *Fuzzy Sets and Systems*, c. 119, s. 1, ss. 41-48.
- Tang, J., Fung, R. Y. K. ve Yung, K. L. (2003) “Fuzzy Modelling and Simulation for Aggregate Production Planning”, *International Journal of Systems Science*, c. 34, s. 12-13, ss. 661-673.
- Taubert, W. H. (1968) “A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem”, *Management Science*, c. 14, s. 6, ss. 343-359.
- Techawiboonwong, A. ve Yenradee, P. (2002) “Aggregate Production Planning Using Spreadsheet Solver: Model and Case Study”, *ScienceAsia*, c. 28, s. 3, ss. 291-300.
- Tekin, M.(2004) *Sayısal Yöntemler*, Konya.
- Terano T., Asai, K. ve Sugeno, M. (1992) *Fuzzy Systems Theory and its Applications*, Academic Press Inc.: San Diego.
- Tersine, R. J. (1985) *Operations Management: Concepts, Structure and Analysis* (2. Basım), Elsevier Science Publishing Co., Inc.: New York.
- Thompson, S. D. ve Davis, W. J. (1990) “An Integrated Approach for Modeling Uncertainty in Aggregate Production Planning”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, c. 20, s.5, ss. 1000-1012.
- Thompson, S. D., Watanabe, D.T. ve Davis, W.J., (1993) “A Comparative Study of Aggregate Production Planning Strategies Under Conditions of Uncertainty and Cyclic Product Demands”, *International Journal of Production Research*, c. 31, s.8, ss. 1957-1979.
- Tiwari, R. N., Dharmar, S. ve Rao, J. R. (1986) “Priority Structure in Fuzzy Goal Programming”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 19, s. 3, ss. 251-259.
- Tiwari, R. N., Dharmar, S. ve Rao, J. R. (1987) “Fuzzy Goal Programming-An Additive Model”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 24, s. 1, ss. 27-34.

- Tomsovic, K. (1992) "A Fuzzy Linear Programming Approach to the Reactive Power/Voltage Control Problem", *Transactions on Power Systems*, c. 7, s. 1, ss. 287-293.
- Tulunay, Y. (1991) *Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları (3. Basım)*, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İkt. Ens. Yayın: İstanbul.
- Tuncel, S. Ö. (1997) *Bulanık Doğrusal Programlama*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara.
- Türkbey, O. (2003) "Çok Amaçlı Makine Sıralama Problemi için Bir Bulanık Güçlü Metot", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 5, s. 3, ss. 81-98.
- Türkşen, B., (1985) "Bulanık Kümeler Kuramı ve Uygulamaları", *Yöneylem Araştırma Dergisi*, c. 4, s. 1, ss.1-15.
- Türkşen, I. B. (1988a) "Approximate Reasoning for Production Planning", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 26, s. 1, ss.23-37.
- Türkşen, I. B. (1988b) "An Approximate Reasoning Framework for Aggregate Production Planning", In: Türkşen, I.B. (Ed.), *Computer Integrated Manufacturing, NATO ASI SERIES*, c. 49, ss. 243-266, Springer: Berlin.
- Türkşen, I. B. ve Fazel Zarandi, M. H. (1999) "Production Planning and Scheduling: Fuzzy and Crisp Approaches", *Practical Applications of Fuzzy Technologies*, ss. 479-529, Kluwer Academic Publisher: Boston.
- Umarusman, N. (2007) *Çok Amaçlı Karar Problemlerinde Duyarlılık Analizi ve Bulanık Mantık İlişkisi: De Novo Programlama Uygulaması*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: İzmir.
- Ural, G. F. (2006) *Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemi Kullanılarak Bir Sanayi Kuruluşunda Üretim Planlama Çalışmasının Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Kocaeli.
- Uzun, Ç. (1995) *Bulanık Lineer Programlama ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Üreten, S. (1999) *Üretim/İşlemler Yönetimi, Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri (2. Basım)*, Başar Ofset: Ankara.
- Vergin, R. C. (1966) "Production Scheduling Under Seasonal Demand", *Journal of Industrial Engineering*, c. 17, s. 5, ss. 260-266.

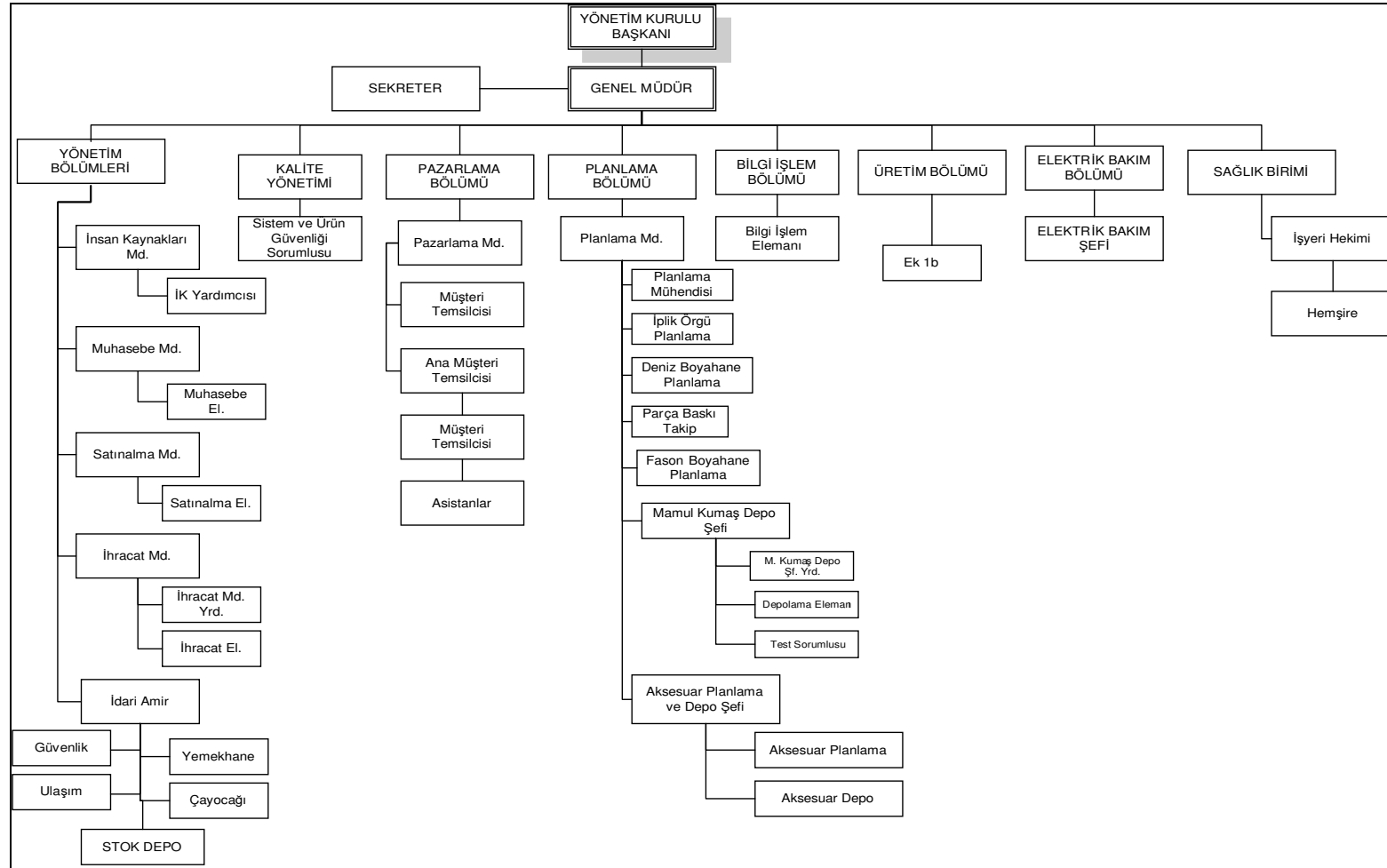
- Vollman, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C. ve Jacobs, F. R. (2005) *Manufacturing Planning & Control Systems for Supply Chain Management (5. Basım)*, McGraw-Hill: New York.
- Wang, D. ve Fang, S. C. (1997) “A Genetics-Based Approach for Aggregated Production Planning in a Fuzzy Environment”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, c. 27, s. 5, ss. 636-645.
- Wang, R. C. ve Fang, H. H. (2000) “Aggregate Production Planning in a Fuzzy Environment”, *International Journal of Industrial Engineering*, c. 7, s.1, ss. 5-14.
- Wang, R. C. ve Fang, H. H. (2001) “Aggregate Production Planning with Multiple Objectives in a Fuzzy Environment”, *European Journal of Operational Research*, c. 133, s. 3, ss. 521-536.
- Wang, H. F. ve Fu, C. C. (1997) “A Generalization of Fuzzy Goal Programming with Preemptive Structure”, *Computers and Operations Research*, c. 24, s. 9, ss. 819-828.
- Wang, R. C. ve Liang, T. F. (2004) “Application of Fuzzy Multi-Objective Linear Programming to Aggregate Production Planning”, *Computers and Industrial Engineering*, c. 46, s. 1, ss.17-41.
- Wang, R. C. ve Liang, T. F. (2005a) “Aggregate Production Planning with Multiple Fuzzy Goals”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 25, s.5-6, ss. 589-597.
- Wang, R. C. ve Liang, T. F. (2005b) “Applying Possibilistic Linear Programming to Aggregate Production Planning”, *International Journal of Production Economics*, c. 98, s. 3, ss. 328-341.
- Ward, T. L., Ralston, P. A. S. ve Davis, J. A. (1992) “Fuzzy Logic Control of Aggregate Production Planning”, *Computers and Industrial Engineering*, c. 23, s. 1-4, ss. 137-140.
- Werners, B. (1987) “An Interactive Fuzzy Programming System”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 23, s. 1, ss. 131-147.

- Yaghoobi, M. A. ve Tamiz, M. (2007) "A Method for Solving Fuzzy Goal Programming Problems Based on MINMAX Approach", *European Journal of Operational Research*, c. 177, s. 3, ss. 1580-1590.
- Yakupoğlu, T, Özdemir, N. ve Ekberli, İ. (2008) "Toprak Erozyonu Çalışmalarında Bulanık Mantık Uygulamaları", *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 2, ss. 121-130.
- Yan, W., Zhao, J. ve Cao, Z. (2005) "Fuzzy Programming Model for Lot Sizing Production Planning Problem", *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, c. 36, s. 13, ss. 285-294.
- Yazenin, A. V. (1987) "Fuzzy and Stochastic Programming", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 22, s. 1-2, ss. 171-180.
- Yen, J. ve Langari, R., (1999) *Fuzzy Logic, Intelligence, Control and Information*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Yenradee, P., Kitpipit, N., Thangthong, E. ve Charoenpunthong, S. (2008) "Aggregate Production Planning in a Sugar Factory: Fuzzy Programming Approach", *APIEMS 2008 Proceedings of The 9th Asia Pasific Industrial Engineering & Management Systems Conference*, December 3-5, Nusa Dua, Bali-Indonesia.
- Yıldız, M. S. (1999) *Sanayi İşletmelerinde Ana Üretim Planlama ve Bütünleşik Üretim Planlama Uygulaması*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: Erzurum.
- Yılmaz, Ö. F. (1998) *Bulanık Doğrusal Programlama ile Asgari Ücretin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara.
- Yılmaz, E. ve Yalçın Seçme, N. (2008) "Montaj Hattı Dengeleme Problemine Tüm Katsayıları Bulanık Olan Bir Doğrusal Programlama Modeli", *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 28. Ulusal Kongresi*, 30 Haziran-2 Temmuz, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul.
- Zadeh, L. A. (1965) "Fuzzy Sets", *Information and Control*, c. 8, s. 3, ss. 338-353.
- Zadeh, L. A. (1973) "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, c. SMC-3, s. 1, ss. 28-44.

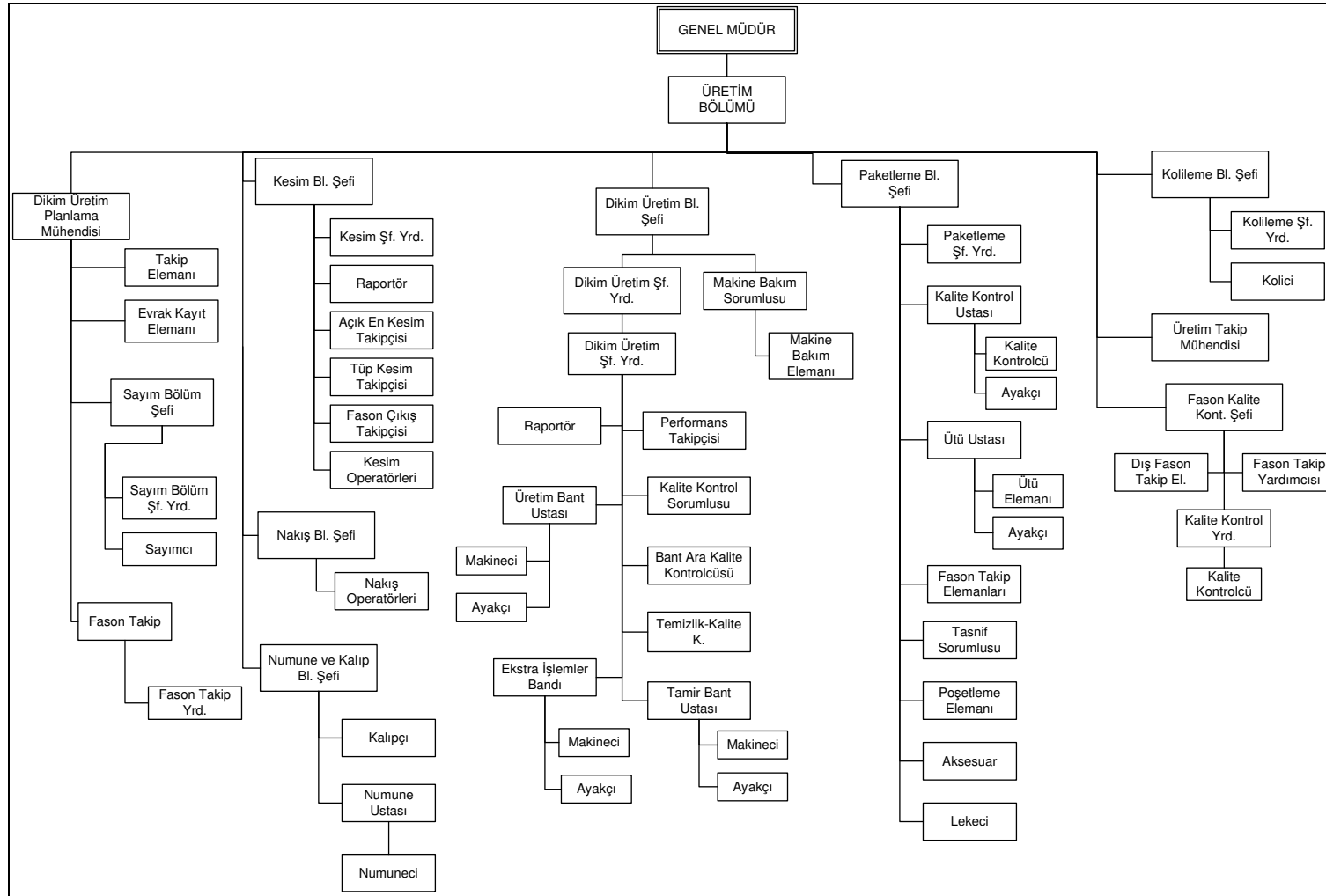
- Zadeh, L. A. (1975) "The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning - I, II, III", *Information Sciences*, c. 8, ss. 199-249; c. 8, ss. 301-357; c. 9, ss. 43-80.
- Zadeh, L.A. (1978) "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, c.1, s. 1, ss. 3-28.
- Zadeh L. A. ve Kacprzyk J. (1992) *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*, John Wiley & Sons Inc.: New York.
- Zhang, H. C. ve Huang, S. H. (1994) "A Fuzzy Approach to Process Plan Selection", *International Journal of Production Research*, c. 32, s. 6, ss. 1265-1279.
- Zhao, R., Govind, R. ve Fan, G. (1992) "The Complete Decision Set of the Generalized Symmetrical Fuzzy Linear Programming", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 51, s. 1, ss. 53-65.
- Zhu, W. (2008) "The Application of Fuzzy Programming to the Aggregate Production Planning – Markdown Pricing Problem", *The 7th International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'08)*, October 31-November 3, ss. 457-464, Lijiang, China.
- Zimmermann, H. J. (1976) "Description and Optimization of Fuzzy Systems", *International Journal of General System*, c. 2, s. 4, ss. 209-215.
- Zimmermann, H. J. (1978) "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions", *Fuzzy Sets and Systems*, c. 1, s. 1, ss. 45-55.
- Zimmermann, H. J. (1991) *Fuzzy Set Theory and Its Applications (2. Basım)*, Kluwer Academic Publishers: Boston.

EKLER

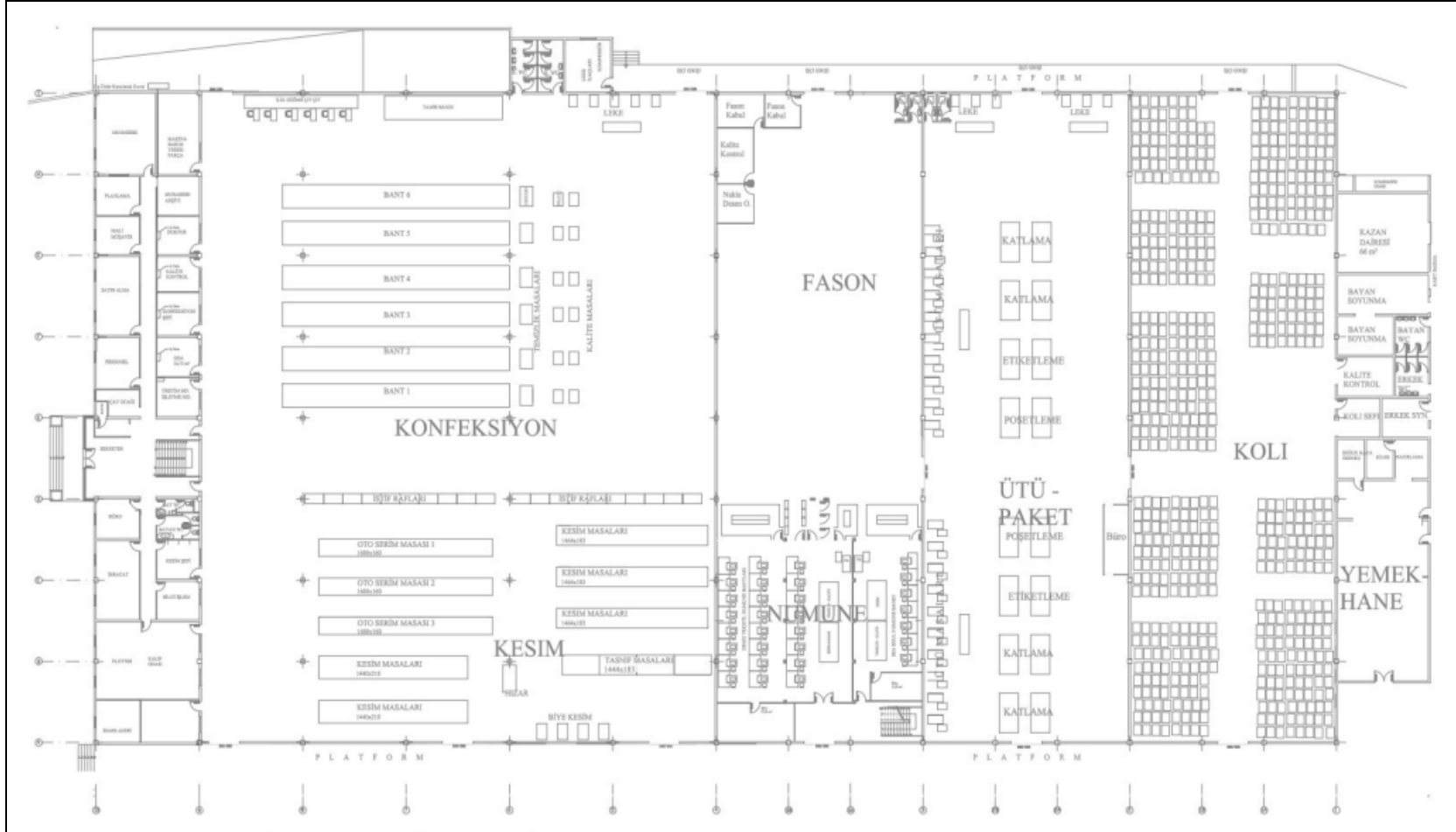
Ek 1a: Genel organizasyon şeması



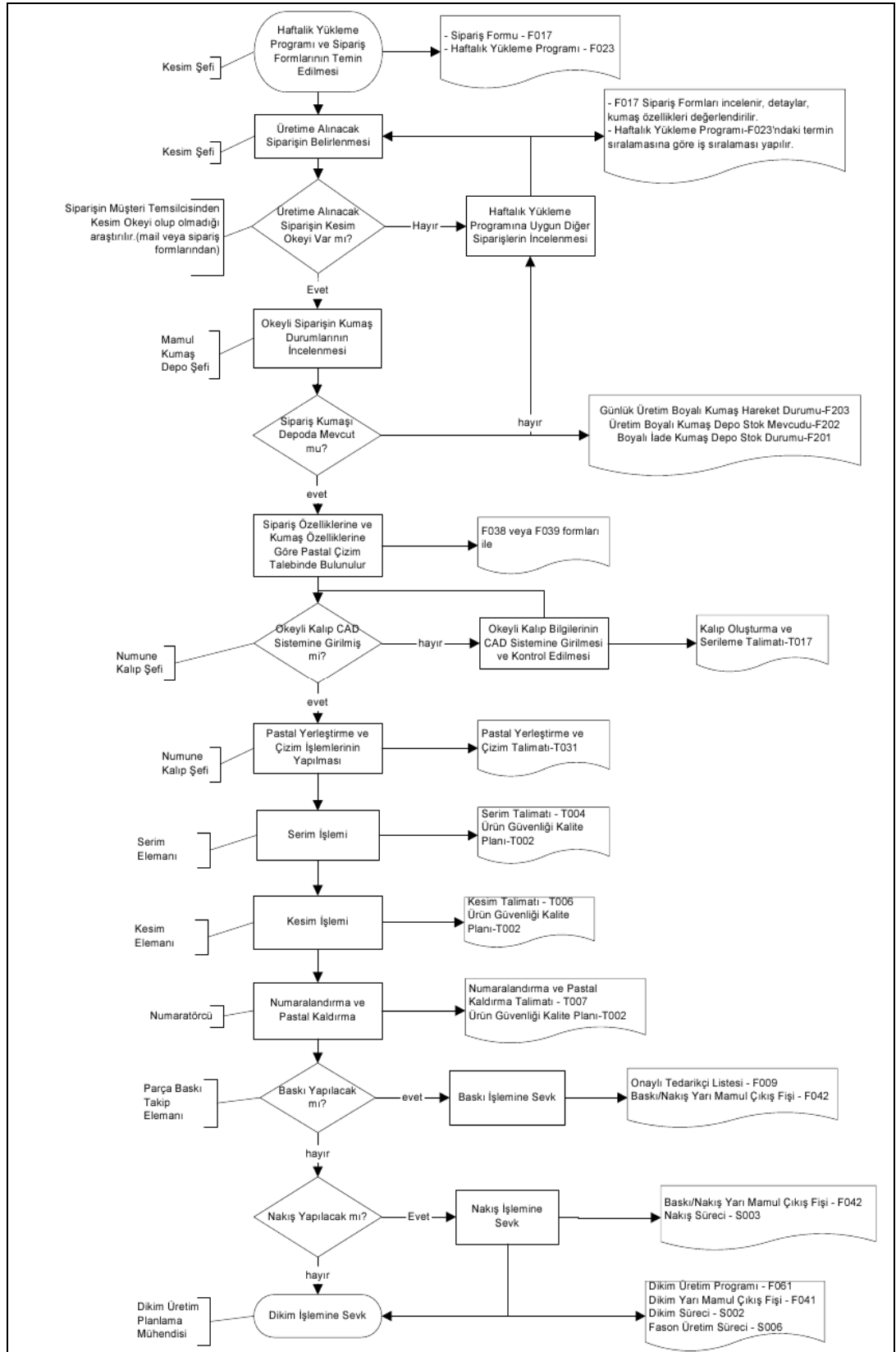
Ek 1b: Konfeksiyon üretim organizasyon şeması



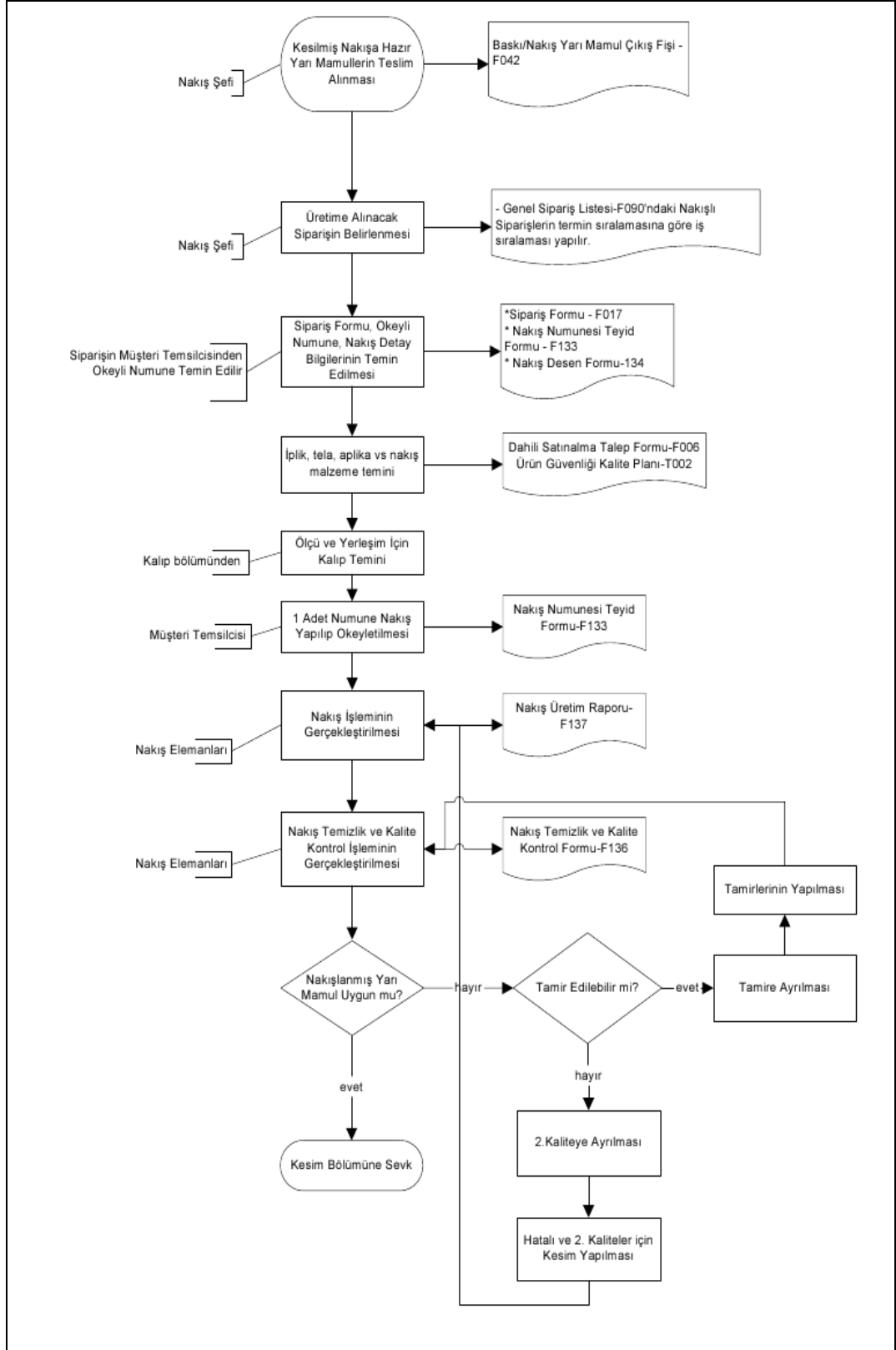
Ek 2: İşletme yerleşim plânı



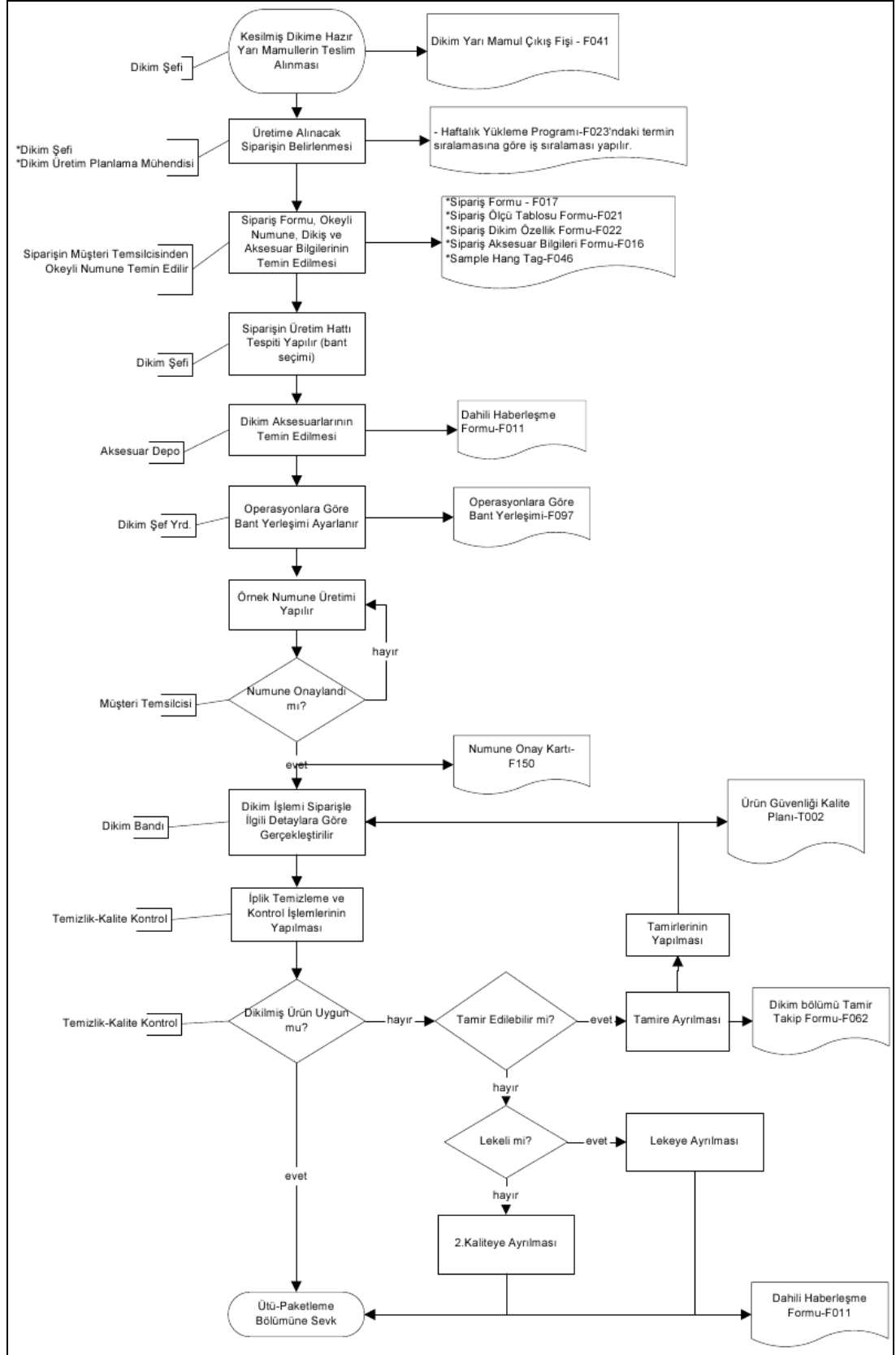
Ek 3: Kesim süreci



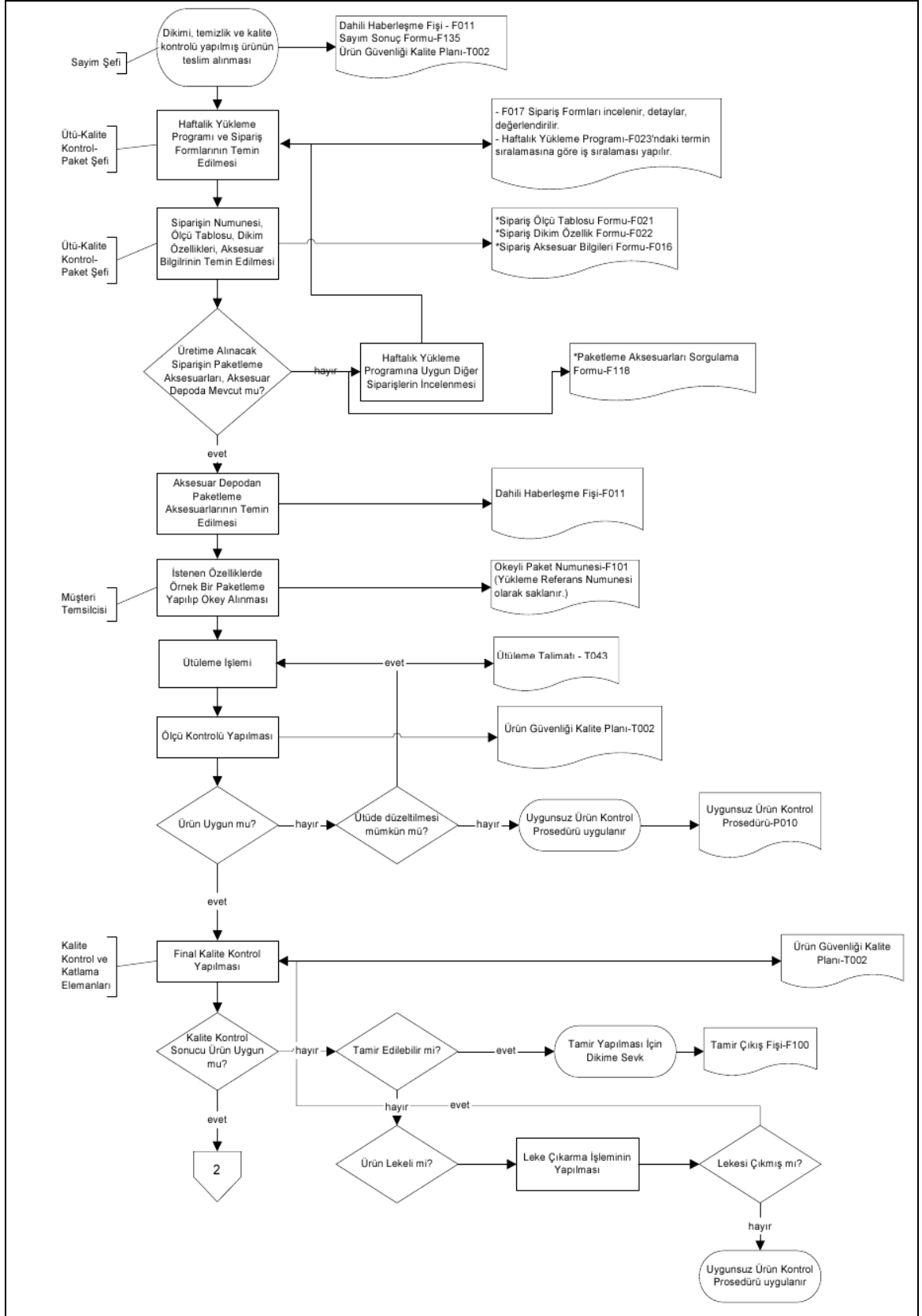
Ek 4: Nakış süreci



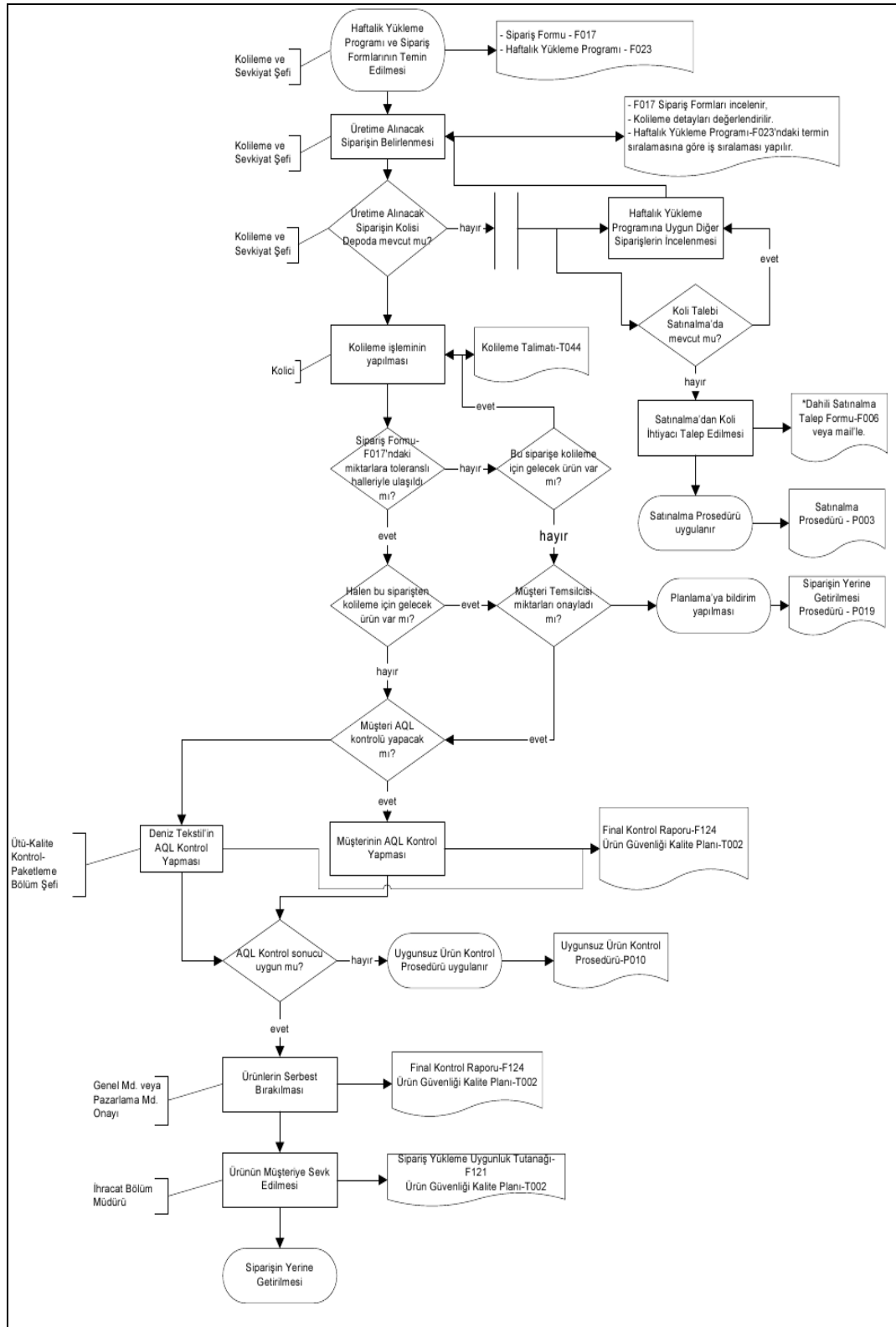
Ek 5: Dikim süreci



Ek 6: Ütü - kalite kontrol - paketleme süreci



Ek 7: Kolileme ve sevkiyat süreci



Ek 8: Taleplere ilişkin en kötümser ($D_{nt,0,5}^p$), en olası ($D_{nt,0,5}^m$) ve en iyimser ($D_{nt,0,5}^o$) değerler ile bu değerlerin ağırlıklı ortalamaları

İÇ GİYİM				
<i>Aylar</i>	$D_{1t,0,5}^p$	$D_{1t,0,5}^m$	$D_{1t,0,5}^o$	<i>Ağırlıklı Ortalama</i>
Ocak	308.778	312.788	324.819	314.125
Şubat	535.920	542.880	563.760	545.200
Mart	545.519	552.604	573.858	554.965
Nisan	574.329	581.788	604.165	584.274
Mayıs	768.440	778.420	808.359	781.746
Haziran	381.158	386.108	400.958	387.758
Temmuz	612.711	620.669	644.540	623.321
Ağustos	256.860	260.196	270.203	261.307
Eylül	300.401	304.303	316.006	305.603
Ekim	495.182	501.613	520.905	503.756
Kasım	505.085	511.644	531.323	513.831
Aralık	298.118	301.990	313.604	303.280

DIŞ GİYİM				
<i>Aylar</i>	$D_{2t,0,5}^p$	$D_{2t,0,5}^m$	$D_{2t,0,5}^o$	<i>Ağırlıklı Ortalama</i>
Ocak	1.030.692	1.069.833	1.082.879	1.065.484
Şubat	806.258	836.875	847.081	833.473
Mart	1.388.813	1.441.552	1.459.132	1.435.692
Nisan	859.299	891.931	902.808	888.305
Mayıs	1.148.093	1.191.691	1.206.224	1.186.847
Haziran	730.565	758.309	767.556	755.226
Temmuz	790.401	820.416	830.421	817.081
Ağustos	1.403.989	1.457.305	1.475.077	1.451.381
Eylül	1.405.045	1.458.402	1.476.187	1.452.473
Ekim	1.445.326	1.500.212	1.518.507	1.494.113
Kasım	1.546.730	1.605.466	1.625.045	1.598.940
Aralık	677.290	703.010	711.583	700.152

Ek 9: Tüm bulanık amaçlara ilişkin memnuniyet düzeyi ve karar değişkenlerinin aldığı değerler

Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri
1 Q11	0	61 Q21	433.125	121 H1	1.548
2 O11	0	62 O21	99.386,99	122 F1	0
3 S11	229.125	63 S21	324.972	123 H2	0
4 I11	120.000	64 I21	175.000	124 F2	0
5 B11	80.000	65 B21	200.000	125 H3	413,2516
6 Q12	580.165	66 Q22	179.302,8	126 F3	0
7 O12	0	67 O22	97.936,58	127 H4	1.548
8 S12	300.000	68 S22	756.233,6	128 F4	0
9 I12	374.965	69 I22	175.000	129 H5	1.548
10 B12	0	70 B22	0	130 F5	0
11 Q13	0	71 Q23	433.125	131 H6	1.548
12 O13	0	72 O23	101.040	132 F6	0
13 S13	300.000	73 S23	901.527	133 H7	1.548
14 I13	120.000	74 I23	175.000	134 F7	0
15 B13	0	75 B23	0	135 H8	1.548
16 Q14	204.274	76 Q24	343.755,1	136 F8	0
17 O14	0	77 O24	106.721,3	137 H9	1.548
18 S14	300.000	78 S24	437.828,6	138 F9	0
19 I14	120.000	79 I24	175.000	139 H10	0
20 B14	80.000	80 B24	0	140 F10	427,8109
21 Q15	561.746	81 Q25	187.361,1	141 H11	0
22 O15	0	82 O25	112.019,6	142 F11	0
23 S15	300.000	83 S25	687.466,3	143 H12	0
24 I15	120.000	84 I25	175.000	144 F12	0
25 B15	0	85 B25	200.000	145 Z11	91.194.230
26 Q16	87.758	86 Q26	394.730,9	146 Z12	4.911.257
27 O16	0	87 O26	119.396,6	147 Z13	2.493.703
28 S16	300.000	88 S26	441.098,5	148 Z21	3.171.705
29 I16	120.000	89 I26	175.000	149 Z22	715.378
30 B16	0	90 B26	0	150 Z23	373.810,5
31 Q17	505.470,1	91 Q27	211.981,8	151 Z31	27.301,02
32 O17	0	92 O27	124.544,3	152 Z32	2.328,706
33 S17	37.850,89	93 S27	530.679,3	153 Z33	940,2806
34 I17	120.000	94 I27	225.124,4	154 λ	0,4862
35 B17	80.000	95 B27	0		
36 Q18	0	96 Q28	433.125		
37 O18	300.000	97 O28	0		
38 S18	0	98 S28	980.000		
39 I18	158.693	99 I28	238.467,6		
40 B18	80.000	100 B28	51.599,21		
41 Q19	684.376,9	101 Q29	133.710,1		
42 O19	120,0815	102 O29	131.197,5		
43 S19	0	103 S29	980.000		
44 I19	457.587	104 I29	175.000		
45 B19	0	105 B29	195.697		
46 Q110	0	106 Q210	433.125		

47	O110	0	107	O210	131.250
48	S110	300.000	108	S210	980.000
49	I110	333.831	109	I210	175.000
50	B110	80.000	110	B210	145.435
51	Q111	0	111	Q211	433.125
52	O111	0	112	O211	131.250
53	S111	300.000	113	S211	980.000
54	I111	120.000	114	I211	175.000
55	B111	80.000	115	B211	200.000
56	Q112	98.280	116	Q212	390.127,5
57	O112	0	117	O212	131.004,3
58	S112	300.000	118	S212	427.020,2
59	I112	135.000	119	I212	419.000
60	B112	0	120	B212	196.000

Ek 10: Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler

Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri
1 Q11	9.125	61 Q21	429.132,8	121 H1	0
2 O11	0	62 O21	93.172,18	122 F1	0
3 S11	300.000	63 S21	535.179	123 H2	0
4 I11	120.000	64 I21	175.000	124 F2	0
5 B11	0	65 B21	0	125 H3	0
6 Q12	165.200	66 Q22	330.311,9	126 F3	0
7 O12	0	67 O22	123.320,1	127 H4	382,8616
8 S12	300.000	68 S22	221.397,6	128 F4	0
9 I12	120.000	69 I22	216.556,6	129 H5	1.548
10 B12	80.000	70 B22	200.000	130 F5	0
11 Q13	254.965	71 Q23	321.577,8	131 H6	1.548
12 O13	0	72 O23	92.557,58	132 F6	0
13 S13	300.000	73 S23	980.000	133 H7	1.548
14 I13	120.000	74 I23	175.000	134 F7	0
15 B13	80.000	75 B23	200.000	135 H8	1.548
16 Q14	0	76 Q24	402.770,9	136 F8	0
17 O14	284.274	77 O24	0	137 H9	1.548
18 S14	300.000	78 S24	685.534,1	138 F9	0
19 I14	120.000	79 I24	175.000	139 H10	1.548
20 B14	80.000	80 B24	0	140 F10	0
21 Q15	561.746	81 Q25	155.625,2	141 H11	1.548
22 O15	0	82 O25	131.250	142 F11	0
23 S15	300.000	83 S25	899.971,8	143 H12	1.548
24 I15	120.000	84 I25	175.000	144 F12	0
25 B15	0	85 B25	0	145 Z11	91.161.660
26 Q16	87.758	86 Q26	370.371,9	146 Z12	4.912.013
27 O16	0	87 O26	131.250	147 Z13	2.491.952
28 S16	300.000	88 S26	253.604,1	148 Z21	3.171.211
29 I16	120.000	89 I26	175.000	149 Z22	715.493,1
30 B16	0	90 B26	0	150 Z23	372.396,3
31 Q17	623.321	91 Q27	140.916,2	151 Z31	28.353,97
32 O17	0	92 O27	131.250	152 Z32	2.529,172
33 S17	0	93 S27	544.914,8	153 Z33	931,6779
34 I17	120.000	94 I27	175.000	154 μ_1	0,5202
35 B17	0	95 B27	0	155 μ_2	0,5151
36 Q18	0	96 Q28	421.369,4	156 μ_3	0,6287
37 O18	0	97 O28	131.250		
38 S18	261.307	98 S28	911.451,7		
39 I18	120.000	99 I28	290.594,3		
40 B18	0	100 B28	102.904,1		
41 Q19	4.446,2	101 Q29	375.211,9		
42 O19	1.156,8	102 O29	130.743,9		
43 S19	300.000	103 S29	980.000		
44 I19	120.000	104 I29	421.173		
45 B19	0	105 B29	200.000		

46	Q110	337.587	106	Q210	234.824,9
47	O110	0	107	O210	131.250
48	S110	300.000	108	S210	980.000
49	I110	253.831	109	I210	273.134,8
50	B110	0	110	B210	200.000
51	Q111	0	111	Q211	389.555,2
52	O111	0	112	O211	131.250
53	S111	300.000	113	S211	980.000
54	I111	120.000	114	I211	175.000
55	B111	80.000	115	B211	200.000
56	Q112	98.280	116	Q212	352.503,9
57	O112	0	117	O212	131.250
58	S112	300.000	118	S212	464.398,1
59	I112	135.000	119	I212	419.000
60	B112	0	120	B212	196.000

Ek 11: Öncelik ilişkisini dikkate alarak her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler

	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri		Karar Değişkeni	Çözüm Değeri		Karar Değişkeni	Çözüm Değeri
1	Q11	9.125	61	Q21	429.132,8	121	H1	0
2	O11	0	62	O21	90.076,18	122	F1	774
3	S11	300.000	63	S21	538.275	123	H2	0
4	I11	120.000	64	I21	175.000	124	F2	57,2147
5	B11	0	65	B21	0	125	H3	0
6	Q12	165.200	66	Q22	319.057,1	126	F3	0
7	O12	0	67	O22	131.250	127	H4	0
8	S12	300.000	68	S22	228.047,3	128	F4	0
9	I12	120.000	69	I22	219.881,5	129	H5	0
10	B12	80.000	70	B22	200.000	130	F5	0
11	Q13	254.965	71	Q23	300.854,5	131	H6	0
12	O13	0	72	O23	109.956	132	F6	0
13	S13	300.000	73	S23	980.000	133	H7	1.548
14	I13	120.000	74	I23	175.000	134	F7	0
15	B13	80.000	75	B23	200.000	135	H8	1.548
16	Q14	0	76	Q24	397.914,6	136	F8	0
17	O14	284.274	77	O24	0	137	H9	1.548
18	S14	300.000	78	S24	690.390,4	138	F9	0
19	I14	120.000	79	I24	175.000	139	H10	1.548
20	B14	80.000	80	B24	0	140	F10	0
21	Q15	561.746	81	Q25	144.576,9	141	H11	1.548
22	O15	0	82	O25	131.250	142	F11	0
23	S15	300.000	83	S25	911.020,1	143	H12	1.548
24	I15	120.000	84	I25	175.000	144	F12	0
25	B15	0	85	B25	0	145	Z11	91.160.620
26	Q16	87.758	86	Q26	353.131,6	146	Z12	4.912.258
27	O16	0	87	O26	131.250	147	Z13	2.491.824
28	S16	300.000	88	S26	270.844,4	148	Z21	3.169.189
29	I16	120.000	89	I26	175.000	149	Z22	715.964,6
30	B16	0	90	B26	0	150	Z23	372.313,7
31	Q17	623.321	91	Q27	123.675,9	151	Z31	25.682,9
32	O17	0	92	O27	131.250	152	Z32	2.092,704
33	S17	0	93	S27	562.155,1	153	Z33	923,9636
34	I17	120.000	94	I27	175.000	154	μ_1	0,5204
35	B17	0	95	B27	0	155	μ_2	0,5156
36	Q18	0	96	Q28	404.129,1	156	μ_3	0,5202
37	O18	0	97	O28	131.250			
38	S18	261.307	98	S28	874.899,4			
39	I18	120.000	99	I28	239.222,7			
40	B18	0	100	B28	105.325,1			
41	Q19	5.253,62	101	Q29	392.789,6			
42	O19	349,3828	102	O29	131.097,1			
43	S19	300.000	103	S29	980.000			
44	I19	120.000	104	I29	385.311,3			
45	B19	0	105	B29	200.000			

46	Q110	337.587	106	Q210	252.755,8
47	O110	0	107	O210	131.250
48	S110	300.000	108	S210	980.000
49	I110	253.831	109	I210	255.204
50	B110	0	110	B210	200.000
51	Q111	0	111	Q211	407.486
52	O111	0	112	O211	131.250
53	S111	300.000	113	S211	980.000
54	I111	120.000	114	I211	175.000
55	B111	80.000	115	B211	200.000
56	Q112	98.280	116	Q212	370.434,8
57	O112	0	117	O212	131.250
58	S112	300.000	118	S212	446.467,2
59	I112	135.000	119	I212	419.000
60	B112	0	120	B212	196.000

Ek 12: Tüm bulanık amaçlara ilişkin memnuniyet düzeyi ve karar değişkenlerinin aldığı değerler

	Karar	Çözüm		Karar	Çözüm		Karar	Çözüm
	Değişkeni	Değeri		Değişkeni	Değeri		Değişkeni	Değeri
1	Q11	9.125	61	Q21	391.055	121	H1	0
2	O11	0	62	O21	131.250	122	F1	0
3	S11	300.000	63	S21	535.1790	123	H2	1.548
4	I11	120.000	64	I21	175.000	124	F2	0
5	B11	0	65	B21	0	125	H3	225,7531
6	Q12	500.165	66	Q22	181.189,4	126	F3	0
7	O12	0	67	O22	131.250	127	H4	1.548
8	S12	300.000	68	S22	521.033,6	128	F4	0
9	I12	374.965	69	I22	175.000	129	H5	1.548
10	B12	0	70	B22	0	130	F5	0
11	Q13	0	71	Q23	433.125	131	H6	1.548
12	O13	0	72	O23	100.290	132	F6	0
13	S13	300.000	73	S23	902.277	133	H7	1.548
14	I13	120.000	74	I23	175.000	134	F7	0
15	B13	0	75	B23	0	135	H8	1.548
16	Q14	284.274	76	Q24	283.276,4	136	F8	0
17	O14	0	77	O24	131.250	137	H9	286,103
18	S14	300.000	78	S24	473.778,5	138	F9	0
19	I14	120.000	79	I24	175.000	139	H10	0
20	B14	0	80	B24	0	140	F10	0
21	Q15	181.746	81	Q25	333.830,8	141	H11	0
22	O15	300.000	82	O25	0	142	F11	0
23	S15	300.000	83	S25	853.016,3	143	H12	0
24	I15	120.000	84	I25	175.000	144	F12	0
25	B15	0	85	B25	0	145	Z11	90.647.560
26	Q16	111.079	86	Q26	371.116,3	146	Z12	4.782.764
27	O16	300.000	87	O26	0	147	Z13	2.431.381
28	S16	300.000	88	S26	384.109,8	148	Z21	2.569.512
29	I16	443.321	89	I26	175.000	149	Z22	573.838,4
30	B16	0	90	B26	0	150	Z23	301.628,5
31	Q17	0	91	Q27	433.125	151	Z31	21.443,29
32	O17	0	92	O27	125.058	152	Z32	1.912,795
33	S17	300.000	93	S27	62.054,78	153	Z33	704,6462
34	I17	120.000	94	I27	175.000	154	λ	0,7586
35	B17	0	95	B27	196.843,2			
36	Q18	0	96	Q28	433.125			
37	O18	0	97	O28	131.250			
38	S18	186.883,7	98	S28	980.000			
39	I18	120.000	99	I28	175.000			
40	B18	74.423,27	100	B28	103.849,2			
41	Q19	0	101	Q29	433.124,9			
42	O19	26,2721	102	O29	131.238,5			
43	S19	300.000	103	S29	980.000			
44	I19	120.000	104	I29	363.041,3			
45	B19	80.000	105	B29	200.000			
46	Q110	417.587	106	Q210	249.386,7			

47	O110	0	107	O210	131.250
48	S110	300.000	108	S210	980.000
49	I110	253.831	109	I210	229.565
50	B110	0	110	B210	200.000
51	Q111	0	111	Q211	433.125
52	O111	0	112	O211	131.250
53	S111	300.000	113	S211	980.000
54	I111	120.000	114	I211	175.000
55	B111	80.000	115	B211	200.000
56	Q112	98.280	116	Q212	389.881,8
57	O112	0	117	O212	131.250
58	S112	300.000	118	S212	427.020,2
59	I112	135.000	119	I212	353.494,6
60	B112	0	120	B212	130.494,6

Ek 13: Her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler

Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri
1 Q11	430.791,6	61 Q21	244.653,7	121 H1	0
2 O11	0	62 O21	92.118,01	122 F1	0
3 S11	300.000	63 S21	720.712,3	123 H2	0
4 I11	541.666,6	64 I21	175.000	124 F2	0
5 B11	0	65 B21	0	125 H3	0
6 Q12	0	66 Q22	395.070	126 F3	0
7 O12	0	67 O22	131.250	127 H4	0
8 S12	300.000	68 S22	271.064,1	128 F4	0
9 I12	296.466,7	69 I22	175.000	129 H5	0
10 B12	0	70 B22	36.088,9	130 F5	0
11 Q13	0	71 Q23	394.873,8	131 H6	319,3396
12 O13	78.498,3	72 O23	96.907,17	132 F6	0
13 S13	300.000	73 S23	980.000	133 H7	1.548
14 I13	120.000	74 I23	175.000	134 F7	0
15 B13	0	75 B23	0	135 H8	1.548
16 Q14	0	76 Q24	394.359,3	136 F8	0
17 O14	284.274	77 O24	6.880,13	137 H9	1.548
18 S14	300.000	78 S24	487.065,6	138 F9	0
19 I14	120.000	79 I24	175.000	139 H10	1.548
20 B14	0	80 B24	0	140 F10	0
21 Q15	401.746	81 Q25	257.361,1	141 H11	1.548
22 O15	0	82 O25	92.190,63	142 F11	0
23 S15	300.000	83 S25	837.295,3	143 H12	1.547,94
24 I15	120.000	84 I25	175.000	144 F12	0
25 B15	80.000	85 B25	0	145 Z11	91.016.790
26 Q16	411.079	86 Q26	253.278,7	146 Z12	4.869.186
27 O16	0	87 O26	93.443,91	147 Z13	2.477.478
28 S16	300.000	88 S26	408.503,4	148 Z21	3.007.304
29 I16	363.321	89 I26	175.000	149 Z22	670.829,1
30 B16	0	90 B26	0	150 Z23	352.780,6
31 Q17	0	91 Q27	402.539,3	151 Z31	21.444,77
32 O17	0	92 O27	131.250	152 Z32	1.912,832
33 S17	300.000	93 S27	255.797,1	153 Z33	704,6017
34 I17	120.000	94 I27	347.505,4	154 μ_1	0,7617
35 B17	80.000	95 B27	200.000	155 μ_2	0,8986
36 Q18	45.964,96	96 Q28	413.015,3	156 μ_3	0,7652
37 O18	0	97 O28	106.741,6		
38 S18	300.000	98 S28	980.000		
39 I18	124.658	99 I28	395.881		
40 B18	0	100 B28	200.000		
41 Q19	0	101 Q29	433.125		
42 O19	945,0384	102 O29	71.466,87		
43 S19	300.000	103 S29	980.000		
44 I19	120.000	104 I29	428.000		
45 B19	0	105 B29	200.000		

46	Q110	123.756	106	Q210	325.497,1
47	O110	0	107	O210	131.250
48	S110	300.000	108	S210	980.000
49	I110	120.000	109	I210	370.633,9
50	B110	80.000	110	B210	200.000
51	Q111	0	111	Q211	423.306,1
52	O111	213.831	112	O211	0
53	S111	300.000	113	S211	980.000
54	I111	120.000	114	I211	175.000
55	B111	80.000	115	B211	200.000
56	Q112	0	116	Q212	392.087,7
57	O112	98.280	117	O212	88.252,5
58	S112	300.000	118	S212	467.811,8
59	I112	135.000	119	I212	365.482,7
60	B112	0	120	B212	142.482,7

Ek 14: Öncelik ilişkisini dikkate alarak her bir bulanık amaca ilişkin memnuniyet düzeyleri ve karar değişkenlerinin aldığı değerler

Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri	Karar Değişkeni	Çözüm Değeri
1 Q11	0	61 Q21	433.125	121 H1	0
2 O11	9.125	62 O21	89.179,99	122 F1	0
3 S11	300.000	63 S21	535.179	123 H2	0
4 I11	120.000	64 I21	175.000	124 F2	0
5 B11	0	65 B21	0	125 H3	0
6 Q12	245.200	66 Q22	287.182	126 F3	0
7 O12	0	67 O22	131.250	127 H4	0
8 S12	300.000	68 S22	380.518,9	128 F4	0
9 I12	120.000	69 I22	175.000	129 H5	0
10 B12	0	70 B22	34.521,9	130 F5	0
11 Q13	536.604,4	71 Q23	158.964,1	131 H6	331,8795
12 O13	0	72 O23	131.250	132 F6	0
13 S13	300.000	73 S23	980.000	133 H7	1.539,82
14 I13	401.639,3	74 I23	175.000	134 F7	0
15 B13	0	75 B23	200.000	135 H8	1.548
16 Q14	0	76 Q24	395.070	136 F8	0
17 O14	0	77 O24	131.250	137 H9	1.548
18 S14	300.000	78 S24	561.984,9	138 F9	0
19 I14	120.000	79 I24	175.000	139 H10	1.548
20 B14	2.634,65	80 B24	0	140 F10	0
21 Q15	484.380,7	81 Q25	210.287,8	141 H11	1.548
22 O15	0	82 O25	102.904,7	142 F11	0
23 S15	300.000	83 S25	873.654,5	143 H12	1.548
24 I15	120.000	84 I25	175.000	144 F12	0
25 B15	0	85 B25	0	145 Z11	90.588.980
26 Q16	411.079	86 Q26	253.278	146 Z12	4.764.335
27 O16	0	87 O26	93.494,81	147 Z13	2.419.235
28 S16	300.000	88 S26	408.453,3	148 Z21	2.587.938
29 I16	443.321	89 I26	175.000	149 Z22	573.849,6
30 B16	0	90 B26	0	150 Z23	302.356,6
31 Q17	0	91 Q27	402.574,9	151 Z31	21.444,78
32 O17	0	92 O27	131.250	152 Z32	1.912,832
33 S17	300.000	93 S27	369.654,3	153 Z33	704,6011
34 I17	120.000	94 I27	261.330,3	154 μ_1	0,7972
35 B17	0	95 B27	0	155 μ_2	0,7651
36 Q18	0	96 Q28	433.125	156 μ_3	0,7651
37 O18	0	97 O28	106.856,3		
38 S18	261.307	98 S28	980.000		
39 I18	120.000	99 I28	428.000		
40 B18	0	100 B28	98.069,34		
41 Q19	304.658	101 Q29	299.837,1		
42 O19	945,0279	102 O29	70.705,2		
43 S19	0	103 S29	980.000		
44 I19	120.000	104 I29	428.000		
45 B19	0	105 B29	200.000		

46	Q110	203.756	106	Q210	290.297
47	O110	0	107	O210	131.250
48	S110	300.000	108	S210	980.000
49	I110	120.000	109	I210	335.434
50	B110	0	110	B210	200.000
51	Q111	0	111	Q211	433.125
52	O111	133.831	112	O211	25.381
53	S111	300.000	113	S211	980.000
54	I111	120.000	114	I211	175.000
55	B111	80.000	115	B211	200.000
56	Q112	0	116	Q212	392.087,9
57	O112	98.280	117	O212	88.252,50
58	S112	300.000	118	S212	467.811,5
59	I112	135.000	119	I212	419.000
60	B112	0	120	B212	196.000

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ayşegül Tuş Işık
Doğum Yeri ve Tarihi : Almanya / 08.08.1980

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Hacettepe Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Pamukkale Üniversitesi, SBE, İşletme ABD
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler :
Çalıştığı Kurumlar : Pamukkale Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü

İletişim

e-posta Adresi : aysegultus@gmail.com

Tarih : 07.01.2011