

**TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BULANIK HEDEF
PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI**

Anıl HASDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2013

ANKARA

Anıl HASDEMİR tarafından hazırlanan “TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İzzettin TEMİZ

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Serpil EROL

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İzzettin TEMİZ

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. İhsan ALP

.....

İstatistik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 17/07/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Anıl HASDEMİR

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Anıl HASDEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2013

ÖZET

Küresel pazarlardaki zorlaşan rekabet koşulları, artan müşteri beklentileri ve teknolojiadaki gelişmeler sonucu tedarik zinciri yönetimi gittikçe önemi artan konulardan biri olmuştur. Tüm bu gelişmeler, işletmeleri tedarik zinciri boyunca maliyetlerini azaltmaya ve müşteri memnuniyetine daha fazla önem vermeye zorlamıştır. Maliyetlerin azaltılması, üretim ve dağıtım işlevlerinin birbiriyle sıkı sıkıya ilişkili olması gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada tedarik zinciri bütünsel bir yapıda değerlendirilmiş ve çok hedefli üretim-dağıtım modeli geliştirilmiştir. Tedarik zinciri, gerek bütünsel yapısı gerekse içinde barındırdığı insan faktörü nedeniyle tesadüfî olaylar, verilen kararlardaki öznel istek düzeyleri, veri eksikliği, mevcut verilerin kesin olmamasından dolayı belirsizlik içermektedir. Belirsizlik, bulanık küme teorisi kullanılarak geliştirilen modele dâhil edilmiştir. Doğrusal üçgensel üyelik fonksiyonları ve doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonları kullanılarak çözümler elde edilmiştir. Her iki üyelik fonksiyonu ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonu için daha yüksek üyelik derecesine sahip sonuçlar elde edilmiştir. Gerçek hayat problemlerinin doğrusal olmaması nedeniyle elde edilen sonuçların gerçeği daha iyi yansıttığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 906.1.141
**Anahtar Kelimeler : Tedarik zinciri, üyelik fonksiyonu, bulanık hedef
programlama**
Sayfa Adedi : 81
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. İzzettin TEMİZ

**FUZZY GOAL PROGRAMMING APPROACH TO SUPPLY CHAIN
MANAGEMENT**

(M. Sc. Thesis)

Anıl HASDEMİR

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
July 2013**

ABSTRACT

As a result of difficult competitive conditions in global markets, increasing customer expectations and advances in technology, supply chain management has been one of ever increasing importance issues. All of these developments forced to businesses to reduce costs throughout the supply chain and to give more importance to customer satisfaction. When the costs are decreasing, production and distribution functions need to be brought to each other closely related. In this study, supply chain evaluated as integrated structure and multiobjective production-distribution model was developed for problem. Due to both the integrated structure and the human factor inhold of supply chain include uncertainty by reason of random events, the subjective decisions of the levels of desire, lack of data, undefinitive of the current data. Uncertainty was included in the model has been developed using fuzzy set theory. The solutions have obtained by using linear triangular membership functions and non-linear hyperbolic membership functions. When the results with the two membership functions compared, we obtained higher degree of membership for the non-linear hyperbolic membership function. It was observed that the results obtained were more reflective due to the nonlinearity of real-life problems.

Science Code : 906.1.141
Key Words : Supply chain, membership function, fuzzy goal programming
Page Number : 81
Supervisor : Assist. Prof. Dr. İzzettin TEMİZ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında benden yardım ve katkılarını esirgemeyen, beni yönlendiren değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. İzzettin TEMİZ' e ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme en içten teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ.....	3
2.1. Tedarik Zinciri Çeşitleri	4
2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi	8
2.2.1. Tedarik zinciri yönetimi süreçleri	10
2.2.2. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları.....	11
2.2.3. Tedarik zinciri yönetiminin avantajları	12
2.2.4. Tedarik zinciri yönetiminin dezavantajları	12
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	14
3.1. Bulanık Hedef Programlama İle İlgili Çalışmalar.....	15
3.2. Tedarik Zincirinde Üretim-Dağıtım Problemleri İçin Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımı İle İlgili Çalışmalar.....	17
3.3. Tedarik Zincirinde Üretim-Dağıtım Problemleri İçin Bulanık Matematiksel Programlama Yaklaşımı İle İlgili Çalışmalar.....	18
4. BULANIK MANTIK VE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA.....	22
4.1. Bulanık Mantığın Gelişimi	22

Sayfa

4.1.1. Bulanık mantığın avantajları ve dezavantajları.....	22
4.1.2. Bulanıklık teorisinin uygulama alanları	23
4.2. Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar.....	24
4.2.1. Bulanık kümeler	24
4.2.2. Bulanık sayılar	41
4.2.3. Bulanık sayılarda α -kesim yöntemi ve aritmetik işlemler	44
4.3. Hedef Programlama.....	46
4.3.1. Hedef programlama tanımı	46
4.3.2. Hedef programlamanın temel kavramları	47
4.3.3. Hedef programlama modeli.....	49
4.3.4. Hedef programlama ve doğrusal programlama karşılaştırılması	50
4.3.5. Hedef programlama çeşitleri	51
4.3.6. Hedef programlama çözüm yöntemleri.....	52
4.4. Bulanık Hedef Programlama	53
4.4.1. Bulanık hedef programlama modeli.....	55
4.4.2. Bulanık hedef programlama çözüm yöntemleri.....	57
4.4.3. Bulanık hedef programlama ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları	58
4.4.4. Bulanık hedef programlama ve geleneksel hedef programlamanın karşılaştırılması	61
5. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA UYGULAMASI	63
5.1. Varsayımlar	63
5.2. Model Değişkenleri, Parametreler ve Karar Değişkenleri	63
5.3. Kısıtlar	65

Sayfa

5.4. Bulanık Model ve Çözümü	67
5.4.1. Üçgensel doğrusal üyelik fonksiyonları ile çözüm modeli	68
5.4.2. Hiperbolik üyelik fonksiyonları ile çözüm modeli	69
5.4.3. İki modele ait çözüm sonuçları	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Tedarik zinciri yönetiminin gelişim aşamaları	9
Çizelge 4.1. Bulanık mantığın avantajları ve dezavantajları.....	23
Çizelge 4.2. Hedeflerin durumuna göre minimum yapılacak sapmalar.....	49
Çizelge 5.1. Modellerde kullanılan hedef değerleri	67
Çizelge 5.2. Çözüm için geliştirilen modellerin çözüm sonuçları	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Genel tedarik zinciri yapısı	4
Şekil 2.2. Temel tedarik zinciri	7
Şekil 2.3. Genişletilmiş tedarik zinciri	7
Şekil 2.4. Nihai tedarik zinciri	7
Şekil 2.5. Tedarik zinciri yönetimi	8
Şekil 2.6. Tedarik zinciri yönetiminin entegrasyon gelişimi	10
Şekil 2.7. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları	11
Şekil 4.1. Bulanıklık teorisinin uygulama alanları	24
Şekil 4.2. Üçgensel bulanık sayı x : (3, 4, 5)	26
Şekil 4.3. Üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonu şekilleri	29
Şekil 4.4. Gauss üyelik fonksiyonu	30
Şekil 4.5. II biçiminde üyelik fonksiyonu	30
Şekil 4.6. Cauchy üyelik fonksiyonu	31
Şekil 4.7. Üssel üyelik fonksiyonu	31
Şekil 4.8. Sigmoid üyelik fonksiyonu	32
Şekil 4.9. A ve B bulanık kümelerinin kesişimi	33
Şekil 4.10. A ve B bulanık kümelerinin birleşimi	33
Şekil 4.11. A bulanık kümesinin tümleyeni	34
Şekil 4.12. Değişik bulanık kümeler için merkez noktaları	38
Şekil 4.13. Dış bükey bulanık bir küme	39
Şekil 4.14. Dış bükey olmayan bulanık bir küme	39
Şekil 4.15. $A=(a_1, a_2, a_3)$ üçgensel bulanık sayısı	42

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. $A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ yamuksal bulanık sayısı.....	43
Şekil 4.17. Hedef programlama çeşitleri.....	52
Şekil 4.18. Bulanık hedefler için üçgensel üyelik fonksiyonu.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\tilde{A}$	A bulanık kümesi
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	x'in üyelik fonksiyonu
α	$\alpha \in [0,1]$ koşuluyla tanımlı gerçek bir sayı
b_i	i'nci bulanık hedef için karar vericinin belirlediği erişim değeri
d_i	b_i çevresinde kabul edilebilir maksimum miktarda sapmalar
λ	Bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanı
Kısaltmalar	Açıklama
BHP	Bulanık Hedef Programlama
ÇAKV	Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ÇÖKV	Çok Ölçütlü Karar Verme
GAMS	General Algebraic Modeling System (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi)
HP	Hedef Programlama
JIT	Just In Time (Tam Zamanında Üretim)
TZ	Tedarik Zinciri

1. GİRİŞ

Küresel pazarlardaki zorlaşan rekabet koşulları, artan müşteri beklentileri ve teknolojiadaki gelişmeler sonucu tedarik zinciri yönetimi gittikçe önemi artan konulardan biri olmuştur.

Tedarik zinciri yönetimindeki bu gelişmeler, işletmeleri tedarik zinciri boyunca maliyetlerini azaltmaya ve müşteri memnuniyetine daha fazla önem vermeye zorlamıştır. Maliyetlerin azaltılması, üretim ve dağıtım işlevlerinin birbiriyle sıkı sıkıya ilişkili olması gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla günümüzde maliyetleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini artırmak için tedarik zincirinde yer alan alt sistemlerden satın alma, üretim, dağıtım gibi farklı faaliyetler birbirine sıkı sıkıya bağlı olduklarından tedarik zincirinin bütünleşik bir yapıda optimize edilmesi gerekmektedir.

Tedarik zinciri (TZ), hammaddelerin tedarikini, üretim ve montajı, depolamayı, stok kontrolünü, sipariş yönetimini, dağıtımını, ürünün müşteriye ulaştırılmasını içeren faaliyetler ve tüm bu faaliyetlerin izlenebilmesi için gerekli olan bilgi sistemleri olarak tanımlanabilir [Yüksel, 2002]. Tedarik zincirindeki farklı amaçlara yönelik tüm bu faaliyetlerin birbirinden bağımsız yürütülmesi düşünülemez. Birbiriyle çelişen amaçlar göz önüne alınarak tedarik zinciri planlaması çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Bir tedarik zincirinde farklı ve kimi zaman çelişen amaçlar çok amaçlı modellenerek ele alınır.

Birçok alt sistemin birleşmesinden oluşan TZ, belirsiz bir çevrede faaliyet göstermekte ve gerek bütünleşik yapısı gerekse içinde barındırdığı insan faktörü nedeniyle çok sayıda belirsizliği de içermektedir. Bir tedarik zinciri boyunca, tesadüfî olaylar, verilen kararlardaki öznel istek düzeyleri, veri eksikliği, mevcut verilerin kesin olmaması gibi çeşitli belirsizlik kaynakları söz konusudur. Bu belirsizlik, amaçlara ait hedef değerlerinde, dış tedarikte, tedarik zinciri boyunca sağlanan tedarikte ve müşteri talebinde ortaya çıkabilmektedir.

Bugüne kadar geliştirilen TZ modellerinde bu belirsizlikler çok fazla dikkate alınmamış veya olasılık yaklaşımı kullanılarak yaklaşık çözümler sunulmuştur. Karmaşık gerçek hayat problemlerine daha esnek ve uygun modeller oluşturulabilmesi nedeniyle bulanık küme teorisi, belirsizliklerin ele alınmasında ve tanımlanmasında uygun bir yapı sağlamıştır. Karar vericilerin kesin olmayan hedef değerleri bulanık hedef programlama yaklaşımları kullanılarak modele dahil edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında, çok dönemli, çok aşamalı, tek ürünlü, tek üretim merkezi olan üretim-dağıtım sistemi bulanık hedef programlama yaklaşımı kullanılarak çok amaçlı olarak modellenmiştir. Hedef değerlerindeki belirsizlikler doğrusal üçgensel üyelik fonksiyonu ve doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonları olarak ele alınmıştır. Geliştirilen bulanık hedef programlama modeli gerçek bir üretim dağıtım sistemine uygulanarak her iki üyelik fonksiyonu için çözülmüştür.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde tedarik zinciri ve yönetimi ile ilgili temel kavramlar ele alınmıştır. Konu ile ilgili literatür araştırması üçüncü bölümde verilmiştir. Dördüncü bölümde bulanık küme ve bulanık sayılar anlatılmış, bulanık hedef programlama başlığı altında hedef programlama ve bulanık hedef programlama konularına yer verilmiştir. Beşinci bölümde, geliştirilen modelin uygulama çalışması yapılmıştır. Sonuç ve öneriler altıncı bölümde yer almaktadır.

2. TEDARİK ZİNCİRİ

Tedarik zinciri (TZ), bir ürünün üretilmesi için gerekli olan hammadde ve yarı mamullerin değişik tedarikçilerden sağlanması ile üretim aşamasından sonra depolanması, dağıtım merkezlerine aktarılması, dağıtım merkezlerinden toptancılara gönderilmesi ve son müşteri olan tüketici ile buluşmasının ardından müşterilerin aldıkları ürünün eskimesi, ömrünün sona ermesi ile iadelerinin gerçekleştirilerek tekrar üretime girdi olarak sağlanması süreci olarak tanımlanır [Mercangöz, 2010].

Tedarik zinciri geçmişten bu yana birçok araştırmaya konu olduğu ve devamlı geliştiği için tedarik zinciri hakkında birçok tanım yapılmıştır.

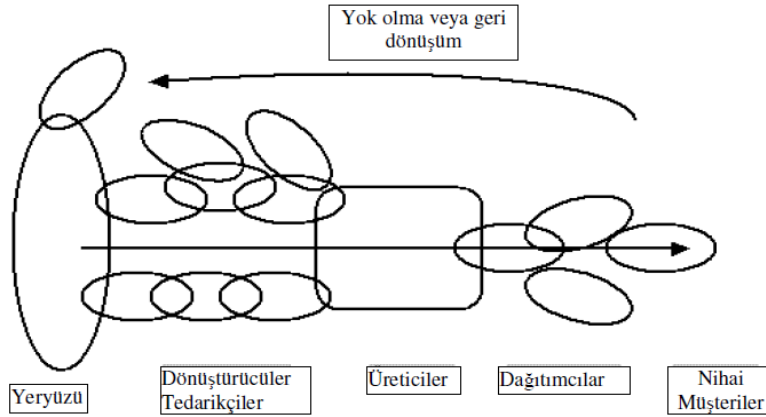
Jayashankar'a göre tedarik zinciri, bir veya daha fazla ürün grubuyla ilgili elde etme, üretim ve dağıtım faaliyetlerinden kolektif bir biçimde sorumlu olan otonom veya yarı otonom iş faaliyetlerinden oluşan bir şebekedir. Lee ve Billington'a göre TZ, hammaddeleri elde eden, bunları yarı ürün ve tamamlanmış ürünlere dönüştüren ve ardından bir dağıtım sistemi vasıtasıyla bu ürünleri müşterilere teslim eden yapılar şebekesidir [Teigen, 2000].

TZ, mal ve hizmetlerin tedarik sürecinden, üretimine ve son tüketiciye ulaşmasına kadar birbirini izleyen tüm faaliyetleri bünyesinde barındırır. Tedarik zincirine iş süreçleri perspektifinden bakıldığında TZ, satış süreci, üretim, envanter yönetimi, malzeme temini, dağıtım, tedarik, satış tahmini ve müşteri hizmetleri gibi pek çok alanı içine alır.

Christopher (2005) genel anlamda tedarik zincirini, bir firmada mamul yaratmanın temel noktası olan hammaddenin alımından başlayıp, ürünün üretilmesi ve dağıtımı sonrası nihai tüketiciye ulaşana kadar geçirdiği tüm evreleri kapsayan uzun ve çok taraflı bir süreç olarak tanımlanmıştır [Christopher, 2005]. Reid ve Sanders (2007) ise tedarik zincirini bitmiş ürün ya da hizmetin müşteriye ulaştırılmasını içeren tüm faaliyetlerin bir ağı olarak ifade etmiştir. Bu faaliyetler hammadde ve parçaların

sağlanmasından, ürünlerin üretilmesi ve montajına, depolanmasına, siparişlerin alınması ve dağıtımının yapılması, kanallardan dağıtılmasını ve müşteriye ulaştırılmasını içermektedir [Reid ve Sanders, 2007].

Hugos (2003)'a göre bir TZ, malzemelerin temini fonksiyonunu yerine getiren, bu malzemeleri ara ve bitmiş ürünlere dönüştüren ve müşterilere bu bitmiş ürünlerin dağıtımını yapan tesislerin ve dağıtım seçeneklerinin bir şebekesidir [Hugos, 2003]. TZ satılacak mal için gerekli satın alma ve elde etme ile başlar. Ardından, satışların desteklenmesi amacıyla envanter yönetimi ve depo yönetimine yönelir. Ürünlerin müşterilere teslimatıyla son bulur. Tedarik zincirinde malzemeler hammadde kaynaklarından, bu hammaddeleri yarı mamullere dönüştüren bir üretim seviyesine geçer. Bu yarı mamuller daha sonra tamamlanmış ürünleri meydana getirmek üzere bir sonraki seviyede birleştirilir. Elde edilen ürünler dağıtım merkezlerine ve buralardan da satıcılar ve müşterilere aktarılır. Tedarik zincirinin genel yapısı aşağıdaki şekilde (Şekil 2.1.) verilmiştir [Cavlak, 2009].



Şekil 2.1. Genel tedarik zinciri yapısı

2.1. Tedarik Zinciri Çeşitleri

Tedarik zinciri çeşitleri literatürde çeşitli sınıflandırmalarla farklı açılardan ele alınmıştır.

Wang ve ark.'nın çalışmasında TZ yalın tedarik zinciri (lean supply chain), çevik tedarik zinciri (agile supply chain) ve melez tedarik zinciri (hybrid supply chain) olarak sınıflandırılmıştır [Wang ve ark., 2004].

Susuz (2005), izlenilen stratejilere göre değişkenlik gösteren tedarik zinciri çeşitlerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

Yalın tedarik zincirinde; talebin sabit olduğu veya çok doğru tahmin edildiği varsayımı yapılarak, zincirin boş olan veya değer katmayan işlerin elimine edilmesi için sürekli iyileştirme felsefesi kullanılır. Yalın tedarik zinciri az miktardaki üretimler için hazırlık süresinin indirgenmesine izin verir. Böylelikle maliyetlerin azaltılması, esnekliğin kazanılması ve müşteri ihtiyaçlarına hızlı cevap verilmesi sağlanır [Susuz, 2005].

Çevik tedarik zinciri; temelde tahmin edilemeyen pazar değişkenlerine yanıt aramaya ve bu değişkenlerden yararlanmaya odaklanmaktadır. Çevrim süresine esneklik kazandırarak daha hızlı teslimatın yapılmasını amaçlar. Çevik tedarik zinciri, yeni teknolojiler ve yöntemler geliştirmekte, bilgi sistemlerinden yararlanmakta, daha çok yönetim konularına ve insana odaklanmakta, tüm iş süreçlerini bütünleştirmekte, yenilikleri arttırmakta ve üretimi müşteri gereksinimlerine yönlendirmektedir [Susuz, 2005].

Melez tedarik zinciri ise yalın ve çevik tedarik zincirlerinin karışımı olup genellikle siparişe göre üretim sistemlerine uygulanmaktadır. Burada ürün talepleri oldukça doğru tahmin edilebilmektedir. Zincir, nihai ürünün montajına kadar ürün farklılaşmasını erteleyerek müşteri gereksinimlerine yanıt verilmesine yardım eder [Susuz, 2005].

Ürün geliştirme ve çevreye duyarlı ürün/hizmet üretme stratejilerinin birleşmesi sonucu yeşil tedarik zinciri yeni bir sınıflandırma olarak literatürde yer almıştır [Büyüközkan ve Vardaloğlu, 2008].

Tedarik zinciri yönetimi kavramına “yeşil” sıfatının eklenmesiyle kapsamı genişletilmiş ve organizasyonun malzeme yönetimi ile lojistik fonksiyonlarından son müşteriye kadar her bir basamağında çevre duyarlılığını içerecek şekilde yapılandırılmıştır [Büyüksaatçi, 2009].

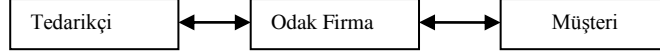
Pistikopoulos ve ark. (2007) ile Fuente ve ark. (2007) tedarik zincirini sistemin çift yönlü gerçekleşen akışındaki farklı odak noktalarına göre, ileri ve tersine tedarik zinciri olarak sınıflandırmışlardır [Pistikopoulos ve ark., 2007, Fuente ve ark., 2007].

İleri tedarik zinciri, hammadde aşamasından başlayıp nihai müşteride son bulan şebeke olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, hammaddenin elde edilmesini, bu hammaddelerin yarı-ürün ve ürün haline dönüştürülmesini ve bu ürünlerin bir dağıtım kanalı ile müşterilere teslimatını içeren kar odaklı bir modeldir [Hopbağlu, 2009].

Tersine tedarik zinciri ise ürünlerin tüketicilerden dönmesi ile başlayıp bir çeşit geri kazanım ile son bulmaktadır. Zincirin ters yöndeki akışındaki amaç, yeniden kullanılabilen ürünlerin tedarik zincirine, tedarik düzeyinde geri katılmasını sağlamaktır. Tersine tedarik zinciri, ömrü tükenmiş ürünlerin elde edilmesi, bu ürünlerin yarı ürün, parça veya hammadde haline getirilmesi ve bunların da yeniden işleme, kullanım, depolama ile tedarik zincirine geri kazanımı etkinliklerini içeren kar ve çevre odaklı bir modeldir. Bu konuda en belirgin örnekler, gıda endüstrisinde şişelerin geri kullanımında görülebilir [Hopbağlu, 2009].

2001 yılında Mentzer tedarik zincirlerini; temel tedarik zinciri, genişletilmiş tedarik zinciri ve nihai tedarik zinciri olarak sınıflandırmıştır. 2006 yılında Saklıyan ise, temel tek evreli tedarik zinciri ve çok evreli tedarik zinciri olarak ele almıştır. Saklıyan’ın ifade etmiş olduğu temel tek evreli tedarik zinciri ve çok evreli tedarik zinciri, Mentzer’in temel tedarik zinciri ve genişletilmiş tedarik zinciri yapıları ile örtüşmektedir [Hopbağlu, 2009].

Temel tedarik zinciri Şekil 2.2.'de olduğu gibi, ürünlerin, hizmetlerin, paranın ve bilginin bir veya daha fazla aşağı ve yukarı yönlü akışları ile birbirine doğrudan bağlı bir şirket, bu şirkete yakın bir tedarikçi ve yakın bir müşteriden oluşur [Hopbaoglu, 2009].



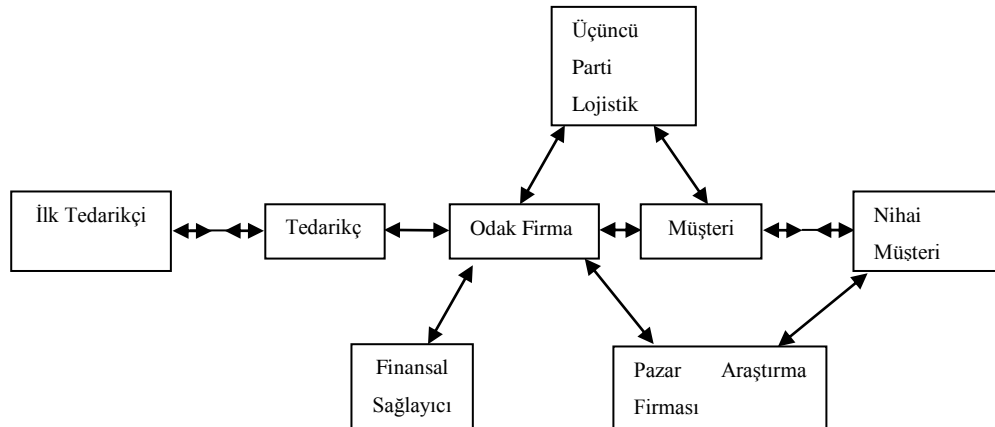
Şekil 2.2. Temel tedarik zinciri

Genişletilmiş tedarik zinciri Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi, ürünlerin, hizmetlerin, paranın ve bilginin bir veya daha fazla aşağı ve yukarı yönlü akışları ile birbirine bağlı yakın tedarikçinin tedarikçilerini ve yakın müşterinin müşterilerini içerir [Hopbaoglu, 2009].



Şekil 2.3. Genişletilmiş tedarik zinciri

Nihai tedarik zinciri ise Şekil 2.4.'teki gibi ilk tedarikçiden nihai müşteriye kadar ürünlerin, hizmetlerin, paranın ve bilginin tüm aşağı ve yukarı yönlü akışlarında yer alan şirketleri içerir [Hopbaoglu, 2009].



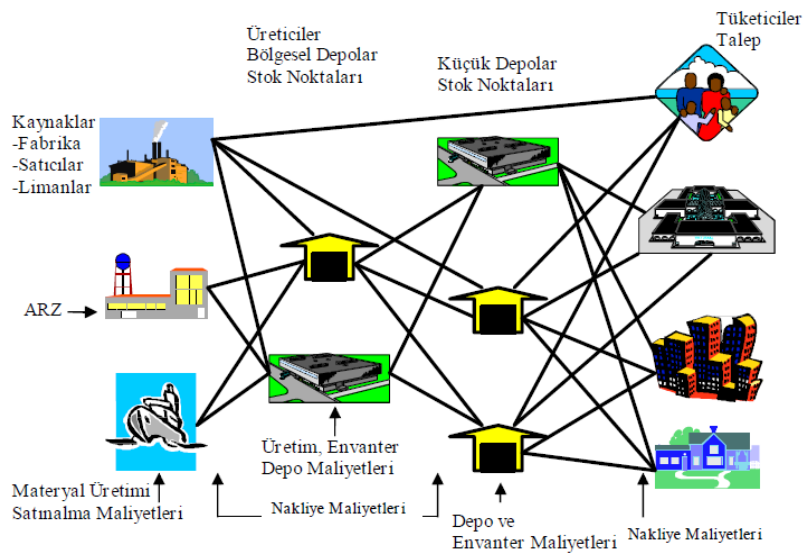
Şekil 2.4. Nihai tedarik zinciri

2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi, uygun stratejilerle müşteri memnuniyetini sağlamak için müşteriye, doğru ürünün, doğru zamanda, doğru miktarda, doğru yerde, doğru fiyata tüm tedarik zinciri için mümkün olan en düşük maliyetle ulaşmasını sağlayan malzeme, bilgi ve para akışının etkileşimli yönetimidir. Diğer bir ifadeyle tedarik zinciri yönetimi, ürünlerin tedarik zincirinde tedarikçilerden üreticilere ve üreticilerden dağıtıcılara hareketlerinin koordine edilmesini ve zincirin tüm üyeleri arasında satış tahminleri, satış tarihleri, promosyon kampanyaları vb. bilgilerin paylaşımını içerir [Yüksel, 2002].

Tedarik zinciri yönetimi, tedarikçiler, nakliyeciler, işletme içi bölümler ve işletmeler arasında bağlantı sağlayarak tedarik zincirindeki tüm faaliyetlerin koordinasyonunu sağlamaktadır [Yüksel, 2002].

Tedarik zinciri yönetiminin genel gösterimi Şekil 2.5.'te verilmiştir [Kadyrova, 2009].



Şekil 2.5. Tedarik zinciri yönetimi

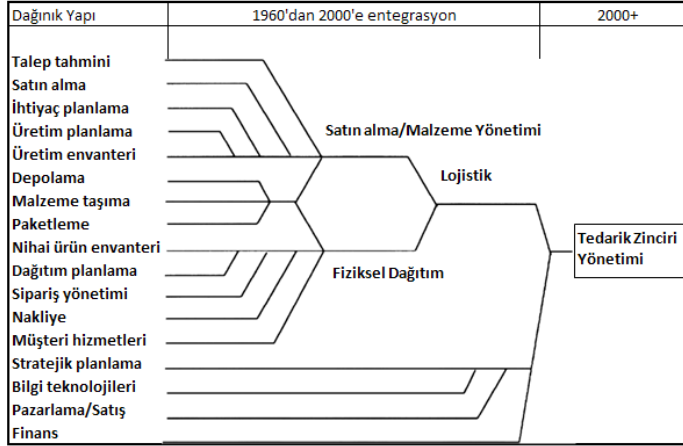
Tedarik zinciri yönetiminin, müşteri tatmininin arttırılması, çevrim zamanının azaltılması, stok ve stokla ilgili maliyetlerin azaltılmasını, ürün hatalarının azaltılması ve faaliyet maliyetinin azaltılması gibi temel amaçları bulunmaktadır. Bu amaçları gerçekleştirebilmek için firmanın tedarik zincirinin bütününde haberleşme ve bilgi paylaşımını artırması gerekir.

Tedarik zinciri yönetiminin gelişimi dönemsel olarak dört aşamada incelenebilir. Çizelge 2.1.'de dönemler ve gelişim aşamaları özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Tedarik zinciri yönetiminin gelişim aşamaları [Kadyrova, 2009]

Dönemler	1.Aşama 1970	2. Aşama 1975-1980	3. Aşama 1980-1990	4. Aşama 1990-2000
Gelişim aşaması Yönetimsel Kademe	Depolama ve Taşıma	Malzeme Yönetimi	Lojistik Yönetimi	Tedarik Zinciri Yönetimi
Yönetim Odağı	İşletmedeki operasyonların performansı	Toplam maliyet yönetimi, operasyonların optimizasyonu, maliyet ve müşteri hizmet seviyeleri	Sadece maliyet yönetimi değil lojistik planlama da önem kazanmıştır.	Tedarik zinciri vizyonu, hedefleri ve amaçları
Organizasyonel Yapı	Lojistik fonksiyonların farklı departmanlara dağıtılması	Merkezleştirilmiş fonksiyonlar: Özellikle taşıma, depolama ve müşteri hizmetleri	Lojistik fonksiyonların entegrasyonu	“Gerçek” organizasyon pazarda birlikte gelişme

Tedarik zinciri yönetimin gelişimini aktivitelerin entegrasyonu şeklinde de aşağıdaki gibi göstermek mümkündür [Ballou, 2007].



Şekil 2.6. Tedarik zinciri yönetiminin entegrasyon gelişimi

2.2.1. Tedarik zinciri yönetimi süreçleri

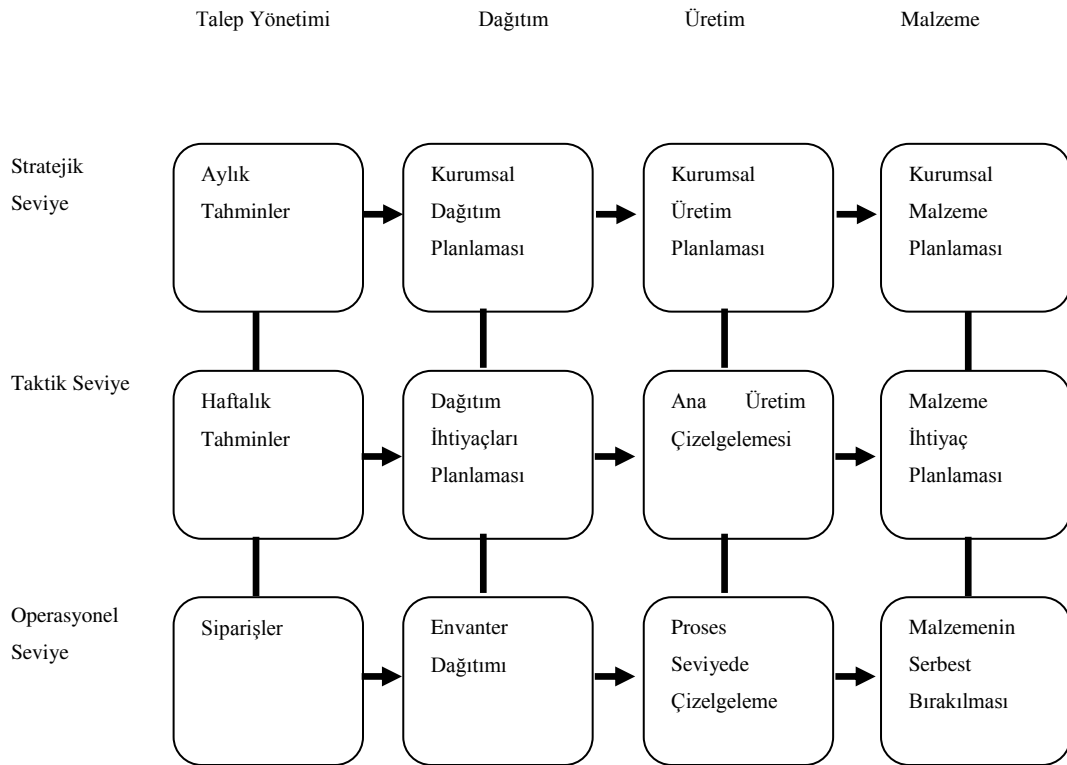
Literatürde tedarik zinciri yönetimini oluşturan süreçlerin geniş biçimde tanımına her yerde rastlamak mümkün olmasa da Global Tedarik Zinciri Forumu (The Global Supply Chain Forum) üyelerinin tanımladığı sekiz süreç genel kabul görmüştür. Bu süreçler aşağıdaki gibidir:

1. Müşteri İlişkileri Yönetimi (Customer Relationship Management)
2. Müşteri Hizmet Yönetimi (Customer Service Management)
3. Talep Yönetimi (Demand Management)
4. Sipariş İşleme (Order Fulfillment)
5. İmalat Akış Yönetimi (Manufacturing Flow Management)
6. Satın alma (Procurement)
7. Ürün Geliştirme ve Ticarileştirme (Product Development and Commercialization)
8. İadeler (Returns)

Forumun yapmış olduğu bu sınıflamada satın alma süreci tedarikçilerle ilişkili olduğundan satın alma yerine Tedarikçi İlişki Yönetimi (Supplier Relationship Management) ve iadeler yerine İade Yönetimi denilmesi daha uygundur [Özdemir, 2004].

2.2.2. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları

Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere üç seviyede ele alınır. Her bir seviye, kararların alındığı sürenin periyodu ve bu periyot süresince alınan kararların sıklığı ile birbirinden ayrılmaktadır. Stratejik seviyede, üretimin nerede yapılacağı ve en iyi kaynak bulma stratejisinin ne olacağı; taktik seviyede, tahmin yürütme, planlama, temin süresi kısa olan malzemelerin siparişi ve üretim ihtiyaçlarının karşılanması için fazla mesailerin çizelgelenip çizelgelenmeyeceği; operasyonel seviyede ise envanter dağıtımı, detaylı çizelgeleme ve bir makine bozulduğu zaman bir siparişin ne yapılacağı konuları ele alınır [Fox ve ark., 1993].



Şekil 2.7. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları

2.2.3. Tedarik zinciri yönetiminin avantajları

Tedarik Zinciri Yönetiminin işletmeler arası işbirliği sonucunda sağladığı bilgi paylaşımları yardımı ile kaynakların gereksiz kullanımı ve zaman israfından kaçınılması gibi yararları başta olmak üzere oldukça çeşitli yararları söz konusudur [Özdemir, 2004, Kadyrova, 2009].

Bu yararlardan bazıları aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

- Teslimat performansının iyileşmesi,
- Stokların azalması,
- Çevrim süresinin kısalması,
- Tahmin doğruluğunun artması,
- Zincir boyunca verimliliğin artması,
- Zincir boyunca maliyetlerin düşmesi,
- Kapasite gerçekleştirme oranının artması,
- Sipariş karşılama oranını yükseltmesi,
- Lojistik masraflarını azalması,
- Müşteri memnuniyetini artması,
- Girdilerin teminini garantileyerek, üretimin devamlılığının sağlanması,
- Tüketici taleplerini en iyi şekilde karşılayarak kaliteyi arttırması,
- Pazardaki değişikliklere daha kısa zamanda cevap verilmesini sağlaması.

2.2.4. Tedarik zinciri yönetiminin dezavantajları

Tedarik zincirinin avantajları olduğu kadar hatalı bir şekilde yönetilmesi sonucu dezavantajları da vardır. Rekabet ortamında işletmelerin tedarik zincirlerini yanlış yönetmeleri işletmelerin rakiplerine karşı rekabet yeteneklerini yitirmelerine neden olacaktır. Tedarik zincirinin kötü yönetimi sonucunda işletmelerin karşılaştığı kayıplar aşağıdaki şekilde özetlenebilir [Kadyrova, 2009].

- Gereksiz stoklardan kaynaklanan kar kayıpları,
- Beklenmeyen taleplerin karşılanması sonucu yanlış tahsis işlemlerinden kaynaklanan gelir kayıpları,
- Taleplerin zamanında karşılanamaması ve beklentilerin yanlış yönlendirilmesi sonucu oluşan müşteri kayıpları,
- Operasyonel belirsizliklerden kaynaklanan üretim zamanı kayıpları,
- Zamanında ve istenilen miktarda ürün teslim etmek konusunda yaşanan yetersizliklerden dolayı ortaklık fırsatlarının kaçırılması.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tedarik zincirinin tarihsel gelişimini incelediğimizde 1950 ve 1960'larda, birçok üretici, birim üretim maliyetlerini minimize etmek amacıyla, birincil operasyonel stratejisi olarak çok az sayıda ürün ve süreç esnekliği ile, kitle üretim üzerinde yoğunlaşmıştır. Yeni ürün geliştirme yavaş ve tamamen firma içi teknoloji ve kapasiteye bağlı olmuştur. Darboğaz operasyonlar, dengeli bir hat akışını devam ettirebilmek için stoklarla karşılanmış ve bu da yarı mamul stoklarına büyük yatırımlar yapılması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Teknoloji ve uzmanlığın müşterilerle veya tedarikçilerle paylaşılması çok riskli ve kabul edilemez olarak görülürken işletmeler arası işbirliği ve stratejik alıcı-tedarikçi ortaklığı üzerindeki ilginin de azlığı dikkat çekmiştir [Tan, 2001].

1970'li yıllarda, üretim kaynak planlamasının gelişimi ile yöneticiler, büyük yarı mamul stoklarının, üretim maliyeti, kalite, yeni ürün geliştirme ve teslimat zamanı üzerindeki etkisini fark ettiler [Tan, 2001].

1980'li yıllarda yoğun küresel rekabet dünya çapındaki organizasyonları düşük maliyet, yüksek kalite ve daha iyi tasarım esnekliği ile güvenilir ürünler sunmak için zorlamıştır. Tam zamanında üretim (JIT) üreticiler ve diğer yönetim girişimleri tarafından üretim verimliliğini ve döngü zamanı geliştirmek için kullanılmıştır [Tan, 2001].

1990'ların ortasından sonra yöneticiler, tedarikçilerden alınan mal ve hizmetlerin, firma müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılama yeteneği üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu fark etmişlerdir. Yöneticiler aynı zamanda kaliteli mal üretmenin de tek başına yeterli olmadığını anlamışlardır. Ürünleri müşteriye ne zaman, nerede, nasıl ve istenen miktarda, maliyet-etkin bir yöntemle ulaştırmak yeni başarı yöntemi olmuştur [Özdemir, 2004].

Yeni bir yüzyıl, beraberinde tedarik zinciri devrimini getirdi ve tedarik zinciri yönetimi stratejik bir seviye kazandı. Tedarik zinciri yönetimine odaklanan yeni bir

işletme kültürü oluştu. Bu dönem büyük organizasyonların üst düzey yönetici pozisyonlarına “tedarik zinciri” başlıklı unvanlar verme trendinin revaçta olduğu dönemdir [Evcil, 2010].

Bu tez çalışmasında literatür taraması bulanık hedef programlama, tedarik zincirinde çok amaçlı programlama ve tedarik zincirinde bulanık matematiksel programlama çalışmalarıyla sınırlı tutulmuştur.

3.1. Bulanık Hedef Programlama İle İlgili Çalışmalar

Bulanık küme teorisi geleneksel doğrusal programlama problemi içinde ilk olarak Zimmermann (1976) tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada bulanık bir hedef ve bulanık kısıtları olan doğrusal programlama problemi çözülmüştür [Zimmermann, 1976].

Narasimhan (1980) "Bulanık alt küme" konseptini bulanık bir ortamda hedef programlamaya uygulamıştır. Bu çalışmada eşit ağırlığa sahip çok amaçlı bir bulanık hedef programlama (BHP) problemi olarak modellenmiş ve doğrusal programlamaya dayanan bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Narasimhan'ın yaklaşımında, bulanık hedefler arasında tercih önceliğinin olmadığı ve bütün hedeflerin eşit önem derecesinde olduğu kabul edilmiştir [Narasimhan, 1980].

Hannan (1981) bulanık küme teorisini HP problemine uyarlayarak Narasimhan (1980)'ın BHP modelini geliştirmiştir. Özellikle, karar vericinin bulanık ya da kesin olmayan beklentileri için parçalı doğrusal ve sürekli fonksiyonların kullanımı sayısal örneklerle gösterilmiştir. Bulanık hedeflerin, bulanık olmayan, kesin hedeflere dönüştürdükten sonra, problemin HP tekniği ile çözümünün mümkün olabileceği belirtilmiştir [Hannan, 1981].

Leberling (1981) çalışmasında doğrusal maksimum vektör problemine bulanık yaklaşımla çözüm sunmuştur. Çalışmada kullanılan lineer bulanık minimum

operatörü ve özel lineer olmayan üyelik fonksiyonu ile çok kriterli problem için çözüm elde etmiştir [Leberling, 1981].

Tiwari ve ark. (1986) bulanık hedef programlamayı formüle ederken, Zimmermann'ın metodunu geliştirecek öneriler sunmuşlardır. Tiwari ve ark. (1986) çalışmalarında hedefleri önem derecelerine göre, yüksek dereceliden düşük dereceliye doğru sıralamış ve hedeflerin gerçekleştirilmesine önem derecesi en yüksek olandan başlamıştır [Tiwari ve ark., 1986].

Yang ve ark. (1991) hazırladıkları çalışmada, bulanık eşitlikleri üçgensel üyelik fonksiyonları ile nitelendirerek BHP problemini, bulanık doğrusal programlama problemi olarak çözmüşlerdir [Yang ve ark., 1991].

Chen (1994) BHP probleminin çözümü için simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlu bulanık hedefleri ve tercih önceliklerini kullanarak yeni bir metod önermiştir. Chen işlem yükünü hafifletebilmek için G_1 tercih önceliğindeki BHP problemini tek bir doğrusal programlama problemine indirgemıştır [Chen, 1994].

Hu ve ark. (2007) çok amaçlı optimizasyon problemlerine bulanık amaç programlama yaklaşımı isimli bir çalışma yapmıştır [Hu ve ark., 2007].

Chang (2007) ikili bulanık hedef programlama isimli bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada ikili bulanık hedef programlama modelinin nasıl programlanacağı ile ilgili yeni bir fikir önererek BHP modeli tamsayı programlama yöntemi ile çözmüştür [Chang, 2007].

Yaghoobi ve Tamiz (2007) BHP problemlerinin çözümü için amaç programlamada geleneksel minmax yaklaşımını uygulamışlardır. Bu modelin, simetrik olmayan üçgensel doğrusal üyelik fonksiyonları ile ilgili olan Hannan modelinin bir uzantısı olduğu kanıtlanmıştır [Yaghoobi ve Tamiz, 2007].

Liang (2009) iki aşamalı BHP yaklaşımını kullanarak proje yönetiminde çok amaçlı karar verme problemleri için iki aşamalı bulanık programlama metodolojisini sunmuştur [Liang, 2009].

Saghaei ve Didekhani (2011) çalışmalarında adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (adaptive neuro fuzzy inference systems, anfis) ve bulanık hedef programlamaya dayalı altı sigma projelerin değerlendirmesi ve seçimi için entegre bir model geliştirmiştir [Saghaei ve Didekhani, 2011].

3.2. Tedarik Zincirinde Üretim-Dağıtım Problemleri İçin Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımı İle İlgili Çalışmalar

Chen ve ark. (2003), çok ürün, çok dönem ve ölçek ekonomilerini kullanabilen çoklu tesis problemini, karışık tam sayılı doğrusal olmayan çok amaçlı programlama olarak modellemişlerdir [Chen ve ark., 2003].

Chen ve Lee (2004) üretim, ulaştırma, satış ve stok planlama aşamalarına göre modellerde talep ve fiyatlardaki belirsizliği dikkate alan çok ürünlü, çok aşamalı, çok periyotlu çizelgeleme modeli için çok amaçlı karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modelini sunmuşlardır [Chen ve Lee, 2004].

Guillén ve ark. (2005) tedarik zincirinde birden çok üretim merkezi, depo ve marketin bulunduğu dağıtım sistemi tasarım ve düzenleme problemi için çok amaçlı bir model önermişlerdir [Guillén ve ark., 2005].

Chern ve Hsieh (2007) tedarik zinciri şebekesinde bitmiş ürünler için ana üretim planlama problemini çözmek amacıyla çok amaçlı doğrusal programlama modeli önermişlerdir [Chern ve Hsieh, 2007].

Torabia ve Hassini (2008) tedarik zincirinde ana üretim planlaması için çok amaçlı doğrusal programlama modeli sunmuşlardır [Torabia ve Hassini, 2008].

Amid ve ark. (2009) tedarik zincirinde fiyat indirimli tedarikçi seçimi problemi için bulanık çok amaçlı programlama modeli önermişlerdir [Amid ve ark., 2009].

Huang ve ark. (2010) tedarik zincirinde ittifak içinde en uygun iş ortakları ve ilgili kaynak atamalarının belirlenmesi için yeni bir çok amaçlı programlama modeli önermişlerdir. Önerilen yöntemin geleneksel yöntem ile karşılaştırması bir örnek ile gösterilmiştir [Huang ve ark., 2010].

Unsihuay-Vila ve ark. (2011) Yaptıkları çalışmada çok bölgesi, çok amaçlı ve çok aşamalı modeli, elektrik sistemlerinin uzun vadeli genişleme planlaması doğrultusunda bütünleşmiş enerji üretim ve taşıma problemi için önermişlerdir [Unsihuay-Vila ve ark., 2011].

3.3. Tedarik Zincirinde Üretim-Dağıtım Problemleri İçin Bulanık Matematiksel Programlama Yaklaşımı İle İlgili Çalışmalar

Pedrycz ve Gomide (1998) çalışmalarında bulanık modelleme ile belirsiz bir ortamda tedarik zincirinin simülasyonunu tasvir etmiştir [Pedrycz ve Gomide, 1998]. Petrovic ve ark. (1999) sonlu bir zaman ufku boyunca bütün tedarik zincirinde makul bir toplam maliyetle kabul edilebilir bir teslim performansı elde etmek için stok seviyelerini ve sipariş miktarlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Müşteri talebi ve hammadde dış kaynağı ayrı ayrı bulanık kümeler olarak ele alınmıştır [Petrovic ve ark., 1999].

Sakawa ve ark. (2001) çok ürünli, çok bölgesi üretim-dağıtım problemini 0-1 tamsayılı programlama modeli olarak modellemişlerdir. Modeli, model parametrelerinden fabrika kapasiteleri ve taleplerinin belirsiz olduğu durum için bulanık matematiksel programlama yaklaşımıyla çözmüşlerdir [Sakawa ve ark., 2001].

Selim ve ark. (2004) çalışmalarında çok dönemli, çok ürünli ve çok üretim merkezli bir üretim dağıtım problemini ele almışlardır. Problem, kapasite ve stok denge

kısıtları altında üretim, dağıtım ve stok tutma maliyetlerini en küçükleyen çok amaçlı olarak modellenmiştir. Karar vericilerin kesin olmayan hedef değerlerini modele dâhil edebilmek amacıyla BHP yaklaşımları kullanılmıştır [Selim ve ark., 2004].

Kumar ve ark. (2004) makalelerinde tedarik zincirinde tedarikçi seçim problemi için bulanık amaç programlama yaklaşımı sunmuşlardır. Bu problem, satıcı şebekesinin net fiyatını, şebekenin içinde geri çevrilenleri ve teslimlerde gecikmeleri en aza indirmeyi amaçlayan karışık tam sayılı ve bulanık amaç programlama problemi olarak modellenmiştir. Her bir bulanık amaç için üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmıştır [Kumar ve ark., 2004].

Demirli ve Yimer (2006) siparişe dayalı üretim yapılan tedarik zincirinde bütünleşik üretim ve dağıtım planlaması için bir bulanık karışık tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Problemin amacı genel işletme maliyetini azaltmaktır [Demirli ve Yimer, 2006].

Aliev ve ark. (2007) çok ürünlü, çok dönemli üretim ve dağıtım planlaması probleminde karı ve sipariş karşılama oranını en büyükleyen bütünleşik bir bulanık doğrusal programlama modeli sunmuşlardır. Hem modelin amaç fonksiyonu hem de karar değişkenleri bulanık olarak kabul edilmiştir. Çözüm için genetik algoritma kullanılmıştır [Aliev ve ark., 2007].

Selim ve ark. (2008) tedarik zincirinde bütünleşik üretim dağıtım planlaması için merkezileşmiş ve merkezileşmemiş tedarik zinciri yapılarına göre bulanık amaçlara sahip BHP yaklaşımı geliştirmişlerdir. Amaçları karı en büyüklerken karşılanmayan siparişi ve maliyetleri en aza indirmektir [Selim ve ark., 2008].

Liang ve Cheng (2009) mekanik elemanlar üreten bir firma için talebin ve kapasitenin belirsizliğini göz önünde bulundurarak çok ürünlü ve çok dönemli problem için bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Modelde toplam maliyetin ve toplam teslim süresinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır [Liang ve Cheng, 2009].

Jamalnia ve Soukhakian (2009) bulanık ortamda çok aşamalı çok ürünlü bütünleşik üretim planlama problemi için farklı amaç önceliklerine sahip melez bir bulanık çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir [Jamalnia ve Soukhakian, 2009].

Bilgen (2010) üretim tesislerinde farklı üretim hatları arasında üretim hacimlerinin tahsisini içeren çok ürünlü, çok tesisli ve çok dağıtım merkezli bir tedarik zinciri sisteminde, üretim ve dağıtım planlaması problemi ve dağıtım merkezlerine ürün teslimi problemi üzerinde durmuştur. Amacı üretim, hazırlık ve taşıma maliyetlerini en küçükmektir [Bilgen, 2010].

Peidro ve ark. (2010) makalelerinde, bulanık kümeler ile tedarik zinciri belirsizliklerini modellemiştir. Tedarik zinciri ağında çok ürünlü, çok düzeyli (multi-echelon), çok dönemli, çok kademeli (multi-level) taktiksel tedarik zinciri planlamasında müşteri taleplerini en az maliyetle karşılamak için bir bulanık doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir [Peidro ve ark., 2010].

Xu ve Zhai (2010)'in çalışmasında iki aşamalı tedarik zinciri koordinasyon probleminde talep belirsizliği üzerinde durulmuştur. Müşteri talepleri için bulanık sayılar kullanılmıştır. Etkin bir koordinasyon mekanizması, üreticinin bakış açısından tasarlanarak tüm tedarik zincirinde maliyetleri en aza indirmek amaçlanmıştır [Xu ve Zhai, 2010].

Liang (2011) yaptığı çalışmada olasılık teorisine dayanan bulanık doğrusal programlama yaklaşımı sunmuştur. Bu yaklaşım işletme maliyetinin parasal değerini dikkate alan talep tahmini ve kesin hedefleri olan çok ürünlü ve çok dönemli problemlerin çözümünü sağlamıştır [Liang, 2011].

Peidro ve Vasant (2011) bulanık hedefli ulaşım planlaması kararı problemlerini ele almışlardır. S-eğrisi üyelik fonksiyonları tarafından temsil edilen çok amaçlı ulaşım planlaması karar problemini çözmek için etkileşimli bir metod geliştirmişlerdir [Peidro ve Vasant, 2011].

Pishvae ve Razmi (2012) verileri belirsizlik içeren çevresel tedarik zinciri tasarımı için çok amaçlı bulanık matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Önerilen modelde, geleneksel maliyetin en aza indirilmesi amacının yanında birden fazla çevresel etkinin en aza indirilmesi de dikkate alınmıştır [Pishvae ve Razmi, 2012].

Fazlollahtabar ve ark. (2012) çok depolu, çok araçlı, çok ürünli, çok dönemli tedarik zinciri için bulanık matematiksel programlama modeli önermişlerdir [Fazlollahtabar ve ark., 2012].

Bugüne kadar yapılan tedarik zinciri problemleriyle ilgili bu çalışmalarda genellikle doğrusal üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Ancak gerçek hayat problemlerinin doğrusal olmaması nedeniyle doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının kullanılması daha gerçekçi çözüm elde edilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle bu tez çalışmasında tedarik zinciri yönetiminde bulanık hedef programlama yaklaşımı doğrusal üçgensel üyelik fonksiyonunun yanı sıra doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonu kullanılarak modellenmiştir.

4. BULANIK MANTIK VE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

4.1. Bulanık Mantığın Gelişimi

Bulanık mantık ilk kez Lotfi Zadeh (1960) tarafından, doğal dildeki belirsizlikleri modellemek için ortaya konmuştur. Zadeh, bulanık mantık teorisinin bağımsız ve tam bir teori olmaktan çok, bulanıklaştırma metodunun, herhangi bir teorisin ayrık formdan sürekli forma dönüştürülerek genelleştirilmesi için yararlanılan bir metodoloji olarak ele alınmasını istemiştir.

Yager ve Zadeh (1991)' e göre bulanık mantığın ardındaki temel fikir, bir önermenin 'doğru', 'yanlış', 'çok doğru', 'çok yanlış', 'çok çok doğru', 'çok çok yanlış', 'yaklaşık olarak doğru', 'yaklaşık olarak yanlış' v.b. gibi olabileceğidir. Diğer bir deyişle doğruluk, önermelerle, klasik yanlış ve doğru arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak $[0, 1]$ gerçel sayı aralığıyla ilişkilendiren bir fonksiyondur. Bu, Zadeh'in bulanık kümeler üzerindeki ilk çalışmasının bir sonucudur ve bulanık kümeler için, herhangi bir gerçel sayı aralığı, değer kümesi olarak kullanılır. Bulanık mantık $[0,1]$ aralığının hepsini temsil edebileceği varsayıldığı ve pratikte kullanımı daha kolay olduğu için kullanılması tercih edilmektedir. Bulanık mantığın belirleyici özellikleri: "doğru, çok doğru, az çok doğru, daha doğru, doğru değil, yanlış, çok doğru değil ve çok yanlış" gibi dilsel olarak ifade edilen doğruluk değerlerine sahip olması ve geçerliliği kesin olmayıp yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip olmasıdır [Karahan, 2007].

4.1.1. Bulanık mantığın avantajları ve dezavantajları

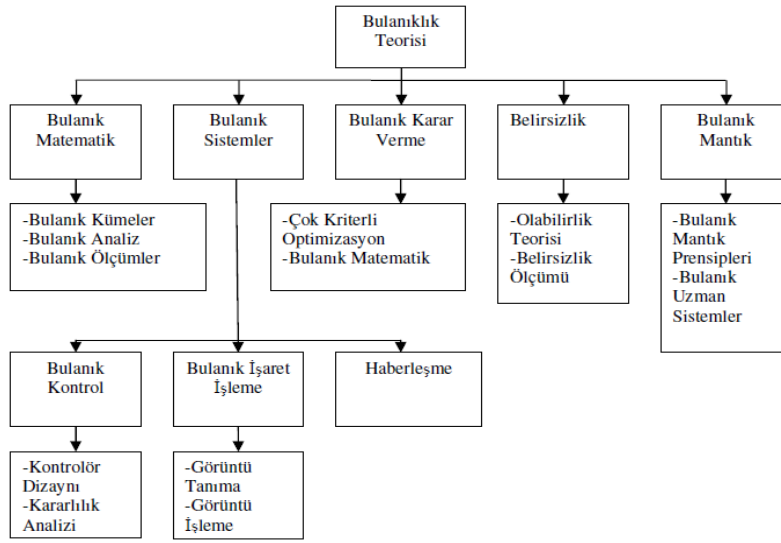
Bulanık mantığın diğer yöntemlere göre avantajları ve dezavantajları aşağıda Çizelge 4.1.'de düzenlenmiştir [Eranıl, 2008, Karahan, 2007, Temiz, 1998].

Çizelge 4.1. Bulanık mantığın avantajları ve dezavantajları

	Avantajları	Dezavantajları
1	İnsan düşünme tarzına yakın olması	Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulmasının uzmana bağlılığı
2	Uygulanışının matematiksel modele ihtiyaç duymaması	Üyelik fonksiyonlarının deneme-yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmesi
3	Yazılımın basit olması nedeniyle ucuza mal olması	Kararlılık analizinin yapısının zorluğu (benzeşim yapılabilir)
4	Karmaşık sistemlerde istenen kalite, nitelik ve hıza göre birden fazla bulanık denetleyici kullanılabilmesi Farklı sistemlerde bulanık denetleyici adaptasyonu kolay bir şekilde yapılabilmesi	Bulanık mantık sistemlerinde kullanılan bulanık alt kümelerin normal ve konveks olması gerekliliği Bu şartlara uymayan durumlar için mevcut kuralların kullanılmasının mümkün olmaması
5	Bulanık mantık denetleyicilerle klasik mantık denetleyicileri birbirine bağlamak suretiyle denetim performansını artırmanın mümkünlüğü	Bulanık mantık sistemleri kendi başlarına öğrenme yeteneğine sahi olmamaları Bu özelliği sağlamak için sinir ağları kullanımı, endüktif öğrenme gibi yöntemler kullanılması

4.1.2. Bulanıklık teorisinin uygulama alanları

Gerçek hayat problemlerindeki belirsizliği ele almak için geliştirilen bulanıklık teorisi pek çok alana uygulanmıştır. Bulanıklık teorisinin uygulama alanları aşağıdaki Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Bulanıklık teorisinin uygulama alanları [Eranıl, 2008]

4.2. Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar

4.2.1. Bulanık kümeler

1962 yılında Zadeh'in "From Circuit Theory to System Theory" başlıklı yazısının, bilim dünyasında yeni bir dönüm noktası ve ardından 1965 yılında Zadeh'in "Fuzzy Sets" başlıklı yazısı da "Bulanık Kümeler" kuramında bir başlangıç oluşturmıştır. Günümüze kadar da bu konuda oldukça fazla ilerlemeler kaydedilerek, bulanık mantık, endüstriyel kontrol, askeriye, ekonomi, mühendislik, tıp, model tanıma ve sınıflandırma gibi pekçok konuda çok geniş problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır [Karadoğan ve ark., 2001].

Bulanık küme, matematiksel olarak söylem evrenindeki herhangi bir varlığa, bulanık küme içindeki üyelik derecesini gösteren bir değer atanması şeklinde tanımlanabilir. Söz konusu üyelik derecesi, bu varlığın bulanık küme tarafından tanımlanan özelliklere uyum derecesini göstermektedir. Bu durumda, bulanık kümenin elemanları ve bu elemanların haricinde kalanlar arasında kesin bir ayırım söz konusu değildir. Bulanık küme, aralarında belirsiz (kesin olarak tanımlanamamış) sınırlar

olan kavramlar/nesneler grubu şeklinde de tanımlanabilir. Yani bulanık kümeler kuramı, bu belirsiz sınırlar sebebiyle ortaya çıkan bulanıklık ile ilgilenir. Örneğin, yaşlı insan, yüksek sıcaklık, küçük sayı vb. gibi. Bulanık mantık, güvenilir olmayan veriler, eksik ölçümler ve belirsiz tanımlarla karakterize edilen birçok problemin araştırılmasında uygun bir metodolojidir. İlk defa 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık kümeler kuramının amacı belirsizlik ifade eden, tanımlaması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik kazandırmaktır [Karadoğan ve ark., 2001, Temiz, 2004].

Bulanık küme teorisi Zimmermann (1987) tarafından, kesin olmayan, müphem ve belirsiz faaliyet ve gözlemlerin tanımlarının geçtiği problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Bir bulanık küme, sürekli üyelik dereceleri olan nesneler sınıfıdır ve her nesneye 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesi atayan bir üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir. Bulanık kümelerin karar verme olayına uygulanması ise genellikle karar verme teorisinin uzantılarını içerir. Karar belirsizlik ve risk faktörüne sahipse bulanık karar verme teorisi amaçların ve kısıtların belirsizliğini ortadan kaldırmaya çalışır [Zimmermann, 1987, Kuruüzüm, 1999].

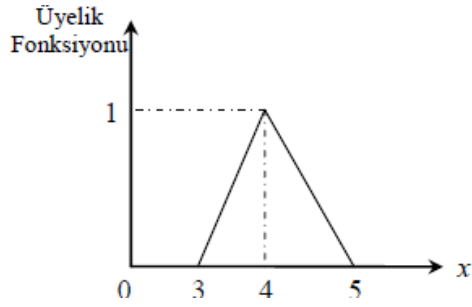
Bulanık küme tanımı

“x” ile gösterilen tüm elemanların oluşturduğu X evrensel kümesinin bir alt kümesi olan $\tilde{A}$ bulanık kümesi, Eş. 4.1’de ifade edilen, sıralı ikililerden oluşan bir küme olarak tanımlanır:

$$\tilde{A} = \{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X \} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki tanımda yer alan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ terimine, x’in “üyelik fonksiyonu” veya “üyelik derecesi” denir. $\mu_{\tilde{A}}(x)$, x elemanının $\tilde{A}$ kümesine ait olma derecesini gösterir ve [0,1] kapalı aralığında değerler alır. Klasik küme teorisinde bir eleman bir kümeye ya aittir ya da değildir. Üyelik derecesi $\mu_{\tilde{A}}(x)$ sadece “0” ve “1” değerleri olabilir. Örneğin, $A=\{x\}$ olarak tanımlanan bir klasik küme için “x” elemanı A kümesine ait olduğundan, A kümesinin tümleyeni olan A’ kümesine ait olamaz. Oysaki bulanık

küme teorisinde, “ x ” elemanı A kümesine de A' kümesine de belirli üyelik dereceleriyle ait olabilir. Bunun yanı sıra, bir bulanık kümede yer alan sayılar belirli bir üyelik fonksiyonu ile o kümeye ait olduklarından kesin bir sayı değerini ifade etmezler [Dönmez, 2007]. Bu durum Şekil 4.2.’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Üçgensel bulanık sayı x : (3, 4, 5)

Bulanık kümelerin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir [Karahana, 2007]:

- Evrensel kümede tanımlanan bulanık kümeler simetrik olarak dağıtılmalıdır.
- Her bir değişken için tek sayıda bulanık küme tanımlanmalıdır. Bu sayede, bazı bulanık kümelerin ortada kalması sağlanabilir. Tipik olarak her sistem değişkeni için 3, 5 ya da 7 tane bulanık küme kullanılır. Örneğin sıcaklık için 3 değişken tanımlanacak olunursa, soğuk-ılık-sıcak değerleri bulanık küme olur.
- Tüm değerlerin tanımlı olması için, bulanık kümelerin belirli bir yüzde ile üst üste binmesi sağlanmalıdır.
- Hesaplama zamanı diğerlerine göre daha az olan üçgensel, yamuksal gibi üyelik fonksiyonları seçilmelidir.

Üyelik fonksiyonu oluşturma yöntemleri

Üyelik fonksiyonları bulanık küme teorisinin temel köşe taşlarından biridir. Bulanık küme teorisinin kullanılabilirliği uygun üyelik fonksiyonlarının belirlenmesine bağlıdır. Lai ve Hwang (1992)'ın yapmış oldukları çalışmaya göre üyelik fonksiyonları, dört ana grupta ele alınabilir [Lai ve Hwang, 1992]:

1. Deneysel karar vermeye dayalı üyelik fonksiyonları
 - a) Zadeh'in unimodel fonksiyonları
 - b) Dimitru ve Luban'ın kuvvet fonksiyonları
 - c) Svarowski'nin sin fonksiyonu
2. Güvenilirlik kavramına dayalı üyelik fonksiyonları
 - a) Zimmermann'ın doğrusal fonksiyonu
 - b) Tanaka, Uejima ve Asai'nin simetrik üçgensel fonksiyonu
 - c) Hannan'ın parçalı doğrusal fonksiyonu
 - d) Leberling'in hiperbolik fonksiyonu
 - e) Sakawa ve Yumine'nin üstel ve ters hiperbolik fonksiyonları
 - f) Dimitru ve Luban'ın fonksiyonu
 - g) Dubois ve Prade'ın L-R bulanık sayısı
3. Teorik isteğe dayalı üyelik fonksiyonları
 - a) Civanlar ve Trussel'in fonksiyonu
 - b) Savarovski'nin fonksiyonu
4. Kişilere özgü kavramlar için bir model oluşturan üyelik fonksiyonları
 - a) Hersh ve Caramaza'nın fonksiyonu
 - b) Zimmermann ve Zysno'nun fonksiyonu
 - c) Dombi'nin fonksiyonu

Üyelik fonksiyonları, tercihe dayalı üyelik fonksiyonları ve olanak dağılımları olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Tercihe dayalı bir üyelik fonksiyonu, tercih bilgisini karar vericiden alarak oluşturabilir. Diğer yandan olasılık dağılımının bazı yönlerden aynısı olan olanak dağılımı, olayların olası ortaya çıkışları düşünülerek oluşturulabilir. Üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için iki yaklaşımdan faydalanılır.

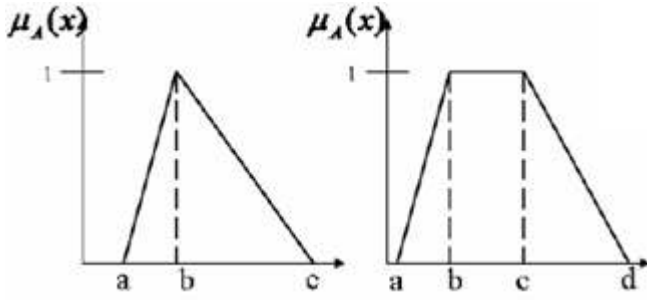
Bunlar, şekilsel ve anlamsal yaklaşımdır. Şekilsel yaklaşım fayda teorisindeki yaklaşımlara benzer olup, matematiksel yapı üzerinde odaklanmıştır. Anlamsal yaklaşım ise, uzman yaklaşım üzerine odaklanmıştır. Tercihe dayalı üyelik fonksiyonları ve olanak dağılımlarını oluşturmak için geliştirilmiş birçok yaklaşım mevcuttur. Bunlardan bazıları, uzaklık yaklaşımı, doğru değerlendirilmiş yaklaşım ve hesap yaklaşımıdır [Öztürk, 2009].

Üyelik fonksiyon çeşitleri

Küme elemanlarının üyelik fonksiyonunda alacağı değerler üyelik derecesi olarak tanımlanır. Bu tanımdan yola çıkılarak, klasik bir kümedeki elemanların alabileceği üyelik dereceleri 0 ve 1 ile sınırlı olmasına rağmen, bulanık bir kümedeki elemanların üyelik derecelerini $[0,1]$ kapalı aralığındaki herhangi bir değer olabilir [Bezdek ve Pal, 1992].

Üyelik fonksiyonlarını kesikli-sürekli, parametrik-parametrik olmayan ve simetrik-asimetrik şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Bulanık bir değişkene ilişkin üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, rassal bir değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesine benzetilebilir. Bu nedenle bulanık bir değişkene üyelik fonksiyonu atama süreci, kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel olarak yapılabilir [Özkan, 2003]. Üyelik fonksiyonunun şekli, kümenin ifade etmek istediği uygulama alanına göre değişiklik gösterir [Yılmaz, 2007]. Bulanık küme teorisinde üyelik fonksiyonlarını belirleme süreci için özel algoritmalar geliştirilmiş olmasına rağmen, bir çok uygulama işlemsel kolaylık sağlaması nedeniyle parametrik olarak ifade edilebilen üyelik fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir [Özkan, 2003].

Parametrik üyelik fonksiyonları arasında üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonları yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 4.3.'te bu üyelik fonksiyonlarının şekilleri görülmektedir.



Şekil 4.3. Üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonu şekilleri

Üçgensel üyelik fonksiyonu $\{a,b,c\}$ parametreleri ile ifade edilir. Üçgensel üyelik fonksiyonu Eş. 4.2'deki gibi tanımlanır.

$$\mu_x = \text{üçgen } x,a,b,c = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ x-a / b-a & a \leq x \leq b \\ c-x / c-b & b \leq x \leq c \\ 0 & c \leq x \end{cases} \quad (4.2)$$

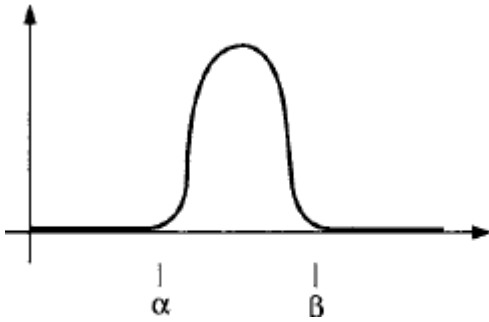
Yamuksal üyelik fonksiyonu ise dört parametreye $\{a,b,c,d\}$ bağlı olup fonksiyon Eş. 4.3'teki gibi ifade edilir.

$$f_{x;a,b,c,d} = \begin{cases} 0 & x < a \\ x-a / b-a & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ d-x / d-c & c \leq x < d \\ 0 & d \leq x \end{cases} \quad (4.3)$$

Üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonlarının yanı sıra gauss üyelik fonksiyonları, Π biçiminde üyelik fonksiyonu, cauchy üyelik fonksiyonu (genelleştirilmiş çan eğrisi), üssel üyelik fonksiyonları ve sigmoid fonksiyonlar gibi değişik üyelik fonksiyonu tipleri de kullanılmaktadır.

Gauss üyelik fonksiyonu Eş. 4.4'te ve örnek fonksiyon grafiği Şekil 4.4.'te verilmiştir [Cirstea ve ark., 2002].

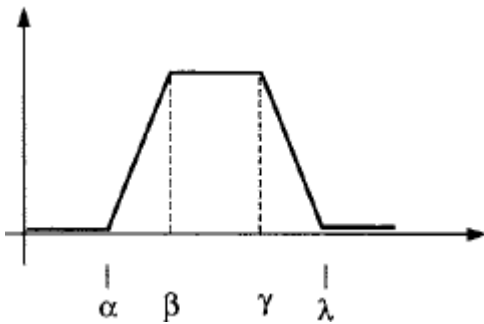
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.4)$$



Şekil 4.4. Gauss üyelik fonksiyonu

II biçiminde üyelik fonksiyonu Eş. 4.5'te ve örnek fonksiyon grafiği Şekil 4.5.'te verilmiştir [Cirstea ve ark., 2002].

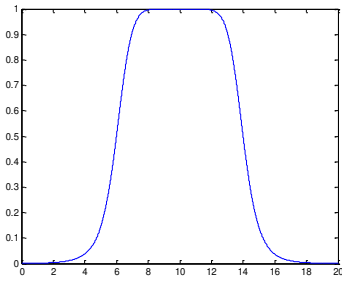
$$f_{x;b,c} = \begin{cases} S(x;c-b,c-b/2,c) & x \leq c \\ 1-S(x;c+b/2,c+b) & x > c \end{cases} \quad (4.5)$$



Şekil 4.5. II biçiminde üyelik fonksiyonu

Cauchy üyelik fonksiyonu (genelleştirilmiş çan eğrisi) Eş. 4.6'da ve örnek fonksiyon grafiği Şekil 4.6.'da verilmiştir [Yılmaz, 2007].

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{\left(1 + \left|\frac{x-c}{\sigma}\right|^{2n}\right)} \quad (4.6)$$

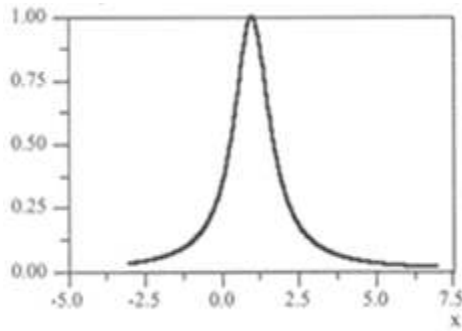


Şekil 4.6. Cauchy üyelik fonksiyonu

Üssel üyelik fonksiyonu Eş. 4.7'de ve örnek fonksiyon grafiği Şekil 4.7.'de verilmiştir [Pedrycz ve Gomide, 1998].

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{1 + k(x-m)^2}, \quad k > 1, \text{ ya da}$$

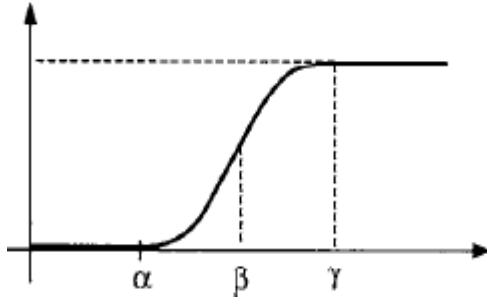
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{k(x-m)^2}{1 + k(x-m)^2}, \quad k > 0 \quad (4.7)$$



Şekil 4.7. Üssel üyelik fonksiyonu

Sigmoid üyelik fonksiyonu Eş. 4.8’de ve örnek fonksiyon grafiği aşağıda Şekil 4.8.’de verilmiştir (Cirstea ve ark., 2002).

$$\mu_{\bar{A}}(x, a, c) = \frac{1}{e^{-a(x-c)} + 1} \quad (4.8)$$



Şekil 4.8. Sigmoid üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonlarının doğru ve uygulama ile örtüşen bir şekilde belirlenmesi, bulanık küme teorisinde önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü, üyelik fonksiyonları bulanık küme teorisinin esasını teşkil etmektedir. Bu nedenle, üyelik fonksiyonları bir kez belirlendikten sonra, bulanık küme teorisinde bulanık olan herhangi bir şey kalmadığı söylenir [Özkan, 2003].

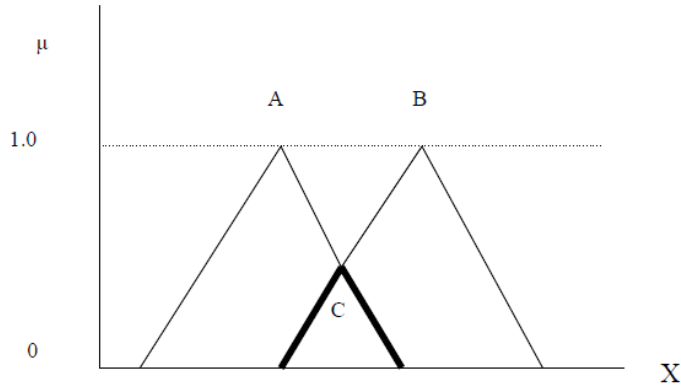
Bulanık küme işlemleri

Bulanık küme teorisinde sıklıkla kullanılan temel işlemler, bulanık kesişim kümesi, bulanık birleşim kümesi ve bulanık tümleyen kümesi işlemleridir.

Kesişim işlemi (A; minimum operatörü) [Temiz, 1998, 2004]

$C = A \wedge B$ olmak üzere,

$$\mu_C(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), x \in X. \quad (4.9)$$

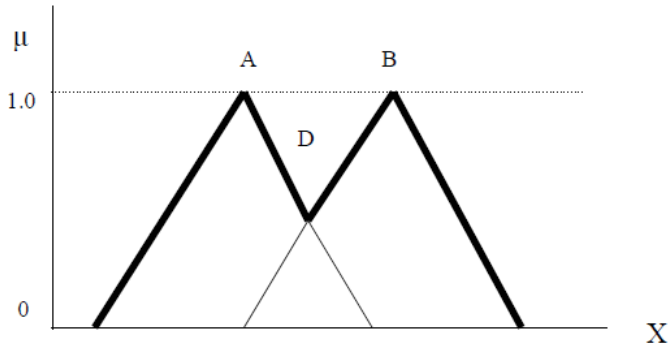


Şekil 4.9. A ve B bulanık kümelerinin kesişimi

Birleşim işlemi ($\vee$; maksimum operatörü) [Temiz, 1998, 2004]

$D = A \vee B$ olmak üzere,

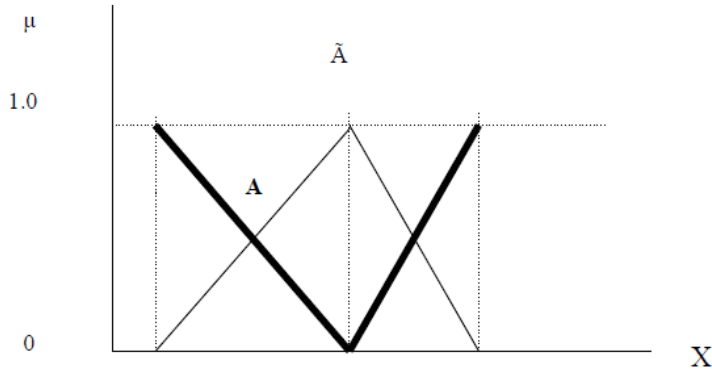
$$\mu_D(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), x \in X. \quad (4.10)$$



Şekil 4.10. A ve B bulanık kümelerinin birleşimi

Tümlleme işlemi [Temiz, 1998, 2004]

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), x \in X. \quad (4.11)$$



Şekil 4.11. A bulanık kümesinin tümleyeni

Kalın çizgilerle gösterilen A kümesi, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin tümleyenidir.

Bulanık küme özellikleri

Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonlarına göre tanımlanan eşitlik, kapsama, üs alma, kartezyen çarpım, yükseklik, normallik, destek kümesi, sınır kümesi, kernel kümesi, merkez, α -kesimleri ve dış büyüklük gibi temel kavramlar vardır. Bu kavramlardan eşitlik, kapsama, kartezyen çarpım ve büyüklük kavramları geleneksel kümelerin bir uzantısıdır [Özkan, 2003].

Eşitlik

Klasik küme teorisinde eğer, her iki küme aynı elemanlara sahip ise iki kümenin eşit olduğu söylenir. Bulanık kümelerde ise durum biraz değişik olmakla beraber, bulanık üyelik derecelerinin eşit olup olmadığına bakılır. İki bulanık küme için, sadece ve sadece bütün $x \in X$ için $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ ise $A = B$ denir [Ağırğün, 2009].

Kapsama

Klasik küme teorisinde, eğer A kümesinin tüm elemanları B kümesinde de bulunuyorsa B kümesinin A kümesini kapsadığı söylenir ve $A \subset B$ şeklinde gösterilir. Bulanık kümeler için ise elemanların o kümelere olan üyelik dereceleri de

dikkate alınır. Bütün $x \in X$ için sadece ve sadece $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ ise A bulanık kümesi B bulanık kümesinin alt kümesidir denilir ve $A \subset B$ ile gösterilir [Ağırgün, 2009].

Üs alma

Bulanık bir kümenin β ile gösterilen herhangi bir üssü alınabilir. Burada β ' nın pozitif bir gerçek sayı olması gerekir. Bulanık küme $\tilde{A}$ ' nın β kuvveti, yeni bir bulanık küme olur [Özkan, 2003].

$$\mu_{\tilde{A}^\beta}(x) = (\mu_{\tilde{A}}(x))^\beta ; \forall x \in U \quad (4.12)$$

Kartezyen çarpım

$\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ bulanık kümeleri sırasıyla U, V ve W evrensel kümelerinde tanımlı olsun. Bu bulanık kümelerde yer alan her bir elemanı sırasıyla, x, y, z ile niteleyelim. Bu durumda $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ kümelerinin kartezyen çarpımı $U \times V \times W$ çarpım uzayında aşağıda verilen üyelik fonksiyonu ile nitelenen bir bulanık küme olur [Özkan, 2003].

$$\mu_{U \times V \times W}(x, y, z) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y), \mu_{\tilde{C}}(z)) \quad x \in U, y \in V, z \in W \quad (4.13)$$

Yükseklik

$\tilde{A}$ bulanık kümesi, U evrensel kümesinde tanımlı bulanık bir alt küme olsun. Bu durumda, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin yüksekliği, $\tilde{A}$ kümesinin U'da tanımlı olan elemanları arasında üyelik derecesi en yüksek olan elemanın üyelik fonksiyonu değerine eşittir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir [Akman, 2009].

$$\text{Yükseklik}(\tilde{A}) = \sup \mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in U \quad (4.14)$$

Normallik

Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin normal olabilmesi için en az x değeri için üyelik fonksiyon değerinin 1 olması gerekir. Yani $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ ise normaldir veya $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 'in en büyük değeri (yüksekliği) 1'e eşitse $\tilde{A}$ bir normal bulanık kümedir. [Öztürk, 2009].

Yüksekliği 1'den küçük olan bulanık kümelere normalaltı bulanık kümeler denir. Normalaltı bulanık kümeler, aşağıda verilen ifade ile normal bulanık kümeye dönüştürülebilir [Özkan, 2003].

$$NORM(\tilde{A}) = \frac{Yükseklik(\tilde{A})}{\mu_{\tilde{A}}(x)} ; \forall x \in U \quad (4.15)$$

Destek kümesi

Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunda, üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanların bir araya getirdiği kümeye destek kümesi denir. Destek kümesi, bulanık olmayan ve geleneksel bir kümedir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır [Özkan, 2003].

$$Destek(\tilde{A}) = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (4.16)$$

Sınır kümesi

Bulanık bir kümeye kısmen üye olan elemanların oluşturduğu geleneksel kümeye sınır kümesi denir ve aşağıdaki gibi ifade edilir [Özkan, 2003].

$$Sınır(\tilde{A}) = \{x \in U \mid 0 < \mu_{\tilde{A}} < 1\} \quad (4.17)$$

Kernel kümesi

Kernel kümesi, bulanık bir kümeye tamamen üye olan (üyelik fonksiyonundaki üyelik derecesi 1'e eşit olan) elemanların bir araya getirdiği bir kümedir. Kernel kümesi de destek kümesi gibi, bulanık olmayan bir kümedir. Bu küme, matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır [Özkan, 2003].

$$Kernel(\tilde{A}) = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (4.18)$$

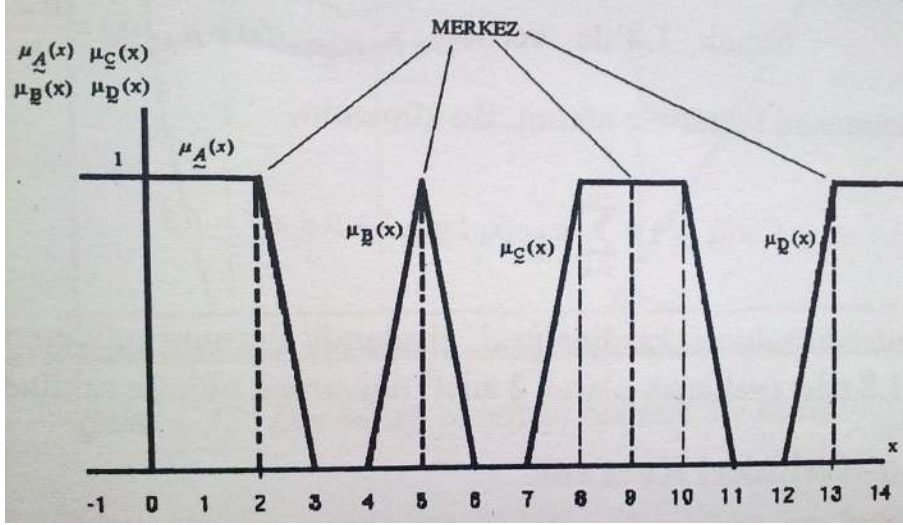
Çekirdek (Öz)

$\tilde{A}$ bulanık kümesinin çekirdeği, $\tilde{A}$ kümesinde üyelik derecesi 1 olan bütün elemanların kümesidir [Ağırgün, 2009].

$$Çekirdek(A) = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (4.19)$$

Merkez

Bulanık bir kümeye ilişkin üyelik fonksiyonunun maksimum değeri sonlu bir sayı olduğunda, bu kümede yer alan elemanların üyelik derecelerinin ortalama değeri, bulanık kümenin merkezini verir. Ortalama değer negatif (veya pozitif) sonsuza eşitse, üyelik fonksiyonunun maksimum değerine ulaştığı noktalar arasından en büyük (veya en küçük) olan noktaya merkez denir [Özkan, 2003].



Şekil 4.12. Değişik bulanık kümeler için merkez noktaları

α-kesimleri

Rocacher ve Patric (2005)'e göre bulanık bir küme olan $\tilde{A}$ kümesinin α -kesim kümesi, üyelik fonksiyon değeri α 'ya eşit veya daha büyük olan elemanların yer aldığı bulanık olmayan bir kümedir. α değeri, $\alpha \in [0,1]$ koşuluyla tanımlı gerçel bir sayıdır. α -kesim kümesi, matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir [Akman, 2009].

$$\tilde{A}_\alpha = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \text{ ve } \alpha \in [0,1]\} \quad (4.20)$$

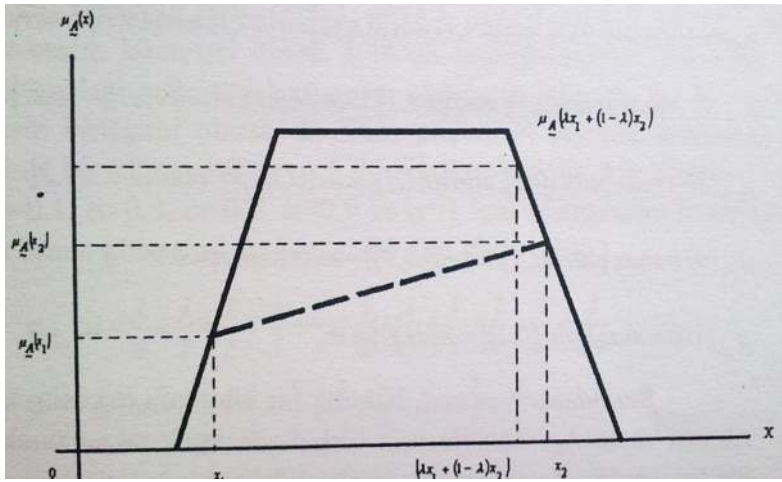
α kesim kümesi, $\alpha = 0$ iken evrensel kümeye, $\alpha = 1$ iken Kernel kümeye denktir. Bu durum, matematiksel olarak sırasıyla $A_0 = U$ ve $A_1 = \text{kernel}(\tilde{A})$ şeklinde ifade edilir.

Dış bükeylik

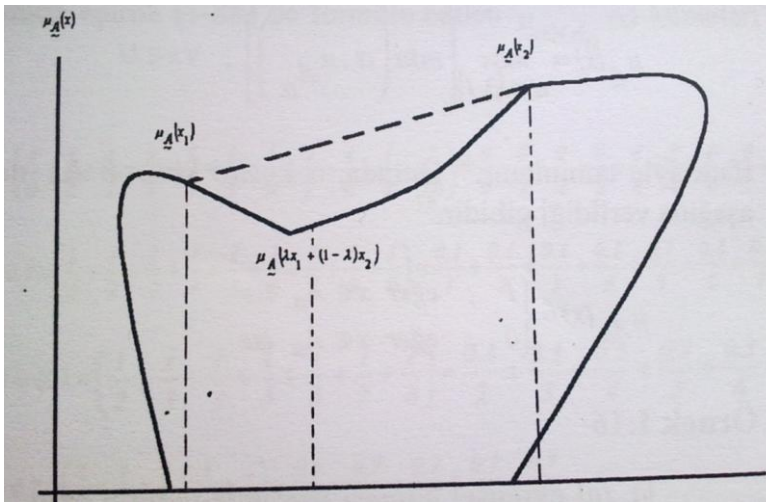
Dış bükeylik kavramı geleneksel kümelerde taşıdığı özelliklerin çoğunu koruyacak bir şekilde bulanık kümelere genişletilebilir. Bunun için, evrensel kümenin n -boyutlu Öklidsel uzay R^n de tanımlı olması gerekir.

Dış bükeylik kavramı, bulanık kümelerde üyelik fonksiyonlarına veya α -kesimlerine göre tanımlanan ve özellikle optimizasyon ile ilgili uygulamalarda yararlanılan bir kavramdır. α -kesim kümelerinin her biri dış bükey kümeler ise, $\tilde{A}$ bulanık kümesi de dış bükey bir kümedir. Üyelik fonksiyonlarına göre dış bükeylik kavramı $x_1, x_2 \in U$ ve $\lambda \in [0,1]$ koşulları ile aşağıda verildiği gibi tanımlanır [Özkan, 2003].

$$\mu_{\tilde{A}}[\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \geq \min[\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)] \quad (4.21)$$



Şekil 4.13. Dış bükey bulanık bir küme



Şekil 4.14. Dış bükey olmayan bulanık bir küme

Kardinalite (Nicelik sayısı)

Geleneksel kümelerde bir kümede yer alan eleman sayısı anlamına gelen kardinalite kavramı, bulanıklıktan arındırma, alt küme olma derecesi gibi özellik ve kuralları tanımlamak için gerekli olan bir kavramdır. Bu kavram bulanık kümelerde, normalaltı bulanık kümeler için bir normalizasyon faktörü olarak da kullanılmaktadır. Sonlu bir evrensel kümede tanımlı olan bulanık bir kümenin kardinalitesi aşağıda verilen ifade ile tanımlanır [Özkan, 2003].

$$Card \tilde{A} = \sum_i^n \mu_{\tilde{A}}(x_i) \quad (4.22)$$

Bulanık küme çeşitleri

Bulanık kümeler, yapıları itibarı ile kesikli ve sürekli bulanık kümeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [Akman, 2009]. Bunlar aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Kesikli bulanık küme

$\tilde{A} = \sum_i^n \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i}$ şeklinde yazılabilen ve evrensel kümenin sonlu olmasını ifade eden kümeye kesikli bulanık küme denir.

Sürekli bulanık küme

$\tilde{A} = \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i}, \forall x_i \in U$ şeklinde yazılabilen ve evrensel kümenin sonsuz olmasını ifade eden kümeye sürekli bulanık küme denir.

Kesikli ve sürekli bulanık kümelerde kullanılan $\sum$ ve $\int$ işaretleri cebirsel anlamlarında olduğu gibi toplam ve integral almayı göstermez. Burada kesikli ve sürekli evrenlerde birleşim anlamını ifade etmektedir.

4.2.2. Bulanık sayılar

Bulanık sayılar bulanık kümelerin özel bir alt küme formudur ve gerçek sayıların uzayında tanımlanmış olan bulanık kümelerdir. Bu yüzden bulanık küme özellikleri ve işlemleri bulanık sayılar için de geçerli olmaktadır. Yaklaşık olarak 3, 5 civarı, hemen hemen 7, 9'dan büyük, 11'den küçük gibi yaklaşıklık belirten veya kesin olmayan ifadelerin nitelenmesinde bulanık sayılar kullanılmaktadır.

Her bulanık sayı bulanık bir küme olmasına rağmen, her bulanık küme bulanık bir sayı değildir. Bir bulanık kümenin, bulanık bir sayı olabilmesi için aşağıda verilen özellikleri sağlaması gerekir [Pedrycz ve Gomide, 1998].

- Bulanık küme, normal bir bulanık küme olmalıdır.

$$\text{Yükseklik}(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)] = 1 ; \exists x \in U \quad (4.23)$$

- Bulanık küme, dış bükey olmalıdır.

$$\mu_{\tilde{A}}[\lambda x_1 + (1-\lambda) x_2] \geq \min[\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)] \quad \lambda \in [0,1] \quad (4.24)$$

- Bulanık kümenin destek kümesi sınırlı olmalıdır.

$$x \in U \mid 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$$

- Bulanık kümenin her bir α -kesimi, gerçel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır.

$$x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \quad \text{ve} \quad \alpha \in [0,1]$$

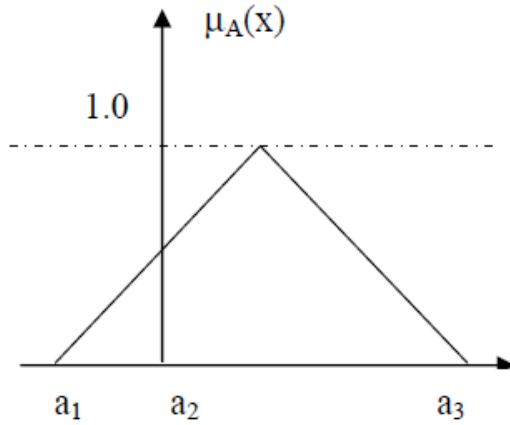
Bulanık kümelerde işlemlerin yapılabilmesi ve sayıların kesinlik belirtmesi için aralık analizi yapmak gerekmektedir. Bir kişinin yaşını tanımlarken “Hemen hemen 30’dur.” denileceğine “25-35 yaş aralığındadır.” denilmesi daha doğru olacaktır.

Kullanılan aralık çeşitleri kapalı aralık, açık aralık, soldan açık sağdan kapalı aralık ve soldan kapalı sağdan açık aralık şeklindedir.

Bulanık sayılar, isimlerini üyelik fonksiyonlarından almakta olup en geniş kullanım alanına sahip olan bulanık sayılar üçgensel bulanık sayı ve yamuksal bulanık sayıdır.

Üçgensel bulanık sayı

Özellikle sistem modellemede yaygın olarak kullanılan üçgensel bulanık sayılar üç eleman ile tanımlanır ve (a_1, a_2, a_3) şeklinde gösterilir. Şekil 4.15.'te gösterilen üçgensel bulanık sayı için üyelik fonksiyonu Eş. 4.25'te görüldüğü gibi tanımlanır [Temiz, 2004].



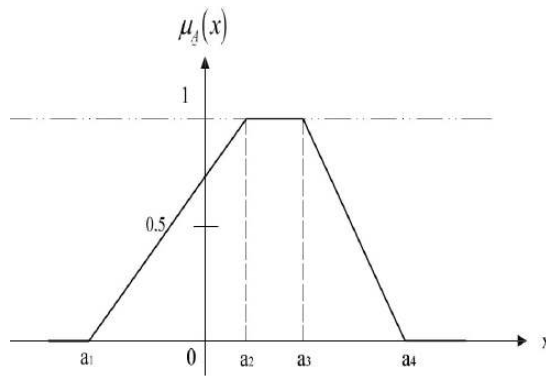
Şekil 4.15. $A=(a_1, a_2, a_3)$ üçgensel bulanık sayısı

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ x - a_1 / a_2 - a_1 & a_1 \leq x \leq a_2 \\ a_3 - x / a_3 - a_2 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (4.25)$$

Yamuksal bulanık sayı

Gerçel sayı doğrusu üzerinde tanımlı olan yamuksal bir bulanık sayı, Eş. 4.26'da verilen üyelik fonksiyonu ile parametrik olarak ifade edilir. Burada a_1 ve a_4 parametreleri yamuksal bir bulanık sayının kanat açıklıklarını veya üyelik derecesinin sıfır olduğu elemanları gösterir. a_2 ve a_3 parametreleri ise, bu sayının kernel kümesini gösterir. Daha önce açıklandığı üzere kernel kümesi, üyelik fonksiyonunda 1 üyelik dereceli elemanların bir araya getirildiği bir kümedir. Dolayısıyla, yamuksal bir bulanık sayının kernel kümesinin alt sınırı a_2 parametresiyle, üst sınırı ise a_3 parametresiyle gösterilir. Yamuksal bulanık sayının grafiksel gösterimi de Şekil 4.16.'da grafiksel olarak gösterilmiştir [Özkan, 2003].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ x - a_1 / a_2 - a_1 & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ a_3 - x / a_3 - a_4 & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & x > a_4 \end{cases} \quad (4.26)$$



Şekil 4.16. $A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ yamuksal bulanık sayısı

4.2.3. Bulanık sayılarda α -kesim yöntemi ve aritmetik işlemler

α -Kesim yöntemi

Tsoukalas ve Uhrig (1997)'e göre bulanık sayılarda temel aritmetik işlemleri yapabilmek için kullanılan α -kesim yönteminde, öncelikle $\tilde{A}$ bulanık sayısının α -kesim kümelerinin alt ve üst seviyelerinin belirlenmesi gerekir. $\tilde{A}$ bulanık sayısının α -kesim kümelerinin alt ve üst sınırları aşağıdaki gibi ifade edilir [Tsoukalas ve Uhrig, 1997].

$$\tilde{A}_\alpha = a_1^\alpha, a_2^\alpha, \quad \alpha \in [0,1]$$

Aritmetik işlemler

Bojadziev (1995)'e göre α -kesim kümelerinin alt ve üst sınırları yardımıyla $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayılarına ilişkin aşağıda yer alan temel aritmetik işlemler gerçekleştirilir [Bojadziev, 1995].

- Bulanık sayılarda toplama işlemi

$$\begin{aligned} \tilde{A}_\alpha + \tilde{B}_\alpha &= \tilde{A}_\alpha + \tilde{B}_\alpha = a_1^\alpha, a_2^\alpha + b_1^\alpha, b_2^\alpha \\ &= a_1^\alpha + b_1^\alpha, a_2^\alpha + b_2^\alpha \end{aligned} \quad (4.27)$$

- Bulanık sayılarda çıkarma işlemi

$$\begin{aligned} \tilde{A}_\alpha - \tilde{B}_\alpha &= \tilde{A}_\alpha - \tilde{B}_\alpha = a_1^\alpha, a_2^\alpha - b_1^\alpha, b_2^\alpha \\ &= a_1^\alpha - b_1^\alpha, a_2^\alpha - b_2^\alpha \end{aligned} \quad (4.28)$$

- Bulanık sayılarda çarpma işlemi

$$\begin{aligned}
\tilde{A}_\alpha \times \tilde{B}_\alpha &= \tilde{A}_\alpha \tilde{B}_\alpha = a_1^\alpha, a_2^\alpha \quad b_1^\alpha, b_2^\alpha \\
&= \min \left[a_1^\alpha b_1^\alpha, a_1^\alpha b_2^\alpha, a_2^\alpha b_1^\alpha, a_2^\alpha b_2^\alpha \right], \\
&\quad \max \left[a_1^\alpha b_1^\alpha, a_1^\alpha b_2^\alpha, a_2^\alpha b_1^\alpha, a_2^\alpha b_2^\alpha \right]
\end{aligned} \tag{4.29}$$

- Bulanık sayılarda bölme işlemi

$$\begin{aligned}
\tilde{A}_\alpha : \tilde{B}_\alpha &= \tilde{A}_\alpha : \tilde{B}_\alpha = a_1^\alpha, a_2^\alpha : b_1^\alpha, b_2^\alpha \\
&= \min \left[a_1^\alpha : b_1^\alpha, a_1^\alpha : b_2^\alpha, a_2^\alpha : b_1^\alpha, a_2^\alpha : b_2^\alpha \right], \\
&\quad \max \left[a_1^\alpha : b_1^\alpha, a_1^\alpha : b_2^\alpha, a_2^\alpha : b_1^\alpha, a_2^\alpha : b_2^\alpha \right] \\
&\quad 0 \notin [b_1, b_2]
\end{aligned} \tag{4.30}$$

Bulanık sayılarda genişleme kuralı

İki bulanık sayıya uygulanan toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri genişleme kuralı ile aşağıda sırasıyla verildiği gibi bulunur [Özkan, 2003].

$$\mu_{\tilde{C}}(z) = \max_{z=x+y} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \tag{4.31}$$

$$\mu_{\tilde{D}}(z) = \max_{z=x-y} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \tag{4.32}$$

$$\mu_{\tilde{E}}(z) = \max_{z=xy} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \tag{4.33}$$

$$\mu_{\tilde{F}}(z) = \max_{z=x/y} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \tag{4.34}$$

4.3. Hedef Programlama

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri genel olarak çok ölçütlü (nitelikli) karar verme (ÇÖKV) ve çok amaçlı karar verme (ÇAKV) yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır [Lai ve Hwang, 1994].

ÇÖKV metotları belirlenen kesin alternatifler içerisinde bir alternatifin seçilmesi için kullanılır. Zimmermann (1996)'ya göre seçim süreci iki aşamadan oluşur. İlk aşama bütün hedeflere ve karar alternatiflerine göre verilen kararlar bir araya getirilir. İkinci aşama ise bir araya getirilen kararlar içerisinde karar alternatiflerinin derecelendirilmesi yapılır [Zimmermann, 1996]. ÇÖKV yöntemleri içinde değer fayda temelli yöntemler (AHP, ANP, TOPSİS vb.), üstünlüğe dayalı yöntemler (Electre ve Promethee), etkileşimli yöntemler (Değişken hedef yöntemi vb.) ve basit yöntemler (İkili değiştirme vb.) bulunmaktadır.

ÇAKV metotları ise matematiksel kısıtlar yardımı ile tanımlanan sınırsız sayıdaki alternatifleri içeren amaç problemleri için kullanılır. ÇAKV metotlarının ortak özelliği amaçların ölçülebilmesi ve iyi tanımlanmış kısıtların olmasıdır. Göze çarpan en önemli özelliği ise bir amaca ait hedefin bütünü ile başarılabilmesi için bir veya birden fazla amacın hedeflerinin başarısını göz ardı edebilme yeteneğidir [Güneş ve Umarusman, 2003]. ÇAKV yöntemleri içinde ise doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, HP, dinamik programlama, BHP, ağırlıklandırma tekniği, çok amaçlı ayrışım tekniği gibi çözüm teknikleri yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında hedef programlama tekniği ele alındığından diğer teknik ve yaklaşımlar detaylı olarak ele alınmamıştır.

4.3.1. Hedef programlama tanımı

Hedef programlama, doğrusal programlamanın özel bir durumu olup mümkün olduğunca çok amacı aynı anda sağlayan bir çözüm bulunur. Hedef programlama (Goal Programming) 1961 yılında Charnes tarafından geliştirilmiş, çok sayıda hedef

ve amaçların bulunduğu doğrusal karar modellerine uygulanabilen bir çok amaçlı programlama tekniğidir. 1965 yılında Ijiri tarafından “genelleştirilmiş ters alma tekniği ile çözüm elde edilebilen daha elverişli hale getirilmiştir. 1968 yılında da Contini belirsizlik durumlarına, Jaaskelainen ise toplu üretim problemlerine uyarlamıştır. Daha sonra Lee ve Jaaskelainen tarafından bunların bilgisayar algoritmaları geliştirilmiş ve hedef programlama daha fazla uygulanabilir olmuştur [Akyüz, 2006].

Hedef programlamanın en büyük avantajı karmaşık hedef sistemlerinin aynı anda çözümünü elde edilebilmesidir. HP çoklu amaç ve alt amaçlarla ilgili karar verme problemlerini çözmek için kullanılan bir tekniktir. Birden fazla amacın ele alındığı problemlerde amaçlar birbirleriyle çelişebilirler ve bu amaçlardan birine ulaşıldığı zaman diğerine ulaşamayabilir. Bu nedenle, çok amaçlı problemin çözümünde amaçların önemliliklerine göre sıralanması gerekir. Eğer bu öncelikler karar verici tarafından belirlenebilirse bu hedefleri gerçekleştirmek yöntemin görevi olacaktır. Sonuçta ise hedeflerden sapmalar, yani bir hedefin aşılması (pozitif sapma), bir hedefin altında kalınması (negatif sapma) değerleri toplamını minimize edilmesi bir tek amaç olarak ortaya konulabilir. Hedef programlaması bu sapmaları en az yaparak çözüm arar [Akyüz, 2006].

Hedef programlama ile tüm çelişen amaçları optimum kılan tek bir çözüm bulmak imkansız olabilir. Ve amaçların birine ulaşılabilir diğerlerine ulaşamayabilir. Bu nedenle, bu tür modellerle ilgili problemlerin hedef programlama ile elde edilen çözüm değerlerine “etkin çözüm” adı verilmektedir [Akyüz, 2006].

4.3.2. Hedef programlamanın temel kavramları

Hedef programlamada kullanılan özel terimler ve kavramlar aşağıda açıklanmıştır [Ergün, 2006].

- Amaç: Karar vericinin isteklerini genel olarak belirten ifadedir. Örneğin karı maksimum yapmak, personel değişimini minimum yapmak, fakirliği ortadan kaldırmak bir karar vericinin amaçları olabilir [Schniederjans, 1984].
- Hedef: Ulaşılmak istenen noktanın rakamla gösterilmiş halidir [Schniederjans, 1984].
- Karar değişkenleri: Modelde karar verici tarafından değerleri aranan bilinmeyenlere karar değişkenleri denir [Ergün, 2006].
- Sistem kısıtları: Sağlanacak hammaddenin miktarı, makinelerin teknik kapasiteleri, toplam işgücü, eldeki para miktarı gibi faktörler bu kısıtları belirlemektedir. Bunlar değişimleri olanaksız olan kesin kısıtlardır [Schniederjans, 1984].
- Hedef kısıtları: Karar verici tarafından belirlenen hedeflerin oluşturduğu kısıtlardır. Bunlar sistem kısıtları kadar katı ve değişmez değildir. Sistem kısıtları sağlandıktan sonra hedef kısıtlarının sağlanması süreci başlar. Hedeflenen başarı ile gerçekleşen başarı arasındaki farka sapma denir. Hedef tam anlamıyla sağlanmışsa sapma sıfırdır. Hedefe ulaşamamışsa negatif sapma, hedefin üzerinde bir başarı sağlanmışsa pozitif sapma meydana gelir [Ergün, 2006].
- Öncelik faktörleri: Hedef programlamanın en önemli özelliklerinden biri ulaşılacak istenilen hedefler arasında, önceliklerine göre bir sıralama yapma olanağı vermesidir. Öncelik faktörleri yardımıyla yapılan sıralama hedeflerin önem derecelerini gösterir [Schniederjans, 1984].
- Amaç fonksiyonu: Herhangi bir amaç için belirlenen hedeften olabilecek sapmaları en küçükleyen fonksiyona amaç fonksiyonu adı verilir [Ergün, 2006].
- Birleşik erişim fonksiyonu: Tüm amaç fonksiyonlarının belirli bir öncelik seviyesine göre toplam şeklinde yazılmasıyla oluşturulur. Erişim fonksiyonunun oluşturulmasındaki neden çok amaçlı modeli tek amaçlı bir modele indirgemektir. Böylelikle asıl amaç, hedeflerden sapmaların toplamını en küçüklemek olacaktır [Ergün, 2006].

4.3.3. Hedef programlama modeli

Genel bir hedef programlama problemi Ignizio (1979) tarafından,

$$\text{Min } \bar{a} = P_1 h_1(n, p), P_2 h_2(n, p), \dots, P_k h_k(n, p)$$

$$f_i \bar{x} + n_i + p_i = b_i \quad i=1, \dots, m$$

$$n_i, p_i \geq 0 \quad \forall i$$

$$\bar{x} \geq \bar{0}$$

şeklinde formüle edilmiştir [Ignizio, 1979].

Burada,

$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_j)$: karar değişkenleri vektörü

f_i : i . amaç fonksiyonu

$\bar{a}$: Birleşik erişim fonksiyonu

b_i : i . amaç fonksiyonu için karar verici tarafından belirlenmiş hedef değeri

n_i : i . hedefin negatif sapma değeri

p_i : i . hedefin pozitif sapma değeri

$h_k(n, p)$: sapma değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu

P_k : $h_k(n, p)$ fonksiyonunun öncelik sırasıdır.

Hedef programlama problemlerinde hedeflerin durumuna göre minimum yapılacak sapmalar Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir [Akyüz, 2006].

Çizelge 4.2. Hedeflerin durumuna göre minimum yapılacak sapmalar

HEDEF	HEDEFİN SAPMALAR KULLANILARAK EŞİTLENMESİ	MİNİMUM YAPILACAK (İSTENMEYEN) SAPMA
$g_i(x) \leq b_i$	$g_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i$	d_i^+
$g_i(x) = b_i$	$g_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i$	$d_i^- + d_i^+$
$g_i(x) \geq b_i$	$g_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i$	d_i^-

4.3.4. Hedef programlama ve doğrusal programlama karşılaştırılması

Hedef programlama ile doğrusal programlama yöntemlerinin karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılır [Ergün, 2006]:

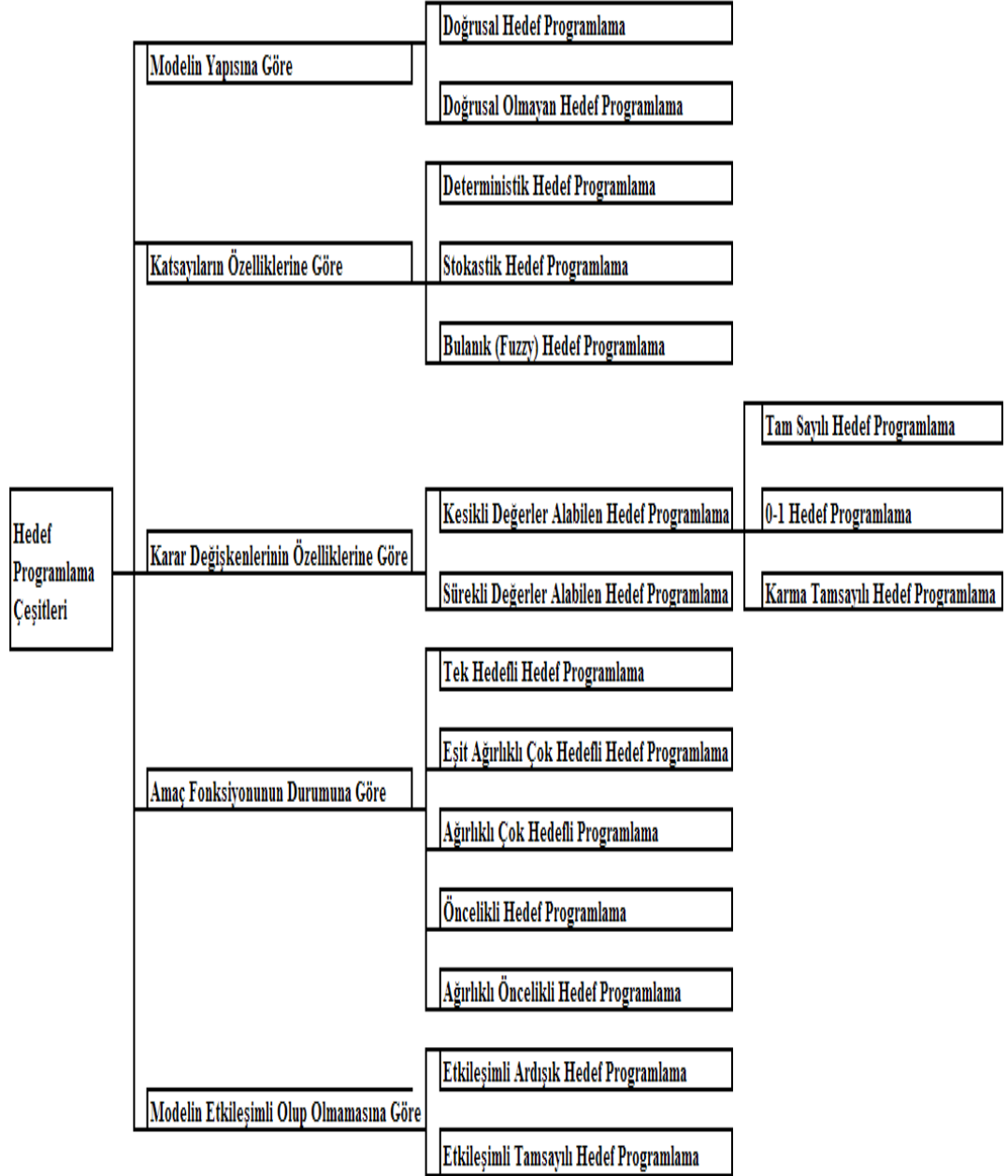
- Doğrusal programlama modelinde doğrusal bir amaç fonksiyonu optimal yapılmaya çalışılırken, HP modelinin amaç fonksiyonunda hedeflerden sapmalar minimize edilmeye çalışılır. Hedef programlamada doğrusal programlamadan farklı olarak tek bir amaç yerine, birbiri ile çelişebilen birden çok amaç bulunabilir. Bundan dolayı doğrusal programlamadaki çözüm optimal iken hedef programlamada bulunan çözüm en uygun çözümdür.
- Doğrusal programlamada bütün kısıtlar eşit önemdedir ve hepsi eş zamanlı olarak sağlanmalıdır. Hedef programlamada ise kısıtlar belirlenen öncelik sıralarına göre sağlanmaya çalışılır.
- Hedef programlamada bulunan pozitif ve negatif sapma değişkenleri, doğrusal programlamadaki aylak değişkenlere karşılık gelir.
- Doğrusal programlamada amaç fonksiyonu maksimizasyon veya minimizasyon şeklinde olabilirken hedef programlamada amaç fonksiyonu sadece minimizasyon şeklinde olur. Hedef programlamada hedefler birer kısıt olarak modele girer. Kaynaklar üzerindeki sınırlamaları yansıtan kısıtlar modele aynen herhangi bir doğrusal programlama modeline katılacağı gibi dâhil edilir.
- Doğrusal programlamada hedef belirlenmezken, hedef programlamada ise hedef değerleri gereklidir.
- HP karar verici açısından daha esnek yapıya sahip bir yöntemdir.
- Doğrusal programlamada ve hedef programlamada bütün değişkenler sıfır ya da sıfırdan büyük değerler almak zorundadır.
- HP modelinin avantajları olarak bu yöntemle iki ve daha çok amaca sahip karar problemlerinin çözümü yapılabilir. Gevşek kısıtlara izin verir. HP, doğrusal programlamada “uygun çözümü mevcut olmayan” (infeasible) problemlere

uygun bir çözüm geliştirmede yardımcı teknik olarak da kullanılır [Eranıl, 2008].

- HP modelinin dezavantajı olarak başarıma fonksiyonunun çok sayıda amaç fonksiyonunun birleştirilmesiyle oluşturulmasıdır. Bu nedenle karmaşık bir yapıya sahip olabilirler. Hedef değerlerinin karar verici tarafından tespit edilmesi gerekir. Karar verici, hedeflerin ağırlıklarını ve öncelik seviyelerini belirlemeli ve bu değerleri bağdaşık hale getirecek bir yol bulunmalıdır [Eranıl, 2008].

4.3.5. Hedef programlama çeşitleri

Hedef programlama ile ilgili yapılan çalışmalar modelin yapısına, katsayıların özelliklerine, karar değişkenlerinin özelliklerine, amaç fonksiyonunun durumuna ve modelin etkileşimli olup olmamasına göre şekil 4.17.'de gösterildiği gibi beş temel sınıfta gruplandırılır [Ergün, 2006, Eskimez, 2006].



Şekil 4.17. Hedef programlama çeşitleri

4.3.6. Hedef programlama çözüm yöntemleri

Hedef programlama modellerin çözümünde: grafik, ardışık sayısal ve değiştirilmiş simpleks çözüm tekniği gibi teknikler kullanılmaktadır. Grafik çözüm tekniğinde en

fazla üç karar değişkeni ile çözüm yapılabilir. Ardışık sayısal çözüm tekniği ise uzun ve ardışık işlemlerden oluşmaktadır. Ardışık sayısal çözüm tekniğinin uygulanması zor olup, hata yapma olasılığı da yüksektir. Değiştirilmiş simpleks tekniği tüm bu sakıncaları ortadan kaldıran etkin kullanımlı bir tekniktir. Yukarıda bahsedilen doğrusal hedef programlama modellerinin çözümünde kullanılan çözüm yöntemlerinin yanısıra tamsayılı doğrusal hedef programlama modellerinin çözüm yöntemleri de bulunmaktadır. Bunlar Gomory'nin kesme düzlemi yöntemi ve genellikle karma tamsayılı doğrusal programlama modellerine uygulanan ve tamsayılı doğrusal hedef programlama modellerine de kolayca uygulanabilen dal sınır yöntemidir [Atlas, 2005]. Doğrusal olmayan hedef programlama modellerinin çözüm teknikleri simplex yaklaşımı (Yaklaşıklaştırma programlaması olarak açıklanan MAP yaklaşımı, ayrılabilir programlama ve kareli programlama), direkt arama yaklaşımı ve gradient arama yaklaşımı olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir [Eskimez, 2006]. Doğrusal olmayan hedef programlama modellerinin elle çözümü oldukça zordur. Özellikle karar vericiler arttıkça çözüm zorlaşır. Fakat doğrusal olmayan hedef programlama modelleri bilgisayarların ve programların gelişmesiyle bilgisayarlar aracılığı ile saniyede çözülmektedir. Bunun için kullanılan en popüler programlar lingo, solver vb. dir [Akyüz, 2006].

4.4. Bulanık Hedef Programlama

Hedef programlama problemlerinde, amaç ve hedef değerleri için her zaman kesin veriler ve değerler söz konusu olmaz. Mevcut verilerin ve değerlerin kesinliği varsayımı, elde kesin veri olmaması, hedef değerlere ulaşılmasında zorluk ve hedef değerleri belirlemede kararsızlık durumları olduğunda gerçek hayat problemlerinde doğru sonuca ulaşmak için yeterli gelmez. Bu yüzden kesinliğin olmadığı, kararsızlığın bulunduğu problemleri bulanık ortamda değerlendirmek daha gerçekçi olacaktır.

1977 yılında Neigota ve Ralesco tarafından yapılan çalışmada bulanık kısıtlara sahip bir optimizasyon probleminin, uygun tekniklerle sıradan bir optimizasyon problemine dönüştürülebileceği üzerinde durulmuştur. Bulanıklık içeren sağ-yan

değerlerinin, belirsizlik içermeyen kesin ifadeler haline dönüştürülmesi için gerekli teknikler bulmaya yönelik olarak yapılan bu çalışmada Chebyshev kuralı kullanılarak, bulanık kümelerden sıradan kümelerin oluşturulması üzerinde durulmuştur [Erdin, 2007].

1996 yılında Martel ve Aouni ile 1997 yılında Aouni ve ark., klasik hedef programlamadan farklı olarak içinde belirsizlik bulunduran hedefleri formüle etmek için yeni bir model geliştirmiştir. Bu çalışmalarda, HP içerisine, hedef fonksiyonundaki hedeflerden sapmayı belirlemek için tatmin düzeyi fonksiyonu eklenmiş ve bu hedef değerlere ait belirsizliği karakterize etmek için tatmin düzeyi fonksiyonunda kayıtsızlık eşiği kavramı kullanılmıştır. Bu yaklaşımla karar verici formülasyona kendi tercihini belirgin bir şekilde ekleyebilmiştir. Bulanık bir ortamda hedeflerin belirsiz hedef değerlerini belirli kılmak için Narasimhan (1980) üyelik fonksiyonlarını kullanarak BHP yöntemini önermiştir. Bu ve diğer benzer çalışmalar Zimmermann (1978) tarafından ortaya atılan bulanık programlama yaklaşımından etkilenmiştir [Zimmermann, 1978]. BHP yaklaşımının taşıma problemlerinin çözümü, tasarım optimizasyonları, mekanik ve yapısal sistemlerin optimizasyonu, yerleşim planlamasının optimizasyonu gibi farklı alanlarda birçok uygulamaları vardır. Chen (1985), Hannan (1981), Ignizio (1976), Tiwari (1987), Rao (1987), Yang (1991) gibi bazı araştırmacılar BHP alanında problem formülasyonu, göreceli önem derecesi ve bulanık hedeflerin bulanık önceliklerine dair çalışmalar yapmış ve bunlara ait çözüm önerileri geliştirmiştir. BHP formülasyonunda Tiwari ve ark. (1987) dışındaki araştırmacıların çoğu bulanık hedef ve kısıtları gerçekleyen, bulanık kararlara ulaşmak için minimizasyon operatörlerini kullanmıştır. Daha sonra da maksimizasyon kararı olarak bulanık kararın maksimum üyelik derecesine sahip karara bakılmıştır. Günümüzdeki yaklaşıma göre, bulanık kararın bulanık hedefler ile bulanık kısıtların kesişimi olduğu kabul edilmektedir. Bundan dolayı da kararlar arasında bir farklılık olmadığı kabul edilir [Vatansever, 2008].

4.4.1. Bulanık hedef programlama modeli

Hedef programlama modelinde amaç fonksiyonları, hedef değerler ve kısıtlayıcılar deterministik olarak ifade edilir. Deterministik ifade edilen bu değerler genellikle karar vericilerin öznel yargılarına göre belirlenir. Bu öznellik de HP modelinde bulanık küme teorisinin ele alınmasını sağlamıştır. Bulanık küme teorisi HP modeline uygulandığı zaman hedef değerler için “yaklaşık olarak...” e eşit”, “...”den oldukça küçük” gibi ifadeler kullanılır. Hedeflere ilişkin bu ifadeler de bulanık kümelerdeki üyelik fonksiyonları ile ele alınır.

Hedefler için belirlenen erişim düzeylerinin bulanık olduğu varsayımı ile genelleştirilmiş bir BHP modeli aşağıdaki gibi ifade edilir [Özkan, 2003].

$$\left. \begin{array}{l} Ax_i \approx b_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m_1 \\ Ax_i \lesseqgtr b_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m_2 \\ Ax_i \gtrless b_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m_3 \end{array} \right\} \text{Bulanık hedefler} \quad (4.35)$$

$$\left. \begin{array}{l} Ax_l =, \leq, \geq b_l \quad ; \quad l = 1, 2, \dots, p \\ x_j \geq 0 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \text{Bulanık olmayan kısıtlayıcılar} \quad (4.36)$$

Yukarıdaki Eş. 4.35’deki formülde kullanılan $\approx, \lesseqgtr, \gtrless$ simgeleri sırasıyla $=, \leq, \geq$ simgelerinin bulanıklaştırılmış halidir. Bu modelde, i ’ nci hedef için karar vericinin belirlediği bulanık erişim düzeyi b_i ile gösterilmiştir.

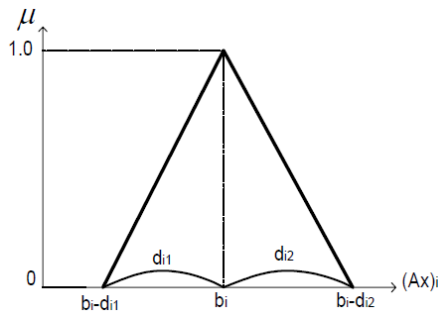
BHP için geliştirilen çözüm yaklaşımlarının çoğunda, bulanık hedefler işlemsel kolaylık sağlamasından dolayı Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları ile nitelenmiştir. Bulanık hedefler için Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilir [Özkan, 2003].

$$Ax_i \approx b_i \Rightarrow \mu_i x = \begin{cases} 0 & ; \text{ eğer } Ax_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - Ax_i}{d_i} & ; \text{ eğer } b_i - d_i \leq Ax_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{Ax_i - b_i}{d_i} & ; \text{ eğer } b_i \leq Ax_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 0 & ; \text{ eğer } Ax_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.37)$$

$$Ax_i \lesseqgtr b_i \Rightarrow \mu_i x = \begin{cases} 0 & ; \text{ eğer } Ax_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - Ax_i}{d_i} & ; \text{ eğer } b_i \leq Ax_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } Ax_i \leq b_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.38)$$

$$Ax_i \gtrless b_i \Rightarrow \mu_i x = \begin{cases} 0 & ; \text{ eğer } Ax_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{Ax_i - b_i}{d_i} & ; \text{ eğer } b_i - d_i \leq Ax_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } Ax_i \geq b_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.39)$$

Burada, i ' nci bulanık hedef için karar vericinin belirlediği erişim değeri b_i çevresinde kabul edilebilir maksimum miktarda sapmalar oluşabilir. Bu sapmalar d_i ile gösterilmiştir. Kesin olarak belirlenemeyen hedef ve kabul edilebilir maksimum miktarda sapma, Şekil 4.18.'de gösterilmiştir [Güneş ve Umarusman, 2003].



Şekil 4.18. Bulanık hedefler için üçgensel üyelik fonksiyonu

Şekil 4.18.'de gösterilmiş olan üçgensel üyelik fonksiyonunda kullanılan;

b_i : tercih edilen değer,

$b_i - d_i$: en kötümser değer,

$b_i + d_i$: en iyimser değerdir.

4.4.2. Bulanık hedef programlama çözüm yöntemleri

Bulanık hedef programlama modeli için literatürde çeşitli çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar aşağıda verilmiştir [Özkan, 2003].

- Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Narasimhan Yaklaşımı
- Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Hannan Yaklaşımı
- Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Yang, Ignizio ve Kim Yaklaşımı
- Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Tiwari, Dharmar ve Rao Yaklaşımı
- Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Chen Yaklaşımı
- Kim ve Whang yaklaşımı
- Chen ve Tsai' nin Toplamsal Model Yaklaşımı
- Wang ve Fu yaklaşımı
- Parçalı Doğrusal Üyelik Fonksiyonlarıyla Hannan Yaklaşımı
- Parçalı Doğrusal Üyelik Fonksiyonlarıyla Yang, Ignizio ve Kim Yaklaşımı
- Tiwari, Dharmar ve Rao' nun Toplamsal Model Yaklaşımı

Bu tez çalışmasında doğrusal üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla Yang, Ignizio ve Kim yaklaşımı kullanılmıştır.

Doğrusal Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Yang, Ignizio ve Kim Yaklaşımı

Yang ve ark. (1991) geliştirdikleri çözüm yaklaşımında Zimmermann'ın, simetrik bulanık doğrusal programlama problemini, ek bir değişken olan λ 'yı kullanarak,

geleneksel bir doğrusal programlama modeline dönüştürmüşlerdir. λ değişkeni bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların çözüm vektörü x tarafından eş zamanlı olarak doyurulma derecesini göstermekte olup λ değişkeni $[0,1]$ arasında tanımlanmıştır. Çözüm için bulanık karar kümesinin en yüksek dereceli λ elemanı Eş. 4.40'da ifade edilen doğrusal programlama problemi çözülerek belirlenir [Özkan, 2003].

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \lambda \\
 & 1 - \frac{b_i - Ax_i}{d_i} \geq \lambda \quad i=1, 2, \dots, m \\
 & 1 - \frac{Ax_i - b_i}{d_i} \geq \lambda \quad i=1, 2, \dots, m \\
 & 0 \leq \lambda \leq 1 \\
 & x_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{4.40}$$

4.4.3. Bulanık hedef programlama ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları

Bulanık hedef programlama modeli için geliştirilen doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarına yönelik çözüm yaklaşımlarından en yaygın kullanılanları kısmi doğrusal üyelik fonksiyonları, üstel yapıdaki üyelik fonksiyonları ve hiperbolik üyelik fonksiyonlarıdır [Akman, 2009].

Bu tez çalışmasında doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonları kullanıldığı için bu konu detaylı olarak açıklanmış diğer yaklaşımlar açıklanmamıştır.

Hiperbolik üyelik fonksiyonları

Hiperbolik üyelik fonksiyonu 1976 yılında Hersh ve Caramazza tarafından geliştirilmiştir. Doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları içeren model dönüşümler ile doğrusal programlama modeli şeklinde ifade edilerek çözülür [Leberling, 1981].

Hiperbolik fonksiyon tanımlamasına göre bulanık hedef programlama probleminde kullanılan üyelik fonksiyonu Eş. 4.41 şeklinde gösterilir [Akman, 2009].

$$\mu_i(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{e^{\frac{z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}} - e^{\frac{-z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}}}{e^{\frac{z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}} + e^{\frac{-z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}}} \right) + \frac{1}{2} \quad (4.41)$$

Burada;

z_i^0 : i . hedefin alt sınırı,

z_i^m : i . hedefin üst sınırı,

α_i : $3 / 2(z_i^0 - z_i^m)$: i . hedef değer parametresidir.

Bulanık programlama problemlerinin genel ifadesi Eş. 4.42'deki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} &\max \lambda \\ &\lambda - \mu_i(x) \leq 0, \quad i=1, \dots, k \\ &0 \leq \lambda \leq 1 \\ &x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.42)$$

Eş. 4.42'de verilen bulanık programlama probleminde hiperbolik üyelik fonksiyonu kullanıldığında problem Eş. 4.43'teki biçimde ifade edilir.

$$\begin{aligned} &\max \lambda \\ &\lambda - \frac{1}{2} \left(\frac{e^{\frac{z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}} - e^{\frac{-z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}}}{e^{\frac{z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}} + e^{\frac{-z_i(x) - z_i^m + z_i^0}{2\alpha_i}}} \right) \leq \frac{1}{2}, \quad i=1, \dots, k \\ &x, \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (4.43)$$

Eş. 4.42'de ifade edilen problem doğrusal olmayan programlama probleminin çözümü için öncelikle doğrusal bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir.

$x \in \mathcal{R}$ olmak üzere, $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$ dönüşümü kullanıldığında Eş. 4.43'deki

model aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \lambda - \frac{1}{2} \tanh \left[z_i(x) - \frac{1}{2} (z_i^m + z_i^0) \alpha_i \right] \leq \frac{1}{2}, \quad i=1, \dots, k \\ & x, \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (4.44)$$

Eş. 4.44'de gerekli düzenlemeler yapıldığında Eş. 4.45 ve Eş. 4.46 eşitlikleri elde edilir.

$$\tanh \left[z_i(x) - \frac{1}{2} (z_i^m + z_i^0) \alpha_i \right] \geq 2\lambda - 1, \quad i=1, \dots, k \quad (4.45)$$

$$\tanh^{-1} \tanh \left[z_i(x) - \frac{1}{2} (z_i^m + z_i^0) \alpha_i \right] \geq \tanh^{-1} 2\lambda - 1, \quad i=1, \dots, k \quad (4.46)$$

Problem bu haliyle doğrusal olmayan bir yapıdadır. Problemi çözebilmek için doğrusal bir yapıya kavuşturmak gerekmektedir. Bu nedenle, n tane değişken içeren problemde $(n+1)$ 'inci değişken olarak $X_{n+1} = \tanh^{-1} 2\lambda - 1$ değişkeni tanımlanır ve problem aşağıda verilen (Eş. 4.47) doğrusal programlama problemine dönüşür.

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \alpha_i z_i(x) - X_{n+1} \geq \frac{1}{2} \alpha_i (z_i^m + z_i^0), \quad i=1, 2, \dots, k \\ & x, \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (4.47)$$

Burada $\lambda = \frac{1}{2} \tanh(X_{n+1}) + \frac{1}{2}$ olduğundan,

$$\max X_{n+1} \quad (4.48)$$

$$\alpha_i z_i(x) - X_{n+1} \geq \frac{1}{2} \alpha_i (z_i^m + z_i^0), \quad i=1,2,\dots,k$$

$$x \geq 0$$

doğrusal programlama modeli elde edilir.

Hesaplanan X_{n+1} değerine göre λ değeri, $\lambda = \frac{1}{2} \tanh(X_{n+1}) + \frac{1}{2}$ eşitliği kullanılarak belirlenir [Leberling, 1981]. Bulunan bu λ değeri hedeflerin ne ölçüde sağlandığını gösterir.

4.4.4. Bulanık hedef programlama ve geleneksel hedef programlamanın karşılaştırılması

Bulanık hedef programlama ile hedef programlama yöntemleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilir [Eranıl, 2008].

- Hedef programlama ve bulanık hedef programlama çok amaçlı problemleri çözmek için kullanılan yaklaşımlardır. Her iki yaklaşımda da her bir hedef için ulaşılmak istenen bir değer bulunmaktadır. Ulaşılmak istenen bu değerler karar verici ya da karar analisti tarafından belirlenir.
- Hedef programlamada ihtiyaç olmamasına rağmen bulanık hedef programlamada her bir hedeften izin verilen sapma miktarlarına ihtiyaç vardır. Sapma miktarının büyük belirlenmesi, amacın az önemli olduğunun göstergesidir.
- Genel olarak hedef programlama ile bulanık hedef programlama arasındaki en önemli farklardan birisi bulanık hedef programlamanın hedef programlamaya göre daha esnek olmasıdır.
- Diğer önemli bir farklılık da hedef programlamada hedeflere karar verici tarafından belirli değerler verilme zorunluluğudur. Günümüzde karar vericileri en fazla zorlayan konulardan birisi de bu değerlerin ne olacağının belirlenmesidir. Hedef değerlerdeki belirsizlik karar vericileri zor duruma

düşürmektedir. Hedef programlamadaki hedef değerin kesin olarak modele yerleştirilme zorunluluğu bulanık hedef programlama yaklaşımı ile esnetilebilmekte ve bu durumda karar vericiye esneklik sağlanmaktadır.

- Hedef programlama ile yapılan çözümlerde hedeflere belirli değerler verilmekte ve hedeflerin eşitlik ya da eşitsizlik olmasına göre sapma değişkenlerinin aldığı değerler bu hedeflere ne kadar ulaşıp ulaşılmadığını göstermektedir. Amaç fonksiyonunda yer alan sapma değişkenleri sıfır ya da sıfıra yakın değer alırsa hedeflere o kadar ulaşılmaktadır. Bulanık hedef programlama da ise hedefler tam belirgin değildir ve bu değerler üyelik fonksiyonuna bağlı olarak tolerans limitleri ile belirlenmeye çalışılmaktadır. Tolerans değerlerinin hedef değerine göre göreceli büyüklüğü belirsizliğin ne kadar çok ya da az olduğunun göstergesidir. Üyelik fonksiyonunun değeri ile belirsiz olan hedef değerlere verilen tolerans değerlerine ne kadar ulaşıp ulaşılmadığı anlaşılır. Üyelik fonksiyonunun değeri bire ne kadar yakınsa üyelik fonksiyonunun başarıma derecesi o kadar yüksek olmaktadır. Başka bir ifadeyle, belirlenen değerler o kadar doğru olmaktadır.
- Standart bir hedef programlama formülasyonunda hedefler ve kısıtlar açık ve kesin olarak tanımlanarak verilen bir çerçeve yardımı ile birden fazla amacın optimal gerçekleşmesi araştırılır. Hedefler, kesin ve matematiksel eşitlikler kullanılarak belirlenen hedef değerlere dayanılarak formülasyonu yapılır. Hedef programlama içerisine bulanık küme teorisinin uygulanmasındaki en önemli avantaj karar vericinin bulanık hedef değerlerinin belirlenmesidir. Bulanık çok amaçlı karar verme tekniğindeki bir diğer önemli avantaj, hedefler ve kısıtların tamamen simetrik olarak oluşturulmasıdır.

5. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA UYGULAMASI

5.1. Varsayımlar

Bu çalışmada, çok dönemli, çok aşamalı, tek ürünlü, tek üretim merkezi olan gerçek bir üretim sistemi ele alınmıştır. Üretim merkezinde üç adet ön hazırlık istasyonu, iki adet ara depo, iki adet montaj istasyonu bulunmaktadır. Üretimi tamamlanan ürünler gerekirse fabrikaya ait iki adet ana depoda stoklanmakta veya nihai tüketiciye gönderilmek üzere birbirinden bağımsız yedi adet perakendeciye gönderilmektedir.

Üretim sisteminde ortaya çıkan değişken üretim maliyetleri ve stok tutma maliyetleri sırasıyla istasyonlar ve ara depolar arasında farklılık göstermektedir. Ana depolarda stok tutma maliyetleri ve taşımalarda oluşan maliyetler de kendi aralarında farklılıklar göstermektedir. Uygulamada üç aylık bir döneme ait üretim-dağıtım planı oluşturulmuştur. Amacımız bulanık hedeflerle, kapasite ve stok denge kısıtları altında üretim, dağıtım ve stok tutma maliyetlerini en küçükmek ve karı en büyükmektir.

Her iki model ile belli bir dönem içerisinde üretilen ürünün, ne zaman, ne miktarda üretileceği, hangi perakendeciye ulaştırılacağı, hangi depoda ve ne miktarda depolanacağı gibi karar değişkenleri ve üyelik fonksiyonu dereceleri belirlenmiştir.

5.2. Model Değişkenleri, Parametreler ve Karar Değişkenleri

Modellerde kullanılan değişkenler aşağıda açıklanmıştır.

j : ön hazırlık istasyonu sayısı ($j=1, 2, 3$)

s : montaj istasyonu sayısı ($s=1, 2$)

k : depo sayısı ($k=1, 2$)

l : perakendeci/satıcı sayısı ($l=1, \dots, 7$)

t : dönem sayısı ($t=1, 2, 3$)

Modelde kullanılan parametreler aşağıda açıklanmıştır.

C_{jt} : t döneminde j ön hazırlık istasyonunda üretilen ürünün birim üretim maliyeti

h_{jt} : t döneminde j ön hazırlık istasyonunda üretilen ürünün birim stok tutma maliyeti

P_{jt} : t döneminde j ön hazırlık istasyonunun kapasitesi

CT_{jst} : t döneminde j ön hazırlık istasyonundan s montaj istasyonuna üretilen ürünün birim taşıma maliyeti

C_{st} : t döneminde s montaj istasyonunda üretilen ürünün birim üretim maliyeti

P_{st} : t döneminde s montaj istasyonunun kapasitesi

CT_{skt} : t döneminde s montaj istasyonundan k deposuna üretilen ürünün birim taşıma maliyeti

h_{kt} : t döneminde üretilen ürünün k deposunda birim stok tutma maliyeti

P_{kt} : t döneminde k deposunun kapasitesi

CT_{klt} : t döneminde k deposundan l perakendecisine ürünün birim taşıma maliyeti

P_{lt} : t döneminde l perakendecisinin kapasitesi

D_{lt} : t döneminde l perakendecisinin ürün talebi

Modelde kullanılan karar değişkenleri aşağıda açıklanmıştır.

X_{jt} : t döneminde j ön hazırlık istasyonunda üretilen ürün miktarı

I_{jt} : t döneminde j ön hazırlık istasyonunda stok tutulan ürün miktarı

V_{jst} : t döneminde j ön hazırlık istasyonundan s montaj istasyonuna taşınan ürün miktarı

Y_{skt} : t döneminde s montaj istasyonundan k deposuna taşınan ürün miktarı

I_{kt} : t döneminde k deposunda stok tutulan ürün miktarı

Z_{klt} : t döneminde k deposundan l perakendecisine taşınan ürün miktarı

5.3. Kısıtlar

Problem için belirlenen kar, üretim maliyeti, stok tutma ve taşıma maliyeti fonksiyonları ile sistem kısıtları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Kar Fonksiyonu

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 \sum_{t=1}^3 Z_{klt} \cdot 1000 - \sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 C_{jt} \cdot X_{jt} + h_{jt} \cdot I_{jt} + \sum_{j=1}^3 \sum_{s=1}^2 CT_{jst} \cdot V_{jst} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 C_{st} + CT_{skt} \cdot Y_{skt} + \sum_{k=1}^2 h_{kt} \cdot I_{kt} + \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 CT_{klt} \cdot Z_{klt} \right] \quad (5.1)$$

Üretim Maliyeti Fonksiyonu

$$\sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 C_{jt} \cdot X_{jt} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 C_{st} \cdot Y_{skt} \right] \quad (5.2)$$

Stok Tutma Maliyet Fonksiyonu

$$\sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 h_{jt} \cdot I_{jt} + \sum_{k=1}^2 h_{kt} \cdot I_{kt} \right] \quad (5.3)$$

Taşıma Maliyeti Fonksiyonu

$$\sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 \sum_{s=1}^2 CT_{jst} \cdot V_{jst} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 CT_{skt} \cdot Y_{skt} + \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 CT_{klt} \cdot Z_{klt} \right] \quad (5.4)$$

Sistem Kısıtları

$$I_{jt} = I_{jt-1} + X_{jt} - \sum_{s=1}^2 V_{jst} \quad , \forall_{j,t} \quad (5.5)$$

$$\sum_{j=1}^3 V_{jst} = \sum_{k=1}^2 Y_{skt} \quad , \forall_{s,t} \quad (5.6)$$

$$I_{kt} = I_{kt-1} + \sum_{s=1}^2 Y_{skt} - \sum_{l=1}^7 Z_{klt} \quad , \forall_{k,t} \quad (5.7)$$

$$X_{jt} \leq P_{jt} \quad , \forall_{j,t} \quad (5.8)$$

$$\sum_{k=1}^2 Y_{skt} \leq P_{st} \quad , \forall_{s,t} \quad (5.9)$$

$$\sum_{s=1}^2 Y_{skt} \leq P_{kt} \quad , \forall_{k,t} \quad (5.10)$$

$$\sum_{k=1}^2 Z_{klt} \leq P_{lt} \quad , \forall_{l,t} \quad (5.11)$$

$$\sum_{k=1}^2 Z_{klt} = D_{lt} \quad , \forall_{l,t} \quad (5.12)$$

$$\sum_{s=1}^2 Y_{skt} = \sum_{l=1}^7 Z_{klt} \quad , \forall_{k,t} \quad (5.13)$$

$$X_{jt}, I_{jt}, V_{jst}, Y_{skt}, I_{kt}, Z_{klt} \geq 0 \quad (5.14)$$

Eş. 5.1 kar fonksiyonunu, Eş. 5.2 üretim maliyeti fonksiyonunu, Eş. 5.3 stok tutma maliyet fonksiyonunu, Eş. 5.4 taşıma maliyeti fonksiyonunu belirtmektedir. Bu fonksiyonlar direk olarak amaç fonksiyonunda kullanılmamakla birlikte üyelik fonksiyonu eşitliklerinde kullanıldığı için her biri ayrı ayrı formül ile ifade edilmiştir. Eş. 5.5 ve Eş. 5.7 stok denge denklemleridir. Eş. 5.6, ön hazırlık istasyonlarından montaj istasyonlarına taşınan ürün miktarlarının, montaj istasyonlarından depolara taşınan ürün miktarlarına eşit olduğunu göstermektedir. Eş. 5.8-5.11 kapasite kısıtı denklemleridir. Eş. 5.12, depolardan perakendecilere taşınan ürün miktarlarının, perakendecilerin ürün taleplerine eşit olduğunu belirtmektedir. Eş. 5.13, montaj

istasyonlarından depolara taşınan ürün miktarları ile depolardan perakendecilere taşınan ürün miktarının denkliği denklemidir. Kısıt setinden oluşan Eş. 5.14 pozitiflik kısıtlarını içermektedir.

5.4. Bulanık Model ve Çözümü

Çok dönemli, çok aşamalı, tek ürünlü, tek üretim merkezi olan üretim-dağıtım probleminin çözümüne yönelik iki model geliştirilmiştir. Geliştirilen iki modelde üyelik fonksiyonlarının modele dâhil edilebilmesi için karar vericinin hedef değerleri gerekmektedir. Geliştirilen modellerde kullanılan hedef değerler Çizelge 5.1.'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Modellerde kullanılan hedef değerleri

Fonksiyon	Hedef Değer	Minimum Hedef Değer	Maksimum Hedef Değer
Kar	500000	492000	508000
Üretim Maliyeti	20000	15000	25000
Depolama Maliyeti	1150	1100	1200
Taşıma Maliyeti	11500	11000	12000

Bu hedef değerlerine ilişkin geliştirilen üçgensel üyelik fonksiyonlu ve hiperbolik üyelik fonksiyonlu bulanık hedef programlama modelleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

5.4.1. Üçgensel doğrusal üyelik fonksiyonları ile çözüm modeli

Eş. 4.40, uygulama çalışmasının verilerine göre düzenlendiğinde aşağıdaki bulanık hedef programlama modeline dönüşür.

$$\begin{aligned} & \text{Maks } \lambda \\ & \text{s.t.} \end{aligned} \tag{5.15}$$

$$\lambda \leq 1 - \left(\left(\sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 \sum_{t=1}^3 Z_{klt} \cdot 1000 - \left[\sum_{j=1}^3 \left[\sum_{i=1}^3 C_{ji} \cdot X_{ji} + h_{ji} \cdot I_{ji} + \sum_{s=1}^2 CT_{jst} \cdot V_{jst} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 C_{st} + CT_{skt} \cdot Y_{skt} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 h_{kt} \cdot I_{kt} + \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 CT_{klt} \cdot Z_{klt} \right] \right] - 492000 \right) / 16000 \right) \tag{5.16}$$

$$\lambda \leq 1 - \left(25000 - \left(\sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 C_{jt} \cdot X_{jt} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 C_{st} \cdot Y_{skt} \right] \right) \right) / 10000 \tag{5.17}$$

$$\lambda \leq 1 - \left(1200 - \left(\sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 h_{jt} \cdot I_{jt} + \sum_{k=1}^2 h_{kt} \cdot I_{kt} \right] \right) \right) / 100 \tag{5.18}$$

$$\lambda \leq 1 - \left(12000 - \left(\sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 \sum_{s=1}^2 CT_{jst} \cdot V_{jst} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 CT_{skt} \cdot Y_{skt} + \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 CT_{klt} \cdot Z_{klt} \right] \right) \right) / 1000 \tag{5.19}$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \tag{5.20}$$

Eş. (5.5)–(5.14)

Eş. 5.15 amaç fonksiyonu, bulanık karar kümesinin üyelik fonksiyonunu maksimum yapan bir fonksiyondur. Eş. 5.16-5.19 sırasıyla kar, üretim maliyeti, stok tutma maliyeti ve taşıma maliyeti için üyelik fonksiyonu denklemleridir. Eş. 5.20, λ değerinin tanımlı olduğu alanı belirtmektedir. Bu modele Eş. 5.5-5.14 numaralı sistem kısıtları da eklenmiştir.

5.4.2. Hiperbolik üyelik fonksiyonları ile çözüm modeli

Eş. 4.48, uygulama çalışmasının verilerine göre düzenlendiğinde aşağıdaki bulanık hedef programlama modeli elde edilir.

$$\begin{aligned} & Maks \ X_{n+1} \\ & s.t. \end{aligned} \quad (5.21)$$

$$\begin{aligned} & \alpha_1 \cdot \left(\sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 \sum_{t=1}^3 Z_{klt} \cdot 1000 - \right. \\ & \left. \sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 C_{jt} \cdot X_{jt} + h_{jt} \cdot I_{jt} + \sum_{j=1}^3 \sum_{s=1}^2 CT_{jst} \cdot V_{jst} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 h_{kt} \cdot I_{kt} + \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 CT_{klt} \cdot Z_{klt} \right] \right) \\ & -X_{n+1} \geq \frac{1}{2} \cdot \alpha_1 \cdot 492000 + 508000 \end{aligned} \quad (5.22)$$

$$\alpha_2 \cdot \sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 C_{jt} \cdot X_{jt} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 C_{st} \cdot Y_{skt} \right] - X_{n+1} \geq \frac{1}{2} \cdot \alpha_2 \cdot 15000 + 25000 \quad (5.23)$$

$$\alpha_3 \cdot \sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 h_{jt} \cdot I_{jt} + \sum_{k=1}^2 h_{kt} \cdot I_{kt} \right] - X_{n+1} \geq \frac{1}{2} \cdot \alpha_3 \cdot 1100 + 1200 \quad (5.24)$$

$$\alpha_4 \cdot \sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 \sum_{s=1}^2 CT_{jst} \cdot V_{jst} + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^2 CT_{skt} \cdot Y_{skt} + \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^7 CT_{klt} \cdot Z_{klt} \right] - X_{n+1} \geq \frac{1}{2} \cdot \alpha_4 \cdot 11000 + 12000 \quad (5.25)$$

Eş. (5.5) – (5.14)

Eş. 5.21 amaç fonksiyonu, bulanık karar kümesinin hiperbolik üyelik fonksiyonunu maksimum yapan bir fonksiyondur. Eş. 5.22-5.25 sırasıyla kar, üretim maliyeti, stok tutma maliyeti ve taşıma maliyeti için hiperbolik üyelik fonksiyonu denklemleridir. Bu modele Eş. 5.5- 5.14 numaralı sistem kısıtları da eklenmiştir.

Bu problemin çözümünde elde edilen X_{n+1} değerine göre hedeflerin ne ölçüde sağlandığını belirten λ değeri, $\lambda = \frac{1}{2} \tanh(X_{n+1}) + \frac{1}{2}$ eşitliği kullanılarak belirlenmiştir [Leberling, 1981].

5.4.3. İki modele ait çözüm sonuçları

Üçgensel üyelik fonksiyonları ve hiperbolik üyelik fonksiyonları ile geliştirilen modeller GAMS 23.8 programı ile çözülmüştür. Her iki modelin çözüm sonuçları Çizelge 5.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. Çözüm için geliştirilen modellerin çözüm sonuçları

Amaç Fonksiyonu Değerleri	Çözüm Yaklaşımı	
	Üçgensel	Hiperbolik
Kar	504.209	507.839
Üretim maliyeti	22.069	22.253
Depolama maliyeti	216	158
Taşıma maliyeti	15.506	11.750
Toplam maliyet	37.791	34.161
Üyelik fonksiyonu değeri(λ)	0,252	0,91

Üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan modelin çözümünde üretim maliyeti 22.069, depolama maliyeti 216, taşıma maliyeti 15.506 olup toplam maliyet 37.791 ve kar 504.209 elde edilmiştir.

Hiperbolik üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan modelin çözümünde ise üretim maliyeti 22.253, depolama maliyeti 158, taşıma maliyeti 11.750 olup toplam maliyet 34.161 ve kar 507.839 elde edilmiştir.

Üretim maliyeti değeri, üçgensel üyelik fonksiyonu kullanıldığında hiperbolik fonksiyonu kullanımına göre daha iyi sonuç verirken depolama maliyeti, taşıma maliyeti ve kar değerleri çözüm için hiperbolik fonksiyon kullanıldığında daha avantajlı sonuç vermiştir. Toplam maliyet değerlerine ve kara bakıldığında da hiperbolik fonksiyon kullanımı maliyet değerlerini azaltırken, kar değerini arttırmıştır.

Çözüm sonuçlarına göre üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan modele ait λ değeri 0,252 iken hiperbolik üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan modele ait λ değeri 0,91'dir. Bu değer elde edilen çözüm sonuçlarının karar kümesine ne kadar uyum gösterdiğini belirten değerdir. 0 ile 1 arasında değişen λ değeri, 1'e yaklaştığında elde edilen sonuçların optimalitesinin daha da yüksek olduğunu göstermektedir. İki çözüm sonucu karşılaştırıldığında, iki model için de aynı olan bulanık karar kümesi için daha yüksek sonuç veren çözüme hiperbolik üyelik fonksiyonu kullanılarak ulaşılmıştır.

Her iki model de Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU işlemcili bilgisayar kullanılarak çözülmüştür. Çözüm zamanı üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan model için 0,047 saniye iken hiperbolik üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan model için 0,015 saniyedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde maliyetleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini artırmak için tedarik zincirinde yer alan alt sistemlerden satın alma, üretim, dağıtım gibi farklı faaliyetler birbirine sıkı sıkıya bağlı olduklarından tedarik zincirinin bütünleşik bir yapıda optimize edilmesi gerekmektedir.

Bir tedarik zincirinin modellenmesinde farklı ve kimi zaman çelişen amaçların bir arada ele alınması gerekmekte, bu durum da oluşturulan modellerin çoğunlukla çok amaçlı olmasına neden olmaktadır. Bir tedarik zinciri, tesadüfî olaylar, verilen kararlardaki öznel istek düzeyleri, veri eksikliği, mevcut verilerin kesin olmaması gibi çeşitli belirsizlik kaynakları içermektedir. Bulanık küme teorisi, belirsizliklerin ele alınmasında ve tanımlanmasında uygun bir yapı sağlamaktadır. Bu teori, karmaşık gerçek hayat problemlerine daha esnek ve uygun modeller oluşturulabilmesini sağlamaktadır. Bugüne kadar geliştirilen tedarik zinciri modellerinde, bu belirsizlikler çok fazla dikkate alınmamış veya olasılık yaklaşımı kullanılarak yaklaşık çözümler sunulmuştur.

Bu çalışmada da karar vericilerin kesin olmayan hedef değerlerini modele dahil edebilmek amacıyla bulanık hedef programlama yaklaşımları kullanılmıştır. Belirsizliği tanımlarken doğrusal üçgensel ve doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonları kullanılarak model iki farklı yöntemle çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre hedeflerin ne ölçüde sağlandığını gösteren λ değeri, doğrusal olmayan hiperbolik üyelik fonksiyonu için daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar gerçek hayat problemleri için doğrusal programlamanın her zaman daha iyi sonuç vermediğini, doğrusal olmayan programlamanın da dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda modelde birden fazla ürün ve/veya tesis ele alınabilir. Modele emniyet stoğu ve farklı üretim kısıtları da eklenebilir. Ayrıca hiperbolik üyelik fonksiyonu dışındaki diğer doğrusal olmayan ya da yamuksal vb. doğrusal üyelik fonksiyonları kullanılarak elde edilen çözümler karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

Ağırgün, B., “Bulanık Kaba Küme Yöntemi ile Nitelik İndirgemedede Yeni Bir Algoritma”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 32-42 (2009).

Akman, G., “Bulanık Hedef Programlama Modeli ve Bir Uygulama Denemesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 13-15, 49 (2009).

Akyüz, H. İ., “Hedef Programlama ile Portföy Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 44-50 (2006).

Aliev, R., Fazlollahi, B., Guirimov, B., ve Aliev, R., “Fuzzy-Genetic Approach to Aggregate Production–Distribution Planning in Supply Chain Management”, **Information Sciences**, 177: 4241–4255 (2007).

Amid, A., Ghodsypour, S.H., ve Christopher, O., “A Weighted Additive Fuzzy Multiobjective Model for the Supplier Selection Problem under Price Breaks in a Supply Chain”, **Int. J. Production Economics**, 121: 323–332 (2009).

Amini, M., Li, H., “Supply Chain Configuration for Diffusion of New Products: An integrated Optimization Approach”, **Omega**, 39: 313–322 (2011).

Atlas, M., “Çok Amaçlı Programlamada Karar Vericinin Etkisi”, **Review of Social, Economic & Business Studies**, 5 (6): 339–352 (2005).

Ayan, T. Y., “Toplam Üretim Planlaması Problem İçin Bir Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı”, **Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 34: 69-90 (2009).

Ballou, R. H., “The Evolution and Future of Logistics and Supply Chain Management”, **European Business Review**, 19 (4): 332-348 (2007).

Bezdek, J. C., Pal, S. K., “Fuzzy Models for Pattern Recognition”, **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, New York, (1992).

Bilgen, B., “Application of Fuzzy Mathematical Programming Approach to the Production Allocation and Distribution Supply Chain Network Problem”, **Expert Systems with Applications**, 37 (6): 4488-4495 (2010).

Bojadziev, G. ve Bojadziev M., “Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications”, **World Scientific Publishing**, Singapore, (1995).

Büyüközkan, G., Vardaloğlu, Z., “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi”, **Lojistik Dergisi**, 8: 66-73 (2008).

Büyüksaatçi, S., “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 13 (2009).

Cavlak, E. B., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Üretim/Dağıtım Planlama Karar Sürecinde Tasarım ve Optimizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 20 (2009).

Chang, C.-T., “Binary Fuzzy Goal Programming”, **European Journal of Operational Research**, 180 (1): 29–37 (2007).

Chen, C., Wang, B., ve Lee, W., “Multiobjective Optimization For a Multienterprise Supply Chain Network”, **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 42: 1879–1889 (2003).

Chen, C. L., Lee, W. C., “Multi-Objective Optimization Of Multi-Echelon Supply Chain Networks With Uncertain Product Demands and Prices”, **Computers and Chemical Engineering**, 28 (6-7): 1131–1144 (2004).

Chen, H. K., “A note on a Fuzzy Goal Programming Algorithm By Tiwari, Dharmar, and Rao”, **Fuzzy Sets and Systems**, 62 (3) 287–290 (1994).

Chern, C.C., Hsieh, J. S., “A Heuristic Algorithm for Master Planning that Satisfies Multiple Objectives”, **Computers & Operations Research**, 34 (11): 3491–3513 (2007).

Christopher, M., “Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-Adding Networks”, **Financial Times**, Prentice Hall, Great Britain, (2005).

Cirstea, M., Dinu, A., Khor, J., ve McCormick, M., “Fuzzy Logic Fundamentals”, **Neural and Fuzzy Logic Control of Drives and Power Systems**, 113-122. (2002).

Demeter, K., Gelei, A., ve Jenei, I., “The Effect of Strategy on Supply Chain Configuration and Management Practices on the Basis of Two Supply Chains in the Hungarian Automotive Industry”, **Int. J. Production Economics**, 104: 555–570 (2006).

Demirli, K., Yimer, A. D., “Production-Distribution Planning with Fuzzy Costs”, **NAFIPS 2006 Annual meeting of the North American**, 702–707 (2006).

Dönmez, N., “Tedarik Zinciri Planlama İçin Bir Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 27-28 (2007).

Eranil, B., “Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı ve Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 45, 75 (2008).

Erdin, C., “Bulanık Hedef Programlama ve İşletme Yönetiminde Bir Uygulama”, Doktora Tezi, **İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul, 105 (2007).

Ergün, D., “Hedef Programlama ile Üretim Planlaması”, Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 17-18 (2006).

Eskimez, N. G., “Hedef Programlama ve Özel Bir Bankada Q-Mate Sıra Yönetim Sistemine Uyarlanması İle İlgili Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul, 19-24 (2006).

Evcil, G., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Etik Ticaret Anlayışı ve Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul, 9 (2010).

Fazlollahtabar, H., Mahdavi, I., ve Mohajeri, A., “Applying Fuzzy Mathematical Programming Approach to Optimize a Multiple Supply Network in Uncertain Condition with Comparative Analysis”, **Applied Soft Computing**, 13 (1): 550-562 (2012).

Fox, M. S., Chionglo, J. F., ve Barbuceanu, M., “The Integrated Supply Chain Management System”, Internal Report, **Enterprise Integration Laboratory, Department of Industrial Engineering, University of Toronto**, (1993).

Fuente, M.V., Rosa, L. ve Cardos M., “Integrating Forward and Reverse Supply Chains: Application to a Metal-Mechanic Company”, **The International Journal of Production Economics**, 111: 782–792 (2007).

Guillén, G., Mele, F., Bagajewicz, M., Espuña, A., ve Puigjaner, L., “Multiobjective Supply Chain Design Under Uncertainty”, **Chemical Engineering Science** 60: 1535–1553 (2005).

Güneş, M., Umarusman, N., “Bir Karar Destek Aracı Bulanık Hedef Programlama ve Yerel Yönetimlerde Vergi Optimizasyonu Uygulaması”, **Review of Social, Economic & Business Studies**, 2: 242-255 (2003).

Hannan, E. L., “Linear Programming with Multiple Fuzzy Goals”, **Fuzzy Sets and Systems**, 6: 235-248 (1981).

Hersh, H. M., Caramazza, A., “A Fuzzy Set Approach to Modifiers and Vagueness in Natural Language”, **Journal of Experimental Psychology: General**, 150: 254-276 (1976).

Hopbaoglu, F., “Tedarik zincirinde ve Lojistik Süreçlerde Depo Tasarımı ve Depo Yönetimi:Kozmetik Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 9-12 (2009).

Hu, C.-F., Teng, C.-J., ve Li, S.-Y., “A Fuzzy Goal Programming Approach to Multi-Objective Optimization Problem with Priorities”, *European Journal of Operational Research*, 176 (3): 1319–1333 (2007).

Huang, J.-J., Chen, C.-Y., Liu, H.-H., ve Tzeng, G.-H., “A Multiobjective Programming Model for Partner Selection-Perspectives of Objective Synergies and Resource Allocations”, *Expert Systems with Applications*, 37 (5): 3530–3536 (2010).

Hugos M., “Essentials of Supply Chain Management”, *John Wiley & Sons*, Hoboken, New Jersey, 14-265 (2003).

Ignizio, J. P., “Goal Programming and extensions”, *Lexington books*, Massachuset, 155-177 (1979).

Jamalnia, A., Soukhakian, M. A., “A Hybrid Fuzzy Goal Programming Approach with Different Goal Priorities to Aggregate Production Planning”, *Computers & Industrial Engineering*, 56 (4): 1474-1486 (2009).

Jin, C., Rong, W., “Modeling of Expert System of Quality Standard in Supply Chain”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27 (1): 56–61 (2011).

Kadyrova, J., “Tedarik Zinciri Yönetimi Çerçevesinde İşletme Performansının Belirlenmesi ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya, 5-18 (2009).

Karadoğan, A., Başçetin, A., Kahriman, A., ve Görgün, S., “Bulanık Küme Teorisinin Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Kullanılabilirliği”, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS 2001*, 6: 395-416 (2001).

Karahan, Ç., “Bulanık Küme Teorisiyle Yüksek Seviyede Buzlanma Potansiyelini Tahmin Eden Program Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-16 (2007).

Kumar, M., Vrat, P., ve Shankar, R., “A Fuzzy Goal Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain”, *Computers and Industrial Engineering*, 46 (1): 69–85 (2004).

Kuruüzüm, A., “Bulanık Amaç Katsayılı Doğrusal Programlama”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 14 (1): 27-36 (1999).

Lai, Y. J., Hwang, C. L., “Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications”, *Springer-Verlag*, 404: (1994).

Lai, Y. J., Hwang, C. L., “Fuzzy Mathematical Programming”, *Springer-Verlag*, Berlin, 14-71(1992).

Lam, C., Ip, W., “A Customer Satisfaction Inventory Model for Supply Chain Integration”, *Expert Systems with Applications*, 38 (1): 875–883 (2011).

Leberling, H., “On Finding Compromise Solutions in Multi Criteria Problems Using The Fuzzy Min-operator”, *Fuzzy Sets and Systems*, 6: 105-118 (1981).

Leung, K. N., “An Integrated Production-Inventory System in a Multi-Stage Multi-Firm Supply Chain”, *Transportation Research Part E*, 46 (1): 32-48 (2010).

Liang, T.-F., “Fuzzy Multi-Objective Project Management Decisions Using Two-Phase Fuzzy Goal Programming Approach”, *Computers and Industrial Engineering*, 57 (4): 1407–1416 (2009).

Liang, T.-F., “Application of Fuzzy Sets to Manufacturing/Distribution Planning Decisions in Supply Chains”, *Information Sciences*, 181(4): 842-854 (2011).

Liang, T.-F., Cheng, H.-W., “Application of Fuzzy Sets to Manufacturing/Distribution Planning Decisions with Multi-Product and Multi-Time Period in Supply Chains”, *Expert Systems with Applications*, 36 (2): 3367–3377 (2009).

Longinidis, P., Georgiadis, M. C., “Integration of Financial Statement Analysis in the Optimal Design of Supply Chain Networks Under Demand Uncertainty”, *Int. J. Production Economics*, 129 (2): 262–276 (2011).

Mercangöz, B. A., “Ağ Modelleri ve Tedarik Zincirinde Ağ Optimizasyonuna İlişkin Bir Uygulama”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 3-8 (2010).

Mula, J., Peidro, D., Diaz-Madroñero, M., ve Vicens, E., “Mathematical Programming Models for Supply Chain Production and Transport Planning”, *European Journal of Operational Research*, 204 (3): 377–390 (2010).

Narasimhan, R., “Goal Programming in a Fuzzy Environment”, *Decision Sciences*, 11 (2): 325-336 (1980).

Özdemir, A. İ., “Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişimi, Süreçleri ve Yararları”, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23: 87-96 (2004).

Özkan, M. M., “Bulanık Hedef Programlama”, *Ekin Kitabevi*, Bursa, 36, 59, 181, 192-195 (2003).

Öztürk, Ö., “Deterministik Yok satmalı/Yok satmasız Üretim-Sipariş Modeline Bulanık Küme Uygulaması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-22 (2009).

Pedrycz, W., Gomide, F., “An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design Complex Adaptive Systems”, **MIT Press**, (1998).

Peidro, D., Vasant, P., “Transportation Planning with Modified S-Curve Membership Functions Using an Interactive Fuzzy Multi-Objective Approach”, **Applied Soft Computing**, 11 (2): 2656–2663 (2011).

Peidro, D., Mula, J., Jiménez, M., ve Botella, M., “A Fuzzy Linear Programming Based Approach for Tactical Supply Chain Planning in an Uncertainty Environment”, **European Journal of Operational Research**, 205 (1): 65–80 (2010).

Peidro, D., Mula, J., Poler, R., ve Lario, F.C., “Quantitative Models for Supply Chain Planning Under Uncertainty: A Review”, **Int J Adv Manuf Technol**, 43: 400-420 (2009).

Petrovic, D., Roy, R., ve Petrovic, R., “Modelling and Simulation of a Supply Chain in an Uncertain Environment”, **European Journal of Operational Research**, 109: 299-309 (1998).

Petrovic, D., Roy, R., ve Petrovic, R., “Supply Chain Modelling Using Fuzzy Sets”, **International Journal of Production Economics**, 59: 443-453 (1999).

Pishvaei, M. S., Razmi, J., “Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming”, **Applied Mathematical Modelling**, 36 (8): 3433–3446 (2012).

Pistikopoulos, E., Georgiadis, M., Dua, W. ve Papageorgiou L., “Process Systems Engineering: Supply Chain Optimization”, **Wiley-VCH**, (2007).

Reid, R.D., ve Sanders N.R., “Operations Management: An Integrated Approach”, **John&Wiley Sons**, USA, (2007).

Saghaei, A., Didehkhani, H., “Developing An Integrated Model For The Evaluation and Selection of Six Sigma Projects Based an Anfis and Fuzzy Goal Programming”, **Expert Systems with Applications**, 38 (1): 721–728 (2011).

Sakawa, M., Nishizaki, I., ve Uemura, Y., “Fuzzy Programming and Profit and Cost Allocation For a Production and Transportation Problem”, **European Journal of Operational Research**, 131 (1): 1–15 (2001).

Schniederjans, M. J., “Linear Goal Programming”, **Petrocelli Books**, New Jersey, (1984).

Selim, H., Araz, C., ve Özkarahan, İ., “An Integrated Multi Objective Supply Chain Model in a Fuzzy Environment”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 15 (3): 2-16 (2004).

Selim, H., Özkarahan, İ., ve Araz, C., “Collaborative Production–Distribution Planning in Supply Chain:A Fuzzy Goal Programming Approach”, *Transportation Research Part E*, 44: 396–419 (2008).

Susuz, Z., “Analitik Hiyerarşi Prosesine Dayalı Optimum Tedarikçi Seçim Modeli”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 5-15 (2005).

Tan, K. C., “A Framework of Supply Chain Management Literature”, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7 (1): 39-48 (2001).

Teigen R., “Supply Chain Management Introduction”, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 12, (2000).

Temiz, İ., “Seri İş Akışlı Çizelgeleme için Bulanık Dal-Sınır Algoritması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-48 (1998).

Temiz, İ., “Bulanık İş ve Teslim Zamanlı Akış Tipi Çizelgeleme Problemi için Çok Amaçlı Genetik Algoritma”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 19-38 (2004).

Tiwari, R., Dharmar S., ve Rao J.R., “Priority Structure In Fuzzy Goal Programming”, *Fuzzy Sets and Systems*, 19: 251-259 (1986).

Torabia, S., Hassini, E., “An Interactive Possibilistic Programming Approach For Multiple Objective Supply Chain Master Planning”, *Fuzzy Sets and Systems*, 159 (2):193– 214 (2008).

Tsoukalas, L.H. ve Uhrig, R. E., “Fuzzy and Neural Approaches in Engineering”, *John Willey & Sons*, Newyork, (1997).

Unsihuay-Vila, C., Marangon-Lima, J., Souza, A. Z., ve Perez-Arriaga, I., “Multistage Expansion Planning of Generation and Interconnections with Sustainable Energy Development Criteria:A Multiobjective Model”, *Electrical Power and Energy Systems*, 33 (2): 258–270 (2011).

Vanteddu, G., Chinnam, R. B., ve Gushikin, O., “Supply Chain Focus Dependent Supplier Selection Problem”, *Int. J. Production Economics*, 129 (1): 204–216 (2011).

Vatansever, R., “Proje Planlamasında Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 27 (2008).

Wang, G., Huang, S. H., ve Dismukes, J. P., “Product-Driven Supply Chain Selection Using Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology”, *Int. J. Production Economics*, 91(1): 1–15 (2004).

Xu, R., Zhai, X., “Analysis of Supply Chain Coordination under Fuzzy Demand in a Two-Stage Supply Chain”, *Applied Mathematical Modelling*, 34 (1): 129–139 (2010).

Yaghoobi, M., Tamiz, M., “A Method for Solving Fuzzy Goal Programming Problems Based on Minmax Approach”, *European Journal of Operational Research*, 177 (3): 1580–1590 (2007).

Yang, T., Ignizio, J. P., ve Kim, H. J., “Fuzzy Programming With Nonlinear Membership Functions: Piecewise Linear Approximation”, *Fuzzy Sets and Systems*, 41 (1): 39–53 (1991).

Yılmaz, Y. D., “Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları”, *KOÜ Yayınları, Kocaeli*, 289 (2007).

Yüksel, H., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Bilgi Sistemlerinin Önemi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4 (3): 262 (2002).

Zimmermann, H. J., “Description and optimization of fuzzy sets”, *International Journal of General Systems*, 209-215 (1976).

Zimmermann, H.J., “Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions”, *Fuzzy Sets and Systems*, 1: 45-55 (1978).

Zimmermann, H. J., “Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems”, *Kluwer Academic Publishers*, Boston, (1987).

Zimmermann, H.J., “Fuzzy Sets Theory and Its Applications”, *Kluwer Academic Publishers*, Boston, (1996).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HASDEMİR, Anıl
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.11.1986 Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 385 14 95
 e-mail : anil_ha33@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Anadolu Üniversitesi/İşletme	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi/End. Müh.	2009
Lise	Süleyman Demirel A.L.	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-	ÇSGB İş Teftiş Ankara Grup Başkanlığı	İş Müfettiş Yrd.
2007-2009	Anadolu Radyant Isı Sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şti.	Kalite Doküman Soruml.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

İnternet, Masa Tenisi, Tiyatro ve Sinema