

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİMİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GRİ HEDEF PROGRAMLAMA VE YÖNTEMİN
PROTOTİP ÜRETİMİNDE İŞGÜCÜ
ÇİZELGELEME KARAR PROBLEMİNE
UYGULANMASI

Gülper BASMACI

Danışman

Doç. Dr. Aslı ÖZDEMİR

İZMİR - 2018

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİMİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GRİ HEDEF PROGRAMLAMA VE YÖNTEMİN
PROTOTİP ÜRETİMİNDE İŞGÜCÜ
ÇİZELGELEME KARAR PROBLEMİNE
UYGULANMASI

Gülper BASMACI

Danışman

Doç. Dr. Aslı ÖZDEMİR

İZMİR - 2018

YÜKSEK LİSANS
TEZ ONAY SAYFASI

Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı : GÜLPER BASMACI
Öğrenci No : 2012800122
Tez Başlığı : Gri Hedef Programlama ve Yöntemin Prototip Üretiminde İşgücü Çizelgeleme Karar Problemine Uygulanması
Savunma Tarihi : 07/08/2018
Danışmanı : Doç.Dr.Aslı ÖZDEMİR

JÜRİ ÜYELERİ

<u>Ünvanı, Adı, Soyadı</u>	<u>Üniversitesi</u>	<u>İmza</u>
Doç.Dr.Aslı ÖZDEMİR	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Dr.Öğr.Üyesi Mert TOPOYAN	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Dr.Öğr.Üyesi Pembe GÜÇLÜ	ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ	

GÜLPER BASMACI tarafından hazırlanmış ve sunulmuş olan bu tez savunmada başarılı bulunarak oy birliği (X) / oy çokluğu () ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Metin ARIKAN
Müdür

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Gri Hedef Programlama Ve Yöntemin Prototip Üretiminde İşgücü Çizelgeleme Karar Problemine Uygulanması” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

...../...../.....

Gülper BASMACI

İmza

Yüksek Lisans Tezi
Gri Hedef Programlama ve Yöntemin Prototip Üretiminde İşgücü Çizelgeleme
Karar Problemine Uygulanması

Gülper BASMACI
Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Yönetim Bilimi Programı

İşgücü çizelgeleme karar problemleri vardiyalı ve düzensiz iş günlerinde çalışan işletmelerin çözmesi gereken zor ve zaman alıcı bir sorundur. İşgücü çizelgelemesinin amacı kaynakların etkin kullanımını ve dengeli iş yükü dağılımını sağlamaktır. Aynı zamanda başarılı bir işgücü çizelgesinin personelin bireysel isteklerini mümkün olduğunca yerine getirmesi gerekmektedir.

İşletmenin içinde bulunduğu iç ve dış çevre faktörleri günümüz rekabet koşulları düşünüldüğünde belirsizlik altında kararlar almak kaçınılmaz olmaktadır. Bu durumda işletmelerin işgücü çizelgeleme karar problemlerinde belirsizliğin yansıtıldığı objektif karar verme yöntemleri kullanılarak çözülmesini gerekmektedir.

Gri sistem teorisi eksik bilgiden kaynaklanan belirsizliğin modellenmesinde kullanılan yöntemler içermektedir. Hedef Programlama yöntemi ise karar problemini sınırlayan kısıtlar çerçevesinde belirlenmiş hedeflerden sapmaları minimize edecek tatmin edici çözümler sunmaktadır. İşgücü çizelgeleme karar problemi karar vericinin birden fazla hedefe sahip olduğu bir karar problemi çeşididir. Bu açıdan eksik bilgiden kaynaklanan belirsizliğin hakim olduğu prototip üretiminde “Gri Hedef Programlama” yaklaşımının kullanılmasını uygun olmaktadır.

Bu çalışmada otomotiv sektöründe faaliyet göstermekte olan bir işletmenin prototip üretiminde karşılaştığı işgücü çizelgeleme karar problemi incenmiştir. İşletmeden alınan gerçek verilerle oluşturulan model Excel Solver yardımıyla çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hedef Programlama, İşgücü Çizelgeleme, Gri Sistem Teorisi, Gri Hedef Programlama, Çok Amaçlı Karar Verme



ABSTRACT

Master's Thesis

**Grey Goal Programming and The Application of The Method to The Labor
Scheduling Decision Problem in Prototype Production**

Gülper BASMACI

Dokuz Eylül University

Graduate School of Social Sciences

Department of Management Science

Labor scheduling decision problems are a difficult and time-consuming problem to be solved by businesses working on shift and irregular working days. The aim of the labor scheduling is to ensure efficient use of resources and balanced workload distribution. At the same time, a successful labor scheduling needs to fulfill the employee's individual needs as much as possible.

It is inevitable for businesses to make decisions under uncertainty when we consider the internal and external environmental factors in today's competition conditions. In this case, businesses need to solve the labor scheduling decision problems using objective decision-making methods that reflect the uncertainty.

Grey system theory includes methods used in modeling uncertainty caused by incomplete information. The Goal Programming method provides satisfactory solutions to minimize deviations from the goals set within the constraints that limit the decision problem. The labor scheduling decision problem is a decision problem that the decision maker has more than one goal. In this respect, it is appropriate to use the "Grey Goal Programming" approach in the production of prototypes where uncertainty caused from incomplete information is dominant.

In this study, labor scheduling decision problem with prototype production has been examined in in a business that operates in the automotive sector. The model has been solved by the help of Microsoft Excel Solver using real data derived from the business.

Keywords: Goal Programming, Labor Scheduling, Grey System Theory, Grey Goal Programming, Multiobjective Decision Making

GRİ HEDEF PROGRAMLAMA VE YÖNTEMİN PROTOTİP ÜRETİMİNDE İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME KARAR PROBLEMİNE UYGULANMASI

İÇİNDEKİLER

TEZ/PROJE ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
EKLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KARAR TEORİSİ VE HEDEF PROGRAMLAMA

1.1.KARAR TEORİSİ	3
1.1.1. Karar Verme Kavramı	3
1.1.2. Karar Verme Süreci	5
1.1.3. Karar Ortamları	7
1.1.4. Karar Problemi Türleri	10
1.1.5. Karar Verme Yöntemleri Sınıflandırması	13
1.1.6. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	15
1.1.6.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması	19
1.1.6.1.1. Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemleri	21
1.1.6.1.2. Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleri	24
1.1.6.1.3. Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemleri ile Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	27
1.2. HEDEF PROGRAMLAMA	29
1.2.1. Amaç, Hedef ve Hedef Programlama Kavramları	29

1.2.2. Hedef Programlama Kavramının Tarihsel Gelişimi ve Literatür Taraması	31
1.2.3. Hedef Programlamada Kullanılan Temel Kavramlar	34
1.2.4. Hedef Programlamanın Varsayımları	36
1.2.5. Hedef Programlamanın Genel Prensipleri	37
1.2.6. Hedef Programlamanın Genel Matematiksel Gösterimi	38
1.2.7. Hedef Programlama Türleri	41
1.2.7.1. Metrik Mesafe Tabanlı Hedef Programlama Türleri	42
1.2.7.1.1 Leksikografik Hedef Programlama (Öncelikli Hedef Programlama)	42
1.2.7.1.2. Ağırlıklı Hedef Programlama	46
1.2.7.1.3. Chebyshev Hedef Programlama	47
1.2.7.2. Karar Değişkeni ve Hedef Tabanlı Hedef Programlama Türleri	49
1.2.7.2.1. Bulanık Hedef Programlama	49
1.2.7.2.2. Tamsayı ve 0-1 Hedef Programlama	50
1.2.7.2.3. Kesirli (Fraksiyonel) Hedef Programlama	52
1.2.7.2.4. Gri Hedef Programlama	52

İKİNCİ BÖLÜM

GRİ SİSTEMLER VE GRİ DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

2.1. GRİ SİSTEM TEORİSİ	53
2.1.1. Belirsizlik Kavramı ve Tarihsel Gelişimi	53
2.1.2. Belirsizlik Türleri	58
2.1.2.1. Stokastik Belirsizlik	58
2.1.2.2. Bulanık Belirsizlik	59
2.1.2.3. Gri Belirsizlik	62
2.1.2.4. Stokastik, Bulanık ve Gri Belirsizliğin Karşılaştırılması	63
2.1.3. Gri Sistem Teorisi, Tarihsel Gelişimi ve Literatür Taraması	67
2.1.4. Gri Sistem Teorisinin Temel Prensipleri	73
2.1.5. Gri Sistem Teorisinin Diğer Disiplinler Arasındaki Yeri	76
2.1.6. Gri Sayılar ve Tanımları	77
2.1.7. Gri Matematiksel İşlemler	83

2.1.8. Gri Sayılarda Beyazlaştırma İşlemi	83
2.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE GRİ DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	86
2.2.1. Gri Doğrusal Programlamanın Konumlandırılmış Çözümü	88
2.2.2. Gri Doğrusal Programlamada Kapsama Çözümü	91
2.2.3. Gri Doğrusal Programlamanın Çözümüne Çok Amaçlı Karar Verme Yaklaşımı	95

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PROTOTİP ÜRETİMİNDE GRİ HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME UYGULANMASI

3.1. UYGULAMANIN TEORİK ÇERÇEVESİ	100
3.1.1. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemleri	100
3.1.2. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemlerinin Sınıflandırılması	101
3.1.3. İşgücü Çizelgeleme Süreci	103
3.1.4. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemlerine İlişkin Literatür Taraması	106
3.2. UYGULAMANIN YÖNTEMSEL ÇERÇEVESİ	108
3.2.1. Gri Hedef Programlama	109
3.2.1.1. Gri Hedef Programlamanın Matematiksel Gösterimi	109
3.2.1.2. Gri Hedef Programlamaya İlişkin Literatür Taraması	110
3.2.2. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemlerinde Gri Hedef Programlamanın Kullanılması	111
3.2.2.1. Uygulama Yapılan İşletme İle İlgili Bilgiler	111
3.2.2.2. Problemin Tanımı	112
3.2.2.3. İşgücü Çizelgelemede Kullanılan Hedef Kısıtlarının ve Amaç Fonksiyonunun Modellenmesi	116
3.2.2.4. İşgücü Çizelgelemede Kullanılan Sistem Kısıtlarının Modellenmesi	118
3.2.2.5. Çözüm Metodolojisi	120
SONUÇ	131
KAYNAKÇA	136

KISALTMALAR

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	Analitik Ağ Süreci
CW	Merkez/Genişlik
DEA	Veri Zarflama Analizi
HP	Hedef Programlama
LP	Doğrusal Programlama
LR	Sağ Sınır/Sol Sınır
RC	Sağ/Merkez



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: Odak Noktalarına Göre Karar Problemi Türlerinin Amaçları	s. 11
Tablo 2: Karar Problemi Türlerine Göre Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	s. 18
Tablo 3: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin SistematiK Sınıflandırması	s. 20
Tablo 4: Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	s. 28
Tablo 5: Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Karakteristikleri	s. 28
Tablo 6: Hedef İstenmeyen Sapma İlişkisi	s. 40
Tablo 7: Belirsizlik Türlerine Göre Belirsizlik Modellerinin Karşılaştırılması	s. 66
Tablo 8: Bilgi Düzeylerine Göre Sistemlerin Karşılaştırılması	s. 68
Tablo 9: Problemin Karmaşıklığına ve Belirsizliğe Göre Çözüm Yöntemleri	s. 77
Tablo 10: Vardiyalara Göre Çalışma Saatleri	s. 113
Tablo 11: Günlere Göre Çalışma Saatleri	s. 113
Tablo 12: Vardiyalara Göre Personele Ödenen Ücret	s. 114
Tablo 13: Personelin Gri Aralıklal Üretim Çıktısı Adetleri	s. 115
Tablo 14: Objektif Gri Ağırlık Skalası ve Karar Verici Yanıtları	s. 117
Tablo 15: İdeal Çözüme Göre İşgücü Çizelgelemesi	s. 124
Tablo 16: Kritik Çözüme Göre İşgücü Çizelgelemesi	s. 125
Tablo 17: LP(0,50) Konumlandırılmış Çözüme Göre İşgücü Çizelgelemesi	s. 126
Tablo 18: LP(0,75) Konumlandırılmış Çözüme Göre İşgücü Çizelgelemesi	s. 127
Tablo 19: LP(0,25) Konumlandırılmış Çözüme Göre İşgücü Çizelgelemesi	s. 128
Tablo 20: Uygulama Modelleri Karşılaştırmalı Sonuç Tablosu	s. 129
Tablo 21: Modellere Göre Personele Yazılan Akşam Vardiyası Sayıları	s. 130
Tablo 22: Günlere Göre Akşam Vardiyasında Görevli Personel Sayıları	s. 130

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Karar Problemi Türleri	s. 12
Şekil 2: Çok Kriterli Karar Verme Süreci	s. 19
Şekil 3: Çok Kriterli Karar Vermenin Temel Ayrımı	s. 20
Şekil 4: Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması	s. 23
Şekil 5: Çok Amaçlı Karar Verme Problemlerinin Sınıflandırması	s. 26
Şekil 6: ISI Verilerine Göre Yayınlanmış Hedef Programlama Akademik Makale Sayıları	s. 33
Şekil 7: Hedef Programlama Türlerinin Sınıflandırılması	s. 42
Şekil 8: Leksikografik Hedef Programlama (Öncelikli Hedef Programlama) Algoritması	s. 45
Şekil 9: Örnek Üyelik Fonksiyonları	s.50
Şekil 10: Belirsizlik Temelli Bilgilerin Anlamı	s.54
Şekil 11: Gri İlişkisel Analiz Çalışmalarının Zamana Bağlı Akademik Çalışma Sayılarının Regresyon Doğrusu	s.72
Şekil 12: Gri Tahmin Çalışmalarının Zamana Bağlı Akademik Çalışma Sayılarının Regresyon Doğrusu	s.73
Şekil 13: Karmaşıklık Durumuna Göre Problem Türleri	s.76
Şekil 14: Gri Sayıların Tanımları ve Tanımların Matematiksel Gösterimleri	s.82
Şekil 15: Sık Kullanılan Beyazlaştırma Fonksiyonları	s.84
Şekil 16: Eşit Ağırlıklı Beyazlaştırma Fonksiyonu ve Diğer Sık Kullanılan Beyazlaştırma Fonksiyonları	s.85
Şekil 17: Tedarikçi Seçimi Karar Problemine Uygulanmış Bulanık ve Gri Yaklaşımların Yüzdesi	s.109

EKLER LİSTESİ



GİRİŞ

İşletmeler, hayati faaliyetlerini sürdüren bir çeşit yaşayan organizmalardır. Bir yandan yaşamsal faaliyetlerini sürdürürken, diğer yandan bu faaliyetlerin bir sonucu olarak çeşitli maliyetlere katlanmaktadırlar. Katlandıkları bu maliyetler arasında en önemlilerinden biri işgücü maliyetidir. İşgücü maliyeti, işletmelerin pazarda rekabet güçlerinden biri olan üretim maliyet kalemi içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu sebeple günümüzde var olan yoğun rekabet koşullarında pek çok işletme üretim maliyetlerini minimize etmek amacıyla işgücü maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadır. Bu noktada işletmelerin karşısına işgücü çizelgeleme karar problemleri çıkmaktadır. Kantitatif yöntemler kullanılarak yapılan başarılı işgücü çizelgelemesi işletmelerin maliyetlerini düşüren, üretim performanslarını ve çalışan memnuniyetini arttıran, planlama sorunlarını ortadan kaldıran yönetimsel bir araçtır.

İşgücü çizelgeleme, üretim ve hizmet sektöründe düzenli olarak karşılaşılan karar verme süreçlerinden birisidir. Belirli bir zaman diliminde, belirli hedefler ve kısıtlar dahilinde personelin izin günlerine ve vardiyalara atanması ile ilgilenmektedir. Amacı en az personelin çalıştırılması ile ulaşılmak istenen hedeflerin sağlanmasıdır. Bu yapılırken personelin memnuniyeti işletmeler tarafından göz önünde bulundurulmalıdır.

Belirsiz yapılı iç ve dış çevre koşulları işletmelerin karar süreçlerinin pek çoğunun belirsizlik ortamında gerçekleşmesine neden olmaktadır. Gerçek dünya karar problemlerinde, işletmeler verecekleri karara ilişkin yeterli bilgiye nadiren sahiptir. Bu durum karar problemlerinin çözümünün belirsizliği modelleyen yöntemlerle birlikte yapılmasını gerektirmektedir. Karar problemlerinin belirsizlikle birlikte ele alınması modelin başarısını arttıran bir unsurdur.

Bu çalışmada otomotiv sektöründe faaliyet göstermekte olan çok uluslu bir işletmenin prototip departmanında, prototip üretimi esnasında karşılaşılan işgücü çizelgeleme karar problemi ele alınmıştır. İşletmenin çizelgeleme yaparken ulaşmak istediği birden fazla hedefi bulunmaktadır. Bu hedefler belirlenen üretim miktarından daha az üretim yapılmamasını ve belirlenen akşam vardiyası bütçesinin aşılmamasını içermektedir. Aynı zamanda uygulamanın yapıldığı prototip departmanın çalışma prensibi gereği işgücü çizelgeleme karar problemi eksik bilgidен kaynaklanan belirsizliğin etkisi altındadır. Bu sebeple çözüm yöntemi olarak Gri Hedef

Programlama Yöntemi seçilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde karar verme kavramı, süreci ve karar ortamları; karar problemi türleri ve karar verme yöntemlerinin sınıflandırılması kapsamlı olarak açıklanmaktadır. Tezin uygulamasının yönetsel çerçevesini oluşturan çok kriterli karar verme yöntemleri ve Hedef Programlama yöntemi birinci bölümde incelenmektedir.

İkinci bölümde ele alınmakta olan prototip departmanında işgücü çizelgeleme karar probleminin etkisi altında bulunduğu belirsizliğin modellenmesinde kullanılmak üzere gri sistem teorisine ayrıntılı biçimde yer verilmektedir.

Üçüncü ve son bölümde çalışmanın teorik çerçevesini oluşturan işgücü çizelgeleme karar problemleri, bu karar problemlerinin sınıflandırılması ve çizelgeleme süreci aktarılmıştır. Bölümde Gri Hedef Programlama Yöntemi açıklanmış ve literatür taraması paylaşılmıştır. Ardından İzmir ilinde otomotiv sektöründe faaliyet göstermekte olan çok uluslu bir işletmenin prototip departmanında karşılaşılan işgücü çizelgeleme karar problemi tanımlanmış, formüle edilmiş, kullanılan yöntem ile elde edilen sonuçlara ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

KARAR TEORİSİ VE HEDEF PROGRAMLAMA

1.1. KARAR TEORİSİ

Karar teorisi bu tezin genel çerçevesini oluşturmaktadır. Bu bakımdan karar teorisi bu başlık altında kavramsal olarak ayrıntılı bir biçimde ele alınmakta, karar verme süreci, karar ortamları ve karar verme problemi türleri açıklanmaktadır. Ayrıca karar verme yöntemlerinin sınıflandırmasına yer verilmekte ve tez uygulamasının yöntemsel üst başlığını oluşturması bakımından önemli olan “Çok Kriterli Karar verme Yöntemleri” incelenmektedir.

1.1.1. Karar Verme Kavramı

İşletmeler birbirleri ile karşılıklı etkileşim halinde çok sayıda değişkenin yer aldığı karmaşık yapıları bir çevrede faaliyet göstermektedirler. İşletmelerin içinde buldukları bu karmaşık yapıları çevre şartları doğru ve zamanında karar verebilmeyi zorlaştırmaktadır. Yoğun rekabet ortamında başarı ise iç ve dış çevre faktörlerinin getirdiği belirsizliklere ve risklere rağmen verilen kararların isabet derecesi ile ölçülebilmektedir. İşletmelerde çeşitli kaynakların (materyal, enerji, finansal, insan vb.) kullanılması yoluyla planlama, yürütme, kontrol etme ve benzeri idari işlevlerin performans hedeflerine ulaşılmaktadır. Bu işlevleri yerine getirmek için yöneticiler sürekli karar verme sürecinin içerisindeyler. Her bir karar, çeşitli alternatifler arasında makul bir seçim anlamına geldiğinden, yöneticiye karar verici olma görevi yüklenmektedir. Bu kişiler organizasyon şemasının çeşitli düzeylerinde olabilirler. Hangi karar probleminde kimin karar verici olduğunu verilecek kararın doğası belirlemektedir (Pedrycz ve diğerleri: 2011, 2). Bu kararların alınabilmesi için yöneticinin, bu yönde kendisine iletilen bilgileri kullanarak anlamlı kararlar vermesi beklenmektedir (Gökçen, 2007: 20). Yöneticiler, önceden belirlenmiş hedeflerine ulaşmada sayısız sorunla karşılaşır. Bu durumda yöneticiler karşılaşmış oldukları sorunları nasıl çözeceklerine dair bir araştırma yapmak, uygun metodu bulmak ve nihayetinde de “karar vermek” zorunda kalmaktadırlar (Demir ve Gümüšoğlu, 1988: 1). Bu nedenle “Karar Verme” günümüz koşullarında işletmecilik perspektifinden

önemle incelenmesi gereken bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karar verme; mevcut tüm bilgilerin, alternatif eylem şekillerinin ve uygun tedbirlerin göz önüne alarak durum değerlendirmesi yapıp nihai sonuca ulaşmaktır (Gülenyüz, 2010: 30). En basit tanımıyla karar verme, alternatifler arasından seçim yapma işidir (Emhan, 2007: 214). Bir başka deyişle; alternatifler arasında seçim yapmak için gereken fiziksel ve zihinsel gayretlerin toplamı karar verme işini ifade etmektedir (Tosun, 1978: 308). Karar verme, idari faaliyetlerin merkezi unsurudur ve mevcut alternatifler arasından en iyiyi seçmeyi amaçlayan karar verici faaliyetlerinin belirli bir türüdür. Karar verme kavramının tanımları üç gerekli unsuru içermektedir. Bunlar (Kolbin, 2003: 348):

- Çözülecek sorun,
- Karar alan bir kişi veya organizasyonel bir birim,
- Seçim yapılacak birkaç karar alternatifi.

Bu üç öğenin yer aldığı durumlarda artık özelleştirilebilir karar probleminin varlığından söz etmek mümkün olacaktır. Karar problemi bu üç temel öğenin yanı sıra sahip olduğu kısıt, amaç, hedef, kriter, belirsizlik vb. diğer öğeler çerçevesinde şekil alır ve bu çerçevede çözülmeye çalışılır.

Literatürde karar verme kavramı iki temel yaklaşıma göre ele alınmaktadır. Bu yaklaşımlar şunlardır (Sousa ve Kaymak, 2002: 17):

- **Tanımlayıcı Karar Verme Yaklaşımı:** Kararları bilgi işleme süreci olarak değerlendirmektedir. Bu yaklaşımda karar vericinin bilişsel süreçleri ve bu süreçlerde bilginin işlenme biçimi incelenmektedir. Betimleyici karar verme karar süreçlerini etkilemek ve yönlendirmek amacıyla karara giden zihinsel yolları belirlemeye çalışmaktadır. Bu yaklaşım çoğunlukla psikoloji biliminde kullanılan bir yaklaşımdır.

- **Normatif Karar Verme Yaklaşımı:** Bir kararı geçerli alternatifler arasından seçimini rasyonel bir hareket olarak değerlendirmektedir. Karar verme işinin modellenmesi için matematiksel yöntemleri inceleyen bir görüştür. Klasik karar verme teorisi ve teorinin teknik uygulamalarının çoğu bu yaklaşımı takip etmektedir. Normatif karar verme teorisi ulaşılabilir durumdaki bilgiyi kullanarak optimal kararın verilmesini amaçlamaktadır. Dolayısıyla optimizasyon teorisi ile de yakından ilgili bir yaklaşımdır. Mühendislik ve işletme alanlarında karar verme kavramı çoğunlukla normatif yaklaşım çerçevesinde ele alınmaktadır.

Bu çalışmada karar verme kavramına normatif yaklaşım seçilmiştir. Bu yaklaşıma uygun olarak karar sorunu rasyonel bir hareket olarak değerlendirilecek ve matematiksel modeller ile desteklenerek çözüme kavuşturulacaktır.

1.1.2. Karar Verme Süreci

Karar verme kavramını tanımlanabilir bir süreç olarak görmenin kökenleri düşüncenin ilk tarihinden, “mantık” kavramının ortaya çıkışından başlamaktadır. Bakıldığında bir kararın rasyonel akıl yürütmenin sonucu olması gerektiği görülmektedir, “mantık” denen şey de zaten tam olarak budur (Hollnagel, 2007: 3-4). Homo ekonomik sistem varsayımları da karar vermeyi bir süreç niteliğinde tanımlamaktadır (Edwards, 1954: 383). Günlük hayatta her insanın sık sık yaptığı işlerin çoğu kez karar vermeyi gerektirdiği bilinen bir gerçektir (Tosun, 1978: 308). Günlük hayatta dahi sıklıkla yapılan bu eylem anlık bir durum değildir, aksine birbirini takip eden adımlardan meydana gelen bir süreçtir. Bireylerin veya işletmelerin ilgili organlarının karar verilecek konu ile ilgili farklı karar alternatiflerini göz önünde bulundurarak gerçekleştirecekleri karşılaştırma işinin ardından, seçimlerini yapmaları karar verme sürecini oluşturmaktadır (Emhan, 2007: 214). Bu süreç hem işletmelerin hem de bireylerin hedef ve amaçlarına erişebilmeleri maksadıyla sürdürdükleri faaliyetlerinin temel yapı taşı niteliğindedir (Timor, 2011: 303).

Bir süreç olarak karar verme, karar vericilerin çeşitli hedeflere ulaşmak için mevcut araçlar, fırsatlar arasından seçim yaparken ortaya çıkartmış oldukları tüm zihinsel, fiziksel ve duygusal çıktıları kapsamaktadır (Gülenyüz, 2010: 30). Karar verme süreci, farklı davranış biçimlerinden birinin tercih edilmesine, bir başka deyişle farklı karar alternatiflerinden birinin seçilmesine yol açan, sonucunda “karar” adı verilen çıktıya ulaşılan bir süreç olarak tanımlanabilmektedir (Özdemir ve Gümüsoğlu, 2007: 338). Karar verme süreci bir karar probleminin varlığını saptamanın ardından farklı kaynaklardan bu problemin çözümünde kullanılmak üzere bilgi toplamak suretiyle problemi belirlemek, sonrasında söz konusu problem için farklı çözümler ortaya çıkarmak, bu ortaya konulan farklı çözüm yollarının birbirleriyle karşılaştırılması yoluyla en yararlı olanın seçilmesi ve böylece bir

uygulama planının yapılması olarak özetlenebilmektedir.

Görüldüğü üzere karar verme süreci birbirini izleyen adımlar halinde tanımlanmaktadır. Buna göre karar verme sürecinin altı aşamadan oluşan modeli şu şekildedir (Dannenbring ve Starr, 1981: 35-36; Heizer ve Render, 2006: 674; Özdemir, 2010: 53; Stevenson, 1993: 70; Tütek ve diğerleri, 2016: 9):

- **Sorunun ve Sorunu Oluşturan Faktörlerin Belirlenmesi:** İlk aşamada problemin net bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir. Karar sorununun ancak doğru tanımlaması halinde süreç başarıya ulaşabilmektedir. Problemin başarılı bir şekilde belirlenmesi durumunda sorunun çözümünde bir nevi yarıya ulaşılmış olunmaktadır.

Bu aşamada en çok yapılan hata karar problemini etkileyen faktörler belirlenirken yalnızca nicel değişkenlerin modele alınması, nitel değişkenlerin ise göz ardı edilmesi durumudur. Karar problemlerinin çok boyutlu biçimde değerlendirilmesi gerekir. Yalnızca tek bir perspektiften ele alınan karar problemleri gerçek sorunu yansıtmada yetersiz kalacaktır.

- **Karar Ölçütlerinin ve Amaçların Belirlenmesi:** Bu aşamada belirli, ölçülebilir nitelikte amaçların saptanması, amaca uygun ölçüm kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Amaç karar problemini iyi yansıtmalıdır. Kriterler belirlenirken de amaçtaki etkilerinin düzeyi dikkate alınmalıdır. Karar ölçütlerinin yanlış belirlenmesi karar sürecinin çıktılarının amaca uygun olmaması sonucunu doğuracaktır. Verilecek olan kararın doğrudan karar ölçütlerine ve amaca bağlı olduğu unutulmamalıdır.

- **Amaçlar ile Probleme Etkili Değişkenler Arasındaki İlişkiyi Gösteren Modelin Oluşturulması:** Bu aşamada saptanmış olan sorun ile değişkenler arasındaki ilişkiler incelenmektedir. Araştırma problemi sınırlı faktörlerle ortaya konmaktadır. Bir problem ile ilgilenirken problemi temsil eden çeşitli yapılara ihtiyaç vardır. Model gerçek durum ya da nesnenin temsilidir. Modelin kurulması aşamasında ayrıntılara inilmektedir. Modelde amaç ve kısıtlar için karar değişkenleri açısından sayısal ilişkiler ve modelin parametreleri saptanmalıdır. Karar problemlerinin başarılı çözümü; amaçlar ve kriterlerden oluşan sistemin dinamiklerinin etkileşiminin iyi bir şekilde ilişkilendirilmesini gerektirmektedir.

- **Alternatif Çözümlerin Tanımlanması ve Değerlendirilmesi:** Bu

aşamada çözüm alternatifleri türetilmekte ve her biri kullanılan karar verme yöntemine uygun olarak değerlendirilmektedir.

- **En İyi Çözüm Alternatifinin Seçilmesi:** Amaca uygun en iyi sonucu veren çözüm alternatifi seçilmektedir. Bu adım karar sürecinin çıktısı olarak ifade edilen kararın oluştuğu aşamadır.

- **Kararın Uygulanması:** En uygun olduğu sonucuna varılan karar artık sürecin çıktısı halindedir. Karar amaca uygun olarak uygulamaya geçirilerek karar verme süreci sonlandırılmaktadır.

Karar süreci basit görünen, fakat aslında oldukça karmaşık yapıları süreçlerdir (Timor, 2011: 2). Karar verme sürecinin aşamaları standartlaştırılmış değildir. Karar vericinin karşı karşıya olduğu karar probleminin yapısına, amacına, ortamsal durumuna bağlı olarak belirli bir standardı bulunmayan bu aşamalardan bir veya birkaçı ihmal edilebileceği gibi; sürecin sonuna uygulama sonrası karar çıktılarının değerlendirilebileceği aşama da eklenebilmektedir (Doğan, 1985: 3).

1.1.3. Karar Ortamları

Karar problemlerinin ortaya çıktığı iç ve dış çevre faktörleri daima aynı özellikleri göstermez. Bu sebeple de kararın verileceği ortamın durumunun iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Karar teorisinde karar vericinin hangi karar ortamında karar problemini çözmeye çalıştığını biliyor olması gerekmektedir. Ancak bu durum halinde verilecek kararlar karar probleminin amacına uygun çözümler sunabilir. Karar teorisinde karar ortamları dört başlık altında incelenmektedir (Doğan, 1985: 8).

- **Belirlilik Durumu:** Karar problemin etkileyen tek bir olayın olduğu ve ortaya çıkacak bu olayın kesinlikle bilindiği durumdur. Karar sırasında yalnızca tek bir doğa durumunun dikkate alınması gerekir. Her alternatif için karar vericinin bu alternatifi seçmesi durumunda ne tür bir kayba ya da kazanca katlanacağı kesindir (Hansson, 2005: 26). Belirlilik durumunda karar verici her alternatifin sonucuna ilişkin tam bilgiye sahiptir ve her alternatifin sadece bir sonucu vardır (Doğan, 1985: 9). Bu durum karar verici için en rahat koşullara sahip karar ortamıdır. Çünkü karar probleminin tüm öğeleri olasılıktan, riskten ve şanstın bağımsızdır (Tütek ve diğerleri, 2016: 66).

• **Belirsizlik Durumu:** Ortaya çıkacak olayların ve bu olayların gerçekleşme olasılıklarının karar verici tarafından bilinmediği durumu ifade etmektedir. Ortaya çıkacak olaylar hakkında bilgisi olmayan karar verici her alternatifin ne gibi sonuçlar doğuracağını da bilemez (Doğan, 1985: 9). Bir başka deyişle “belirsizlik” olarak adlandırılan karar ortamı karar verici olarak adlandırılan karar problemi aktörünün ortam ve bu ortamda seçeneklerin sonuçları hakkında kesin bilgi sahibi olmadığı durumdur. Karar verici hangi sonuçların meydana geleceğini bilmediğinden bu sonuçlara olasılık da atayamaz.

Karar verici belirsizlik altında karar veriyorsa bir üçüncü öge olan doğa durumları (olaylar) da soruna katılmaktadır. Karar verici doğa durumlarına objektif ya da subjektif olasılık atayamıyorsa belirsizlik altında karar verdiği söylenebilmektedir (Tütek ve diğerleri, 2016: 66).

Belirsizlik karar vericinin nicel ve nitel olarak, bir sistemin davranışlarını veya diğer özelliklerini belirleyecek ya da sayısal olarak tanımlayacak, açıklayacak veya öngörecektir uygun bilgiye sahip olmaması halidir. Karar süreci içerisinde belirsizlikten kaynaklanan sorunlar sürecin tüm aşamalarında etkili olmaktadır. Belirsizlik altında karar verilirken herhangi bir fayda fonksiyonunu en üst düzeye çıkarmak için değil, geçmiş tecrübelerimize dayanan fayda düzeylerini tatmin edici seviyelere taşımak amacıyla çalışılmaktadır. Bu durum da belirli parametreleri kullanan tek amaçlı matematiksel modellerin bu veri tipi için yetersiz olduğu anlamına gelmektedir.

Karar problemleri çeşitli sebeplerle belirsizliğin etkisi altında olabilmektedir. Bu sebepler şunlardır (Zimmermann, 2000: 192 -195):

➤ **Bilginin Yetersizliği:** Belirsizliğe neden olan durumlardan en sık rastlanana bilginin yetersiz olması durumudur. Karar problemlerine ilişkin tam bilginin toplanması çoğu zaman olası değildir. Bilgi kantitatif olarak eksik olabileceği gibi aynı zamanda kalitatif olarak da eksik olabilmektedir. Karar vericinin karar problemini çözmede kullanıldığı bildiğinin niteliksel olarak yetersiz olması da sıklıkla görülen bir durumdur. Bu belirsizlik tipi ancak daha çok ve daha iyi bilginin toplanması ile çözülebilmektedir. Fakat bunu yapmak koşullar gereği her zaman mümkün olmamaktadır.

➤ **Bilginin Aşırı Bolluğu:** Bu belirsizlik tipinin ortaya çıkış sebebi insan becerisinin yüksek miktarda bilgiyi işleme kapasitesinin sınırlı olmasından

kaynaklanmaktadır. “Büyük veri” olarak adlandırılan bu durumda gerekli bilgi ile gereksiz bilginin birbirinden ayrılmasındaki güçlük belirsizliği doğurmaktadır.

➤ **Çelişkili Kanıtlar:** Bazı durumlarda karar problemine ilişkin birbiriyle çelişen kanıtlarla çalışmak gerekmektedir. Paradokslar bu tarz belirsizlikten etkilenmektedir. Eğer iki bilgi seti birbiri ile çelişiyorsa bilginin sayısını arttırmak belirsizlik oranını düşürmek yerine aksine çelişkiyi güçlendirerek belirsizlik miktarını arttırmaktadır. Bu gibi bilginin yetersizliğinden doğan belirsizliklerde aksine bilgi miktarını azaltmak karar problemi için belirsizliği azaltıcı rol oynamaktadır.

➤ **Birden Çok Anlamlılık:** Sözel bilgilerin yer aldığı karar problemlerinde görülmektedir. Sözel ifadelerin matematiksel karşılıkları karar vericinin subjektif yargısından etkilenir bir yapıdadır. Belirli bir ifade bir metin içerisinde bir anlama gelirken başka bir metin içerisinde tamamen farklı bir anlama gelebilmektedir. Bu da belirsizlik durumunu beraberinde getirmektedir.

➤ **Ölçümlerin Kesin Olmaması:** Her ne kadar öyle olduğu varsayılsa da mühendislik ölçüm aletleri “mükemmel” ölçüm yapamamaktadırlar. Bu belirsizlik sebebi bilginin yetersizliği kaynaklı belirsizliğin mühendislik alanı için özelleştirilmiş bir varyasyonu olarak düşünülebilmektedir.

• **Risk Durumu:** Olay sayısının birden fazla olduğu ve olayların olasılıklarının karar verici tarafından bilindiği durumu ifade etmektedir (Doğan, 1985: 9). Karar verici doğa durumlarına objektif ya da subjektif olasılık atayabiliyorsa karar vericinin risk altında karar verdiği söylenebilmektedir (Tütek ve diğerleri, 2016: 66). Bir başka deyişle karar problemine ilişkin olası her bir doğa durumu için gerçekleşmelerinin ne kadar muhtemel olduğunun bilinmesi halinde risk durumu altında karar verilmesi söz konusu olacaktır (Churchill ve diğerleri, 2012: 1).

• **Rekabet Durumu:** Birden çok karar vericiyi içeren karar problemleridir. Bu çeşit karar durumuna “oyun” adı verilmektedir (Doğan, 1985: 9). Bu durumda seçeneklerin tek kişi tarafından oluşturulduğu karar durumlarından farklı olarak, birbirini etkileyen kararlardan söz edilmektedir. Birden fazla kişiyi içeren etkileşimli karar verme durumlarını kapsamaktadır (Tütek ve diğerleri, 2016: 345).

1.1.4. Karar Problemi Türleri

İnsanlar hem mesleki hem de özel hayatlarında kararlar alırlar. Örneğin; bir şirketteki yöneticinin, tedarikçileri değerlendirmesi ve en iyilerle ortaklıklar kurması gerekebilmektedir. Benzer biçimde bir hane halkının ailesinin geleceğini güvence altına almak adına yatırım tercihinde bulunması gerekebilmektedir. Öğrenciler üniversite tercihi yaparken üniversite sıralamalarını görmezden gelemeler. Genellikle işe alınacak kişiyi belirlemek için adaylar, tecrübelerine, görüşme esnasındaki performanslarına göre sıralanmaktadır. Bir doktor, bir hastayı semptomlarına dayanarak teşhis eder ve uygun tedaviyi reçete edebilmek için hastanın bir patoloji sınıfına atamasını yapar. İşletmelerde, projeler genellikle öncelik tabanlı kategorilere ayrılmaktadır. Bu örneklerin hepsi, hassas karar problemlerinin sıkça ortaya çıktığını göstermektedir (Ishizaka ve Nemery, 2013: 1).

Karar verme probleminin doğası, karar vericinin karar politikası ya da “karar” kavramının genel yapısı gereği; her karar verme probleminin çözümü birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılık çözümüne ulaşılmaya çalışılan karar probleminin türü ile yakından ilgilidir. Bazen alternatiflerin seçilmesi gerekirken, bazı durumlarda alternatiflerin en iyiden en kötüye doğru sıralanması, karar sorunun tanımlanması ya da alternatiflerin önceden tanımlanmış homojen sınıflara atanması gerekebilmektedir (Doumpos ve Zopounidis, 2002: 2). Buna göre hem günlük hem de iş yaşantısından yola çıkılarak ortaya konmuş dört ana karar problemi türü şu şekilde tanımlanmıştır (Roy, 1981: 431- 432):

- **Seçim Problemleri:** Amacı “en iyiyi seçmek” ya da “karşılaştırılmaz düzeyde kötü alternatifleri elemek” olan karar problemleridir.
- **Sınıflama Problemleri:** Bu karar problemlerinde seçenekler, kategoriler adı verilen önceden sıralanmış ve sınıflanmış gruplara ayrılmaktadır. Burada amaç; betimsel, organizasyonel veya tahminsel sebeplerden ötürü seçenekleri benzer davranış veya özelliklerle yeniden gruplandırmaktır.
- **Sıralama Problemleri:** Karar alternatifleri karar sürecinin sonunda, puanlar veya ikili karşılaştırmalar vasıtasıyla en iyi durumdan en kötü duruma kadar sıralanmaktadır.
- **Tanımlama Problemleri:** Amaç karar problemindeki karar alternatiflerini

ve karar probleminin sonuçlarını tanımlamaktır. Genellikle karar sorununun özelliklerini anlamak için ilk adımda yapılmaktadır.

Karar verme problemi türleri ele alındığında; sınıflama, seçim ve sıralama problemleri genellikle çeşitli kriterleri içerdiği için karmaşıktır. Tüm karar verme modelleri gibi çeşitli kriterler içeren karar verme yöntemlerinin de amacı karar vericiye kararında yardımcı olmaktır. Bu doğrultuda karar verme yönteminden elde edilecek nihai karar ise karar sorununun formüle edilme biçimine göre farklı şekillerde olabilmektedir. Farklı karar problemleri için farklı formülasyonların bir diğerinden daha verimli olabileceği bilinen bir durumdur. Kullanılacak yöntemin odağının karar probleminin amacı ile ilişkisi Tablo 1’de özetlenmektedir.

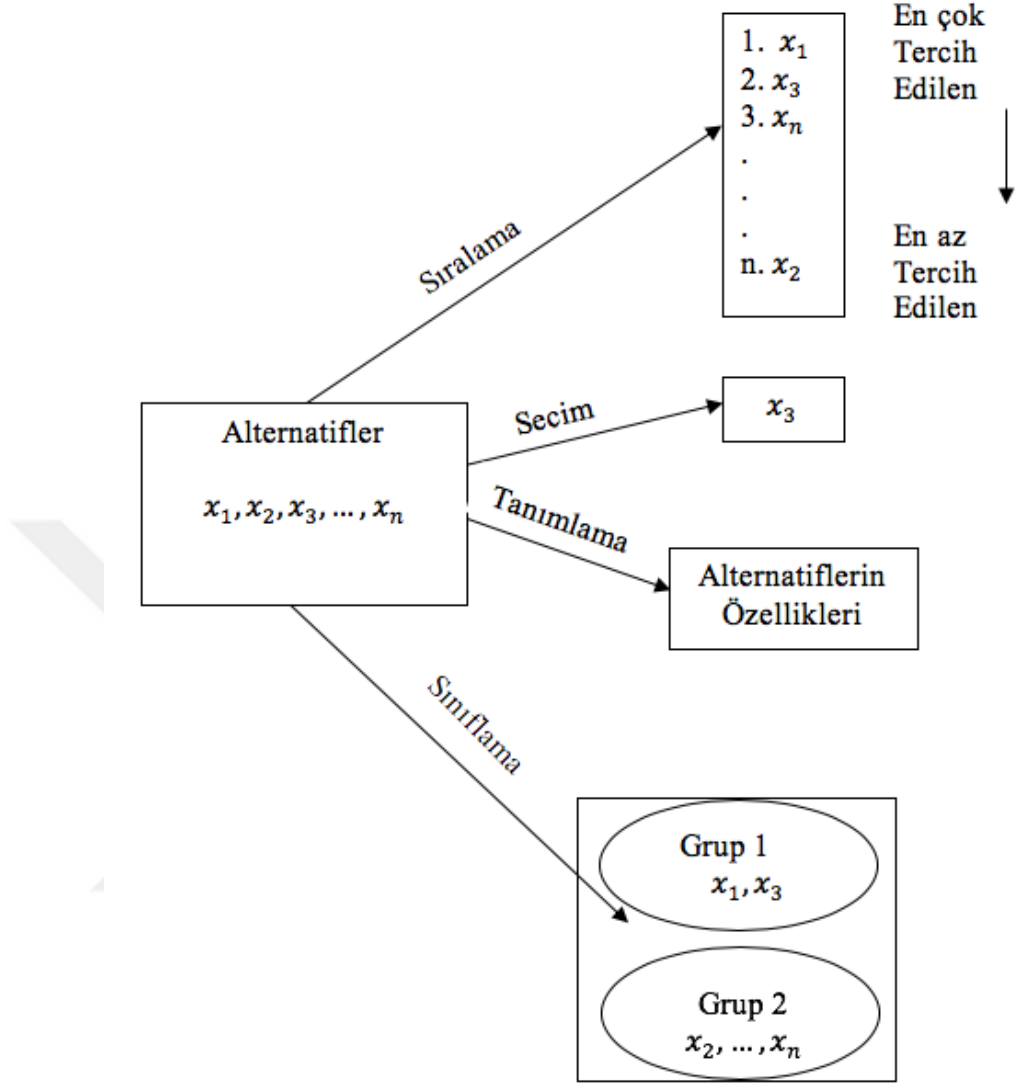
Tablo 1: Odak Noktalarına Göre Karar Problemi Türlerinin Amaçları

Karar Problemi Yöntemi	Amaç
Seçim Odaklı	Sınırlı karar alternatifi kümesi seçme
Sınıflama Odaklı	Önceden tanımlanmış farklı kategorilere karar alternatifi atama
Sıralama Odaklı	Karar alternatiflerini en iyi durumdan en kötü duruma doğru sıralama
Tanımlama Odaklı	Karar alternatiflerini ve bu alternatifleri izleyecek sonuçları tanımlama

Kaynak: Chakhar ve Martel, 2006: 102

Doumpos ve Zopoundis 2002 yılındaki çalışmalarında seçim, sıralama ve sınıflandırma karar problemlerinin alternatiflerin değerlendirilmesi anlamında spesifik bir sonuca ulaştığından söz etmektedirler. Buna göre seçim ve sıralama problemleri alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar içeren görelî kararları içerirler. Yapılacak seçimin veya sıralamanın sonucu dikkate alınan karar alternatiflerine bağlı olmaktadır. Sınıflamada ise sınıflamanın yapılacağı grupları birbirlerinden ayırıştırıcı özellikler kullanılarak çeşitli profiller oluşturulmaktadır. (Doumpos ve Zopoundis, 2002: 2).

Şekil 1: Karar Problemi Türleri



Kaynak: Doumpou ve Zopounidis, 2002: 2

Karar probleminin çözümünde hangi yöntemin kullanılacağı problemin hangi karar türüne ait olduğuna bağlıdır. Karar vericinin kuracağı modeli belirlerken mutlak suretle hangi karar verme türüne ait olduğunu belirleyip seçimini buna uygun olarak yapması gerekmektedir. Çalışmanın sonraki kısmında karar verme yöntemlerinin sınıflandırılmasına yer verilecektir.

1.1.5. Karar Verme Yöntemleri Sınıflandırması

Karşılaşılan sorunun yapısına göre karar problemlerinin çeşitli türlere ayrıldığı gibi, karşılaşılan karar probleminin özelliklerine bağlı olarak çözüme ulaşmakta kullanılacak yöntemler de farklılık göstermektedir. Bu noktada karar vericinin karar problemini iyi analiz ederek uygun karar verme yöntemini seçmesi gerekmektedir.

H. Koontz ve C. O'Donnell işletme yönetimi konusunda klasikleşmiş olan eserlerinde yöneticinin işletme faaliyetlerini planlama ve yönetme yolunda vereceği karar verme yöntemlerini üçlü bir sınıflandırma çerçevesinde ele almıştır. Bu sınıflandırma şu şekildedir (Mucuk, 2005: 378 -380):

- **Geçmişteki Tecrübelerle Dayanarak Karar Verme Yöntemi:** Bu tip kararların başarısı geçmişteki tecrübelerin gelecekteki kararları temsil ve ifade gücüne bağlıdır, fakat geçmiş tecrübeler gelecekteki durumları genellikle yeterince iyi analiz edip nesnel bir biçimde ortaya koymakta başarılı değildir. Bu karar çeşidi analitik bir yapı taşımamakta, daha çok sezgisel kararları içermektedir.

- **Deneme Yoluyla Karar Verme Yöntemi:** Bu yöntem farklı karar alternatiflerinin deneme yapmak amacıyla uygulanması ve bunun sonucunda en uygun karar alternatifinin seçilmesi esasına dayanmaktadır. Fakat bu yöntem her karar alternatifinin tek tek denenip sonucunda kararın alınması gibi zahmetli bir uygulamaya dayanması nedeniyle yüksek maliyetlidir.

- **Araştırma ve Analiz Yoluyla Karar Verme Yöntemi:** Sayısal yöntemlerin kullanılmasına, araştırma ve analize dayanmaktadır. Sonucunda rasyonel kararlar alınması amaçlanmaktadır. Bu yöntemde incelenmekte olan konuyu etkileyen değişkenler dikkatle incelenmeli ve yalnızca analiz açısından önemli ve gerekli olan değişkenler araştırmaya dahil edilmelidir. Böylece yapılan araştırma ile araştırmanın amacına uygun olarak isabetli kararlar verilebilmektedir.

Bu bölümde tezin sahip olduğu sayısal çerçeve gereğince bu sınıflandırmadan yalnızca nicel karar verme yöntemleri alt başlıklar halinde paylaşılacaktır. Buna göre karar vericiler için uygun nicel karar verme yöntemini seçmede yol gösterecek olan sınıflandırma aşağıdaki şekilde yapılmaktadır (Sousa ve Kaymak, 2002: 18 -19):

- **Çok Aşamalı ve Tek Adımlı Karar Verme Yöntemleri:** Bazen mevcut alternatifler arasından en iyi alternatifin seçimi, tüm ölçütleri aynı anda

değerlendirerek bir aşamada sonlandırılabilir. Bu durumlarda tek adımlı karar verme yöntemlerinden bahsetmek mümkündür. Bunun dışında bazı karar problemlerinin çözümü çeşitli adımlarla ve muhtemelen de iterasyonlarla mümkün olmaktadır. Bunlara da çok aşamalı karar verme yöntemleri denilmektedir. Çok aşamalı karar verme yöntemleri, büyük bir sorunun daha kolay yönetilebilmesi ve analiz edilebilmesi için daha küçük tek aşamalı karar problemlerine bölerek karar verme sürecini basitleştirmektedir. Karar problemlerinin çoğu çok aşamalı karar verme yöntemleri ile çözülmektedir.

➤ Çok Kişili ve Bireysel Karar Verme Yöntemleri: Çoğu durumda, kararlar yalnızca kendi hedeflerini göz önünde bulunduran bir karar verici tarafından alınmaktadır. Öte yandan bazı kararlar ise bir grup karar vericinin hedeflerinin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu durumda, karar hedefleri ve kısıtlamaların yanı sıra, karar vericiler arasındaki etkileşimi ve bunların karar üzerindeki etkilerini de göz önüne alması gereken çok yönlü bir karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tip durumlar karar vericilerin farklı stratejileri takip eden farklı alt gruplar oluşturabileceğinden genel olarak karmaşık yapıda karar problemleridir. Bazı karar vericiler ile iş birliği yapabilirken, bazıları ise diğer alt strateji gruplarına karşı tutum içerisinde olabilmektedir. Bu etkenler sebebiyle de çok kişili karar vermede grup dinamikleri dikkate alınmalıdır. Bu tür kararları oyun teorisinde görmek mümkündür.

➤ Operasyonel ve Keşfedici Karar Verme Yöntemleri: Operasyonel karar verme yöntemleri kullanılacağı zaman kararlar, iyi belirlenmiş hedefler ve mevcut alternatiflerin bilgisi ile karakterize edilmektedir. Dahası, alternatiflerin kayıpları ve kazançları bilinmektedir. Karar vermenin amaçları bilindiğinden ve kazançlar matematiksel olarak ifade edilebildiğinden, karar verme problemini sayısal olarak çözülebilen bir optimizasyon problemi olarak oluşturmak mümkündür. Bu durumlara zıt olarak keşfedici karar verme yöntemleri kullanılması halinde kararın amaçları kesin olarak karar süreci başladığı anda bilinmemektedir. Mevcut alternatiflerin tam olarak bilinmemesi ve karar verme süreci içerisinde alternatiflerin belirlenmesi de olasıdır. Bu durumda karar verme yöntemi olarak her iterasyonda belirsizliği azaltan, amacı ve karar alternatiflerini daha belirginleştiren yöntemler kullanılmaktadır.

➤ Deterministik olan ve Deterministik Olmayan Karar Verme

Yöntemleri: Karar ortamı hakkında yeterli bilgiye sahip olduğunda ve karar alternatiflerinin doğuracağı sonuçlar net olarak bilindiğinde karar verme problemini çözmek için deterministik karar verme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Fakat bu koşulların aksine karar verme ile ilgili niceliklerin bir kısmının ya da tamamının olasılıklı, belirsiz, eksik bilginin etkisi altında olması da mümkündür. Bu koşullarda olasılıklı, belirsizliği hesaba katan, kesinlik olmayan durumlarda da karar problemlerini çözmeye uygun, kesin kazançlar veya kayıplar yerine beklenen kazançlar ve kayıplarla karar problemine yaklaşan yöntemlere başvurulmaktadır.

➤ Çok Kriterli ve Nispeten Basit Karar Verme Yöntemleri: Optimizasyon yapılırken bazen optimallik kararının verilmesinde tek bir kritere sadık kalınmakta ve dört işlem gibi basit matematiksel işlemler kullanılmaktadır. Çok bilinen basit karar verme yöntemleri bu tip durumlar için uygundur. Çok kriterli karar verme yöntemleri ise genellikle birbiriyle çatışan ve aralarında bir dengeye ihtiyaç olan birden fazla kriterin olması halinde kullanılmaktadır. Bu tip karar verme tekniklerinde kriterler uygun bir şekilde birleştirilmelidir. Bu kombinasyon kararın amaçlarını yansıtacak kadar karmaşık olmalıdır. Alternatif olarak, bir kriter hiyerarşisi ya da ağı da oluşturulabilmekte veya en iyi karar, her aşamada yeni bir kriter dikkate alınarak yavaş yavaş sınırlandırılarak da bulunabilmektedir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri tezin uygulama yöntemi olan “Gri Hedef Programlama” konusunun çatısını oluşturmaktadır. Bu sebeple çalışmanın sonraki kısmında çok kriterli karar verme yöntemleri ayrıntılı bir biçimde ele alınmaktadır.

1.1.6. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Sadece işletmeler değil, insanlar da günlük hayatlarında sıklıkla karar verme problemleri ile karşılaşmakta ve karşılaştıkları bu karar verme problemlerinin hemen hemen hepsinde karar vericinin birbirileri ile çelişmekte olan amaçları ya da kriterleri göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Gerçek dünyada karar verme problemlerini tek bir amaca ya da kritere bağlı kalarak çözmek çoğunlukla mümkün değildir. Olaylar çok boyutludurlar ve karar problemlerini tek boyutlu düşünmek gerçekçi çözümler elde edilememesi ile sonuçlanabilmektedir. Karar problemlerinde çoğu zaman, tüm karar kriterlerine uygun bir seçenek olmayabilmektedir.

Uygulamada ortaya çıkan sorunlar genellikle karmaşık yapıdadırlar ve birden fazla kriter içermektedir. Bu durumlarda ideal seçenek çoğunlukla tek bir kriterin ölçücülüğü ile bulunmaktadır. Bu tür problemlerde alternatiflerden birini seçebilmek için bir takım kriterleri birlikte değerlendirmek gerekmektedir (Ishizaka ve diğerleri, 2013: 1).

Karar verme problemlerinde tek bir kriter göz önüne alınarak çözüme ulaşılmaya çalışıldığında ortaya çıkan karar son derece sezgiseldir, çünkü yalnızca en yüksek tercih puanlı alternatifin seçilmesi söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte karar problemleri ve karar alternatifleri çoklu ölçütlerle değerlendirdiğinde, ölçütlerin ağırlığı, tercih bağımlılığı ve ölçütler arasındaki çatışmalar gibi birçok faktör, sorunları daha da karmaşık hale getirmekte ve daha karmaşık yöntemlerle çözümlenmeye ihtiyacı doğurmaktadır. Bu tip birden çok çatışan karar kriterinin ve mümkün olan birden fazla karar alternatifinin olduğu durumlarda karar probleminin bir çeşit çok kriterli karar verme problemi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu yapıdaki karar problemleri ile başa çıkabilmek için ilk adım, karar probleminin kaç nitelik veya amaçtan oluştuğunu ortaya çıkarmaktır. Daha sonra karar vericinin tercihlerinin doğru bir şekilde ortaya konulmasına imkân tanıyan, problemi doğru yansıtacak verinin toplanması gerekmektedir (Tzeng ve Huang, 2011: 1).

Karşılaşılan karar problemlerinin çok kriterli karar verme yöntemlerinin çözüm alanına girmesine sebep olan temelde iki tip durum ile karşılaşılmaktadır. (Ekel ve Palhares, 2008: 503):

- Sonuçların tek kriter kullanarak belirlenememesi, karar alternatiflerinin tek bir kriter karşısında karşılaştırılabilir hale indirgenememesi,
- Bilginin belirsizliği nedeniyle tek bir kriterin özgün çözümler sunmadığı hallerde, bu belirsizliği azaltmak için birden çok kritere ihtiyaç duyulması durumu.

Çok kriterli karar verme yöntemleri sayısal yöntemler yazınında sıklıkla başvurulan metotları içermektedir. Yaygın olarak tercih edilmelerinin en önemli sebebi sahip oldukları uygulama avantajlarıdır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Tsoutos ve diğerleri, 2009: 1591; Belton ve Steward, 2002: 5):

- Çeşitli karar alternatifleri için hem nitel hem de nicel verilerin girdi olarak aynı anda kriter ya da ağırlık şeklinde kullanılmasına olanak sağlayarak karar

probleminin amaçları ile karar vericinin eğiliminin entegrasyonuna olanak tanımaktadır.

- Karar vermeye yardımcı birden çok çelişkili kriterin açık bir şekilde ele alınmasına imkân sağlamaktadır.

- Kullanılan yöntemler kavramsal olarak basit ve şeffaftırlar.

- Sezgisel muhakemenin yerini alarak test edilebilir nesnel sonuçlar ortaya koymaktadır.

- Değişkenlerin çıktı bilgilerini birbirleri ile karşılaştırılması anlamlı hale dönüştürerek karar problemlerinin karmaşıklığı ile başa çıkmaktadır. Girdi verileri tutarlı ve karşılaştırılabilir yapıdadır. Çıktı verileri ise basit ve karar verici açısından anlamlı durumdadır.

- Farklı karar problemlerine yönelik çözüm ihtiyaçlarını karşılayabilecek düzeyde uygulama esnekliğine sahiptirler.

- Nesnelliği sağlayan yöntemlerdir.

- Enerji ve maliyet yoğun olmaksızın karar vericinin ihtiyaçlarına uygun çıkarımlar sunmaktadır.

- Karmaşık karar problemlerini çözmeyi hedef alsa da etkin kullanımı için temel teorik bilgi yeterlidir.

- Çok kriterli karar verme yöntemleri, karar probleminde birden fazla karar vericinin yer alması halinde iletişimi kolaylaştırıcı ortak bir platform yaratmaktadır.

- Büyük boyutlu, dağınık yapıli verileri değerlendirmesi kolay modeller altında birleştirerek karar vericiye rahatlık sağlamaktadır.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı karar problemlerinde spesifik olarak hangi yöntemini hangi karar problemi için daha uygun olduğunu belirlemek çok önemlidir. Bu durumda karar probleminin dahil olduğu sınıf göz önünde bulundurulur. Buna ilişkin ayrım Tablo 2’de açıklanmaktadır.

Tablo 2: Karar Problemi Türlerine Göre Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Seçim Problemleri	Sıralama	Sınıflama	Tanımlama
AHP	AHP	AHPShort	
ANP	ANP		
MAUTA	MAUTA/UTA	UTADIS	
MACBETH	MACBETH		
PROMETHEE	PROMETHEE	FlowSort	GAIA, FS-Gaia
ELECTRE I	ELECTRE II	ELECTRE-Tri	
TOPSIS	TOPSIS		
HEDEF PROGRAMLAMA			
DEA	DEA		

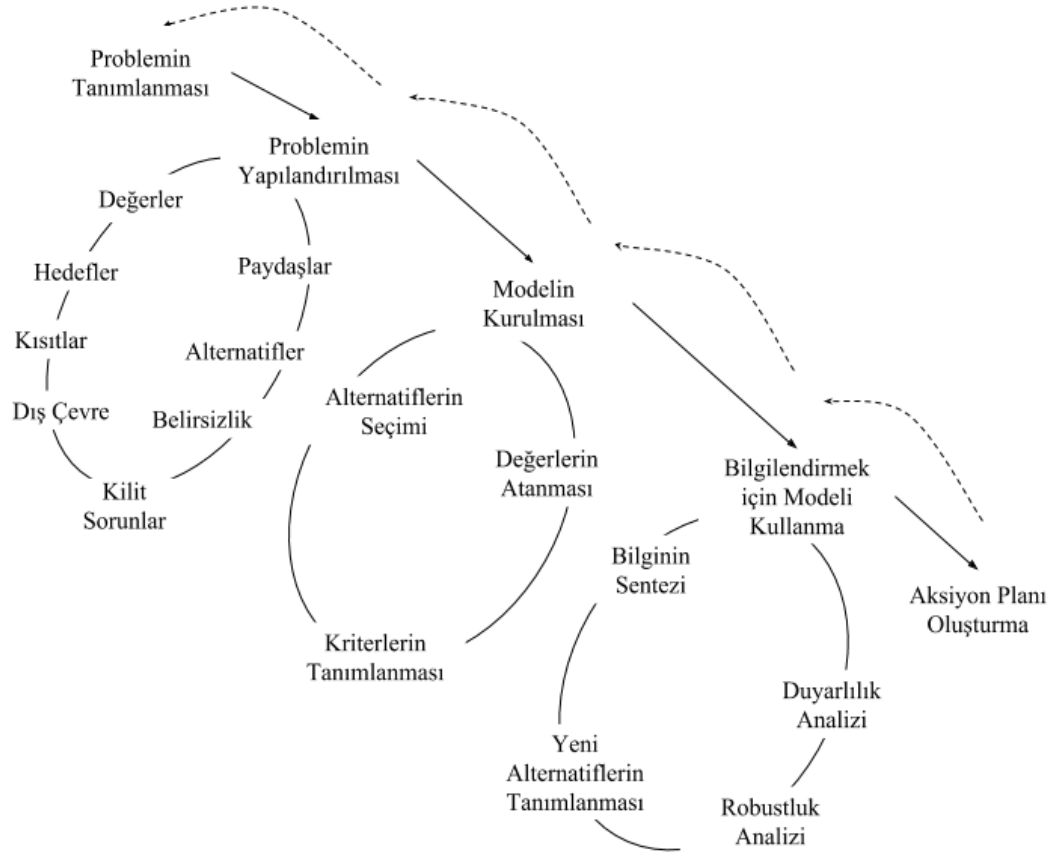
Kaynak: Ishizaka ve Nemery, 2013: 4

Tablo 2’den görüldüğü üzere çok kriterli karar verme yöntemleri çoğunlukla seçim, sıralama ve sınıflama problemlerine çözüm sunan yöntemlerdir. Tanımlama problemleri nadiren çok kriterli karar verme yöntemlerinin konusuna girmektedir. Genel olarak bakıldığında zaten çok kriterli karar verme yöntemlerinin özünde çoklu özelliklere sahip birden çok alternatifin karşılaştırılması, sıralanması ve seçilmesi için bir kombinasyon metodu olduğu görülmektedir (Whaiduzzaman ve diğerleri, 2014: 2).

Karar problemi türlerine göre kullanılacak çok kriterli karar verme yöntemi alternatifleri belirlenebilse de literatürde teknikler arasında nasıl seçim yapılması gerektiği konusu belirlenmemiştir. Roy 1996 yılında bu eksikliğin, tüm sorunları ve sonuçları ile gerçek bir karar sürecini tanımlamaya yönelik çalışmaların yeterli olmamasından kaynaklandığını ileri sürmüştür (Roy, 1996: 11).

Çok kriterli karar verme süreci genel karar verme süreci ile benzerlik göstermekte, ancak çok kriterli karar verme sürecinin yapısı gereği kriterlerin belirlenmesi ve kriterlerin göreceli öneminin belirlenmesine ilişkin adımların genel karar verme sürecinin üzerine eklenmesi gerekmektedir (Dooley ve diğerleri, 2005: 3).

Şekil 2: Çok Kriterli Karar Verme Süreci



Kaynak: Belton ve Stewart, 2002: 6

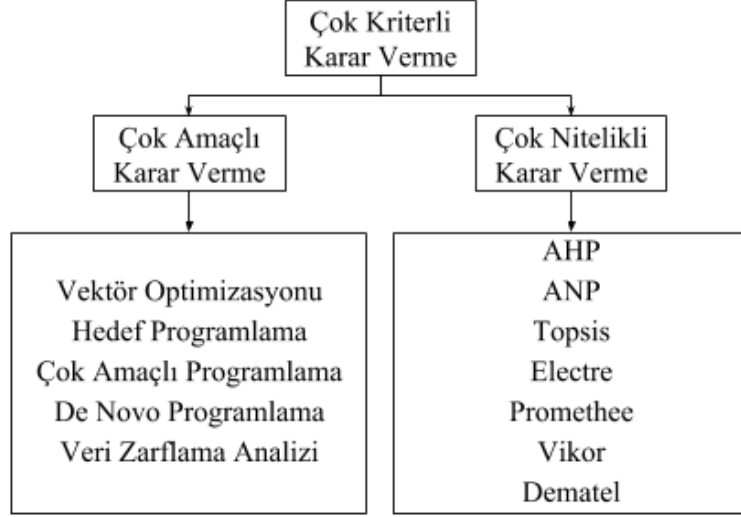
Şekil 2’de gösterilmiş süreç problemin tanımlanmasından, problemin yapılandırılmasına, modelin bilgilendirme amaçlı olarak kullanılmasından, aksiyon planının belirlenmesine kadar çok kriterli karar vermenin ana aşamalarını göstermektedir (Belton ve Stewart, 2002: 6).

1.1.6.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin her biri farklı karar verici tercihlerine yanıt vermesi ve farklı varsayımlara dayanması nedeniyle sınıflandırması kolay yöntemler değildirler. Literatürde konunun farklı üst başlıklar ile incelenmesinin bir sonucu olarak birden çok sınıflandırma ortaya çıktığı görülmektedir. Literatürde en çok kabul görmüş sınıflandırma Hwang ve Yoon tarafından sistematik araştırmayı kolaylaştırmak amacıyla ortaya atılmış iki kategorili sınıflandırmadır; bu kategoriler

“Çok Nitelikli Karar Verme” ve “Çok Amaçlı Karar Verme” olarak adlandırılmaktadırlar. Ayrım Şekil 3’te gösterilmektedir (Hwang ve Yoon, 1981: 4):

Şekil 3: Çok Kriterli Karar Vermenin Temel Ayrımı



Kaynak: Tzeng ve Huang, 2011: 3

Farklı yönlerden yapılan sistematik sınıflandırmaya ise Tablo 3’te yer verilmiştir (Whaiduzzaman ve diğerleri, 2014: 3).

Tablo 3: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sistematik Sınıflandırması

Problem Odaklı	Karar Tipi
Çok Kriterli Seçim Problemi Çok Kriterli Matematiksel Problem	Çok Nitelikli Fayda Teorisi Üstünlük Yöntemleri
Yöntemler	Model Yapısı
AHP, ANP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR, HEDEF PROGRAMLAMA, GRA, DEA, SAW, CBR, SMART	Çok Nitelikli Karar Verme Çok Amaçlı Karar Verme

Kaynak: Whaiduzzaman ve diğerleri, 2014: 3

Çok kriterli karar verme yöntemlerine problem temelli bakıldığında iki grupta incelenebildikleri görülmektedir. Sınırlı alternatif setinin olması ve bu alternatifler arasından en iyisinin seçilmesinin amaçlanması halinde “Çok Kriterli Seçim Problemleri” olduğundan bahsetmek mümkündür. Öte yandan “Çok Kriterli

Matematiksel Programlama” ise çok büyük veya sonsuz karar alternatifi kümesi ile çalışılması ve bu kümeden en iyi alternatifin seçilmesi amaçlanan durumlar için kullanılan sınıflandırmadır (Whaiduzzaman ve diğerleri, 2014: 3).

Problem tipleri olarak incelendiğinde “Çok Nitelikli Fayda Teorisi (MAUT)” ile belirli bir niteliğin fayda fonksiyonu hedeflenmektedir. Her nitelik tercih edilebilirliğini temsil eden reel sayı ile gösterilen bir marjinal faydaya sahiptir. Üstünlük yöntemleri ise ikili karşılaştırmalar ile bir alternatifin diğerinden üstün olup olmadığının saptanmaya çalışıldığı yöntemleri ifade etmektedir (Whaiduzzaman ve diğerleri, 2014: 3).

Araştırmanın ilgilendiği karar problemi çok amaçlı karar verme sınıfına dahil olduğu için çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri çok nitelikli karar verme ve çok amaçlı karar verme olarak detaylandırılmıştır.

1.1.6.1.1. Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemleri

Çok nitelikli karar verme yöntemleri genellikle belirli sayıda önceden belirlenmiş karar alternatiflerine sahiptirler. Çok nitelikli karar verme, sonlu sayıda alternatif arasından seçimle ilgili sorunları çözmek için kullanılan bir yaklaşımdır ve bir seçeneğe ulaşmak için nitelik bilgilerinin nasıl işleneceğini belirtmektedir (Rao, 2007: 27).

Çok nitelikli karar verme problemleri genel karakteristik bakımından çok amaçlı karar verme problemlerinden farksızdır, fakat ilgilendiği karar problemlerinin amacı bakımından bu iki yöntem farklılık göstermektedir. Çok nitelikli karar verme yöntemleri kriterler arasında çatışmaların, ölçülemeyen karar birimlerinin ve alternatiflerin seçiminde yaşanan zorlukların etkisi altındadır ve bu yöntemler bağımsız alternatifler arasından seçim yapılabilmesini mümkün kılmaktadır (Korhonen ve diğerleri, 1992: 365). Bu karar verme çeşidinde genellikle nicelleştirilmesi zor olan kriterlerle birlikte zaten nicel yapıya kriterlere bağlı olarak az sayıda alternatif değerlendirilmektedir (Hwang ve Yoon, 1981: 5).

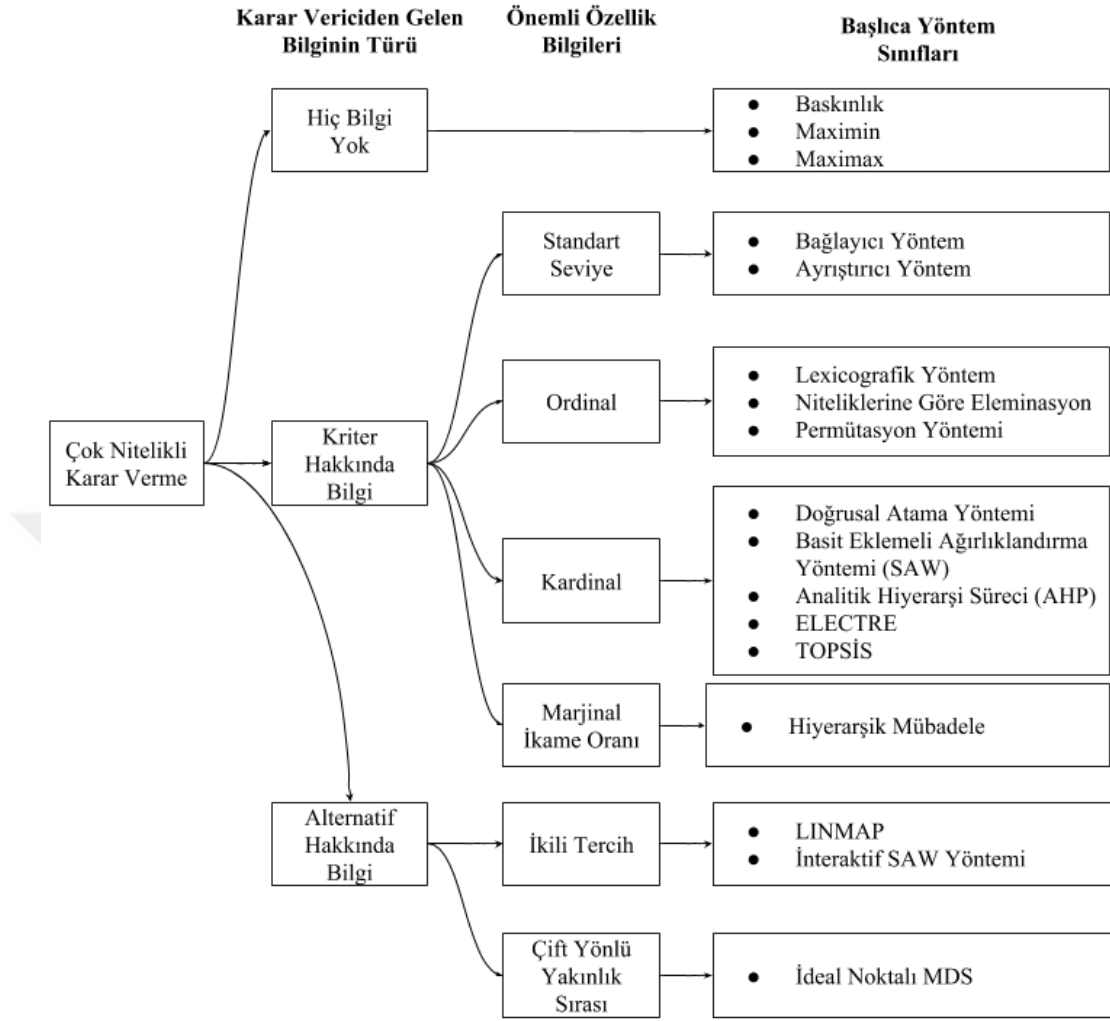
Neredeyse tüm çok nitelikli karar verme yöntemlerinin ön koşulu bir dizi kriter temelinde bir dizi alternatifin değerlendirilmesi veya alternatiflerin kriter puanlarını içeren değerlendirme tablosunun var olmasıdır. Karar probleminin etkili

modellenmesi alternatiflerin ve kriterlerin tanımlanmasını gerektirmektedir. Çok nitelikli karar verme problemlerindeki sonraki adım farklı kriter puanlarını spesifik bir toplama prosedürü kullanılarak toplanması ve karar vericinin tercihlerinin kriterlere atanan ağırlıklarla temsil edilmesidir. Bu yapılan işlemler karar vericinin ortaya çıkacak skorlara dayanarak farklı alternatifler arasında karşılaştırma yapmasına imkân tanımaktadır. Kullanılan farklı toplama teknikleri çok nitelikli karar verme yöntemlerinden birini diğerinden ayırarak yönteme kimlik kazandırmaktadır (Chakhar ve Martel, 2006: 100-101).

Çok nitelikli karar verme yöntemlerinde belirlenen nitelikler bakımından değerlendirilen alternatifler söz konusu nitelik bakımından faydalarını yansıtan sayısal ölçütler ile birleştirilmelidirler. Fakat bu ölçütlerin tüm nitelikler bakımından aynı ölçüm cinsinden olması gerekmektedir. Örneğin araç seçimi karar probleminde fiyat kriteri TL ile ölçülürken, km başına yakıt miktarı litre ile ölçülebilmektedir. Bu fayda yansıtmama işlemi yapılırken bazı nitelikler için puanlar tamamen objektif özellikler taşıyabileceği gibi bazı nitelikler için ise subjektif tercihler söz konusu olabilmektedir. Yine araç seçimi karar probleminden örneklendirilecek olursa aracın yaşı tamamen nesnel iken, aracın rengi karar vericinin subjektif beğenisi sonucunda değerlendirebileceği bir nitelik olmaktadır. Bu durumda puanlar kesin değildir ve neden belirli bir puan olduğunun kanıtlanması zordur. Tercihlere dayanmaktadır ve karar vericinin kendi yargılarını ve sezgilerini yansıtmaktadır (Bernroider ve Mitlohner, 2005: 52).

Çok nitelikli karar verme yazınındaki en önemli açık hangi durumda hangi yöntemin kullanılacağına dair yeterince netlik bulunmamasıdır. Çok nitelikli karar verme adı altında birbirinden belirli noktalarda ayrılan pek çok yöntem olmasına karşın bu yöntemlerin spesifik olarak hangi duruma uygun olduğuna dair literatürde yeterince çalışma bulunmamaktadır (Triantaphyllou, 2000: 22). Bu belirsizliği azaltmak için Hwang ve Yoon tarafından sunulmuş olan sınıflandırma Şekil 4'te gösterilmektedir.

Şekil 4: Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması



Kaynak: Hwang ve Yoon, 1981: 15

Çok nitelikli karar verme problemleri karar teorisinde en yaygın ve en popüler araştırma alanlarından birisidir ve çok kriterli karar verme üst başlığı altında uygulanan yöntemler olarak modern karar teorisinin önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Ding ve diğerleri, 2016: 1). Çok nitelikli karar verme teorisi ve yöntemleri birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Fu ve diğerleri, 2014: 853). Bu alanların bazıları; mühendislik, risk sermayesi proje değerlendirmesi, tesis yeri seçimi, ihale, bakım hizmetleri, askeri sistem verimliliği değerlendirmesi gibi mühendislik projeleri, ekonomi, yönetim ve askeri iş alanlarıdır (Xu, 2015: 5).

1.1.6.1.2. Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleri

Birçok gerçek dünya karar probleminin birden fazla, muhtemelen birbirleri ile çelişen, amaçları vardır. Örneğin karar verici otomobil seçiminde araç güvenliğini maksimize etmeye çalışırken, yakıt ve satın alma maliyetini minimize etmeye çalışabilmektedir. Ya da örneğin tıp alanında tedavinin başarı olasılığı maksimize edilmeye çalışırken tedavinin süresi ve yan etkileri minimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu tip durumlar karar teorisinde çok amaçlı karar verme yöntemlerinin doğuşuna sebep olmuştur. Fakat son yıllarda çok amaçlı karar vermeye duyulan ilgi artsa da çoğunlukla hala teorik araştırmalarda sadece tek bir amaç olduğu varsayımı altında karar verilmeye çalışıldığı görülmektedir (Rojers ve Whiteson, 2017: 8).

Çok amaçlı karar verme yöntemleri, karar vericinin kısıtlamalarını ve tercih önceliklerini en iyi şekilde yerine getirmeleri için, sonsuz veya çok sayıda seçeneğe ve sürekli veya tamsayı bir alanda belirlenen karar değişken değerlerine sahiptir (Rao, 2007: 27). Bir başka deyişle; çok amaçlı karar verme yöntemleri sonsuz sayıdaki sürekli ya da tam sayılı alternatiflerin, karar verme modelindeki kısıtların vektörü olan bir küme şeklinde tanımlandığı durumlar için uygundur (Belton ve Steward, 2002: 73). Yöntemin yapısı gereği modelde yer alan çatışan amaçlar sebebiyle karar problemi, mevcut kısıtlamalar kümesine göre olurlu durumlar tespit edilerek analiz edilmektedir (Whaiduzzaman ve diğerleri, 2014: 3).

Çok amaçlı karar vermede karar alternatifleri önceden belirlenmez, bunun yerine bir dizi kısıtlamaya tabi bir dizi amaç fonksiyonu optimize edilmeye çalışılmaktadır. Burada optimize çözümden kasıt en etkili ve en tatmin edici çözümü aramaktır. Etkin çözüm ya da tatmin edici çözüm olarak adlandırılan bu çözümde, herhangi bir hedefin performansı en az herhangi bir başka hedefin performansı düşürülmeden arttırılamamaktadır (Hwang ve Yoon, 1981: 5).

Herhangi birçok amaçlı karar verme yönteminin başlangıç noktası bir dizi kısıtlama ve bir dizi amaç fonksiyonudur. Modelde girdi verisi değerleri üzerinde doğal veya yapay kısıtlamaları yansıtan eşitlikler ve eşitsizlikler yer almaktadır. Bu da olurlu çözümlerin kısıtlar tarafından belirlenmesine sebep olmaktadır (Chakhar ve Martel, 2006: 101-102).

Çok amaçlı karar verme yöntemlerinde karar vericinin tercihleri amaç fonksiyonuna atanan ağırlık biçimini almaktadır. Çoklu amaçlar olurlu herhangi bir çözüm ile tatmin edilmesi gereken hedef değerler şeklinde temsil edilebilmektedir. Karar verici ayrıca her bir amaç fonksiyonu için amacın minimizasyon ya da maksimizasyon yönlü mü olduğunu belirlemelidir. Böylece birbiri ile çelişen yapıları amaçları bir araya getirerek uygulanabilir çözüm setlerine ulaşılmaktadır (Chakhar ve Martel, 2006: 101-102).

Genel olarak, uygulanabilir çözüm kümelerini tanımlamak için yerel ve etkileşimli toplama algoritmaları kullanılmaktadır. Bu hesaplama adımlarını kullanan yöntemler sayesinde karar vericinin tercihleri bilgisayarlar vasıtasıyla çözülebilir hale gelmektedir. Bu yerel ve etkileşimli algoritmalar, karar vericilerin tercihlerinin tüm karar verme süreci boyunca aşamalı olarak ifade edilmesini gerektirmektedir. Bununla birlikte, karar vericinin tercihleri a priori (çözümleme işlemi öncesinde) veya posteriori (çözümleme sürecinden sonra) olarak ifade edilebilmektedir (Chakhar ve Martel, 2006: 101-102).

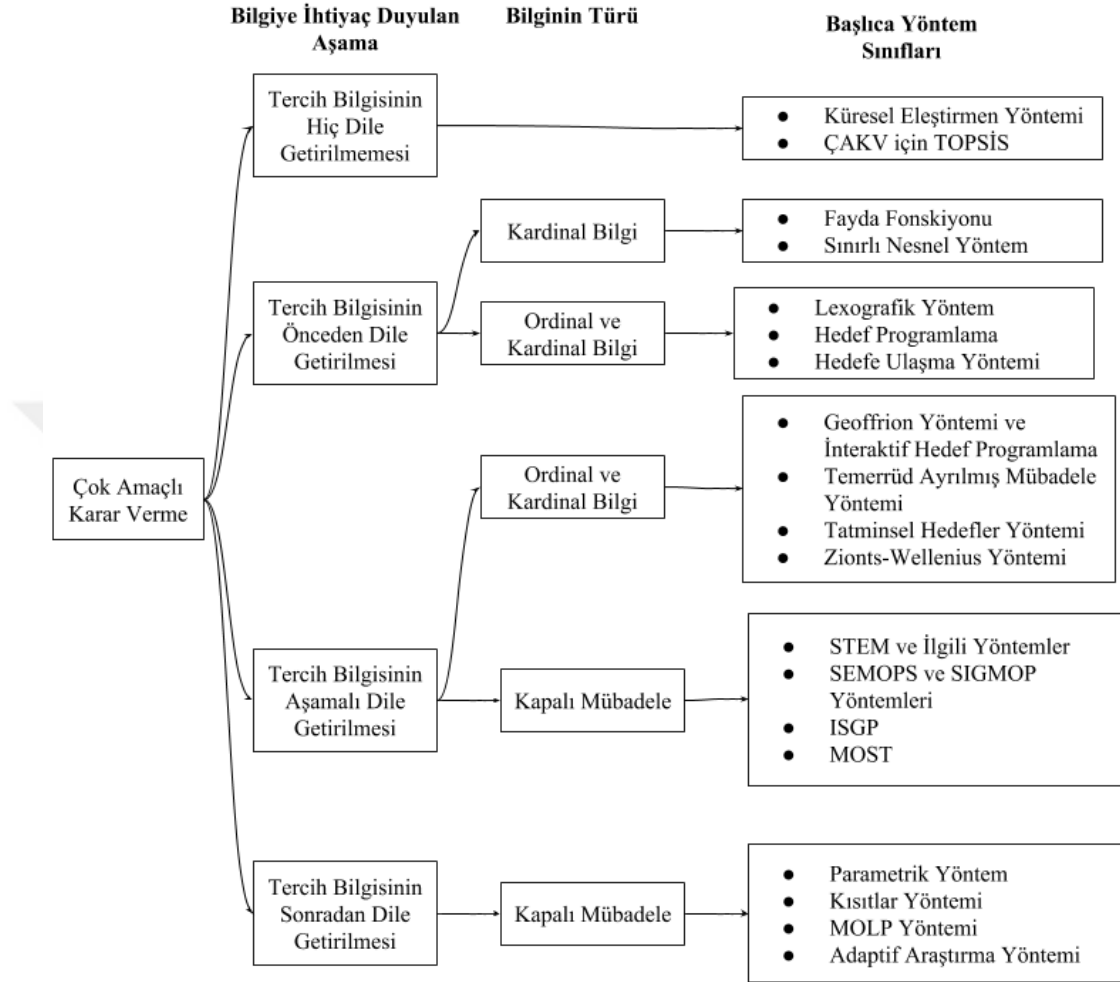
Çok amaçlı karar verme yöntemlerinde karar vericinin çelişen amaçlarına uygun çözüme olurlu çözüm alanı içerisinde ulaşmak için üç temel yaklaşım kullanılmaktadır (Kuruüzüm, 1998: 28):

- Karar vericinin tercihlerine ve kısıtlamaların sınırlarına uygun fayda fonksiyonu tanımlayarak, belirlenmiş fonksiyona uygun faydayı maksimize etme yaklaşımı,
- Karar vericinin tercihlerine ve kısıtlamaların sınırların uygun olarak ilk olarak optimize edilecek amacı tanımlama; bu amaç için en iyi çözümü bulmak, ardından bulunan optimal çözümü bozmayacak biçimde ikinci amaç fonksiyonunu en iyileştirme; üçüncü ve sonraki amaçlar için ise mevcut önceki çözümü bozmayan olabildiğince iyi değerleri elde etmeye çalışarak sonuca ulaşma yaklaşımı,
- Karar vericinin ve kısıtların sınırlarına uygun olarak ceza fonksiyonu tanımlamak ve bu fonksiyonunu minimize etmeye çalışma yaklaşımı.

Çok nitelikli karar verme konusunda olduğu gibi çok amaçlı karar verme literatüründe de eksik nokta hangi çok amaçlı karar verme yönteminin hangi durumda kullanılacağına dair yeterli sayıda çalışma bulunmamasıdır. Bu belirsizliği ortadan kaldırmak amacıyla Hwang ve Masud tarafından 1981 yılında paylaşılmış olan

sınıflandırma Şekil 5’te gösterilmektedir.

Şekil 5: Çok Amaçlı Karar Verme Problemlerinin Sınıflandırması



Kaynak: Hwang ve Masud, 1981: 13

Çok amaçlı karar verme problemlerini şekildeki gibi dört farklı kategoriye ayırarak açıklamak mümkündür (Sadjadi ve diğerleri, 2008: 1596):

- Birinci grubu çözüm süreci boyunca karar vericinin tercih bilgisine ihtiyaç duyulmayan karar problemlerini oluşturmaktadır. Bu tarz durumlarda çözümde karar vericinin tercih durumuna dair varsayımlardan faydalanılmaktadır.
- İkinci grubu karar vericinin tercih bilgisinin öncede kardinal ya da orijinal olarak bilindiği durum oluşturmaktadır. Bu grubun konusunu oluşturan karar problemleri ile ilgilenen fayda fonksiyonu karar vericinin kardinal tercih bilgisinden faydalanarak çözümü gerçekleştirmektedir. Literatürde sıklıkla kullanılan hedef

programlama yönteminde ise karar vericinin hem kardinal hem de ordinal tercih bilgisine ihtiyaç vardır.

- Üçüncü gruptaki çok amaçlı karar verme problemlerinde ise karar vericinin tercih bilgisine aşamalı olarak ulaşılabilmesi sebebi ile dinamik yapılı, algoritma tabanlı çözüm yöntemleri kullanılmaktadır.
- Son gruptaki çok amaçlı karar verme problemleri ise karar vericinin verimli çözümler arasından seçim yapmasına olanak tanıyan dinamik yapılı yöntemleri içermektedir.

1.1.6.1.3. Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemleri ile Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çok nitelikli karar verme yöntemleri ile çok amaçlı karar verme yöntemleri hem ilgilendikleri karar problemlerinin yapısı hem de kurulan modellerin işleyişi bakımından farklı yapıldırlar. Kısıtlar ve nitelikler çok nitelikli karar verme problemleri ile çok amaçlı karar verme problemlerini ayıran en önemli noktalardandır. Buna göre iki yöntem arasındaki temel farklılıklar şunlardır (Chakhar ve Martel, 2006: 102):

- Çok nitelikli karar problemlerinde nitelikler açıkça belirlenmiştir, fakat kısıtlar açıkça belirlenmemiştir. Çok amaçlı karar problemlerinde ise bunun aksine bir yapı görülmektedir. Modelde kısıtlar açıkça belirlenmişken, nitelikler açık olarak belirli değildirler.
- Çok nitelikli karar verme probleminde seçenekler sınırlı olduğu için karar vericinin hangi çözüm alternatifleri arasından seçim yapmak istediği önceden belirlidir. Çok amaçlı karar verme probleminde ise olurlu çözüm alanındaki herhangi bir nokta çözümü oluşturabilmektedir.
- Çok nitelikli karar problemlerinde kısıt söz konusu değildir. Karar alternatifleri zaten karar vericinin kısıtlarını sağladığı için karar alternatifi olma niteliği kazanmış olmaktadır. Çok amaçlı karar vermede ise sonuca modelde yer alan kısıtlar sayesinde ulaşılmaktadır.
- Çok nitelikli karar vermede seçeneklerin niteliklerini değerlendiren birden çok ölçüt bulunmaktadır.

Yukarıda yapılmış olan açıklamalara göre iki çok kriterli karar verme kategorisi olan çok nitelikli karar verme ve çok amaçlı karar verme yöntemleri arasındaki temel farklar Tablo 4 ve Tablo 5’te özetlenmiştir.

Tablo 4: Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

	Çok Nitelikli Karar Verme	Çok Amaçlı Karar Verme
Amaçların Belirlenmesi	Dolaylı	Dolaysız
Niteliklerin Belirlenmesi	Dolaysız	Dolaylı
Kısıtların Belirlenmesi	Dolaysız	Dolaylı
Karar Alternatiflerinin Belirlenmesi	Dolaylı	Dolaysız
Karar Alternatiflerinin Sayısı	Sınırlı	Sınırsız
Karar Vericinin Subjektif Etkisi	Kısıtlı ya da Belirgin	Kısıtlı
Karar Modeli	Sonuç Temelli	Süreç Temelli
Uygulanması Uygun Alanlar	Değerlendirme / Seçim	Tasarım / Araştırma

Kaynak: Malczewski, 1999: 85

Tablo 5: Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemlerinin Karakteristikleri

Çok Nitelikli Karar Verme	Çok Amaçlı Karar Verme
Sınırlı karar alternatifleri listesi	Yüksek veya sonsuz sayıda uygun çözüm
Açıkça tanımlanmış karar alternatifleri kümesi	Kapsamlı olarak tanımlanmış olurlu çözümler kümesi
Farklı Problem Formülasyonları	Seçime dayalı formülasyon
Toplama fonksiyonu üstünlük ilişkilerini ya da fayda fonksiyonunu temel almaktadır	Yerel ve etkileşimli toplama algoritmaları kullanılmaktadır.
Karar vericinin tercihleri hakkında önceden bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir	Karar vericinin tercihleri hakkında daha az önceden bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir.

Kaynak: Chakhar ve Martel, 2006: 102

1.2. HEDEF PROGRAMLAMA

Bu başlık altında hedef programlama yöntemi öncelikle kavramsal olarak açıklanmakta, tarihsel gelişimine ve literatür taramasına yer verilmekte; yöntemin temel varsayımları, prensipleri ve genel matematiksel gösterimi paylaşılmaktadır. Ardından hedef programlamanın türleri alt başlıklar halinde ele alınmaktadır.

1.2.1. Amaç, Hedef ve Hedef Programlama Kavramları

Hedef programlama kavramının ayrıntılı olarak incelenebilmesi için öncelikle “amaç” ve “hedef” kavramlarının ayrımının yapılması gerekmektedir. Türk Dil Kurumu’na göre hedef sözcüğü “Varılacak yer, ulaşılabacak son nokta” şeklinde tanımlanırken, amaç sözcüğünün tanımı “Ulaşmak istenilen sonuç, maksat” şeklinde yapılmıştır (Türk Dil Kurumu, Erişim Tarihi: 27.01.2018). Bu perspektiften bakıldığında “hedef” kavramının “amaç” kavramına göre daha spesifik olduğu, amacın belirli bir nokta değil daha çok yön belirten bir kavram olduğu anlaşılmaktadır.

Optimizasyon yazınındaki karşılığına bakıldığında Ignizio’nun 1976 yılında yayınladığı kitabında “amaç” ve hedef” kavramlarını birbirlerinden ayırdığı görülmektedir. Ignizio’ya göre amaç “ulaşılacak istenen genel bir ifade” iken hedef, “arzu edilen nokta ile saptanmış amaç”tır (Ignizio, 1976: 4). Dervitsiotis 1981 'de hedef için “hareket yönü” ifadesini kullanırken, hedef kavramı için “belirli bir yönün bulunduğu terim” ifadesini kullanmıştır (Dervitsiotis, 1981: 9). Hedef programlama yazınında en çok atıf alan isimlerden olan Romero amaçları “Dikkate alınan özelliklere karşılık gelen matematiksel işlevlerin enbüyüklenmesini veya enküçüklenmesini temsil eder” biçimde tanımlarken; hedefler için “Karar verici tarafından düşünülen özelliklerin herhangi biri için kabul edilebilir bir başarı seviyesidir” tanımlamasını kullanmıştır (Romero, 1991: 1). Evren ve Ülegin çalışmalarında hedefi “amaçların daha da somutlaşarak belli değerlere dönüşmüş şekilleri”, amacı ise “peşine düşülen durum” biçiminde ifade etmişlerdir (Evren ve Ülegin, 1992: 85).

Hedef Programlama (HP) çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir. Genel olarak doğrusal programlamanın her hedef için hedef değerlerine ulaşmayı ifade

eden birden fazla amaç içerecek şekilde genişletilmiş bir versiyonu olarak görülmektedir. Bir başka deyişle doğrusal programlama hedef programlamanın tek amaçlı özel bir versiyonudur (Arakawa ve diğerleri, 2003: 129). Doğrusal programlamanın altından kalkamadığı, doğası gereği çatışma halinde hedefleri olan durumlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş doğrusal programlamanın bir uzantı ya da genellemesi olarak düşünülmektedir (Kaliszewski ve diğerleri, 2016: 42).

Hedef programlama organizasyonlarda ve toplumda karşılaşılan karar verme problemlerine yönelik olarak tasarlanmış ve oldukça çok kabul görmüş bir çeşit doğrusal programlama tabanlı karar verme tekniğidir. Hedef programlama modeli, modelde kısıt şeklinde görev yapan hedef noktalarından hareketle yaşanacak istenmeyen sapmaları tek bir amaç fonksiyonu vasıtasıyla minimize etmeye çalışan doğrusal programlama tabanlı bir modelleme çeşididir (Spronk, 1984: 58).

Hedef Programlama, sonsuz sayıda alternatif arasından seçim yapabilen pragmatik bir programlama yöntemidir. Avantajlarından birisi, büyük ölçekli problemleri işleme kapasitesine sahip olmasıdır. Sonsuz alternatifleri üretme kabiliyeti, duruma bağlı olarak bazı yöntemlere göre önemli bir avantaj sağlamaktadır (Velasquez ve Hester, 2013: 61).

Hedef kısıtları olmadan doğrusal programlama modelleri yalnızca karın en büyüklenmesi ya da maliyetin en küçüklenmesi gibi tek bir amaca odaklanırken, hedef programlama birbiriyle çelişen çok sayıda hedefi bu hedeflerden istenmeyen sapmaları minimize etme biçiminde amaçsallaştırarak optimize etmeye çalışmaktadır. Bu sebeple hedef programlama salt optimizasyon aracı değil aynı zamanda tatmin aracıdır. Hedef programlama modelleri, ulaşılmaya çalışılan hedef değerlerini karar vericinin istekleri doğrultusunda bir araya getirerek, karar verici için amacına uygun maksimum tatmini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sebeple de doğrusal programlama modellerinde “optimal” çözüm olarak adlandırılan nihai çözüm değeri hedef programlama modellerinde “tatmin edici çözüm” olarak da adlandırılmaktadır (Hemaida ve diğerleri, 1995: 25).

Karar verme durumlarının çoğu, tek bir bakış açısından ilerlememekte veya tek bir amaç ile tatmin edilememektedir. Aslında birçok karar, çatışma ortamında verilmektedir. Hedef programlamanın yöntemleri, bir seferde birden fazla hedefle başa çıkmanın yollarını sunarak modelleme imkanlarımızı arttırır. Bununla birlikte,

sapma değişkeni olmadan sonuç verememektedir, çünkü birbiri ile çatışma halinde hedefler söz konusu olduğunda “mükemmel” kararı veren salt objektif bir analiz yapmak imkânsız değilse de zordur. Analizde karar vericinin tercihlerini yansıtan öznel bir bileşen her zaman olacaktır. Bununla birlikte, hedef programlama yaklaşımı aynı anda birden fazla hedefi göz önüne seren düzenli bir yol sunmakta ve genellikle karar verici tarafından kabul edilebilir uzlaşmacı çözümler üretmektedir. Temel fikir, her bir hedef için belirli nümerik hedefler belirlemek ve daha sonra verilen hedeflerden sapmaların toplamını en aza indirirken tüm verilen kısıtlamaları yerine getiren bir çözüm aramaktır. Genellikle sapmalar, her bir hedef fonksiyonun nispi önemini yansıtacak şekilde ağırlıklandırılmaktadır (Jensen ve Jonathan, 2003: 1).

Hedef Programlama yönteminin en göze çarpan dezavantajı ağırlık katsayılarının saptanması noktasında yetersiz olmasıdır. Literatürde rastlanan pek çok uygulamada katsayıların AHP gibi diğer yöntemlerin ağırlık hesaplamasında kullanılmasının gerekliliğinden bahsedilmektedir. Böylece sonsuz alternatif arasından seçim işini gerçekleştirirken aynı zamanda ağırlıklar konusundaki zayıf yönünü de telafi etmektedir (Velasquez ve Hester, 2013: 62).

1.2.2. Hedef Programlama Kavramının Tarihsel Gelişimi ve Literatür Taraması

Hedef Programlama'nın temel düşüncesi Simon'ın “amaçların tatmin edilmesi” kavramından çıkmaktadır. Simon'a göre daha önceki çalışmalarda varsayılanın aksine aslında, karmaşık yapıli organizasyonlarda karar vericiler oldukça iyi bir biçimde tanımlanmış fayda fonksiyonlarını maksimize etmeye çalışmamaktadırlar. Çünkü çıkar çatışmaları ve mevcut bilginin yetersizliğı karar vericinin tercihlerini temsil eden güvenilir bir fayda fonksiyonu oluşturmayı neredeyse imkânsız hale getirmektedir. Öte yandan, belirsizliğin, bilgi yetersizliğinin ve çıkar çatışmalarının olduğu bu tür ortamlarda karar verici bir dizi hedefe mümkün olduğunca çok yaklaşılmaya çalışmaktadır (Simon, 1955: 127).

Hedef Programlama'nın kavramsal olarak kullanımının ilk izleri Romero'nun 1991 yılında yazdığı “Handbook of Critical Issues in Goal Programming” adlı kitaba göre Charnes, Cooper ve Ferguson'un 1955 yılında yazdığı fırsat maliyeti kavramını

içeren makaledir. 1955 yılında yazılmış olan bu makalede Hedef Programlama ifadesi kullanılmamış, fakat onun yerine hedef programlanın özünü oluşturan sapmaları minimize eden bir çeşit kısıtlı regresyon yaklaşımdan bahsedilmiştir. Romero'ya göre Charnes ve Cooper'ın 1961 yılında yazdıkları "Management Models and Industrial Applications of Linear Programming" kitabına kadar "Hedef Programlama" kavramı literatürde hiç görülmemiştir. Şaşırtıcı bir biçimde yöntemin adının ilk kez konulduğu bu çalışmada Hedef Programlanma'dan eşsiz ya da devrimsel bir yöntem olarak bahsedilmemiş, yalnızca "doğrusal programlamanın bir çeşit uzantısı" olarak söz edilmiştir. Charnes ve Cooper'a göre yöntem özel değildir ve yazarlar tarafından yöntemin doğrusal programlamanın çözemediği, olursuz, problemlerde kullanılması önerilmiştir. Kısacası hedef programlamanın önemi, literatürde doldurduğu boşluk ve kullanım alanları ortaya atıldığı yıllarda anlaşılammış, hatta ilk kez kavramın kullanıldığı 1961 yılındaki bu kitapta kavramın literatür için katkısı ön görülemediğinden indeks bölümünde terim olarak eklenmesi dahi atlanmıştır (Charnes ve Cooper, 1955: 138-151; Charnes ve Cooper, 1961: 215 -461; Romero, 1991: 25-37; Schniederjans, 1995: 1).

Charnes ve Cooper'ın hedef programlama kavramını ilk kullandıkları yayına göre optimizasyon problemlerinde gerçek amaç hedeflerin "kabul edilebilir" seviyelerini belirlemektir. Buna göre karın "en büyüklenmesi" hedefi "belirli bir seviyede ya da üzerinde karla üretim yapmak" hedefi haline getirilmelidir. Bu durumda modelin olası üç çözümü olacaktır; bunlar çözümün hedef değerinin üzerinde, hedef değerinin altında veya hedef değere tam eşit olduğunda ortaya çıkması durumlarıdır. Bu durumlardan çözümün "ulaşılmaya çalışılan karlılık düzeyinin altında olması" halinde hedeften istenmeyen, yani, negatif sapma olduğu sonucuna varılmaktadır. Nihayetinde Charnes ve Cooper, 1961 yılındaki bu yayında pek çok akademik çalışmaya yıllar boyu konu olacak olan hedef programlama kavramını istenmeyen sapmaları en aza indirmeye odaklanmış bir çeşit doğrusal programlama yöntemi uzantısı olarak sunmuşlardır (Charnes ve Cooper, 1961: 215 -221).

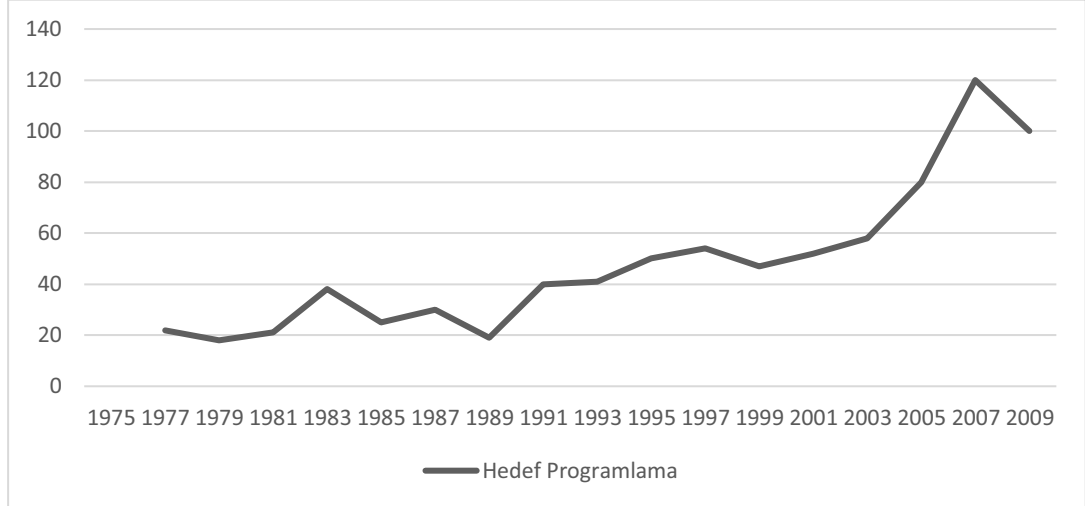
Hedef programlamanın bundan sonraki gelişimi Ijiri (1965), Lee (1972) ve Ignizio'nun (1976) katkılarıyla olmuştur. Bu katkılarla birlikte hedef programlama kendine sadece akademide değil, operasyonel alanda da yer bulmaya başlamıştır. Bunun bir sonucu olarak 1970'lerin ortalarından itibaren literatüre katkı sunan pek

çok çalışma yayınlanmaya başlamıştır (Jones ve Tamiz, 2010: 2).

Hedef programlamanın formüle edilmesindeki ve uygulamasındaki kolaylıklar, doğrusal programlama ile olan bağı zamanla çok kriterli karar verme yazınında en çok tercih edilen uygulamalardan biri olmasına neden olmuştur (Jones ve Tamiz, 2010: 2).

Hedef programlama kavramının literatürdeki yeri “doğrusal programlamanın bir çeşit uzantısı” tanımlaması ile yaptığı mütevazı girişten sonra yıllar içerisinde oldukça fazla değişikliğe uğramıştır. Zamanla hedef programlama “özel bir problem çözme metodolojisi” olarak kendini doğrusal programlamadan ayırtırmayı başarmıştır. O günlerden bugünlere gelişimini sürdüren Hedef programlamanın geçmiş 47 yılda neredeyse hemen hemen her yönetim bilimi ve işletme araştırması ders kitabında bölüm olarak yer aldığı görülmektedir.

Şekil 6: ISI Verilerine Göre Yayınlanmış Hedef Programlama Akademik Makale Sayıları



Kaynak: Jones ve Tamiz, 2010: 2

Yukarıdaki grafik tekniğin yalınlığı ve uygulanabilirliği ile çok sayıda uygulama alanında yazılmış akademik makalelerin 2000’li yılların ortalarında hızla arttığını ve yöntemin giderek daha çok çalışmada kullanıldığını göstermektedir (Jones ve Tamiz, 2010: 2).

Hedef programlamanın ulusal ve uluslararası yazında işletme uygulaması olan pek çok yayın bulunmaktadır. Buffa ve Jacson fiyat, kalite ve teslimat hedeflerini kullandığı bir çalışma yapmıştır (Buffa ve Jackson, 1983). Sharma ve diğerleri, kalite, hizmet seviyesi ve termin zamanı, talep ve bütçe hedefleri altında bütünleşik

maliyetleri minimize eden hedef programlama modelini sunmuştur (Sharma ve diğerleri, 1989). Lee ve Kim uçak kontrol grubu seçimi karar probleminde yöntemi uygulamıştır (Lee ve Kim, 2000) Atmaca, üretim planlama karar problemini hedef programlama modeli ile çözdüğü çalışmasını yayınlamıştır (Atmaca, 2002). Leung ve diğerleri, yine hedef programlama modelini üretim planlama karar probleminin optimizasyonu amacıyla kullanmışlardır (Leung ve diğerleri, 2000). Mendoza ve diğerleri AHP ve hedef programlama metotlarını sipariş atamalarının çok amaçlı olarak en iyilenmesi amacıyla kullanmışlardır (Medoza ve diğerleri, 2008). Paksoy ve Chang tedarik zinciri yönetiminde 0-1 tamsayılı hedef programlama modelini uygulamışlardır (Paksoy ve Chang, 2010). Akdeniz ve Aras bulanık hedef programlama yaklaşımını İzmir'deki bir plastik işletmesinin stratejik hedeflerini konu almış ve çalışmalarında toplamsal hedef programlama yaklaşımını kullanmışlardır (Akdeniz ve Aras, 2010). Karaman ve Çerçioğlu hastane yatırım projesi seçiminde 0-1 hedef programlama yöntemini kullanmıştır (Karaman ve Çerçioğlu, 2015).

1.2.3. Hedef Programlamada Kullanılan Temel Kavramlar

Bu bölümde çok kriterli karar verme ve hedef programlama ile ilgili temel tanımlar ve kavramlar açıklanmaktadır (Jones ve Tamiz, 2010: 2-6):

- **Karar Verici(ler)**: Çok kriterli karar verme ve hedef programlama yazınında karar verici(ler), dikkate alınan karar probleminin ait olduğu kişi(ler), organizasyon(lar) veya paydaş(lar) anlamındadır.

- **Karar Değişkeni**: Karar değişkeni, karar vericinin kontrol ettiği bir faktör olarak tanımlanmaktadır. Karar değişkenleri problemi tam olarak tarif etmekte ve yapılacak kararı oluşturmaktadır. Hedef programlama modelinin amacı, karar vericinin amaç ve kısıtlamalarını en iyi karşılayan noktayı belirlemek için tüm olası karar değişkeni değer kombinasyonlarının (olurlu çözüm alanı olarak bilinir) taranmasıdır.

- **Kriter**: Kriter, bir karar probleminde herhangi bir çözümün iyiliğinin ölçülebileceği tek bir ölçüttür. Farklı uygulama alanlarından kaynaklanan pek çok olası kriter vardır. Bu nedenle, birden fazla kritere sahip bir karar problemi, çok kriterli karar verme problemi olarak adlandırılmaktadır.

- **Sapma Değişkeni:** Bir kriter üzerindeki hedef seviye ile belirli bir çözümde elde edilen değer arasındaki farkı ölçmektedir. Eğer elde edilen değer hedef seviyenin üzerindeyse pozitif sapma değişkeni ile; eğer elde edilen değer hedef seviyenin altındaysa negatif sapma değişkeni ile ifade edilmektedir.

- **Kısıt:** Olurlu çözümün sağlanması için yerine getirilmesi gereken, karar değişkenleri üzerinde bir sınırlamadır. Bu, başarısızlığın otomatik olarak çözümü uygulanamaz kılmayan bir hedef kavramından farklıdır. Bir kısıt, normalde birkaç karar değişkeninin bir fonksiyonudur ve eşitlik veya eşitsizlik olabilmektedir. Hedeflerden sapmalar olsa da çözüm gerçekleştirilebilir, fakat kısıtlardan istenmeyen sapma olması halinde çözüm olursuz halde gelecektir. Bu ayrımı daha netleştirebilmek için literatürde kısıtların “hedef kısıtı” ve “sistem kısıtı” olmak üzere ikiye ayrıldığı görülmektedir. Sistem kısıtlamaları, doğası gereği daha kısıtlayıcı olan ve elde etmek istediğimizden ziyade, mevcut yetenekleri temsil ettiklerinden, hedef kısıtlamalarından önce karşılanması gerekenlerdir.

- **İşaret Kısıtlaması:** Tek bir karar veya sapma değişkeninin, yalnızca kendi aralığı içinde belirli değerleri almak için sınırlayan kısıtlamalardır. En yaygın olanı işaret kısıtlaması olarak bilinen ve değişkenin negatif olmaması ve sürekli olmasını koşul koyan kısıtlamadır.

- **Olurlu Çözüm Alanı:** Hedef programlama modelindeki tüm kısıtlamaları yerine getiren karar alanındaki çözümler dizisini oluşturur. Bu alandaki herhangi bir çözümün pratikte uygulanabilir olduğu kabul edilmektedir.

- **Pareto-Etkin Çözüm:** Çok amaçlı bir problemde bir çözüm en azından tüm hedeflere göre iyi olan ve en azından bir amaca göre kesinlikle daha iyi olan başka bir çözüm bulunmaması durumunda pareto etkindir. Temel bir karar verme kanununa göre, hiçbir rasyonel karar verici eğer karar probleminde bir pareto-etkin çözüm olduğu bilgisine sahipse bilinçli olarak pareto-verimsiz çözümü seçmemektedir.

- **İdeal Nokta:** Çok amaçlı bir optimizasyon sorununun içindeki her bir hedefin, mümkün olan bölgede tek tek optimize edildiğinde optimal değeri aldığı olurlu çözüm alanı içindeki nokta, ideal nokta olarak bilinmektedir.

- **İdeal Olmayan Nokta:** Doğru bir karşılaştırma sağlamak için, en iyi çözüm olmayan noktaların belirlenmesinde kullanılan ideal çözüm alanı içindeki noktalardır.

1.2.4. Hedef Programlamanın Varsayımları

Hedef programlama modellerinin varsayımları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Winston, 2004: 23):

- **Katkıda Bulunma**: Katkıda bulunma varsayımı hedef değerden olan istenmeyen sapma değerinin amaca olan olumsuz etkisinin diğer hedeflerden olan istenmeyen sapma değişkenlerinden bağımsız olmasını ifade etmektedir.
- **Orantılılık**: Hedef programlama modelinde orantılılık varsayımı, hedef seviyeden istenmeyen bir sapma değişkeninin amaca olumsuz etkisinin hedef seviyeden uzaklığa doğrudan doğruya orantılı olmasını gerektirmektedir.
- **Bölünebilirlik**: Bu varsayım, tüm karar değişkenlerinin belirtilen aralıkları dahilindeki herhangi bir değeri alabileceğini ifade eder. Yani bir karar değişkeni bir tam sayı veya ayrı bir değer almak zorunda bırakılamaz. Varsayıma göre çözüm değerlerini yalnızca kesikli sayılar oluşturmamaktadır. Değişkenlerin sürekli reel sayılardan herhangi birisini alması mümkün olmaktadır.
- **Kesinlik**: Bu varsayım, tüm değişken katsayılarının kesin olarak bilinmesi anlamına gelmektedir. Hedef programlama deterministik olma özelliğine sahip bir yaklaşımdır.

Bununla birlikte, yukarıdaki varsayımlardan herhangi birinin ihlal edilmesi durumunda hedef programlamanın kullanılması imkânsız hale gelmemektedir. Katkıda bulunma koşulları geçerli değilse, doğrusal olmayan bir hedef programı oluşturulabilmektedir. Bölünebilirlik varsayımının geçerli olmadığı durumda, tam sayılı veya 0-1 hedef programlama uygulanabilmektedir. Kesinlik varsayımına uyulmadığında, kullanılacak yöntemde katsayıların belirsizliğini formüle edecek bir bileşke yönteme başvurulabilmektedir. Ağırlık ve hedef değerlerin belirsiz değerler olması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bu durumlarda da bulanık mantıktan ya da gri sistemlerden faydalanılabilmektedir. Fakat bununla birlikte, hedef programlama değişkenlerinin doğru seçilmesini ve parametrelerin uygun şekilde ayarlanmasını sağlamak için hedef programlamanın genel ilkelerini ve kavramlarını görmek ve anlamak gerekmektedir (Orumie ve diğerleri, 2014: 62).

1.2.5. Hedef Programlamanın Genel Prensipleri

Hedef programlama varsayımları ile uyum halinde olan üç prensibe göre çalışmaktadır (Orumie ve diğerleri, 2014: 62 – 63; Jones ve Tamiz, 2010: 6 -9):

- **Tatmin Etmek**: Hedef programlama tatmin edici bir tekniktir. Simon (1957) tatmin etmeyi çalışmasında “karar vericilerin bir dizi tanımlanmış hedefe ulaşmayı amaçladığı bir davranış” olarak tanımlamaktadır. Karar vericiler bu hedeflere ulaşırlarsa, tatmin olmaktadır. Tatmin etme optimizasyon kavramından yani “uygun en iyiye ulaşmak”tan farklıdır. Simon’ın iddiasına göre karar vericiler karar sorunlarının çıktılarını optimize etmektense onları tatmin etmekle ve hedeflerine ulaşabilmekle daha çok ilgilenmektedir. Hedeflere mümkün olduğunca yaklaşarak karşılamak, hedef programlama tekniğinin ana hedefidir. Jones ve Tamiz’e göre (2010), hedef programlamanın temel felsefesi karar vericiyi tatmin etmektir. Bu tatmin düzeyi de çözümün karar vericinin hedeflerine ne kadar iyi ulaştığına ve karar sorununa pratik bir çözüm üretip üretmediğine göre değerlendirilmelidir. Bu açıdan bakıldığında hedef programlamanın verimliliği ve başarısının karar vericinin tatmin düzeyine bağlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle de hedef programlama yönteminin temel amacının “tatmin etme” olduğunu söylemek hatalı olmayacaktır.

- **Optimize Etmek**: Optimizasyon, olurlu çözüm alanındaki karar noktaları arasından bir dizi performans ölçütünün mümkün olan en iyi değerini veren kararın saptanmaya çalışılmasını gerektirmektedir. Optimizasyon teorisinde çok amaçlı karar verme “pareto optimallik” ile ilişkilendirilmektedir. Jones ve Tamiz’e göre (2010) hedef programlamada optimizasyon felsefesi şu iki durumda önemlidir:

- Eğer çözüm pareto optimal ise bu durumda hedef programlama modelinden elde edilen çözümde hem optimallik hem de tatmin etme sağlanmış demektir.

- Eğer hedefler iki taraflıysa (yani hedefin belirli bir değere eşit olması isteniyorsa, yani “dan az ise daha iyidir” ya da “dan yüksek ise daha iyidir” koşulları söz konusu değilse), optimize etme ve tatmin etme durumlarının her ikisinden de elde edilecek sonuç birbirine eşit olacaktır. Bu durumda “tatmin etme” “optimize etme”ye denk olarak düşünülebilmektedir.

- **Önceliklendirmek ve Sıralamak**: Karar vericinin varlığının bilinmesi ve tanınması bakımından önemli olduğu için hedef programlamada karar vericinin

tercihlerini yansıtabilecek şekilde hedefleri önceliklendirmesine ve sıralamasına izin verilmektedir.

- **Dengelemek:** Pek çok hedef programlama probleminde, amaçların başarılması arasındaki dengeye bakmadan sadece hedeflerin başarı düzeyini değerlendirmek yeterli değildir. Bu nedenle başarı düzeyi yüksek çözümler üretebilmek için modellerde Rawls'ın 1973 yılında ortaya konan fayda fonksiyonu ile ilişki halindeki dengeleme prensibine göre modellerin kurulması gerektiği bilinmelidir. Hedefe ulaşmak anlamında belirli bir seviyenin üzerinde başarı beklenmeyen kısıtların modele dahil edilmemesi gerekmektedir. Hedeflerden beklenen ulaşma başarılarının birbiri ile dengeli olması, hedef programlama modelinden elde edilecek çözümün sağlayacağı tatmin düzeyi açısından önemlidir.

1.2.6. Hedef Programlamanın Genel Matematiksel Gösterimi

Hedef programlamanın genel yaklaşımı doğrusal programlamanın maksimizasyon ve minimizasyon mantığının üzerine hedef konulması ve bu hedeflerde ortaya çıkabilen istenmeyen sapmaların minimize edilmeye çalışılması üzerine kuruludur. İstenmeyen sapmalar pozitif yönlü olabilecekleri gibi aynı zamanda negatif yönlü de olabilmektedir (Sinha ve Sen, 2011: 1411).

Hedef programlama modelleri köken olarak doğrusal programlamaya bağlı olduklarından dolayı matematiksel olarak gösterimlerinde de benzerlikler bulunmaktadır. Doğrusal programlama modelleri ile hedef programlama modellerinin matematiksel gösterimi bakımından en büyük fark, doğrusal programlama modellerinin modeldeki tek amaç fonksiyonunu minimize ya da maksimize etmeye çalışması, fakat hedef programlama modellerinde amaç fonksiyonunun hedef değerler ile çözüm değerleri arasında oluşan istenmeyen sapmaları hedef olarak tatmin edici çözüme ulaşmayı sağlayan minimizasyon yönlü amaç fonksiyonu ile modelin kurulmasıdır. (Orumie ve Ebong, 2014: 60)

Doğrusal programlama modellerinden farkından yola çıkılarak hedef programlama modellerinin genel matematiksel yapılandırması için gereken adımlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Rifai, 1996: 42):

- Hedeflerin tanımlanması ve hedef kısıtı olarak ifade edilmesi

- Hedeflerin doğru istenmeyen sapma değişkenlerini belirlemek için analizi
- Hedeflerin önem derecelerine göre önceliklendirilmesi ve sıralanması
- Genel hedef programlama modellerinde $i = 1, 2, \dots, m$ olmak üzere m adet hedef kısıtı bulunmaktadır. Aynı zamanda modelde x karar değişkeni olarak tanımlanmak üzere $j = 1, 2, \dots, n$ adet karar değişkeni tanımlanmaktadır. Bu adımlara göre i . hedefi tanımlamak üzere genel formülasyon aşağıdaki gibi elde edilmektedir (Jones ve Tamiz, 2010: 11; Orumie ve Ebong, 2014: 61):

$$f_i(x) = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_{ij} + d^- - d^+ = b_i \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

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

Hedefler modelde karar vericinin üzerinde kontrol gücünün olduğu, çözülecek karar sorununa uygun olarak tanımlayabildiği faktörlerdir. Her hedefin bir $f_i(x)$ fonksiyonu vardır. Bu fonksiyon karar değişkenlerine bağlı olarak işlemektedir. Karar vericiler her hedef için b_i olarak gösterilen sayısal bir hedef belirlemektedir. Bu da hedefin temel formülasyonunu oluşturmaktadır. Böylece d^- hedeften negatif sapmaları d^+ ise hedeften pozitif sapmaları temsil eder. Örneğin $b_i = 40$ ve $f_i(x) = 25$ ise bu durumda negatif sapma anlamına gelen $d^- = 15$ $d^+ = 0$ olacaktır. Yani hedef değer olan 40'tan 15 birimlik sapma yaşanarak 25 çözüm değerine ulaşılmıştır. Bu durumda hedeften pozitif sapma hiç yoktur. Yalnızca hedefin altında elde edilmiş 15 birim vardır. Farklı bir durumda ise $b_i = 40$ ve $f_i(x) = 55$ ise negatif sapma anlamına gelen $d^- = 0$ ve pozitif sapma anlamına gelen $d^+ = 15$ olacaktır. Bu durum ise hedef değer olan 40'ın üzerine hedefi aşarak 15 birim daha elde edilmesini ifade etmektedir. Bu hesaplamalar yapılırken hem pozitif hem de negatif sapma değerlerinin sıfır ya da sıfırdan büyük olma koşulunu sağlaması gerektiği göz ardı edilmemelidir (Jones ve Tamiz, 2010: 11 -12).

Matematikselsel modellemenin ikinci adımı gereği karar vericinin model kurarken hangi tür sapmayı istemediğine karar vermesi gerekmektedir. Sapma türleri ile hedefler arasındaki ilişki Tablo 6'da özetlenmiştir (Jones ve Tamiz, 2010: 12).

Tablo 6: Hedef İstenmeyen Sapma İlişkisi

Hedef Tipi	İstenmeyen Sapmalar
<i>Tip 1: $a_{ij}x_j \leq b_i$</i>	d^+
<i>Tip 2: $a_{ij}x_j \geq b_i$</i>	d^-
<i>Tip 3: $a_{ij}x_j = b_i$</i>	$d^- + d^+$

Kaynak: Jones ve Tamiz, 2010: 12; Orumie ve Ebong, 2014: 61

Tip 1 hedefler maliyetler gibi pozitif sapmaların cezalandırıldığı durumları ifade etmektedir. Bu tip hedeflerde pozitif sapma olması istenen bir durum değildir. Tip 2 olarak adlandırılan hedefler ise kar gibi negatif sapmaların cezalandırıldığı hedeflerdir. Bu hedeflerden negatif sapmalar istenmemektedir. Tip 3 hedefler ise işgücü gibi negatif ve pozitif sapmaların her ikisinin de arzu edilmediği hedeflerdir. Hedefler kümesi bazı durumlarda “yumuşak/esnek kısıtlamalar” olarak adlandırılmaktadırlar. Bu isimlendirmenin yapılmış olmasının sebebi karar vericinin belirlemiş olduğu her hedefe sapmasız ulaşmak istemesi, fakat bunun mümkün olmaması halinde olurlu çözümün olmadığı anlamına gelmemesidir. Bu durumun bir sonucu olarak da elde edilecek çözüm optimal olmaktan ziyade, tatmin edici olacaktır (Jones ve Tamiz, 2010: 11 -12).

Modelin amaç fonksiyonu, yaşanması arzu edilmeyen sapmaların bir araya getirilerek minimize edilmesi ile oluşturulmaktadır. Bu yapılan işlem ile amaç, istenmeyen sapmaları en aza indirmek ve böylece istenen hedefler kümesine “mümkün olduğu kadar yakın” bir çözüm bulunmasını sağlamaktır. Bunun için de karar vericinin hedeflerini önceliklendirmesi ve sıralaması gerekmektedir. Önceliklendirme durumu p_i ile gösterilmektedir. Hedefleri sıralamak için ise formülasyonda w_i ile gösterilen ağırlıklardan yararlanılmaktadır. Modeldeki pozitiflik koşulu ile de değişkenlerinin asla negatif değerler almaması sağlanmaktadır. Nihayetinde hedef programlamanın genel formülü aşağıdaki gibi elde edilmektedir (Jones ve Tamiz, 2010: 12; Orumie ve Ebong, 2014: 61):

$$\begin{aligned} \text{Min } z &= \sum_i^m w_i p_i (d^- + d^+) \\ \sum_j^n a_{ij} x_j + d^- - d^+ &= b_i \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$x \in F$$

$$x_{ij}, d^-, d^+ \geq 0$$

$$w_i > 0$$

Yukarıda tanımlanmış olan doğrusal programlama modeli tabanlı matematiksel gösterim Kwaks ve Schniederjans'ın 1982 yılındaki çalışmalarında literatürde en çok kullanılan gösterim olması sebebiyle hedef programlamanın genel matematiksel gösterimi olarak adlandırılmıştır (Kwak ve Schniederjans, 1982: 859).

Literatürde hedef programlamanın genel matematiksel formülasyonunu tanımlamada kullanılan geleneksel gösterimin yanı sıra Ignizio 1978 yılında karar problemlerinin pratikte temsilini sağlayan aşağıdaki matematiksel modeli ortaya koymuştur (Ignizio, 1978: 1112):

$$\begin{aligned} \text{Min } \bar{a} &= \{g_1(\bar{n}, \bar{p}), g_2(\bar{n}, \bar{p}), \dots, g_k(\bar{n}, \bar{p})\} \\ f_i(\bar{x}) + n_i - p_i &= b_i \\ i &= 1, 2, \dots, m \\ \bar{x}, \bar{n}, \bar{p} &\geq 0 \\ x &\in F \end{aligned} \tag{3}$$

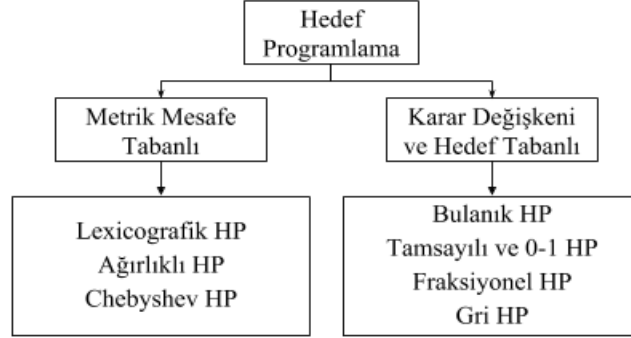
Bu modelde $\bar{x} = x_1, x_2, \dots, x_j$ olmak üzere x_j j . karar değişkenini ifade eder. \bar{a} amaç fonksiyonudur. $g_k(\bar{n}, \bar{p})$ k . seviye öncelikte hedeften \bar{n} negatif sapma veya \bar{p} pozitif sapma durumunu ölçen doğrusal fonksiyondur. Modelde k adet öncelik seviyesi bulunmaktadır. b_i hedef kısıtının sağ tarafını ifade etmektedir. $f_i(\bar{x})$ ise hedef kısıtının doğrusal ya da doğrusal olmayan, n_i i . hedeften negatif sapma durumunu p_i ise i . hedeften yaşanan pozitif sapmayı sembolize etmek üzere karar değişkenlerine bağlı fonksiyonudur (Ignizio, 1978: 1112).

1.2.7. Hedef Programlama Türleri

Hedef programlama modelleri, karar verici tarafından hedeflerin önceliklendirilmesine, sıralanmasına hem önceliklendirilip hem de sıralanmasına ya da karar değişkenlerinin ve hedeflerin türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Literatürde hedef programlama yöntemleri iki ana başlık altında incelenmektedir.

Bunlardan ilk metrik mesafe tabanlı hedef programlama yöntemleri iken, ikincisi karar değişkeni tabanlı hedef programlama yöntemleridir. Bu sınıflandırma şekil 7’de gösterilmektedir:

Şekil 7: Hedef Programlama Türlerinin Sınıflandırılması



Kaynak: Jones ve Tamiz, 2010: 6

1.2.7.1. Metrik Mesafe Tabanlı Hedef Programlama Türleri

Metrik mesafe tabanlı hedef programlama yöntemleri kendi içerisinde üç ayrılmaktadırlar. Bunlar sırasıyla öncelikli hedef programlama olarak da bilinen leksikografik hedef programlama, ağırlıklı hedef programlama ve ağırlıklı-öncelikli hedef programlama olarak da adlandırılan chebyshev hedef programlamadır.

1.2.7.1.1 Leksikografik Hedef Programlama (Öncelikli Hedef Programlama)

Hedef programlama ya da engelleyici hedef programlama olarak bilinen hedeflerin önem derecelerine göre önceliklendirildiği hedef programlama yöntemidir. Erken dönem hedef programlama uygulamalarının büyük çoğunluğunu leksikografik yani öncelikli hedef programlama uygulamaları oluşturmaktadır. Yöntem ilk olarak İjiri (1965) tarafından ortaya atılmış, Lee (1972) ve Ignizo'nun (1976) katkılarıyla sıklıkla kullanılan bugünkü haline ulaşmıştır (Neelavathi, 2015: 317). Literatürde bu hedef programlama türü “engelleyici” hedef programlama olarak da isimlendirilir. Hedef programlamanın bu türünün ayırt edici özelliği hedeflerin öncelik seviyelerinin olmasıdır (Jones ve Tamiz, 2010: 13).

Birçok durumda karar verici karar problemine ilişkin hedeflerini en önemliden

(1. hedef), en az önemli hedefe doğru önceliklendirir (m . hedef). Bu durumda kullanılan hedef programlama yöntemi öncelikli hedef programlama yöntemidir. İşleyiş prosedürü bir sonraki öncelikli hedefe geçmeden önce en öncelikli hedefe mümkün olduğu kadar yaklaşılmaya odaklanarak başlamaktadır. Öncelik sıralamasında önde olan hedefi, kendisinden daha az öncelikli olan hedeflerden “çok daha önemli” olarak değerlendirmektedir. Böylece daha düşük öncelikli hedefler, yalnızca daha yüksek öncelikli hedefte ulaşılan çözümü bozmadıkça tatmin edilmeye çalışılmaktadır (Orumie ve Ebong, 2014: 35). Leksikografik hedef programlamanın uygulanabilmesi için hedeflerin öncelik sıralarına göre kategorize edilebiliyor olması gerekmektedir. Bu yapılırken de hedeflerin önem düzeylerinden yararlanılmaktadır (Deb, 1999: 80).

Genel leksikografik hedef programlamanın matematiksel olarak formüle edilebilmesi için $p_i = 1, 2, \dots, k$ olmak üzere öncelik seviyeleri tanımlanmaktadır. Öncelikler sayısal değer taşımazlar, yalnızca bir hedefin diğerinden çok daha önemli olduğunu ifade etmede kullanılırlar. Her öncelik seviyesi istenmeyen sapmaların ele alındığı $h_i(n, p)$ olarak fonksiyonu oluşturmaktadır. Genel leksikografik hedef programlama denklemi bu durumda aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Jones ve Tamiz, 2010: 13; Orumie ve Ebong, 2014: 35):

$$\begin{aligned} \text{Min } z &= p_k(d^-_k, d^+_k) \\ \sum_j^n a_{ij}x_{ij} + d^- - d^+ &= b_i \quad (4) \\ i &= 1, 2, \dots, m \\ j &= 1, 2, \dots, n \\ p_i &= 1, 2, \dots, k \\ x_{ij}, d^-, d^+ &\geq 0 \\ x &\in F \end{aligned}$$

Modelde k adet öncelik, m adet hedef, n adet karar değişkeni vardır, p_i amaç fonksiyonundaki sapma değişkeninin i . seviye önceliğini ifade etmektedir. Model için öncelik yapısı, her bir hedefin veya bir dizi hedefin bir öncelik düzeyine atanmasıyla oluşmakta ve böylece karar verici için önem sırasına göre öncelikli olarak hedefler sıralanmaktadır (Orumie ve Ebong, 2014: 35).

Literatürde karşılaşılan bir başka genel formülasyon Jones ve Tamiz’in çalışmasına dayanmaktadır. Bu formülasyonda matematiksel olarak k adet öncelik

seviyesi bulunmaktadır (Jones ve Tamiz, 2010: 13):

$$\begin{aligned} \text{Lex Min } \bar{a} &= \{g_1(\bar{n}, \bar{p}), g_2(\bar{n}, \bar{p}), \dots, g_k(\bar{n}, \bar{p})\} \\ f_i(\bar{x}) + n_i - p_i &= b_i \\ i &= 1, 2, \dots, m \\ \bar{x}, \bar{n}, \bar{p} &\geq 0 \\ x &\in F \end{aligned} \quad (5)$$

Her bir $g_k(\bar{n}, \bar{p})$ bir dizi istenmeyen sapma değişkenleri içermektedir. $g_k(\bar{n}, \bar{p})$ notasyonunun yapısı formüle edilecek olan hedef programın doğasına bağlıdır, fakat genellikle doğrusal olduğu varsayılmaktadır (Jones ve Tamiz, 2010: 13):

$$g_k(\bar{n}, \bar{p}) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{u_i^k n_i}{q_i} + \frac{v_i^k p_i}{q_i} \right) \quad (6)$$

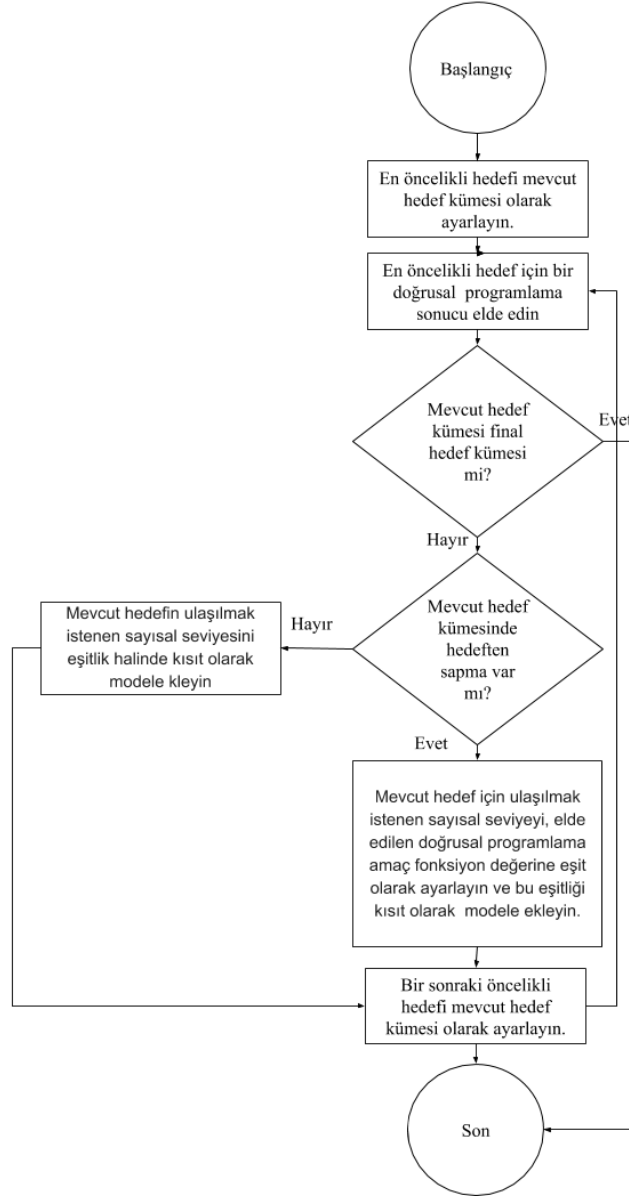
u_i^k notasyonu 1. önem seviyesindeki n_i sapması ile ilgili ağırlık düzeyidir. v_i^k notasyonu 1. önem seviyesindeki p_i sapması ile ilgili ağırlık düzeyidir. Karar verici açısından tercih ağırlıkları, ilgili sapma değişkeninin en aza indirilmesinin önemini modellemek için kullanılmaktadır. Leksikografik hedef programlamada bir sapma değişkeninin herhangi bir öncelik seviyesine dahil edilmemesi durumunda, sapma değişkeninin o öncelik seviyesi için tercih edilen ağırlığı sıfır kabul edilmektedir. Aynı şekilde en aza indirgenmesi karar verici tarafından önemsiz olan öncelikler de sıfır ile önceliklendirilmektedir (örneğin kar hedefinden yaşanacak pozitif sapmalar gibi). q_i notasyonu ise i . hedef ile ilişkili normalizasyon sabitini göstermektedir. Tüm hedeflerin aynı ölçü birimi ile ölçmek için bu sabitler gerekmektedir (Jones ve Tamiz, 2010: 14).

Leksikografik hedef programlamanın formülasyonu ile ilgili olarak belirtilmesi gereken bir diğer önemli nokta literatürde bazı yazarların $x \in F$ notasyonunu formülasyona dahil etmemeleri durumudur. Bunun nedeni, her bir kısıtlamanın bir hedefe dönüştürülebilmesi ve ilk öncelik seviyesinin, zorlayıcı değişkenlerden sapma değişkenlerinin en aza indirilmesi için ayrılabilmesidir (Jones ve Tamiz, 2010: 14).

Şekil 8'de görüldüğü üzere leksikografik hedef programlamada öncelik değeri yüksek olan hedeflerden istenmeyen sapmaların minimize edilmesi düşük öncelikli hedeflere göre çok daha önemlidir. Bu bir dizi ardışık optimizasyonun yapılması

anlamına gelmektedir. Her öncelik seviyesinin optimizasyonundan sonra bir sonraki seviye optimize edilirken bir önceki seviyedeki optimizasyonların asgari değerleri korunacak şekilde indirgenmiş olurlu çözüm alanında çözülmeye çalışılmaktadır (Jones ve Tamiz, 2010: 14).

Şekil 8:Leksikografik Hedef Programlama (Öncelikli Hedef Programlama) Algoritması



Kaynak: Neelavathi, 2015: 318

Hedef programlamanın çözümünde kullanılan öncelikli yapı bazı yazarlar tarafından fayda fonksiyonu ile çeliştiği gerekçesi ile eleştirilmiştir (Min ve Storbeck,

1991: 307). Romero bu eleştirilere, öncelikli hedef programlamanın karar vericinin hedefler arasında önceden tanımlanmış üstünlük sıralarının bulunması ve fırsat maliyeti bakımından karşılaştırma yapmaksızın bunlara ulaşmak istemesi halinde kullanılması uygun bir yöntem olduğu yanıtını vermiştir (Romero, 1991: 39). Ayrıca Tamiz ve diğerleri (1998) leksikografik hedef programlama ve fayda kuramı arasındaki ilişkiyi araştırmış ve yöntemin bazı gerçek hayat kararlarını modellemek için uygun olabileceği sonucuna varmıştır (Tamiz ve diğerleri, 1998: 575).

1.2.7.1.2. Ağırlıklı Hedef Programlama

Diğer hedef programlama türlerinin aksine ağırlıklı hedef programlamada ağırlık değişkeni, tüm istenmeyen sapma değişkenlerini sıralayarak modelin tek bir amaç fonksiyonu ile çözüme kavuşturulmasına imkân tanımaktadır (Jones ve Tamiz, 2010: 15).

Hedef programlamanın literatürdeki bir diğer adı “öncelikli olmayan hedef programlama”dır. Yöntemde hedeflerden sapmalar tek bir amaç fonksiyonu ile minimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu yapılırken de hedefler arasındaki ilişkiler ağırlıklarla düzenlenmektedir. Ağırlıklar kullanılarak amaç fonksiyonunda sapma değişkenleri bulunan hedeflerin göreceli önemi ortaya konulur. Böylece modelde karar vericinin nihai amacı hedeflerden sapmaların ağırlıklı toplamını minimum yapmak olacaktır (Iwuji ve Agwu, 2017: 311). Görüldüğü üzere ağırlıklı hedef programlama, hedef programlamanın alternatif bir formu olarak adlandırılabilen ve genel formülasyonu şu şekilde gösterilmektedir (Jayaraman ve diğerleri, 2016: 3):

$$\begin{aligned} \text{Min } z &= \sum_i^m w_i d^-_i + w_i d^+_i \\ \sum_j^n a_{ij} x_{ij} + d^- - d^+ &= b_i \end{aligned} \quad (7)$$

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

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$x \in F$$

$$x_{ij}, d^-, d^+ \geq 0$$

$$w_i > 0$$

Jones ve Tamiz'in amaç fonksiyonunu doğrusal olarak varsaydığı ağırlıklı hedef programlama modeli aşağıdaki formülasyon ile temsil edilmektedir (Jones ve Tamiz, 2010: 15):

$$\begin{aligned}
 \text{Min } \bar{a} &= \sum_{i=1}^m \left(\frac{u_i n_i}{q_i} + \frac{v_i p_i}{q_i} \right) \\
 f_i(\bar{x}) + n_i - p_i &= b_i \quad (8) \\
 i &= 1, 2, \dots, m \\
 \bar{x}, \bar{n}, \bar{p} &\geq 0 \\
 x &\in F
 \end{aligned}$$

Formülasyondaki notasyonlar leksikografik hedef programlamadaki ile tamamen aynı anlamları taşımakla beraber bu kez u_i ve v_i değişkenleri belirli bir öncelik seviyesine bağlı değildirler (Jones ve Tamiz, 2010: 15).

Tamiz ve diğerleri'nin 1995 yılındaki çalışmasında 1990 yılı öncesi hedef programlama uygulamalarının %75'inin leksikografik yani öncelikli yapıda olduğu, %25'inin ise ağırlıklı yapıda olduğu bilgisi bulunmaktadır (Tamiz ve diğerleri, 1995: 41). Jones ve Tamiz'in 2002 yılındaki çalışmalarında ise 1990-2000 yılları arasında öncelikli hedef programlama yüzdesinin %59'a gerilediği, ağırlıklı hedef programlamanın ise %41'e yükseldiği belirtilmiştir (Tamiz ve Jones, 2002: 152). Bu çalışmaların ardından yapılmış 2000-2018 yılları arasındaki güncel durumu belirten bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Ancak genel olarak literatür tarandığında uygulamaların öncelikli hedef programlamadan ziyade giderek ağırlıklı hedef programlamaya daha çok yönlendiğini söylemek mümkündür. Bunun sebebi ağırlık değişkeninin karar vericiye daha fazla esneklik sunması ve hedefler arasında doğrudan karşılaştırma yapabilmesine imkân tanınması gösterilebilmektedir (Jones ve Tamiz, 2010: 15).

1.2.7.1.3. Chebyshev Hedef Programlama

Hedef programlamanın en çok kullanılan üçüncü önemli modeli Flavell tarafından 1976 yılında ortaya atılmıştır (Flavell, 1976: 731-732). Yöntemin chebyshev hedef programlama olarak adlandırılmasının sebebi yöntemin arka planında Chebyshev L_∞ mesafe ölçme aracına dayanmasıdır. Bu yöntemde tüm

sapmaların toplamına karşılık, herhangi bir hedeften maksimum sapma en aza indirgenmektedir. Bu nedenle Chebyshev hedef programlaması bazen Minmax hedef programlama olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemin işleyişinde hakim olan prensip “dengelemek”tir. Yani karar verici hedef kümesinin başarısıyla, leksikografik yaklaşımın öncelikleri arasında iyi bir dengeye sahip olmaya çalışmaktadır. Chebyshev hedef programlama optimal çözümün olurlu çözüm alanının uç noktalarında değil alanın herhangi bir yerinde bulunabileceği hedef programlamanın tek tipidir (Jones ve Tamiz, 2010: 16).

Chebyshev bir diğer adıyla minimax hedef programlama ağırlıklı hedef programlama ile benzerlik göstermektedir. Ağırlıklı hedef programlamada amaç hedeflerden yaşanacak istenmeyen sapmaların ağırlıklı toplamının minimize edilmesi iken, bu yöntemde hedeflerden yaşanacak maksimum sapmanın minimizasyonu amaçlanmaktadır (Deb, 1999: 80). Yöntemin formülizasyonu aşağıdaki gibidir (Verma ve diğerleri, 2010: 303):

$$\sum_j^n a_{ij}x_{ij} + d^- - d^+ = b_i$$

$$\lambda \geq d^-_i - d^+_i$$

$$\lambda \geq d^+_i - d^-_i$$

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

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$x \in F$$

$$x_{ij}, d^-, d^+ \geq 0$$
(9)

λ hedeflerden yaşanan en yüksek sapma olmak üzere Jones ve Tamiz’in notasyonları ile formülasyonu aşağıdaki gibidir (Jones ve Tamiz, 2010: 16):

$$\text{Min } \bar{a} = \lambda$$

$$f_i(\bar{x}) + n_i - p_i = b_i$$

$$\frac{u_i n_i}{q_i} + \frac{v_i p_i}{q_i} \leq \lambda$$

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

$$\bar{x}, \bar{n}, \bar{p} \geq 0$$

$$x \in F$$
(10)

Yukarıdaki açıklamaların hepsi, Chebyshev hedef programlamanın, hedeflerin

tatmin seviyeleri arasında bir dengenin gerekli olduğu ve bu yöntemin karar verici açısından en uygun çözümü verme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varmaktadır. Yöntem çok sayıda uygulama alanına sahiptir. Buna karşın Tamiz ve Jones'un 2002 yılındaki çalışmalarına göre Chebyshev hedef programlama, hedef programlama yazınında en az uygulamaya sahip olan tipidir (Tamiz ve Jones, 2002: 15).

1.2.7.2. Karar Değişkeni ve Hedef Tabanlı Hedef Programlama Türleri

Karar değişkeni ve hedef tabanlı hedef programlama yöntemleri modelde kullanılan karar değişkenlerinin veya hedefin karakteristiğine bağlı olarak isim almaktadırlar. Bu yöntemler bulanık hedef programlama, tamsayı ve 0-1 hedef programlama, kesirli hedef programlama ve gri hedef programlamadır.

1.2.7.2.1. Bulanık Hedef Programlama

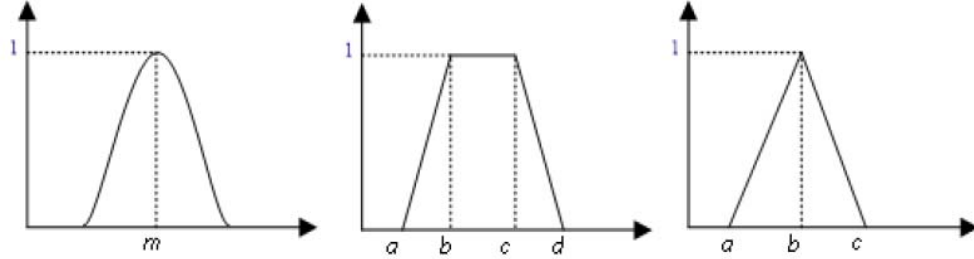
Bulanık hedef programlama yöntem olarak hedef programlama modelindeki belirsizlikle ve düzensizlikle başa çıkabilmek için Zadeh'in 1995 yılında ortaya koyduğu bulanık küme teorisinden faydalanmaktadır. Yöntem gerçek dünyanın karmaşık sistemlerini çözmeyi amaçlamaktadır. Bulanık mantık ile klasik matematiğin koyduğu keskin sınırlar ortadan kaldırılarak belirsizlik durumu modele dahil edilebilmektedir (Paksoy ve Atak, 2003: 458). Hedef programlamada modele hakim olan belirsizlik b_i hedef değerleri ile ilgili olabileceği gibi, modeldeki diğer parametre ve değişkenlerle de ilgili olabilmektedir (Tamiz ve Jones, 2002: 17).

Bulanık mantık ve hedef programlama yöntemlerinin birleşmesi Narasimhan'ın 1980 yılında yapmış olduğu "Goal Programming in a Fuzzy Environment" adlı çalışmasında olmuştur (Narasimhan, 1980: 325-336). Bu gelişmenin ardından çeşitli yazarlar yöntemi kullanan pek çok uygulama yaparak literatüre katkı sunmuşlardır.

Hedeflerin bulanıklığını ölçmek ve bulanık kümeleri oluşturmak için kullanılan fonksiyon "üyelik fonksiyonu" olarak adlandırılmaktadır. Bu fonksiyonların amacı hedef programlama modelinde tam tatmin durumundan tatminsizlik durumuna düşüşü modellemektir. Bu amaçla kullanılan örnek üyelik

fonksiyonları Şekil 9’da gösterilmektedir (Tamiz ve Jones, 2002: 17).

Şekil 9: Örnek Üyelik Fonksiyonları



Kaynak: Tamiz ve Jones, 2002: 17 – 19

Bulanık hedef programlamada üyelik fonksiyonları kullanılarak modelin hedef ve kısıtlarının bulanıklaştırılmasının sonucu olarak yeni kısıt kümeleri oluşmaktadır. Böylece yöntemde karar verici yalnızca belirli kısıtlar altında değerlendirme yapmamış olunmaktadır (Hammerbacher ve Yager, 1981: 3). Oluşacak kısıtlara bağlı olarak da oluşan yeni modelin çözüm teknikleri farklılık göstermektedir (Özkan, 2003: 183).

Bulanık küme teorisi ve hedef programlama birleşimi Narasimhan tarafından literatüre kazandırıldığı günden beri kendine pek çok uygulama alanı bulmuştur. Bu uygulamalar giderek artan çeşitlilikle yayınlamaya devam etmektedir (Paksoy ve Atak, 2003: 459).

1.2.7.2.2. Tamsayı ve 0-1 Hedef Programlama

Tamsayı hedef programlama karar değişkenlerinden bir ya da birkaçının çözüm değerinin yalnızca sayma sayısı olacak şekilde kısıtlanması ile oluşan hedef programlama modelidir. Bu tip modeller matematiksel modelleme perspektifinden “bölünebilirlik” varsayımını ihlal etmektedir (Tamiz ve Jones, 2002: 21).

Tamsayı hedef programlama modelleri benzer boyutlardaki doğrusal programlama modellerine göre çok daha zor çözülmektedir. Bunun sonucu olarak da tamsayı hedef programlama modellerinin çözümünün daha uzun zaman aldığı, bir dizi karar değişkeninin kısıtlamaya tabi tutulduğunu ve bu sebeple de kısıt sayısının daha çok olduğunu söylemek mümkündür (Tamiz ve Jones, 2002: 21).

Tamsayılı programlama modelleri metrik mesafe tabanlı hedef programlama modellerinden birinin özelliklerini gösterebilmektedir (Tamiz ve Jones, 2002: 22). . Kullanılacak yöntemin metrik mesafesi bakımından ağırlıklı hedef programlama modeli olması varsayımı altında matematiksel yapı aşağıdaki gibi olacaktır (Jablonsky, 2001: 315):

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z &= \sum_i^m w_i d^-_i + w_i d^+_i \\
 \sum_j^n a_{ij} x_{ij} + d^- - d^+ &= b_i \\
 i &= 1, 2, \dots, m \\
 j &= 1, 2, \dots, n \\
 x &\in F \\
 d^-, d^+ &\geq 0 \\
 x_{ij} &\geq 0 \text{ ve tamsayı} \\
 w_i &> 0
 \end{aligned} \tag{11}$$

Jones ve Tamiz'in sunduğu notasyon ile model aşağıdaki gibi oluşturulmuştur (Jones ve Tamiz, 2010: 22):

$$\begin{aligned}
 \text{Min } \bar{a} &= \sum_{i=1}^m \left(\frac{u_i n_i}{q_i} + \frac{v_i p_i}{q_i} \right) \\
 f_i(\bar{x}) + n_i - p_i &= b_i \\
 i &= 1, 2, \dots, m \\
 \bar{n}, \bar{p} &\geq 0 \\
 \bar{x} &\geq 0 \text{ ve tamsayı} \\
 x &\in F
 \end{aligned} \tag{12}$$

0-1 tamsayılı hedef programlama tamsayılı hedef programlamanın özel bir formu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu modellerde tamsayılı değişkenler yalnızca 0 ve 1 değerlerini almak üzere kısıtlandırılmaktadır. Matematiksel modellemesinde yukarıda verilmiş olan kısıtlara ek olarak ikili (0-1) tamsayılı kısıtı eklenmelidir (Jones ve Tamiz, 2010: 22).

Tamsayılı hedef programlamanın alt kümesi olan 0-1 tamsayılı hedef programlama özel karakteristiklere sahip karar problemleri ile ilgilenmektedir. Tipik

uygulama alanları; çok amaçlı en kısa yol, atama, lojistik, ağ akışı, seyahat eden satış elemanı, sırt çantası, zamanlama, konum ve kaplama problemlerini içermektedir (Ehrgott ve Gandibleux, 2002: 370).

1.2.7.2.3. Kesirli (Fraksiyonel) Hedef Programlama

Hedef programlamanın bu türü finansal planlama, üretim planlaması ve mühendislik alanlarında kullanılmak üzere 1991 yılında Romero tarafından ortaya atılmıştır. Bu yöntem aynı zamanda, çift yönlü karşılaştırma matrislerinden ağırlık vektörlerinin türetilmesi için bazı hedef programlama yöntemlerinde de ortaya çıkmaktadır (Depotis, 1996: 991). Yöntemin farkı hedef kısıtlarının aşağıdaki biçimde iki fonksiyonun bölümü şeklinde olmasıdır (Jones ve Tamiz, 2010: 22):

$$\frac{f_i(\bar{x})}{g_i(\bar{x})} + n_i - p_i = b_i \quad (13)$$

Kesirli hedef programlama yöntemi kendine has pareto verimliliği ölçme yöntemleri kullanılmaktadır (Caballero ve diğerleri, 2007: 1727). Bu yöntem diğer hedef programlama yöntemlerine nazaran literatürde kendine az miktarda uygulama alanı bulmuştur

1.2.7.2.4. Gri Hedef Programlama

Gri sistem teorisi Deng tarafından 1982 yılında “Control problems of grey system” adlı eserinde ilk kez ortaya konulmuştur. Yöntem gerçek dünya problemlerinin çoğunun bilgi eksikliği ve belirsizlik nedeniyle gri aşamada olması duruma dayanmaktadır (Mujumdar ve Karmakar, 2008: 454). Bu açıdan bakıldığında gri sistem teorisinin belirsizlikle başa çıkmada etkili bir yöntem olduğu görülmektedir.

Gri hedef programlama yöntemi gri sayılardan ve gri matematikten yararlanarak hedeflerden istenmeyen sapmaların minimizasyonu amacını taşımaktadır. Yöntem literatürde yakın zamanda kendine uygulama alanı bulmayı başarmıştır. Gri hedef programlama tezin uygulamasını da oluşturması bakımından çalışmanın üçüncü bölümünde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

GRİ SİSTEMLER VE GRİ DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

2.1. GRİ SİSTEM TEORİSİ

Gri sistem teorisi 1980'li yıllarda ortaya konulmuş bir yaklaşım olduğu halde üzerine yapılan çalışmalar son dönemlerde yoğunluk kazanmaktadır. Bu bölümde sayısal yöntemler yazınının güncel konularından olan gri sistem teorisi ayrıntılı olarak ele alınmakta ve tezin uygulamasında kullanılacak olan yöntemin alt yapısını oluşturan “Doğrusal Programlama ve Gri Doğrusal Programlama” yöntemi incelenmektedir.

2.1.1. Belirsizlik Kavramı ve Tarihsel Gelişimi

Karar verme girdi olarak (belirli ya da belirsiz yapıları verilerin kullanıldığı bir süreçtir. Karar verme sürecinde kullanılan girdilerin belirsiz yapıları olması ve karar ortamındaki belirsizlikler bu süreci daha zor ve karmaşık hale getirmektedir. Bu durumda karar ortamında belirlilik veya belirsizlik kavramları devreye girmektedir.

Belirsizlik kavramının kökleri 2.500 yıl geriye gitmektedir. Aristoteles bile, özellikle gelecekteki muhtemel olaylarla ilgili ifadelerde bulunmanın doğruluk ve yanlışlık dereceleri olduğunu düşünmüştür. Aristoteles'in öğretmeni Plato, çalışmalarında belirsizliği kabul etmiştir. Aslında, “Platonik” kelimesinin ortaya çıkışı da belirsizlik kavramının getirdiği gerçeklik ve gerçek dışılık noktasından gelmektedir (McNeill ve Thro, 1994: 9).

Belirsizlik kavramı kelime anlamı olarak; “Belirli olmayan, bilgisiz, gayrimuayyen, vuzuhsuz; niteliği hakkında tam bir bilgi edinilemeyen, müphem ve dilsel bir biçimin iki ya da daha çok sayıda yoruma yol açan” ifadeleri ile tanımlanmıştır (Türk Dil Kurumu, Erişim Tarihi: 08.05.2018) Karar verme literatüründeki karşılığı ise tam olarak tanımlanabilmiş değildir. Kavram biçimsel teoriler vasıtası ile belirli bağlamlarda açıklanabilse de semantik yorumu yalnızca tanımın yapıldığı alanla ilintili olma özelliği taşımaktadır (Goodman ve Nguyen, 1985: 24). Bu sebeple de yapılacak her belirsizlik tanımının keyfi ve öznel olacağını belirtmek gerekir. Bu açıdan bakıldığında belirsizlik kavramının da oldukça belirsiz

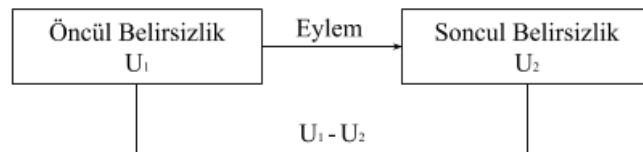
olduğunu söylemek mümkündür (Zimmermann, 2000: 192).

Belirsizlik kavramına ilişkin olarak genel çerçeveyi tanımlamak belirsizlik kavramını karar verme teorisinde kullanabilmek adına oldukça önemlidir. Zimmerman tarafından geniş çerçevede ele alınmış belirsizlik tanımı şu şekildedir; “Belirsizlik belirli bir durumda belirli bir kişinin; sistemin deterministik ve sayısal olarak davranışını veya diğer özelliklerini tanımlamak, açıklamak ve öngörmek için gerekli olan nitel ve nicel olarak uygun bilgiyi elinde bulundurmaması durumu anlamına gelir” (Zimmermann, 2000: 192).

Günümüz iç ve dış çevre faktörlerine göre faaliyet gösteren tüm organizasyonlarda olduğu gibi işletmeler de bilgi eksikliklerinin olduğu bir ekosistem ile karşı karşıyadırlar. İşletmelerin gündelik işlerinin karar verme aşamasında geleceğe dair belirsizlikler daima vardır. Gelecekteki olaylara yönelik karar vericinin beklentisi de buna bağlı olarak kaçınılmaz biçimde belirsizliğe tabi olmaktadır. Belirsizlik yalnızca gelecek ile sınırlı değildir, günümüze ya da geçmişe de ait de olabilmektedir. Karar ortamlarında genellikle geçmişin kayıtlarının tam ve tutarlı tutulmamış olması belirsizliği yalnızca geleceğe ait olarak değerlendirebileceğimiz bir kavram olmaktan çıkarmaktadır (Klir, 2006: 1).

Bilginin belirsizliği kavramı ayrıca ele alınması gereken bir kavramdır. Durumu açıklayabilmek adına belirli bir karar problemindeki belirsizlik düzeyini sayısal olarak ölçebileceğimiz varsayalım. Birtakım eylemler sonucunda ilgili bilgilerin elde edilmesi (ilgili bir deneyin yapılması ve deneysel sonuçların gözlemlenmesi, ilgili tarihi bir kaydın aranması ve keşfedilmesi, bir arşivden ilgili bir belge talep edilmesi ve alınması vb.) ile bu belirsizlik miktarının azaltıldığı düşünüldüğünde belirli bir eylemin alınmasıyla ortadan kaldırılan belirsizlik miktarı Şekil 10’da gösterildiği gibi, öncül belirsizlik ile soncul belirsizlik arasındaki fark ile ölçülmekte ve sonucunda yapılan eylem toplanmış olan bilginin belirsizlik düzeyini vermektedir (Klir, 2006: 6).

Şekil 10: Belirsizlik Temelli Bilgilerin Anlamı



Kaynak: Klir, 2006: 7

Bir tanımlama yapılacak olunursa; belirsizlik düzeyi belirsizliklerin, deterministik bilgi ve bilgisizlik arasındaki spektrumda kendini gösterdiği yerdir (Palacin ve Mirandola, 2014: 5). Bir karar probleminde belirsizlik düzeyi ne kadar çoksa, bu durum belirsizliği indirmek için o kadar çok bilgiye ihtiyaç olduğu anlamına gelmektedir (Ben-Tal ve Nemirovski, 2000: 413).

20. yüzyıldan önceki çalışmalara bakıldığında belirsizliğin bilimsel çalışmalarda yer almaması gereken bir durum olarak ele alındığı görülmektedir. Buna göre bilimin görevi belirsizliği ortadan kaldırmaktır, bu nedenle de bilimsel çalışmaların konusunu oluşturması söz konusu değildir. Başka bir deyişle belirsizlik bilim dışıdır ve onun ortadan kaldırılması bilimdeki ilerlemenin bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. Bu görüş 19 yüzyılda yapılmış bilimsel çalışmalardaki karar modellerinde kesin sayılar kullanılmasına neden olmuştur. Eğer bir karar modeli kesin sayılarla ifade edilemiyorsa bu durumda ihmal olduğu, yeterince araştırma yapılmadığı eleştirisi ile karşılaşılacağından o dönemde bilim dünyası belirsizliğin her türünden uzak durmuştur (Klir, 2006: 2).

Bilimdeki belirsizliğe yönelik geleneksel tutum, bazı fizikçilerin moleküler düzeydeki süreçleri incelemeye ilgi duydukları 19. yüzyılın sonlarında değişmeye başlamıştır. Newton mekaniğinin kesin yasaları prensipte bu çalışmalarla ilgili olsa da, söz konusu sistemlerin muazzam karmaşıklıkları nedeniyle uygulamada hiçbir faydası bulunmuyordu. Bu sistemlerle baş etmek için temelde farklı bir yaklaşım gerekiyordu. O dönemde yaşanan bu çıkmaz istatistiksel yöntemlerin yardımıyla aşılabilmektedir. Böylece bilim dünyası stokastik belirsizlik kavramıyla tanışmış; belirsizliğin başarısızlıktan kaynaklandığı görüşü geçerliliğini kaybetmeye, aksine belirsizliğin bazı bilimsel araştırmalarda faydalı ve hatta zorunlu olduğu görüşü ise bilim dünyasında yerleşmeye başlamıştır (Klir, 2006: 3).

Yarım yüzyıl kadar olasılık teorileri ve istatistik, bilim adamları tarafından bilimsel ifadelerin, sistemlerin ve hatta felsefenin oldukça rahatsız edici bir özelliği olarak kabul edilen belirsizliği modellemenin tek yöntemi olarak kalmıştır (Zimmermann, 1988: 624). Zamanla belirsizlik kavramının yalnızca istatistiksel yöntemlerle modellenemeyeceğinin anlaşılması üzerine belirsizliğin başka türlerinin arayışına girilmiştir ve yeni teoriler önerilmiştir (Klir, 2006: 3). Bu önerilen teorilerin bazılarının iddiası her ne kadar belirsizlik kavramının çerçevesi tam olarak

çizilemiyor olsa da, belirsizliği tam olarak modelleyebilen tek araç olma iddiasını taşımaktaydı (Klir, 1988: 150). Fakat günümüz bilim dünyasında bu görüş de yerini belirsizlik modellerinin durumsallık yaklaşımına göre değerlendirilmesi gerektiği düşüncesine bırakmıştır. Her duruma uyan tek bir belirsizlik teorisinden bahsetmek mümkün değildir. Zimmerman çalışmasında uygun belirsizlik – belirsizlik modeli ilişkisine dair önemli noktaları şu şekilde sıralamıştır (Zimmermann, 2000: 191 -192):

- Belirsizlik nedenleri, gözlemlenen sistem ile belirsizlik modeli arasındaki bilgi akışını etkilemektedir.
- Seçilen bir belirsizlik modeli veya teorisi, mevcut bilgi miktarına ve girdi bilgisine uygun olmalıdır.
- Seçilen bir belirsizlik teorisi, mevcut veri veya bilgiye uygulanan bilgi işlem türünü de belirlenmektedir.
- Pragmatik nedenlerden dolayı belirsizlik modeli tarafından gözlemciye (insan ya da diğer) verilen bilgilerin uygun bir dilde olması gerekmektedir.

Zimmerman aynı çalışmasında karar vericinin karşı karşıya olduğu belirsizliğe uygun modelin seçilmesi konusunda etkili olan faktörleri aşağıdaki gibi belirlemiştir (Zimmermann, 2000: 192):

- Belirsizlik nedenleri,
- Mevcut bilginin miktarı ve kalitesi,
- Bilgiyi işleme türü.

Belirsiz sistemlerin temel özelliği, bilgilerindeki eksiklik ve yetersizliktir. Sistem evriminin dinamikleri, insan duyu organlarının biyolojik sınırlamaları ve ilgili ekonomik koşulların ve teknolojik olanakların kısıtları nedeniyle, gerçek dünya problemlerinde belirsiz sistemler yaygın olarak mevcuttur. Belirsiz sistemlerin iki farklı karakteristiğinden bahsetmek mümkündür. Bunlar eksik bilgi ve verilerde hatalardır (Liu ve Lin, 2010: 5-9):

• **Eksik Bilgi:** Bilgide eksiklik, belirsiz sistemlerin temel özelliklerinden biridir. Eksik sistem bilgisini içeren karar problemleri aşağıdaki dört duruma sahip olabilmektedir:

- Öğeler (parametreler) hakkında eksik bilgi,
- Sistemin yapısı hakkında eksik bilgi,
- Sistemin sınırı ile ilgili eksik bilgi,

- Sistemin davranışları hakkında eksik bilgi.

Yukarıdakilerden kaynaklı eksik bilginin olması durumunda karar vericinin karar ortamı belirsizliğin etkisi altında olacaktır.

• **Verilerde Hatalar:** Belirsiz sistemlerin bir başka temel özelliği, mevcut verilerde doğal olarak mevcut olan yanlışlıktır. Belirsiz ve yanlışın anlamları kabaca aynıdır. Her ikisi de gerçek verilerden hatalar veya sapmalar anlamına gelmektedir. Bu durum üç türe ayrılmaktadır:

➤ **Kavramsal Tip:** Belli bir olay, nesne, kavram ya da dilek hakkındaki ifadeden kavramsal olarak yanlış olması durumunu ifade eder. Örneğin “büyük”, “küçük”, “çok”, “az”, “yüksek”, “düşük”, “kalın”, “ince”, “iyi”, “kötü”, “genç”, “güzel”, vb. tüm sık kullanılan kavramlar net açıklama bilirliliği olmadığından ötürü hatalıdır. Bu kavramları ifade etmek için kesin miktarların kullanılması çok zordur.

➤ **Seviye Tipi:** Verilerde meydana gelen bu tür yanlışlık araştırma veya gözlem seviyesinde meydana gelen değişiklikten kaynaklanmaktadır. Örneğin, bir insanın boyu doğru olarak santimetre veya milimetre biriminde ölçülebilmektedir. Bununla birlikte, eğer ölçüm on binde bir mikron seviyesine kadar doğruysa, önceki doğru okuma son derece yanlış olmaktadır.

➤ **Tahmin Tipi:** Geleceğin tahmini yanlış olmaya eğilimlidir. Örneğin “iki yıl sonra belirli bir alanın GSYH’sinin 10 milyar doları aşacağı, 2019 yılında belirli bir bankanın bireysel konut sahiplerinden 70 milyar dolar ile 90 milyar dolar arasında bir tasarruf sağlayacağı, önümüzdeki yıl ekim ayı boyunca Nanjing’deki sıcaklığın 30 dereceyi aşmayacağı” gibi tahminlerde bulunulabilir, fakat gelecek hakkındaki tahminler daima belirsizdir. İstatistikte, genellikle, bütünü tahmin etmek için örneklerin toplanması söz konusudur. Bunun bir sonucu olarak da birçok istatistiksel veri yanlıştır olabilmektedir. Nitekim, hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, kesinlikle doğru (tahmini) değeri elde etmek çok zordur. Gelecek için planlar çizildiğinde ve hangi eylemin yapılacağına karar verildiğinde genel olarak, tamamen doğru olmayan tahminlere güvenmek zorunda kalınmaktadır

Görüldüğü üzere belirsizlik durumu farklı karakteristik özelliklere sahip olabilmektedir. Buna bağlı olarak da farklı karar problemlerine uygun farklı belirsizlik türlerine ihtiyaç olduğu düşüncesi literatüre hakim olmuştur. Bunun bir sonucu olarak bilim dünyası; kanıt teorisi (Shafer, 1976), olasılık teorisi, bulanık küme teorisi

(Zadeh, 1984), gri küme teorisi (Deng, 1989), intibatonist küme teorisi (Atanassov, 1986), yumuşak küme teorisi (Molodtsov, 1999), kaba küme teorisi (Pawlak, 1985), aralık aritmetiği (Moore, 1979), dışbükey modelleme (Elishakoff ve Colombi, 1993) gibi pek çok yeni belirsizlik teorisi ile tanışmıştır. Bu teorilerin her biri farklı seviye ve karakteristikteki belirsizlik durumunu modellemede kullanılmaktadır. Bu çeşitlenmenin bir sonucu olarak da karmaşık gerçek dünya problemlerinin modellenmesinde ve çözümünde yol katedilebilmiştir.

2.1.2. Belirsizlik Türleri

Literatürde belirsizliği modellemek üzere çok sayıda model olmakla birlikte çalışmalarda en sık karşılaşılan üç farklı belirsizlik türünden bahsetmek mümkündür. Bunlar; stokastik belirsizlik, bulanık belirsizlik ve gri belirsizlik şeklinde sıralanabilir. Karar verme yazının en çok kullanılan bu üç belirsizlik türü alt başlıklar halinde ayrıntılı biçimde açıklanacaktır.

2.1.2.1. Stokastik Belirsizlik

Stokastik belirsizlik olasılık yasalarının mevcut olduğu ve kabul edildiği durumlarda var olan belirsizlik türüdür. Stokastik belirsizlik mantıksal ve/veya istatistiksel muhakeme yoluyla ölçülebilmektedir. Stokastik kelimesi farklı durumların olasılıkla ulaşabileceği tüm süreçlerle bağlantılıdır. Buna bağlı olarak stokastik belirsizliğin bir karar sürecinin olası tüm sonuçlarının meydana gelme şansına bağlı olduğunu söylemek mümkündür (Aluja, 2004: 22). Fiziksel sistemlerin birçok özelliği ve bu sistemlerin eylemleri belirsizdir. Bu durumun bir sonucu olarak da bu sistemlerin davranışlarını deterministik olarak tahmin etmek mümkün değildir, bu davranışlar yalnızca olasılıksal olarak tanımlanabilmektedir (Grigoriu, 2012: 9).

Olasılık ve istatistik, tarihsel istatistiki yasaları ortaya koyma üzerine vurgu yaparak stokastik belirsizlik olgusunu incelemektedir. Stokastik belirsizlik olgusu her bir sonucun ortaya çıkma ihtimalini araştırmaktadır. Bu teorinin kullanılabilmesi için büyük örnek hacmi gerekmektedir. Karar verici ancak büyük örnek hacmi ile çalışıyorsa dağılımın belirli tipik bir dağılıma uygunluğunu belirleyebilmektedir (Liu

ve diğeri, 2012: 102).

Bir örnekle matematiksel olarak açıklayacak olursak S de boş olmayan bir küme olduğu varsayımı altında $A = x \in S$ bilgisinin bilinmesi halinde x 'in S kümesinin elemanı olması olasılığı a_e olmak üzere $0 \leq a_e \leq 1$ aralığında değer alacaktır ve $\sum_{e \in S} a_e = 1$ olacaktır. Bu durumda A bilgisi stokastik bilgidir. Böyle bir durumda A bilgisi a_e olasılıkla x bilinmeyen S kümesine ait olacağı anlamını taşımaktadır. Bu olasılık 1'e çok yakın ya da 1 olabilir (Liu ve Lin, 2006: 15)

Örneğin her gün televizyonda gelecek üç günün hava durumunu anlatan sunucunun bahsettiği durumlar yalnızca şansa bağlı doğa durumlarıdır. Mevcut seçenekler arasından en olası hava durumu sunucu tarafından paylaşılmaktadır. İşletmelerde mühendisler belirli bir mekanik sistemin spesifikasyonlar ile belirlenmiş standartlara göre çıktı üretebilmesi durumunu olasılıklara bağlı hesaplamaktadır (Grigoriu, 2012: 9). Yine benzer bir şekilde bir hisse senedinin volalitesine dair tahmin yapılmak istendiğinde bir brokerın geçmiş dönem verilerini inceleyip “%90 olasılıkla önümüzdeki 3 ay içerisinde hisse senedi fiyatları ortalama %10'luk bir artış gösterecektir.” biçiminde yapacağı tahmin stokastik belirsizlik içermektedir. Çünkü hisse senedinin kesin olarak artacağı söylenmemiştir. Brokerın bahsettiği yükselişin gerçekleşeceğinin garantisi yoktur. Yatırımcıların bu durumda yatırım kararlarını stokastik belirsizlik ortamında vermeleri gerekmektedir (Liu ve Lin, 2006: 15).

2.1.2.2. Bulanık Belirsizlik

Yıllarca süre gelen belirsizlik durumlarında istatistiksel yöntemlere başvurulmasının özellikle matematik ve mühendislik alanlarında yetersiz kalması sebebiyle belirsizliğin farklı bir yönü ile tanımlanması ihtiyacından bulanık belirsizlik ve bulanık mantık teorisi doğmuştur. Bilinen belirsizliklerin önemli bir kısmı şansa bağlılık göstermezler (Şen, 2004: 10).

Bulanık belirsizlik modelleme sırasında karar vericinin karşılaştığı öngörülemezliği Azeri bilim adamı Lotfi Zadeh'in Bulanık Mantık Teorisi ile açıklamaya çalıştığı belirsizlik türüdür (Novak ve diğeri, 2000: 2). Bulanık belirsizlik ilk kez 1920 yılında yayınlanmış olan “On The History of Logic Propositions” ve “On The Notion of Possibility” adlı eserlerde Polonyalı filozof Jan

Lukasiewicz tarafından kavramsal olarak ele alınmıştır (Cabrera ve diğerleri, 2009: 237) Fakat bulanık belirsizliğin günümüz uygulamalarındaki şekli ile açıklanışı 1965 yılında yayınlanmış olan Zadeh'in "Fuzzy Sets Information and Control" adlı makalesine ile gerçekleşmiştir (Zadeh, 1965: 338-353).

Zadeh'in çalışmasında sunduğu teoremin temellerini bulanıklık derecesi ve bulanık küme kavramları oluşturmaktadır. Buna göre bulanık küme, genel küme teorisinin genellenmiş halidir (Zadeh, 1971: 178). Klasik küme teorisine göre bir kümenin elemanlarının her biri birbirlerinden ayırt edilebilmelidir ve bir eleman ya bir kümenin elemanıdır ya da değildir. Bu iki ön koşulun sağlanamadığı durumlarda bir eleman bir kümenin üyesi olamamaktadır. Bulanık küme teorisi ise bu koşullardan ikincisini reddetmektedir. Buna göre bir eleman bir kümenin bir ölçüde elemanı olduğu gibi bir ölçüde o kümenin elemanı olmayabilmektedir (Bělohlávek ve diğerleri, 2017: 19). Bu da bulanık belirsizlik durumunu oluşturmaktadır.

Zadeh'in ortaya koyduğu kurama göre karmaşık sistemlerin modellenmesinde alta yatan mekanikler matematiksel olmaktan çok dilseldir (Zadeh 1963: 469). Buna göre bulanık belirsizliğin modellenmesinde insanların zihin süreçlerindeki dilsel öğeler bulanık kümeler ve üyelik dereceleri ile ifade edilmektedir. Bu bulanık dilsel ifadeler genel kategorileri tanımlamaktadır. Bir kategoriden diğerine geçiş bir kümeden diğerine üyelik derecelerinin değişmesi vasıtasıyla gerçekleşmektedir (Cox, 1994: 18).

Bir örnekle matematiksel olarak açıklayacak olursak S de boş olmayan bir küme olduğu varsayımı altında $A = x \in S$ bilgisinin bilinmesi halinde x 'in S kümesine dair üyelik derecesi a_e olmak üzere $0 \leq a_e \leq 1$ aralığında değer alacaktır. Bu durumda A bilgisi bulanık bilgidir (Liu ve Lin, 2006: 17).

Bulanık mantık dilsel öğelerle ilgilenen, bilişsel belirsizlik üzerine çalışan bir teori olduğundan, bu yöntemle göre "genç adam" ifadesi bulanık bir kavramdır. Çünkü her insanın bu ifadeyi kullanırken ki niyeti, belirtmek istediği yaş aralığı farklıdır. Karar vericinin herkes için "genç adam" anlamına gelen bir yaş aralığı bulması mümkün değildir. Bu gibi niyetin net olmadığı durumlarda küme üyelik işlevini kullanarak belirsizlik modellenmeye çalışılmaktadır (Liu ve diğerleri, 2012: 102). "Ilık" ya da "hızlanmak" gibi belirsiz yapıları kavramları karar verme problemlerini tanımlamak konusunda ya da "klima" ve "hız kontrol sistemleri" gibi sistemleri bir

ayardan diğere doğru değiştirmede kullanmak amacıyla bulanık mantıktan faydalanılmaktadır. “Burası çok sıcak ya da yeterince sıcak değil” veya “daha hızlan, birazcık yavaşla” gibi komutlar gündelik yaşantımızda rahatlıkla anlamlandırabildiğimiz ifadeler olsa da “1” ve “0” lardan oluşan Aristo mantığı temelinde dayalı dijital dünya için oldukça yabancıdır (Atman ve Macdonald, 2005: 155). Bu bakımdan bulanık mantık örneğın, “çok genç” ifadesindeki “ne kadar genç, hangi yaş aralığı çok genç olarak ifade edilmekte, 20 yaşındaki biri ne kadar çok gençtir?” gibi soruların ortaya çıkardığı belirsizliği bulanık küme teorisi yardımıyla modellemeyi amaçlamaktadır.

Standart küme teorisindeki kümeler temellerini Aristoteles tarafından ortaya konulmuş antik Yunan hukukundan almaktadır. Örneğın “5” rakamı, tek sayılar kümesine tamamen aittir, fakat çift sayılar kümesinin bir üyesi değildir. Bu gibi iki değerli kümelerde bir eleman hem kümenin hem de aynı kümenin tümleyeninin elemanı olamamaktadır. Bu prensip Aristo mantığının yapısını korumakta ve bir elemanın hem var hem de yok olmasını engellemektedir. “Bulanık” ya da “çok değerli” elemanlar ise bahsi geçen “orta değer yok” kuralını esnetmektedir. Eleman bulanık kümeyle kısmen üyedir ve birden fazla kümeyle aynı anda ait olabilmektedir. Standart küme teorisinde kümenin sınırları keskindir. Bulanık kümelerin ise eğimli ve geçişkendir. Bu geçişkenlik durumu kısmi çelişkiye sebep olmaktadır. Buna göre bir ortamın hava sıcaklığı aynı anda %20 “sıcak değil” ve %80 “soğuk değil”, başka bir ifadeyle %5 çok soğuk, %20 soğuk, %45 ılık, %20 sıcak ve %15 çok sıcak olabilmektedir (Atman ve Macdonald, 2005: 156). Bir şeyin hem soğuk hem de sıcak olması ancak bulanık küme teorisinde mümkündür. Benzer şekilde, bir araştırma görevlisi bir çok komitenin bir üyesidir, fakat işinin doğası gereği tüm komitelere %100 katılım gösterecek zamana sahip değildir. Araştırma görevlisi tanıtım komitesinde görevlendirilmişe ancak bu komite için hiçbir şey yapmadıysa o zaman komitede üyelik derecesi sıfıra yakın olacaktır. Fakat eğer örnekteki araştırma görevlisi tanıtım komitesinde görevlendirilmediği halde komite faaliyetlerine katıldıysa bu durumda bahsi geçen komite için üyelik derecesinin sıfırdan büyük olması gerekmektedir (Liu ve Lin, 2006: 17). Böyle bir durum standart küme teorisine göre mümkün değildir. Bir başka örneğe göre aylık kazancı asgari ücret düzeyinde olan bir birey için “çok ucuz” ifadesi farklı fiyat aralıklarını ifade ederken, daha

yüksek gelir seviyesinde kazanç sağlayan bireyler farklı fiyat aralıklarını “çok ucuz” şeklinde nitelendirebilmektedirler. Kısacası; “çok ucuz” ifadesi kullanıldığında net bir sayısal veriden bahsetmek mümkün değildir ve “çok ucuz” kelimesinin altında, insanların zihninde beliren farklı sayısal ifadelerin bir sonucu olarak belirsizlik durumu ortaya çıkarmaktadır. Bunun tersi durumlar da mevcuttur. Şartnameler ile spesifikasyonları oluşturulmuş olan üretim sürecinin çıktıları için 3mm yarı çaplı delik “uygun” olarak nitelendirilirken, bu rakamsal değer dışındaki tüm üretim çıktıları “uygun değil” şeklinde nitelendiriliyor ise karar sürecinin girdisinin net bir değer almasından dolayı belirli yapılı olduğu söylenebilmektedir.

Bulanık belirsizliğe klima, otomobil kontrolleri, “akıllı” evler, endüstriyel proses kontrol cihazları ve diğer birçok sektörel uygulamasının yanı sıra tahmin ve karar verme modellerinde de rastlanabilmektedir (McNeill ve Thro, 1994: 9).

2.1.2.3. Gri Belirsizlik

Stokastik ve bulanık belirsizliğin modelleyemeyeceği kadar sınırlı sayıda verinin bulunduğu durumlarda karşılaşılan belirsizlik türü gri belirsizliktir. Gri belirsizliğin temel kaynağı bilginin yetersizliğidir. Kesin değerlerdeki eksiklik nedeniyle gri belirsizlik ortaya çıkmaktadır (Papageorgiou ve Salmeron, 2012: 55).

Gri belirsizliğin ilk izleri aralık analizinde görülmektedir (Hansen, 1975: 15). Daha sonra kavram ilk olarak Deng tarafından 1982 yılında “Control problems of Grey Systems” adlı makalede ele alınmıştır (Deng, 1982). Deng’in ortaya koyduğu teoriye göre tüm sistemler beyaz, gri ve siyah parçalardan oluşmaktadır. Gri kısım aralık olarak tanımlanabilen bilgiye sahiptir (Deng, 1984: 5). Bilgi durumun sınırlarını nicel olarak çizebilecek kadar belirli, kesin olarak hangi deterministik sayı olduğunu ifade edemeyecek kadar belirsizdir. Bunun bir sonucu olarak da gri belirsizliğin bilinen ve bilinmeyen bilgiyi aynı anda kapsadığı söylenebilmektedir (Wu ve Chang, 2004:70).

Gri sistem teorisinin odak noktası küçük örneklerle çalışılan karar problemlerinde karşı karşıya kalınan belirsizlik durumudur. Az veri sayısı ile çalışılan karar problemlerinde karşılaşılan belirsizliğin diğer teoriler vasıtasıyla işlenmesi zordur ya da mümkün değildir. Bu sebeple karar problemlerinin modellenmesinde

güçlük çekilen bu noktasını gri sistem teorisi kapatmaktadır (Liu ve diğerleri, 2012: 102).

Bir örnekle açıklayacak olursak A 'nın gri bilgi, X bilinmeyen, S de boş olmayan bir küme olduğu varsayımı altında S' de S 'nin alt kümesidir. Buna göre; yalnızca $U = x \in S$ ve $A = x \in S'$ bilgilerinin bilinmesi halinde gri belirsizlik bilinmeyen x 'in alması gereken belirli değerin belirsizliğini ifade etmektedir. Örneğin eğer karar verici $U = x \in S, S = R$; yani S tüm reel sayılar kümesidir, $S' = [2,3]$ ve $A = x \in S'$ bilgilerine sahip olsaydı bu durumda A gri bilgisi " x 'in 2 ile 3 arasında bir sayı olduğunu biliyoruz. Ancak, hangi x değerinin gerçekten varsayıldığını bilmiyoruz." anlamına gelecektir. Örneğin; Bir araba satın alma müzakere sürecinde, alıcı 30.000 dolardan fazla ödeme yapamayacağını biliyorsa, x sevdiği aracın nihai müzakere fiyatını temsil etmek üzere; x , 0 ile 30.000 dolar arasında bir sayıdır denilebilir. Bu durumda gri belirsizlik nihai alım fiyatı hakkındaki belirsizliktir. Karar vericinin 30000 dolardan fazla ödeme yapamayacağı kesin olarak bilinmekle beraber ne kadar ödeme yapacağı bilgisi gri belirsizlik altındaki bir bilgidir (Liu ve Lin, 2006: 15). Yine benzer bir şekilde bir işçi günde 3 ile 6 ürün çıktısı elde ediyorsa bir ay sonra teslimata gönderebileceği ürün sayısı gri belirsizlik altındaki bir bilgidir. Çünkü kişinin günlük üretiminin sınırları çizilebilmekle birlikte, tam olarak kesin bir rakam verilebilmesine imkan tanıyacak bilgi yoktur. Bu durum da üretilen ürün adedinin gri belirsizlikten etkilenmesine neden olmaktadır.

Gri belirsizliğe endüstri, enerji, ulaşım, meteoroloji, jeoloji, hidroloji bilimi, tıp, askeri bilimler, ticaret, tarım ve benzeri alanlarda, zayıf bilgi ile küçük örneklerin olduğu problemlerin incelendiği benzeri alanlarda rastlanmaktadır (Salmeron, 2010: 7581).

2.1.2.4. Stokastik, Bulanık ve Gri Belirsizliğin Karşılaştırılması

Olasılık ve istatistik, gri sistem teorisi ve bulanık matematik belirsiz sistemlerin araştırılmasında en çok kullanılan üç yöntemdir. Bu yöntemler sırasıyla önceki başlıklarda açıklandığı üzere stokastik belirsizlik, gri belirsizlik ve bulanık belirsizlikle karar problemlerini modelleme sırasında başa çıkabilmek amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu üç yöntemin ortak özelliği ana konularının belirsizlik olması iken, ilgilendikleri belirsizlikler birbirlerinden farklı özelliklere sahiptir (Liu ve

diğerleri 2012: 102).

Gri sistem teorisi ve bulanık mantık birbirleri yerine kullanılamayacak kadar belirsizliğin farklı türleri ile ilgilenmektedir. Her şeyden önce gri ve bulanık belirsizliğin kaynakları birbirlerinden farklıdır. Gri sistemlerde belirsizlik eksik veya yetersiz bilgiden doğmaktadır. Eksik ve yetersiz bilgi durumu, sorunu tanımlamada genel bir sınır çizse de, kesin olarak bir sonuca ulaşacak veriye sahip olunmaması sebebiyle belirsizliğin etkisi altındadır. Bu sebeple de gri sistem teorisinin konusunu oluşturan belirsizlikte belirli bir aralık bulunmaktadır. Bulanık mantıkta ise bu durumun aksine çalışılan veri sayısında eksiklik veya yetersizlik yoktur. Aksine ancak yeterli veri olması halinde bir belirsizliğin bulanık olduğu teşhisi konulabilmektedir. Bunun yanı sıra bulanık mantıkta sınırlar belirsizdir (Wen, 2004: 6). Stokastik belirsizliği modellemede kullanılan olasılık ve istatistik temelli yöntemleri kullanabilmek için de eksik ve yetersiz verinin bulunmaması gerekmektedir.

Gri belirsizlik halinde modelleme yapabilmek için çok az sayıda veri yeterli olabilmektedir. Bu durum gri belirsizliği ve gri belirsizliğin modellenme sürecini diğer tüm belirsizlik türlerinden ayırmaktadır (Chen ve Ting, 2002: 840).

Gri sistemler ile bulanık mantık arasındaki bariz farklılardan biri gri sistemlerin tanımlanmış ve açık niyetleri incelerken, bulanık mantığın ise açık ve tanımlanmış olmayan niyetleri inceliyor olmasıdır. Bir başka deyişle gri sistemler ile bulanık mantık arasındaki temel farklılık ilgilendikleri belirsizlik kavramının anlamının geniş ya da dar oluşundan kaynaklanmaktadır (Liu ve diğerleri, 2012: 102). Dar anlamlı ifadeler gri belirsizlik altında iken, geniş anlamlı ifadeler bulanık belirsizlik altındadırlar. Örneğin gri sistemler için [19,35] yaş aralığı “genç adam” ifadesi iken, bu noktadaki belirsizlik belirtilen aralıktaki hangi yaşın gerçekten “genç adam” ifadesi anlamına geldiğidir. Bulanık mantıkta ise bu durum “genç adam ifadesindeki yaş aralığı nedir?” şeklindedir. Görüldüğü üzere gri sistemlerde sınırlar belirli ve niyet bellidir, fakat bulanık mantıkta ise bilişsel ve niyeti belirlenmemiş, sınırlandırılmamış bir belirsizlik mevcuttur.

Bulanık mantıkta bulanık kümeler kullanılmaktadır. Belirsizlik düzeyleri birinde grilik derecesi ile ölçülürken bu bulanık mantıkta yerini küme üyelik derecesine bırakmaktadır (Wen, 2004: 6 -7). Bu açıdan bakıldığında bulanık mantığın aslında geleneksel mantığın ve küme teorisinin genişletilmiş bir versiyonu olduğunu

söylemek mümkündür.

Gri sistemler kendine has matematiksel yöntemlerden faydalanmaktadır. Bulanık mantık ise bulanık matematik işlemlerini gerçekleştirmek için bulanık çıkarım yöntemini ve maksimum-minimum yöntemlerini kullanmaktadır (Wen, 2004: 6 -7).

Gri belirsizlik durumunda kurulacak modeller ile bulanık belirsizlik durumunda kurulacak modeller veri ihtiyacı bakımından da birbirlerinden farklıdır. Bir belirsizlik durumunun gri sistemlere göre modellenmesi için tecrübeye dayalı veriye ihtiyaç olmamasına karşın, bulanık mantığa göre yapılacak modellemelerde üyelik fonksiyonunun seçimi için geçmiş tecrübelerle dayanan veriye gereksinim vardır (Yao ve Chi, 2004: 1206).

Bir diğer farklılık gri sistemleri hem bulanık mantıktan hem de istatistiksel yöntemlerden ayırmaktadır. Gri sistem teorisinde verilerin dağılımı ile alakalı olarak herhangi bir dağılım ön koşulu yoktur (Wang ve diğerleri, 2005: 32). Stokastik belirsizlikte ise mutlak suretle veri dağılımını belirlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü istatistiksel analizlerde farklı veri yapıları farklı rassal özellikler taşırlar. Bulanık mantık teorisinde de veri yapısına göre modelde özelleştirme yapılmaktadır. Bun göre bulanık mantık teorisinde üyelik fonksiyonları verinin yapısına göre seçilmektedir (Wen, 2004: 7).

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile olasılık veya istatistik alanında geliştirilen modellerin genel olarak gri tabanlı bir sistemde tam olarak tanımlanması mümkün değildir. Bunun ana sebebi, bu modellerin yüksek derecede bilgi gerektirmesidir. Bu modeller için istatistiksel önkoşullar vardır ve sınırlı bilginin olduğu gri belirsizliğin yapısal özelliklerinin getirdiği dezavantajları nedeniyle bu yöntemlerin ikamesi olarak gri sistem teorisinin kullanılması halinde başarılı sonuçlar elde edilemez (Yao ve Chi, 2004: 1206).

Stokastik, bulanık ve gri belirsizliğin modellenmesinde kullanılan sırasıyla istatistik, bulanık mantık ve gri sistem teorileri kullanım alanı olarak farklılık göstermezler. Yöntemlerin tümü havacılık, uzay, sivil havacılık, güç, elektronik, hafif sanayi, enerji kaynakları, ulaşım, tıp, sağlık, tarım, ormancılık, coğrafya, hidroloji, sismoloji, meteoroloji, çevre koruma, mimarlık, davranış bilimi, yönetim bilimi, hukuk, eğitim, askeri bilim, metalürji, makine, petrol, kimya sanayi, elektrik dahil

olmak üzere, doğal bilim, sosyal bilimler ve mühendislik gibi tüm alanlarda yaygın olarak uygulanmaktadır (Liu ve diğerleri, 2012: 102). Sonuç olarak yapılmış olan karşılaştırmalar Tablo 7’deki biçimde özetlenmiştir:

Tablo 7: Belirsizlik Türlerine Göre Belirsizlik Modellerinin Karşılaştırılması

	Gri Sistem Teorisi	Olasılık ve İstatistik	Bulanık Mantık
Belirsizlik Türü	Gri Belirsizlik	Stokastik Belirsizlik	Bulanık Belirsizlik
Çalışma Konusu	Eksik Veri	Rastlantısal	Bilişsel Belirsizlik
Temel Kümeler	Gri Sisli Kümeler	Bulanık Kümeler	Kantor Kümeler
Yöntemler	Bilgi Kapsama	Eşleme	Eşleme
Süreç	Dizi İşletici	Frekans Dağılımı	Kesi Kümesi
Veri Gereklilikleri	Alt ve Üst Limit Tahmini	Tipik Dağılım	Bilinen Üyelik Fonksiyonu
Vurgu	İçerim	İçerim	Uzantı
Amaç	Gerçeklik Kanunları	Tarihsel Kanunlar	Bilişsel İfadeler
Karakteristik	Küçük Örneklem	Büyük Örneklem	Tecrübe

Kaynak: Liu ve Lin, 2006: 8

Belirsizlik kavramının kendi içerisindeki çeşitliliğinin kabulü ve buna bağlı olarak farklı belirsizlik türlerine uygun farklı teorilerin ortaya konulmasıyla birlikte bilim adamları son zamanlarda gri sistem teorisi, istatistik ve bulanık mantık arasında karşılaştırmalar yapmaya; hangi teorinin daha avantajlı olduğu sorusuna yanıt aramaya başlamıştır (Wang ve Liao, 2007: 130). Bu sorunun tam bir yanıtını bulmak mümkün değildir. Farklı belirsizlik durumlarında belirsizlik teorilerinden biri diğerine üstünlük gösterebilmektedir. İstatistik ve bulanık mantık teorilerine göre küçük örneklerle çalışıldığı durumlarda gri sistem teorisinin herhangi bir dağılıma veya üyelik fonksiyonuna ihtiyaç duymaması sebebiyle daha avantajlı olduğu görülmektedir. Doğru koşullar altında kullanıldığında gri sistem teorisinin belirsizliği modellemek konusundaki başarısı istatistiksel yöntemlere ve bulanık mantığa göre daha yüksektir

(Liu ve Lin, 2006: 7–8). Örneğin 1994 yılında, Qiu ve Hua, büyük ölçekli hidrolik barajın deformasyon verisine ve kaçak verilerine dayanarak teorik olarak hassas bir istatistiksel regresyon modeli ve nispeten kaba gri model oluşturmuşlardır. Uygulamanın sonucuna göre gri modellerinin istatistiksel regresyon modelinden daha iyi uyum sağladığı görülmüştür. İki modelin tahminleri arasındaki hataları gerçek gözlemlerle karşılaştırırken, gri modelin tahmin doğruluğunun regresyon modelinden daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 2001 yılında, Guo ve diğerleri eğimli duvar barajının dikey yönünde yer değiştirmenin gözlemsel verilerini kullanarak bir istatistiksel regresyon modeli ve bir de gri zaman serisi kombine modeli oluşturmuştur. İki modelin veri uyumu ve tahminlerini ve gerçek gözlemleri karşılaştırmışlar ve sonuç olarak da gri kombine modelin istatistiksel regresyon modelinden çok daha üstün olduğunu bulmuşlardır. Li ve diğerleri akaryakıt besleme sıcaklığını dinamik olarak izlemek ve hassas bir şekilde kontrol etmek için bulanık tahmin fonksiyonunu kullanmışlar, fakat gri tahmin fonksiyonundan elde edilen sonuçların çok daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Hsu 2003 yılındaki çalışmasında gri tahminleme yöntemleri ile istatistiksel tahminleme yöntemlerini karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Talep tahmini amacıyla kullanılan yöntemde gri tahminleme yöntemlerinin uygulanması ile kısa dönemli tahminlerde istatistiksel tahminleme yöntemlerine göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Liu ve Lin, 2006: 9).

2.1.3. Gri Sistem Teorisi, Tarihsel Gelişimi ve Literatür Taraması

Gri sistemlerin temelini oluşturan gri sayıların üzerine kurulu olduğu aralık sayıları kavramı Young'un 1931 yılında yaptığı "The Algebra of Many-Valued Quantities" adlı makaleye dayanmaktadır (Young, 1931). Bu çalışmayı Moore'un 1979 yılında aralık sayıların uygulanmasını incelediği çalışma izlemiştir (Moore, 1979). Aralık matematiği ile doğrusal programlama tabanlı optimizasyon uygulamalarının yapıldığı ilk çalışma Ishihuchi ve Tanaka tarafından 1990 yılında "Multiobjective programming in optimization of the interval objective function" adlı makaledir (Ishihuchi ve Tanaka, 1990).

Gri sistem teorisi ise 1980'li yıllarda geliştirilmiştir. 1982'de Çinli bir araştırmacı olan Profesör Deng Julong karar vericiler veya araştırmacılar tarafından

elde edilen bilgilerin kısmen bilinmeyen, belirsiz veya eksik olabileceği varsayımı altında gri sistem teorisini ortaya atmıştır. “Control Problems of Grey Systems” adlı bu makale gri sistem teorisinin kavramsal olarak tanıtıldığı ilk makale olma özelliği taşımaktadır (Deng, 1982). Aynı yıl Deng tarafından “The Grey Control System” adlı çalışmanın da yayınlanmasıyla konu bilim dünyasının ilgisini iyice çekmeye başlamıştır (Deng, 1982).

Gri sistem teorisi sıklıkla belirsiz sistemler arası ilişkilerin analizinde, modellenmesinde ve tahminlenmesinde kullanılan yöntemler bütününden oluşmaktadır (Wen, 2004: 6 -7). Teorinin içinde geçen “gri” ifadesi rastgele seçilmiş bir kelime değildir. Bu isim incelenen konuya dair karar vericinin sahip olduğu bilgi düzeyine bağlı olarak verilmiştir (Liu ve Lin, 2010: 3). Sahip olunan bilginin durumuna göre sistemlerin karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 8: Bilgi Düzeylerine Göre Sistemlerin Karşılaştırılması

	Siyah Sistemler	Gri Sistemler	Beyaz Sistemler
Bilgi	Bilinmiyor	Tam Değil	Biliniyor
Görünüm	Karanlık	Gri	Parlak
Süreç	Yeni	Geçiş Aşamasında	Eski
Özellik	Kaotik	Kompleks	Düzenli
Yöntem	Ret	Daha İyiye Değişim	Doğrulama
Davranış	Hoşgörü	Tolerans	Katı
Sonuç	Sonuç Yok	Çoklu Çözüm	Eşsiz Çözüm

Kaynak: Liu ve Lin, 2010: 15

Teoriye göre karar problemine ilişkin tam bilgi durumundaki sistemler “beyaz sistemler” olarak adlandırılmaktadır. Bunun tam aksine eğer karar problemine ilişkin tamamen bilgisizlik durumu mevcutsa sistem “siyah sistem” olarak adlandırılmaktadır. Tam bilgiye sahip olunmayan, fakat tamamen bilgisizlik durumunda da bulunmayan kısmi bilgiye göre modellenen sistemler ise “gri sistemler” olarak adlandırılmaktadır (Lin ve diğerleri, 2004: 536).

Gri sistem teorisinin temel amacı belirsizlik durumunun modellenmesidir. Bu yönüyle gri sistem teorisinin bulanık mantık yaklaşımın bir alternatifi olduğu söylenebilmektedir (Deng, 1989: 1). Teori, maddi dünyanın doğru tanımını ve anlayışını somutlaştırmak için kısmen bilinen bilgilerin araştırılmasına ve

üretilmesine odaklanmaktadır (Liu ve Lin, 2010: 15). Sınırlı sayıda veri vasıtasıyla olasılıksal ve istatistiksel yöntemler ile bulanık mantığın üstesinden gelemediği belirsiz sistemleri tahmin ve analiz etmektedir. Bilginin yetersiz ve eksik olması halinde yapılacak analizlerden anlamlı sonuçlar elde etmek oldukça zordur. Gri sistem teorisi diğer yöntemlerin yetersiz kaldığı bu gibi zorlayıcı durumlarda karar vericinin başvurduğu bir çözüm metodu olarak karşımıza çıkmaktadır (Liu ve Lin, 2006: 7). Bir başka deyişle; gri sistem teorisini diğer belirsizlik temelli modellerden ayıran özellik, belirsiz olma özelliğine sahip sistemlerin modellenmesinde oldukça sınırlı miktarda veriye rağmen başarısızdır (Deng, 1986: 12).

Geleneksel istatistiksel yöntemlerin doğası gereği sahip olduğu dezavantajları dışlayarak, tecrübeye ve veri dağılımına gerek olmaksızın yalnızca sınırlı sayıda veri ile çalışan gri sistemlerin temel araştırma konularının; belirsizlik durumu, çoklu veri girişi hali, kesikli verilerle modelleme ve yetersiz verilerle çalışma durumları arasında tahmin etme ve karar verme yoluyla gri belirsizliğin etkisi altındaki sistemleri inceleyip bu sistemler hakkında çıkarımlar yapmak olduğu anlaşılmaktadır (Wang ve diğerleri, 2005: 32). Buna göre gri sistemler; gri üretim, gri ilişkisel analizi, gri modelleme, gri tahmin, gri karar verme, gri hibrid modeller, gri programlama, gri kontrol olmak üzere farklı uygulama metodolojilerine sahiptir (Yamaguchi ve diğerleri, 2007: 401). Gri sistem teorisi uygulama alanı olarak da oldukça geniş bir çerçeveye sahiptir. Bunlardan bazıları endüstriyel, sosyal, çevresel ve ekolojik, ekonomikselsel, yönetimsel ve askeri sistemler olarak sıralanabilir (Aydemir ve diğerleri, 2013: 188).

Deng'in kavramı ortaya koymasının ilk yıllarındaki üretkenliği gri sistem teorisinin yeni ve geniş bir konu olarak kabul edilmesine neden olmuştur. Bu yeni kuramın doğuşundan hemen sonra, yerli ve yabancı akademik çevrelerden olumlu ilgi görmüş ve birçok tanınmış akademisyen ve uzman teoriyi güçlü bir şekilde teyit etmiş ve desteklemiştir (Liu ve Forrest, 2007: 112). Çok kriterli karar verme problemlerini çözmek ve iyi tahminler yapmak için sınırlı bilgiye gereksinim duyan bu teori kısa süre içerisinde Çin'de çeşitli disiplinlerde çalışma yapan bilim adamlarının dikkatini çekmiştir (Lin ve diğerleri, 2004: 536). Gri sistem teorisinin çeşitli bilimsel alanlarda başarılı bir şekilde uygulanması uluslararası akademik çevrelerin dikkatini kazanmıştır. Günümüzde birçok tanınmış akademisyen; çeşitli ülkede, bölgede ve

uluslararası kuruluşlarda teorik ve uygulamalı gri sistem teorisi araştırmasına katılmaktadır (Liu ve Forrest, 2007: 112). Gri sistemlere gösterilen ilgiye bağlı olarak da geçtiğimiz otuz yıl boyunca gri sistemler hakkında sayısız araştırma çalışması, uluslararası endeksli dergilerde makaleler ve uluslararası konferanslarda bildiriler çalışılmıştır (Lin ve diğerleri, 2004: 536).

Bilimsel literatürde gri sistem teorisinin kuramsal gelişimi hakkında birçok çalışma vardır. Özellikle teorisinin ilk yıllarında; Cheng (1986), bütünleşik gri tahmin karar problemini ele alarak çalışmasından bu soruna çözüm niteliğinde bir çeşit kontrol sistemi önerisinde bulunmuştur. Bu çalışmayı Deng'in 1989 yılında yayınladığı "Introduction to Grey Systems" başlıklı makale izlemiştir. Çalışmada gri sistem teorisinin uygulama alanlarına, matematiksel işlemlere ve işlevlerine yoğunlaşmıştır (Cheng, 1986; Deng, 1989).

Gri sistem teorisinin ilk dergisi 1982 yılında ilk sayısını basmış olan "Systems & Control Letters" olmuştur. Bu derginin ilk makalesi ise gri sistemlerin ilk kez ele alındığı Julong Deng'in makalesidir. Gri sistem teorisine giderek artan ilginin bir sonucu olarak 20. yüzyılın sonlarında Asya'nın ve Amerika Birleşik Devletleri'nin önde gelen üniversitelerinde gri sistemler ders olarak verilmeye başlanmıştır. Gri sistem teorisi üzerine yapılan akademik çalışmaların hızlı bir biçimde artmasına bağlı olarak 1989 yılında İngiltere merkezli "The Journal of Grey System" adlı akademik dergi kurulmuştur. 1996 yılında "Chinese Grey System Society" adlı dernek hayata geçirilmiş ve dernek tarafından günümüze kadar pek çok gri sistem temalı uluslararası sempozyum düzenlenmiştir. 1998 yılında "Journal of the Grey System Association" adlı akademik dergi Tayvan'da yayın hayatına başlamıştır. "Grey Systems: Theory and Application" adlı akademik dergi ise 2011 yılında ilk sayısını yayınlamış ve 2018 yılı itibarıyla SSCI-Expanded'ta listelenmeye başlamıştır. "The Journal of Grey System" dergisi ise SSCI'da 2013 yılında listelenmeye başlamıştır (Liu ve Lin, 2010: 2-5). Bu gelişmelerin dolaylı bir sonucu olarak da çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olarak tanımlanan gri sistem teorisi, 300'den fazla uluslararası tanınmış hakemli dergide yayınlanmış ve indekslenmiştir (Yin, 2013: 2767).

20. yüzyılın ilerleyen yarısında, Sistem Bilimi ve Mühendisliği alanında, çeşitli sistem teorileri ve metodolojileri sürekli olarak ortaya çıkmıştır. Fakat bu teorilerin pek çok bilim çevrelerinin dikkatini çekmede yeteriz olduğu için sürekli

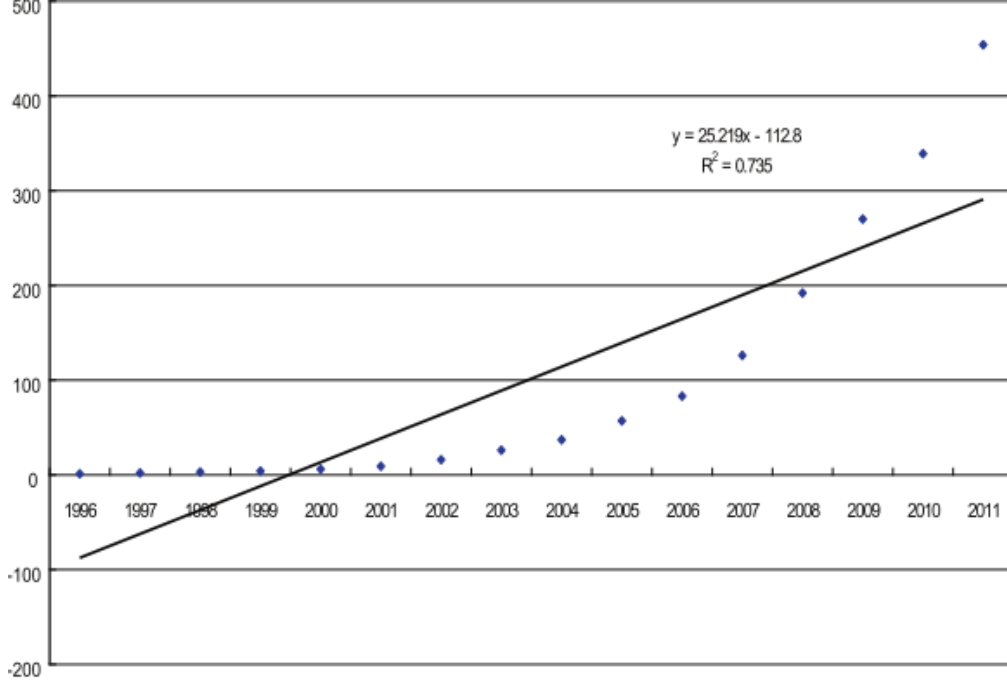
sağlanan katkı ile büyüme gücünden yoksun kalmıştır. Fakat gri sistem teorisi bu örneklerin aksine mevcut araştırmacıların katkı sunmaya devam etmesi, ve yeni araştırmacıların sürekli olarak katılımı ile büyümesini desteklemiştir. Gri sistem teorisinin sürdürülebilir büyümesinin en önemli nedeni bilimsel teorisinin “etkilerini anında üretme” prensibine uygun oluşudur (Liu ve Forrest, 2007: 116 -120).

Gri sistem teorisine olan ilgi işletmecilik alanında da görülmektedir. Literatürde işletmecilik alanında pek çok çalışma yapılmıştır. Yao ve diğerleri 2003 yılında işletmelerde enerji maliyetini düşürmek amacıyla gri tahminleme modeli oluşturmuşlardır. Böylece elektrik ihtiyacına kısa dönemli tahminler yapılarak yüksek enerji tüketimine sahip işletmeler için maliyeti düşürme etkisi olan sonuçlar elde edilmiştir (Yao ve diğerleri, 2003). Tseng ‘in 2009 yılındaki çalışmasının amacı en iyi beklenen hizmet kalitesi aracını seçmektir. Çalışmada gri tabanlı DEMATEL yöntemine başvurulmuştur (Tseng, 2009). Özdemir ve Deste 2009 yılındaki makalelerinde otomotiv sektöründe tedarikçi seçimi karar probleminde gri ilişkisel analiz kullanmışlardır (Özdemir ve Deste, 2009). Kayacan ve Okyay 2010 yılında Euro-Dolar paritesinde zaman serisi tabanlı gri tahminleme yöntemini kullanmışlardır (Kayacan ve Okyay, 2010). Askari ve Askari 2011 yılında yayınlamış oldukları makalelerinde gri tahminleme yöntemini zaman serilerine uygulayarak altın fiyatlarını tahminlemek amacıyla kullanmışlardır (Askari ve Askari, 2011). Ayrıca Wang ve diğerleri 2012 yılındaki çalışmalarında süreç yeterlilik indeksi ve gri tahminlemeden oluşan hibrit bir yöntem sunmuşlardır (Wang ve diğerleri, 2012). Köse ve diğerleri 2011 yılındaki çalışmalarında ekonomik sipariş miktarının belirlenmesi karar modeline gri sistem teorisi ile yaklaşmışlardır (Köse, ve diğerleri, 2011). Rahimnia ve Moghadasian 2011 yılında yaptıkları çalışmada gri sistem teorisini organizasyonel vizyonun ölçümlenmesi amacıyla kullanmışlardır (Rahimnia ve Mashreghi, 2011). Hamzaçebi ve Pekkaya 2011 yılında hisse senedi seçiminde gri ilişkisel analiz yöntemini kullanmışlardır (Hamzaçebi ve Pekkaya, 2011). Liu ve diğerleri 2011 yılında ise, hata türü ve etkileri analizinde gri sistem teorisine başvurmuşlardır (Liu ve diğerleri, 2011). 2014 yılında Xia ve Wong moda perakendeciliği için mevsimlik ayrık gri tahmin modelini sunmuşlardır (Xia ve Wong, 2014). Rajesh ve Ravi 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında dayanıklı tüketim malları için tedarikçi seçiminde gri ilişkisel analize başvurmuşlardır (Rajesh ve Ravi, 2015). Özdemir ve

Özdağoğlu 2017 yılında talep tahminlemesi karar probleminin çözümünde markov zinciri entegre gri model kullanmışlardır (Özdemir ve Özdağoğlu, 2017). Hsiao ve diğerleri 2017 yılında ürün geliştirme sürecindeki karar problemlerinde gri ilişkisel analiz kullanmışlardır (Hsiao ve diğerleri, 2017). Balderas ve diğerleri 2018 yılında yapmış oldukları çalışmalarında proje portföyü seçiminde gri tabanlı çok amaçlı karar verme yöntemlerinden yararlanmışlardır (Balderas ve diğerleri, 2018). 2018 yılında Hu ve diğerleri, yapay sinir ağları ve gri markov yöntemini birlikte kullanarak turizm ihtiyacını tahminlemişlerdir (Hu ve diğerleri, 2018). Çelikkbilek 2018 yılında gri analitik ağ süreci yardımıyla proje yöneticisinin seçilmesi karar problemini çalışmıştır (Çelikkbilek, 2018).

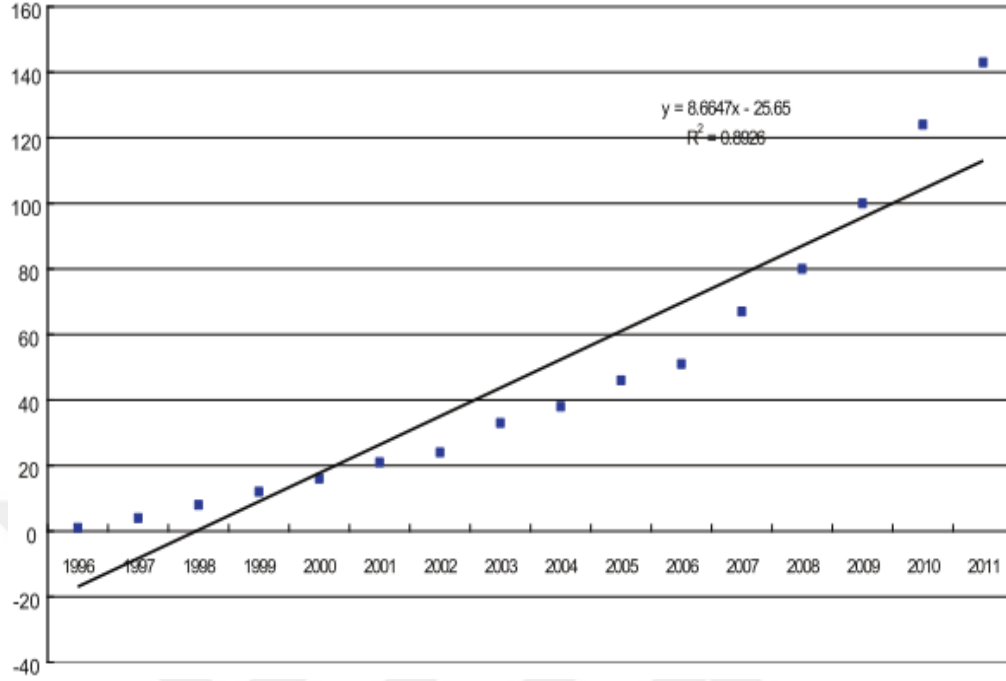
Gri sistem teorisine olan ilgiyi 20. yüzyılın sonlarından itibaren gri sistemlerin alt konuları olan gri ilişkisel analizin ve gri tahminlemenin yıllara göre hızlanarak artan çalışma sayılarından takip etmek mümkündür. Buna ilişkin grafikler Şekil 11 ve Şekil 12’de görülmektedir:

Şekil 11: Gri İlişkisel Analiz Çalışmalarının Zamana Bağlı Akademik Çalışma Sayılarının Regresyon Doğrusu



Kaynak: Yin, 2013: 2770

Şekil 12: Gri Tahmin Çalışmalarının Zamana Bağlı Akademik Çalışma Sayılarının Regresyon Doğrusu



Kaynak: Yin, 2013: 2770

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında anlaşıldığı üzere bilim dünyasında gri sistem teorisine sürekli ve giderek artan bir ilgi söz konusudur. 1980’lerde doğmuş olan teori dünyanın çeşitli yerlerinden bilim insanlarının katkılarıyla günümüzde de büyümeye devam etmektedir. Gri sistem teorisinin farklı yöntemlerle hibrit biçimde ya da mevcut yöntemlerin farklı uygulama alanlarda kullanıldığı çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Bu bakımdan alanın gelişmeye oldukça açık olduğu düşünülmektedir.

2.1.4. Gri Sistem Teorisinin Temel Prensipleri

Gri sistem teorisini oluşturma sürecinde, Julong Deng gri sistemlerin temel prensiplerini keşfetmiştir. Bu prensipler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir. Bu prensiplerin felsefik bir yapısı olmakla birlikte, anlaşılabilirliği kolaydır (Liu ve Lin, 2006: 16; Liu ve Lin, 2010: 5-7; Liu ve diğerleri, 2016: 433-434).

- **Bilgisel Farklılıklar Prensipleri:** Bu prensibe göre her bilgi parçasının bir çeşit “farklılık” taşıması gerekmektedir. Örneğin; A nesnesinin B nesnesinden farklı olduğunu söylediğimizde bu ifade A nesnesinin B’de olmayan bazı özel bilgilere

sahip olduğu anlamına gelir. Doğal nesnelere ve olaylar arasında var olan tüm "farklılıklar", bu farklılıkların arasında olduğu nesnelere anlamak için bize sağlanmıştır.

Bilgisel farklılıklar prensibinde eğer "I" bilgisi, karmaşık bir madde hakkındaki anlayışımızı veya izlenimimizi değiştirmişse, "I" bilgisinin parçası, başlangıçta karmaşık olan maddeyi anlamlandırmak için kullandığımız bilgilerden kesinlikle farklıdır. Bilim ve teknolojiadaki büyük atılımlar, etrafımızdaki dünyayı anlamak ve değiştirmek için genellikle gerekli bilgiyi bize sağlamıştır. Bu tür gelişmiş bilgiler kesinlikle bilimsel yaklaşım öncesi bilgilerden farklıdır. "I" bilgisinin içerdiği bir bilgi içeriği ne kadar fazla olursa, bu bilgilerin daha önceki bir versiyonundan o derecede farklılıklar ortaya çıkacaktır.

- **Teklisizlik (Tek Olmama) Prensibi:** Eğer bir karar problemi eksik bilgiye bağlı olarak belirsizlik altındaysa bu durumda çözüme dair de çok çözümlülük söz konusu olacaktır. Bir başka deyişle, belirsiz ve eksik bilgi ile çalışılan herhangi bir problemin tek bir çözümü olamamaktadır. Bu prensiple gri sistem teorisinin sunduğu çözümler belirli bir esnekliğe sahip olmaktadır. Böylece karar vericiler karar probleminin amacına ulaşma konusunda daha etkin sonuçlar elde edebilmektedirler. Stratejik olarak, tekliksizlik ilkesi, gri hedef kavramıyla gerçekleştirilmektedir. Bu kavram, eşsiz olmayan hedef ve kısıtlanamayan hedef kavramının bir birleşimidir. Örneğin, bir yandan bir lise mezunu, belirli bir kurum haricinde herhangi başka bir üniversiteye kaydolmayı planlamazsa, o zaman bir üniversite tarafından kabul edilme şansı büyük ölçüde sınırlıdır. Öte yandan, benzer niteliklere sahip bir lise mezunu, tercih ettiği program dışındaki birçok üniversiteye başvurmaya istekli ise, bir üniversite tarafından kabul edilmeyi başarma olasılığı daha yüksektir çünkü birden fazla hedefinin olması hedeflerden birini vurma şansını artırmaktadır.

Tek olmama ilkesi, her bir hedefe yaklaşılabileceği, mevcut herhangi bir bilginin desteklenebileceği, her bir planın daha da değiştirilebileceği ve geliştirilebileceği, her ilişkinin uyumlu hale getirilebileceği düşüncesidir. Mantık çok yönlü olabilmekte, her bir anlayış derinleştirilebilmekte ve her yol optimize edilebilmektedir. Birden fazla çözüm olasılığına maruz kaldığında, deterministik analiz ve bilgi desteği yoluyla bir veya birkaç tatmin edici çözüm bulunabilmektedir. Bu nedenle, "teklisizlik" temelinde çözüm bulma yöntemi, hem nicel hem de nitel

analizleri birleştiren bir yöntemdir.

- **Minimal Bilgi Prensibi:** Gri sistem teorisinin amacı mevcut “minimum bilgi miktarının” en çok ve en iyi şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Gri sistem teorisinin avantajı, “küçük örnekler” ve/veya “zayıf bilgi” ile belirsiz problemleri çözme yeteneğidir. Yöntemin temelini “sınırlı bilgi alanları” kavramı oluşturmaktadır. “En az bilgi miktarı” ile çalışmak gri sistem teorisinin gücünü göstermesi için ideal ortamı sunmaktadır. Edinilen bilgi miktarı “gri” ile “gri değil” arasındaki sınır çizgisidir. Mevcut “minimum miktarda bilgi”nin yeterli bir şekilde keşfini ve uygulanmasını sağlamak, gri sistemlerde kullanılan problem çözümlerinin temel düşünce mantığıdır.

- **Tanım Tabanı Prensibi:** Bilginin temeli anlaşılma ve tanınma tabanıdır. Buna göre bu ilke ile ifade edilmek istenen şey tüm tanınma durumlarının bilgi tabanlı olması zorunluluğudur. Bilginin olmaması durumunda insanların herhangi bir şeyi bilmesi olanaklı değildir. Tam ve deterministik bilgiye sahip bir insan ise olayları ve olguları kesin tanıma imkanına sahip olur. Aksi durumda, eğer insanın sahip olduğu bilgi deterministik değil ve tam da değilse bu durumda kişi ancak gri tanıma imkanına sahip olacaktır.

- **Yeni Bilginin Önceliği Prensibi:** Yeni bilgi parçalarının işlevi, eski bilgi parçalarından daha fazladır. Bu prensip gri sistem teorisindeki bilgi kavramının anahtar noktasını oluşturmaktadır. Böylece yeni bilgiye daha yüksek ağırlık vererek gri sistemde daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. “Yeni bilgi eski bilgi ile yer değiştirir” sözü bu prensibi başarılı bir biçimde açıklamaktadır. Bu prensibe göre bilginin somutlaştırılması zamana karşı duyarlıdır. “Yeni bilgi önceliği ilkesi” bilginin güncelliğinin somut örneğidir.

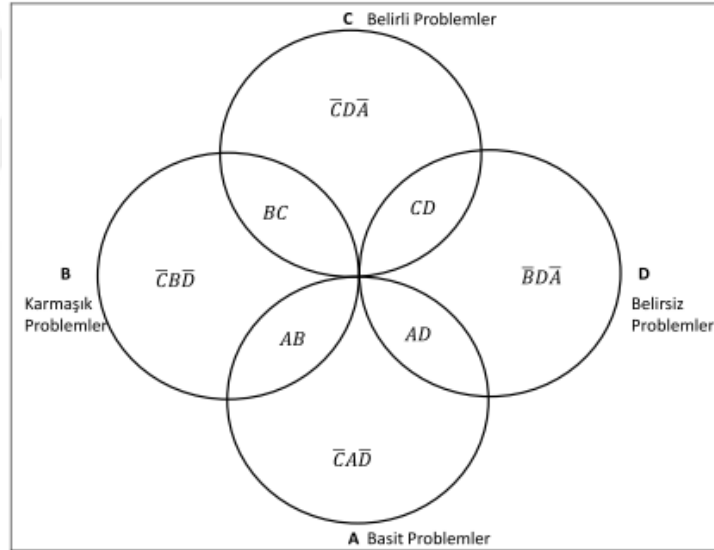
- **Griliğin Mutlaklığı İlkesi:** Grilik mutlaktır, belirsizlik ise geneldir. Bilginin tamlığı durumu görelilik olarak geçicidir. İnsan bilgi ile beslenmeye devam ettikçe nesnel dünyayı tanımlamak ve anlamlandırmak adına sürekli bir sürecin içinde olmaktadır. Böylece de sonsuz bilgide, insanın tanıma ve anlamlandırma hali de sonsuz bir hal almaktadır. Orijinal belirsizlik ortadan kalksa bile yeni belirsizlikler ortaya çıkacaktır. Bunun bir sonucu olarak da bilginin griliği mutlak olarak ifade edilmektedir. Mutlak gri olarak tanımlanan bilgi asla tam olarak beyazlaşmaz.

2.1.5. Gri Sistem Teorisinin Diğer Disiplinler Arasındaki Yeri

Gri sistem teorisi bilgi durumu zayıf ya da eksik olan sistemlerle ilgilenen, çok disiplinli ve genel bir teoridir (Hsu ve Chen, 2003: 2241). Çok disiplinli bu teori kısmen bilinen ve kısmen bilinmeyen bilgi ile karakterize edilmektedir (Zhou ve diğerleri, 2006: 2840) Yöntem çoğunlukla sistemin ve girdi ve çıktıların görelisi olarak karmaşık olduğu durumlarda tercih edilmektedir (Shuai ve Wu, 2011: 8764).

Gri sistemlerin tüm disiplinler arası spektrumunda konumunu belirleyebilmek adına öncelikle bilimsel problemlerin karmaşıklığına ve belirsizliğin durumuna uygun olarak konumlandırılması gerekmektedir (Liu ve Lin, 2006: 12). Bu durum Şekil 13'teki venn diyagramında gösterilmiştir.

Şekil 13: Karmaşıklık Durumuna Göre Problem Türleri



Kaynak: Liu ve Lin, 2006: 12

Buna göre evrensel küme içerisinde dört farklı problem türü bulunmaktadır. Bu problem türleri A, B, C ve D harfleri ile isimlendirilmişlerdir. Harfler sırasıyla; basit problemler, karmaşık problemler, belirli problemler ve belirsiz problemleri temsil etmektedir (Liu ve Lin, 2006: 12).

Gri sistem teorisinin konusunu belirsiz problemler oluşturmaktadır. Çözüm sunmayı amaçladığı problemlerin karmaşıklık derecesi de yarı karmaşıktır. Venn diyagramında bu alan $\bar{B}D\bar{A}$ harfleri ile gösterilmiştir. İlgili alan belirli ve basit problemlerin tümleyeni ile belirsiz problemlerin kesişiminden oluşmaktadır.

Alanların açıklamaları Tablo 9’da paylaşılmaktadır.

Tablo 9: Problemin Karmaşıklığına ve Belirsizliğe Göre Çözüm Yöntemleri

Venn Diyagramındaki Alan	Problem Tanımı	Çözüm Yöntemi
$\overline{CB\overline{D}}$	Yarı belirli karmaşık problemler	Kendini Organize Etme Teorisi
$\overline{AC\overline{B}}$	Belirli yarı karmaşık problemler	Yöneylem Araştırması, Mantık
$\overline{CA\overline{D}}$	Yarı belirli basit problemler	Mantık ve Sezgi Teorisi
$\overline{BD\overline{A}}$	Belirsiz yarı karmaşık problemler	Gri Sistem Teorisi
CB	Belirli karmaşık problemler	Genel Sistem Teorisi
BD	Belirsiz karmaşık problemler	Doğrusal Olmayan Bilim
AD	Belirsiz basit problemler	Olasılık, İstatistik, Bulanık Matematik
AC	Belirli basit problemler	Matematik

Kaynak: Liu ve Lin, 2006: 12-13

Belirsiz ve yarı-karmaşık problemleri inceleyen gri sistemler teorisi karar teorisinde yeni bir akımdır ve bu akımın gelişimi bu problemlerin gri sistem teorisindeki atılımlarla çözüleceği öngörüsüne dayanmaktadır (Liu ve Lin, 2006: 13). Disiplinler arasındaki konumu gereği belirsizlik literatüründe önemli bir yere sahiptir ve olmaya da devam edeceği düşünülmektedir.

2.1.6. Gri Sayılar ve Tanımları

Gri sayılarla, aralık sayıları aynı temele dayanmakla birlikte farklı matematiksel durumları incelerler. Gri sayılarda incelenmekte olan aralıkta bir değer tam temsil gücüne sahiptir, fakat belirsizliğin etkisi ile bu sayının kaç olduğu bilinemez iken; aralık sayılarında verilen aralıktaki tüm sayılar çözüm kümesini sağlamaktadır (Young, 1931: 261; Lin ve diğerleri, 2008: 1643). Bu farklılık nedeniyle gri sayılar aralık sayılarından farklı olarak incelenmesi gereken

matematiksel ifadelerdir.

Gri sayılar ve gri işlemler; gri çekirdek ve gri sayıların grilik derecesi temeline kuruludur. Gri sayılarla yapılan işlemler gerçel sayılarla yapılan işlemlere göre tanımlanmaktadır. Böylece gri sayıların kullanıldığı problemler gri işlemlere göre belirli ölçüde çözülebilmektedir (Liu ve diğerleri, 2012: 342; Liu ve diğerleri, 2017: 18).

Gri sayılar kesin değerinin ne olduğunun tam olarak bilinmediği ama hangi aralıkta olduğu bilgisine sahip olunan; bu yönüyle ne tam belirsizlik altında bulunan, ne de tam belirlilik altında olan, bunun yerine kısmi belirsizlik olarak adlandırılan belirsizliğin altındaki sayılara verilen isimdir (Lin ve diğerleri, 2004: 198-199; Liu ve Lin, 2006: 23-26; Yamaguchi ve diğerleri, 2007: 401-402). Bu sayıların tam değeri yerine aralığı bilinmektedir (Liu ve diğerleri, 2016: 436). Bir başka deyişle gri sayı; yalnızca değer aralığını bildiğimiz ve tam değeri bilmediğimiz bir sayı türüdür (Liu ve diğerleri, 2016: 5). Gri sayılar gri sistemlerin “temel birimi” ya da “hücresi” olarak ifade edilmektedir (Liu ve diğerleri, 2016: 436).

Gri sayının aralığı bir aralık veya genel bir sayı kümesi olabilmektedir. Gri bir sayı genellikle gri olarak adlandırılan “ \otimes ” sembolünde ifade edilmektedir. Bilgi belirsizliğinin derecesini temsil etmek için gri sayı kullanılabilir (Liu ve diğerleri, 2016: 5).

• **Genel Gri Sayılar:** Gri sayıların alt formlarını da içeren gösterimi g^\pm genel gri sayıları temsil etmekle birlikte aşağıdaki biçimde olmaktadır (Liu ve diğerleri, 2016: 5):

$$g^\pm \in \bigcup_{i=1}^n [a_i, \bar{a}_i] \quad (14)$$

• **Yalnızca Üst ya da Alt Limitli Gri Sayılar:** Yalnızca üst limiti bilinen, alt limiti olmayan gri sayıların gösterimi \otimes gri sayısının \bar{a} kesin olarak bilinen üst limiti olmak üzere şu şekildedir (Liu ve diğerleri, 2016: 437):

$$\otimes \in (-\infty, \bar{a}] \text{ ya da } \otimes(\bar{a}) \quad (15)$$

Yalnızca alt limiti bilinen, alt limiti olmayan gri sayıların gösterimi \otimes gri sayısının \bar{a} kesin olarak bilinen üst limiti olmak üzere şu şekildedir (Liu ve diğerleri, 2016: 437):

$$\otimes \in [a, +\infty) \text{ ya da } \otimes(\bar{a}) \quad (16)$$

- **Aralıksal Gri Sayılar:** \otimes gri sayısının \bar{a} kesin olarak bilinen üst limit, \underline{a} ise kesin olarak bilinen alt limiti olmak üzere aralıksal gri sayıların gösterimi aşağıdaki biçimdedir (Liu ve diğerleri, 2016: 437):

$$\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}] \quad (17)$$

Örneğin bir insanın boyu 1,8 ile 1,9 metre arasındadır ifadesinde üst limit $\bar{a} = 1,9$ ve alt limit $\underline{a} = 1,8$ olmak üzere gri sayı şeklindeki gösterimi $\otimes \in [1,8; 1,9]$ biçimindedir.

- **Aralıksal Gri Sayıların Çekirdeği:** $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$ ve $\underline{a} < \bar{a}$ olduğu varsayımı altında \otimes aralıksal gri sayı olmak üzere; eğer \otimes gri sayısının dağılımı bilinmiyorsa bu durumda ilgili gri sayının çekirdeği şu şekilde hesaplanır (Liu ve diğerleri, 2016: 437):

$$\hat{\otimes} = \frac{(1/2)}{(\underline{a} + \bar{a})} \quad (18)$$

Eğer \otimes gri sayısının dağılımı biliniyorsa ilgili gri sayının çekirdeğinin hesaplanmasında aşağıdaki gösterimde ifade edildiği gibi beklenen değer kullanılmaktadır (Liu ve diğerleri, 2016: 437):

$$\hat{\otimes} = E(\otimes) \quad (19)$$

- **Aralıksal Gri Sayıların Grilik Dereceleri:** Dağılımı bilinen \otimes gri sayısının grilik derecesinin hesaplanması a_1, b_1, b_2, a_2 gri sayının olasılık fonksiyonunun sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü dönüm noktaları olmak üzere hesaplanması şu biçimdedir (Liu ve diğerleri, 2016: 437):

$$g^0 = \frac{2|b_1 - b_2|}{b_1 + b_2} + \max \left\{ \frac{|a_1 - b_1|}{b_1}, \frac{|a_2 - b_2|}{b_2} \right\} \quad (20)$$

- **Aralıksal Gri Sayıların Basitleştirilmiş Formu:** $\hat{\otimes}$ ve g^0 ifadeleri sırasıyla \otimes gri sayısının çekirdeği ve grilik derecesini göstermek üzere $\hat{\otimes}_{g^0}$ gösterimi \otimes aralıksal gri sayısının basitleştirilmiş formu olarak ifade edilmektedir (Liu ve diğerleri, 2016: 438).

Aralıksal gri sayıların basitleştirilmiş formu ile normal gösterimi arasında birebir uyum bulunmaktadır. $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$ ve $\underline{a} < \bar{a}$ olmak üzere seçilmiş herhangi bir \otimes gri sayısından $\hat{\otimes}$ ve g^0 kullanılarak $\hat{\otimes}_{g^0}$ hesaplanabilmektedir. Öte yandan $\hat{\otimes}_{g^0}$ bilindiğinde $\hat{\otimes}$ 'dan hareketle \otimes gri sayısının pozisyonu tespit edebilmekte ve sonuç

olarak $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$ ve $\underline{a} < \bar{a}$ olmak üzere üst ve alt sınırlarını belirlenebilmektedir. Yani $\widehat{\otimes}_{g^0}$ biçiminde basitleştirilmiş aralıksal gri sayının $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$ ve $\underline{a} < \bar{a}$ gösterimindeki tüm bilgilere sahiptir (Liu ve diğerleri, 2016: 438).

- **Kesikli ve Sürekli Gri Sayılar:** Gri sayılar yalnızca sonlu bir sayı ya da potansiyel değerlerin sayılabilir karşılığını alabilmektedir. Örneğin $\otimes \in \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ ifadesi kesikli gri sayıları göstermektedir. Gri bir sayı bir aralık içinde potansiyel olarak herhangi bir değer alabilirse, o zaman sürekli gri sayı olarak adlandırılmaktadır. Örneğin eğer bir kişinin yaşının 30 ile 35 yaşları arasında olduğu biliniyorsa bu durumda kişinin yaşı 30, 31, 32, 33, 34 ve 35 değerlerinden biri olabileceği anlamını taşır. Bu durumda yaş değişkeni kesikli gri bir sayıdır. Sürekli gri sayılar açıklanırken boy ve kilo değişkeni örneği gösterilebilmektedir. Buna göre bir kişinin kilosunun 55,35 ile 60,22 arasında olduğu bilgisine sahip olunabilmektedir. Boy için ise bir kişinin 162,5 cm ile 165,3 cm arasında olduğu söylenebilmektedir. Bu gibi durumlar ise sürekli değerler aldığından sürekli gri sayılar ile ifade edilmektedir (Liu ve diğerleri, 2016: 437).

- **Kesikli Gri Sayıların Çekirdeği:** Eğer \otimes gri sayısı kesikli ise $\otimes \in$ ve $(i = 1, 2, \dots, n)$ olmak üzere çekirdek aşağıdaki biçimde hesaplanmaktadır (Liu ve diğerleri 2016: 438):

$$\widehat{\otimes} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (21)$$

- **Beyaz ve Siyah Sayılar:** Eğer \otimes gri sayısı alt limiti ve üst limiti de bilinmeyen $\otimes \in (-\infty, +\infty)$ şeklinde ifade edilen bir sayı ise bu durumda \otimes sayısı için siyah sayı denmektedir. $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$ ve $\underline{a} = \bar{a}$ ise bu durumda \otimes sayısı beyaz sayı olarak adlandırılmaktadır. Gri sistem teorisinde siyah sayılar ve beyaz sayılar gri sayıların özel bir formu olarak görülmektedir (Liu ve diğerleri, 2016: 438-439). Gri sistem teorisinde beyaz sayıların gri sayıların özel bir formu olarak tanımlanması sebebiyle, aralıksal gri sayılar ile beyaz sayılar birlikte kullanılabilmesi mümkün olmaktadır.

- **Temel ve Temel Olmayan Gri Sayılar:** Temel gri sayılar beyaz sayılarla temsil edilemeyen gri sayılar anlamına gelmektedir. Yani temel gri sayılar hiçbir durumda tek bir değer ile temsil edilemezler. Temel olmayan gri sayılar ise belirli bir

yöntem ile beyaz sayı biçiminde temsil edilebilen gri sayılara verilen addır. Bilinen bir bilgi sayesinde temel olmayan gri sayılardan beyaz sayı elde edilebilmektedir. Gri sayıdan elde edilmiş beyaz sayıya beyazlaştırılmış sayı denmektedir. Temel olmayan bir gri sayının bu şekilde ifade edilebilmesi için yöntem olarak beyazlaştırma işlemi kullanılır ve beyazlaşmış bu sayı $\tilde{\otimes}$ veya $\otimes(a)$ şeklinde gösterilmektedir (Liu ve diğerleri, 2016: 439).

- **Genel Gri Sayıların Çekirdeği:** $g^{\pm} \in U_{i=1}^n [a_i, \bar{a}_i]$ şeklinde tanımlanan \hat{a}_i aralıksal gri sayı $\otimes_i \in [a, \bar{a}]$ olmak üzere çekirdek aşağıdaki biçimde hesaplanmaktadır (Liu ve diğerleri, 2016: 439):

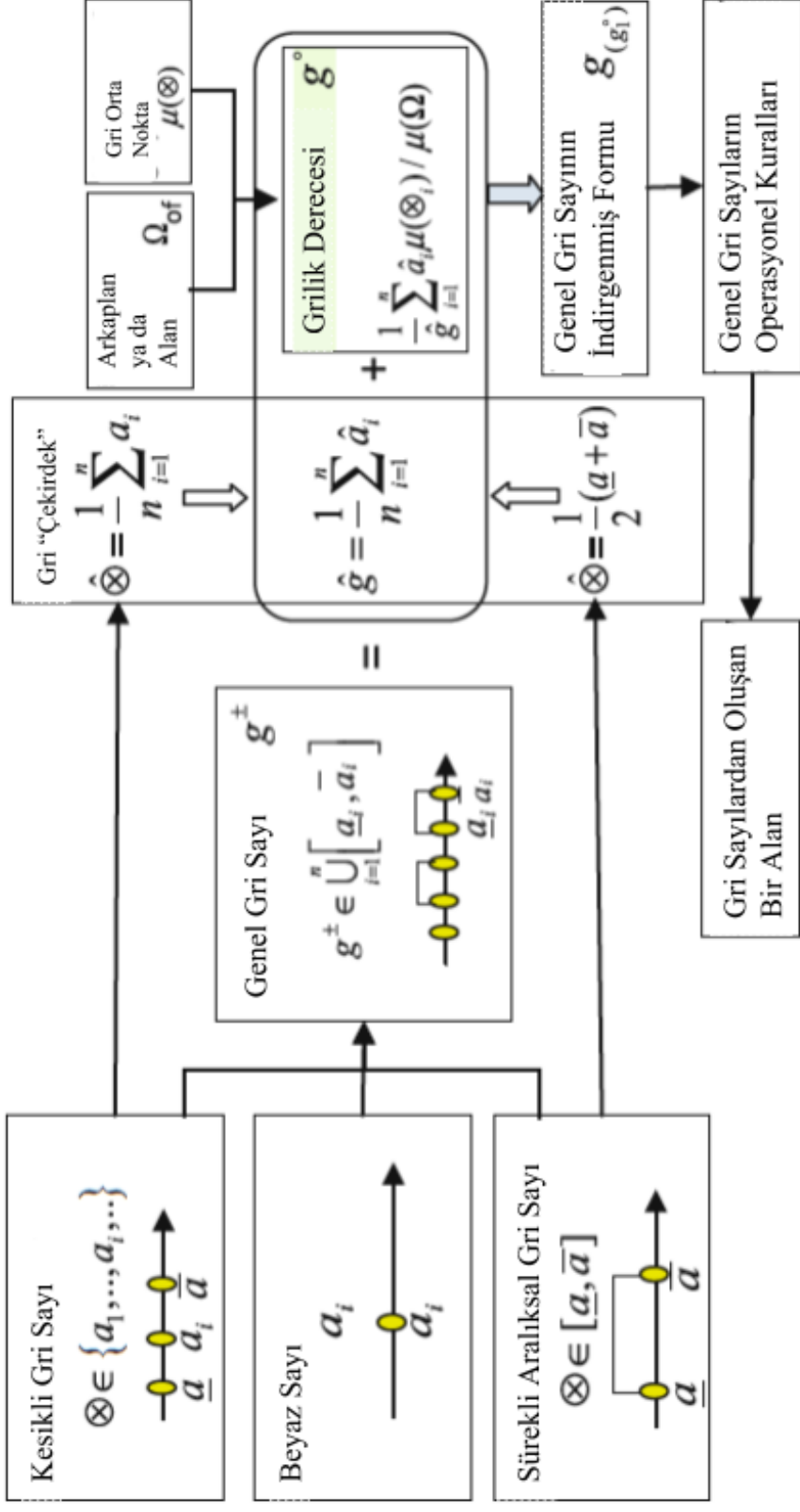
$$\hat{g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{a}_i \quad (22)$$

Eğer dağılım fonksiyonu biliniyorsa $g^{\pm} \in [a_i, \bar{a}_i]$, ($i = 1, 2, \dots, n$) olmak üzere $p_i > 0$ ve $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ ise bu durumda çekirdeğin hesaplanması şu şekildedir (Liu ve diğerleri, 2016: 439):

$$\hat{g} = \sum_{i=1}^n p_i \hat{a}_i \quad (23)$$

Gri sayılar gri sistem teorisinin temelini oluşturmaktadır. Teoride yer alan tüm yöntemlerde gri sayılardan ve gri sayıların kullanıldığı matematiksel işlemlerden faydalanılmaktadır. Gri sistem teorisinin diğer belirsizliği modelleyen teorilere kıyasla sahip olduğu uygulama kolaylığının kaynağı da gri sayılar ve gri matematiksel işlemlerdir. Şekil 14'te tanımlanmış olan gri sayıların birbirleri ile ilişkisi ve matematiksel gösterimleri özetlenmiştir:

Şekil 14: Gri Sayıların Tanımları ve Tanımların Matematiksel Gösterimleri



Kaynak: Liu ve diğerleri, 2017: 19

2.1.7. Gri Matematiksel İşlemler

Gri aralıksal sayıların aritmetik işlemleri aralıksal değerler için kullanılan matematiksel işlemlere oldukça benzerdir (Liu ve diğerleri, 2013: 5). Gri matematiksel işlemlerde kullanılacak olan gri sayılar $\otimes G \in [\underline{x}, \bar{x}]$ olmak üzere $\otimes G_1 = [\underline{G}_1, \bar{G}_1]$ ve $\otimes G_2 = [\underline{G}_2, \bar{G}_2]$ biçiminde tanımlanmıştır. Buna göre gri matematiksel işlemlerin en çok kullanılanları şunlardır (Moore ve diğerleri, 2009: 10-14):

- **Gri Toplama İşlemi:** $\otimes G_1 + \otimes G_2 = [\underline{G}_1 + \underline{G}_2, \bar{G}_1 + \bar{G}_2]$ (24)

- **Gri Çıkarma İşlemi:** $\otimes G_1 - \otimes G_2 = [\underline{G}_1 - \underline{G}_2, \bar{G}_1 - \bar{G}_2]$ (25)

- **Gri Çarpım İşlemi:** $\otimes G_1 \times \otimes G_2 = \left[\begin{array}{l} \min(\underline{G}_1, \underline{G}_2, \underline{G}_1 \bar{G}_2, \bar{G}_1 \underline{G}_2, \bar{G}_1 \bar{G}_2) \\ \max(\underline{G}_1, \underline{G}_2, \underline{G}_1 \bar{G}_2, \bar{G}_1 \underline{G}_2, \bar{G}_1 \bar{G}_2) \end{array} \right]$ (26)

- **Gri Bölme İşlemi:** $\otimes G_1 \div \otimes G_2 = [\underline{G}_1, \bar{G}_1] \times \left[\frac{1}{\bar{G}_2}, \frac{1}{\underline{G}_2} \right]$ (27)

- **Gri Mutlak Değer İşlemi:** $|\otimes G| = \max(|\underline{G}|, |\bar{G}|)$ (28)

- **Gri Sayıların Merkezi:** $\otimes x_c = \frac{1}{2}(\underline{G} + \bar{G})$ (29)

- **Gri Sayıların Genişliği:** $\otimes x_w = \frac{1}{2}(\underline{G} - \bar{G})$ (30)

Gri sayıların merkezi ve gri sayıların genişliği kullanılarak gri aralıksal gri sayıların alt ve üst limitleri şu şekilde elde edilmektedir:

$$\bar{G} = \otimes G_c + \otimes G_w \text{ ve } G = \otimes G_c - \otimes G_w \quad (31)$$

- **Gri Sayıların Tersini Alma:** $\otimes G_1^{-1} = \left[\frac{1}{\bar{G}_1}, \frac{1}{\underline{G}_1} \right]$ (32)

- **Gri Sayıların k sabiti ile çarpımı:** $k \cdot \otimes G_1 = [k \cdot \underline{G}_1, k \cdot \bar{G}_1]$ (33)

2.1.8. Gri Sayılarda Beyazlaştırma İşlemi

Gri sayılar sabit ve temel bir değer çevresindeki değişim baz alınarak rahatlıkla beyaz sayı haline dönüştürülebilmektedir. Bu amaçla yapılan işleme “beyazlaştırma” adı verilmektedir. Bu amaçla beyazlaştırma değeri olarak adlandırılan sabit bir sayı kullanılmaktadır. “a” temel gri sayı ve δ_a titreşim değeri olmak üzere $\otimes(a) = a + \delta_a$

ya da $\otimes(a) \in (-, a, +)$ biçiminde ifade edilmektedir. Bu durumda ilgili gri sayının beyazlaştırılmış değeri $\otimes(a) = a$ biçiminde gösterilmektedir (Lin ve diğerleri, 2004: 199).

Gri sayıların genel aralık $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$ için beyazlaştırılmış değeri $\otimes(a)$ aşağıdaki biçimde hesaplanmaktadır (Liu ve Lin, 2006: 26–27):

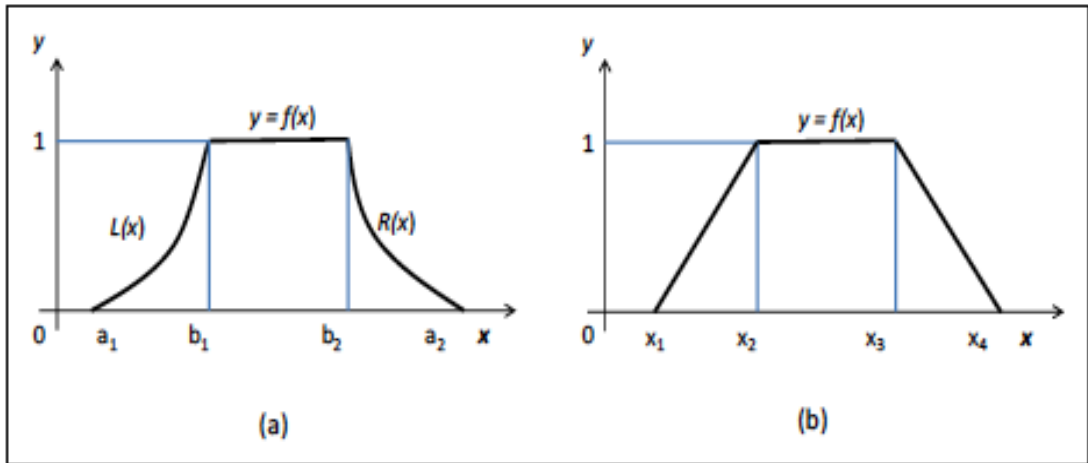
$$\alpha \in [0,1]$$

$$\otimes = \alpha \cdot \underline{a} + (1-\alpha) \cdot \bar{a} \quad (34)$$

Gri sayıların beyazlaştırılması için kullanılan pek çok beyazlaştırma fonksiyonundan bahsetmek mümkündür. Beyazlaştırma işleminin asıl amacı gri aralıksal sayıyı temsil eden bir beyaz değere ulaşmaktır. Bu işlem yapılırken grilik derecesini sıfır yapan, yani $g^0 = 0$ eşitliğini sağlayan beyazlaştırma fonksiyonu “tam beyazlaştırma fonksiyonu” olarak adlandırılmaktadır. Kullanılan beyazlaştırma fonksiyonun grilik derecesini sıfır yapması durumunda beyazlaştırma işlemi sonucunda elde edilecek beyaz sayı da aslında tam bilgi altında ulaşılabilir olan tam beyaz sayı olacaktır (Yang ve John, 2012: 254).

Tipik beyazlaştırma fonksiyonu, sabit bir başlama ve bitiş noktası ile solda artan sürekli bir fonksiyon ile sağda azalan sürekli bir fonksiyondan oluşmaktadır. Bu fonksiyon tiplerinin grafik üzerindeki gösterimi Şekil 15 ve Şekil 16’da yer almaktadır (Liu ve Lin, 2006: 26).

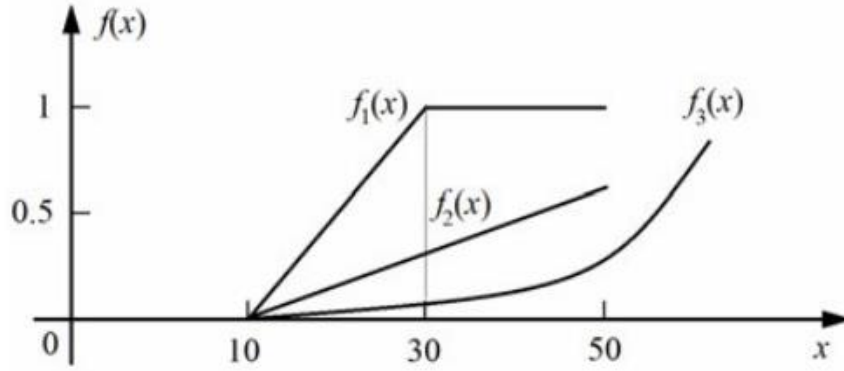
Şekil 15: Sık Kullanılan Beyazlaştırma Fonksiyonları



Kaynak: Liu ve Lin, 2006: 26

Beyazlaştırma formülizasyonunda $\alpha = \frac{1}{2}$ olması durumunda uygulanan beyazlaştırma işlemine eşit ağırlıklı ortalama beyazlaştırma işlemi adı verilmektedir. Beyazlaştırma işlemine tabi tutulacak gri sayının dağılım bilgisine sahip olunmadığı durumlarda eşit ağırlıklı ortalama beyazlaştırma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yönüyle gri sistem teorisinde en sık kullanılan beyazlaştırma türü budur (Liu ve Lin, 2006: 25).

Şekil 16: Eşit Ağırlıklı Beyazlaştırma Fonksiyonu ve Diğer Sık Kullanılan Beyazlaştırma Fonksiyonları



Kaynak: Liu ve Lin, 2006: 26

Örneğin; bir kişinin yaşının 40 ile 60 arasında olması ifadesi bir gri sayıdır ve $\otimes \in [40, 60]$ ile gösterilmektedir. Bazı araştırmalara dayalı olarak araştırma sonrası, ilgili kişinin 12 yılını üniversite öncesi eğitime harcadığı ve 1960'larda üniversiteye girdiği belirlenmiştir. Böylece ilgili kişi şimdi 50 yaş civarında olabilir. Fakat 45-55 yaş arasında olması olasılığı daha fazladır. Bu gri sayı için, eşit ağırlıklı beyazlaştırmanın kullanılmasının pek doğru olmayacağı belirgindir. Bu yüzden, bir gri sayının belirli aralıkta değerler almasında tercih edilme derecesini belirlemek için beyazlaştırma ağırlık fonksiyonu kullanılır (Liu ve Lin, 2006: 25).

Gri sistem teorisinde aralıksal gri sayıların beyazlaştırılmasında bilinen bilgilerden ve araştırmacının tecrübesinden faydalanılmaktadır. Beyazlaştırma işleminde kullanılacak α değerinin tespitinde bu konu oldukça önemlidir. Başlama ve bitiş noktalarının belirli olmasının dışında izlenecek sabit bir fonksiyon yoktur (Lin ve

diğerleri, 2004: 199–200). Bu sebeple de beyazlaştırma fonksiyonu eğrisinin başlangıcı ve bitişi önem taşımaktadır. Örneğin, bir ticaret müzakeresinde, gri bir durumdan beyaz bir duruma dönüşme süreci vardır. Varılan nihai anlaşma, müzakerenin geçtiği aralıkta olacaktır. Dolayısıyla, ilgili beyazlaştırma ağırlığı fonksiyonu, en alt teklif seviyesinde başlamalı ve en üst teklif seviyesinde bitmelidir (Liu ve Lin, 2006: 25).

2.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE GRİ DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Doğrusal programlama her ne kadar terminolojik olarak öyleymiş gibi görünse de şaşırtıcı bir biçimde bilgisayar programlaması ile doğrudan ilişkili değildir. Kavramın ilk olarak ortaya atılışı 1950’li yıllara dayanmaktadır ve bu yıllarda bilgisayarlar yaygın, kolay ulaşılabilir bir araç değildiler (Matousek ve Gartner, 2000: 1).

Doğrusal programlama Dantzig tarafından 1948 yılında sunulan “Programming in a Linear Structure” adlı çalışma ile literatüre kazandırılmış bir “tam optimizasyon” yöntemidir (Dantzig, 1948). Yöntemin çözümünde en sık kullanılan metot olan simpleks yöntemi Dantzig tarafından 1949 yılında literatüre kazandırılmıştır (Dantzig, 1949).

Doğrusal programlama ilk olarak askeri bir terim olarak ortaya çıkmıştır. Doğrusal kelimesi ile olası planların doğrusal kısıtlamalara (eşitlik veya eşitsizlik şeklindeki) bağlı olmasına ve yapılan planlamaların kalitesinin doğrusal miktarlarla ölçülmesi durumuna dayanmaktadır (Matousek ve Gartner, 2000: 1). Doğrusal programlama modelinin genel gösterimi $X(n \times 1)$ boyutlarında karar değişkenlerini gösteren sütun vektörü, $C(1 \times n)$ boyutlarında amaç fonksiyonu katsayılarını gösteren satır vektörü, $A(m \times n)$ boyutlarında kısıt matrisi ve $b(m \times 1)$ boyutlarında kısıtların sağ tarafını ifade eden sütun vektörü olmak üzere şu şekildedir (Bazaraa ve diğerleri, 2011: 7):

$$\max(\min)CX \quad S.T. AX \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b \quad X \geq 0 \quad (35)$$

Doğrusal programlama esas olarak, karar probleminin çözümünü olası en uygun hale getirme amacının nasıl garanti altına alınacağı konusunda belirli kısıtlamalar ile çalışmaktadır. Bu problemlerde, kısıtlama koşulu ve amaç fonksiyonu doğrusal ise, problemlere doğrusal programlama problemleri denmektedir. Doğrusal programlama,

geniş bir yelpazede hızlı gelişen uygulamalı araştırmaların en önemli dallarından birisidir (Liu ve Dang, 2009: 751).

Doğrusal Programlama yöntemi 5 temel varsayım üzerine kuruludur. Bu varsayımlar şunlardır (Gürdoğan, 1981: 33-34):

- Doğrusallık ya da Oranlılık Varsayımı
- Pozitif Olma ya da Negatif Olmama Varsayımı
- Sınırlılık Varsayımı
- Toplanabilirlik Varsayımı
- Deterministlik Varsayımı

Görüldüğü üzere geleneksel matematiksel programlama tekniklerinde, modelde kullanılan katsayıların deterministik ve sabit değerler olduğu varsayılmaktadır. Fakat belirsiz çevre faktörleri sebebiyle bu varsayımın geçerli olmadığı pek çok durumla karşılaşmaktadır. Bu ihtiyaca cevaben gri doğrusal programlama üzerine çalışmalar yapılmıştır (Ishibuchi ve Tanaka, 1990: 219).

Gri sistem teorisinin fikir ve modelleme yöntemini kullanarak oluşturulacak olan doğrusal programlama modeli gri doğrusal programlama modeli olarak adlandırılmaktadır (Liu ve Lin, 2006: 369). Gri doğrusal programlamanın gösterimi $X(\otimes)$ modelin çözüm vektörü, $C(\otimes)$ amaç fonksiyonu katsayıları, $b_i(\otimes)$ kısıtların sağ tarafı ve $a_{ij}(\otimes)$ değişkenlerin kısıtlardaki kaynak kullanımı olmak üzere aşağıdaki gibidir (Liu ve Dang, 2009: 751):

$$\begin{aligned}
 X(\otimes) &= [x_1(\otimes), x_2(\otimes), \dots, x_n(\otimes)]^T \\
 C(\otimes) &= [c_1(\otimes), c_2(\otimes), \dots, c_n(\otimes)] \\
 b(\otimes) &= [b_1(\otimes), b_2(\otimes), \dots, b_m(\otimes)]^T \\
 A(\otimes) &= \begin{bmatrix} a_{11}(\otimes) & a_{12}(\otimes) & \dots & a_{1n}(\otimes) \\ a_{21}(\otimes) & a_{22}(\otimes) & \dots & a_{2n}(\otimes) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}(\otimes) & a_{m2}(\otimes) & \dots & a_{mn}(\otimes) \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{36}$$

Kullanılan parametrelerin aralıksal gri sayı olarak gösterimi ve küme kapsamları aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned}
 c_j(\otimes) &\in [\underline{c}_j, \bar{c}_j], \underline{c}_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n; \\
 b_i(\otimes) &\in [\underline{b}_i, \bar{b}_i], \underline{b}_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m;
 \end{aligned} \tag{37}$$

$$a_{ij}(\otimes) \in [\underline{a}_{ij}, \bar{b}_i], \underline{b}_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m;$$

Sonuç olarak gri doğrusal programlamanın genelleştirilmiş gösterimi aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir (Hajiagha ve diğerleri, 2012: 269):

$$\max(\min) \otimes CX \text{ S.T.} \otimes A \otimes X \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} \otimes b \quad \otimes X \geq 0 \quad (38)$$

Gri doğrusal programlama literatürde çok az çalışmada kendisine yer bulmuştur. Yapılan çalışmalar daha çok gri doğrusal programlamanın; doğrusal programlamanın özel bir formu olması niteliğine sahip yöntemlerle hibrit çözümler sunulması şeklindedir. 2015 yılında Girginer ve Köse çalışmalarında gri doğrusal programlamayı veri zarflama analizinde kullanmışlardır. (Girginer ve Uçkun, 2015). Yöntemin diğer bir hibrit uygulama alanını hedef programlama entegrasyonu oluşturmaktadır. Buna ilişkin literatür taraması 3. Bölümde paylaşılmıştır.

Literatürde üç farklı gri doğrusal programlama çözüm yöntemine rastlanmaktadır. Bu yöntemler alt başlıklar halinde açıklanacaktır.

2.2.1. Gri Doğrusal Programlamanın Konumlandırılmış Çözümü

Yöntem ilk olarak Julong Deng'in yazdığı ve China Ocean Press tarafından 1988 yılında yayınlanmış olan Grey System adlı kitapta, "Grey Linear Programming" bölümünde gri parametrelerin kullanıldığı gri doğrusal programlama modelinden bahsedilmiştir. Deng'in sunduğu gri parametrelili doğrusal programlama modeli üzerine yazılmış olan "New Study on The Solution of Grey Linear Programming" adlı çalışma 1997 yılında Weaping Wang tarafından yayınlanmıştır. Deng'in ortaya koyduğu yöntemin üzerine Xiao 1998 yılında iyileştirmeler yaparak Journal of Grey System adlı dergide yayınlamıştır. (Deng, 1988: 130-138; Wenping, 1997: 41-46; Xinping, 1998: 133-139). Yöntemin literatürdeki son ve en kapsamlı hali Sifeng Liu'nun 2006 yılında yayınladığı "Grey Information Theory and Practical Applications" kitabında bölüm olmuş; daha sonraları Sifeng Liu ve Yaoguo Dang tarafından 2009 yılında San Antonio'da yapılmış konferansta sunulmuştur. Bu başlık altında gri parametrelerle doğrusal programlama Sifeng Liu ve Yaoguo Dang'in ortaya koyduğu biçimde "Doğrusal

Programlamanın Konumlandırılmış Çözümü” adı altında açıklanacaktır (Liu ve Dang, 2009: 751- 756; Liu ve Lin, 2006: 367-377).

Doğrusal programlamanın konumlandırılmış çözümü (On Positioned Solution of Grey Linear Programming) gri parametrelerin kullanıldığı bir doğrusal programlama modeli çeşididir. Yöntemin temelleri gri parametrelere sahip doğrusal programlama yönteminin beyazlaştırma işlemine tabi tutularak geleneksel doğrusal programlama yöntemine benzetilmesi üzerine kurulmaktadır. Yöntemin en önemli avantajı uygulamasının kolay ve hızlı oluşudur. (Liu ve Dang, 2009: 751-756; Liu ve Lin, 2006: 367-377).

Yöntemin bir diğer adı da “Sürüklenen (drifting) gri doğrusal programlama”dır. Çözüm sonunda gri çözüm vektörü elde edilmemekte, ancak farklı beyazlaştırma fonksiyonları kullanılarak tatmin derecesine göre çözüm değerlerinin hesaplanması ile, karar vericinin tercih edeceği gri çözüm aralıkları saptanabilmektedir. Yöntemde “sürüklenen” ifadesinin kullanılış sebebi çözüm sürecinin birbirini izleyen bir dizi doğrusal programlama setinden oluşmasıdır. Yöntemde optimal çözüme ulaşamamakta, bunun yerine tatmin edici çözüme ulaşılmaktadır (Liu ve Dang, 2009: 751-756; Liu ve Lin, 2006: 367-377).

Yöntemde $\tilde{C}(\otimes)$, $\tilde{b}(\otimes)$, $\tilde{A}(\otimes)$ gri doğrusal programlama modelinin sırasıyla amaç fonksiyonu katsayısı, kısıtların sağ tarafı ve değişkenlerin kısıtlardan kaynak kullanımını göstermek üzere beyazlaştırılmış vektörleridir. Beyazlaştırma fonksiyonuna göre seçilmiş $\rho_i, \beta_i, \delta_{ij} \in [0,1], i = 1,2, \dots, m; j = 1,2, \dots, n$. şeklinde tanımlanan $\rho_i, \beta_i, \delta_{ij}$ ise beyazlaştırma faktörleridir. Buna göre gri doğrusal programlama modelinin beyaz parametreleri aşağıdaki biçimde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}\tilde{c}_j(\otimes) &= \rho_j \bar{c}_j + (1 - \rho_j) \underline{c}_j; j = 1,2, \dots, n \\ \tilde{b}_j(\otimes) &= \beta_i \bar{b}_i + (1 - \beta_i) \underline{b}_i; i = 1,2, \dots, m \\ \tilde{a}_{ij}(\otimes) &= \delta_{ij} \bar{a}_{ij} + (1 - \delta_{ij}) \underline{a}_{ij}; i = 1,2, \dots, m; j = 1,2, \dots, n\end{aligned}\tag{39}$$

Sonuç olarak yeni elde edilen beyazlaştırılmış parametreler ile revize edilen gri doğrusal programlama modeli aşağıdaki şekli almaktadır:

$$\begin{aligned} \max S &= \tilde{C}(\otimes)X \\ \text{s. t } &\begin{cases} \tilde{A}(\otimes)X \leq \\ X \geq 0 \tilde{b}(\otimes) \end{cases} \end{aligned} \quad (40)$$

Oluşturulan doğrusal programlama modelinin çözümünde simpleks metodundan faydalanılır. Yöntemin çözümünde kullanılacak beyazlaştırma faktörü önemli bir yer tutmaktadır. Kullanılan beyazlaştırma faktörüne göre yonteme üç farklı yaklaşımda bulunulabilmektedir. Yaklaşım örnek durumla aşağıdaki biçimde açıklanabilmektedir:

$\rho_j (j = 1, 2, \dots, n)$ fiyatın konumlandırılmış katsayı vektörünü,

$\beta_i (i = 1, 2, \dots, m)$ kaynak kısıtlarının konumlandırılmış vektörünü,

$\delta_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ ise kaynak tüketiminin konumlandırılmış vektörünü gösterir.

ρ_j j . ürünün fiyat dalgalanmasının yansımasını ifade eder. ρ_j düştükçe j . ürünün fiyatı düşecektir. ρ_j yükseldikçe j . ürünün fiyatı yükselecektir. β_i kaynakların pazar arzını gösterir. β_i düştükçe i . kaynağın arzı düşer, β_i yükseldikçe i . kaynağın arzı yükselir. δ_{ij} ifadesi i . kaynaktan j . ürünün tüketimini gösterir. δ_{ij} yükseldikçe j . ürünün i . kaynak kullanım miktarı artacaktır.

- **İdeal Model:** Amacı kazancını maksimize etmek olan yukarıda açıklanmış etki durumları altındaki bir doğrusal programlama modelinde en ideal çözüme ulaşabilmek amacıyla $\rho = \beta = 1, \delta = 0$ beyazlaştırma faktörleri kullanılmakta, yani $LP(1,1,0)$ modeli kurulmaktadır. Bir başka deyişle aralıksal gri sayılar maksimizasyon amacı için en iyimser senaryoya göre beyazlaştırılmaktadırlar. Bu işlemin sonucunda beyazlaştırılmış parametrelerden oluşan gri doğrusal programlama modeli çözüldüğünde $\max \bar{S}$ 'ye, yani maksimizasyon amacı taşıyan doğrusal programlama modeli çözümünün üst sınırına ulaşılmaktadır.

- **Kritik Model:** Benzer biçimde en ideal olmayan çözüme ulaşabilmek amacıyla $\rho = \beta = 0, \delta = 1$ beyazlaştırma faktörleri kullanılmakta, yani $LP(0,0,1)$ modeli kurulmaktadır. Bir başka deyişle aralıksal gri sayılar maksimizasyon amacı için en kötümser senaryoya göre beyazlaştırılmaktadır. Bu işlemin sonucunda beyazlaştırılmış parametrelerden oluşan gri doğrusal programlama modeli çözüldüğünde $\max \underline{S}$ 'ye, yani

maksimizasyon amacı taşıyan doğrusal programlama modeli çözümünün alt sınırına ulaşılmaktadır.

• **θ Konumlandırılmış Model:** Bu durumda beyazlaştırma faktörleri $\rho = \beta = \delta = \theta$ biçiminde kullanılmakta, yani $LP(\theta)$ modeli kurulmaktadır. Kurulmuş olan gri doğrusal programlama modelinin çözümünden elde edilecek değer $\max S(\theta)$ olmaktadır. Çözüm değerlerine “ θ optimal çözüm değerleri” adı verilmektedir. θ değeri olarak çoğunlukla $\theta = 0.5$ kullanılmaktadır. Bir başka deyişle eşit ağırlıklı ortalama beyazlaştırma $LP(\theta)$ modelinde en sık kullanılan değerdir.

$\rho, \beta, \delta \in [0,1]$ olmak üzere $LP(\rho, \beta, \delta)$ modeli için konumlandırılmış gri doğrusal programlamanın tatmin derecesi aşağıdaki formülasyonla hesaplanır:

$$\mu(\rho, \beta, \delta) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\max \underline{S}}{\max S(\rho, \beta, \delta)} \right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\max S(\rho, \beta, \delta)}{\max \bar{S}} \right) \quad (41)$$

Konumlandırılmış gri doğrusal programlamanın tatmin derecesi $LP(\theta)$ modellerinde ulaşılan $\max S(\theta)$ değeri ile ideal model çözümü olan $\max \bar{S}$ ve kritik model çözümü olan $\max \underline{S}$ arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. $\max S(\theta)$ değeri $\max \bar{S}$ 'ye yaklaştıkça $\mu(\rho, \beta, \delta)$ yükselmekte, $\max S(\theta)$ değeri $\max \underline{S}$ 'ye yaklaştıkça ise $\mu(\rho, \beta, \delta)$ düşmektedir.

2.2.2. Gri Doğrusal Programlamada Kapsama Çözümü

Gri doğrusal programlamada kapsama çözümü 2007 yılında Qiao-Xing Li tarafından “The Journal of Grey System” adlı dergide yayınlanan makale ile literatüre kazandırılmıştır. Makalenin orijinal adı “The Cover Solution of Grey Linear Programming”tir. Yöntemde kullanılan “kapsama” ifadesinin kökeni gri sistemlerin aralık matematiğinden farklılıklarına dayanmaktadır. Aralık matematiğinde verilen aralıktaki tüm sayılar çözüm kümesini sağladığı için aralık biçiminde ifade edilirken, gri sistem teorisinde yalnızca belirli aralıkta olduğu bilgisine sahip olunması fakat bu aralıkta yalnızca tek bir beyaz sayının olduğu düşüncesi gri sistem teorisindeki aralıksal sayıları, salt aralıksal ifadelerden ayırmaktadır. Bu noktada “kapsama” kavramı devreye girmektedir. Gri doğrusal programlama modeli oluşturulurken eksik ve yetersiz bilgi

sebebiyle tam olarak tespit edilemeyen beyaz sayıyı kapsayan bir aralık saptanmaya çalışılmaktadır (Li, 2007: 309-320).

Genel doğrusal programlama modeline göre eksik veya yetersiz bilgi sebebiyle gri belirsizliğin etkisi altında modellenmeye çalışılan gri doğrusal programlama modelinde parametreler gri sayı biçiminde ($i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$) olmak üzere $c_j(\otimes)$, $b_i(\otimes)$ ve $a_{ij}(\otimes)$ biçiminde tanımlansın. Bu durumda genel gri doğrusal programlama modeli aşağıdaki biçimi almaktadır:

$$\begin{aligned} \max \quad & z(\otimes) = C(\otimes)X \\ & \begin{cases} A(\otimes)X = b(\otimes) \\ X \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (42)$$

Modeldeki parametrelerin açık bir biçimde gösterimi aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} A(\otimes) &= \left(a_{ij}(\otimes) \right)_{m \times n} = (P_1(\otimes), P_2(\otimes), \dots, P_n(\otimes)), \quad T \\ b(\otimes) &= (b_1(\otimes), b_2(\otimes), \dots, b_m(\otimes)) \\ C(\otimes) &= (c_1(\otimes), c_2(\otimes), \dots, c_n(\otimes)) \\ P_j(\otimes) &= \left(a_{1j}(\otimes), a_{2j}(\otimes), \dots, a_{mj}(\otimes) \right)^T \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (43)$$

$C(\otimes)$, $b(\otimes)$ ve $A(\otimes)$ vektörlerinin gri yapılı olduğu gibi modelin alacağı çözüm değerlerini gösteren X vektörü de gri yapılıdır. Yöntemde gri belirsizlik altında hareket eden karar vericinin mümkün en fazla bilgiyi veri toplama yöntemleri vasıtasıyla toplayıp $C_j(\otimes)$, $b_i(\otimes)$ ve $a_{ij}(\otimes)$ kapsama kümelerini oluşturması gerekmektedir. Bu kümeler aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} [c_j] &= [c_j^-, c_j^+] \\ [b_i] &= [b_i^-, b_i^+] \\ [a_{ij}] &= [a_{ij}^-, a_{ij}^+] \\ &(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (44)$$

Gri yapılı doğrusal programlama modeli parametrelerin kapsanmış formunu aldığı anda aşağıdaki biçimde gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} \max \quad & [z] = [C]X \\ & \begin{cases} [A]X = [b] \\ X \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (45)$$

Yukarıda gösterilmiş olan genelleştirilmiş kapsanmış parametrelere sahip gri doğrusal programlama modelindeki katsayılar aşağıdaki biçimde açık olarak tanımlanmaktadır:

$$[A] = ([a_{ij}])_{m \times n} = ([P_1], [P_2], \dots, [P_n]), [b] = ([b_1], [b_2], \dots, [b_m])^T \quad (46)$$

$$[C] = ([c_1], [c_2], \dots, [c_n]) \quad [P_j] = ([a_{1j}], [a_{2j}], \dots, [a_{mj}])^T \quad j = 1, 2, \dots, n)$$

Kapsanmış gri doğrusal programlama modelinin optimal çözüm vektörü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$X^*(\otimes) = (x_1^*(\otimes), x_2^*(\otimes), \dots, x_n^*(\otimes))^T \quad (47)$$

Bu durumda optimal çözümün kapsanmış çözüm kümesinin tanımı şu şekilde ifade edilmelidir:

$$[X^*] = ([x_1^*], \dots, [x_n^*])^T \quad (48)$$

Çözümde olan x değişken vektörü aşağıdaki gibidir:

$$X_{B(\otimes)}(\otimes) = (x_1(\otimes), x_2(\otimes), \dots, x_n(\otimes))^T \quad (49)$$

Bunun yanı sıra çözümde olmayan x değişken vektörü aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$X_{N(\otimes)}(\otimes) = (x_{m+1}(\otimes), x_{m+2}(\otimes), \dots, x_n(\otimes))^T \quad (50)$$

Simpleks yöntem ile optimum çözümün optimal gri değeri olan aşağıdaki gri vektörü elde edilmektedir:

$$z_{max}(\otimes) = C_{B(\otimes)}(\otimes)B(\otimes)^{-1}b(\otimes) \text{ ve } X^*(\otimes) = (B(\otimes)^{-1}b(\otimes), 0)^T \quad (51)$$

Gri vektördeki sayıların aşağıdaki durumu sağlaması gerekmektedir:

$$\sigma_{N(\otimes)} = C_{N(\otimes)}(\otimes) - C_{B(\otimes)}(\otimes)B(\otimes)^{-1}N(\otimes) \leq 0 \text{ ve } \sigma_{B(\otimes)} = 0 \quad (52)$$

Çözüm Adımları:

1. **Adım:** $\varepsilon > 0$ olmak üzere aşağıda tanımlanmış olan $A(\otimes)$, $C(\otimes)$, $b(\otimes)$ matris/vektör kapsanmış kümeleri oluşturulmaktadır:

$$[A] = ([a_{ij}^-, a_{ij}^+])_{m \times n}, [C] = ([c_1], \dots, [c_n]) \quad (53)$$

$$[b] = ([b_1], \dots, [b_m])^T, [P_j] = ([a_{1j}], [a_{2j}], \dots, [a_{mj}])^T$$

2. **Adım:** $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{m \times n} \in [A]$, $\tilde{C} = (\tilde{c}_1, \dots, \tilde{c}_n) \in [C]$, $\tilde{b} = (\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_m)^T \in [b]$ biçiminde tanımlanmış beyazlaştırılmış matris/vektörler kullanılarak aşağıdaki biçimde programlanmış simpleks metot vasıtasıyla optimumum çözüm değeri $X_{\tilde{B}} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ olarak açıklanan \tilde{B} elde edilmektedir:

$$\begin{aligned} \max \tilde{z} &= \tilde{C}X \\ \begin{cases} \tilde{A}X &= \tilde{b} \\ X &\geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (54)$$

3. **Adım:** Aşağıdaki formülasyona göre $[B]$, $[\Delta B]$ ve \tilde{B} matris kapsanmış kümeleri oluşturulmaktadır:

$$\begin{aligned} [B] &= (|a_{ij}^-, a_{ij}^+|)_{m \times m} = ([P_1], \dots, [P_m]), \\ [\Delta B] &= (|\tilde{a}_{ij} - a_{ij}^+, \tilde{a}_{ij} - a_{ij}^-|)_{m \times m} \text{ ve } \tilde{B} = (\tilde{a}_{ij})_{m \times m} \\ \tilde{a}_{ij} &= \max\{|\tilde{a}_{ij} - a_{ij}^+, \tilde{a}_{ij} - a_{ij}^-|\} \quad (i, j = 1, 2 \dots n) \end{aligned} \quad (55)$$

4. **Adım:** $[\Delta B]\tilde{B}^{-1}$ hesaplanır. $[\Delta B]\tilde{B}^{-1} \geq 0$ durumu sağlanırsa B^{-1} matris kapsanmış kümesi aşağıdaki biçimde bulunmaktadır:

$$\begin{aligned} [\Delta B]\tilde{B}^{-1} &= (|bq_{ij}, bq_{ij}|)_{m \times n} \\ B_1 &= (\tilde{b}q_{ij}^-)_{m \times m}, B_2 = (\tilde{b}q_{ij}^+)_{m \times m} \\ (I - B_1)^{-1} &= (\tilde{b}q_{ij}^-)_{m \times m}, (I - B_2)^{-1} = (\tilde{b}q_{ij}^+)_{m \times m} \\ [\Delta B]\tilde{B}^{-1} &\geq 0 \quad (B_1 \geq 0) \quad B(\otimes)^{-1}, \\ [B]_{11}^{-1} &\triangleq [B]^{-1} = \tilde{B}^{-1}[B_{inv}] \\ [B_{inv}] &= (|\tilde{b}b_{ij}^-, \tilde{b}b_{ij}^+|)_{m \times m} \end{aligned} \quad (56)$$

Eğer $[\Delta B]\tilde{B}^{-1} \geq 0$ durumu sağlanmazsa $\{[\Delta B]\tilde{B}^{-1}\}^k$ ($k = 2, 3, \dots, K_0$) olmak üzere K_0 ve $[B]^{-1}$ aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$K_0 = \text{int} \left(\frac{\ln \varepsilon + \ln(1 - \alpha) - \ln \beta}{\ln \alpha} \right) - 1 \quad (57)$$

$$[B]_2^{-1} \triangleq [B]^{-1}\tilde{B}^{-1} \left\{ I + [\Delta B]\tilde{B}^{-1} + ([\Delta B]\tilde{B}^{-1})^2 + \dots + ([\Delta B]\tilde{B}^{-1})^{K_0} \right\} + ([-\varepsilon, \varepsilon])_{m \times m}$$

ya da

$$[B]_{22}^{-1} \triangleq [B]^{-1}\tilde{B}^{-1} \left\{ I + [\Delta B]\tilde{B}^{-1} + ([\Delta B]\tilde{B}^{-1})^2 + \dots + ([\Delta B]\tilde{B}^{-1})^{K_0} \right\} + ([0, \varepsilon])_{m \times m} \quad (58)$$

5. **Adım:** $[\sigma_N]$ ve $[X^*]$ aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} [z_{max}] &= [C_B][B]^{-1}[b] \text{ ve } X^* = ([B]^{-1}[b], 0)^T \\ [\sigma_N] &= [C_N] - [C_B][B]^{-1}[N] \end{aligned} \quad (59)$$

Eğer buna göre $[X^*] \geq 0$ ve $[\sigma_N] \leq 0$ sağlanırsa elde edilmiş olan çözümden $[z_{max}]$ ve $[X^*]$ değerlerine ulaşılmış olunmaktadır. Eğer durumu sağlanamaz ise ilk adıma geri dönmekte ve süreç yeniden başlatılır.

2.2.3. Gri Doğrusal Programlamanın Çözümüne Çok Amaçlı Karar Verme Yaklaşımı

Gri doğrusal programlamanın çözümüne çok amaçlı karar verme yaklaşımı, gri sistem yazınında gri doğrusal programlama çözümüne dair yayınlanmış en yeni yaklaşımdır. 2012 yılında Hajiagha ve diğerleri tarafından çalışılmış ve “Grey Systems: Theory and Application” adlı dergide yayınlanmıştır. Yöntemin yalnızca amaç fonksiyonunda gri sayıların kullanıldığı, daha az kapsamlı hali 1990 yılında Ishibuchi ve Tanaka tarafından çalışılmıştır (Ishibuchi ve Tanaka, 1990: 219-225). Yöntem diğer gri doğrusal programlama çözümü yöntemlerinin aksine modelin parametrelerinden herhangi birinin alt ve üst limitlerinin işaretlerinin farklı olması durumunda da kullanılabilir. Bunun yanı sıra yöntem diğer çözüm metotlarının aksine bir dizi model kurulumu ve çözümü gerektirmez. Oluşturulan modelin çözümü ile çözüm değerleri de aralıksal gri sayı formunda elde edilmektedir. Bu bakımdan yöntemin matematiksel altyapısı uygulama kolaylığı sağlayacak basitliktedir ve uygulanması hızlıdır denilebilir. Yaklaşım esas olarak gri sayılar arasındaki düzen ve üstünlük ilişkilerine dayanmaktadır. Bu nosyona dayanarak, orijinal gri doğrusal programlama problemini iki-amaçlı bir probleme dönüştürmek için modelleme süreci önerilmiştir. Yöntemin temelini oluşturan düzen ve üstünlük ilişkileri şu şekildedir (Hajiagha ve diğerleri, 2012: 259-271):

▪ $\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}]$, $\otimes y = [\underline{y}, \bar{y}]$ şeklinde iki gri sayı ve LR ifadesi gri sayının sol ve sağ limitlerini ifade etmek üzere \leq_{LR} ilişkisi aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} \underline{x} \leq \underline{y} \text{ ve } \bar{x} \leq \bar{y} \text{ ise } \otimes x \leq_{LR} \otimes y \\ \otimes x <_{LR} \otimes y \text{ ve } \otimes x \neq \otimes y \text{ ise } \otimes x \leq_{LR} \otimes y \end{aligned} \quad (60)$$

▪ CW ifadesi gri sayının orta noktasını ve genişliğini ifade etmek üzere $\otimes x$ ve $\otimes y$ gri sayıları için \leq_{CW} ilişkisi aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} x_C \leq y_C \text{ ve } x_W \geq y_W \text{ ise } \otimes x \leq_{CW} \otimes y \\ \otimes x \leq_{CW} \otimes y \text{ ve } \otimes x \neq \otimes y \text{ ise } \otimes x <_{CW} \otimes y \end{aligned} \quad (61)$$

▪ $\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}]$, $\otimes y = [\underline{y}, \bar{y}]$ şeklinde tanımlanmış iki gri sayı olmak üzere \leq_{LR}^* ilişkisi aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} \underline{x} \leq \underline{y} \text{ ve } \bar{x} \leq \bar{y} \text{ ise } \otimes x \leq_{LR}^* \otimes y \\ \otimes x \leq_{LR}^* \otimes y \text{ ve } \otimes x \neq \otimes y \text{ ise } \otimes x <_{LR}^* \otimes y \end{aligned} \quad (62)$$

▪ $\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}]$, $\otimes y = [\underline{y}, \bar{y}]$ şeklinde tanımlanmış iki gri sayı olmak üzere \leq_{LR}^* ilişkisi aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} x_C \leq y_C \text{ ve } x_W \geq y_W \text{ ise } \otimes x \leq_{CW}^* \otimes y \\ \otimes x \leq_{CW}^* \otimes y \text{ ve } \otimes x \neq \otimes y \text{ ise } \otimes x <_{CW}^* \otimes y \end{aligned} \quad (63)$$

Yöntem gri hedef programlama modelinin iki amaçlı hale getirilebilmesi için gri matematiksel işlemlerin kullanılarak amaç fonksiyonuna ve kısıtlara uygulanan süreçlerden oluşmaktadır. Yöntemde değişken vektörleri üç alt vektör olarak ayrıştırılmıştır. Bunlar:

- Amaç fonksiyonu katsayılarının üst ve alt sınırlarının pozitif olduğu k^+ alt seti,
- Amaç fonksiyonu katsayılarının üst ve alt sınırlarının negatif olduğu k^- alt seti,
- Amaç fonksiyonu katsayılarının üst sınırının pozitif, alt sınırlarının negatif olduğu, aralığın sıfır rakamını içerdiği k^0 alt seti.

• **Amaç Fonksiyonun Modifikasyonu:** Gri doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonun genişletilmiş gösterimi şu şekildedir:

$$\otimes C . \otimes X = \sum_{j=1}^n \otimes c_j . \otimes x_j = \sum_{j \in k^+} \otimes c_j^+ . \otimes x_j^+ + \sum_{j \in k^-} \otimes c_j^- . \otimes x_j^- + \sum_{j \in k^0} \otimes c_j^0 . \otimes x_j^0 \quad (64)$$

Amaç fonksiyonu katsayılarının dönüşümü için yapılacak işlemler alt vektör sınıflarına göre aşağıda gösterildiği biçimde düzenlenmektedir:

$$\begin{aligned}
\text{Eğer } j \in k^+ &\rightarrow \otimes c_j^+ \cdot \otimes x_j^+ = [\underline{c}_j^+ \underline{x}_j^+, \bar{c}_j^+ \bar{x}_j^+] \\
\text{Eğer } j \in k^- &\rightarrow \otimes c_j^- \cdot \otimes x_j^- = [\underline{c}_j^- \underline{x}_j^-, \bar{c}_j^- \bar{x}_j^-] \\
\text{Eğer } j \in k^0 &\rightarrow \otimes c_j^0 \cdot \otimes x_j^0 = [\underline{c}_j^0 \underline{x}_j^0, \bar{c}_j^0 \bar{x}_j^0]
\end{aligned} \tag{65}$$

Bu durumda amaç fonksiyonu aşağıdaki görünümü almaktadır:

$$\otimes Z(x) = \otimes C \cdot \otimes X = \left[\begin{array}{l} \sum_{j \in k^+} \otimes \underline{c}_j^+ \cdot \otimes \underline{x}_j^+ + \sum_{j \in k^-} \otimes \underline{c}_j^- \cdot \otimes \underline{x}_j^- + \sum_{j \in k^0} \otimes \underline{c}_j^0 \cdot \otimes \underline{x}_j^0 \\ \sum_{j \in k^+} \otimes \bar{c}_j^+ \cdot \otimes \bar{x}_j^+ + \sum_{j \in k^-} \otimes \bar{c}_j^- \cdot \otimes \bar{x}_j^- + \sum_{j \in k^0} \otimes \bar{c}_j^0 \cdot \otimes \bar{x}_j^0 \end{array} \right] \tag{66}$$

Bu formülasyona göre amaç fonksiyonunun çözüm değerinde daima alt sınır, üst sınır değerinden küçük olmaktadır. Bu durumun kanıtı rahatlıkla gri çarpım işlemine dayandırılarak bulunmaktadır.

▪ $\otimes Z(x)$ amaç fonksiyonun orta noktası ve genişliği gri matematiksel işlemlerde tanımlandığı gibi hesaplanıyor olsun, bu durumda $\otimes Z(x)$ amaç fonksiyonunun maksimizasyon yönlü olduğu varsayımı altında $\otimes x$ ve $\otimes y$ iki gri sayı ve Lc ifadesi gri sayının sol sınırı ve merkezi olmak üzere \leq_{LC} ilişkisi aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned}
\underline{x} \leq \underline{y} \text{ ve } \bar{x} \leq \bar{y} \text{ ise } \otimes x \leq_{LC} \otimes y \\
\otimes x \leq_{LC} \otimes y \text{ ve } \otimes x \neq \otimes y \text{ ise } \otimes x <_{LC} \otimes y
\end{aligned} \tag{67}$$

Bu ilişkilere göre $\otimes x \leq_{LC} \otimes y$ ise $\otimes x \leq_{LR} \otimes y$ veya $\otimes x \leq_{CW} \otimes y$ durumlarının gerçekleşeceği anlamına gelmektedir.

▪ $\otimes x$ maksimizasyon yönlü gri doğrusal programlama modelinin olurlu çözümü ise ve eğer hiç $\otimes x'$ biçiminde tanımlanmış olurlu olmayan çözüm yoksa bu durum $\otimes Z(x) <_{LC} \otimes Z(x')$ durumunun gerçekleşeceği anlamına gelmektedir. Bu açıklamaya göre maksimizasyon yönlü amaç fonksiyonunun çözümü aşağıdaki iki amaçlı problemin pareto optimal çözümlerinin kümesi olacaktır:

$$\text{Max}(\underline{Z}(x), Z_c(x)) \tag{68}$$

▪ Minimizasyon yönlü karar problemleri için $\otimes x$ ve $\otimes y$ iki gri sayı ve RC ifadesi gri sayının sağ sınırı ve genişliği olmak üzere \leq_{LR} ilişkisi aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned} \bar{x} \leq \bar{y} \text{ ve } x_c \geq y_c \text{ ise } \otimes x \leq_{RC}^* \otimes y \\ \otimes x \leq_{RC}^* \otimes y \text{ ve } \otimes x \neq \otimes y \text{ ise } \otimes x <_{RC}^* \otimes y \end{aligned} \quad (69)$$

Bu ilişkilere göre $\otimes x \leq_{RC}^* \otimes y$ ise $\otimes x \leq_{LR}^* \otimes y$ ya da $\otimes x \leq_{CW}^* \otimes y$ durumlarının gerçekleşeceği anlamına gelmektedir.

▪ $\otimes x$ minimizasyon yönlü gri doğrusal programlama modelinin olurlu çözümü ise ve eğer hiç $\otimes x'$ biçiminde tanımlanmış olurlu olmayan çözüm yoksa bu durum $\otimes Z(x) <_{RC}^* \otimes Z(x')$ durumunun gerçekleşeceği anlamına gelmektedir. Bu açıklamaya göre minimizasyon yönlü amaç fonksiyonun çözümü aşağıdaki iki amaçlı problemin pareto optimal çözümlerinin kümesi olacaktır:

$$Min(\bar{Z}(x), Z_c(x))f \quad (70)$$

• **Kısıtların Modifikasyonu:** Gri doğrusal programlama modelindeki kısıtlar genel doğrusal programlama modellerinde olduğu gibi iki tip eşitsizlik ve bir eşitlik formunda olabilmektedir. Kısıtın tipinin küçük, büyük veya eşit olmasına göre yöntem açıklanırken daha önce tanımlanmış olan sıralama ilişkilerinden faydalanılmaktadır. *LHS* ifadesi kısıtların sol tarafını göstermektedir. Buna göre kaynak kullanım katsayıları $\otimes a_{ij} \in [a_{ij}, \bar{a}_{ij}]$ şeklinde tanımlanmak üzere kısıtlar aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir:

$$\otimes A_i \cdot \otimes x = \sum_{j=1}^n \otimes a_{ij} \cdot \otimes x_j \quad (71)$$

Gri doğrusal programlama modelindeki kısıtların genişletilmiş gösterimi şu şekildedir:

$$\sum_{j \in k^+} \otimes a_{ij} \cdot \otimes x_j^+ + \sum_{j \in k^-} \otimes a_{ij} \cdot \otimes x_j^- + \sum_{j \in k^0} \otimes a_{ij} \cdot \otimes x_j^0 \quad (72)$$

Bu formülasyonun uygulanmasının sonucunda kısıtların sol tarafı $[\underline{LHS}_i, \overline{LHS}_i]$ haline gelmektedir. Bu işlemin ardından sıralama ilişkilerine göre kısıtları modifiye etmek için kısıtın türüne göre aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

▪ Eğer $[\underline{LHS}_i, \overline{LHS}_i] \leq [b_i, \bar{b}_i]$ ise sıralama ilişkisi gereği \leq_{RC}^* aşağıdaki duruma dönüşmektedir:

$$\begin{aligned}\overline{LHS}_i &\leq \bar{b}_i \\ (LHS_i)_C &\leq b_C\end{aligned}\quad (73)$$

- Eğer $[\underline{LHS}_i, \overline{LHS}_i] \geq [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$ ise \leq_{LC}^* aşağıdaki duruma evrilecektir:

$$\begin{aligned}\underline{LHS}_i &\geq \underline{b}_i \\ (LHS_i)_C &\geq b_C\end{aligned}\quad (74)$$

- Eğer $[\underline{LHS}_i, \overline{LHS}_i] = [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$ ise bu durumda aşağıdaki formu alacaktır:

$$\begin{aligned}\underline{LHS}_i &= \underline{b}_i \\ \overline{LHS}_i &= \bar{b}_i\end{aligned}\quad (75)$$

- **Kurulan İki Amaçlı Doğrusal Programlama Modelinin Tek Amaca**

İndirgenmesi: Kurulmuş olan modelin çözümünde kullanılmak üzere iki yaklaşım önerilmektedir. Buna göre oluşturulmuş olan modelin çözümünde eşit ağırlıklandırma metodu kullanılmaktadır. Bunun için kullanılacak formülasyon aşağıdaki gibidir:

$$\otimes Z(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{Z_L}{Z_C} \right) \quad (76)$$

Yine aynı amaçla kullanılmak üzere çalışmada önerilmiş olan yöntem “uzlaşık programlama yaklaşımı”dır. Bu yöntem L_p -metrik fonksiyonundaki sapmaları minimize etmek amacı taşımaktadır. Maksimizasyon yönlü amaç fonksiyonları için kullanılacak olan formülasyon aşağıda gösterilmektedir:

$$\begin{aligned}Min L_P &= \left\{ \left[\frac{Z_L^* - Z_L(x)}{Z_L^*} \right]^\rho + \left[\frac{Z_C^* - Z_C(x)}{Z_C^*} \right]^\rho \right\}^{1/\rho} \\ S.T. x &\in X\end{aligned}\quad (77)$$

Minimizasyon yönlü amaç fonksiyonları için kullanılacak olan uzlaşık programlama yaklaşımının formülasyonu ise aşağıda gösterilmektedir:

$$\begin{aligned}Min L_P &= \left\{ \left[\frac{Z_R^* - Z_R(x)}{Z_R^*} \right]^\rho + \left[\frac{Z_C^* - Z_C(x)}{Z_C^*} \right]^\rho \right\}^{1/\rho} \\ S.T. x &\in X\end{aligned}\quad (78)$$

Sonuç olarak da uzlaşık programlama yaklaşımına göre çözüm yapılırken $p = 1, 2, \infty$ değerleri verilmektedir. Elde edilen en tatmin edici çözüm sonuçlar incelenerek seçilmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

PROTOTİP DEPARTMANINDA GRİ HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME UYGULANMASI

3.1. UYGULAMANIN TEORİK ÇERÇEVESİ

Tezin uygulama alanı olarak işgücü çizelgeleme karar problemleri seçilmiştir. Bu başlıkta işgücü çizelgeleme karar problemleri kavramsal olarak incelenmekte; işgücü çizelgeleme karar problemlerinin sınıflandırmasına, sürecine ve literatür taramasına yer verilmektedir.

3.1.1. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemleri

Personel planlaması ve işgücü planlaması olarak da adlandırılan işgücü çizelgelemesi vardiyalı ve düzensiz iş günlerinde çalışılan her işletmenin çözmesi gereken zor ve zaman alıcı bir sorundur (Kynğäs ve diğerleri, 2013: 13). İşgücü çizelgeleme karar problemleri yasal düzenlemelerin, yapılan işin ve çalışma ortamlarının gerektirdiği durumların kısıtlar vasıtasıyla düzenlendiği, işgücü maliyetinin minimize edilmesi ya da üretim miktarının maksimize edilmesi amacıyla işgücünün dağıtımının yapıldığı karar problemleridir (Lodree ve diğerleri, 2009: 42). İşgücünün çizelgenmesi belirli bir işin yapılabilmesi için minimum işgücü kullanımını sağlayacak çizelgenin belirlenmesi işidir. Bir iş yerinde belirli bir zaman aralığında, belirli bir işin yapılabilmesi için çalıştırılması gereken minimum işçi sayısına göre hazırlanmış çalışma planının belirlenmesidir (Bechtold ve Jacobs, 1990: 591). İşgücünün çizelgenmesi ile personeller farklı çalışma sürelerini ifade eden vardiyalara atanmaktadırlar (Aykin, 1996: 587).

Bu tip çizelgeleme karar problemlerini çözmek ile ulaşılmak istenen esas amaç kaynakların etkin kullanımını sağlamak, dengeli iş yükü dağılımını sağlamak ve bireysel istekleri mümkün olduğunca yerine getirmektir. İşgücünü çizelgelemek amacıyla oluşturulmuş iyi bir program çalışanların ihtiyaçlarını ve işletmenin beklentilerini dengeleyerek işin yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan işgücünü adil ve uygun bir şekilde

planlamaktadır.

Başarılı işgücü çizelgelemesi için çizelgede yer alan personelin yetkinlik, beceri ve verimlilik durumu gibi kriterlerin yanı sıra fazla mesai ücreti gibi maliyet artırıcı kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle işgücü çizelgelemenin başarılı bir biçimde yapılabilmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulabilmektedir (Topaloğlu ve Özkarahan, 2004: 138).

Görevlere atanırken çalışanların tercihlerinin dikkate alınması işgücü çizelgeleme karar problemlerinde önemli bir husustur. Çağdaş yönetim anlayışlarına uygun olarak tercihlerine önem verilen bir personelin zaman içerisinde daha üretken olması, işini benimsemesi ve çıktı kalitesini artırması beklenen bir sonuçtur (Bektur ve Hasgöl, 2013: 587). Buna bağlı olarak günümüzde işletmelerin işgücü çizelgeleme karar problemlerinin objektif karar yöntemleri kullanılarak çözülmesine dikkat edilmektedir. Böylece en düşük sayıda işgücü ile işin gereklilikleri sağlanabilmektedir (Thompson, 1996: 56). İşgücü çizelgeleme problemleri üretim ve hizmet sektörlerinde sıklıkla karşılaşılan bir karar problemi türüdür. İşgücü çizelgelemesini başarılı olarak yapan bir işletme hem müşteri hem de personel açısından memnuniyeti sağlayabilmektedir. Ayrıca, personelin doğru şekilde planlanması üretkenliği artıracak ve işletmenin müşteri taleplerini daha hızlı karşılamasını sağlayacak ve teslim tarihinden veya sipariş adetinden sapma olmasını engelleyerek müşteri–işletme ilişkisine de olumlu katkı sağlayacaktır (Topaloğlu ve Özkarahan, 2004: 138).

3.1.2. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemlerinin Sınıflandırılması

İşgücü çizelgeleme karar problemlerinin sınıflandırması ilk olarak Baker tarafından 1974 yılında yapılmıştır. Günümüz çalışmalarında halen kullanılmakta olan sınıflandırmaya göre işgücü çizelgeleme karar problemleri üç kategori altında incelenmektedir (Morris ve Showalter, 1983: 1942):

- **Vardiya Çizelgeleme Karar Problemleri**: Bir planlama dönemi için zaman farklı çalışma süreleri de içerebilecek biçimde vardiyalara ayrılabilir. Oluşturulan bu blok zamanlarda personele ödenecek ücretlerin de birbirinden farklılık göstermesi

mümkündür (Zarrah ve diğerleri, 1994:1124). İşgücü çizelgeleme karar problemlerinin vardiya çizelgeleme türünde her bir vardiya için işgününün atamasının yapılmasına çalışılmaktadır. Vardiya çizelgeleme karar problemlerinde karar vericinin yapacağı planlamadaki amaçları optimize edilmeye çalışılırken işin gereği ortaya çıkan iş yükü de bu oluşturulmuş vardiyalara atanmaya çalışılmaktadır. Bu tip çizelgeleme karar problemleri vardiya çizelgeleme karar problemleri olarak adlandırılmaktadır.

Vardiya çizelgeleme karar problemlerinin ilk uygulayıcısı 1954 yılında yapmış olduğu çalışma ile Dantzig'tir. Dantzig bu çalışmasında 0-1 tamsayılı programlama modeli tabanlı küme örtüleme yöntemi kullanmıştır (Aykin, 2000: 381).

Vardiya planlaması, asgari ve azami vardiya uzunluklarını hesaba katan bir çizelgeleme yöntemidir. Böylece iş yükünün karşılanabilmesi için gereken personel sayısı belirli bir planlama dönemi için vardiyalara atanabilmektedir. Bu çizelgelemeyi yapmaktaki nihai amaç işgücü maliyetini minimize edecek biçimde işlerin yapılmasını sağlamaktır (Güngör ve Küçüksille, 2005: 388).

• **İzin Günü Çizelgeleme Karar Problemleri:** Bu karar problemi türünde personelin çalışılan ve izinde olunan günlere ataması gerçekleştirilmektedir. Bunu yapmaktaki amaç personelin hangi günler izinli olmasının işletmenin amaçlarına daha uygun olduğunun belirlenmesi ve buna bağlı olarak bir çalışma sistematığının oluşturulmasıdır. Bu çizelgeleme karar problemi daha çok haftanın her günü faaliyet göstermekte olan havaalanı, hastane gibi işletmeler için uygundur. Eğer işletmenin sabit bir hafta tatili yoksa ve işletme haftanın yedi günü faaliyet gösteriyorsa işgücünün haftalık çizelgelemesi için izin günleri belirlenmelidir. Bu tip alanlarda faaliyet gösteren işletmelerde çalışanların hafta tatillerini kullanacakları günün belirlenmesi önemli bir karar problemini meydana getirmektedir. İzin günü çizelgelemesi yapılarak işlerin sürdürülebilirliği için personelin günlere göre dengeli bir biçimde izin gününü kullanması sağlanmaktadır. İzin günü personelin hem yasal hem de sosyal hakkıdır. Her personel arzu ettiği biçimde izin yapılabilmesi için izin günlerinin programlanması çok önemlidir (Alfares, 1999: 79).

İzin günü çizelgeleme yöntemine başvuracak işletmeler personelin haftanın 6 günü çalışmasını sağlayıp, haftanın bir gününde hafta tatilini kullanıyorsa olabileceği

gibi, haftanın iki gününü de izin günü olarak sayıp çizelgelemeyi buna bağlı olarak oluşturabilmektedir. Son zamanlarda bazı işletmelerin yarı zamanlı çalışan, haftanın üç veya dört günü çalışmakta olan personeli için de izin günü çizelgelemesine başvurduğu görülmektedir. Haftanın iki gününün izin günü olarak kullanıldığı işletmelerde herhangi bir başka kısıtlama yoksa personelin ardışık günlerde izin kullandığı varsayımı altında model oluşturulmaktadır (Alfares, 2000: 137).

- **Tur Çizelgeleme Karar Problemleri:** Bu çizelgeleme esasen vardiya çizelgeleme ve izin çizelgeleme karar problemlerinin bütünleştirilmiş versiyonudur. Bu modelleme türünde personelin izin günleri dikkate alınarak vardiyalara atama yapılmaktadır (Seçkiner ve diğerleri, 2007: 696). Tur çizelgelemesi vardiya ve izin günü çizelgelemesinde olduğu gibi işin niteliğine bağlı olarak haftalık, iki haftalık veya aylık biçimde yapılabilir.

Her çalışanın çalışması gereken bir zaman periyodu olduğu gibi izin kullanması gereken bir gün de olmalıdır. Amaç, her çalışma turu için görevlendirilen personel sayısını belirlemek ve günlük işgücü talebini asgari işgücü veya minimum maliyetle karşılamaktır. Tur çizelgeleme problemlerinin yapısı ve karmaşıklığı, iş kuralları ve işgücü yapısıyla ilgili faktörlerin sayısına bağlıdır. İşletmede faaliyet gösteren personellerin tamamı tam zamanlı olmayabilmektedir. Yarı zamanlı ve tam zamanlı personellerin birlikte çalıştığı iş ortamlarında tur çizelgeleme karar problemlerinin çözümü karmaşıklaşmaktadır. Bunun yanı sıra işletmenin işgücü varlığını oluşturan personellerin ücret ve yetenek bakımından farklılık göstermesi yine tur çizelgeleme karar problemlerinin çözümünü karmaşıklaştırıcı etki yapacaktır (Alfares, 2004: 146).

3.1.3. İşgücü Çizelgeleme Süreci

İşgücü çizelgelemesi bir karar problemi olarak karar süreçlerinin bir alt sürecini ifade etmektedir. Bu bakımdan işgücü çizelgelemesinin de birbirini izleyen adımlarla bir süreç biçiminde incelenmesi gerekmektedir.

Thompson 1998 – 1999 yılları arasında işgücü çizelgeleme problemlerini dört makalelik bir seri ile incelemiştir. Serinin ilk makalesi talebin belirlenmesini

incelemektedir. İkinci makale işgücünün ölçülmesi ve işgücü kaynaklı karar problemlerini konu almaktadır. Üçüncü makalede işgücünün çizelgenmesi karar problemleri ve çözüm yöntemleri ele alınırken, son makalede ise sistemin kontrol edilmesi incelenmiştir. İşgücü çizelgesi yazınındaki bu dört makaleden yola çıkılarak işgücü çizelgeleme süreci sırasıyla talep tahmini ve iş gücünün tanımlanması, işgücü ihtiyacı talebinin saptanması, işgücü çizelgenin oluşturulması ve kontrol aşamalarından oluşan bir süreç olarak tanımlanmıştır (Thompson, 2004: 145).

• **Talep Tahmini ve İşgücünün Tanımlanması:** Değişik zamanlarda ortaya çıkan müşteri talebinin tahmin edildiği aşamadır. Müşteri talebinin tahmin edilebilmesi için aşağıdaki sekiz adım takip edilmektedir (Thompson, 1998: 22-31).

➤ **İşin Özelliğinin Tanımlanması:** Bu aşamada işler yapılaş süreleri ölçülebilen işler ve ölçülemeyen işler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Süreleri ölçülebilen ve buna bağlı olarak süreleri kontrol edilebilen işlerin zaman esnekliği yüksektir. İşin yapılaş süresi ölçülemeyen ve buna bağlı olarak kontrol edilemeyen işlerde ise zaman esnekliği düşüktür. Birinci kategorideki işlere örnek olarak otomobil lastiği imalat süreci verilebilir. İkinci kategorilere örnek olarak ise otelcilik sektöründeki pek çok iş verilebilir. Örneğin odaların hazırlanması işinin süresi ölçülemediği gibi, işin yapılması için misafirin gelmiş olması gibi kısıtlayıcı ön koşullar yoktur. Bu nedenle bu işin süresinin net olarak bilinmesi ve kontrol edilmesi kolay değildir.

➤ **İşgücü Miktarını ve Özelliklerini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi:** İş ölçüm çalışmaları bu aşamada yapılmaktadır. Bu adımda yapılan ölçümler iş yükünün boyutu ve özellikleri tespit edilebilmektedir.

➤ **Personelin Performanslarının Zaman İçinde Değişip Değişmediğinin Analiz Edilmesi:** Personelin performanslarının zaman içerisinde değişip değişmediğinin saptandığı aşamadır. Uzun dönemde teknolojik değişimler vb. nedenlerle personellerin performanslarında değişiklik meydana gelebilmektedir. Bu noktada önemli olan şey çizelgelemenin yapılacağı periyoddaki performans değişikliklerinin belirlenmesidir.

➤ **Personelin Performansları Değişiyorsa Performansları ile İlgili Değişim Aralıklarının Belirlenmesi:** Performans değişimi saptanan personelin performansında yaşanan değişimin aralığının belirlendiği adımdır. Planlama periyodundaki performans

değişiklikleri belirlenmeli ve modele yansıtılmalıdır.

➤ Performansları Zaman İçinde Değişen İşçilerin Değişen Performanslarını da Dikkate Alarak Ortaya Konulabilecek İş Miktarının Tahmin Edilmesi: Bu aşamada performansları değişen personellerin değişen performansları dikkate alınarak ortaya koyabilecekleri iş miktarı saptanmaktadır.

➤ Kısa Vadede Değişiklik Gösteren Müşteri Talebini Belirli Bir Düzene Koyarak Talepteki Rassallığın Azaltılması: Bazı talep değişiklikleri önceden tahmin edilebilmektedir. Bazıları ise tesadüfidir ve önceden tahmin edilemez. Bu adımda amaç her iki tür talebi de karşılayabilmektir. Geçmiş veriler kullanılarak müşteri talebinin en yüksek ve en düşük olduğu aralıklar bulunmakta ve işgücü ihtiyacı buna göre belirlenmektedir..

➤ Tahminin Doğruluk Derecesinin Sınanması: Tahminin doğruluk derecesinin ölçülmesidir. Talep tahmininin doğruluğunun ölçülmesinde istatistiksel yöntemler kullanılarak, tahmin hataları belirlenmektedir

➤ Çalışma Zamanının Tanımlanması: Yapılacak işin niteliğine göre çalışma periyodu tanımlanmaktadır. Ölçülebilir ve kontrol edilebilir işlerde bu aşama yapılabilirken, ölçülemez ve kontrol edilemez işlerde bu aşamayı yerine getirmek güçtür.

• **İşgücü İhtiyacı Talebinin Saptanması**: İşgücü ihtiyacının belirlenmesi yapılacak olan işin kontrol edilebilir olup olmamasına bağlıdır. Eğer bir iş kontrol edilemez yapıda ise bu durumda işin yapılmasına ilişkin dar boğaz yaratmamak adına yeterli sayıda işgücü işe atanmaktadır. Fakat eğer bir iş kontrol edilebilir yapıda ise bu durumda planlanan zaman diliminde karşılanmak istenen iş yüküne göre çizelgeleme yapılacaktır. Talep tahminlerinden hareketle iş gücü ihtiyacının saptanmasında da üç temel farklı yaklaşımdan faydalanılmaktadır. (Thompson, 1998: 26-37):

➤ Verimlilik Standartlarının Kullanılması Yaklaşımı: Bu yaklaşımda amaçlanan, işgücünün verimliliğinin tutarlı olmasını sağlamaktır. Kontrol edilebilir işlerde verimlilik standartlarının işgücü ihtiyacı talebinin saptanmasında kullanılması uygulanabilecek en basit yaklaşımdır. Bunun nedeni kontrol edilebilir yapıda işlerde kontrol edilemez işlerde olduğu gibi kesintilerin olmamasıdır. Örneğin üretim sürekli bir iştir. Bir garsonun birine servis yapması için ise müşteriyi beklemesi gerekir. Buna göre

üretim işinin verimlilik standardı saatte 10 adet çıktı elde edilmesi olabilir.

➤ Servis Standartlarının Kullanılması Yaklaşımı: Bu yaklaşımda amaçlanan müşteriye yapılan servisin tutarlı olmasını sağlamaktır. Müşterinin servis için ortalama bekleme süresi, servis bekleyen ortalama müşteri sayısı ve belirli bir bekleme süresinden uzun beklemek zorunda kalan müşteri yüzdesi gibi parametreler kullanılabilir. Kontrol edilemeyen işler için uygundur. Bu yaklaşımın dezavantajı ölçümlemede kullanılacak uygun parametrenin ne olduğunun saptanmasında yaşanacak güçlüklerdir.

➤ Ekonomik Standartların Kullanılması Yaklaşımı: Bu yaklaşımda amaçlanan hizmetin en ekonomik biçimde sunulmasını sağlamaktır. Böylece hizmet en çok talebin olduğu zamanlarda sunulmaktadır. Bu yaklaşıma göre kullanılacak en kolay ölçüt müşteri bekleme maliyetlerinin hesaplanmasıdır. Müşteri bekleme sürelerini minimize eden işgücü miktarı iş yükü için en düşük işgücü sayısını verecektir. Kontrol edilemeyen işler için uygun bir yaklaşımdır.

• **İşgücü Çizelgesinin Oluşturulması**: Bu aşamada personelin tercihleri ve yetenekleri dikkate alınarak işgücü maliyetleri minimize edilecek, işletmenin karlılığını arttıracak biçimde karlılık maksimize edilmeye ve çizelge oluşturulurken talep ile işgücü arzı arasında denge kurulmaya çalışılmaktadır. Bazı durumlarda maliyeti minimize eden veya işletmenin karlılığını maksimize eden çizelgelerde yasalara veya çalışanların isteklerine ters durumlar yaşanabilmektedir. Bu durumları yaşamamak adına çizelgenin oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da yasaların çizmiş olduğu genel çerçevedir (Thompson, 1999: 89).

• **Kontrol**: İşgücü çizelgesi sürecinin son aşamasıdır. Planlanan çizelgenin gerçek hayattaki işleyişi kontrol edilmektedir (Thompson, 1999: 90).

3.1.4. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemlerine İlişkin Literatür Taraması

İşgücü çizelgesi yazınının ilk çalışması 1954 yılında Edie tarafından yapılmış olan trafik geçişlerinin incelendiği ve ihtiyaç duyulan personelin saptanması amacıyla sabit kuyruk sisteminin oluşturulduğu çalışmadır.

İşgücü çizelgeleme karar problemleri üzerine yapılmış ikinci çalışma Dantzig

tarafından 1954 yılında vardiya çizelgelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada yöntem olarak tamsayılı doğrusal programlama modelinden faydalanılmıştır. Kurulan modelin matematiksel mantığı her zaman periyodu için ihtiyaç duyulan personel sayısına eşit ya da fazla olacak şekilde atama yapılmasına dayanmaktadır. Çizelgeleme yapılırken maliyet minimizasyonu amacı güdülmüştür. Yöntemde işgücünün gerekenden fazla olmasını engelleyen bir kısıt bulunmamaktadır. Dantzig 'in çalışmasında önerdiği modele küme kapsama modeli adı verilmektedir (Dantzig, 1954).

Dantzig tarafından önerilmiş olan bu model uzun yıllar işgücü çizelgelemesi konusunda referans alınan tek çalışma olmuştur. Bu süre yaklaşık kırk yıllık zaman periyodunu kapsamaktadır. Daha sonra işgücünün çizelgenmesi konusunda hakim olan personelin tercihlerine göre oluşturulmuş, işgücünün ve işin farklı özelliklerine göre yeniden yapılandırılan modeller kurulması gerektiği düşüncesi ile konuya farklı bakış açılarına sahip çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Aykin, 2000: 381).

Bechtold ve Jacobs 1990 yılında yayınladıkları çalışmalarında örtülü tamsayı programlama modelini işgücü çizelgeleme karar problemlerinin çözümü için kullanmışlar ve bu yöntemi Dantzig'in çalışmasında yer verdiği küme kapsama modeli ile kıyaslamışlardır (Bechtold ve Jacobs, 1990).

Beaumont haftanın değişik günlerinde ve değişik zamanlarında değişebilen talebi karşılayacak bir işgücü çizelgeleme problemi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada haftanın 7 günü 24 saat çalışılan yılın 365 günü hizmet veren bir organizasyon dikkate alınmıştır (Beaumont, 1997).

Alfares 2004 yılında yapmış olduğu çalışmada işgücü çizelgeleme karar problemlerinde hizmet sektörünü ele almıştır. İşgücü çizelgeleme türlerinden tur çizelgeleme problemleri incelenerek çözüm önerisinde bulunulmuştur. Öneride bulunan çözüm yöntemlerinin arasında hedef programlama yöntemi de bulunmaktadır (Alfares, 2004).

Ernst ve diğerleri 2004 yılındaki çalışmasında işgücü çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasını ve uygulama alanlarını incelemiştir. Çalışmaya göre işgücü çizelgeleme karar problemleri ile karşılaşılan alanlar şunlardır (Ernst ve diğerleri, 2004):

- Ulaştırma sistemleri

- Çağrı merkezleri
- Sağlık sistemleri
- Koruma ve acil hizmetler
- Sivil hizmetler
- Organizasyon yönetimi
- Finansal Hizmetler
- Turizm ve otelcilik
- Perakendecilik
- Üretim

Huang, 13 hemşirenin çalıştığı bir birim için 0-1 tamsayılı doğrusal hedef programlama modeli ortaya koymuştur. Çalışmada gündüz, akşam ve gece olmak üzere üç vardiya bulunmaktadır ve kıdemli hemşirelere zorunlu olmadıkça fazla mesai verilmemesine dikkat edilecek biçimde model oluşturulmuştur (Huang, 1999). Azaizez ve Sharif, Suudi Arabistan'da Riyadh Al-Kharj Hastanesi'nde hemşire çizelgelemesi karar probleminde çözüm yöntemi olarak 0-1 tamsayılı hedef programlama metodunu kullanmıştır (Azaizez ve Sharif, 2005). Topaloğlu 2006 yılındaki çalışmasında ilaç dağıtan personel için işgücü çizelgelemesi yapmıştır. Çalışma, aylık tur planlama olarak düşünülmüş ve bir hedef programlama modeli ortaya konulmuştur (Topaloğlu, 2006). Mathirajan ve Ramamathan, Hindistan'da büyük bir elektronik pazarlama şirketinde tur çizelgeleme problemini incelemiştir. Bu çalışmada yöntem olarak 0-1 tamsayılı hedef programlama yöntemi kullanılmıştır (Mathirajan ve Ramamathan, 2007). Chu, Hong Kong Uluslararası Havaalanında bagaj servisi için personel seçimi, mürettebat görevlerinin ataması problemini bütünleştiren bir hedef programlama modeli ortaya koymuşlardır (Chu, 2007).

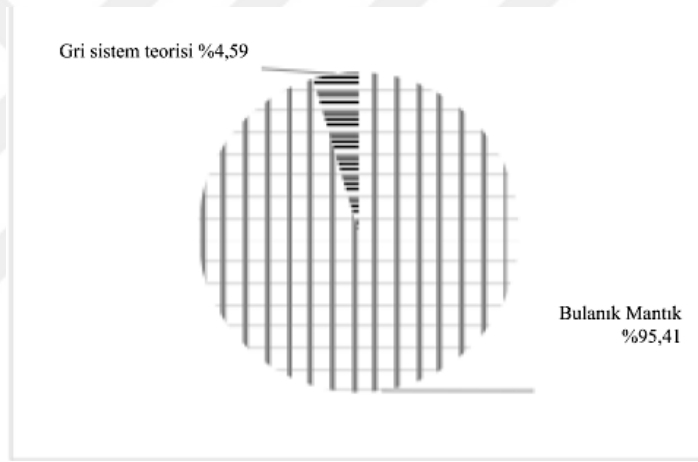
3.2. UYGULAMANIN YÖNTEMSEL ÇERÇEVESİ

Tezin uygulama yöntemi olarak gri hedef programlama seçilmiştir. Bu başlıkta gri hedef programlama yöntemi ve yöntemin literatür taraması paylaşılmaktadır.

3.2.1. Gri Hedef Programlama

Gri hedef programlama son zamanlarda çalışılmaya başlanmış ve oldukça az sayıda uygulaması olan bir yöntemdir. Belirsizliği modellenmesinde sıklıkla bulanık yöntemlere başvurulması nedeni ile son dönemlere çok çalışılmamıştır. Bu durumun açıklayıcı bir örneği olarak aşağıdaki şekilde tedarikçi seçimi karar problemlerinde gri sistem teorisinin ve bulanık mantığın kullanımının yüzdesel paylaşımı pasta grafiğinde gösterilmiştir.

Şekil 17: Tedarikçi Seçimi Karar Problemine Uygulanmış Bulanık ve Gri Yaklaşımların Yüzdesi



Kaynak: Memon ve diğerleri, 2014: 3

3.2.1.1. Gri Hedef Programlamanın Matematiksel Gösterimi

Gri hedef programlama yöntemi hedef programlama ile aynı formülasyonu kullanmaktadır. Yöntemin hedef programlamadan ayrılan yönü parametrelerinin ve çözüm değerlerinin gri formda gösterilmesidir. Buna göre gri hedef programlama yönteminin formülasyonu aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir (Memon ve diğerleri, 2014: 4):

$$\begin{aligned}
\text{Min } \otimes z &= \sum_i^m \otimes w_i \otimes p_i (\otimes d^- + \otimes d^+) \\
\sum_j^n \otimes a_{ij} \otimes x_{ij} + \otimes d^- - \otimes d^+ &= \otimes b_i \quad (79) \\
i &= 1, 2, \dots, m \\
j &= 1, 2, \dots, n \\
\otimes x &\in F \\
\otimes x_{ij}, d^-, d^+ &\geq 0 \\
\otimes w_i &> 0
\end{aligned}$$

Önceki bölümlerde hedef programlamanın doğrusal programlamanın özel bir formu olduğundan bahsedilmiştir. Yayınlanmış gri hedef programlama çalışmaları incelendiğinde ya yöntemin çözümünde kullanılan metodolojiye ilişkin çok az bilgi paylaşıldığı ya da doğrusal programlamanın bir uzantısı olarak değerlendirilip gri doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çözüldüğü görülmektedir. Bu çalışmada da işgücü çizelgelemesinde gri hedef programlama modelinin çözümünde gri doğrusal programlama çözüm yöntemlerinden olan konumlandırılmış çözüm kullanılacaktır.

3.2.1.2. Gri Hedef Programlamaya İlişkin Literatür Taraması

Sadeghieh ve diğerleri 2012 yılındaki çalışmalarında gri hedef programlamayı genetik algoritma vasıtasıyla çözümlenerek tedarikçi değerlendirme ve tedarikçi seçme karar probleminde yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Yöntemin modellenmesinde gri amaç ağırlıkları skalası kullanılmıştır (Sadeghieh ve diğerleri, 2012).

Memon ve diğerleri 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında tedarikçi seçiminde ürün güvenliği riskini yönetme konusuna gri hedef programlama tabanlı karar verme yöntemi ile yaklaşmışlardır. Tedarikçi seçiminde ürün güvenliği kriterini etkileyen faktörler olarak uygunluk, güvenilirlik, izlenebilirlik, kalite ve güvenlik standartları, depolama sistemi, lojistik sistemi, garanti politikası ve kontrat metodu kullanılmıştır. Karar vericinin tedarikçileri değerlendirmesi amacıyla kriterler gri amaç ağırlıkları

skalasına göre değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonu da bu kriterlerden sapmalar minimize edilecek biçimde oluşturulmuştur. Yöntemin çözümünde hangi gri doğrusal programlama yaklaşımından faydalandığı bilgisi bulunmamaktadır. Fakat yöntemin çözümünde LINGO 14 paket programından yararlanıldığı belirtilmiştir (Memon ve diğerleri, 2014).

Sadeghi ve diğerleri 2013 yılında yapmış oldukları çalışmalarında aynı yöntemi bu kez bütünleşik üretim planlaması karar problemine uygulamışlardır (Sadeghi ve diğerleri, 2013). Yine aynı yazarlar 2014 yılındaki çalışmalarında gri sayılardan faydalanarak bulanık hedef programlama yaklaşımı ile sürekli proje zamanı, maliyet ve kalite parametrelerini kullanarak proje yönetimi için hibrit model sunmuşlardır. Çalışmada gri sayılar kullanılmakla birlikte çözüm yöntemi olarak bulanık hedef programlama yönteminden faydalanılmıştır (Hajiagha ve diğerleri, 2014).

Mahdiraji ve diğerleri 2016 yılındaki makalelerinde zaman, maliyet, kalite ve risk parametreleri kullanılarak oluşturdukları hedef programlama modelleri ile bir projenin kritik yolunu belirlemeyi amaçlamışlardır. Yöntemde parametreler beyazlaştırılmış, alt ve üst sınırlar için de çözüm gerçekleştirilerek gri sonuçlara ulaşılmıştır (Mahdiraji ve diğerleri, 2016).

Görüldüğü üzere literatürde gri hedef programlama yöntemi çok yeni çalışılmakta olan bir yaklaşımdır.

3.2.2. İşgücü Çizelgeleme Karar Problemlerinde Gri Hedef Programlamanın Kullanılması

Bu başlık altında ilk olarak uygulamanın yapıldığı işletmeye ilişkin bilgilere yer verilmektedir. Ardından ele alınan problemin tanımı yapılmakta, modellenmekte ve gri hedef programlama yöntemine göre çözümü gerçekleştirilmektedir.

3.2.2.1. Uygulama Yapılan İşletme İle İlgili Bilgiler

Uygulamanın yapıldığı işletme otomotiv ve taşımacılık endüstrilerinde önemli işlere sahip olan ve telekomünikasyon, medikal, bilgisayar ve çevre birimleri de dahil olmak üzere diğer yüksek teknoloji endüstrilerinde büyüyen dünyanın önde gelen

teknoloji şirketlerinden biridir. İşletmenin yazılım veya elektronik geliştirmeye adanmış 16.000 mühendis, bilim adamı ve teknisyeni vardır. İşletme araştırma, geliştirme ve mühendislik konularında yaklaşık yılda 2 milyar dolar bütçe ayırmaktadır ve dünyada faaliyetlerini 34 ayrı merkezde yürütmektedir.

3.2.2.2. Problemin Tanımı

Uygulama ele alınan işletmenin prototip departmanında gerçekleştirilmiştir. Prototip departmanının amacı müşterilerden nadiren gelen müşteri siparişlerinin üretimini gerçekleştirmektir. Prototip departmanında üretilen ürünlerin seri imalatta üretilmesi maliyetli olmaktadır. Bir ürünün seri imalatta üretilebilmesi için belirli bir miktarın üzerinde olması gerekmektedir. Kısa süreli ve düşük hacimlerde üretimi yapılması istenen ürünlerin imalatı için prototip departmanı tercih edilmektedir.

Bu çalışmada uygulamanın yapıldığı prototip departmanında 2 vardiyada üretim yapılmaktadır. Yapılan görüşmelerde departmana gelen iş emirlerinin kısa süreli ve düşük hacimli işleri içermesinin işgücünün çizelgelemesi bakımından zorluğa sebep olduğu görülmüştür. Aynı iş yılda en fazla 3 kez departmana iş emri olarak gelmektedir. Bu sebeple prototip üretiminin çizelgelenmesi süreci eksik verinin etkisi altında belirsiz yapılı bir süreçtir. Çalışanların üretimi yapılacak parçayı hangi sürelerde üretebildiği bilgisi ancak eğer mevcutsa aynı ürünün önceki üretim verilerinden alınmakta ya da benzer yapılı ürünlerin üretim verilerinden faydalanılarak tahmin edilmektedir. Yeterli verinin bulunmadığı bu uygulama ortamında üyelik fonksiyonunun saptanmasındaki güçlük ve olasılık dağılımın belirlenmesindeki zorluklar sebebiyle belirsizliğin modellenmesinde bulanık ve stokastik belirsizlik modelleme yöntemlerinin kullanılamayacağı, belirsizliği modellemek için en uygun belirsizlik çeşidinin gri belirsizlik olduğu sonucuna varılmıştır.

Departmanın işgücü çizelgelemesi konusundaki en büyük sorunlarından biri personellerin maaşları arasındaki farklılıktır. Çok uluslu yapıdaki bu işletmede bir dönem maaşların döviz ile verilmesi sonucunda, dövizle maaşı verilen dönemde işe başlamış olan personel ile sonradan çalışmaya başlayan personel arasında kurdaki değişiklikler

sebebiyle aynı pozisyonda çalıştıkları halde ciddi farklılıklar doğmuştur. Bu durum sebebiyle işgücü çizelgelemesi yapılırken işletmenin amacı gelen iş emri sayısında ve zamanında üretim yapmak olduğu gibi aynı zamanda vardiya maliyetlerini de minimize etmektir.

Uygulama yapılan prototip departmanında 11 personel ve 11 adet tezgah bulunmaktadır. Departmanda 1. vardiya gündüz vardiyası olarak adlandırılmaktadır. 2. vardiya' ya ise akşam vardiyası denilmektedir. Gündüz vardiyasında 11 personelin tamamı çalışırken, akşam vardiyasında işin durumuna göre departman üretim sorumlusunun sezgisel olarak seçtiği personeller nöbetçi bırakılmaktadır. Vardiyaya göre çalışma saatleri ile çay ve yemek molaları çıkarıldığında kalan çalışma süreleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 10: Vardiyalara Göre Çalışma Saatleri

VARDİYALAR	SAAT ARALIĞI	TOPLAM SAAT
1. Vardiya	08:30– 17:30	8
2. Vardiya	18:00 – 21:00	3

İşletmede haftanın 6 günü çalışılmaktadır. Hafta içi günlerde ilk vardiya 8 saatlik bir çalışma saatini kapsarken, cumartesi günleri personel 5 saatlik bir çalışma yapmaktadır. Bu durum Tablo 11'de yer almaktadır:

Tablo 11: Günlere Göre Çalışma Saatleri

GÜNLER	ÇALIŞMA SAATLERİ
Pazartesi	08:30-17:30
Salı	08:30-17:30
Çarşamba	08:30-17:30
Perşembe	08:30-17:30
Cuma	08:30-17:30
Cumartesi	09:00-14:30

İşletmenin hafta tatili Pazar günüdür. Tüm çalışanlar hafta tatillerini Pazar günü kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra cumartesi günleri akşam vardiyası çalışması

yapılmamaktadır. Haftalık 45 saatlik normal sürelerle çalışma 6 günlük gündüz vardiyası ile doldurulduğundan akşam vardiyasında personelin maaşı 4857 sayılı İş Kanunu'na göre %50 zamlı olarak personelin saat ücreti üzerinden hesaplanarak ödenmektedir. Buna göre prototip departmanı çalışanı 11 personelin gündüz vardiyası ücretleri ve zamlı olarak ödenen akşam vardiyası ücretleri insan kaynakları departmanı ile görüşülerek alınmıştır. Vardiyaya göre ödenen ücretler aşağıdaki Tablo 12'de gösterilmektedir:

Tablo 12: Vardiyalara Göre Personele Ödenen Ücret

PERSONEL	1. VARDİYA ÜCRETİ (TL)	2. VARDİYA ÜCRETİ (TL)
A	213,30	120,00
B	95,51	52,62
C	182,24	102,50
D	231,11	129,98
E	115,60	65,00
F	114,80	64,56
G	138,00	77,60
H	74,60	42,00
I	76,80	43,20
J	72,53	40,76
K	200	112,5

Tablodan da görüldüğü üzere personellerin aldıkları ücretler arasında yüksek farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum da sezgisel olarak 2. vardiyaya personel ataması yapan departman üretim sorumlusunu zora sokmaktadır.

Bu çalışmada yukarıda bilgileri verilmiş olan departmanda enjektör üretimi için işgücü çizelgelemesi yapılacaktır. Çizelgelemesi yapılacak iş daha önce departmanda bir kez üretilmiş olduğu için kişilerin gündüz vardiyası üretim adetleri departman üretim sorumlusundan alınarak, kişilerin üretim adet aralıkları gri aralıksal sayı biçiminde kullanılmıştır. Departmanda sürekli değişen nitelikte işler yapılması ve üretim adetlerinin seri üretimin yanında çok daha küçük hacimlerde olması sebebiyle çizelgelemede

kullanılacak olan planlama periyodu haftalık olarak belirlenmiştir. Buna göre departman üretim sorumlusundan elde edilen bilgilerle kişilere göre üretim adeti gri aralıksal sayıları Tablo 13'te verilmektedir:

Tablo 13: Personelin Gri Aralıksal Üretim Çıktısı Adetleri

(i)	$\otimes x = [\underline{G}, \overline{G}]$ olmak üzere	
PERSONEL	\underline{G}	\overline{G}
A	12	8
B	8	6
C	11,5	7
D	10	7,5
E	12	9
F	6	4
G	6	3
H	7,5	5
I	5	3,5
J	9,5	6
K	8,5	6

Çizelgelemesi yapılacak işin üretim adeti de gri belirsizliğin etkisi altındadır. Prototip departmanına gelen iş emirleri müşterilerin acil ihtiyaç duyduğu çıktı kalemlerinden oluşur. Müşteriler genellikle aciliyeti olan bu ürün kalemlerine olan ihtiyaç adetini üretim sürecinde yaşanan çeşitli olaylar sonucunda değişkenlik gösterebilmesi sebebiyle tam olarak saptayamamaktadırlar. Bu nedenle departmana gelen iş emrinin müşteri talebiyle revize edilerek üretim adetinin arttırılması sıklıkla yaşanan bir durumdur. Bu durumun bir sonucu olarak da çizelgeleme yapılırken üretim adeti müşterinin ilk siparişinin %10 fazlasını üretilecek biçimde planlama yapılmalıdır. Bu uygulamada ele alınan ürünün (enjektör) üretilmek istenen gri aralıksal değeri $\otimes b_h = [580,638]$ biçiminde ifade edilmektedir. Bunun yanı sıra üretim sürecindeki adetin belirsizliği nedeniyle bütçe de gri belirsizliğin etkisi altındadır. Aylık olarak departmana tanınan akşam vardiyası bütçesinin gelecekteki projelerin durumu

bilinemediğinden ne kadarının haftalık olarak harcanması gerektiği ancak gri aralıklal sayı olarak tanımlanabilmektedir. Buna göre haftalık akşam vardiyası bütçesi ele alınmakta olan enjektör ürününün üretimi için departman üretim sorumlusu tarafından $\otimes b_h = [1500, 1750]$ biçiminde gri aralıklal sayı olarak belirlenmiştir.

3.2.2.3. İşgücü Çizelgelemede Kullanılan Hedef Kısıtlarının ve Amaç Fonksiyonunun Modellenmesi

Departmanda yapılmakta olan çizelgelemenin iki hedefi bulunmaktadır. Bunlardan ilki haftalık üretim sipariş adetine ulaşılması diğeri ise personelin akşam vardiyasında çalıştırılması amacıyla ayrılan haftalık vardiya ücretinin aşılmasıdır. Karar probleminin matematiksel olarak modellenmesinde kullanılacak olan indisler ve kümeler aşağıdaki gibidir:

n : Çalışan sayısı

m : Planlama periyodundaki gün sayısı

p : Vardiya sayısı

f : Hedef Kısıtı Sayısı

h : Hedef indisi

$d_h^- = h$. Hedeften yaşanan negatif sapma

$d_h^+ = h$. Hedeften yaşanan pozitif sapma

i : Çalışan indisi ($i = 1, 2, \dots, n$)

j : Günler indisi ($i = 1, 2, \dots, n$)

k : Vardiya indisi ($k = 1, 2$)

\otimes : Gri aralıklal sayı

$w_h = h$. Hedef sapmalarının ağırlığı

$a_{ijk} = i$. personelin j . günde k . vardiyada yaptığı üretim miktarı

$c_{ij2} = i$. personelin j . günde 2. vardiyada çalıştığı için alacağı ücret

$x_{ijk} = i$. personelin j . günde k . vardiyada çalışması durumunda 1, diğeri durumlarda 0 değerini almaktadır.

- **Haftalık Üretim Adetinin $\otimes b_i = [580, 638]$ Adetten Az Olmaması**

$$\sum_j^m \otimes a_{ijk} x_{ijk} + \otimes d_1^- - \otimes d_1^+ \geq [580, 638] \quad (80)$$

- **Haftalık Vardiya Ücreti Bütçesinin $b_i = [580, 638]$ 'den Az Olmaması**

$$\sum_j^m c_{ij2} \otimes x_{ij2} + \otimes d_1^- - \otimes d_1^+ \leq [580, 638] \quad (81)$$

➤ **Hedef Ağırlıklarının Belirlenmesi:** Hedeflerden yaşanacak sapmaların ağırlıklarının belirlenmesinde gri objektif ağırlık skalasından faydalanılmıştır. Departman üretim sorumlusu ve üretim mühendisine haftalık üretim adeti ve haftalık üretim bütçesi kısıtlarının sağlanmasının önem düzeyini objektif gri ağırlık skalasına göre seçerek belirtmeleri istenmiştir. İlgili skala ve verilen yanıtlar Tablo 14'te gösterilmektedir:

Tablo 14: Objektif Gri Ağırlık Skalası ve Karar Verici Yanıtları

	Skala	Çok Düşük	Düşük	Orta Düşük	Orta	Orta Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek
	$\otimes w_i$	[0.0,0.1]	[0.1,0.3]	[0.3,0.4]	[0.4,0.5]	[0.5,0.6]	[0.6,0.9]	[0.9,1]
Üretim Hedefi	1.kişi							X
	2.kişi						X	
Vardiya Bütçesi Hedefi	1.kişi			X				
	2.kişi			X				

Kaynak: Memon ve diğerleri, 2014: 4

Elde edilen yanıtlar gri sayıların geometrik ortalaması işlemine aşağıdaki formüle göre tabi tutularak amaç fonksiyonundaki sapma değişkenlerinin ağırlığına $\otimes w_1 = [0,73; 0,94]$ ve $\otimes w_2 = [0,3; 0,4]$ olmak üzere ulaşılmıştır.

$$\otimes w_h = \sqrt[k]{\otimes G_1 \times \otimes G_2 \times \otimes G_3} \quad (82)$$

- **Modelin amaç fonksiyonu:** Modelde tanımlanmış olan haftalık üretim adeti hedefinden pozitif sapmalar kabul görürken, hedeften yaşanacak negatif sapmalar minimize edilmek istenmektedir. Haftalık vardiya ücreti bütçesi kısıtında ise negatif sapmalar kabul edilirken, hedeften yaşanacak pozitif sapmaların minimize edilmesi istenmektedir. Buna göre modelin amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z &= w_1 d_1^- + w_2 d_2^- \\
 x &\in F \\
 x_{ij}, d^-, d^+ &\geq 0 \\
 w_i &> 0
 \end{aligned} \tag{83}$$

3.2.2.4. İşgücü Çizelgelemede Kullanılan Sistem Kısıtlarının Modellenmesi

- **Hafta İçi Günlerde Akşam Vardiyasında En Az İki Kişinin Çalışması:** İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları gereği akşam vardiyasında personelin tek başına kalması mümkün olmamaktadır. Olası bir iş kazası veya sağlık sorununda bir kişinin daha müşahitlik edebilmesi amacıyla hafta içi günlerde akşam vardiyasında minimum iki personel çalıştırılmaktadır. Bu durumu gösteren kısıt aşağıdaki şekilde modellenmektedir:

$$\sum_j^m x_{ij2} \geq 2 \tag{84}$$

- **Cumartesi Günü Akşam Vardiyasına Hiçbir Personelin Yazılmaması:** Personeller cumartesi günleri akşam vardiyasında çalışmak istemediklerini belirtmişlerdir. Bu durumu sağlayan kısıt aşağıdaki gibidir:

$$\sum_j^m x_{i62} = 0 \tag{85}$$

- **Tüm Personelin Hafta İçi Gündüz Vardiyasında Çalışması:** Departmanın çalışma prensibi gereği ve haftalık 45 saatlik çalışma süresini sağlamak adına tüm personel hafta içi günlerinde gündüz vardiyasına yazılmaktadır. Bu durum aşağıdaki kısıt ile sağlanmaktadır:

$$\sum_j^m x_{ij1} = 11 \quad (86)$$

- **Tüm Personelin Hafta Sonu Gündüz Vardiyasında Çalışması:**

Departmanın çalışma prensibi gereği ve haftalık 45 saatlik çalışma süresini sağlamak adına tüm personel hafta sonu gündüz vardiyasına yazılmaktadır. Bu durum aşağıdaki kısıt ile sağlanmaktadır:

$$\sum_j^m x_{i61} = 11 \quad (87)$$

- **Personelin Ardışık Günlerde Akşam Vardiyasına Yazılmaması:** Personel ardışık günlerde akşam vardiyasında çalışmak istememektedir. Modelde personelin ardışık günlerde nöbet tutması engellenerek yorgunluk düzeyleri azaltılmaya çalışılmıştır. Bu durum aşağıdaki biçimde modellenmektedir:

$$x_{ij2} + x_{i(j+1)2} \leq 1 \quad (88)$$

- **Personele En Az 1 Akşam Vardiyası Yazılması:** Akşam vardiyaları personel tarafından ek gelir olarak değerlendirilmektedir. Bu sebeple akşam vardiyasında çalışmak departman personeli tarafından arzu edilen bir durumdur. Departmandaki çalışma başarısının sürdürülebilmesi adına modelde her personele en az 1 adet akşam vardiyası yazılacak şekilde kısıtlama yapılmıştır.

$$\sum_j^m x_{ij2} \geq 2 \quad (89)$$

- **X_{ijk} Değerlerinin 0 ya da 1 Değerini Alması:** Vardiyalara atama gerçekleştirileceği için modeldeki x_{ijk} değişkenleri 0 ya da 1 değeri alacak biçimde kısıtlanmıştır.

- **Haftalık Üretim Miktarı Hedefinden Yaşanacak Sapmaların Tam Sayılı Olması:** Yapılan üretim sonucunda tam sayılı çıktı değerleri elde edebilmek adına d₁⁻ değişkeni yalnızca tamsayı değerler alabilecek biçimde kısıtlanmıştır.

3.2.2.4. Çözüm Metodolojisi

Literatürde gri hedef programlamanın çözümü ile ilgili açık ve ayrıntılı bir kaynak bulunmamaktadır. Yapılmış olan çalışmalarda genellikle model paylaşılmış, fakat çözüm metodolojisi aktarılmamıştır. 3.2.1’de belirtildiği üzere literatürdeki çalışmalarda beyazlaştırma işlemi kullanılarak çözüme gidildiği görülmektedir. Hedef programlamanın doğrusal programlamanın uzantısı niteliğinde olması bakımından çözüm yöntemi olarak beyazlaştırma işlemine göre çözüm sunan, gri sistem teorisinin en çok atıf alan isimlerinden Sifeng Liu’nun 2006 yılında önerdiği, gri sistem teorisinin en çok başvurulan kitaplarından “Grey information: Theory and Practical Applications” adlı kitabında yer alan “Doğrusal Programlamanın Konumlandırılmış Çözümü” yaklaşımı kullanılacaktır.

- **İdeal Modele Göre İşgücü Çizelgeleme Karar Probleminin Çözümü:**

Tanımlanmış olan hedef programlama modelinin amacı hedeflerden yaşanacak sapmaları minimize etmektir. Bu amaçla gri değişkenlerin beyazlaştırma faktörü kullanılarak aşağıdaki formül vasıtasıyla beyazlaştırılması gerekmektedir:

$$\otimes = p \cdot \underline{a} + (1 - p) \cdot \bar{a} \quad (90)$$

Model için olumlu bir durumu ifade eden kişilerin üretim miktarlarının yüksek olması durumunun ideal modele yansıtılabilmesi amacıyla $p = 0$ seçilmektedir.

Haftalık vardiya bütçesi arttıkça bu durum modele olumlu olarak yansıtacağından ilgili parametrenin kullanılmasında $\beta = 0$ olarak seçilmektedir.

Modelde kullanılan ağırlık değişkenlerinin alt ve üst sınırlarının modelin ideal ya da kritik olmasına bir katkısı yoktur. Bu sebeple ideal ve kritik modelin çözümünde amaç fonksiyonunda bulunan ağırlık değişkenlerinin beyazlaştırılmasında $\delta = 0,5$ olarak seçilmektedir.

Sonuç olarak amacı hedeften sapmaları minimize etmek olan işgücü çizelgeleme karar problemi modeli en ideal çözüme ulaşabilmek için modelde $\rho = \beta = 0, \delta = 0,5$ beyazlaştırma faktörleri kullanılmıştır; yani $LP(0; 0; 0,5)$ modeli kurulmuştur. Böylece $\min \underline{S}$ 'ye, yani minimizasyon amacı taşıyan doğrusal programlama modeli çözümünün en ideal durumuna ulaşılabacaktır.

Model Excel Solver üzerinde 27 iterasyonda çözdürülmüştür. Çözümün sonucunda haftalık vardiya bütçesinden 1727,44 TL kullanılmış, hedeften istenmeyen pozitif sapma yaşanmamıştır. Çözüm sonucuna göre yapılan işgücü çizelgeleme ile 622 adet enjektör ürünü üretilecektir. Kurulmuş olan $LP(0; 0; 0,5)$ gri doğrusal programlama modelinin çözümünden elde edilen çözüm değeri $\min S(0; 0; 0,5) = 16$ 'dır. Bu durumda haftalık üretim miktarı hedefinden 16 adetlik sapma görülmektedir. İdeal modele göre ulaşılan çizelge Tablo 15'te görülmektedir.

• **Kritik Modele Göre İşgücü Çizelgeleme Karar Probleminin Çözümü:**

Model için olumsuz bir durumu ifade eden kişilerin üretim miktarlarının düşük olması durumunun kritik modele yansıtılabilmesi amacıyla beyazlaştırma faktörü $p=1$ olarak seçilmektedir.

Haftalık vardiya bütçesi azaldıkça bu durum modele olumsuz olarak yansiyacağından ilgili parametrenin beyazlaştırılmasında beyazlaştırma faktörü $\beta=1$ olarak biçimde tercih edilmektedir.

Modelde kullanılan ağırlık değişkenlerinin alt ve üst sınırlarının modelin ideal ya da kritik olmasına bir katkısı yoktur. Bu sebeple ideal ve kritik modelin çözümünde amaç fonksiyonunda bulunan ağırlık değişkenlerinin beyazlaştırılmasında $\delta = 0,5$ olarak seçilmiştir.

Sonuç olarak amacı hedeften sapmaları minimize etmek olan işgücü çizelgeleme karar problemi modeli kritik çözüme ulaşabilmek amacıyla modelde $\rho = \beta = 1, \delta = 0,5$ beyazlaştırma faktörleri kullanılmıştır ve $LP(1; 1; 0,5)$ modeli kurulmuştur. Böylece $\min \bar{S}$ 'ye, yani minimizasyon amacı taşıyan doğrusal programlama modeli çözümünün kritik durumuna ulaşılabacaktır.

Model Excel Solver üzerinde 41 iterasyonda çözdürülmüştür. Çözümün sonucunda haftalık vardiya bütçesinden 1457,88 TL kullanılmış, hedeften istenmeyen pozitif sapma yaşanmamıştır. Çözüm sonucuna göre yapılan işgücü çizelgeleme ile 4156 adet enjektör ürünü üretilecektir. Kurulmuş olan $LP(1; 1; 0,5)$ gri doğrusal programlama modelinin çözümünden elde edilen çözüm değeri $\min S(1; 1; 0,5) = 165$ 'tir. Bu durumda haftalık üretim miktarı hedefinden 165 adetlik sapma görülmektedir. Kritik modele göre ulaşılan çizelge Tablo 16'da gösterilmektedir.

• **θ Konumlandırılmış Modele Göre İşgücü Çizelgeleme Karar Probleminin**

Cözümü: Konumlandırılmış modelde beyazlaştırma faktörleri $\rho = \beta = \delta = \theta$ biçiminde kullanılır. yani $LP(\theta)$ modeli kurulmaktadır. Buna göre sırasıyla 0,5; 0,75 ve 0,25 için konumlandırılmış gri doğrusal programlama modeli çözülüp tatmin dereceleri hesaplanacaktır.

➤ $\theta=0,5$ için konumlandırılmış model: Modelde $\rho = \beta = \delta = 0,5$ beyazlaştırma faktörleri kullanılmıştır, yani $LP(0,5)$ konumlandırılmış modeli kurulmuştur.

Model Excel Solver üzerinde 20 iterasyonda çözdürülmüştür. Çözümün sonucunda haftalık vardiya bütçesinden 1619,68 TL kullanılmış, haftalık vardiya bütçesi hedefinden istenmeyen pozitif sapma yaşanmamıştır. Çözüm sonucuna göre yapılan işgücü çizelgeleme ile 518 adet enjektör ürünü üretilecektir. Bu durumda haftalık üretim miktarı hedefinden 91 adetlik sapma görülmektedir. Kurulmuş olan $LP(0,5)$ gri doğrusal programlama modelinin çözümünden elde edilen çözüm değeri $\min S(0,5) = 91$ 'dir $\rho, \beta, \delta \in [0,1]$ olmak üzere $LP(0,5)$ modeli için konumlandırılmış gri doğrusal programlamanın tatmin derecesi aşağıdaki biçimde hesaplanmaktadır.

$$\mu(\rho, \beta, \delta) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{16}{91}\right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{91}{165}\right) = 0,6363$$

$\theta=0,5$ konumlandırılmış modele göre ulaşılan çizelge Tablo 17'de gösterilmektedir.

➤ $\theta=0,75$ için konumlandırılmış model: Modelde $\rho = \beta = \delta = 0,75$ beyazlaştırma faktörleri kullanılmıştır, yani $LP(0,75)$ konumlandırılmış modeli oluşturulmuştur.

Model Excel Solver üzerinde 14 iterasyonda çözdürülmüştür. Çözümün sonucunda haftalık vardiya bütçesinden 1560 TL kullanılmış, haftalık vardiya bütçesi hedefinden istenmeyen pozitif sapma olmamıştır. Çözüm sonucuna göre yapılan işgücü çizelgeleme ile 467 adet enjektör ürünü üretilecektir. Bu durumda haftalık üretim miktarı hedefinden 127 adetlik sapma görülmektedir. Kurulmuş olan $LP(0,75)$ gri doğrusal programlama modelinin çözümünden elde edilen çözüm değeri $\min S(0,75) = 127$ 'dir.

$\rho, \beta, \delta \in [0,1]$ olmak üzere $LP(0,5)$ modeli için konumlandırılmış gri doğrusal

programlamanın tatmin derecesi aşağıdaki biçimde hesaplanmıştır.

$$\mu(\rho, \beta, \delta) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{16}{127} \right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{127}{165} \right) = 0,7375$$

$\theta=0,75$ konumlandırılmış modele göre ulaşılan çizelge Tablo 18'de gösterilmektedir.

➤ $\theta=0,25$ için konumlandırılmış model: Modelde $\rho = \beta = \delta = 0,25$ beyazlaştırma faktörlerini kullanılmıştır, yani $LP(0,25)$ konumlandırılmış modeli kurulmuştur.

Model Excel Solver üzerinde 14 iterasyonda çözdürülmüştür. Çözümün sonucunda haftalık vardiya bütçesinden 1684,24 TL kullanılmış, haftalık vardiya bütçesi hedefinden istenmeyen pozitif sapma yaşanmamıştır. Çözüm sonucuna göre yapılan işgücü çizelgeleme ile 570 adet enjektör ürünü üretilecektir. Bu durumda haftalık üretim miktarı hedefinden 53 adetlik sapma görülmektedir. Kurulmuş olan $LP(0,25)$ gri doğrusal programlama modelinin çözümünden elde edilen çözüm değeri $\min S(0,25) = 53$ 'tür.

$\rho, \beta, \delta \in [0,1]$ olmak üzere $LP(0,25)$ modeli için konumlandırılmış gri doğrusal programlamanın tatmin derecesi aşağıdaki biçimde hesaplanmaktadır.

$$\mu(\rho, \beta, \delta) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{16}{53} \right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{53}{164} \right) = 0,687$$

$\theta=0,75$ konumlandırılmış modele göre ulaşılan çizelge Tablo 19'da gösterilmektedir.

Tablo 15: İdeal Çözüme Göre İşgücü Çizelgesi

	PAZARTESİ		SALI		ÇARŞAMBA		PERŞEMBE		CUMA		CUMARTESİ	
	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	3. VARDIYA	4. VARDIYA
1. PERSONEL												
2. PERSONEL												
3. PERSONEL												
4. PERSONEL												
5. PERSONEL												
6. PERSONEL												
7. PERSONEL												
8. PERSONEL												
9. PERSONEL												
10. PERSONEL												
11. PERSONEL												

Tablo 16: Kritik Çözüme Göre İşgücü Çizelgesi

	PAZARTESİ		SALI		ÇARŞAMBA		PERŞEMBE		CUMA		CUMARTESİ	
	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	3. VARDIYA	4. VARDIYA
1. PERSONEL												
2. PERSONEL												
3. PERSONEL												
4. PERSONEL												
5. PERSONEL												
6. PERSONEL												
7. PERSONEL												
8. PERSONEL												
9. PERSONEL												
10. PERSONEL												
11. PERSONEL												

Tablo 17: $LP(0,50)$ Konumlandırılmış Çözüme Göre İşgücü Çizelgelemesi

	PAZARTESİ		SALI		ÇARŞAMBA		PERŞEMBE		CUMA		CUMARTESİ	
	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	3. VARDIYA	4. VARDIYA
1. PERSONEL												
2. PERSONEL												
3. PERSONEL												
4. PERSONEL												
5. PERSONEL												
6. PERSONEL												
7. PERSONEL												
8. PERSONEL												
9. PERSONEL												
10. PERSONEL												
11. PERSONEL												

Tablo 18: $LP(0,75)$ Konumlandırılmış Çözüme Göre İşgücü Çizelgelemesi

	PAZARTESİ		SALI		ÇARŞAMBA		PERŞEMBE		CUMA		CUMARTESİ	
	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	3. VARDIYA	4. VARDIYA
1. PERSONEL												
2. PERSONEL												
3. PERSONEL												
4. PERSONEL												
5. PERSONEL												
6. PERSONEL												
7. PERSONEL												
8. PERSONEL												
9. PERSONEL												
10. PERSONEL												
11. PERSONEL												

Tablo 19: $LP(0,25)$ Konumlandırılmış Çözüme Göre İşgücü Çizelgesi

	PAZARTESİ		SALI		ÇARŞAMBA		PERŞEMBE		CUMA		CUMARTESİ	
	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	1. VARDIYA	2. VARDIYA	3. VARDIYA	4. VARDIYA
1. PERSONEL												
2. PERSONEL												
3. PERSONEL												
4. PERSONEL												
5. PERSONEL												
6. PERSONEL												
7. PERSONEL												
8. PERSONEL												
9. PERSONEL												
10. PERSONEL												
11. PERSONEL												

Literatürde konumlandırılmış modelin iyileştirilmesi amacıyla beyazlaştırma faktörünün seçimine ilişkin tanımlanmış bir sistematik bulunmamaktadır. Bu sebeple yöntemde seçilen beyazlaştırma faktörleri sezgiseldir. Nihayetinde ele alınan karar problemi için 5 farklı konumlandırılmış model oluşturularak çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin çözümünden elde edilen sonuçlar Tablo 20’de özetlenmektedir:

Tablo 20: Uygulama Modelleri Karşılaştırmalı Sonuç Tablosu

Model	d_1^- Üretim Kısıtından Negatif Sapma	d_2^+ Bütçe Kısıtından Pozitif sapma	b_1 Üretim Kısıtının Sağ Taraflı	b_2 Bütçe Kısıtının Sağ Taraflı	Üretim Adeti	Kullanılan Bütçe	Tatmin Düzeyi
İdeal	16	0	638	1750	622	1727,44	-
Kritik	165	0	580	1500	415	1457,88	-
$LP(0,50)$	91	0	609	1625	518	1619,68	0,6363
$LP(0,75)$	127	0	594	1562,5	467	1560	0,7375
$LP(0,25)$	53	0	623	1687,5	570	1684,24	0,687

Literatürde minimizasyon amacı taşıyan konumlandırılmış gri doğrusal programlama çalışması bulunmamaktadır. Liu ve Dang 2009 yılındaki çalışmalarında maksimizasyon amacı taşıyan karar modelleri için $\mu(\theta)$ değeri yükseldikçe ideal değere yaklaştığı ve tatmin ediciliğinin arttığını açıklamaktadır. (Liu ve Dang, 2009: 755) Bu durumun minimizasyon amaçlı fonksiyonlarda tersi olması beklenmektedir. Minimizasyon amaçlı fonksiyonlarda en ideal çözüm en düşük sonucu veren çözümdür. Buna göre Liu ve Dang’ın yapmış oldukları açıklamaya göre ele alınmış karar problemi için Tablo 20’de görüldüğü üzere en düşük $\mu(\theta)$ değerine sahip $LP(0,5)$ ’in en tatmin edici konumlandırılmış model olduğu sonucuna varılmaktadır. Zaten Liu ve Lin çalışmalarında dağılım fonksiyonu bilinmeyen durumlarda kullanılması en uygun beyazlaştırmanın eşit ağırlıklı beyazlaştırma olduğundan bahsetmektedir. Yine aynı çalışmada gri sistem teorisinde beyazlaştırma amacıyla en sık kullanılan beyazlaştırma

faktörünün 0,5; yani eşit ağırlıklı beyazlaştırma olduğu bilgisi bulunmaktadır. (Liu ve Lin, 2006: 25) Bu yönüyle uygulamadan elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla tutarlılık taşımaktadır.

Yapılan analizler sonucunda farklı konumlandırılmış modellere göre personele yazılacak akşam vardiyası sayılarında da farklılık olduğu görülmüştür. Bu durum Tablo 21'de özetlenmektedir:

Tablo 21: Modellere Göre Personele Yazılan Akşam Vardiyası Sayıları

i. PERSONEL											
Model	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
İdeal	2	3	3	1	3	2	1	3	3	3	1
Kritik	2	3	1	1	3	1	1	3	3	3	1
LP(0,50)	2	3	3	1	3	1	1	3	2	3	1
LP(0,75)	2	3	2	1	3	1	1	3	3	3	1
LP(0,25)	2	3	3	1	3	2	1	3	2	3	1

Aynı şekilde farklı konumlandırılmış modellere göre her gün akşam vardiyasında çalışacak personel sayısında da farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum Tablo 22'de gösterilmektedir:

Tablo 22: Günlere Göre Akşam Vardiyasında Görevli Personel Sayıları

J. Gün					
Model	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
İdeal	7	3	6	2	7
Kritik	6	2	5	2	7
LP(0,50)	7	2	6	2	6
LP(0,75)	6	2	6	2	7
LP(0,25)	6	2	8	2	6

SONUÇ

İşletmelerin etkileşim halinde faaliyet gösterdiği iç ve dış çevre şartları karar süreçlerinde karmaşık ve sübjektif yöntemlerle isabetli çözümler üretilmesini zor hale getirmektedir. Bu durumda işletmelerin karşısına karar verme kavramı çıkmaktadır. Karar verme, yönetsel faaliyetlerin temel ögesidir ve en kısa tanımıyla alternatifler arasından seçim yapma işi olarak tanımlanmaktadır. Karar verme kavramı; çözülecek sorun, karar verici ve karar alternatifleri olmak üzere üç unsurdan oluşmaktadır. Günümüzde işletmelerin tespit ettikleri sorunların çözümünde analitik yöntemler izlemeleri onlara rekabet avantajı sağlamaktadır. Sezgisel kararların başarı şansı düşüktür. Deneme yanılma yoluyla karar vermek ise maliyetli bir yöntemdir. Bu nedenle karar verme kavramının normatif yaklaşımla ele alınarak incelenmesi ve karar vermede araştırma ve analiz yolunun tercih edilmesi gerekmektedir.

Karar verme kolay görünen, fakat oldukça karmaşık bir süreçtir. İşletmelerin karşı karşıya oldukları yoğun rekabet koşulları, işletmelerin faaliyet gösterdikleri çevrede başarılı olabilmeleri için daha etkin kararlar almalarını zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple işletmeler sürekli olarak çeşitli hedeflere ulaşmak için karar problemlerinin tespiti ile başlayan karar verme sürecinin içine girmektedirler.

İşletmelerin verecekleri kararın isabet derecesini etkileyen etmenlerin başında karar ortamları gelmektedir. Karar problemlerinin ortaya çıktıkları dış çevre faktörleri her zaman aynı özellikleri taşımamaktadırlar. Bu sebeple karar vericinin hangi ortamda karar vermesi gerektiğini iyi analiz etmesi gerekmektedir. Karar vericiler çoğunlukla içinde buldukları sistemin özelliklerini saptayacak ve buna göre öngörülerde bulunacak yeterli nicel ve nitel bilgiye sahip değildirlere. Yani işletmeler çoğunluklu belirsizlik altında, nadiren de belirlilik durumunda karar süreçlerini gerçekleştirmektedirler. Bu durum da belirsiz ortamda karar vermeyi modellemekte kullanılan yöntemleri ön plana çıkarmaktadır.

Karar vericilerin karar süreçlerinin sonucunda isabetli kararlar alabilmelerinde etkili bir diğer faktör ise ele alınan karar probleminin türüdür. Karar problemlerinin doğası gereği her karar verme türünün çözümü birbirinden farklılık göstermektedir. Karar probleminin nasıl çözüleceğinin tespit edilebilmesi adına çözülmeye çalışılan

karar probleminin “seçim, sınıflama, sıralama ve tanımlama” problem türlerinden hangisine ait olduğunun saptaması gerekmektedir.

Karar verme problemlerinde tek bir kriter göz önüne alınarak çözüme ulaşılmaya çalışıldığında ortaya çıkan karar son derece sezgiseldir. Bunun yanı sıra genellikle günümüzde karar problemlerini tek bir amaca ya da kritere bağlı kalarak çözmek mümkün olmamaktadır. Olaylar çok boyutlu ve karmaşıktır. Bu durumda karar problemlerinin tek bir kriterin ölçücülüğü ile değerlendirilmesi hatalı olmaktadır. Bu tür durumlarda karar problemlerini ele alırken bir takım kriterlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan yöntemlere çok kriterli karar verme yöntemleri adı verilmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri; çok nitelikli karar verme yöntemleri ve çok amaçlı karar verme yöntemleri olmak üzere iki başlık altında incelenmektedirler. Bu yöntemlerin ilkinde ele alınan karar problemlerinin değerlendirilmesinde karar alternatifleri üzerinde ölçücülüğü bulunan birden fazla nitelik bulunmaktadır. Bu nitelikler kullanılarak karar alternatifleri arasından seçim yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Nitelikler karar alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılan ölçütlerdir. Yöntemlerden ikincisinde ise birden fazla amaç yer almaktadır. Karşılaşılan pek çok karar probleminde birden fazla ve muhtemelen birbirleri ile çelişmekte olan amaçlar bulunmaktadır. Karar vericinin incelemekte olduğu karar probleminin bunlardan hangisine ait olduğunu saptayarak uygun yöntemi belirlemesi gerekmektedir.

Hedef programlama bir çok amaçlı karar verme yöntemidir. Hedef programlama yönteminde karar verici tarafından ulaşılmaması başarı olarak kabul edilen seviyeler hedef olarak tayin edilmektedir. Hedefler, amaçlardan farklıdır. Amaç ulaşılacak istenen genel bir ifade iken, hedef noktasal olarak saptanmıştır. Hedef programlamanın ilgilendiği karar problemlerinde karar vericinin ulaşmak istediği birden çok hedef bulunmaktadır. Yöntem, ulaşılacak istenen hedef değerlerini karar vericinin istekleri doğrultusunda bir araya getirerek maksimum tatmini sağlamayı amaçlamakta ve karar problemini sınırlayan kısıtlar çerçevesinde belirlenmiş hedeflerden sapmaları minimize edecek uzlaşıcı çözümler sunmaktadır.

İşletmeler belirsizliğin hakim olduğu bir ekosistem içerisinde yer almaktadır. İşletmelerin rutin faaliyetlerinde dahi belirsizlikler bulunmaktadır. Bunun yanı sıra geçmişte dair kayıtların yanlış ve eksik tutulmuş olması geçmişte de belirsizlikten

etkilemektedir. Buna göre belirsizliğin yalnızca geleceğe dair bir kavram olarak değerlendirilmemesi gerektiği; günümüzde ve geçmişte de belirsizliğin bulunduğu sonucu çıkarılabilmektedir.

Kararların belirsizlik ortamında verilmesinin çeşitli sebepleri bulunmaktadır. Bunlardan en sık karşılaşılan neden bilginin yetersizliği ve verilerin hatalı olması durumlarıdır. Karar vericinin karar süreçlerini modellerken bu durumları göz önünde bulundurarak karar problemini modellemesi gerekmektedir.

İşletmelerin belirsizlik altında karar verdiklerinin tespitinin ardından kararın hangi tür belirsizliğin etkisi altında olduğunun saptanması gerekmektedir. Karar verme yazınında en çok kullanılan üç belirsizlik türü; stokastik, bulanık ve gri belirsizliktir. Stokastik belirsizlik olasılık yasalarının var olduğu durumlarda kullanılan belirsizlik türüdür. Bulanık belirsizlik ise bilişsel öğelerle ilgilenmekte olan bir belirsizlik çeşididir. Gri belirsizlik ise eksik ve yetersiz bilgi sebebiyle belirsizlik ortamının oluştuğu durumlarda kullanılması uygun olan belirsizlik tipidir. Literatürde sıklıkla stokastik ve bulanık belirsizliğin modele yansıtıldığı çalışmalara rastlanmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılması için yeterli sayıda veriye ihtiyaç vardır. Oysa karar vericinin belirsiz ortamda karar vermesine sebep olan etkenlerden en sık karşılaşılanı bilginin yetersizliği durumudur. Az veri sayısı ile çalışılan karar problemlerinde karşılaşılan belirsizliğin stokastik belirsizlik ve bulanık belirsizlik vasıtasıyla işlenmesi zordur ya da mümkün değildir. Yapılan çalışmalarda çoğunlukla yeterli veri bulunmadığı halde karar probleminde kullanılan veri setinin olasılık dağılımının bulunmaya ya da üyelik fonksiyonunun saptanmaya çalışıldığı gözlemlenebilmektedir. Aslında bu tip durumlarda karar ortamının gri belirsizlik ortamı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Gri belirsizlik stokastik ve bulanık belirsizliğin modelleyemeyeceği kadar sınırlı sayıda verinin bulunduğu durumlarda karşılaşılan belirsizlik türünde başarılı sonuçlar vermektedir. Fakat literatürde nadiren gri sistem teorisi ile modellenmiş çalışmaya rastlanmaktadır.

Gri belirsizliği modellemede kullanılan yöntemler gri sistem teorisi altında incelenmektedir. Gri sistem teorisi stokastik ve bulanık belirsizliğin doğası gereği var olan dezavantajlarını dışlamaktadır. Gri sistem teorisi tecrübeye, olasılık dağılımına, üyelik fonksiyonuna gerek olmaksızın belirsizliği modelleyerek sınırlı bilgiyle çalışılması gereken durumlarda başarılı sonuçlar üretmektedir.

Gri sistem teorisinde üç tip bilgi bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla siyah, gri ve beyaz bilgidir. Salt bilgisizlik durumu “siyah” ile ifade edilirken, tam bilgi durumu ise “beyaz” ile ifade edilmektedir. Kısmi bilgi durumunda ise gri bilgiden bahsedilmektedir. Teoriye göre kararların önemli bir çoğunluğu gri bilginin bulunduğu ortamlarda verilmektedir. Gri sistem teorisinin temelini gri sayılar ve gri matematik oluşturmaktadır.

İşletmelerin çözmesi gereken karar problemlerinden biri de işgücü çizelgeleme karar problemleridir. İşletmeler belirli bir işi minimum işgücü kullanarak gerçekleştirmek istemektedirler. Bunu yaparken işletmeler aynı zamanda sınırlı maliyetle, belirli bir sürede, belirli sayıda üretim yapmak gibi çeşitli amaçlar taşımaktadırlar. Bu sebeple işgücü çizelgeleme karar problemleri çok amaçlı karar verme yöntemleri ile ele alınması gereken karar problemleridir.

İşgücü çizelgeleme karar problemlerinin modellenmesi ve çözümünde pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Fakat işgücü karar problemlerinin çok amaçlı yapısı gereği hedef programlama yöntemi literatürde işgücü çizelgeleme karar problemlerinin çözümünde sıklıkla başvurulan bir yöntemdir.

Bu çalışmanın uygulamasının yapıldığı işletmede prototip departmanında işgücü çizelgelemesi ele alınmıştır. Prototip departmanı seri üretim sürecine sokulması maliyetli olan ürünlerin tek seri olarak üretildiği, aynı işin yılda maksimum üç kez yapıldığı, çoğunlukla haftalık iş emirleri ile çalışan bir departmandır. Departmanın çalışma prensipleri gereği işgücü çizelgelemesi yapılırken sipariş adeti, akşam vardiyasına ayrılan bütçe ve çalışanların üretim performansları gri belirsizliğin etkisi altındadır. Bu değişkenlere ilişkin parametreler ancak gri aralıksal sayı olarak tanımlanabilmektedir.

Bu çalışmada gri belirsizliğin etkisi altındaki karar probleminin belirlenmesinde gri hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Literatürde özel olarak tanımlanmış bir gri hedef programlama yöntemi bulunmamaktadır. Bu sebeple hedef programlama yöntemi doğrusal programlamanın özel bir versiyonu olduğundan literatürde tanımlanmış olan Sifeng Liu'nun önerdiği “Gri Doğrusal Programlamanın Konumlandırılmış Çözümü” kullanılmıştır. Yönteme uygun olarak ikisi “ideal model” ve “kritik model” olarak adlandırılmak üzere toplam 5 adet model kurulmuş ve oluşturulan modeller Excel Solver yardımıyla çözülmüştür. Liu ve Dang'in 2009

yılındaki çalışmalarındaki açıklamalarına göre minimizasyon amacı taşıyan fonksiyonlar $\mu(\theta)$ değeri düşük olan konumlandırılmış modelin tatmin ediciliğinin daha yüksek olacağı görülmektedir. Buna göre $\mu(\theta)$ değerine göre tatmin ediciliği en düşük model $LP(0,75)$ iken, tatmin ediciliği en yüksek konumlandırılmış modelin $LP(0,50)$ olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çözüm sonucunda işletmenin $LP(0,50)$ konumlandırılmış modeli kullanması gerektiği görülmüştür.

Yapılan analizler incelendiğinde kurulmuş modellere göre personel başına yazılan akşam vardiyası sayısının ve günlere göre akşam vardiyasında çalışan personel sayısının farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Uygulamada çözülmüş olan karar problemi karar vericinin sezgisel olarak çözemeyeceği karmaşıklıktadır. Uygulama öncesinde yaşanan planlama sorunları önerilmiş olan yöntemle ortadan kaldırılmıştır. Yapılmış olan uygulama sektörde her hafta uygulanabilecek pratikliktedir.

Bundan sonraki çalışmalarda gri hedef programlarının diğer gri doğrusal programlama yöntemleri ile modellenmesi incelenebilir. Aynı zamanda gri doğrusal programlamanın konumlandırılmış çözümünde genetik algoritma gibi yöntemler kullanılarak hangi konumlandırılmış modelin seçilmesi gerektiği konusuna katkı sağlanabilir. Yöntemde hesaplaması yapılan tatmin derecesi için alternatif fonksiyonlar çalışılabilir. İşgücü çizelgeleme karar problemlerinin eksik/yetersiz bilginin etkisi altında olması halinde farklı sektörlerde de gri hedef programlama kullanılabilir. Uygulamanın temelini oluşturan gri doğrusal programlamanın farklı doğrusal programlama tabanlı yöntemlerle birleştirilmesi sonucunda hibrit çalışmalar yapılabilir. Yöntem bulanık ve stokastik belirsizlik modellerinin sonuçları ile karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

KAYNAKÇA

Akdeniz, A. ve Aras, A. (2010). İzmir’de Kurulu Bir Plastik İşletmesinde Karar Vericinin Optimal Hedeflere Odaklanmasında Toplamsal Model Tabanlı Bulanık Hedef Programlama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 12(3): 7-19.

Alfares, H. K. (1999). Aircraft Maintenance Workforce Scheduling. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 5(2): 78-89.

Alfares, H. K. (2000). Dual Based Optimization of Cyclic Three-Day Workweek Scheduling. *Asia Pacific Journal of Operational Research*. 17: 137-148.

Alfares, H. K. (2004). Survey, Categorization, and Comparison of Recent Tour Scheduling Literature. *Annals of Operations Research*. 127: 145-175.

Aluja, J. G. (2004). *Fuzzy Sets in Management in Uncertainty*. New York: Springer.

Arakawa, M., Billaut, C., Coello, C. A. ve Ehrgot, M. (2003). *Multiple Criteria Optimization: State of The Art Annotated Bibliographic Surveys*. New York: Kluwer Academic Publishers.

Askari, M. ve Askari, H. (2011). Time Series Grey System Prediction-Based Models: Gold Price Forecasting. *Trends in Applied Sciences Research*. 6(11): 1287-1292.

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*. 20(1): 87-96.

Atmaca, Ü. (2002). Bankacılık Sisteminde Organizasyon Yapısındaki Değişim Ve Doğru Ölçeği Bulma. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 14: 91-103.

Atman, W. ve Macdonald, D. (2005). *Practical Process Control for Engineers and Technicians*. New York: Elsevier.

Aydemir, E., Bedir, F. ve Özdemir, G. (2013). Gri Sistem Teorisi ve Uygulamaları Bilimsel Yazın Taraması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 18(3): 187-200.

Aykin, T. (1996). Optimal Shift Scheduling with Multiple Break Windows. *Management Science*. 42(4): 580-605.

Aykin, T. (2000). A Comparative Evaluation of Modelling Approaches to The Labor Shift Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*. 125: 381-397.

Azaiez, M. N. ve Al Sharif, S. S. (2005). A 0-1 Goal Programming Model for Nurse Scheduling. *Computers & Operations Research*, 32(3): 491-507.

Bělohlávek, R., Dauben, J. W. ve Klir, G. J. (2017). *Fuzzy Logic and Mathematics: A Historical Perspective*. New York: Oxford University Press.

Balderas, F., Fernandez, E., Gomez-Santillan, C., Cruz-Reyes, L., Rangel-Valdez, N. ve Morales-Rodríguez, M. L. (2018). A Grey Mathematics Approach for Evolutionary Multi Objective Metaheuristic of Project Portfolio Selection. *Fuzzy Logic Augmentation of Neural and Optimization Algorithms: Theoretical Aspects and Real Applications*. 749: 379-388.

Bazaraa, M., Jarvis, J. J. ve Sherali, H. D. (2011). *Linear Programming and Network Flows*. New York: Wiley.

Beaumont, N. (1997). Scheduling Staff Using Mixed Integer Programming. *European Journal of Operational Research*. 98: 473-484.

Bechtold, S. E. ve Jacobs, L. W. (1990). Implicit Modeling of Flexible Break Assignments in Optimal Shift Scheduling. *Management Science*. 4(42): 589-602.

Bektur, G. ve Hasgöl, S. (2013). Kıdem Seviyelerine Göre İşgücü Çizelgeleme Problemi: Hizmet Sektöründe Bir Uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari ve Bilimler Fakültesi Dergisi*. 15: 385-402.

Belton, V. ve Steward, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Dordrecht: Kluwer Academic.

Ben-Tal, A. ve Nemirovski, A. (2000). Robust Solutions of Linear Programming Problems Contaminated with Uncertain Data. *Mathematical Programming*. 3(88): 411-424.

Bernroider, E. W. ve Mitlohner, J. (2005). Characteristics of The Multiple A Tribute Decision Making Methodology in Enterprise Resource Planning So Ware Decisions. *Communications of The IIMA*. 5(1): 49-58.

Buffa, F. P. ve Jackson, W. M. (1983). A Goal Programming Model for Purchase Planning. *Journal of Purchasing and Materials Management*. 12: 27-34.

Caballero, R., Ruiz, F., Uria, M. V. ve Sanchez Valverde, B. (2007). A Goal Programming Approach to Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows. *European Journal of Operational Research*. 177: 1720-1733.

Cabrera, I. P., Cordero, P. ve Aciego, M. O. (2009). *Fuzzy Logic, Soft Computing, and Applications*. Salamanca, International Work-Conference on Artificial Neural Networks.

Chakhar, S. ve Martel, J. M. (2006). Towards A Spatial Decision Support System: Multi-Criteria Evaluation Functions Inside Geographical Information Systems. *Hal Archives Ouvertes*. 27: 97-123.

Charnes, A. ve Cooper, W. W. (1961). *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. New York: John Wiley and Sons.

Charnes, A., Cooper, W. W. ve Ferguson, R. O. (1955). Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming. *Management Science*. 1(2): 138-151.

Chen, C. N. ve Ting, S. C. (2002). A Study Using The Grey System Theory to Evaluate The Importance of Various Service Quality Factors. *The International Journal of Quality and Reliability Management*. 6(19): 838-861.

Cheng, B. (1986). The Grey Control on Industrial Process. *Huangshi College Journal*. 1: 11-23.

Chu, S. C. (2007). Generating, Scheduling and Rostering of Shift Crew-Duties: Applications at The Hong Kong International Airport. *European Journal of Operational Research*, 177(3): 1764-1778.

Churchill, R. ve Whalen, T. (2012). Decisions Under Uncertainty. *Robinson College of Business Journal*. Cilt 5: 1 -11.

Cox, E. (1994). *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*. New York: Academic Press.

Çelikbilek, Y. (2018). A Grey Analytic Hierarchy Process Approach to Project Manager Selection. *Journal of Organizational Change Management*. 31(3): 749-765.

Dannenbring, D. ve Starr, M. (1981). *Management Science: An Introduction*. Tokyo: Mcgraw Hill.

Dantzig, G. B. (1954). A Comment on Edie's 'Traffic delays at Toll Booths. *Operation Research*. 3: 339-341.

Dantzig, G. B. (1948). Comptroller, United States Air Force. *Programming in A Linear Structure*. Comptroller, United States Air Force.

Deb, K. (1999). *Solving Goal Programming Problems Using Multi-Objective Genetic Algorithms*. Washington, Congress on Evolutionary Computation.

Demir, H. ve Gümüőođlu, Ő. (1988). *Yönetmel Karar Verme*. İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.

Deng, J. (1982). Control Problems of Grey Systems. *Systems and Control Letters*. 5: 288-294.

Deng, J. (1982). Grey Control System. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*. 3: 9-18.

Deng, J. (1984). *The Theory and Methods of Socio-Economic Grey Systems*. Beijing: Science Press.

Deng, J. (1986). *Grey Forecasting and Decision*. Vuhan: Huazhong University of Science and Technology Press.

Deng, J. (1988). *Grey System*. Beijing: China Ocean Press.

Deng, J. (1989). Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*. 1: 1-24.

Depotis, D. K. (1996). Fractional Minmax Goal Programming: A Unified Approach to Priority Estimation and Preference Analysis in MCDM. *Journal of The Operational Research Society*. 47: 989-999.

Dervitsiotis, K. (1981). *Operation Management*. Tokyo: Mc Grawhill Co.

Ding, T., Liang, L., Yang, M. ve Wu, H. (2016). Multiple Attribute Decision Making Based on Cross-Evaluation with Uncertain Decision Parameters. *Mathematical Problems in Engineering*. 43: 1-10.

Dooley, A. E., Sheath, G. W. ve Smeaton, D. (2005). *Multiple Criteria Decision Making: Method Selection and Application to Three Contrasting Agricultural Case Studies*. New Zealand, NZARES Conference.

Doumpos, M. ve Zopounidis, C. (2002). *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*. New York: Springer US.

Doğan, M. (1985). *İşletmede Karar Verme Teknikleri*. İzmir: Bilgehan Basımevi.

Edwards, W. (1954). *The Theory of Decision Making*. New York: Psychological Bulletin.

Ehrgott, M. ve Gandibleux, X. (2002). *Multiobjective Combinatorial Optimization, Theory, Methodology, and Applications - Multi-Criteria Optimization – State of The Art Annotated Bibliographic Surveys*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Ekel, Y. P. ve Palhares, R. M. (2008). Multicriteria Analysis in Decision Making Under Information Uncertainty. *Applied Mathematics and Computation*. 200: 501-5016.

Elishakoff, I. ve Colombi, P. (1993). Combination of Probabilistic and Convex Models of Uncertainty When Scarce Knowledge Is Present on Acoustic Excitation Parameters. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2(104): 187-209.

Emhan, A. (2007). Karar Verme Süreci ve Bu Süreçte Bilişim Sistemlerinin Kullanılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*. 6(21): 210-237.

Ernst, A., T. Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Owens, B. ve Sier, D. (2004). An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering. *Annals of Operational Research*. 4(127): 21- 144.

Evren, R. ve Ülegin, F. (1992). *Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme*. İstanbul: İtü Matbaası.

Flavell, R. B. (1976). *A New Goal Programming Formulation*. New York: Omega.

Fu, S., Chen, J., Zhou, H. ve Xiao, Y. (2014). Application of Multiple Attribute Decision Making Approaches with Interval Numbers in Fields of Investment Decision. *Information Technology Journal*. 13: 853-858.

Gökçen, H. (2007). *Yönetim Bilgi Sistemleri*. İstanbul: Palme Yayıncılık.

Gülenyüz, S. (2010). *Geri Dönüşüm Tesislerine Lisans Verme Probleminin Bulanık Anp ve Ahp Yöntemleri İle Değerlendirilmesi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güngör, İ. ve Küçükşille, E. U. (2005). Küme Bölme Problemlerinin Genetik Algoritmayla Optimizasyonu: Türkiye İkinci Futbol Ligi Uygulaması. *Review of Social, Economic & Business Studies*. 6: 381-394.

Gürdoğan, N. (1981). *Üretim Planlamasında Doğrusal Programlama ve Demir Çelik Endüstrisinde Bir Uygulama*. Ankara: Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları.

Girginer, N. ve Uçkun, N. (2015). Efficiency Analysis of Surgical Services by Combined Use of Data Envelopment Analysis and Gray Relational Analysis. *Journal of Medical Systems*. 56: 1-9.

Goodman, I. R. ve Nguyen, H. T. (1985). *Uncertainty Models for Knowledge-Based Systems*. Amsterdam: North-Holland.

Grigoriu, M. (2012). *Stochastic Systems Uncertainty Quantification and Propagation*. New York: Springer.

Hajiagha, S. H., Akrami, H. ve Hashemi, S. S. (2012). A Multi-Objective Programming Approach to Solve Grey Linear Programming. *Grey Systems: Theory and Application*. 2(2): 259-271.

Hajiagha, S. H., Mahdiraji, H. A. ve Hashemi, S. S. (2014). A Hybrid Model of Fuzzy Goal Programming and Grey Numbers in Continuous Project Time, Cost, and Quality Tradeoff. *Int J Adv Manuf Technol*. 71: 117-126.

Hammerbacher, I. M. ve Yager, R. R. (1981). The Personalization of Security Selection: An Application of Fuzzy Set Theory. *Fuzzy Sets and Systems*. 5: 1-9.

Hamzaçebi, C. ve Pekkaya, M. (2011). Determining of Stock Investments with Grey Relational Analysis. *Expert Systems with Applications*. 8(38): 9186-9195 .

Hansen, E. R. (1975). *A Generalized Interval Arithmetic*. New York: Springer.

Hansson, S. O. (2005). *Decision Theory A Brief Introduction*. Stockholm: Royal Institute of Technology.

Heizer, J. ve Render, B. (2006). *Principles of Operations Management (8th Edition)*. New Jersey: Pearson Education Inc.

Hemaida, R. ve Hupfer, M. (1995). A Multiobjective Model for Managing Faculty Resources. *Journal of Applied Business Research*. 11(1): 20-37.

Hollnagel, E. (2007). Decisions About What and Decisions About How. *Decision Making in Complex Environments*. London: Ashgate Publishing, 3-13.

Hsiao, S. W., Lin, H. H. ve Ko, Y. C. (2017). Application of Grey Relational Analysis to Decision-Making During Product Development. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 13: 2581–2600.

- Hsu, C. C. ve Chen, C. Y. (2003). Applications of Improved Grey Prediction Model for Power Demand Forecasting. *Energy Conversion and Management*. 44: 2241–2249.
- Huang, K. Y. ve Chen, J. J. (2009). A Hybrid Model for Stock Market Forecasting and Portfolio Selection Based on ARX, Grey System and RS Theories. *Expert Systems with Applications*. 36: 5387-5392.
- Huarng, F. (1999). A Primary Shift Rotation Nurse Scheduling Using Zero-One Linear Goal Programming. *Computers in nursing*, 17(3): 135-144.
- Hu, Y. C., Jiang, P. ve Lee, P. C. (2018). Forecasting Tourism Demand By Incorporating Neural Networks Into Grey–Markov Models. *Journal of The Operational Research Society*. 1: 1-9.
- Hwang, C. L. ve Masud, A. S. M. (1981). *Multi Objective Decision Making Methods and Application A State of Art Survey*. New York: Springer-Verlag.
- Hwang, C. L. ve Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. 186 . Verlang: Springer.
- Ignizio, J. (1976). *Goal Programming and Extensions*. Washington: Lexington Books.
- Ignizio, J. P. (1978). A Review of Goal Programming: A Tool for Multiobjective Analysis. *The Journal of The Operational Research Society*. 29: 1109-1119.
- Ishibuchi, H. ve Tanaka, H. (1990). Multiobjective Programming in Optimization of The Interval Objective Function. *European Journal of Operational Research*. 2(48): 219-225.
- Ishizaka, A. ve Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis Methods and Software*. New Delhi: John Wiley & Sons.

Iwuji, A. C. ve Agwu, E. U. (2017). A Weighted Goal Programming Model for The DASH Diet Problem: Comparison with The Linear Programming DASH Diet Model. *American Journal of Operations Research*. 7: 3017-322.

Jablonsky, J. (2001). Integer Goal Programming Applications Using Modelling Systems and Excel. *Multiple Objective and Goal Programming*. 12: 310-319.

Jayaraman, R., Colapinto, C., Torre, D. ve Malik, T. (2016). A Weighted Goal Programming Model for Planning Sustainable Development Applied to Gulf Cooperation Council Countries. *Applied Energy*. 65: 1-9.

Jensen, P. ve Jonathan, B. (2003). *Operations Research Models and Methods*. Australia: John Wiley & Sons Inc.

Jones, D. ve Tamiz, M. (2010). *Practical Goal Programming*. London: Springer Science+Business Media, LLC.

Köse, E. Temiz, İ. ve Erol, S. (2011). Grey System Approach for Economic Order Quantity Models Under Uncertainty. *The Journal of Grey System*. 1: 71-82.

Kaliszewski, I., Miroforidis, J. ve Podkopaev, D. (2016). *Multiple Criteria Decision Making by Multiobjective Optimization*. Berlin: Springer.

Karaman, B. ve Çerçioğlu, H. (2015). 0-1 Hedef Programlama Destekli Bütünleşik AHP-VIKOR Yöntemi: Hastane Yatırımı Projeleri Seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 3(4): 567-576.

Kayacan, E. ve Okyay, K. (2010). Grey System Theory-Based Models in Time Series Prediction. *Expert Systems with Applications*. 37: 1784-1789.

Klir, G. J. (1988). Where Do We Stand on Measures of Uncertainty, Ambiguity, Fuzziness, and The Like? *Fuzzy Sets and Systems*. 24: 141-160.

Klir, G. J. (2006). *Uncertainty and Information: Foundations of Generalized Information Theory*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Kolbin, V. (2003). *Decision Making and Programming*. Singapore: World Scientific.

Korhonen, P., Moskowitz, H. ve Wallenius, J. (1992). Multiple Criteria Decision Support-A Review. *European Journal of Operational Research*. 63(3): 361-375.

Kuruüzüm, A. (1998). *Karar Destek Sistemlerinde Çok Amaçlı Yöntemler*. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Basımevi.

Kwak, N. K. ve Schniederjans, M. J. (1982). An Alternative Method for Solving Goal Programming Problems: A Reply. *The Journal of The Operational Research Society*. 33: 859-860.

Kyngäs, N. R., Nurmi, K. J. ve Kyngäs, J. R. (2013). *The Workforce Scheduling Process Using The PEAST Algorithm*. Hong Kong, Proceedings of The International Multiconference of Engineers and Computer Scientists.

Lee, J. W. ve Kim, S. H. (2000). Using Analytic Network Process and Goal Programming for Interdependent Information System Project Selection. *Computers and Operations Research*. 4(27): 367-382.

Leung, L. C., Cao, D. ve Lin, T. W. (2000). on Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP, European. *Journal of Operational Research*. 23: 102-124.

Lin, Y., Chen, M. Y. ve Liu, S. (2004). Theory of Grey Systems: Capturing Uncertainties of Grey Information. *Grey Systems Theory and Applications*. 2(33): 196-218.

Lin, Y. H., Lee, P. C. ve Ting, H. I. (2008). Dynamic Multi-Attribute Decision Making Model with Grey Number Evaluations. *Expert Systems with Applications*. 35: 1638–1644.

Lin, Y. H., Wang, J. S. ve Pai, P. F. (2004). A Grey Prediction Model with Factor Analysis Technique. *Journal of The Chinese Institute of Industrial Engineers*. 6(21): 535-542.

Li, Q. X. (2007). The Cover Solution of Grey Linear Programming. *The Journal of Grey System*. 4: 309-320.

Liu, H. C., Liu, L., Bian, Q. H., Lin, Q. L., Dong, N. ve Xu, P. C. (2011). Failure Mode and Effect Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning Approach and Grey Theory. *Expert Systems with Applications*. 38: 4403-4415.

Liu, S. ve Dang, Y. (2009). On Positioned Solution of Linear Programming with Grey Parameters. *Proceedings of The 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 751-756.

Liu, S., Fang, Z., Yang, Y. ve Forrest, J. (2012). General Grey Numbers and Its Operations. *General Grey Numbers and Their Operations*, 2(3): 341-349.

Liu, S., Forest, J. ve Yingjie, Y. (2012). A Brief Introduction to Grey Systems Theory. *Grey Systems: Theory and Application*, 2(2): 89-104.

Liu, S. ve Forrest, J. (2007). The Current Developing Status on Grey System Theory. *The Journal of Grey System*. 2: 111-123.

Liu, S., Forrest, J. ve Yang, Y. (2013). Advances in Grey Systems Research. *The Journal of Grey System*. 2(25): 1-18.

Liu, S. ve Lin, Y. (2006). *Grey Information Theory and Practical Applications*. New York: Springer.

Liu, S. ve Lin, Y. (2010). *Grey Systems Theory and Applications*. Berlin: Springer.

Liu, S., Rui, H., Fang, Z., Yang, Y. ve Forrest, J. (2016). Explanation of Terms of Grey Numbers and Its Operations. *Grey Systems: Theory and Application*. 2(6): 436-441.

Liu, S., Yang, Y. ve Forrest, J. (2017). *Grey Data Analysis: Methods and Applications*. New York: Springer.

Liu, S., Yang, Y., Forrest, J. ve Rui, H. (2016). Explanation of Terms of Concepts and Fundamental Principles of Grey Systems. *Grey Systems: Theory and Application*. 3(6): 429-435.

Liu, S., Yang, Y., Xie, N. ve Forrest, J. (2016). New Progress of Grey System Theory in The New Millennium. *Grey Systems: Theory and Application*. 1(6): 2-31.

Lodree, E. J., Geiger, C. ve Jiang, X. (2009). Taxonomy for Integrating Scheduling Theory and Human Factors: Review and Research Opportunities. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 39: 39-51.

Lue, J., Zhang, G., Ruan, D. ve Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision-Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques*. London: Imperial College Press.

Mahdiraji, H. A., Hajiagha, S. H., Hashemi, S. S. ve Zavadskas, E. K. (2016). A Grey Multi-Objective Linear Model to Find Critical Path of A Project by Using Time, Cost, Quality and Risk Parameters. *Business Administration and Management*. 14: 49-60.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multi Criteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Mathirajan, M. ve Ramanathan, R. (2007). A (0–1) Goal Programming Model for Scheduling The Tour of A Marketing Executive. *European journal of operational research*, 179(2): 554-566.

Matousek, J. ve Gartner, B. (2000). *Understanding and Using Linear Programming*. Berlin: Springer.

Mcneill, M. ve Thro, E. (1994). *Fuzzy Logic A Practical Approach*. London: Academic Press.

Medoza, A., Santioga, E. ve Ravindran, A. R. (2008). Three-Phase Multicriteria Method to The Supplier Selection Problem. *International Journal of Industrial Engineering*. 2(15): 195-210.

Memon, M. S., Lee, Y. H., Mari, S. I. ve Cho, S. Y. (2014). *A Grey-Goal Programming Based Approach for Managing Product Safety Risk in Supplier Selection Decision*. Taipei, International Symposium on Semiconductor Manufacturing Intelligence.

Min, H. ve Storbeck, J. (1991). on The Origin and Persistence of Misconceptions in Goal Programming. *Journal of The Operational Research Society*. 42: 301-312.

Molodtsov, D. (1999). Soft Set Theory—First Results. *Computers & Mathematics with Applications*. 4(37): 19-31.

Moore, R. E. (1979). *Methods and Applications of Interval Analysis*. New York: SIAM.

Moore, R. E., Kearfott, R. B. ve Cloud, M. J. (2009). *Introduction to Interval Analysis*. Philadelphia: SIAM Press.

Morris, J. G. ve Showalter, M. J. (1983). Simple Approaches to Shift. Days-Off and Tour Scheduling Problems. *Management Science*. 29: 942-950.

Mucuk, İ. (2005). *Modern İşletmecilik*. İstanbul: Türkmen Kitapevi.

Mujumdar, P. ve Karmakar, S. (2008). *Grey Fuzzy Multi-Objective Optimization Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*. New York: Springer.

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

Neelavathi, N. R. (2015). Research on Lexicographic Linear Goal Programming Problem Based on LINGO and Column-Dropping Rule. *International Journal of Recent Research in Mathematics Computer Science and Information Technology*. 2(1): 314-327.

Novak, V., Perfilieva, I. ve Mockor, J. (2000). *Mathematical Principles of Fuzzy Logic*. New York: Kluwer.

Orumie, U. C. ve Ebong, D. (2014). A Glorious Literature on Linear Goal Programming Algorithms. *American Journal of Operations Research*. March, 4(1): 59-71.

Orumie, U. C. ve Ebong, D. W. (2014). An Efficient Method of Solving Lexicographic Linear Goal Programming Problem U.C.ORUMIE. *Journal of Natural Sciences Research*. 4(20): 34-40.

Özkan, M. M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama*. Bursa: Ekin Kitabevi.

Özdemir, A. ve Gümüsoğlu, Ş. (2007). İşletmelerin Tahminleme Sorunlarının Çözümlemesinde Markov Zincirlerinin Analizinin Uygulanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 9(1): 337-359.

Özdemir, A. İ. ve Deste, M. (2009). Gri İlişkisel Analiz ile Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*. 38(2): 147-156.

Özdemir, A. (2010). *Yönetim Biliminde İleri Araştırma Yöntemleri*. İstanbul: Beta Yayıncılık.

Özdemir, A. ve Özdağoğlu, G. (2017). Predicting Product Demand from Small-Sized Data: Grey Models. *Grey Systems: Theory and Application*. 7(1): 80-96.

Paksoy, T. ve Atak, M. (2003). Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama İle Bütünleşik Üretim Planlama. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2(15): 457-466.

Paksoy, T. ve Chang, C. (2010). Revised Multi-Choice Goal Programming for Multi-Period, Multi-Stage Inventory Controlled Supply Chain Model with Popup Stores in Guerrilla Marketing. *Applied Mathematical Modelling*. 11(34): 3586-3598.

Palacin, D. P. ve Mirandola, R. (2014). *Uncertainties in The Modeling of Self-Adaptive Systems: A Taxonomy and An Example of Availability Evaluation*. Dublin, Proceedings of The 5th ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering.

Papageorgiou, E. I. ve Salmeron, J. L. (2012). Learning Fuzzy Grey Cognitive Maps Using Nonlinear Hebbian-Based Approach. *International Journal of Approximate Reasoning*, 53: 54-65.

Pawlak, Z. (1985). Rough Sets and Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(17): 99-102.

Pedrycz, W., Ekel, P. ve Parreiras, R. (2011). *Fuzzy Multicriteria Decision Making Models, Methods and Applications*. 1 . New Delhi: John Wiley & Sons, Ltd.

Rahimnia, F. ve Mashreghi, E. (2011). Application of Grey Theory Approach to Evaluation of Organizational Vision. *Grey Systems: Theory and Application*. 1(1): 33-46.

Rajesh, R. ve Ravi, V. (2015). Supplier Selection in Resilient Supply Chains: A Grey Relational Analysis Approach. *Journal of Cleaner Production*. 86: 343-359.

Rao, V. (2007). *Decision Making in The Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*. London: Springer Science+Business Media.

Rifai, A. K. (1996). A Note on The Structure of The Goal-Programming Model: Assessment and Evaluation. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(1): 40-49.

Roijers, D. M. ve Whiteson, S. (2017). *Multi-Objective Decision Making*. Texas: Morgan and Claypool Publishers.

Romero, C. (1991). *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. New York: Pergamon Press.

Roy, B. (1981). The Optimisation Problem Formulation: Criticism and Overstepping. *Journal of The Operational Research Society*. 427-436.

Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Sadeghieh, A., Dehghanbaghi, M., Dabbaghi A. ve Barak , S. (2012). A Genetic Algorithm Based Grey Goal Programming (G3) Approach for Parts Supplier Evaluation and Selection. *International Journal of Production Research*. 50: 4612-4630.

Sadeghi, M., Hajiagha, S. H. ve Hashemi, S. S. (2013). A Fuzzy Grey Goal Programming Approach for Aggregate Production Planning Mohammadreza. *Int J Adv Manuf Technol*, 64: 1715–1727.

Sadjadi, S. J., Habibian, M. ve Khaledi, V. (2008). A Multi-Objective Decision Making Approach for Solving Quadratic Multiple Response Surface Problems. *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, 32: 1595-1606.

Salmeron, J. L. (2010). Modelling Grey Uncertainty With Fuzzy Grey Cognitive Maps. *Expert Systems With Applications*. 37: 7581–7588.

Schniederjans, M. J. (1995). *Goal Programming: Methodology and Applications*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.

Seçkiner, S. U., Gökçen, H. ve Kurt, M. (2007). An Integer Programming Model for Hierarchical Workforce Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*. 183: 694-699.

Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. New Jersey: Princeton University Press.

Sharma, D., Benton, W. C. ve Srivastava, R. (1989). *Competitive Strategy and Purchasing Decisions*. Atlanta, Proceedings of The 1989 Annual Conference of The Decision Sciences Institute.

Shuai, J. J. ve Wu, W. W. (2011). Evaluating The Influence of E-Marketing on Hotel Performance By DEA and Grey Entropy. *Expert Systems With Applications*. 38: 8763–8769.

Simon, H. A. (1955). *Models of Man*. 1 . New York: J.Wiley & Sons.

Sinha, B. ve Sen, N. (2011). Goal Programming Approach to Tea İndustry of Barak Valley of Assam. *Applied Mathematical Sciences*. 5(29): 1409-1419.

Sousa, J. ve Kaymak, U. (2002). *Fuzzy Decision Making Modeling and Control*. London: World Scientific Publishing.

Spronk, J. (1984). *Interactive Multiple Goal Programming*. Boston: Martinus Nijhoff Publishing.

Stevenson, W. (1993). *Production/Operations Management*. New York: Irwin Inc.

Şen, Z. (2004). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

Türk Dil Kurumu, (2018). *Güncel Türkçe Sözlük*. [Http://Www.Tdk.Gov.Tr/Index.Php?Option=Com_Gts&Arama=Gts&Guid=TDK.GTS.5a6c98d911aee1.12838172](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=tdk.gts.5a6c98d911aee1.12838172) (27.01.2018)

Türk Dil Kurumu, (2018). *Güncel Türkçe Sözlük*. [Http://Www.Tdk.Gov.Tr/Index.Php?Arama=Gts&Option=Com_Gts&Kelime=Belli-Belirsizlik](http://www.tdk.gov.tr/index.php?arama=gts&option=com_gts&kelime=belli-belirsizlik) (08.05.2018)

Tütek, H. Şevkinaz, G. ve Özdemir, A. (2016). *Sayısal Yöntemler Yönetmelik Yaklaşım*. İstanbul: Beta Yayıncılık.

Tamiz, M. ve Jones, D. F. (2002). Goal Programming in The Period 1990-2000. *Multiple Criteria Optimization: State of The Art Annotated Bibliographic Surveys (ss. 129-170)*. New York: Kluwer.

Tamiz, M., Jones, D. F. ve El-Darzin, E. (1995). A Review of Goal Programming and Its Applications. *Annals of Operation Research*. 58: 39-53.

Tamiz, M., Jones, D. F. ve Romero, C. (1998). Goal Programming for Decision Making: An Overview of The Current State-Of-The-Art. *European Journal of Operational Research*. 111: 569-581.

Thompson, G. (1998). Labor Scheduling, Part 1: Forecasting Demand. *Ornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. 5(39): 22-31.

Thompson, G. M. (1996). Optimal Scheduling of Shifts and Breaks Using Employees Having Limited Time-Availability. *International Journal of Service Industry Management*. 1(7): 52-63.

Thompson, G. M. (1998). Labor Scheduling, Part 2 Knowing How Many On-Duty Employees to Schedule. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. 6(39): 26-37.

Thompson, G. M. (1999). Labor Scheduling Part 4 Controlling Workforce Schedules in Real Time. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. 3(40): 85-96.

Thompson, G. M. (1999). Labor Scheduling, Part 3: Developing A Workforce Schedule. *The Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. 1(40): 86-96.

Thompson, G. M. (2004). Planning-Interval Duration in Labor-Shift Scheduling. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*. 45: 145-157.

Timor, M. (2011). *Analitik Hiyerarşi Prosesi*. İstanbul: Türkmen Kitapevi.

Topaloğlu, S. ve Özkarahan, I. (2004). An İmplicit Goal Programming Model for The Tour Scheduling Problem Considering The Employee Work Preferences. *Annals of Operations Research*. 128: 135-158.

Topaloğlu, S. (2006). A Multi-Objective Programming Model For Scheduling Emergency Medicine Residents. *Computers & Industrial Engineering*, 51(3): 375-388.

- Tosun, K. (1978). *İşletme Yönetimi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. London: Kluwer Academic Publishers.
- Tseng, M. L. (2009). "A Causal and Effect Decision Making Model of Service Quality Expectation Using Grey-Fuzzy DEMATEL Approach. *Expert Systems With Applications*. 36: 7738-7748.
- Tsoutos, T., Drandaki, M. ve Frantzeeskaki, N. (2009). Sustainable Energy Planning by Using Multi-Criteria Analysis Application in The Island of Crete. *Energy Policy*. 37: 1587–1600.
- Tzeng, G. H. ve Huang, J. J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. New York: CRC Press.
- Velasquez, M. ve Hester, P. T. (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research*. 10(2): 56-66.
- Verma, M. K., Shrivastava, R. K. ve Tripathi, R. K. (2010). Evaluation of Min–Max, Weighted and Preemptive Goal Programming Techniques With Reference to Mahanadi Reservoir Project Complex. *Water Resources Management*. 2(24): 299-319.
- Wang, C. ve Liao, X. (2007). *Novel Forecasting Method Based on Grey Theory and Neural Network*. Qingdao, Advanced Intelligent Computing Theories and Applications With Aspects of Artificial Intelligence.
- Wang, J., Ma, Z. ve Li, L. (2005). Detection, Mining and Forecasting of Impact Load in Power Load Forecasting. *Applied Mathematics and Computation*. 168: 29-37.

Wang, J., Zhixin, M. A. ve Lian, L. (2005). "Detection, Mining and Forecasting of Impact Load in Power Load Forecasting. *Applied Mathematics and Computation*. 168: 29-39.

Wang, Y., Tang, J. ve Cao, W. (2012). Grey Prediction Model-Based Food Security Early Warning Prediction. *Grey Systems: Theory and Application*. 1(2): 13-23.

Wen, K. L. (2004). *Grey Systems: Modeling and Predictions*. New York: Yang's Scientific Press.

Wenping, W. (1997). Study on Grey Linear Programming. *Journal of Grey Systems*. 1(9): 41-46.

Whaiduzzaman, M., Gani, A., Anuar, N. B., Shiraz, M., Haque, M. N., ve Haque, I. T. (2014). Cloud Service Selection Using Multicriteria Decision Analysis. *The Scientific World Journal*. 48: 1-10.

Winston, W. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*. Pacific Grove: Duxbury Press.

Wu, C. C. ve Chang, N. B. (2004). Corporate Optimal Production Planning With Varying Environmental Costs: A Grey Compromise Programming Approach. *European Journal of Operational Research*. 155: 68-95.

Xia, M. ve Wong, W. K. (2014). A Seasonal Discrete Grey Forecasting Model for Fashion Retailing. *Knowledge-Based Systems*. 57: 119-126.

Xinping, X. (1998). New Study on The Solution of Grey Linear Programming. *Journal of Grey System*. 2(10): 133-139.

Xu, Z. (2015). *Uncertain Multi-Attribute Decision Making*. New York: Springer.

Yamaguchi, D., Li, G. D. ve Nagai, M. (2007). *A Grey- Rough Set Approach for Interval Data Reduction of Attributes*. Warsaw, International Conference RSEISP.

Yang, Y. ve John, R. (2012). Grey Sets and Greyness. *Information Sciences Journal*. 185: 249–264.

Yao, A. W. ve Chi, S. C. (2004). Analysis and Design of A Taguchi Grey Based Electricity Demand Predictor for Energy Management Systems. *Energy Conversion and Management*. 45: 1205-1217.

Yao, A. W., Chi, S. C. ve Chen, J. H. (2003). An Improved Grey-Based Approach for Electricity Demand Forecasting. *Electric Power Systems Research*. 67: 217-224.

Yin, M. S. (2013). Fifteen Years of Grey System Theory Research: A Historical Review and Bibliometric Analysis. *Expert Systems With Applications*. 40: 2767–2775.

Young, R. C. (1931). The Algebra of Many-Valued Quantities. *Mathematische Annalen*. 260-290.

Zadeh, L. (1971). Similarity Relations and Fuzzy Orderings. *Information Sciences*. 3: 177-200.

Zadeh, L. A. (1963). on The Definition of Adaptivity. *Proceedings of The IEEE* . 3(51): 469-470.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets Information and Control. *Information Sciences*. 8: 338-353.

Zadeh, L. A. (1984). Making Computers Think Like People [Fuzzy Set Theory]. *IEEE Spectrum*. 8(21): 26-32.

Zarrah, A. I., Bard, J. F. ve Desilva, A. H. (1994). Solving Large-Scale Tour Scheduling Problems. *Management Science*. 40: 1124-1144.

Zhou, P., Ang, B. W. ve Poh, K. L. (2006). A Trigonometric Grey Prediction Approach to Forecasting Electricity Demand. *Energy*. 31: 2839–2847.

Zimmermann, H. J. (1988). *Uncertainties in Expert Models - Mathematical Models for Decision Support*. Berlin: Springer.

Zimmermann, H. J. (2000). An Application-Oriented View of Modeling Uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 122: 190 -198.

