T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM
EKONOMETRİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHP TABANLI AĞIRLIKLANDIRILMIŞ BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ ve BİR ÜRETİM İŞLETMESİ UYGULAMASI

Mehmet Akif AKSOY

DANIŞMAN
Doç Dr. Mehmet AKSARAYLI

İZMİR-2016

YÜKSEK LİSANS
TEZ/ PROJE ONAY SAYFASI

2010800206

Üniversite	: Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü	: Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı	: MEHMET AKİF AKSOY
Tez Başlığı	: AHP Tabanlı Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Yöntemi ve Bir Üretim İşletmesi Uygulaması
Savunma Tarihi	: 09/02/2016
Danışmanı	: Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI

JÜRİ ÜYELERİ

Ünvanı, Adı, Soyadı	Üniversitesi	İmza
Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	....
Prof.Dr.İpek DEVECİ KOCAKOÇ	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	....
Yrd.Doç.Dr.Ceyhun ARAZ	CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ	....

Oybirliği (✓)
Oy Çokluğu ( )

MEHMET AKİF AKSOY tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "**AHP Tabanlı Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Yöntemi ve Bir Üretim İşletmesi Uygulaması**" başlıklı Tezi( ) / Projesi( ) kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mustafa Yaşar TINAR
Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "**AHP Tabanlı Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Tekniği ve Bir Üretim İşletmesi Uygulaması**" 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

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

Mehmet Akif AKSOY

İmza

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AHP Tabanlı Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Tekniği ve Bir Üretim İşletmesi Uygulaması

Mehmet Akif Aksoy

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Ekonometri Anabilim Dalı

Yöneylem Araştırması Programı

Günümüzde meydana gelen teknolojik gelişmeler beraberinde birçok ihtiyacı da getirmektedir. Firmalar hem bu ihtiyaçları karşılamak hem de teknolojik gelişimlere ayak uydurabilmek için sürekli arayış içindedirler. Birçok sektör için, hem piyasadaki ihtiyaçlara cevap vermek hem de ihtiyaç duyduğu malzemeyi ya da ürünü elde etmesi, çözmesi gereken sorunlardan birkaçıdır. Bu noktadan hareketle firmaların üretim planlaması, ihtiyaçların artması ve ürün yelpazesinin çoğalması durumunda daha da önemli bir hal alırken bu durum birçok firma için büyük sorun oluşturmaktadır. Firmalar bu sorunun üstesinden gelebilmek için birçok yönteme başvurmaktadır. Günümüzde bu sorunların çözümü için kullanılan çok sayıda teknik bulunmakla birlikte bu teknikler farklı yaklaşımlarla kullanılabilmektedir. Çokça kullanılan bu tekniklerden biri de karar vericilere birden fazla hedefi gerçekleştirme imkanı veren Bulanık Hedef Programlama (BHP)'dir. Bu çalışmada İzmir ilinde ofis ve kırtasiye malzemeleri üretimi yapan bir firmanın bir aylık üretiminin planlaması amaçlanmıştır. Planlaması yapılan sekiz ürün toplam yirmi dokuz farklı süreçten geçmektedir. Üretim planlaması için Tiwari, Dharmar ve Rao'nun toplamsal model yaklaşımından faydalanılmış, hedefler hem klasik Analytic Hierarchy Process (AHP) hem de Bulanık Analytic Hierarchy Process (BAHP) ile ağırlıklandırılmıştır. Firma yönetiminin ürünlerin üretimine ilişkin değerlendirmeleri sonucu hedeflere ağırlıklar atanmış olup bu ağırlıklar AHP ile tespit edilmiştir. Sonucun gerçek yaşama daha uygun olması düşüncesiyle ağırlıklandırma işlemi BAHP ile de hesaplanmıştır. Oluşturulan modelin dördü doğrusal diğer dördü de tamsayılı olmak üzere toplam sekiz farklı çözüm elde edilmiştir. Her iki grupta da öncelikle Doğrusal Programlama (DP) ile çözüm yapılmış, oluşan çözümler ışığında hedefler firma tarafından güncellenmiştir. Güncellenen hedefler sırasıyla, Eşit Ağırlıklı Bulanık Hedef Programlama (EABHP), AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama ve Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama teknikleriyle çözülmüştür. İlk dört grup DS For Windows (DSFW) paket programında diğer grup ise MATLAB paket programı yardımıyla çözülmüş ve bütün çözümler tablolar ile gösterilerek karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda firma yönetimine, üretim planlaması ile ilgili yapılması gerekenler sunulmuş ve bazı tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Hedef Programlama, Toplamsal Model Yaklaşımı, Bulanık Mantık, Bulanık Küme, AHP

ABSTRACT

Master's Thesis

Weighted Fuzzy Goal Programming Techique Based on AHP And An Application In A Firm

Mehmet Akif AKSOY

Dokuz Eylül University
Graduate School of Social Sciences
Department of Econometrics Operations Research Program

Nowadays, technological developments have brought a great deal of needs. The firms are in search of both meeting their needs and keeping up with technological developments. For many sectors, both meeting the needs and obtaining materials or products, which are needed, are several of the problems to be solved. In this context, while production planning of the firms has become yet more important in the case of increasing the needs and product range, this situation presents a great challenge for many firms. The firms also try several methods to overcome this problem. Nowadays, there are numerous techniques used for the solutions of these problems. Besides, these techniques can be used with different approaches. One of these techniques is Fuzzy Goal Programming (FGP) which enables decision makers to achieve more than one goal. By using this technique, the aim of this study is to plan monthly production of a firm which produces office equipment in İzmir. Eight products, whose plans were done, pass through 29 different processes in total. Additive model approach by Tiwari, Dharmar and Rao was used for the production planning, and the goals were weighted with both Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). After the firm had evaluated the production, the weights were assigned to goals and these weights were determined through AHP. Besides, in order to make the result more convenient to real life, the weights were also calculated through FAHP. In total, eight different solutions were obtained. Four of generated model were linear and the others were integer. In both groups, Linear Programming (LP) was primarily used for solution. And, in the light of the solutions, the goals have been updated by the firm. The updated goals were solved by the techniques of Fuzzy Goal Programming (FGP), of Fuzzy Goal Programming weighted with AHP, and of Fuzzy Goal Programming weighted with Fuzzy AHP, respectively. The first four groups were solved by using DS For Windows (DSFW) package programme, and the others were solved by using MATLAB. And, all of the solutions were compared through tables. At the end of the study, what needs to be done related to production planning was presented to the firm and some advices also were offered.

Key Words: Fuzzy Goal Programming, Additive Model Approach, Fuzzy Set, AHP

İÇİNDEKİLER

İKİNCİ BÖLÜM
HEDEF PROGRAMLAMA

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
BULANIK MANTIK

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

BEŞİNCİ BÖLÜM

UYGULAMA

KISALTMALAR

ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
KV	Karar verici
Max	Maksimum
Min	Minimum
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
DP	Doğrusal Programlama
HP	Hedef Programlama
BHP	Bulanık Hedef Programlama
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BDP	Bulanık Doğrusal Programlama
DSFW	DS For Windows
EABHP	Eşit Ağırlıklı Bulanık Hedef Programlama
MATLAB	Matrix Laboratory

SİMGELER

μ_i : i. Hedefin Üyelik Derecesi

x_{ij} : Karar Değişkenleri

b_i : i' inci Hedef Düzeyi

d_i^- : i' inci Hedeften Negatif Sapma Değeri

d_i^+ : i' inci Hedeften Pozitif Sapma Değeri

w_i : i. Hedefin Sapma Değişkenlerine Verilmiş Olan Matematiksel Ağırlıklar

P_i : i Hedefine Verilen Öncelik

a_{ij} : Karar Değişkeninin Katsayısı

G_k: k'ıncı Hedef Değerinin Üst Sınırı

$\tilde{A}$: Bulanık A Kümesi

$\mu_{\tilde{A}}(x)$: A Bulanık Kümesinin Üyelik Derecesi

$\tilde{A} \cap \tilde{B}$: A ve B Bulanık Kümelerinin Kesişimi

$\tilde{A} \cup \tilde{B}$: A ve B Bulanık Kümelerinin Birleşimi

$(Ax)_i$: Bulanık Hedef Kısıtını

λ : Bulanık Hedefin Başarılma Düzeyi

λ_j : Narasimhan Yaklaşımından Elde Edilen Alt Problemlerin Çözüm Değerleri

λ^* : Bulanık Karar Kümesinin En Yüksek Üyelik Dereceli Elemanı

t_i^+ : Hedeflere it Pozitif Sapma Değeri

t_i^- : Karar Vericinin Tolerans Miktarı

β_i^+: (Ax)i $\lesseqqgtr$ bi Bulanık Hedefine Erişim Düzeyi

ω_i : Hedeflere Atanan Ağırlık Değerleri

$\bar{A}$: Bulanık A kümesinin Tümleyeni

$\mu_{\bar{A}}(x)$: Bulanık A kümesinin Tümleyenine Ait Üyelik Derecesi

TABLOLAR

ŞEKİLLER

GİRİŞ

Günümüzde yaşanan hızlı değişimler sayesinde birçok şey gittikçe karmaşık bir hal almaktadır. Oluşan bu karmaşıklıklar çoğu zaman bilgi eksikliği ya da belirsizliklerden meydana gelmektedir. Belirsizlik ya da bilgi eksikliği içeren problemler yöneticileri oldukça zorlamakta ve sübjektif bir bakış açısı ile karar vermelerinin güçleşmesine neden olmaktadır. Yöneticilerin hızlı ve doğru karar vermelerinin bir yolu da belirsizlikleri azaltmaya yarayan bilimsel yöntemlerin geliştirilmesi ve karar problemlerinde kullanılmasıdır. Söz konusu bilimsel yöntemlerden biri olan yöneylem araştırması, içeriğindeki çeşitli programlama yöntemlerini kullanarak mevcut problemi optimal hale getirmeyi amaçlamaktadır.

1900'lü yılların ortalarına doğru yöneylem araştırması gerçek dünya problemlerine uygulanmaya başlanmıştır. Bu sayede bilim ve mühendislik alanında çok önemli bir yer edinmiştir. Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin etkisinden dolayı bir süre yetersiz kalmasına rağmen 1960'larda, özellikle yapay zeka ve bunun uygulamalarından biri olan bulanık mantığın da kullanılmasıyla daha etkili hale gelmeye başlamıştır (Lai ve Hwang, 1992:1). 1965 yılında Zadeh'in temelini attığı bulanık küme teorisi, problemlerin çözümünde klasik mantığın oluşturduğu kesin sınırlar yerine belirsizliğin karar verme süreçlerine dahil edilmesini sağlamış ve bu belirsizliklerin bir fonksiyon yardımıyla matematiksel olarak ifade edilmesini mümkün kılmıştır. Bulanık küme teorisi yardımı ile belirsizlik içeren problemlerin çözümüne kolay ulaşmak çoğu zaman mümkündür. Bulanık küme teorisinin optimizasyon problemlerine ilk uygulamasını 1970 yılında Bellman ve Zadeh yapmıştır. Çok amaçlı problemlere uygulanmasını ise ilk olarak Zeleny 1973 yılında gerçekleştirmiştir. Zeleny'nin bu çalışması Zimmermann ve Hannan tarafından geliştirilerek bulanık ortamda hedef programlama modeline uygulanmıştır.

Yukarıda belirtilen hızlı değişimden dolayı karşımıza çıkan problemlerin çoğu tek amaçlı olarak ifade edilememektedir. Bu nedenle birden fazla amacı kapsayan farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en etkili olanlarından biri de hedef programlama ile birlikte bulanık mantık uygulaması olan bulanık hedef programlamadır. Gerçek hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çözümünde kullanılan bulanık hedef programlamaya, bulanık kümelerin optimizasyon problemlerine uygulanması ile ulaşılmaktadır. Bulanık hedef programlama tekniğinin en belirgin özelliği, ulaşılmak istenen hedef değerlerine ait kesin bir değerin olmamasıdır. Bu yöntemin temelini, bulanık karar, optimal karar ve bulanık hedef / hedefler oluşturmaktadır. BHP'nin çözümü ile elde edilecek olan alternatifler uzayındaki bulanık kümeler aynı zamanda bulanık karar kümeleri olarak da adlandırılırlar. Bulanık karar kümeleri de bulanık kümeler gibi üyelik fonksiyonları ile ifade edilebilirler. Alternatif çözümler oluşturulan bu üyelik fonksiyonları yardımıyla elde edilirler.

Her tür işletme yönetiminde belirlenen hedeflere ulaşmada bulanık hedef programlamanın çok önemli bir yere sahip olduğu açıktır. BHP'nin kullanımı için işletmenin üretim ve çalışma verilerine ihtiyaç duyulur. Kullanılacak verilerin sağlanmasında ve değerlendirilmesinde karar verici ile sürekli bilgi iletişiminde olmak ve değişimleri sürekli takip etmek gerekmektedir. Bunlar değerlendirmenin sonucunu doğrudan etkileyebileceği için araştırma hangi alanda olursa olsun gerçekleştirilecek olan üretim ve karar vericinin talepleri ile beklentilerinin çok iyi bilinmesi ve anlaşılması gerekmektedir.

Yöneticiler, yönetme işlemi gereği devamlı karar verme durumuyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu nedenle, sürekli olarak, karşılaşılan problemi çözmek için ya da yeni girişimler için mevcut alternatifler arasından seçim yapmak durumuyla karşılaşmaktadır. Yöneticilerin çoğunlukla başvurduğu, planlama, örgütleme, yürütme ve denetim gibi faaliyetlerin her biri karar verme faaliyetiyle yürümektedir. Verilen kararlar basit olabileceği gibi çok karmaşık yapıda da olabilmektedir. Rekabetin küresel boyutlara taşındığı ve karar kriterlerinin karmaşık bir hal aldığı ortamlarda karar verme fonksiyonunun da bilimsel yöntemlerden faydalanması zorunluluk haline gelmiştir.

Literatürde üretim planlaması ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı bulanık tabanlı iken diğer kısmı da klasik optimizasyon yöntemleriyle yapılmıştır. İster bulanık olsun ister klasik optimizasyon olsun yapılan çalışmaların büyük bölümü DP yöntemiyle yapılmıştır. Geri kalan kısmında ise arasında BHP'nin da olduğu diğer optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde üretim planlama ile ilgili bazı çalışmalar şunlardır.

Baykasoğlu ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada, çok objektifli bir üretim planlama problemini bulanık bir modele çevirerek üç değişik tabu arama algoritması ile çözmüşlerdir. Bu algoritmaların, bulanık modelde herhangi bir dönüşüme ihtiyaç duymadan problemi doğrudan çözebileceği görülmüştür. Bu çalışma sayesinde tabu arama algoritmalarının BHP problemlerinde etkili bir çözüm sunduğu ortaya konmuş, problemin çözümü için yöntem önerilmiştir. Gülenç ve Karabulut (2005) yaptıkları çalışmada, bir firmanın ürettiği bir lastik sınıfının aylık üretimini Doğrusal Hedef Programlama (DHP) ile planlamışlardır. Problemde dokuz değişken ile birlikte stokların belli seviyede olması hedefi, toplam üretim hedefi, ambar işgali hedefi, toplam üretim maliyet hedefi ve kapasitenin tam kullanılması hedefi gibi beş hedef bulunmaktadır. Stokların belli seviyede olması hedefinin beş ürün için gerçekleştirildiği ve talebi karşılayamadığı, toplam üretim hedefinin tam gerçekleştirilemediği, toplam üretim maliyeti hedefinden 129$'lık bir sapmanın olduğu ve kapasitenin tam kullanılması hedefinin bir makine hariç gerçekleştirildiği görülmüştür. Bulunan çözümdeki (+) ve (-) sapmalar sayesinde kapasite artırma, fazla mesai veya vardiya artırma gibi kararları alabilmenin mümkün olduğu görülmüştür. Tuş (2006) hazırladığı yüksek lisans tezinde, bir mermer işletmesinin bir aylık üretim planlamasını ele almıştır. Elde edilen veriler önce DP ve daha sonrada Bulanık Doğrusal Programlama (BDP) ile modellenmiştir. Bulanık Doğrusal Programlama ile modellenirken Zimmermann, Werners, Chanas ve Verdegay yaklaşımları etkileşimli olarak kullanılmıştır. modelde kırk dokuz değişken, yedi işgücü kısıtı ve kırk sekiz ebat kısıtı yer almaktadır. Kurulan model yukarıdaki dört yöntemin sentezi olan ve Young-Jou Lai ve Ching-Lai Hwang tarafından oluşturulan Etkileşimli BDP yöntemi ile çözülmüştür. Dündar ve Zerenler (2011) bir firmaya ait üretim planlaması yapmışlardır. Problemin çözümünde Öncelikli Hedef Programlama tekniği kullanılmıştır. firma yöneticilerinin önceden belirledikleri hedeflere ulaşılmaya çalışılmıştır. Modelde iki tanesi öncelikli olmak üzere toplamaltı hedef bulunmaktadır. Önceliklendirilmiş hedefler anlaşması önceden imzalanmış taleplerin karşılanması ile ilgili olup diğer hedefler ithal edilen miktarların üzerinde kullanımın istenmemesi, maliyet hedefi ve satış geliri hedefidir. Modelin WinQSB Version 1.0 for Windows programındaki çözümü sonucunda, öncelikli talep hedeflerin tam karşılandığı, ithal edilen maddenin miktar hedeflerinden bir tanesinin hedefin altında diğerinin ise hedefin üzerinde olduğu, maliyet hedefinde yaklaşık 59000TL'lik bir sapmanın olduğu ve satış gelirleri hedefinde yaklaşık 86000 TL'lik negatif bir sapmanın olduğu görülmüştür. Karaatlı ve diğerleri (2014) çalışmalarında mobilya sektöründe hizmet veren bir firmanın aylık üretim planlamasını yapmışlardır. Firmadan alınan gerçek veriler önce DP ile daha sonra da BDP tekniklerinden Zimmermann yaklaşımı ile modellenmiştir. Burada amaç fonksiyonu ile beraber toplam makine zamanı ile alt ve üst talep miktarları da bulanık olarak ele alınmıştır. Talep miktarları geçmiş otuz altı aylık satış miktarlarından yola çıkarak basit doğrusal regresyon yöntemi ile tahmin edilmiştir. Sekiz ürüne ilişkin planlama yapılmıştır. beş ürünün aylık planlaması her iki yöntemde de aynı sayıda oluşmuştur. Üç ürüne ilişkin planlamanın farklı olduğu ve DP ile yapılan çözümün BDP ile yapılan çözümden daha etkili bir sonuç verdiği görülmüştür.

Ertuğrul (2005) yaptığı çalışmada, Denizli'deki bir tekstil firmasındaki konfeksiyon ve ev tekstili gruplarına ilişkin üretim planlaması yapmıştır. Firmadan elde ettiği veriler ışığında önce DP ile çözüm yapmış ve daha sonra aynı verileri kullanarak BHP yöntemi ile çözüm elde etmiştir. BHP yönteminde Narasimhan yaklaşımından faydalanmış olup her iki çözümden elde ettiği sonuçları karşılaştırmıştır. Ayan (2009) çalışmasında, toplam üretim planlaması için yeni bir model önerisinde bulunmuş ve bu modeli sayısal örnekler ile açıklamıştır. Geliştirilen modelin amacı, çeşitli maliyet bileşenlerinin ağırlıklı fonksiyonlarının minimum yapılması ve iş yüklerinin iş merkezine düzgün dağılımının yapılmasıdır. Bu model karar vericilere aynı zamanda periyodik üretim, kapasite ve envanter planlamada yol gösterebilmektedir. Akman (2009) tezinde bir piliç fabrikasında aylık üretim planlaması yapmıştır. Gerçek veriler ışığında önce Hedef Programlama (HP) yöntemiyle çözülmüş ve daha sonra aynı verilerle BHP modeli ile tekrar çözülmüştür. BHP yönteminde çözüm aşamasında doğrusal ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonları kullanılmış olup elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen çözümlere göre optimal üretim planlaması yapılmıştır. Erpolat (2010) çalışmasında, üretim planlama probleminde HP ve BHP tekniklerini karşılaştırmıştır. Piliç üretimi yapan bir fabrikanın altı ürününe ilişkin aylık üretim planlaması yapılmıştır. Erpolat çalışmasında, BHP tekniğini kullanırken doğrusal olan ve doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarından faydalanmış olup bu iki üyelik fonksiyonundan elde ettiği sonuçları karşılaştırmıştır. Doğrusal üyelik fonksiyonlarını kullanarak elde ettiği sonucun gerçek hayata daha uygun olduğu görülmüştür. Akdeniz ve Aras (2010) çalışmalarında plastik ürün üreten bir fabrikada üretim planlaması yapmışlardır. BHP tekniklerinden olan Twari, Dharmar ve Rao'nun toplamsal model yaklaşımından faydalanan yazarlar, farklı öneme ve farklı öncelikli hedeflerin başarılma derecelerini doyurmak için bulanık ortamda çözümler elde etmişlerdir. Elde edilen çözümler ile karar vericilerin hedefleri karşılaştırılmış olup firmanın planladığı hedeflere ulaşamayacağı ve bazı kısımlarda düzenlemeye gidilmesi gerektiği aktarılmıştır.

Yapılan çalışmada çok amaçlı karar verme modelleri arasında yer alan hedef programlama yöntemine bulanık küme teorisinin uygulanması ile oluşan bulanık hedef programlama modeli kullanılarak bir üretim planlamasının modellenmesi gösterilmiştir. Model oluşturulurken, Twari, Dharmar ve Rao'nun toplamsal model yaklaşımından faydalanılmıştır.

Birinci bölümde ÇKKV açıklanarak çok kriterli karar verme süreci ve bu süreci oluşturan adımlar anlatılmıştır. Daha sonra Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin yapısı ve elemanları ele alınmıştır. Daha sonra AHP söz edilmiş ve AHP'nin işlem adımları anlatılmıştır. Son olarak BAHP'den ve BAHP tekniklerinden Chang'in Mertebe Analiz Yöntemi detaylı şekilde anlatılarak BAHP'nin olumsuzluklarından ve BAHP'ye getirilen eleştirilerden söz edilmiştir.

İkinci bölümde hedef programlama ele alınmıştır. HP'nin tarihsel gelişimi ve genel yapısından kısaca söz edildikten sonra HP'nin algoritmaları ele alınmıştır. Daha sonra HP'nin formülasyonu geniş bir çerçevede açıklanmış ve HP'nin özellikleri ve dezavantajları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde mantık kavramı ve mantığın tarihsel gelişimi geniş bir şekilde ele alınmıştır. Sembolik mantık, klasik mantık ve çok değerli mantıktan söz edilerek bu tip düşünce yapılarından bulanık mantığa geçiş yapılmıştır. Bulanık mantığın yapısı ve tarihsel gelişiminden sonra bulanık küme kavramından söz edilmiş, bulanık kümelerin gösterimi ele alınmıştır. Bulanık küme ile ilgili kavramlar açıklanmış ve daha sonrasında bulanık küme işlemleri ele alınmıştır. Üyelik fonksiyonlarının yapısı anlatılarak üyelik fonksiyon çeşitlerinden söz edilmiştir. Bu bölümde son olarak bulanık sayılar ve bulanık sayılarda kullanılan işlemler kısa anlatılarak bulanık mantığın avantajları ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde BHP modeli ele alınmıştır. Öncelikle bulanık ortam ve bulanık ortamda karar verme ile bulanık ortamda karar vermeyi oluşturan bileşenlerden söz edilmiştir. Sonrasında BHP modeli kapsamlı şekilde açıklanmış ve BHP problemlerinin çözümü için geliştirilen teknikler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Son olarak HP ile BHP arasındaki ilişkiden söz edilerek bu bölüm sonlandırılmıştır.

Beşinci ve son bölümde ise uygulama ile ilgili bilgi verilmiştir. İlk olarak çalışma yapılan firma hakkında bilgi verilmiş ve ürünler tanıtılmıştır. Her bir ürün için gerekli hammadde ve üretim esnasında gerçekleştirilen işlemler tablo şeklinde verilmiştir. Uygulama kısmında oluşturulan model öncelikle DP problemi olarak ele alınmış ve DSFW paket programıyla çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar firma yönetimi ile paylaşıldıktan sonra hedefler güncellenip modelimiz EABHP problemi (Twari, Dharmar ve Rao'nun Toplamsal Modeli) halinde ele alınmıştır. Problem bu şekliyle DSFW paket programıyla çözüldükten sonra hedeflere ilişkin ağırlıkların belirlenmesi için firma yönetimine, önceden hazırlanmış ve ikili karşılaştırmaların olduğu bir soru formu uygulanmış ve bu soru formu ışığında AHP tekniğinden yararlanılarak hedeflere ait ağırlıklar belirlenmiştir. Problemimiz DSFW programı yardımıyla çözülmüştür. Sonuçların ve ağırlıklandırmaların gerçeğe daha yakın olması amacıyla ağırlıklandırma işlemi BAHP ile tespit edilmiş ve DSFW yardımıyla çözülmüştür. Oluşturulan dört modelin her biri DSFW paket programının dışında tamsayılı olarak MATLAB paket programıyla çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE AHP

1.1 ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KAVRAMI

Karar verme, belirlenen hedef ve kararların gerçekleşmesi için gerekli olan alternatif planlardan birini seçme sürecidir. Karar verme problemleri çoğunlukla çok amaçlı olup belirsiz bir ortamda meydana gelmektedir. Karar sürecinde, belirlenen amaçların gerçekleşebilmesi için gerekli olan en uygun faaliyet farklı seçenekler arasından seçilmektedir (Erdin, 2007:56).

ÇKKV, birbiriyle çelişen çoklu amaca yönelik karar verme sürecini ifade etmektedir. ÇKKV'de, karar verici, amaçlar kümesi ve alternatifler kümesi bulunmaktadır. ÇKKV analizlerindeki temel nokta birbiriyle çelişen çoklu amaçların olmasıdır (Stanley, 1981:145). ÇKKV, çok kriterin olduğu bir ortamda çoğunlukla birbiri ile zıt ve birbiriyle çelişen kriterler içinden en uygun alternatifin seçimine olanak tanımaktadır. Yöntemin temelini, alternatiflerin sahip olduğu bir çok özelliğin dikkate alınması, karar vericilerin istediği ve özellikleri önceden belirlenmiş değerlere en uygun alternatifin seçilmesi oluşturmaktadır (Erdin, 2007:58).

Günlük hayatımızın değişmez parçası olan karar vermeyi içere hemen hemen bütün karar verme problemlerinde birbiriyle çelişen birden fazla kriter bulunmaktadır. Çok kriterli karar problemleri, çok nitelikli karar verme problemleri ve çok amaçlı karar verme problemleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Zimmermann, 2001:352). Çok nitelikli karar verme, metotları belirlenen ve kesin alternatifler içinden bir alternatifin seçilmesi için kullanılırken, çok amaçlı karar verme, metotları matematiksel kısıtlar yardımıyla belirlenen ve sınırsız alternatif içeren amaç problemleri için kullanılmaktadır (Lai ve Hwang, 1996:2).

ÇKKV, birçok kriterin birlikte uygulandığı bir ortamda, en çok fayda sağlayacak seçimin titiz bir şekilde seçilmesini sağlayan karar verme aracıdır. Rasyonel kararların verildiği ortamda, en iyi seçim, çoğunlukla karar vericilerin amaçlarına bağlı olan ve mevcut kısıtların doyurulmasını en iyi şekilde sağlayacak alternatiftir (Mendoza ve Prabhub, 2000: 108). ÇKKV tekniği çeşitli kararlar ve seçim problemlerinin çözümü için kullanılır. ÇKKV yaklaşımı, her bir kritere göre her bir alternatifin performansını ve tüm hedeflerle ilgili yapılan değerlendirmelerde kriterlerin göreceli ağırlıklarının belirlenmesinde karar vericilere ihtiyaç duyar (Mahdavi ve diğerleri, 2008: 1). Çözülecek problemin belirli ihtiyaçlarına göre çok sayıda kriter belirlemek mümkündür. Bu kriterleri sübjektif kriterler ve objektif kriterler olmak üzere iki grupta sınıflandırmak mümkündür (Liang, 1999: 684).

Son yıllarda, geleneksel tek kriterli metotların yanında, karmaşık çevresel problemlerin çözümü için yeni yazılım ve algoritmaların geliştirilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Tek kriterli metotların yetersiz kalmasından dolayı çok kriterli metotlar, modelin çok alternatif içermesi durumunda, bu alternatiflerin önceliğini ölçerek ve bunları sıralayarak yükselmesine devam etmiştir. Çok kriterli karar vermeyi kısaca, birden çok kriterin olması durumunda karar vericilere en çok tercih edilen kriterin seçiminde yardımcı olan bir tekniktir (Levy, 2005: 439).

1.2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜRECİ

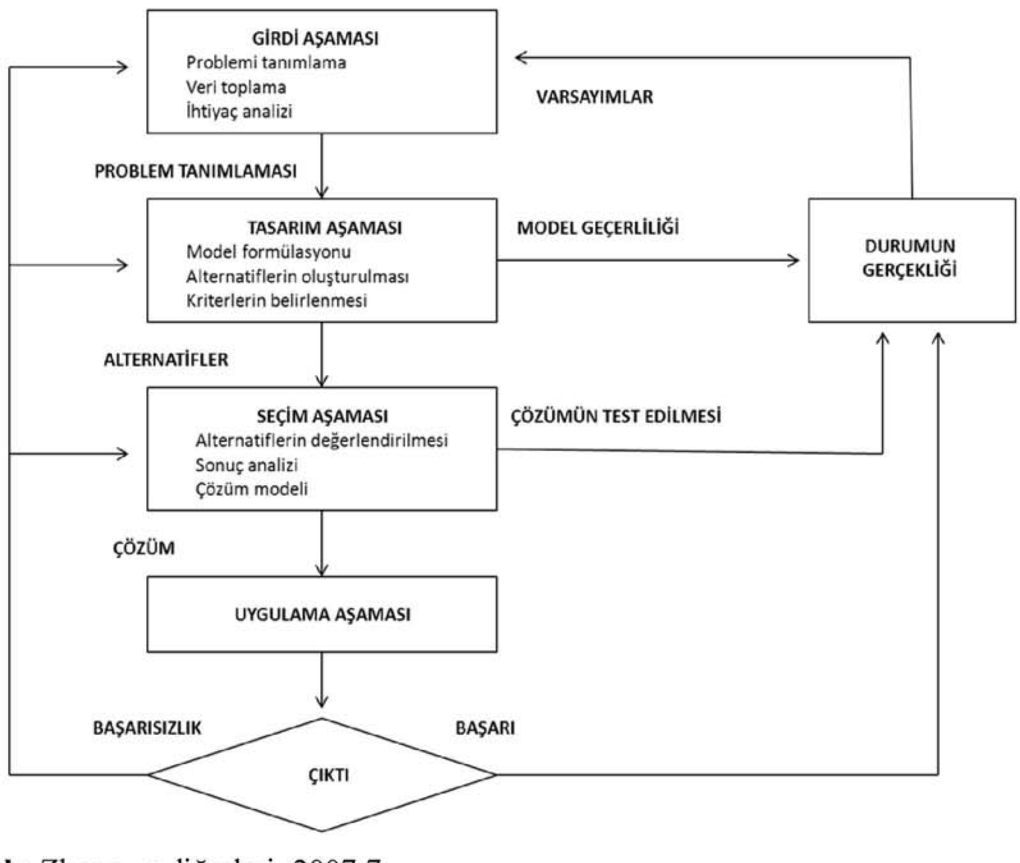
Çok kriterli karar verme işlemi, karar vericilerin karar problemlerini çözme aşamasında karşılaştıkları belirsizliklerin, karar destek sistemleri yardımıyla, karşılaştırılması zor olan ve büyük boyutlu karmaşık kriterler altında, karar vericiyi tatmin edici ve etkili bir şekilde çözümünü sağlayan süreçten oluşmaktadır (Pohekar ve Ramachandran, 2004: 367). ÇKKV sürecinin bileşenleri aşağıda sıralı biçimde gösterilmektedir (Jahanshahloo ve diğerleri, 2006: 1545):

- Amaçların özelliklerini gösteren değerlendirme faktörlerinin belirlenmesi
- Hedeflere ulaşmak için alternatif sistemlerin geliştirilmesi
- Kriterler açısından alternatiflerin değerlendirilmesi
- Çalışmaya uygun bir çok kriterli analiz metodu uygulamak
- Optimal olan bir alternatifin kabulü
- Final çözümü kabul edilmezse, bilgi toplamak ve çok kriterli optimizasyonun sonraki adımına gitmek

1.3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜRECİ AŞAMALARI

Karar verme süreci, problemin tespit edilip tanımlandığı, verilerin toplanıp, ihtiyaçların belirlendiği edildiği "Girdi Aşaması" ile başlar. İkinci aşama olan "Tasarım Aşaması", alternatifler kümesinin oluşturulduğu ve bu alternatiflerin değerlendirilmesi için kriter kümesinin belirlendiği ve modelin hazırlanıp geçerliliğinin test edildiği aşamadır. Tasarım aşamasını takip eden "Seçim Aşaması", kurulan model yardımıyla sunulan çözümlerin seçimini içerir ve bu çözümler uygulanabilirlilik açısından test edilir. Önerilen çözüm mantıklı ve uygulanabilir ise son aşamaya geçilir. Son aşamamız olan "Uygulama Aşaması", gerçek problemin çözümünün başarılı bir şekilde uygulanması ile sonuçlanması beklenir. Başarısızlık durumunda sürecin önceki aşamalarına geri dönülür (Zhang ve diğerleri, 2007: 5-6).

Şekil 1: Çok Kriterli Karar Verme Aşamaları



Kaynak: Zhang ve diğerleri, 2007:7

Karar vericilerin karar verme sürecini daha kolay anlamaları ve kolayca takip edebilmeleri için yukarıdaki çerçevenin bir uzantısı olarak aşağıdaki dokuz adımı takip etmeleri gerekmektedir (Zhang ve diğerleri, 2007: 7-8):

Karar Probleminin Tanımlanması: Bir karar problemini tanımlamak için, örgütsel sınırlar, yönetsel varsayımlar ve istenen koşullar hakkında iyi bir anlayış gerekmektedir. Bu adımda, karar probleminin net bir şekilde ifade edilmesi ve problemin çözümü için en iyi şekilde hazırlanılmasının hedeflenmektedir.

Gereksinimlerin Analiz Edilmesi: Gereksinimler, karar probleminin ulaşılmaya çalışılan çözüm kümesini açıklayan kısıtlardır. Karar durumunun analizi ve veri toplanması yoluyla gereksinimler tespit edilebilir.

Amaç ve Hedeflerin Kurulması: Bu adımda karar probleminin amaçları tanımlanır. Bu amaçlara ulaşmak için birden çok hedefin en üst düzeyde doyurulması istenmektedir. Hedefler birbirleriyle çelişebilir ancak bu karar problemlerinin doğal bir sonucudur.

Alternatiflerin Oluşturulması: Tanımlanan amaçlar alternatifleri oluşturmada kullanılır ve her hangi bir alternatifin gereksinimleri karşılaması gerekir.

Gerekli Olan Kriterlerin Belirlenmesi: En iyi alternatifin seçilmesi için hedeflere yönelik oluşturulan tüm alternatiflerin titiz bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Belirlenen hedefler doğrultusunda alternatiflerin karşılaştırılması için kriterlere ihtiyaç duyulur. Her bir alternatifin hedeflere ulaşmadaki etkisini ölçmek için ayırt edici kriterlerin tanımlanması gerekmektedir.

Bir Karar Verme Yönteminin Seçilmesi: Karşılaşılan karar problemini çözmek için kullanılabileceğimiz bir kaç yöntem her zaman bulunmaktadır. Uygun yöntemin seçiminde, somut bir karar probleminin varlığı ve karar vericinin tercihi oldukça önemlidir. Alanında uzman olmak ve ne derecede deneyimli olduğu bu yöntemin seçimde belirleyici olmaktadır. Bununla beraber daha karmaşık olan problemler için entegre yöntemler gerektirebilir.

Kriterler Altında Alternatiflerin Değerlendirilmesi: Seçilen metot yardımıyla belirlenen kriterler kullanılarak, amaçlara uygun alternatifler değerlendirilerek bu adımda geçici karar verilmektedir.

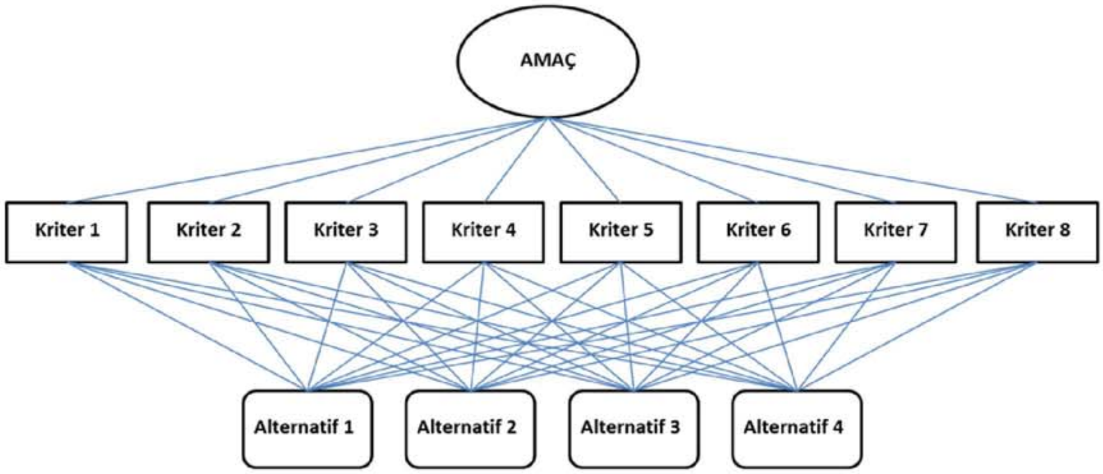
Problemin Durumuna Yönelik Çözümleri Doğrulamak: Bir önceki adımda verilen geçici karar ile seçilen alternatifin ciddi bir olumsuzluğa sahip olmaması durumunda seçim yapılır. Ancak seçilen bu alternatifin, karar probleminin belirlenen hedeflerine ve gereksinimlerine yönelik her zaman geçerliliğinin doğrulanması gerekmektedir.

Problemin Uygulanması: Problemin çözüm sürecinde, karar verme eyleminin çeşitli alternatifler arasından bir seçim yapma eylemi olduğu anlaşılmaktadır. Bu adım karar problemi için elde edilen çözümü kullanmaktadır.

1.4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME PROBLEMLERİNİN YAPISI VE ELEMANLARI

Karar, belirli adaylar arasından en iyisinin seçildiği alternatifler seçimi olarak belirtilmektedir. Mevcut alternatifler arasından en iyi seçim ancak çeşitli ölçütler sayesinde gerçekleşebilmektedir. Kriter sayısının çok olması durumunda karar vericinin karar vermesi güçleşmektedir. Bu durumda etkili bir karar verebilmesi için kriterlerin göreli önemlerini ağırlıklandırmalıdır (Lootsma, 1999: 2-3).

Şekil 2: Çok Kriterli Karar Vermenin Yapısı



Kaynak: Dyer ve Forman 1992: 99-124

Çok kriterli karar verme sürecinin asıl amacı bir karar üretmektir. Bu karar uzlaşık bir çözüm olabileceği gibi alternatiflerin bazı değerlere göre sıralanmış listesi şeklinde de olabilmektedir. Bu sıralamalar alternatiflerin önem seviyelerine uygun şekilde oluşabilmektedir. Çok kriterli karar verme süreci, belirlenen problem için başlama işareti ile başlayıp doğru kararların alınması için sağlıklı verilerin kullanılması sonucunda oluşan karar çıktısı ile sonuçlanmaktadır. Aşağıda, çok kriterli karar verme yönteminde kullanılan bazı kavramlar kısaca açıklanmaktadır (Chankong ve Haimes, 1983: 18):

Karar Verme Birimi / Karar Vericiler: Karar vericiler sistemde değişikliğe gidebilme ve gerektiğinde sorumluluk alabilme yetkisine sahip kişilerdir. Karar vericiler kişi olabileceği gibi bir grup da olabilmektedirler. Aynı zamanda bu kişiler, en iyi seçimin yapılabilmesi için mevcut alternatifler arasında sıralama yapabilecek ve doğrudan ya da dolaylı olarak karar verecek kişilerdir (Chankong ve Haimes, 1983: 7-8).

Alternatifler: Alternatifler karar verme sürecinin ana yapısını oluşturur. Alternatifle, belirlenen hedeflere ulaşmamızda sahip olmamız gereken potansiyel seçme aralıklarını temsil ederler. Alternatiflerin oluşturulması ve oluşturulan bu alternatiflerin temsil yeteneğinin yüksek oluşu problemin sağlıklı bir şekilde çözülmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır (Hammond ve diğerleri, 1999:45). Alternatifler, karar vericilerin farklı seçimlerinden oluşmaktadır. Alternatif kümesinin eleman sayısı iki ya da daha fazla olmaktadır. Alternatifler karar vericilerin yardımı ile oluşturulur, değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilir ve sıralama yapılarak son hali verilir (Triantaphyllou ve diğerleri, 1998: 1).

Kriterler: Kriterler, karar vericiler tarafından çok iyi tanımlanmış, karar vericilerin bakış açılarına göre şekillenen ve alternatifleri karşılaştırmak, değerlendirmek ve seçimin yapılabilmesi için gerekli olan göstergelerdir (Figueira ve diğerleri, 2005:9).

Amaçlar: Karar vericilerin ulaşmak istedikleri durumdur (Zhang ve diğerleri, 2007:19). Alternatiflerin net bir biçimde değerlendirilmelerinin temelini oluşturmaktadırlar. Amaçlar birbiriyle çelişen ya da birbirini destekler biçimde olabilecek bir çok hedefi bünyesinde bulundurabilmektedir. Amaçların etkin bir şekilde düşünülmesi iyi alternatif üretmede bize yardımcı olmaktadır (Hammond ve diğerleri, 1999:31).

Problem: Problemin doğru ifade edilmesi karar verme işleminin çerçevesini oluşturmaktadır. Alternatiflerin iyi şekilde değerlendirilmesi onların iyin tanımlanması ile mümkün olabilmektedir. Doğru bir probleme sahip olma iyi bir başlangıç yapmak anlamı taşır ve söz konusu problemden beklenen çözümlerin elde edilebilmesi için iyi bir şekilde formüle edilmesi gerekmektedir (Hammond ve diğerleri, 1999:15).

Ağırlıklar: Çok kriterli karar verme tekniklerinin bir çoğunda alternatifleri değerlendirmede kriterlere önem ağırlıkları atanmaktadır. Atanan bu ağırlıklar problem içinde genellikle normalize edilir (Triantaphyllou ve diğerleri, 1998: 2).

Sonuç: Bu aşamada en iyi alternatifin seçimi için karşılaştırmalar yapılmaktadır. Başlangıç aşamasında, söz konusu alternatiflerin hedefleri karşılamada ne kadar yeterli oldukları ortaya konulur. En iyi alternatifin seçilmesi sonuçların ne derece iyi yorumlandığına bağlıdır (Hammond ve diğerleri, 1999: 65).

1.5. AHP YÖNTEMİ

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) 1980'li yıllarda Saaty tarafından geliştirilen bir karar verme yöntemidir (Vaidya ve Kumar, 2006: 2-3). Karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan AHP, çok kriterli karar verme tekniklerinden bir tanesidir. AHP yöntemiyle karar alınırken, grup veya bireyin öncelikleri dikkate alınmaktadır. Aynı zamanda nitel ve nicel değişkenlerin beraber değerlendirilebildiği matematiksel bir yöntemdir (Dağdeviren ve diğerleri, 2004:2). AHP 1980'li yıllardan beri bazen birbiriyle çelişen bazen de çoklu amaçları içeren durumların modellendiği iyi bir yöntemdir. AHP'nin çok benimsenmesinin nedenleri arasında mühendislik, eğitim ve endüstri gibi bir çok alanda bol miktarda uygulama bulması ve bulanık mantık başta olmak üzere diğer farklı tekniklere entegre edilebilmesi vardır (Vaidya ve Kumar, 2006: 2-3). AHP'nin en belirgin özelliği, karar vericilerin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar verme sürecine dahil edebilmeleridir. Başka bir deyişle AHP, bilgi, deneyim, düşünce ve önsezilerin mantıklı ve geçerli bir şekilde birleştirildiği bir metottur (Triantaphyllou, 1995: 2). AHP'nin ikinci belirgin özelliği ise karşılaştırmalı yargılar ya da ikili karşılaştırmalardan oluşmasıdır. İkili karşılaştırma ifadesi, iki faktör ya da kriterin bir biriyle karşılaştırılması anlamı taşımaktadır. Bu karşılaştırma karar vericinin yargısına dayanmaktadır. İkili karşılaştırmalar, kriterler ve alternatiflerin öncelik dağılımının kurulması için yapılmaktadır (Chandran ve diğerleri, 2005:2235-2236).

AHP'nin kullanım amacı, karar kriterlerinin aynı anda dikkate alınması yardımıyla tercih edilen alternatifleri belirlemek ve bu alternatiflerin sıralanmasını sağlamaktır (Mateo, 2012: 11). Karar vericilerin bunları yapabilmeleri için, bilgi ve deneyimlerine bağlı olarak her kümeyi aynı düzeyde ikili karşılaştırmaları gerekmektedir. AHP süreci, hiyerarşinin oluşması, öncelik analizinin yapılması ve tutarlık analizinin doğrulanması olacak şekilde üç aşamadan meydana gelmektedir (Ho, 2008: 212).

AHP, karar vericileri alternatifleri sıralaması ve bunlar arasından en iyisinin seçimi için kullanılan nicel yöntemlerden biridir. Yöntem, her alternatifin belirlenen kriterleri ne ölçüde karşıladığına bağlı olarak alternatifleri sıralayan bir süreçtir. Bu süreçte sıralama işlemi için skorlar üretilmektedir. AHP temel olarak “Hangisi ?” sorusuna cevap aramaktadır (Russel ve Taylor III, 2003: 322). AHP, karmaşık ve yapılandırılmamış çok boyutlu problemlerde kullanılan basit bir karar verme aracıdır (Chen, 2006: 167-174).

AHP çoğunlukla, çok kriterli grup karar vermede tanımlayıcı bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. Bu sayede bir çok aktör, senaryo ve kriterin çözüm sürecine dahil olmasına izin vermektedir. Karar vericilerin kararlarından oluşan ikili karşılaştırma matrislerinin tam ve eksiksiz çalıştığı varsayımı işlemeye devam eder. (Mikhailov, 2004: 294).

AHP’nin uygulama adımları aşağıda gösterilmiştir (Munier, 2011:78):

- Hem satırlarda hem de sütunlarda aynı kriterler kullanılarak bir kare matris oluşturulur.
- Bir amaç baz alınarak aşağıda gösterilmiş olan ve 1 ile 9 arasında derecelendirilmiş ölçek vasıtasıyla kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılır.
- Öz vektörleri bulunur.
- Alternatifleri ağırlıklandırırken her bir kriter için alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi kullanılmak koşulu ile ikili karşılaştırmaları yapılır. Bu işlem bütün kriterler için yapılır ve böylelikle her bir alternatif ve kriter için ağırlıklar oluşturulur.
- Her bir kritere karşılık gelen ağırlık ile her bir alternatifin değeri çarpılır.
- Son olarak, bir alternatifin elde edilen tüm değerleri toplanır. Oluşan sonuç tablosu her bir alternatifin ne derece önemli olduğunu gösterir.

AHP’nin temeli ikili karşılaştırmalar değerlendirmesine dayanır. Bu ikili karşılaştırmaları yapabilmek için Saaty tarafından geliştirilen aşağıdaki ölçek kullanılmaktadır. Bu ölçeğe göre, kriterler arasında 1 ile 9 arasında bir değerlendirme yapılmaktadır (Saaty,1994: 26).

Tablo 1: İkili Karşılaştırmada Kullanılan Önem Dereceleri

Önem Derecesi	**Tanım**	**Açıklama**
1	Eşit Önem	İki faktör eşit düzeyde öneme sahiptir
3	Orta Düzeyde Önem	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir
5	Ortadan Daha Fazla Düzeyde Önem	Bir faktör diğerine göre oldukça önemlidir
7	Kuvvetli Düzeyde Önem	Bir faktör diğerine göre kuvvetli düzeyde önemlidir
9	Çok Kuvvetli Düzeyde Önem	Bir faktör diğerine göre kesinlikle daha önemlidir
2,4,6,8	Ortalama Değerleri	Ara değerler, yargıda uzlaşma gerektiğinde kullanılır

Kaynak: Saaty, 1994: 19-43.

İkili karşılaştırma yapılırken yukarıdaki tablodan faydalanılmaktadır. Tabloda görüldüğü üzere wi/wj terimi, sonuca ulaşabilmek için i'inci kriterin j'inci kriterden ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu değerlendirmeler yukarıdaki tabloda yer alan ifadeler yardımıyla olmaktadır. Örneğin bu değerin 7 olması bize i'inci kriterin j'inci kriterden kuvvetli düzeyde önemli olduğunu göstermektedir. Aynı durum tersinden j'inci kriterin i'inci kriterden kuvvetli düzeyde önemli olduğunu göstermektedir (Vargas,1990: 4).

AHP yöntemi yardımıyla belirlenen kriterlerin ağırlıklarının tutarlılıkları aşağıda gösterilmiş olan denklem yardımıyla bulunan λ yardımıyla bulunmaktadır (Yaralıoğlu, 2010: 44-48).

$$D = A.W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & \dots & a_{3n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ . \\ . \\ w_n \end{bmatrix} \quad ve \quad \lambda = \frac{\sum \frac{d_i}{w_i}}{n} \tag{1.1}$$

1.1'deki A matrisi, ikili kriter karşılaştırmadan elde edilen ikili karşılaştırma matrisi, n kriter sayısı ve W ise bu A matrisinde elde edilen ağırlık matrisidir. Kriter ağırlıklarının tutarlılık oranı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Tutarlılık\ Oranı\ (CR): \frac{\lambda - n \,/\, n-1}{RI} \tag{1.2}$$

1.2'deki RI, rassallık indeksi olarak adlandırılır. Tutarlılık oranını temsil eden CR'nin 0,1'den küçük olması istenmektedir. CR'nin 0,1'den küçük olması durumunda, karar vericinin görüşünü ifede eden ikili karşılaştırmanın tutarlı olduğu ve belirlenen ağırlığın karar vericinin görüşünü temsil eden ağırlık olduğu düşünülmektedir. Buna göre CR sıfıra ne kadar yakın ise oluşturulan karar matrisinin de tutarlılığı o kadar yüksektir (Jian-Zhong ve diğerleri, 2008: 222).

AHP'nin son aşaması karar probleminin çözümlendiği aşamadır. Bu aşamada karma öncelikler vektörü oluşturulmaktadır. Bu vektör, ana hedefin gerçekleştirilmesinde karar alternatiflerinin sıralanmasını sağlayan bir vektördür. Bu vektör oluşturulurken, her parametreye uygun olacak şekilde belirlenen öncelik vektörlerine ait ağırlıkların ortalamaları alınır. Elde edilen öncelikler karar alternatif puanlarını temsil etmektedir (Güngör ve diğerleri, 2010: 6).

1.6. AHP'NİN KISITLARI

AHP'nin karşılaştığı kısıtlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Sıra değiştirme AHP uygulamalarında dikkat edilmesi gereken konulardan bir tanesidir. Eleştiriler; herhangi karar alternatiflerinden bir tanesinin değerlendirme dışında tutulması ya da yeni bir tanesinin değerlendirme işlemine dahil edilmesinin, karar alternatiflerine ait sıralamanın değişmesini bu yöntemin bir dezavantajı olarak görülmesidir.
- Ölçek sayesinde alınan bilginin oran ölçeği olarak kullanılması AHP'nin bir diğer dezavantajını oluşturmaktadır. Örneğin ikili karşılaştırmalar matrisinde herhangi iki kriter arasında ‘’ kuvvetli düzeyde önemli ‘’ olma durumunda 7 kullanılacak, ancak wi/wj = 7 gibi işleme dahil edilmesi bu durumun nedeni olarak gösterilebilir.
- Karar hiyerarşisinde bulunan kademe sayısının artması ikili karşılaştırma sayısının da artmasına neden olacaktır. Bu da modeli oluşturmak için daha fazla zaman ve daha fazla çaba gerektirmektedir (Erdin, 2007:70).
- Modelde çok kriter olması durumunda karar vericilerin kararlarında tutarsızlıklar oluşmaya başlar. Bu durumda oluşan sonuçlarda, meydana gelen tutarsızlık oranında sapmaların oluşması beklenmektedir (Mikhailov, 2004: 294).

1.7. AHP'NİN KATKILARI

AHP'nin katkıları aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Erdin, 2007:71);

- Karar vericinin hedef ile ilgili tercihlerinin doğru bir şekilde belirlemesine imkan vermektedir. Bu sayede kolay karar verme metodolojisi sağlamaktadır.
- Karmaşık gibi görünen problemleri basit bir yapıya indirgeyebilmektedir.
- Karar vericilerin karar problemlerinin unsurları hakkındaki anlayışlarını artırmaktadır.
- Karar problemine ilişkin sübjektif ve objektif düşünceler beraber bulunabilir. Aynı zamanda karar sürecine hem nitel hem de nicel verilerin dahil edilmesine imkan vermektedir.

- Duyarlılık analizi sayesinde nihai kararın esnekliği analiz edilebilmekte.
- Grup kararı için son derece uygundur.
- Karar vericiye yargılarındaki tutarlılıkları ölme imkanı vermektedir.

1.8. BULANIK AHP

AHP yöntemini kullanan karar vericiler, ikili karşılaştırma yaparken kriterlerin ve alternatiflerin görece ağırlıklarını belirli ölçekte yer alan sabit değerlerden seçmek durumundadır. Sayısal değeri tam belli olmayan ve çoğunlukla öznel yargıların olduğu durumlarda, karar vericiler sabit bir değer kullanmaktan ziyade aralıklı değerleri kullanmayı tercih etmektedirler (Salo ve Hamalainen, 1995: 475).

BAHP' nin ortaya çıkışı 1983 yılında Van Laarhoven ve Pedrycez' in bir çalışmasıyla olmuştur. Yazarlar üçgensel üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış olan bulanık oranların karşılaştırması sonucu ilk kez BAHP' den söz etmiştir. Yamuksal üyelik fonksiyonları ile karşılaştırma oranlarının bulanık öncelikleri tanımlaması fikrini ilk defa Buckley (1985) ortaya atmıştır. Chang (1996) ise ikili karşılaştırma ölçeğinde bulanık üçgensel sayılar kullanmış ve ikili karşılaştırmalara ilişkin sentetik derece değerleri için mertebe analiz yöntemini kullanmıştır. Aynı yıl bu yöntemi yeni bir yaklaşım olarak ortaya atmıştır (Kahraman, 2008: 54).

Bu bölümde Chang'in Mertebe Analiz Yaklaşımı detaylı şekilde açıklanmaktadır (Chang, 1996:650-651; Chang ve Kumar, 2007: 424-425).

Adım 1:

İlk adımda hem kriterler için hem de her bir kritere alternatifler için kendi aralarında klasik AHP'de olduğu gibi ikili karşılaştırmalar yapılarak değerlendirme matrisleri oluşturulur. Değerlendirmeler aşağıdaki tabloda yer alan değerler yardımıyla üçgensel bulanık sayılara çevrilir.

Tablo 2: Üçgensel Bulanık Sayı Dönüşümü

Gerçek Sayı	Üçgensel Bulanık Sayı	Üçgensel Bulanık Sayıların Tersi
1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
2	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
3	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
4	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
5	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
6	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
7	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
8	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)
9	(8, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/8)

Kaynak: Chan ve Kumar, 2007:417-431

Adım 2:

X= $\{x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n\}$ kümesi bir amaç kümesi ve Q= $\{q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n\}$ kümesi de bir hedef kümesi olmak üzere, Chang (1996) mertebe analiz yöntemine göre, her bir amaç için g_i mertebe analizi sırasıyla kullanılır. Her bir amaç için m tane mertebe analiz değeri,

$\boldsymbol{M_{gi}^1}, \boldsymbol{M_{gi}^2}, \ldots, \boldsymbol{M_{gi}^n}$,i= 1,2,… ,n şeklinde elde edilir.

Bütün $\boldsymbol{M_{gi}^j}$ (j=1,2,…,m) değerleri üçgensel bulanık sayı şeklindedir. Bulanık sentetik değeri i'inci amaç için,

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j \right]^{-1},$$

$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j$ değerini elde etmek için,

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j \right), \; i = 1,2,\ldots,n$$

olacak şekilde m tane mertebe analiz değerlerinin bulanık toplama işlemi yapılır.

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}\right]^{-1}$$ 'yi elde etmek için

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}=\left(\sum_{i=1}^{n}l_i,\sum_{i=1}^{n}m_i,\sum_{i=1}^{n}u_i\right)$$ olacak şekilde

M_{gi}^{j} (j=1,2,…,m) için bulanık toplama işlemleri yapılır. Daha sonra,

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}M_{gi}^{j}\right]^{-1}=\left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}u_i},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}m_i},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}l_i}\right)$$ vektörünü hesaplamak için,

$$\left(\sum_{i=1}^{n}l_i,\sum_{i=1}^{n}m_i,\sum_{i=1}^{n}u_i\right)$$ vektörünün tersi alınır.

Adım 3:

$M_2 = (l_2,m_2,u_2) \geq M_1 = (l_1,m_1,u_1)$ ' nin olasılık derecesi bir başka bir ifadeyle M_2'nin M_1' e tercih edilme oranı, $V(M_2 \geq M_1) = \sup_{x\geq y}[\min(\mu_{M_1}(x),\mu_{M_2}(y))]$, şeklinde tanımlanır ve aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilir.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$$

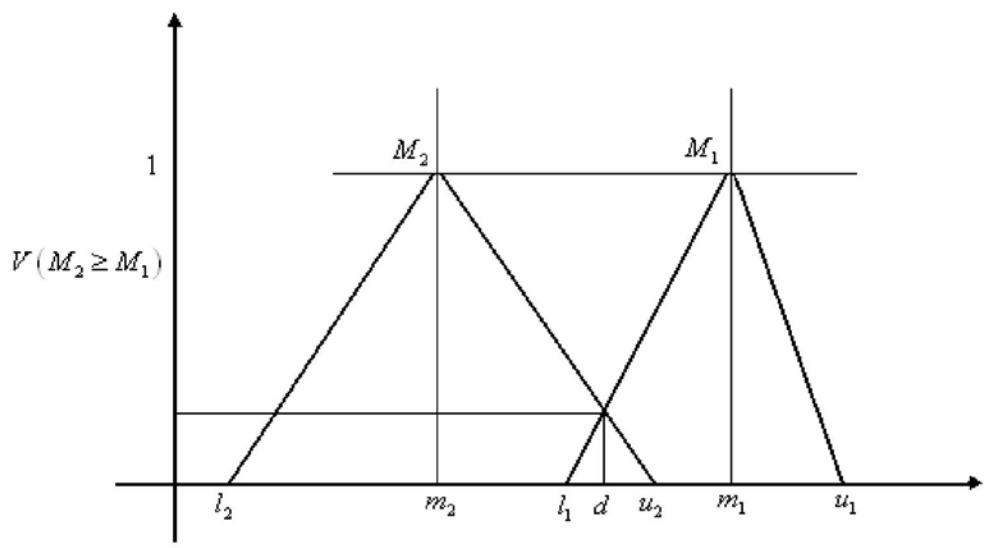
$V(M_2 \geq M_1) = 1$, eğer $m_2 \geq m_1$ ise,

$V(M_2 \geq M_1) = 0$, eğer $l_1 \geq u_2$ ise,

$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$, diğer durumlarda.

Buradaki d değeri μ_{M_2} ve μ_{M_1} arasındaki kesişimin en yüksek noktasıdır.

Şekil 3: Sentez Değerlerinin Karşılaştırılması



M_1 ve M_2'nin karşılaştırılmasında $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$'nin her ikisine birden ihtiyaç duyulur.

Adım 4:

k adet konveks bulanık sayıdan daha büyük bir konveks bulanık sayı için $M_i \ (i = 1,2,...,k)$ olasılık derecesi şu şekilde tanımlanabilir,

$$V(M \geq M_1, M_2, ..., M_k) = V\,[(M \geq M_1), ..., (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i)$$

Hesaplanan olasılık derecelerini,

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$$

şeklinde ifade edersek, $k = 1,2,...,n$ için $k \neq i$, W' ağırlık vektörü aşağıdaki gibi olur,

$W' = (d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_n))^T$ ve n adet elemandan oluşur.

Adım 5:

Ağırlık vektörünün normalleştirilmesiyle karar elemanlarının önem dereceleri ortaya çıkmış olur ve,

$W = (d(A_1), d(A_2), ..., d(A_n))^T$ şeklinde gösterilir.

1.9. BULANIK AHP'YE YAPILAN ELEŞTİRİLER

Zhü (2014) yaptığı çalışmada, BAHP'nin eksiklerini dile getirmiş ve kullanılmasının hatalara neden olacağını savunmuştur. Zhü bu düşüncesini desteklemek için AHP, Bulanık Küme Teorisi ve BAHP'nin özelliklerinden söz etmiş ve BAHP'nin eksik yönlerini gerekçeleriyle anlatmıştır. Zhü'nün sözettiği eksikler aşağıda kısaca anlatılmaktadır (Zhü, 2014:211-213).

1.9.1. Bulanık Küme Teorisinin Temel Mantığının İhlal Edilmesi

Zhü sözedilen ihlali üç nedene bağlamıştır. Bu nedenler aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

1) **Bulanık sayı formunun yanlış tanıtılması:** AHP ve BAHP aynı hiyerarşiye sahip olduğundan nesnelerin ayrık olma durumu ikisi için de geçerli olduğu ancak üçgensel ve yamuksal bulanık sayı tanımları sürekli fonksiyonlarla olduğundan BAHP'deki ayrıklık bu durumu bozmaktadır.
2) **Olmayan üyelik derecesinin kullanımı:** BAHP'de olmayan üyelik fonksiyonu atandığından dolayı BAHP'deki hesaplama işlemi Bulanık Küme Teorisindeki hesaplama işleminden tamamen farklıdır. Bulanık küme teorisinde toplama ve çıkarma işleminin geçerli olmasısadece ve sadece elemanların aynı cins üyelik fonksiyonuna sahip ve sadece bir üyelik derecesiyle olabilecekken BAHP'de ne yamuksal BAHP ne de üçgensel BAHP'den hiç biri bulanık sayı işlemlerinde üyelik derecelerini göz önünde bulundurmamakta ve dolayısıyla üyelik derecesi cinsinden yapılmamaktadır.
3) **α- kesmesinin inanılmaz sonuçları:** Bulanık öncelikleri ele almak için α-kesmesi kullanılırken, BAHP kullanıcıları α- kesmesinin yapıldığı üyelik fonksiyonlarını dikkate almamaktadır. BAHP bulanık sayı ve α- kesmesi işlemlerinde üyelik fonksiyonları kullanmadığından beklenmedik sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

1.9.2. AHP’nin Temel İlkesinin İhlali

AHP’nin kendine has ilkelerinin olduğunu savunan Zhü, yapılan ihlaller yüzünden BAHP’nin geçersiz olduğunu savunmaktadır. Zhü’nün ihlal edildiğine inandığı ilkeler aşağıda belirtilmiştir.

1) Karşılıklı olma aksiyomunun ihlali,
2) Tutarlılık kuralının ihlali ve hesaplanmaması,
3) Süreklilik aksiyomunun ihlali.

1.9.3. BAHP’nin Diğer Kusurları

Zhü’nün BAHP’de gördüğü diğer eksikler klasik AHP’de yer alan ama BAH’de dikkat edilmeyen bazı durumlardır. Bu durumlar;

1) Hiçbir kabul görmeyen Bulanık Sayı derecelerinin hesaplamada kullanılması,
2) AHP’de önemli bir yere sahip olan Tutarlılık İndeksini control edecek hiçbir geçerli metodun kullanılmamasıdır.

İKİNCİ BÖLÜM
HEDEF PROGRAMLAMA

2.1. HEDEF PROGRAMLAMANIN TARİHSEL GELİŞİMİ VE UYGULAMA ALANLARI

Hedef Programlamadan ilk olarak Charnes vd. 1955 yılında tek amaçlı bir doğrusal programlama probleminin uygulama kısmında söz edilmiştir. HP; 1960'lı yılların basında Charnes ve Cooper'ın ortaya attığı ve karar problemlerinin modellenmesine ciddi fayda sağlayan bir teknik olup, amaç fonksiyonunun optimizasyonu yerine, uygun çözümler arasında en iyisinin bulunmasını sağlamaktadır (Erdin,2007:87).

Ijiri HP'yi 1965 yılında ''genelleştirilmiş ve ters alma tekniği'' ile çözüm elde edilebilen ve daha kullanışlı olan bir teknik haline getirmiştir. 1968 yılında, Contini belirsizlik içeren durumlarda kullanmaya başlamış, Jaaskelainen ise üretim planlamasına uyarlamıştır (Erdin, 2007:87). 1970'li yıllara kadar hedef programlama uygulamalarına literatürde çok az rastlanmaktadır. Lee (1972, 1973), Lee ve Clayton (1972), Lee vd. (1978) ve Ignizio (1978) tarafından yapılan çalışmalar HP'nin popularitesini artıran ilk çalışmalardır. Bu uygulamalarla, hedef programlama birçok alanda ilgi çekmeye başlamıştır. HP'nin popüler olması kolay anlaşılabilir ve kolay uygulanabilir olmasından kaynaklanmaktadır. (Kaya, 2010:44). Charnes ve Cooper (1977), Zanakis ve Gupta (1985) ve Romero (1986, 1991) geniş kullanım alanından çok sayıda çalışmanın incelendiği araştırmalar yayımlamışlardır (Erdin, 2007:87). Tamiz vd. (1998) HP'nin, tüm zamanların en yaygın kullanılan ÇKKV tekniği olduğunu ifade etmektedir. Ho (2008) yılında yaptığı literatür taramasında AHP ve AHP ile birleştirilmiş tekniklerin kullanıldığı çalışmaları incelemiştir. 1997'den 2006'ya kadar olan süreçte yayımlanmış altmış altı makaleyi inceleyen Ho, AHP ile birleştirilmiş teknikler arasında en popüler ve en dikkat çekici tekniğin, 16 makale ile AHP – Hedef Programlama tekniği olduğunu belirtmektedir. Aouni ve Kettani

(2001) hedef programlamanın uygulama alanlarını; üretim, endüstriyel uygulamalar, tedarikçi seçimi, tesis yeri seçimi, muhasebe ve finansal kaynak yönetimi, nakliye problemleri, pazarlama ve kalite kontrol, insan kaynakları, telekomünikasyon, tarım ve ormancılık olarak belirtmektedir (Kaya, 2010: 44-45). Sang Lee'nin "Goal Programming for Decision Analysis" isimli kitabı ile Lee ve Jaaskelainen'in gelistirdigi bilgisayar programları sayesinde ilerleme kaydetmiştir (Erdin, 2007:87).

Narasimhan'ın 1980 yılında yayımladığı ve Bulanık Küme Teorisinin HP'ye uyarlandığı çalışmaları HP'ye yeni bir çığır açmıştır. Sonraki yıllarda Nakamura, Hannan, Inuiguchi, Wang ve Fu, Lin ve Chen gibi araştırmacılar bu alanda birçok çalışma üretmişlerdir (Erdin, 2007:88).

Hedef programlamanın bir değer hakkında çift yönlü tercihler olarak kullanılması onun gücü olarak düşünülebilir (Aniela ve diğerleri, 2003:22). Hedef programlamada da doğrusal programlama ve tam sayılı programlamadaki varsayımlar ve algoritmalar kullanılır. Bunlara ek olarak birden fazla amacın birlikte gerçekleşmesini ve bunların doyum şartlarını araştırır (Erdin, 2007: 87).

Karar problemleri amaçlarına göre "tek amaçlı" ve "çok amaçlı" olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tek amaçlı problemler, tek bir amaç fonksiyonunun optimize edilmesi ile karakterize edilebilirler. Gerçek hayatta optimize etmeye çalıştığımız amaç fonksiyonu sayısı çoğu zaman birden fazladır. Bu gibi durumlarda, genellikle en önemli olan amaç öncelikle dikkate alınır ve diğer amaçlar problemde ya kısıt olur ya da başka bir problem olarak ele alınır. Başka bir yaklaşım ise, çok sayıdaki amacın tek bir amaç haline getirilmesidir. Birbiriyle çelişen amaçların birlikte aynı ölçekte değerlendirilmesi ve bu nedenle tek bir amaç fonksiyonu olarak optimize edilmeye çalışılması oldukça zordur. Bu yaklaşımın eleştirilme sebebi, birbiriyle çelişen amaçların zorlamayla tek bir amaç haline getirilmesidir. Gerçek hayat Probleminde çelişen amaçlar aynı ölçekte değerlendirilse de, çelişen bu amaçları optimum yapan tek bir çözümün elde edilememesi söz konusu olabileceği gibi bulunan çözümün de uygun olmama durumu olabilir (Erdin, 2007:85-86). Hedef programlamanın ana düşüncesi, temelde çok amaçlı olan problemi tek amaçlı probleme dönüştürmektir (Baray, 2000: 343). Hedef programlama modelinde tespit edilen hedeflerin tümü modele dahil edilir.

Çözümün sonucunda tespit edilen hedeflerden herhangi bir sapma olup olmadığı belirlenir. Belirlenen hedeflerden sapmalar meydana gelmişse, kısıtlara uygun olarak bu sapmalar minimize edilmeye çalışılır. Böylelikle belirli kısıtlar altında, amaçları sağlayan optimal çözüm belirlenir (Erdin, 2007:86).

HP karar vericiye, amacın önceliklerine göre optimal bir çözüm sunarken, formülde de birbirine zıt ve karşıt amaçların bulunmasına olanak sağlamaktadır (Li ve diğerleri, 2004:596).

2.2. HEDEF PROGRAMLAMANIN TEMEL İLKELERİ

HP'nin temel ilkelerini aşağıda gösterildiği gibi özetleyebiliriz;

1. Hedef programlamada her bir amaç bir hedef olarak kabul edilir (Erdin, 2007:93);

2. Hedef programlamada hedeflerin gerçekleştirilmesinde öncelikler önemli bir yer tutar. Sırası atlatılmadan bütün hedefler tamamlanana kadar birinci öncelikli hedeften başlayarak hedefler gerçekleştirilir.

3. d_i^- i. belirlenen hedefin altında kalma durumunu, d_i^+ ise hedefin asılması durumunu gösterir.

4. Hedefin önem derecesine dikkat edilerek hedeflerden oluşan toplam sapma minimize edilmeye çalışılır.

5. Hedef programlama modelinde amaç fonksiyonu oluşturulurken, karar vericinin istekleri, sınırlı kaynaklar ve kontrol değişkenleri gibi koşullar göz önünde bulundurulur. Hedef programlama modelinde amaç fonksiyonları, karar değişkenlerinin matematiksel gösterimi olarak sunulabilir.

2.3. HEDEF PROGRAMLAMANIN YAPISI

Amaçlar: Amaçlar, kriterlerin karar vericilerin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle; amaçlar, karar vericilerin ulaşmaya çalıştıkları sonuçları ifade etmektedir. Amaçlar aynı doğrultuda ya da birbiriyle zıt yönde olabilmektedir (Evren ve Ülengin, 1992).

Hedefler: Hedefler, amaçların somutlaştırılmış ve belirli değerlere dönüşmüş hali olarak tanımlanabilir. Hedef programlamada sayısal hedefler probleme kısıt olarak eklenmektedir (Evren ve Ülengin, 1992).

Hedef programlama modelini oluşturan bileşenler şunlardır (Öztürk, 2005:292).

Karar Değişkenleri: Modelde karar verici tarafından değeri belirlenmeye çalışılan bilinmeyenlere karar değişkeni adı verilir. Karar değişkeni xi'ler ile gösterilir. Örneğin; istihdam edilecek insan sayısı, üretilmek istenen ürün miktarı, girdi miktarı (Öztürk, 2005:292).

Sistem Kısıtları: Doğrusal programlama modelindeki kısıtlara karşılık gelirler. Hiçbir sapma oluşmasına izin verilmeyen ve tam olarak sağlanması istenen kısıtlardır. Bu nedenle sapma değişkenleri bulundurmazlar. Problem yeniden modellenince değişmesi söz konusu olabilir. Doğrusal Programlamadaki gibi formüle edilir ve gerçekleştirilme önceliği bu kısıtlara aittir (Öztürk, 2005:292).

Sapma Değişkenleri: Hedeflerin altında veya üstünde elde edilen faaliyetlerin miktarını belirleyen değişkenlerdir. Sapma değişkenleri negatif değer alamazlar. Bir hedef için aynı anda hem üstünde hem de altında olamayacağından dolayı birinin değeri her zaman sıfır olur (Öztürk, 2005:292).

Hedef Kısıtları: Ulaşmak istediğimiz hedeflerin değerlerini gösteren fonksiyonlardır. Sistem kısıtları kadar değişmez olmayıp sistem kısıtları sağlandıktan sonra hedef kısıtlarının sağlanması süreci baslar. Hedeflenen ile gerçeklesen başarı arasındaki fark sapma olarak adlandırılır. Hedef tam sağlanması durumunda sapma sıfırdır. Hedefe ulaşılamamış ise negatif sapma, sağlanan başarı hedefin üstünde ise pozitif sapma oluşur. Pozitif sapmalar d_i^+ , negatif sapmalar d_i^- ile gösterilir Hedef kısıtlayıcısının " $\geq$ " yönünde olması durumunda di^+ istenen değişken ve d_i^- istenmeyen sapma değişkeni olur. Hedef kısıtlayıcısının " $\leq$ " yönünde olmasında ise d_i^- istenen ve d_i^+ ise istenmeyen sapma değişkeni olacaktır. Hedef kısıtlayıcısının "=" durumunda olmasında ise d_i^+ ve d_i^- her ikisi de istenmeyen sapma değişkeni olacaktır (Öztürk, 2005:292).

Amaç Fonksiyonları: Modeldeki amaç için belirlenen hedeften olabilecek sapmaları minimum hale getiren fonksiyona amaç fonksiyonu denir. Hedef programlamada, amaç fonksiyonun optimal değeri, sistem ve hedef kısıtlayıcılarının belirlediği çözüm alanı içinde aranır. (Öztürk, 2005:292).

Birleşik Amaç (Başarı) Fonksiyonu: Birleşik Başarı Fonksiyonu, bütün amaç fonksiyonlarının belirli bir öncelik seviyesi ve/veya ağırlığına göre toplam seklinde yazılmasıyla elde edilir. Başarı fonksiyonun oluşturulmasının nedeni, çok amaçlı modeli tek amaçlı bir model haline getirmektir. Böylelikle, asıl amaç hedeflerden olabilecek istenmeyen sapmalar toplamını en küçüklemek olacaktır (Öztürk, 2005:292).

2.4. HEDEF PROGRAMLAMANIN ALGORİTMALARI

Hedef programlamadaki iki temel metot Öncelikli Hedef Programlama ve Ağırlıklandırılmış Hedef Programlamadır. Bu her iki tip Hedef Programlama çözüm metodunun ortak amacı, hedeflerden oluşabilecek sapmaları sapmaları minimize etmektir (Chang ve Wang, 1997:304).

2.4.1. Öncelikli Hedef Programlama

Öncelikli hedef programlama aynı zamanda "Lexicographic" hedef programlama olarak da bilinir. Öncelikli hedef programlamanın kullanılabilmesi karar vericinin amaçlar arasında net tercihler yapabilmesine bağlıdır. Karar vericinin hedefler arasında hedeflerin önemi bakımından bir öncelik sırası belirlemesi gerekmektedir. Öncelikli Hedef Programlama metodunda hedefler için belirlenen öncelik derecelerinde bir hiyerarşi vardır (Chang ve Wang, 1997:304).

Hedefler arasındaki en yüksek dereceli önceliğe P_1, sonrakiler ise sırasıyla $P_2,\dots,P_n$ ile gösterilmelidir. Örneğin hedeflenen kâr, pazar payından daha önemli ise kâr hedefi pazar payı hedefinden önce gelir. Modeldeki öncelikli hedefler karar vericinin amaçlarının önemine göre sıralanır. Model daha sonra yüksek öncelikli hedefin optimum değerinin küçük öncelikli öncelikli hedef tarafından kötüleştirilmesine izin vermeyecek şekilde her seferinde bir hedefin değerini optimum yapar (Erdin, 2007:95).

$$\text{Min } G= \sum_{i=1}^{m} P_i(w_{1in}d_i^- + w_{1in}d_i^+),\ldots, \sum_{i=1}^{m} P_k(w_{2in}d_i^- + w_{2in}d_i^+) \quad \textbf{(2.1)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad \textbf{(2.2)}$$

$$X_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \qquad i=1,2,\ldots,m\ ,\ j=1,2,\ldots,n$$

$$P_1 >>> P_2 >>> \ldots >>> P_k \quad \textbf{(2.3)}$$

k: öncelik sırasının sayısı

m: kısıtların sayısı

n: xj karar degiskenlerinin sayısı

Birinci hedefin öncelik sırasını P1 ile gösterdiğinde, modelde ilk olarak öncelik seviyesi birinci olan hedefin ve daha sonra da sırasıyla diğer hedeflere ait sapma değişkenlerinin ağırlıkları minimize edilmeye çalışılmalıdır. Önce P1 ve sonra da P2 sapma değişkenlerinin ağırlıkları minimize edilir. Bu işlem, belirlediğimiz öncelik seviyesindeki bütün sapma değişkenleri minimize edilinceye kadar devam eder (Biswas ve Pal,2005:393).

2.4.2. Agırlıklandırmalı Hedef Programlama

Ağırlıklandırmalı hedef programlama, aynı zamanda “Archimedian” hedef programlama olarak da bilinir (Tamiz ve diğerleri, 1998:570). Bu yöntem ile meydana gelebilecek istenmeyen her bir sapmaya bir ağırlık verilmektedir. Bu ağırlıklar sapmaların karar almadaki önem derecelerini gösterir (Chang ve Wang, 1997:304). Modelde amaç fonksiyonu, problemdeki hedefleri temsil eden her bir fonksiyonun ağırlıklandırılmış toplamı haline getirilir. Bu yaklaşım sapma boyutlarının birbirinden farklı olduğu durumlarda önem kazanır. Bu metotta karşılaşılan iki zorluk, hedeflerin ağırlıklandırılmasının zor olması ile bu ağırlıkların sapmalar arasındaki boyut ilişkisini ve hedeflere ait göreceli önemleri açıklamasıdır (Erdin, 2007:96).

G amaç fonksiyonu, w_i’ler i’inci amaç fonksiyonun ağırlık çarpımı olmak üzere, n hedefli bir modelin amaç fonksiyonu;

$$\text{Min } G = \sum_{i=1}^{n} (w_i^{+} d_i^{+} + w_i^{-} d_i^{+}) \tag{2.4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j + d_i^{-} - d_i^{+} = b_i \tag{2.5}$$

$$X_j, d_i^{-}, d_i^{+} \geq 0$$

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

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

biçiminde tanımlanır. Amaç fonksiyonunda yer alan w_i'ler, her bir hedef için karar vericinin tercihlerini gösteren göreceli pozitif ağırlıklardır (Baray, 2000: 349). Ağırlıklara verilen değerler karar vericilere göre değişkenlik gösterebilir.

Modelde gösterilmiş olan i. hedef için tanımlanmış kısıtın yönü $\geq$ şeklindeyse, G amaç fonksiyonunda yer alan d_i^{+} değişkeni, eşitsizliğin yönü $\leq$, şeklindeyse d_i^{-} değişkeni en küçüklenecektir (Erdin, 2007: 97).

Hedef Programlama tekniğinde olduğu gibi Doğrusal programlama tekniğinde de öncelik sıralaması düşüncesi uygulanabilir. Birinci öncelik olarak kısıtların sağlanması ve ikinci öncelik olarak da amaç fonksiyonunun en iyilenmesi biçiminde ele alınabilir (Erdin, 2007: 97).

Öncelik sıralaması yöntemi doğrusal programlama modellerine de uygulanabilmektedir. Söz konusu doğrusal programlama, doğrusal kısıtlar ve sınırlamalara bağlı olarak tek bir amaç fonksiyonunun en iyilemesi olarak yazılabilmektedir. Sistem kısıtları eldeki kısıtları ifade ettiğinden dolayı doğrusal programlama, ilk önce kısıtların sağlanmasını ve daha sonra da amaç fonksiyonunun en iyilenmesini amaçlayan hedef programlama olarak değerlendirilebilmektedir (Erdin, 2007: 97).

2.5. HEDEF PROGRAMLAMANIN FORMÜLASYONU

ÇKKV tekniklerinden olan HP'de, eldeki sınırlı kaynaklara dikkat edilerek her bir amaca ulaşılmak istenir (Tamiz, 1996:199). Doğrusal Programlamada olduğu gibi Hedef Programlama da kısıtlayıcılar kümesi ve amaç fonksiyonları şeklinde iki bölümde incelenebilir (Erdin, 2007:98-99). Doğrusal programlamadaki kısıtlayıcılar ve amaç fonksiyonları Hedef Programlamadaki kısıtlayıcı kümesini oluşturur. HP modelinde ulaşılmak istenen erişim değerlerini karar vericinin belirlemesi gerekir. Burada belirlenen erişim değerli amaç fonksiyonları modeldeki kısıtlayıcı kümesine eşitlik halinde eklenir. Kısıtlayıcı kümesine bu şekilde eklenebilmesi için her bir hedef fonksiyonu için sapma değişkenlerinin tanımlanması gerekmektedir. Erişim düzeyinden ne kadar uzaklaşıldığını gösteren sapma değişkenleri pozitif ve negatif sapma olmak üzere ikiye ayrılır. d_i^- değişkeni ile gösterilen negatif sapma değişkeninim pozitif değer alması, o hedefin belirlenen erişim düzeyinin altında bir değer aldığını gösterir, d_i^+ değişkeninin pozitif olma durumu ise o hedef için belirlenen erişim değerinin aşıldığını göstermektedir. Pozitif ve negatif sapma değişkenlerinin her ikisinin 0'a eşit olması o hedef için belirlenen erişim düzeyine kesin olarak ulaşıldığını gösterir (Erdin, 2007: 98-99). Sapmalar tek yönlüdür. Hedeften aynı anda tek bir sapma söz konusu olduğundan sapma değişkenlerinin negatif değer almaması gerekmektedir (Erdin, 2007: 98).

Hedef programlama modelinde kullanılan amaç fonksiyonlarının farklı tipleri şöyledir (Schiederjans, 2004:260);

i) Min Z= $\sum_{i=1}^{n} di^- + di^+$ (i=1,2,3,…,n) **(2.6)**

Bu tür amaç fonksiyonları için herhangi bir ağırlıklandırma veya öncelik söz konusu olmayıp bütün negatif ve pozitif sapmaların toplamının minimum olması istenir.

ii) Min Z= $\sum_{i=1}^{n} p_k(di^- + di^+)$ k=(1,2,3,…,k), i=(1,2,3,…,n) **(2.7)**

Bu tip amaç fonksiyonu, hedeflerin önceliklerine göre sıralanması istendiği zaman kullanılır. Burada; k adet hedefin her biri için p_k öncelikleri kullanılır. Hedeflerdeki sapma değişkenlerine herhangi bir ağırlıklandırma yapılmamaktadır. Hedefler için verilen öncelikler sayesinde hedeflerin düzenli bir şekilde yapılanmasını sağlayan bir sıralama oluşturulur. Amaç fonksiyonunun oluşturulabilmesi için çok önemliden az önemliye doğru sıralanan hedeflerden ilk önce birinci öncelikli hedefin ve daha sonra da sırasına göre diğer hedeflerin karşılanması gerekir. Bu İlişki matematiksel olarak $P_1 >> P_2 >> \ldots >> P_K$ olarak gösterilebilir.

iii) Min Z= $\sum_{i=1}^{n} w_k p_k (d_i^- + d_i^+)$ (k=1,2,3,…,k), (i=1,2,3,…,n) **(2.8)**

Hedefler hem önceliklerine göre sıralanır hem de sapma değişkenleri ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırma w ile gösterilir ve k'ıncı seviyede ve i'inci hedeften meydana gelen sapmaya ilişkin matematiksel ağırlık olarak adlandırılır.

Yukarıda belirtilen amaç fonksiyonlarından hangisinin kullanılacağına problemin durumuna göre karar verilir. Problemde hedeflere herhangi bir öncelik sıralaması verilme gereği olmadığı durumlarda birinci amaç fonksiyonu kullanılır. Hedefler önceklikler ine göre sıralanır ve sapma değişkenleri için böyle bir durumun söz konusu olmadığı durumda ikinci amaç fonksiyonu kullanılır. Hem hedeflerin sıralanması hem de sapma değişkenlerinin ağırlıklandırılması gerektiğinde ise üçüncü amaç fonksiyonu tercih edilir.

Her hedef aynı zamanda amaç fonksiyonunda da bulunan bir veya iki sapma değişkeni bulundurur. Kısıtlar sadece pozitif veya negatif sapma değişkenleri olabileceği gibi aynı anda her ikisini birden içerebilmektedir (Erdin, 2007:100).

Hedef programlamada amaç fonksiyonu kurulurken karar vericinin istekleri ve kısıtlı kaynaklar dikkate alınır. Amaç fonksiyonlarını önem seviyelerine göre birinci grup amaçlar, ikinci ve üçüncü grup amaçlar olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür. Birinci grup amaçlar; kar maksimizasyonu, üretim zamanı minimizasyonu, kapasite maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu ve hatalı ürün minimizasyonunu içerir. İkinci grup amaçlar; zaman, bütçe ve hammaddedir. Bunların ortak özelliği elimizde sınırlı miktarlarda bulunması ve optimal kullanımlarının gerekliliğidir. Üçüncü grup amaçlar ise değişkenler üzerindeki bazı kısıtlamalardır (Erdin, 2007:100).

Doğrusal hedef programlama probleminin formülasyonu aşağıda gösterildiği gibidir (Kwak ve diğerleri, 1991:336).

Min Z= $\sum_{i=1}^{M} w_i P_i(d_i^+ + d_i^-)$ **(2.9)**

$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_{ij} + d_i^- - d_i^+ = b_i$ (hedef kısıtları) **(2.10)**

$Cx \leq c$ (sistem kısıtı) **(2.11)**

$x_{ij}, d_i^-, d_i^+ \geq 0$ $(i=1,2,3,\ldots,m;\ j=1,2,3,\ldots,n)$

şeklinde yazılabilir.

x_{ij}: Karar değişkenleri,

b_i: i' inci hedef düzeyi,

d_i^- : Hedeften negatif sapma değeri,

d_i^+: Hedeften pozitif sapma değeri,

w_i: i. hedefin sapma değişkenlerine verilmiş olan matematiksel ağırlıklar (diferansiyel ağırlık),

c: Eldeki kaynak,

C: Sistem kısıtı ile ilgili matris katsayısı,

P_i: i hedefine verilen öncelik, $(P_i >>> P_{i+1})$,

a_{ij}: Karar değişkeni katsayısını gösterir.

Burada bi değerleri, karar vericiler tarafından belirlenen hedef değerleridir. d_i^+ ve d_i^- değerleri ise i'inci hedeften pozitif ve negatif sapmaları göstermektedir. aij değeri de karar vericinin değer fonksiyonuna bağlıdır (Kwak ve diğerleri, 1991:336).

Kullanılan bazı modellerde hedeflerin tamamının karşılanması yerine, G_k ile hedefe ait alt sınır veya üst sınır hedefi tanımlanabilir. Eğer G_k, k'ıncı hedef değerinin alt sınırını ifade ediyorsa (Erdin, 2007:102);

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j \geq G_k$$

eşitsizliği kullanılır. G_k kısıtında pozitif ve negatif sapma değişkenlerimiz de yer alacaktır, ancak gerçekte bu iki sapmanın aynı olması mümkün değildir. Bundan dolayı, amaç fonksiyonunda yer alan pozitif sapma değişkenini çıkartmak gerekir.

Çünkü belirlenen k'ıncı hedef değerinden küçük olan bütün sapmaların minimum yapılması istenmektedir.

Eğer G_k, k'ıncı hedef değerinin üst sınırını ifade ediyorsa;

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq G_k \quad \textbf{(2.12)}$$

eşitsizliği kullanılır.

Eşitsizlikten, G_k değerinden büyük olan miktarlar istenmediği için yalnızca d_i^+ sapma değişkeninin kullanılacağı ve bu sapma değişkeninin en küçüklenmek istendiği anlaşılmaktadır.

DHP modellerinde de DP modellerinde olduğu gibi sağlanması gereken varsayımlar bulunmaktadır. Bunlar, toplanabilirlik ve doğrusallık, sonlu olma, bölünebilirlik ve negatif olmama koşullarıdır. Hedef programlama yönteminin başarılı olması için bu varsayımları başarıyla yerine getirmesi gerekmektedir (Öztürk, 2005:36).

Toplanabilirlik ve Dogrusallık; Bu varsayım girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkinin aynı yönlü olduğunu gösterir. Girdiler ile çıktılar aynı aranda artar ya da azalır. Bununla birlikte, kullanılan kaynak toplamı ve oluşan toplam katkı, her faaliyet için ayrı ayrı kullanılan kaynakların toplamı ve bunların sağladığı katkıların toplamına eşittir.

Bölünebilirlik; Karar değişkenleri x_j ve sapma değişkenlerinin (d_i^- ve d_i^+) alabileceği değerlerin rasyonel olabileceği varsayımıdır.

Sonlu Olma Koşulu; Mevcut kaynak miktarlarının sınırlı olmasından dolayı modele giren kaynaklar da sınırlı olacaktır. Bu yüzden x_j, d_i^-, d_i^+ için elde edilen çözüm değerlerinin sonlu olduğu varsayımıdır.

Negatif Olmama Koşulu; Modeldeki tüm karar değişkenlerinin ve sapma değişkenlerinin değerleri sıfır veya sıfırdan büyük olmalıdır. Pozitiflik koşulu xj, d_i^-, d_i^+ ve ≥ 0 seklinde ifade edilir.

Hedef programlama modellerinin içerdiği özellikleri söyle özetleyebiliriz (Erdin, 2007:104);

1. Hedef programlama modelinde, tek bir amaç yerine birbiri ile çelişen birden çok amaç vardır.

2. Amaç fonksiyonunda yer alan hedeflerden oluşan sapmalar minimize edilir. HP'de çözüm aşamalarının amacı (-) ve (+) sapma değişkenlerinin minimisazyonunu sağlamaktır.

3. HP'de belirlenen öncelikteki hedeflerden başlanarak bu hedefleri gerçekleyen çözüme ulaşılmak amaçlanmaktadır. Ancak birden fazla hedef söz konusu olduğunda her bir hedefe sıfır sapma ile ulaşmak mümkün olamayabilir. Bu gibi durumlarda optimal çözüm en az sapma ile gerçekleşen çözümdür.

4. HP karar verici açısından esnek bir yapıya sahip olmasının yanında karar vericiye sağladığı bir diğer imkan da birden çok ve birbiriyle çelişen amaçları aynı anda sağlamaya çalışmasıdır.

5. HP'deki amaç fonksiyonlarında karar değişkeni (x_j) yer almaz, bunların yerine minimizasyonu istenen pozitif ve negatif sapma değişkenleri yer alınmaktadır.

6. HP modelinde yer alan hem karar değişkenleri hem de sapma değişkenleri ya sıfır ya da sıfırda büyük bir değer olmak zorundadır.

7. HP'nin teknik avantajları arasında hiçbir hedefin gerçekleşememe durumuna rağmen her zaman bir çözüm sunması yer almaktadır. Karşıt amaçların önceliklerine göre optimal sonuç elde edilmesinin yanında birbiri ile zıt amaçların da amaç fonksiyonunda yer almasına olanak verir. Amaçlara ulaşılıp ulaşılamadığını görmek için sapma değişkenlerinden faydalanılır. Amaç sapmaları minimize etmektir (Malczewski, 1999: 242).

8. Hedef programlamanın faydaları arasında, uygun çözümler bulmak amaçlandığından dolayı karar vericinin birçok amacı aynı anda göz önünde bulundurabilmesi bulunmaktadır (Zeleny, 1981: 358).

9. HP'nin maksimizasyon ve minimizasyondan farkı, belirlenen hedeflerden oluşabilecek sapmaların minimize edilmesi ve en az sapmalı çözümün bulunmasıdır (Malczewski, 1999:242).

10. HP'de optimizasyon fikrinden çok, karar vericinin doyurucu bulduğu çözümler bulunmaya çalışılır (Erdin, 2007: 89)

11. HP modeli, çok sayıda hedef veya amaçların yer aldığı doğrusal programlama problemlerine uygulanan bir tekniktir. Bu tekniğin amacı, amaçları doğrudan optimizasyon yerine belirlenmiş hedefler ve gerçekleşen sonuçlar arasında meydana gelen sapmaları minimize etmektir. Bu şekilde birbiriyle çelişen amaçlar yönetile bilinmektedir (Erdin, 2007: 89-90).

12. Çok kriterli karar probleminin hedef programlama olarak yazılabilmesi için amaçlar arasında önem derecelerine göre bir öncelik sırası oluşturulmalıdır. Problemin Hedef programlamaya dönüştürülmesi için her bir amaç için ulaşılmak istenen bir hedef değerinin belirlenmesi gerekmektedir (Rinquest, 1992: 19).

2.6. HEDEF PROGRAMLARIN DEZAVANTAJLARI

Hedef programlamanın dezavantajları aşağıda belirtilmiştir (Kaya, 2010: 44-45);

1. Problem ile ilgili ağırlık, öncelik sırası ve hedef değerlerinin karar verici tarafından belirlenmesi.
2. Karmaşık problemlerde Hedef programlamanın ihtiyaç duyduğu doğru bilgilerin karar vericiler tarafından sağlanmasının zor olması.
3. Hedeflere verilen ağırlıkları ve amaç değerlerini homojen hale getirebileceğimiz başka bir yola ihtiyaç vardır
4. Hedeflere ait öncelik sıraları veya hedeflere verilen ağırlıklar karar vericiden karar vericiye değişebilmektedir.
5. Genel amaç denklemini belirlemek bazen karmaşık olabilmektedir.
6. Karar vericinin koyduğu hedeflerin tutarlı olabilmesi için her bir hedefe ait değişim miktarının önceden kestirilmesi gerekebilmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK MANTIK

Mantık, bilim tarihi sahnesinde antik çağlardan günümeze dek sürekligelişim göstererek gelmiştir. Aristo (MÖ 322-294) doğada dağınık halde bulunan mantığı sistemli bir biçimde ele almıştır. Gautama Buddha, Aristo'dan yaklaşık iki yüzyıl önce dünyadaki herşeyin hem biraz doğru hem de biraz yanlış olabileceği çelilkisi ile dolu olduğunu farketmiştir. Geleneksel mantık sistemi, ikili mantık sisteminin hakim olduğu ve sadece belli koşullar altında gerçekleşebilen önermelerle ilgilenir. Bu önermeler kesin doğruluk değerine sahip doğru ya da yanlış önermelerdir. Bunun dışında üçüncü bir durumun (paradoks) gerçekleşmesinin mümkün olamayacağı varsayılır. Bununla beraber Platon, doğru ve yanlış zıtlarının ötesinde bir durumun varlığını gösteren bulanık mantığın ne olduğundan ilk defa söz eden kişidir (Baykal ve Beyan, 2004: 11).

3.1. MANTIĞIN GELİŞİMİ

Kökenini Arapça'daki "nutk" kelimesinden alan ve Yunanca' da "logos" kelimesine karşılık gelen mantık, bilim olarak doğru ile yanlış arasındaki akıl yürütmenin ayrımını yapabilen bilim dalıdır. Mantık kelimesi bir bilim dalına verilen isim olduğu gibi bir düşünce tarzı için de kullanılır. Herhangi bir sözün mantıklı olup olmadığı bilimden ziyade düşünce tarzı ile ilgilidir (Öner, 1986: 1).

Mantık, mevcut öncülleri kullanarak akıl yürütme yoluyla çıkarımlarda bulunma işlemidir. Düşünceden mantığa geçerken önermeler sözel olarak yapılır. Bundan dolayı mantık, saçma olan ile mantıklı olanın kelimelerle hesap yapılarak ayırt edildiği yöntem olarak adlandırılır (Baykal ve Beyan, 2004: 9).

3.2. KLASİK MANTIK VE ÖNERMELER

Mantığın sistematik bir hale dönüşmesi Aristoteles (MÖ 322-294) tarafından Aristo mantığı ile gerçekleşmiştir. Aristoteles mantığı, ikili mantık, klasik mantık veya siyah-beyaz mantığı olarak da adlandırıldığı gibi temeli de kıyaslamaya dayanmaktadır. Aristo mantığında mevcut zıtların ötesinde üçüncü bir bölgenin varlığı söz konusu değildir. Örneğin; siyah ve beyaz dışında üçüncü bölge olarak grinin olaması münkün olmamaktadır. Aristo mantığı kesin kalıplara dayanmakta olup olayları insan aklının algılayabileceği şekilde düzenler. Bu sayede bazı kabullerin yapılması ile bilimsel araştırmaların gelişmesine katkıda bulunmuştur (Şen, 2009: 11).

Klasik mantıkta yapılan işlemlerin özünü önerme türleri oluşturmaktadır. Önermeler düşüncelerimizi ifade ettiğimiz doğru ya da yanlış olan cünlelerdir. Önermelerde hükümler olmasına karşılık içinde hüküm olan her ifade de önerme olmayabilir (McCosh, 1991: 93). Mantık bir analiz yöntemi olup akıl yürütme methodlarının analizidir. Mantık, doğruluğunun herhangi bir şekilde tespit edilebilecek önermeyi ortaya koymakla ilgilidir. Klasik mantıkta doğru ve yanlış sırasıyla 1 ve 0 doğruluk derecesine sahiptir. Aristo mantığındaki klasik küme kavramında, bir öğe kümeye ait ise 1 değilse 0 değerini almaktadır. Üçüncü bölgenin varlığı kabul edilmediği için kümeye ait olma dereceleri göz önünde bulundurulmamaktadır (Buckley ve Eslami, 2002: 5).

3.3. SEMBOLİK MANTIK

Sembolik mantık, matematiksel bir yapıya sahip olan ve iki değerli mantığı sembolik bir dil içerisinde yapılandıran bir mantık türüdür. Sembolik mantığa aynı zamanda matematiksel mantık veya modern mantık da denilmektedir. De Morgan (1806-1876), George Boole (1815-1864) ve Stanley Jevons (1835-1882) klasik mantığı simgeleştirerek günümüz modern mantığın temellerini atmışlardır (Öner, 1986: 12).

Klasik mantık kısmen sembolik bir yapıya sahip olup günlük dile dayalıdır. Sembolik mantık ise günlük dilden farklı bir sembolik dil geliştirmesinden dolayı tamamen semboliktir. Bunu gerçekleştirirken hiçbir içeriksel öğeye yer vermez. Dile bu şekilde yerleştirilen semboller sayesinde günlük dilde var olan çok anlamlılık ve belirsizliklerin denetlenmesi zorluk ortadan kaldırılmıştır. Mantığa kesinlik kazandırılmaya çalışılması çıkarımların sembolik bir dil ile denetlenmesi sayesinde olmuştur.

Sembolik mantık, klasik mantığın geliştirilerek sembollerle sürdürülmesi olduğundan özdeşlik, çelişmezlik ve üçüncünün olmazlığı ilkelerine dayanan iki değerli bir mantıktır (Baykal ve Beyan, 2004: 25).

Özdeslik ilkesi, ele alınan iki şey arasındaki ilişkiden ziyade bir nesnenin kendisiyle aynı olması veya o nesne ne ise yine o olma zorunluluğudur. Bu ilke, bir şeyin kendisinden başka bir şey olamayacağı ve o şeyin ne ise o olması şeklinde ifade edilir. Özdeşlik kavramı benzerlik ve eşitlik kavramlarından ayrıdır. Bu ilkeye göre "A, A'dır" "A, A'ya benzerdir" diyemeyiz.

Çelismezlik ilkesi, bir nesneye ait bir niteliğin yine aynı nesneye ait olması ve olmaması durumlarının birlikte bulunmayacağını ifade eden ilkedir. Bu ilkenin mantıktaki karşılığı, önerme aynı zaman ve aynı konumda hem doğru hem de yanlış olamayacağıdır.

Üçüncü halin olmazlığı ilkesi ise klasik ve sembolik mantığın temelidir. Bu ilke aynı zamanda çelişmezlik ilkesinin bir sonraki aşamasını oluşturur. Bu ilke ile düşünce dünyamız doğru-yanlış olacak şekilde iki kesin bölüme ayrılır ve ortaya konan iki alternatiften sadece birini seçmemizi gerekli kılar (Öner, 1986: 3).

3.4. ÇOK DEĞERLİ MANTIK

Klasik mantığın aksine çok değerli mantık, her önerme için sade doğruluk ya da mutlak yanlıştan farklı olarak "belki" diye bir doğruluk değeri öngören mantık sistemidir. Jan Lukasiewicz (1878-1956) iki değerli Aristo mantığına karşı doğru ile yanlış arasında bir değeri olan üç değerli mantık önermiştir (Castro ve Zurita, 1996: 186).

Boole'nin ortaya attığı iki değerli mantığın değer kümesi {0, 1}değerlerinden oluşmaaktadır. Arend Heyting (1898-1980) Lukasiewicz'den aldığı üç değerli mantığın değer kümesini {0, ½, 1} olarak genişletmiştir. Bu değer kümesinde yer alan 1 ve 0 değerleri klasik mantıkta olduğu gibi sırasıyla önermenin doğru ve yanlışlığını gösterirken "½" ise o önermenin doğruluğu ya da yanlışlığı hakkında kararsız kalındığını gösterir (Baykal ve Beyan, 2004: 18).

3.5. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık kavramı 1965 yılında Amerika Birleşik Devletinde düzenlenen bir konferansta ilk kez tanıtılmıştır. Bulanık mantık ile ilgili ilk çalışma ise California Berkeley Üniversitesinden Lotfi A. Zadeh'in 1965 yılındaki Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets) adlı makalesi olmuştur. Zadeh bu çalışmasında, klasik mantığın aksine insan düşüncesinin kesin bir çizgisi olmadığını ve büyük bir kısmının bulanık olduğunu belirtmiştir (Zadeh, 1965: 338).

İnsanlar günlük yaşantılarında birçok belirsiz durum ile karşılaşır. Bu durumlar belirli varsayımlar, basitleştirmeler ve kabullerle sistematik öngörülere dönüştürülebilir. Ancak büyük parçalardan küçük parçalara doğru gidildiğinde kesin çizgilerin yerini daha bulanık ortamlara bıraktığı görülmüştür. Çok büyük boyutlara sahip bir cismin boyutu varsayımlar ve kabullenmelerle çok rahat hesaplanabilirken bu cisim giderek uzaklaştırıldığında sırasıyla önce iki boyuta daha sonra tek boyuta ve nihayetinde de hesaplanamayacak şekilde bir nokta haline gelir (Şen, 2009: 11-13).

Klasik mantık, bir elemanın bir kümeye ait olma ya da ait olmama gibi belirlilik ilkeleri üzerine kurulmuştur. Bu düşünce sisteminde belirsizlik durumunun işlenip olaylara dahil edilmesi mümkün olmamaktadır. Bulanık mantık dışındaki diğer tüm sistemler üçüncü halin olanaksızlığı ilkesine dayanmaktadır.çok keskin ve belirli çizgilere sahip olan klasik mantıkta belirsizlik halinin kabul edilmemesi ve sürekli dışlanması bu yaklaşımın bir dejavantaja sahip olmasına neden olmuştur. Bulanık mantık sayesinde kesin çizgilerden ziyade bir nesnenin kümeye kısmen de olsa üye olabileceği tanımlanmıştır (Fraisse ve diğerleri, 1997: 304).

Bulanık mantık hakkındaki ilk bilgiler Azerbaycan asıllı Lütfi Askerzade tarafından 1965 yılında literatüre mal edilmesine karşılık, bu fikirler ilk zamanlarda batı dünyası tarafından şüpheyle karşılanmış ve yoğun eleştiri almıştır. Ancak 1970 yıllarından sonra doğu ülkelerinde ve özellikle Japonya, Kore, Malezya, Singapur ve Hindistan gibi ülkelerde bulanık mantık ve bulanık sistem kavramlarına oldukça önem verilmiştir (Şen, 2009: 14,15).

Bulanık mantığın işleyişi bulanık küme ile açıkladığında, o nesnenin kümeye ait olma derecesinin o ile 1 arasında değerler aldığından söz edebiliriz. Bulanık kümelerde, '0' değeri o nesnenin kümeye ait olmadığını, 1 değeri ise kümeye tam üyeliğinin olduğunu göstermektedir. Klasik kümelerdeki ikili mantık fonksiyonu $\mu_{\underset{\sim}{A}}$:E→ $\{0,1\}$ bulanık kümelerde $\mu_{\underset{\sim}{A}}$:E→ $[0,1]$ fonksiyonuna dönüşür. Klasik kümede kesikli bir değer alırken bulanık kümede sürekli bir değer almaktadır (Bezdek, 1981: 11). Örneğin, $20C^0$ deki suyu ele alalım. Klasik mantıkta bu sıcaklık değerinin altındaki değerler soğuk iken üstündeki değerler de sıcak kabul edilmektedir. Bulanık mantığa göre ise $20C^0$nin altındaki ya da üzerindeki değerler belirli bir noktaya kadar, aldıkları üyelik derecelerine göre her iki kümeye de kısmen üyedir (Fraisse ve diğerleri, 1997: 304).

Aynı şekilde boyu 183cm ve üzeri olanlar klasik mantığa gör uzun insanlar kümesine ait iken 182cm uzunluğundaki birisi kısa insanlar kümesine ait olur. Bulanık mantığa göre ise boyu yaklaşık 183cm olan insanlar hem uzun boylu insanlar hem de kısa boylu insanlar kümesine sahip oldukları üyelik derecelerine göre kısmen üyedirler (Ross, 2004: 13,14).

Bulanık mantık, nümerik olmayan ve tam olarak tanımlanmamış durumlarda dilsel değişkenleri kullanarak karar vericiye problemlerin çözümünde yardımcı olur. Örneğin, karar vericiler seyahat ederken sayısal değerlerle ifade edilebilen maliyetin yanında iyi hizmet verilmesi gibi sayılarla ifade edilemeyen kriterleri değerlendirirken dilsel ifadelerden faydalanırlar. Bu dilsel ifadeler kesin çizgilerin olmadığını ve bu durumun bulanıklığını göstermektedir. Karar verici bu iki kriteri değerlendirirken belirli sınırlara bağlı kalmamaktadır (Leung, 1983: 65).

Bulanık mantık kavramının dünyanın değişik yerlerindeki araştırma merkezlerinde önem kazanması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan bir kontrol uygulaması ile başlamıştır. Buhar makinası üzerinde yapılan kontrolllerin bulanık mantık ile yapılması ve bu sistemlerle çalışılmasının çok kolay olduğu ve çok etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Dünyanın bir çok yerinde yavaş yavaş kullanılmaya başlanan bulanık mantık ve bulanık sistemler, sonraki yıllarda çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolünde, 1980 yılından sonra ise metrolarda, asansörler, elektrikli süpürgeler, çamaşır makinaları ve şirketlerin işletimi gibi bir çok alanda kullanılarak hızla büyümeye başlamıştır. Kullanıldığı alanlarda sağladığı enerji, iş gücü ve zaman tasarrufu bulanık mantığın önemini biraz daha ortaya koymuştur (Şen, 2009: 16).

3.5.1. Bulanık Mantık İlkeleri

Bulanık mantık, son yıllarda sorunların çözümünde sözel bilgilere yer vererek hem çözümlemede kolaylık sağlamış hem de diğer mantık sistemlerinin önüne geçmiştir. Bulanık mantığın temeli düşünce, terim, kavram, önerme ve çıkarımlara dayanır. Aşağıda diğer mantık türleriyle arasındaki farlar gösterilmiştir (Şen, 2011: 91-92):

- Bulanık mantıkta, klasik mantıkta yer almayan bazı belirsizlikler probleme dahil edilmiştir. Örneğin bulanık mantıkta güzel sıfatının sınıflandırılmasında “güzel”, “daha güzel”, “oldukça güzel”, “orta güzel” tanımlamaları yer alırken, klasik mantıkta güzellik denilince akla “güzel” ya da bunun karşıtı “çirkinlik”gelmektedir. Burada sayısal olmayan ve kişiden kişiye değişen “güzellik” sözel bir belirsizliktir. Bu tür belirsizlikleri bulanık mantık ile işlemek mümkündür.
- Bulanık mantık, çoklu mantık sistem ailesinin bir üyesidir. Klasik mantıktaki kesin çizgiler yerine bunların dışındaki üçüncü bölgeden sözeder. Bulanık mantıkta olaylar önermeler dmeti şeklinde olup ele alınan olayların denklemleri yoktur. Bulanık mantıkta sıkça kullanılan modellemelerin yapılabilmesi için öncelikli olarak olayı temsil edecek değişkenlerin sözel ifadelerine karar verilmesi gerekmektedir. Örneğin, kurulacak model silahlanma ile ilgiliyse, bu olayı temsil edeceksilah miktarı,mali kaynak ve modernlik gibi değişkenler ifade edilmelidir. Klasik mantıkta öncüller ve ardıllar mali kaynağın varlığı-yokluğu, silah miktarının çok olması-çok olmaması, silahların modern oluşu-modern olmayışı gibi ikili seçeneklerle sunulmaktadır. Klasik mantıktaki bu ikili seçenekler bulanık mantıkta yerini çoklu seçeneklere bırakmaktadır.

3.6. BULANIK KÜMELER

Bulanık kümeler kavramı ilk defa Azerbaycan kökenli Profesör Lofti A. Zadeh tarafından 1965 yılında tanıtıldı. Zadeh, bir bulanık kümede bir elemanın kümeye üyeliğin kabulü ya da reddi yerine, üyenin kümeye olan üyelik derecesiyle ilgili ilgilenmiş ve bulanık kümenin de bununla ilgili olduğunu savunmuştur. Günümüze kadar olan süreçte, Zadeh'in sunduğu bu öneri tutarsızlık ve belirsizlik kavramının gelişiminde önemli bir adım olarak önem kazanmıştır. Bu yenilik klasik ya da kesin kümelerden bulanık kümelere değişimi temsil etmektedir (Çelikyilmaz ve Türksen, 2009: 11).

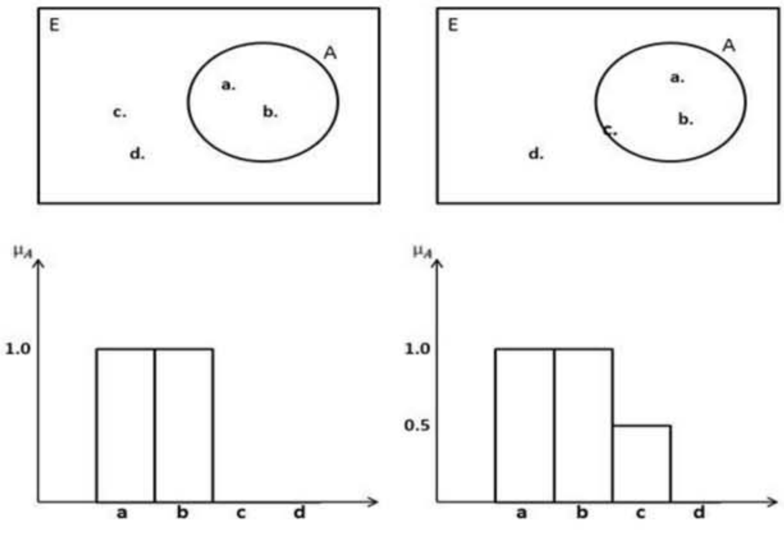
Gerçek dünyadaki bir çok problemde, bazı veriler tam olarak değerlendirilebilirken bazıları ise tam olarak değerlendirilemezler. Tam olarak ölçülebilen veriyi göstermek için gerçel sayılar kullanılırken tam olarak ölçülemeyen veriyi göstermek için ise bulanık sayılar kullanılmaktadır. Bulanık küme teorisi, ölçülemeyen bilgi, eksik bilgi ve elde edilemeyen bilginin kullanılmasına olanak tanır (Chang ve diğerleri, 2008: 332).

Yaşadığımız dünyada karşılaşılan nesneler sınıfı, sahip oldukları üyelik ölçütleri ile tam olarak tanımlanamazlar. Örneğin hayvanlar sınıfını ele alalım. Bu sınıfta köpekler, atlar, kuşlar sıralanabilir ancak bitkiler ve taşlar bu sınıflamaya dahil edilemezler. Bunların yanında, bakterilerin ve deniz yıldızlarının bu sınıflamanın elemanı olup olmaması ile ilgili bir belirsizlik mevcuttur.Benzer bir durumda da güzel kadınlar sınıfı ve uzun adamlar sınıfı kullandığımız matematik anlamında küme oluşturmazlar (Zadeh, 1965: 338). Sınıfıntan kişi gerçek uzun boylu seçildiğinde bu kişinin boyuna yakın boyda olan diğer kişiler uzun boylular sınıfına belli bir ait olma derecesine kadar dahil olurlar (Şen, 2009: 22).

Klasik karar teorilerinde, net durumlar altındaki karar vermede kesin küme ve fonksiyonlar kullanılır. Bu gibi durumlarda yapılan modelleme ve işlemlerin bir çoğu belli ve açıktır. Tanımlayıcı karar teorilerinde, daha çok ve daha azın yerine evet veya hayır ifadelerinin kullanımı kabul edilir fakat belirsizlikler genellikle sözlü olarak modellenir. Risk durumunda ya da kararsızlık altında kararlar verildiğinde belirsizlikler devreye girer (Zimmermann, 1987: 10).

Klasik kümede yer alan elemanların o kümeye ait üyelikleri ikili koşullara göre değerlendirilir. Bu durumda bir eleman o kümeye ya aittir ya da değildir.Klasik kümedeki bu düşüncenin aksine bulanık kümeler ise üyelik dereceleri olan elemanların bulunduğu kümelerdir (Wu ve Lee, 2007: 502). Şekildeki bulanık kümede, üyelerin üyelik derecelerinin [0,1] aralığındadeğerler aldığı görülmektedir. Bir elemanı üyelik derecesinin sıfır olması o elemanın o kümeye ait olunmadığını, bir değerini alması ise o elemanın o kümeye tam üye olduğunu gösterir. Diğer değerleri alan üyeler ise bulanık kümeye kısmi üyeleridir. Klasik kümede ise bir elemanın kümeye üyeliğinin sadece {0, 1} değerlerinden yalnızca birini aldığı görülmektedir (Hans ve Zimmermann, 1976: 210).

Şekil 4 : Klasik ve Bulanık Kümenin Grafik Gösterimi

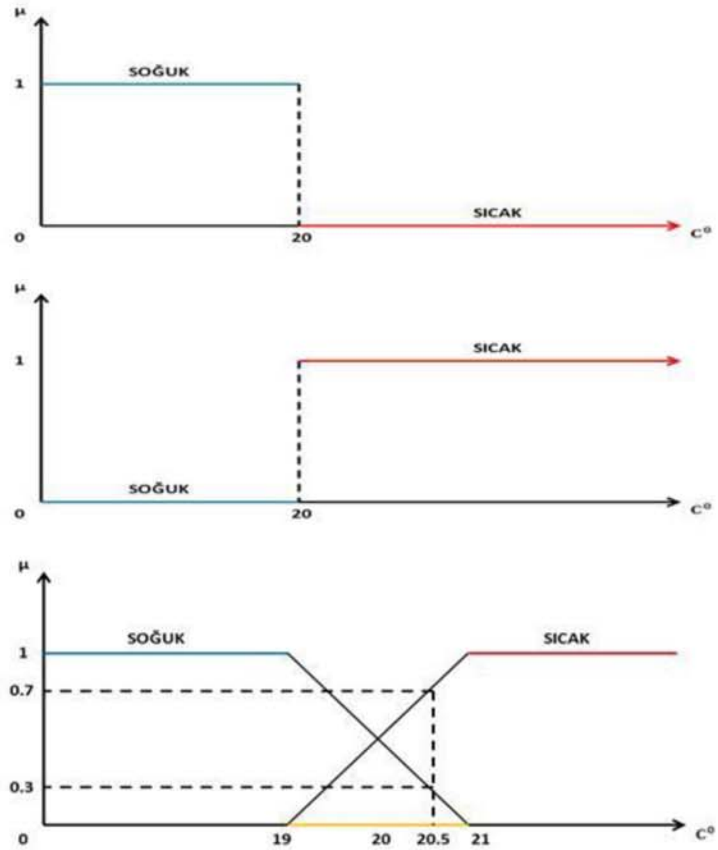


Kaynak: Baykal ve Beyan 2004: 77.

Şekil 4, bulanık bir kümenin sahip olacağı üyelik fonksiyonunun değer kümesinin [0,1] aralığında sürekli değerler aldığını, klasik kümenin ise {0, 1} değerlerinden yalnızca birini aldığını göstermektedir (Baykal ve Beyan, 2004: 77).

İnsan düşüncelerindeki bulanıklığı sayısal olarak ifade etmeye çalışan Zadeh, kümeye ait olmayı ikili koşullara göre değerlendiren klasik kümeler yerine, kısmi üyeliğinde var olduğu bulanık kümeler teorisini geliştirmiştir. Zadeh'in sunduğu bulanık küme teorisi, klasik kümelerde kullanılan iki değerli üyeliği çok değerli üyeliğe taşıyarak bu formu genelleştirmiştir (Zadeh, 1965:339).

Şekil 5: Klasik ve Bulanık Kümenin Grafik Gösterimi



Kaynak: Fraisse ve diğerleri 1997: 304.

Şekilde klasik kümelerde sınırların net olduğu ve $20C^0$ derecenin altındaki değerlerin soğuk, üzerindeki değerlerin ise sıcak olarak kabul edildiği görülmektedir. Bulanık kümelerde ise $20.5C^0$ derecenin hem soğuk hem de sıcak kümelerine üye olduğu görülmektedir. Şekilde $20.5C^0$ derecenin soğuk kümesine 0.3 üyelik derecesiyle üye olduğu ve bunun sıcak kümelerdeki karşılığının ise 0.7 olduğu görülmektedir (Fraisse ve diğerleri, 1997: 304). Bulanık kümeler şu üç temel özelliğe sahiptir (Şen, 2009: 23):

- Bulanık kümelerde normalliğin sağlanması gerekir. Yanikümeye ait elemanlardan en az bir tanesinin kümeye üyelik derecesinin ‘1‘ olması gerekir. Bu da kümedeki elemanlardan en az bir tanesinin kümeye tam ait olduğu anlamına gelmektedir.
- Bulanık kümenin monotonluk şartını sağlaması gerekir.Bulanık kümelerdeki monotonluk, kümeye tam üyelik derecesine sahip elemanın yakınında bulunan elemanların üyelik derecelerinin 1’e yakın olması ve üyelik derecelerinin 0’a kadar artmadan azalması anlamına gelir. Bulanık kümelerin gösterimini sağlayan üyelik fonksiyonlarında tam üye olan elemanın üyelik derecesine yaklaştıkça bu değer 1’e yaklaşırken uzaklaştıkça da bu değer 1’den uzaklaşmaktadır. Bu ifade tam üyeliğe sahip elemanın sağındaki ve solundaki elemanların üyelik değerlerinin 1’e yakın olduğunu açıklamaktadır (Dombi, 1990: 6).
- Bulanık küme simetri özelliğine sahip ise kümeye tam üye olan elemen ya da elemanların sağında ve solunda eşit uzaklıkta olan elemanların eşit üyelik derecelrine saahip olması gerekmektedir.

Bulanık kümelerin en önemli faydalarından bir iyi tanımlanamamış olan karar problemlerinin ve dildeki belirsizliklerin matematiksel olarak efade edilmesine yardımcı olmasıdır (Zimmermann, 1978: 45).

3.6.1. Bulanık kümelerin gösterimi

Bulanık alt kümeler evrensel kümenin bir alt kümesi olarak tanımlanır. Bulanık alt küme kavramında “alt” terimi çoğu zaman kullanılmaz ve bu küme bulanık bir küme olarak adlandırılır. Klasik kümelerde kümeleri isimlendirmek için büyük harfler kullanılırken bulanık kümelerde $\underset{\sim}{A}$, $\underset{\sim}{B}$ ve $\underset{\sim}{C}$ sembolleri kullanılır (Sakawa ve diğerleri, 2013: 106).

Bulanık kümelerin matematiksel gösterimi küme elemanlarının aldıkları üyelik derecelerine göre sıralanması ve üyelik fonksiyonlarının tanımlanması olacak şekilde iki yöntem ile gösterilmektedir (Baykal ve Beyan, 2004: 76).

Bulanık kümelerdeki üyelik fonksiyonu klasik kümelerde yer alan ikili mantık fonksiyonunun aldığı aralıklarda sürekli değerlere sahip olan üyelik fonksiyonuna dönüşür.Bu üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir (Bezdek, 1981: 11):

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}:E\rightarrow[0,1] \quad \textbf{(3.1)}$$

Bulanık kümelerin bir başka gösterimi ise kümeye ait olan bir eleman ve bu elemanın kümeye üyelik derecesini gösteren sıralı ikili şeklinde ifade edilmesidir. Bu gösterim aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\underset{\sim}{A}=(x, \mu_{\underset{\sim}{A}}(x)) \;, \quad \forall x \in U \quad \textbf{(3.2)}$$

3.2'deki her bir $(x, \mu_{\underset{\sim}{A}}(x))$ sıralı ikilisine bir bulanık teklik denir. Evrensel kümede yer alan bulanık $\underset{\sim}{A}$ kümesi aşağıda gösterildiği gibi ifade edilir (Baykal ve Beyan, 2004: 76):

$$A=(\Sigma_i^n \ \mu_{\underset{\sim}{A}}(x_i)/x_i) \quad \textbf{(3.3)}$$

Beşe yakın tam sayılardan oluşan bir bulanık $\underset{\sim}{A}$ kümesinin [0, 10] evrensel kümesinde tanımlı olduğu kabul edilsin. $\underset{\sim}{A}$ kümesine ait bulanık teklikler tablo 3.1'deki gibi oluşturuluyor (Özkan, 2003: 41):

Tablo 3: Bulanık Teklikler

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0.0	0.1	0.3	0.7	0.9	1.0	0.9	0.7	0.3	0.1	0.0
	(0,0.0)	(1,0.1)	(2,0.3)	(3,0.7)	(4,0.9)	(5,1.0)	(6,0.9)	(7,0.7)	(8,0.3)	(9,0.1)	(10,0.0)
	0.0/0	0.1/1	0.3/2	0.7/3	0.9/4	1.0/5	0.9/6	0.7/7	0.3/8	0.1/9	0.0/10

Kaynak: Özkan, 2003: 41.

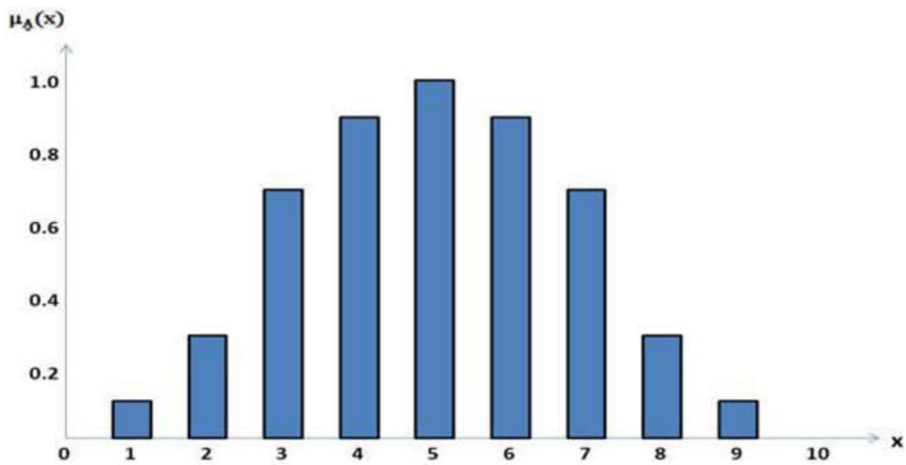
$$A = \sum_{i=0}^{10} \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)}{x} = \frac{0.0}{0} + \frac{0.1}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.9}{4} + \frac{1.0}{5} + \frac{0.9}{6} + \frac{0.7}{7} + \frac{0.0}{8} + \frac{0.1}{9} + \frac{0.0}{10}$$

Bulanık kümelerde sıfır üyelik derecesine sahip bulanık teklikler genellikle gösterilmediği için oluşan üyelik fonksiyonumuz aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = \frac{0.1}{1} + \frac{0.3}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.9}{4} + \frac{1.0}{5} + \frac{0.9}{6} + \frac{0.7}{7} + \frac{0.0}{8} + \frac{0.1}{9}$$

$\underset{\sim}{A}$ bulanık kümesine ilişkin üyelik fonksiyonu şekilde gösterildiği gibidir:

Şekil 6 : Beş Civarındaki Tamsayılar için Olası Bir Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Özkan, 2003:6.

3.6.2. Bulanık Küme Özellikleri

Bir bulanık kümenin sahip olduğu üyelik fonksiyonuna göre tanınlanmış eşitlik, yükseklik, normallik, kernel kümesi, destek kümesi, sınır kümesi, geçiş noktası, merkez, α-kesimleri, dış bükeylik, kardinalite ve kapsama gibi temel kavramlar vardır. Aşağıda bu kavramlar açıklanmaya çalışılacak.

Eşitlik Kavramı: $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ aynı evrensel kümeye ait iki bulanık küme olsun. $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ kümelerindeki her bir elemanın aldığı üyelik dereceleri eşit ise bu iki kümenin eşit olduğu söylenir. Sözü edilen bulanık kümelerin eşitliği sadece elemanlarının aldığı üyelik dereceleri bakımından olabilir. $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ bulanıkkümelerinin eşitliği matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir (Özkan, 2003: 36):

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) \qquad \forall x \in U \Leftrightarrow \underset{\sim}{A} \equiv \underset{\sim}{B} \tag{3.4}$$

Yükseklik Kavramı: Bir bulanık kümenin yüksekliği, o kümenin üyelik fonksiyonunda yer alan en büyük üyelik derecesidir. Bulanık kümenin yüksekliğini matematiksel olarak şöyle ifade edilir (Özkan, 2003: 36):

$$\text{yükseklik}(\underset{\sim}{A}) = \sup[\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)] \quad ; \ \forall x \in U \tag{3.5}$$

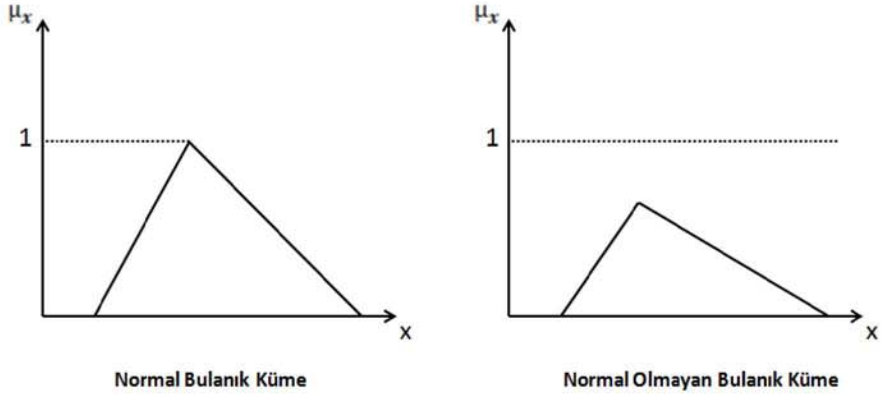
Normallik Kavramı: Bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonundaki üyelik derecesi 1'e eşit olan en az bir elemanı bulunuyorsa bu kümeye normal vulanık küme denir ve matematiksel gösterimi aşağıda gösterildiği gibidir (Ross, 2010: 91):

$$\text{yükseklik}(\underset{\sim}{A}) = \sup[\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)] = 1 \quad ; \ \exists x \in U \tag{3.6}$$

Bulanık kümede yer alan elemanların sahip olduğu üyelik dereceleri 1'den küçük ise bu tür bulanık kümelere normal altı bulanık kümeler denir. Normal altı bulanık kümedeki elemanlar ait oldukları kümeye kısmi üyedirler. Normal altı bulanık bir kümeyi normal bulanık kümeye dönüştürmek mümkündür ve elemanların üyelik derceleri en yüksek üyelik derecesine bölünerek yapılır. Matematiksel olarak aşağıda gösterildiği gibi gösterilmektedir
(Bojadziev ve Bojadziev, 2007: 10):

$$\text{norm}(\underset{\sim}{A}) = \frac{\text{yükseklik}(\underset{\sim}{A})}{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)} \quad ; \ \forall x \in U \tag{3.7}$$

Şekil 7: Normal ve Normal Olmayan Bulanık Kümeler



Kaynak: Ross, 2010: 91.

Kernel Kümesi: Bulanık kümelerdeki kernel kümesi kavramı,üyelik dereceleri 1'e eşit olan ve aynı zamanda evrensel kümenin de elemanı olan elemanların oluşturduğu topluluk olarak tanımlanır. Kernel kümesindeki tüm elemanların değeri 1'e eşit olduğundan dolayı kernel kümesi bulanık olmayan bir kümedir. $\underset{\sim}{A}$kümesi bulanık bir küme olmak üzere matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilir (Ross, 2010: 90):

$$\text{Kernel}(\underset{\sim}{A})=\{x \in U \mid \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = 1\} \quad \textbf{(3.8)}$$

Destek Kümesi: Destek kümesi, üyelik dereceleri sıfırdan farlı olan elemanların biraraya getirildiği küme olarak tanımlanır. Dayanak kümesi olarak da adlandırılan destek kümesini oluşturan her elemanın üyelik derecesi 0 ile 1 arasındadır. Destek kümesi bulanık olayan bir küme olarak tanımlanmaktadır. Destek kümesinin matematiksel göstermek aşağıdaki gibidir (Dubois ve Prade, 1980: 10):

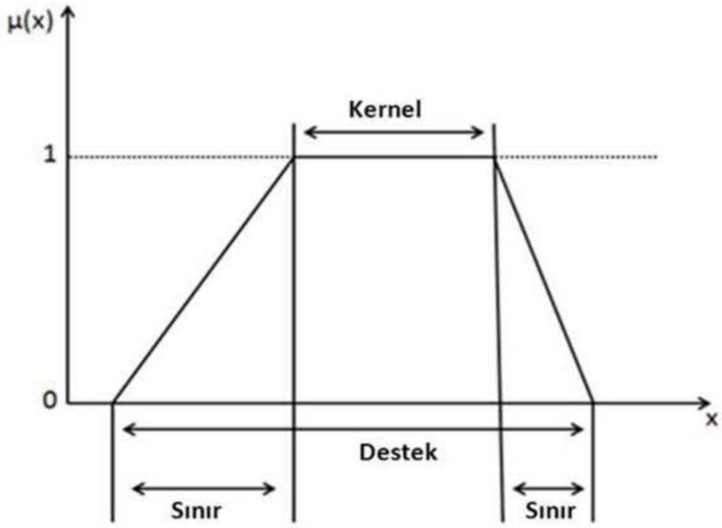
$$\text{Destek}(\underset{\sim}{A})=\{x \in U \mid \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) > 0\} \quad \textbf{(3.9)}$$

Sınır Kümesi: Bulanık kümelerde sınır kümesi, evrensel kümede tanımlı $\underset{\sim}{A}$ bulanık kümesine kısmi üyeliği olan elemanların oluşturduğu kümedir. Kümeye kısmi üyeliği olan ve üyelik dereceleri sıfırdan büyük olan elemanların gösterildiği küme olarak tanımlanmaktadır. Sınır kümesi de destek kümesi gibi bulanık olmayan ya da geleneksel kümedir. Geçiş bölgesinde yer alan elemanlar da kısmi elemanlar kümesine ait olup sınır kümesine dahildirler. Sınır kümesinin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Ross, 2010: 90-91):

$$\text{Sınır}(\underset{\sim}{A})=\{x \in U \mid 0 < \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) < 1\} \tag{3.10}$$

Şekilde 8, yukarıda açıklamaları yapılan kernel kümesi, destek kümesi ve sınır kümesi gösterilmiştir:

Şekil 8: Bir Bulanık Kümenin Kernel, Destek ve Sınırları

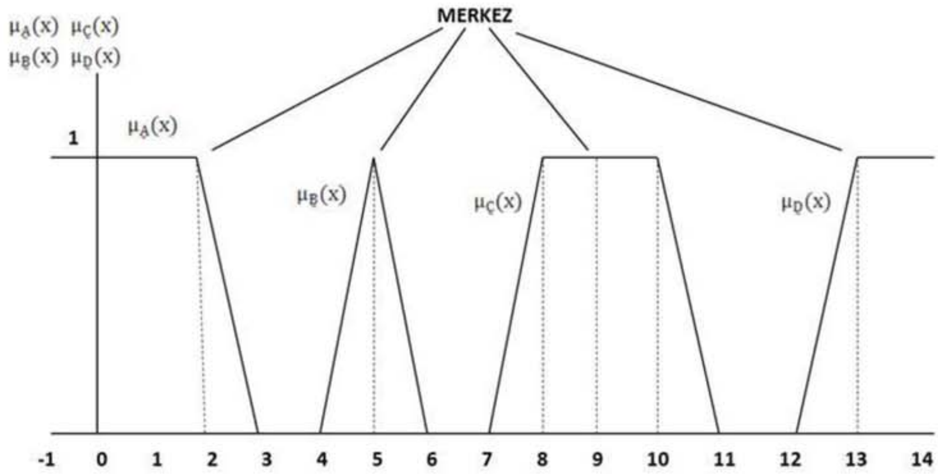


Kaynak: Ross, 2010: 90.

Geçiş Noktası (Cross-Overpoint): Bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonunun geçiş noktası, evrensel kümede tanımlı bir $\underset{\sim}{A}$ bulanık kümesinde, kümeye 0,5 üyelik derecesi ile üye olan elemanları ifade eder. Geçiş noktasındaki eleman her iki bulanık kümeye eşit oranda elemandır (Ross, 2010: 92).

Merkez Kavramı: Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunun aldığı değer sonlu olduğunda bu kümeye ait elemanların aldığı üyelik derecelerinin ortalaması o kümenin merkez değerini verir. Ortalama değerin pozitif veya negatif sonsuz değerine eşit olduğu durumda üyelik fonksiyonunun maksimum değerine ulaştığı noktalar arasından en büyük noktaya ya da en küçük noktaya o kümenin merkezi denir. Aşağıda A̰,B̰,C̰, D̰ bulanık kümelerine ait merkez noktaları gösterilmektedir (Wang, 1997: 27):

Şekil 9: Değişik Bulanık Kümeler için Merkez Noktaları



Kaynak: Wang, 1997: 27.

α-kesimleri Kavramı: Evrensel kümede yer alan bir bulanık kümenin α-kesimi, üyelik değeri en az seçilen α'ya eşit olan elemanların oluşturduğu geleneksel kümedir. Bu küme α=0 durumunda evrensel kümenin bütün elemanlarına, α=1 olduğu durumda ise kernel kümesine denk olur. Bir bulanık sayıya ait α-kesimi her zaman kapalı, sınırlı ve aralıklıdır (Buckley ve Siler, 2005: 73). Şekilde yer alan kümenin elemanlarının α değeri α∈(0,1] aralığında bir reel sayıdır. $A_{a_2} \subseteq A_{a_3}$ olması $\alpha_2 < \alpha_3$ şartınınsağlanması ile gerçekleşmektedir. α değerinin 1'e yaklaşması durumunda kümeye ait olan eleman sayısının azaldığı söylenebilir (Dubois ve Prade, 2000: 44).

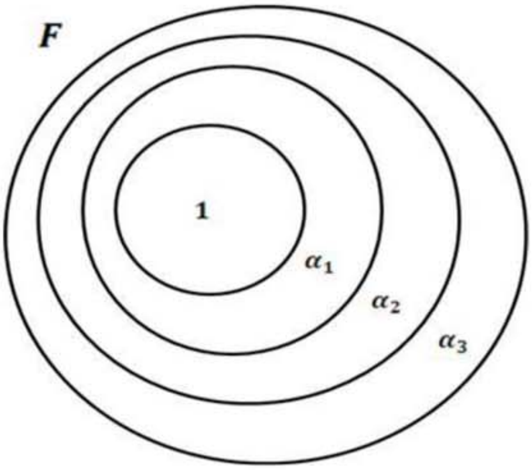
Bulanık sayının α-kesimi her zaman kapalı, sınırlı ve aralıklıdır (Buckley ve Siler, 2005: 73). Bulanık kümeler net kümeler ailesini genelleştirir. Şekil 3.7'deki kümede yer alan elemanların α değeri α∈ (0,1] olarak tanımlanan gerçel bir sayıdır. $\alpha_2 < \alpha_3$ olduğunda;

$$A_{\alpha} = \{x \in U \mid \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) > \alpha\} \quad ve \quad \alpha \in [0,1) \tag{3.11}$$

$$A_{\alpha} = \{x \in U \mid \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \geq \alpha\} \quad ve \quad \alpha \in [0,1) \tag{3.12}$$

3.11 ve 3.12'de matematiksel gösterimleri verilen üyelik fonksiyonları sırası ile güçlü α-kesimi ve zayıf α-kesimi olarak adlandırılır (Chen ve Pham, 2001: 37-38).

Şekil 10: Bulanık Kümelerin Yatay Görünümü

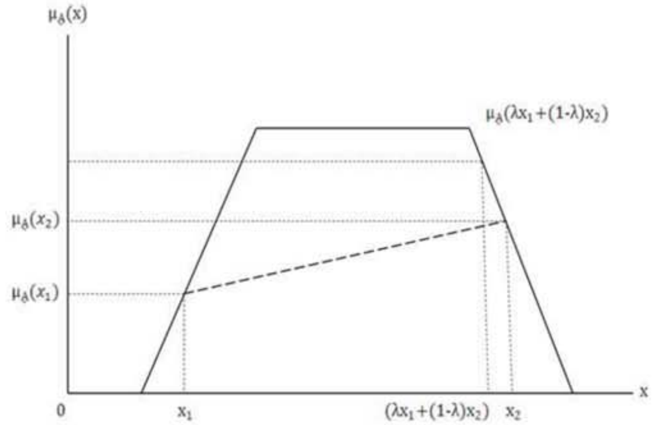


Kaynak: Dubois ve Prade, 2000: 45.

Dış Bükeylik - İç Bükeylik Kavramı: Dış bükeylik kavramı bulanık kümeler için de genelleştirilebilir ancak bunu yapabilmek için evrensel kümenin n-boyutlu öklitsel R^n uzay olma şartını sağlaması gerekmektedir. Bulanık bir $\underset{\sim}{A}$ kümesi (0,1] bütün α değerleri için dış bükey kümesine ait ise bu durumda dış bükeylik kavramından sözedilebilir (Wang, 1997: 28). Dış bükeylik optimizasyon problemlerinde ve sınıflandırmalarda oldukça önemlidir. Bu kavram $x_1, x_2 \in U$ ve $\lambda \in [0,1]$ koşullarını sağlayacak şekilde aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Zadeh, 1965: 346):

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}[\lambda x_1 + [1-\lambda]x_2] \geq \min[\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_1), \mu_{\underset{\sim}{A}}(x_2)] \tag{3.13}$$

Şekil 11: Dış Bükey Bulanık Bir Küme



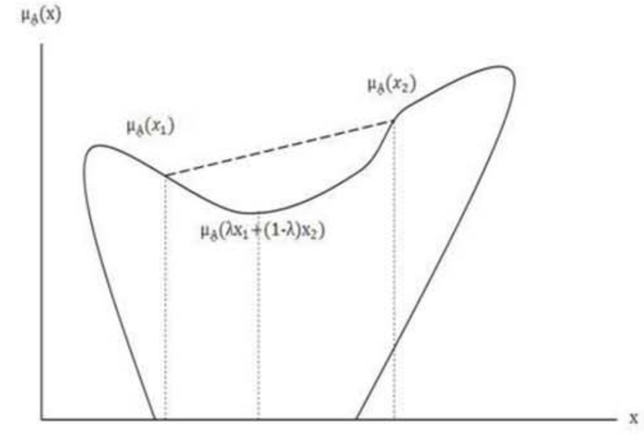
Kaynak: Passino ve Yurkovich, 1998: 104.

$\underset{\sim}{A}$ bulanık kümesi dış bükey bir küme olsun. Bu durumda bu kümenin tümleyeni iç bükey bir kümeye dönüşmüş olur. $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ gibi iki dış bükey bulanık kümenin kesişimleri de yine dış bükey bir kümedir. Benzerşekilde $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ bulanık kümeleri iç bükey kümeler ise bu bulanık kümelerin birleşimide iç bükey bir küme oluşturur. İç bükeylik kavramı, $x_1, x_2 \in U$ve $\lambda \in [0,1]$ koşullarını sağlayacak şekilde aşağıdaki gibi ifade edilir (Bellman ve Zadeh, 1970: 146):

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}[\lambda x_1+[1-\lambda]x_2] \leq \max[\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_1),\mu_{\underset{\sim}{A}}(x_2)] \quad \textbf{(3.14)}$$

Dış bükey olmayan bulanık bir küme Şekil 12'de grafik olarak verilmiştir:

Şekil 12: Dış Bükey Olmayan Bulanık Bir Küme



Kaynak: : Passino ve Yurkovich, 1998: 104.

Kardinalite Kavramı: Kardinalite kavramı, bir $\underset{\sim}{A}$ bulanık kümesinde yer alan her bir elemanın almış olduğu üyelik derecelerinin toplamını göstermektedir. Bu kavram klasik kümelerdeki eleman sayısı kavramıyla aynı anlama gelmektedir.sonlu bir $\underset{\sim}{A}$ bulanık kümesinin kardinalitesi Card(A) şeklinde ifade edilir (Kandel, 1986: 18). Kardinalite kavramı, alt küme olma derecesi şeklindeki kural ve özellikleri tanımlama ile bulanıklıktan arındırma işlemi için gerekli bir kavramdır. Normal altı bulanık kümeler için normalizasyon faktörü için kullanılmaktadır (Özkan, 2003: 41):

$$\mathrm{Card}(\underset{\sim}{A})=\sum_{i}^{n} \mu_{\underset{\sim}{A}}(x_i) \qquad \textbf{(3.15)}$$

Alt Küme ve Kapsama: Bulanık kümelerde alt küme ve kapsama kavramları klasik kümedeki alt küme ve kapsama kavramıyla aynı anlama gelmektedir. Bir $\underset{\sim}{A}$ kümesinin bütün elemanları $\underset{\sim}{B}$ kümesininde elamanı ise $\underset{\sim}{A}$ kümesinin $\underset{\sim}{B}$ kümesinin bir alt kümesi olduğu ya da $\underset{\sim}{B}$ kümesinin $\underset{\sim}{A}$ kümesini kapsadığı söylenir. Bu durumun matematiksel gösterini aşağıdaki gibidir (Baykal ve Beyan, 2004: 67):

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \leq \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) \qquad \forall x \in U \qquad \underset{\sim}{A} \subseteq \underset{\sim}{B} \qquad \textbf{(3.16)}$$

Bulanık Kümelerde Üs Alma: Bulanık kümelerde üs alma işlemi, bulanık birleşim, bulanık kesişim, bulanık tümleme ile bulanık mantık işlemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Aşağıdaki gösterimde kullanılan β parametresi pozitif bir değere sahip olmalıdır. Bulanık kümelerdeki üs alma işleminin matematiksel gösterimi aşağıda gösterilmektedir (Özkan, 2003:37)

$$\mu_{A}\beta\ x \ = \ \mu_{A}\ x \quad ^{\beta} \qquad \textbf{(3.17)}$$

3.6.3. Bulanık Küme İşlemleri

Aynı evrensel kümede bulunan klasik kümeler için birleşim, kesişim ve tümleme olmak üzere üç temel işlem bulunmaktadır ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

A ve B aynı evrensel kümede yer alan iki küme olsun. Bu durumda birleşim, kesişim ve tümleme işlemi (Chen ve Pham, 2001: 68):

$$\mu_A(a \cap b) = \mu_A(a) \cap \mu_A(b) = \min\left(\mu_A(a), \mu_A(b)\right) \quad \textbf{(3.18)}$$

$$\mu_A(a \cup b) = \mu_A(a) \cup \mu_A(b) = \max\left(\mu_A(a), \mu_A(b)\right) \quad \textbf{(3.19)}$$

$$\mu_A(\bar{a}) = 1 - \mu_A(a) \quad \textbf{(3.20)}$$

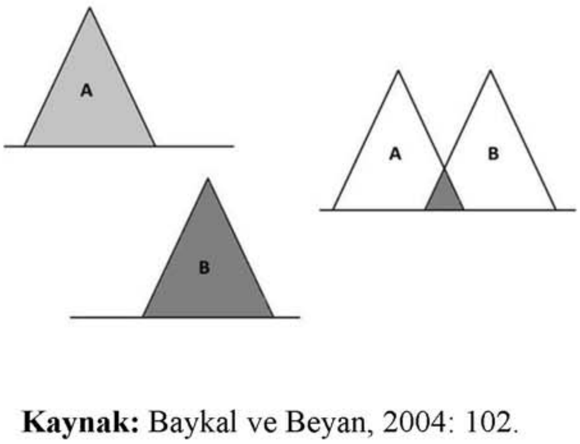
Şeklinde tanımlanır.

Geleneksel kümelerde kullanılan üç temel işlem bulanık kümelere de uygulanabilir. Bu işlemlerin uygulanabilmesi için genel olarak minimum, maksimum ve değilleme işlemcileri kullanılır. Bulanık kümelere uygulanan bu işlemcilerin matematiksel ifadesi ve grafik gösterimi aşağıdaki gibidir (Chen ve Pham, 2001: 71):

Bulanık Kesişim İşlemi

$$\mu_{\underset{\sim}{A} \cap \underset{\sim}{B}}(x) = \min\left(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)\right) \quad \textbf{(3.21)}$$

Şekil 13: Bulanık Kümelerin Kesişim İşleminin Gösterimi

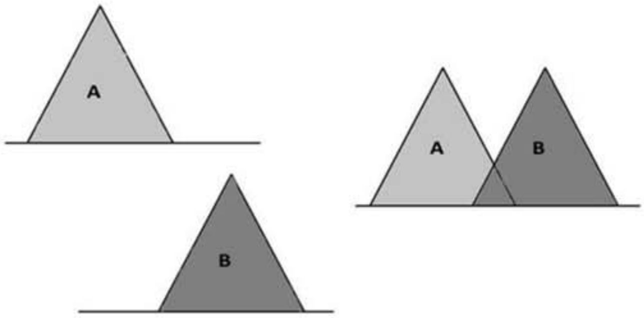


Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 102.

Bulanık Birleşim İşlemi

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \max\left(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)\right) \quad \textbf{(3.22)}$$

Şekil 14: Bulanık Kümelerin Birleşim İşleminin Gösterimi

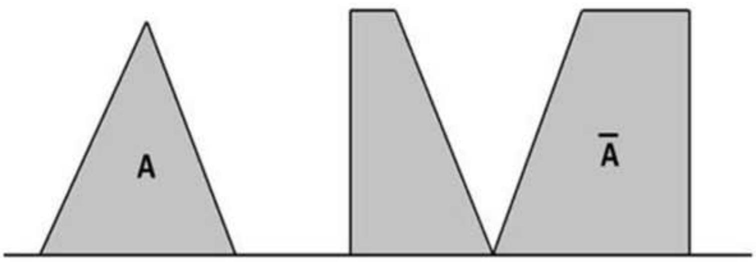


Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 99.

Bulanık Tümleme İşlemi

$$\mu_{\Rightarrow\bar{\underset{\sim}{A}}}(x) = 1 - \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \quad \textbf{(3.23)}$$

Şekil 15: Bulanık Kümelerin Tümleme İşleminin Gösterimi



Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 96.

Bulanık kümelere uygulanan birleşim, kesişim ve tümleme işlemlerinin temel özellikleri aşağıda gösterilmiştir (Jones ve diğerleri, 1986: 191-192):

Değişme: $\begin{cases} \mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{B}\cap\underset{\sim}{A}}(x) \\ \mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{B}\cup\underset{\sim}{A}}(x) \end{cases}$ **(3.24)**

Birleşme: $\begin{cases} \mu_{\underset{\sim}{A}\cap(\underset{\sim}{B}\cap\underset{\sim}{C})}{}^{(x)} = \mu_{(\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B})\cap\underset{\sim}{C}}{}^{(x)} \\ \mu_{\underset{\sim}{A}\cup(\underset{\sim}{B}\cup\underset{\sim}{C})}{}^{(x)} = \mu_{(\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B})\cup\underset{\sim}{C}}{}^{(x)} \end{cases}$ **(3.25)**

Dağılma: $\begin{cases} \mu_{\underset{\sim}{A}\cap(\underset{\sim}{B}\cup\underset{\sim}{C})}{}^{(x)} = \mu_{(\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B})\cup(\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{C})}{}^{(x)} \\ \mu_{\underset{\sim}{A}\cup(\underset{\sim}{B}\cap\underset{\sim}{C})}{}^{(x)} = \mu_{(\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B})\cup(\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{C})}{}^{(x)} \end{cases}$ **(3.26)**

Yansıma: $\begin{cases} \mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{A}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \\ \mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{A}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \end{cases}$ **(3.27)**

Özdeşlik: $\begin{cases} \mu_{\underset{\sim}{A}\cap\emptyset}(x) = \mu_{\emptyset}(x) \\ \mu_{\underset{\sim}{A}\cup\emptyset}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \\ \mu_{\underset{\sim}{A}\cap U}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) \\ \mu_{\underset{\sim}{A}\cup U}(x') = \mu_{U}(x) \end{cases}$ **(3.28)**

Çift Değilleme: $\{\mu =_{\underset{\sim}{A}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x)$ **(3.29)**

De Morgan Kuralları: $\begin{cases} \mu_{\overline{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) \\ \mu_{\overline{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) \end{cases}$ **(3.30)**

Bulanık Kesişim Kümesi

$\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ bulanık kümeleri evrensel kümede tanımlı iki küme olsun. Bu kümelere ait üyelik fonksiyonları $\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)$ ve $\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)$ olarak tanımlanmaktadır. $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ kümelerine ait üyelik fonksiyonlarını $\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonuna dönüştüren eşleşme, t:[0, 1]x[0, 1]→[0, 1] olarak tanımlanmaktadır. Tanımda yer alan her bir [0, 1] terimi, kesişimi alınan bulanık kümeler ve oluşan bulanık kesişim kümesinin alabileceği üyelik değerlerini göstermektedir. Keşişim sunucu oluşan küme yine bir bulanık küme olduğundan dolayı oluşan kümenin alabileceği değerler de [0, 1] aralığında yer almaktadır. Dönüşümü sağlayan t-eşleşmesi aşağıda gösterilmektedir (Novak ve diğerleri, 1992: 90):

$$t\left[\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)\right] = \mu_{\underset{\sim}{A} \cap \underset{\sim}{B}}(x) \quad \textbf{(3.31)}$$

Ele alınan bir t-eşleşmesinin kesişim kümesi olarak değerlendirilebilmesi için aşağıda verilen eşitlikleri sağlaması gerekmektedir (Dubois ve Prade,1980:18).

Sınır Koşulu:

$$t(0\,,\,0)=0 \quad \text{ve} \quad t\,\mu_A\,x\,,\,1 = t\,1,\,\mu_A\,x = \mu_A\,x \quad \textbf{(3.32)}$$

Değişme Koşulu:

$$t\,\mu_A\,x\,,\,\mu_B\,x = t\,\mu_B\,x\,,\,\mu_A\,x \quad \textbf{(3.33)}$$

Artan Olmama Koşulu:

Eğer $\mu_A\,x \le \mu_C\,x$ ve $\mu_B\,x \le \mu_D\,x$ ise, aşağıda verilen eşitsizlik doyurulmalıdır.

$$t\,\mu_A\,x\,,\,\mu_B\,x \le t\,\mu_C\,x\,,\,\mu_D\,x \quad \textbf{(3.34)}$$

Birleşme Koşulu:

$$t\,\mu_A\,x\,,\,t\,\mu_B\,x\,,\mu_C\,x \le t\,t\,\mu_A\,x\,,\mu_B\,x\,,\mu_C\,x \quad \textbf{(3.35)}$$

Literatürde, bulanık kesişim kümesi için kullanılan birçok parametrik t-eşleşmeleri bulunmaktadır. Bunlardan cebirsel çarpım, sınırlı çarpım, drastik çarpım, minimum ve Einstein çarpımı gibi parametrik olmayan t-eşleşmeleri ile Yager sınıfı, Hamacher sınıfı, Frank sınıfı, Dombi sınıfı ve Dubois-Prade sınıfı gibi parametrik t-eşleşmeleri yaygın olarak kullanılmakta ve matematiksel gösterimleri aşağıda gösterilmiştir (Özkan,2001:23)

Cebirsel Çarpım:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) \tag{3.36}$$

Sınırlı Çarpım:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \max[0, \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) + \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) - 1] \tag{3.37}$$

Drastic Çarpım:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \begin{cases} \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) & ;\text{eğer } \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) = 1 \text{ ise} \\ \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) & ;\text{eğer } \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = 1 \text{ ise} \\ 0 & ;\text{eğer } \mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) < 1 \; ise \end{cases} \tag{3.38}$$

Minimum:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \min(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)) \tag{3.39}$$

Einstein Çarpımı

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)}{2 - (\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) + \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) - \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x))} \tag{3.40}$$

Yager Sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = 1 - \min\{1, \left[\left(1 - \mu_{\underset{\sim}{A}}(x)\right)^{w} + \left(1 - \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)\right)^{w}\right]^{1/w} \tag{3.41}$$

Yukarıdaki gösterimde kullanılan w parametresi (0,∞) aralığında tanımlanmaktadır. w parametresinin 0 olması durumunda t-eşleşmemiz drastic çarpım, ∞ olması durumunda ise minimum t-eşleşmesine yaklaşmaktadır (Özkan, 2001:24).

Hamacher Sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)*\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)}{\gamma+(1-\gamma)(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)+\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)-\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)*\mu_{\underset{\sim}{B}}(x))}\gamma \qquad \textbf{(3.42)}$$

Yukarıdaki gösterimde yer alan γ parametresi (0,∞) aralığında yer alabilen bir parametreir.

Frank Sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(\mathrm{x}) = log_s\left[1+\frac{\left(s^{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)}-1\right)\left(s^{\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)}-1\right)}{s-1}\right] \qquad \textbf{(3.43)}$$

Yukarıdaki gösterimde yer alan s parametresi, s>0 ve s≠1 değerlerini alabilen bir parametredir. S parametresi 0'a giderken minimum, 1'e giderken cebirsel çarpım ve ∞'a giderken de sınırlı çarpıma yakınlaşır (Özkan, 2003:25)

Dombi Sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(\mathrm{x}) = \frac{1}{1+\left[\left(\frac{1}{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)}-1\right)^{\lambda}+\left(\frac{1}{\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)}-1\right)^{\lambda}\right]^{1/\lambda}} \qquad \textbf{(3.44)}$$

Yukarıdaki eşitlikte λ parametresi (0,∞) aralığında tanımlanmaktadır. dombi sınıfı t-eşleşmesinde bulanık kesişim kümesi hesaplanırken ele alınan kümeler arasında üyelik derecesi sıfır olan kümelerin üyelik dereceleri dikkate alınmamaktadır (Özkan, 2003:25).

Dubois-Prade Sınıfı t-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cap\underset{\sim}{B}}(x) = \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)}{max(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x), \alpha)} \quad \textbf{(3.45)}$$

Yukarıdaki eşitlikte α parametresi [0, 1] aralığında tanımlanmaktadır.

Bulanık Birleşim Kümesi

Evrensel kümede yer alan $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonlarının $\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)$ ve $\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)$ olduğu bir önceki bulanık kesişim kümesi kısmında yer almaktadır. $\underset{\sim}{A}$ ve $\underset{\sim}{B}$ kümelerine ait üyelik fonksiyonlarını $\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonuna dönüştüren eşleşme, s:[0, 1]x[0, 1]→[0, 1] olarak tanımlanmaktadır. Bu s-eşleşmesinin matematiksel gösterimi aşağıda gösterilmektedir:

$$s\left[\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)\right] = \mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) \quad \textbf{(3.46)}$$

s:[0, 1]x[0, 1]→[0, 1] olarak tanımlanan bir s-eşleşmesinin birleşim işlemi olabilmesi için aşağıda gösterilen dört özelliği sağlaması gerekmektedir (Özkan, 2003:28).

Sınır Koşulu:

$$s(0,0)=0 \quad \text{ve} \quad s\left(\mu_A(x), 0\right) = s\left(0, \mu_A(x)\right) = \mu_A(x) \quad \textbf{(3.47)}$$

Değişme Koşulu:

$$s\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right) = s\left(\mu_B(x), \mu_A(x)\right) \quad \textbf{(3.48)}$$

Artan Olmama Koşulu:

Eğer $\mu_A\ x\ \leq \mu_C\ x$ ve $\mu_B\ x\ \leq \mu_D\ x$ ise, aşağıda verilen eşitsizlik doyurulmalıdır.

$$s\ \mu_A\ x\ ,\ \mu_B\ x\ \leq s\ \mu_C\ x\ ,\ \mu_D\ x \tag{3.49}$$

Birleşme Koşulu:

$$s\ \mu_A\ x\ ,\ s\ \ \mu_B\ x\ ,\mu_C\ x\ \ \leq s\ s\ \ \mu_A\ x\ ,\mu_B\ x\ \ ,\mu_C\ x \tag{3.50}$$

Literatürde, bulanık birleşim kümesi için kullanılan birçok parametrik s-eşleşmeleri bulunmaktadır. Bunlar arasında cebirsel toplam, sınırlı toplam, drastic toplam, minimum ve Einstein toplamı parametrik olmayan s-eşleşmeleri iken Yager sınıfı, Hamacher sınıfı, Frank sınıfı, dombi sınıfı ve dubois-Prade sınıfı s-eşleşmeleri de parametrik s-eşleşmeleri olarak tanımlanmaktadır. Kullanılan bazı s-eşleşmelerinin matematiksel gösterimi aşağıda gösterilmiştir (Novak ve Diğerleri, 1992: 90):

Cebirsel Toplam:

$$\mu_{\underset{\sim}{A} \cup \underset{\sim}{B}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) + \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) - \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) \tag{3.51}$$

Sınırlı Toplam:

$$\mu_{\underset{\sim}{A} \cup \underset{\sim}{B}}(x) = \min[1, \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) + \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)] \tag{3.52}$$

Drastic Toplam:

$$\mu_{\underset{\sim}{A} \cup \underset{\sim}{B}}(x) = \begin{cases} \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) & ; eğer\ \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) = 0\ ise \\ \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) & ; eğer\ \mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = 0\ ise \\ 1 & ; eğer\ \mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) > 0\ ise \end{cases} \tag{3.53}$$

Maksimum:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \max(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x), \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)) \qquad \textbf{(3.54)}$$

Einstein Toplamı:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) + \mu_{\underset{\sim}{B}}(x)}{1 + (\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x))} \qquad \textbf{(3.55)}$$

Yager Sınıfı s-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \min\{1, \left[\left(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)\right)^{w} + \left(\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)\right)^{w}\right]^{1/w} \qquad \textbf{(3.56)}$$

Yukarıdaki gösterimde kullanılan w parametresi (0,∞) aralığında tanımlanmaktadır. w parametresinin 0 olması durumunda Yager bileşim kümesi drastic toplama, ∞ olması durumunda maksimum s-eşleşmesine ve w parametresi 1'e yaklaştığında ise Yager sınıfı bileşim kümemiz sınırlı toplama yakınlaşmaktadır (Zimmermann,1987:34).

Hamacher Sınıfı s-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) + \mu_{\underset{\sim}{B}}(x) - (2-\gamma)(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x))}{1 - (1-\gamma)(\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) * \mu_{\underset{\sim}{B}}(x))} \qquad \textbf{(3.57)}$$

Yukarıdaki gösterimde yer alan γ parametresi (0,∞) aralığında yer alabilen bir parametreir.

Frank Sınıfı s-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = 1 - log_s\left[1 + \frac{\left(s^{1-\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)} - 1\right)\left(s^{1-\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)} - 1\right)}{s-1}\right] \qquad \textbf{(3.58)}$$

Yukarıdaki gösterimde yer alan s parametresi, s>0 ve s≠1 değerlerini alabilen bir parametredir (Özkan, 2003:29).

Dombi Sınıfı s-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \frac{1}{1+\left[\left(\frac{1}{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)}-1\right)^{-\lambda}+\left(\frac{1}{\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)}-1\right)^{-\lambda}\right]^{-\left(\frac{1}{\lambda}\right)}} \qquad \textbf{(3.59)}$$

Yukarıdaki eşitlikte λ parametresi (0,∞) aralığında tanımlanmaktadır.

Dubois-Prade Sınıfı s-eşleşmeleri:

$$\mu_{\underset{\sim}{A}\cup\underset{\sim}{B}}(x) = \frac{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)+\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)-\mu_{\underset{\sim}{A}}(x)*\mu_{\underset{\sim}{B}}(x)-min\{\mu_{\underset{\sim}{A}}(x),\mu_{\underset{\sim}{B}}(x),1-\alpha\}}{max(1-\mu_{\underset{\sim}{A}}(x),1-\mu_{\underset{\sim}{B}}(x),\alpha)} \qquad \textbf{(3.60)}$$

Yukarıdaki eşitlikte α parametresi [0, 1] aralığında tanımlanmaktadır.

Bulanık Tümleme Kümesi

c:[0, 1]x[0, 1]→[0, 1] olarak tanımlanan eşleşme, bulanık bir $\underset{\sim}{A}$ kümesinin üyelik fonksiyonunu, bu kümenin tümleyeni olan ve yine bulanık bir küme olan **A** kümesinin üyelik fonksiyonuna dönüştüren bir eşleşme olarak tanımlanmaktadır. bu c-eşleşmesinin tümleme olabilmesi için aşağıdaki dört koşulu sağlaması gerekmektedir (Özkan, 2003:32).

Sınır Koşulu:

c(0)=1 ve c(1)=0

Artan Olmama Koşulu:

Bu koşul, x_1 ve x_2 U kümesinin elemanı, $\mu_A\ x_1 \leq \mu_A\ x_2$ iken, aşağıda verilen eşitsizliğin karşılanmasını gerektirir.

$$c\ \mu_A\ x_1 \geq c\ \mu_A\ x_2 \qquad \textbf{(3.61)}$$

Süreklilik Koşulu:

Bu koşul, $\underset{\sim}{A}$ kümesinin her bir elemanının, aynı zamanda A tümleyen kümesinin de elemanı olduğunu belirtir.

Çift Değilleme Koşulu:

$$c\ c\ \mu_A\ x \quad = \mu_A\ x \qquad \textbf{(3.62)}$$

Literatürde sıkça kullanılan bulanık tümleyenler aşağıda gösterilmiştir

(Özkan, 2003:32).

Değilleme Tümleyeni:

$\underset{\sim}{A}$ kümesinin tümleyeni A ile gösterilir ve matematiksel matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_A\ x\ = c\ \mu_A\ x\ = 1 - \mu_A\ x \quad ; \forall\, x \in U \qquad \textbf{(3.63)}$$

Sugeno Sınıfı Tümleyen (λ-TÜMLEYENİ):

$$\mu_A^{\lambda}(x) = c\ \mu_A\ x\ = \frac{1-\mu_A\ x}{1+\lambda\mu_A\ x} \quad ; \forall\, x \in U \qquad \textbf{(3.64)}$$

Sugeno tümleyeninin matematiksel gösterimi yukarıda gösterilmiştir. Yukarıdaki eşitlikte λ parametresi (-1,∞) aralığında değerler almaktadır. Burada λ parametresinin aldığı her farklı değere karşılık farklı bir tümleme kümesi elde edilir. λ=0 durumunda sugeno tümleyeni değilleme tümleyenine denk olurken λ parametresi -1'e giderken sugeno tümleyeni evrensel kümeye yakınlaşmaktadır ve aynı zamanda çift değilleme kuralı etkisiz bir hal almış olur (Özkan, 2003: 33).

Yager Sınıfı Tümleyen (w-TÜMLEYENİ):

Yager tümleyeninin matematiksel gösterimi aşağıda gösterilmektedir. w parametresi (0,∞) aralığında tanımlanmaktadır. w=1 iken Yager tümleyeni değilleme tümleyenine yakınlaşmaktadır (Özkan, 2003:33).

$$\mu_A^w(x) = c\left(\mu_A(x)\right) = \left(1 - \mu_A^w(x)\right)^{\frac{1}{w}} \quad ; \forall x \in U \qquad \textbf{(3.65)}$$

3.7. ÜYELİK FONKSİYONLARI VE ÜYELİK DERECELERİ

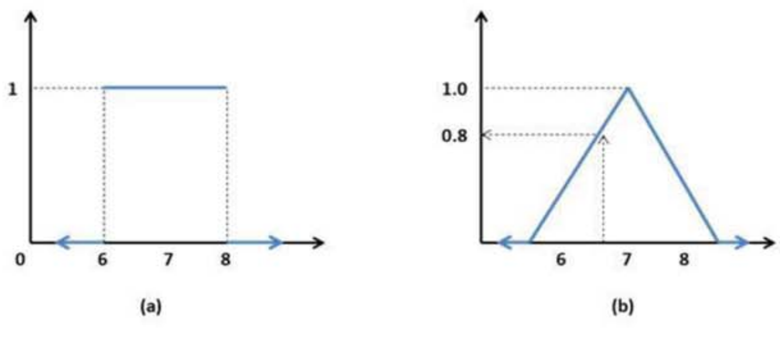
Bulanık kümelerde bir elemanın kümeye ne derece üye olduğu üyelik derecesi ile açıklanmaktadır (Zimmermann, 1987:11). Genel olarak kümeye ait olan elemanların üyelik değerleri ile değişkenlik gösteren eğriye üyelik foksiyonu adı verilmektedir (Siler ve Buckley, 2005:39) Bulanık kümeler ve klasik kümeler bazı noktalarda birbirinden farklılıklar göstermektedir. Sahip oldukları sınır koşulu ve elemanlarının aldığı üyelik değerleri bunlar arasında yer almaktadır. Bulanık kümelerde sınırlar esneklik gösterirken klasik kümelerde ise sınırlar nettir ve esneklik göstermez. Bulanık kümeler kısmi üyeliğe olanak tanırken klasik kümelerde böyle bir durum bulunmamaktadır. Bulanık küme teorisi bir elemanın kümeye olan üyeliği için [0,1] aralığındaki tüm değeri üyelik derecesi olarak kabul ederken klasik kümede ise elemanların kümeye üyeliği ya ''vardır'' ya da ''yoktur'' düşüncesi ile {0,1} değerlerinden birini almaktadır (Jamshidi, 1997: 498). Bulanık kümeler ile klasik kümeler arasındaki önemli farklardan bir tanesi de klasik kümelerin sahip olduğu üyelik fonksiyonlarının bir dikdörtgenden oluşmasıdır. Bulanık kümelerde ise üyelik fonksiyonları normallik ve motonluk şartını mutlaka sağlamalarıdır (Üstüntaş ve diğerleri, 2006:77).

Üyelik fonksiyonları farklı şekillerde olabilmektedir. Hesaplama açısından sağladığı kolaylıklar dikkate alınarak istenilen tarzdaki üyelik fonksiyonlarının seçilmesi, bulanık kümelerdeki esnekliğin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Çoğu durumda işlemlerde sağladığı kolaylıklar bakımından (Aktaş ve Çağman, 2005:15) ve formüllerinin basit olması nedeniyle (Malczewski, 1999:190) üçgensel üyelik fonksiyonları ve yamuk üyelik fonksiyonları tercih edilmektedir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1; & 6 \leq x \leq 8 \\ 0; & diğer\ durumlarda \end{cases} \quad \textbf{(3.66)}$$

Klasik kümelerde küme elemanları oluşturulurken iki değerli kullanılmaktadır. Bu duruma göre yukarıdaki matematiksel gösterimde 6 ile 8 arasındaki tüm elemanlar kümenin elemanı kabul edilir ve 1 değerini alır. 6'dan küçük ya da 8'den büyük değerler ise kümenin elemanı kabul edilmez ve 0 değerini alır. Bulanık kümeye göre 7 elemanının kümeye tam üye olduğunu kabul edelim. 7 elemanı tam üyeliğinden dolayı 1 değerini alırken solundaki elemanların üyelik değeri 6'ya doğru azalarak 0'a yakınlaşırken sağındaki elemanlar da 8'e doğru yakınlaşarak 0 değerine yakınlaşmaktadır. Başka bir farkı da 6'danküçük v 8'den büyük değerlerin belirli bir sınıra kadar reddedilmemesidir. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Bezdek, 1992: 24-25):

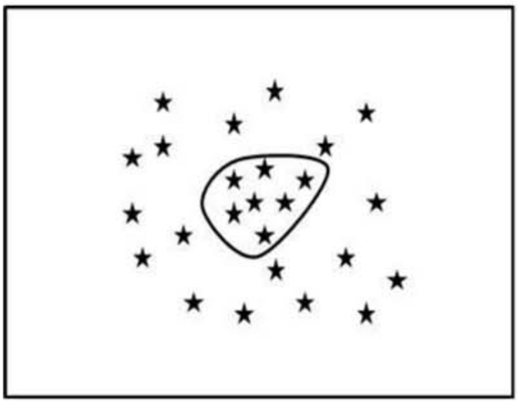
Şekil 16: Klasik Küme (a) ve Bulanık Küme (b) Üyelik Fonksiyonlarının Gösterimi



Kaynak: Bezdek, 1992: 25.

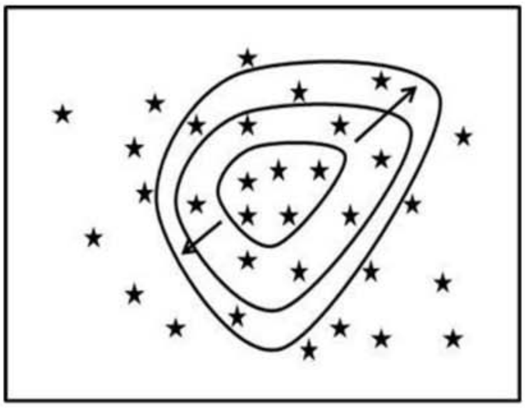
Bir kümenin sınırları esnek olarak ele alındığında kümeye eleman olabilecek yakınlıktaki elemanlar kümeye dahil edilmeye başlanır. Sınırların esnek olmaması durumunda ise yakınlığına bakılmaksızın eleman kümeden atılır. Bulanık küme teorisindeki esneme dahil edilecek noktaların kümeye uzaklıklarına bağlıdır. Esneme başladıkça kümeye yeni dahil edilen elemanların üyelik dereceleri 0 üyelik derecesinden başlayarak artarken dışarıda kalan üyelere de 0 üyelik derecesi verilmektedir. Bu durum aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Özkan, 2003: 4-5):

Şekil 17: Geleneksel Küme Durumu



Kaynak: Özkan, 2003: 5.

Şekil 18: Bulanık Küme Durumu



Kaynak: Özkan, 2003: 5.

Kümenin elemanlarının kümeye eleman olmaktan eleman olmamaya doğru göreceli geçişe izin veren fonksiyonlar üyelik fonksiyonları olarak kabul edilebilir. Her bulanık küme için farklı üyelik fonksiyonu atanabilir ancak bu üyelik fonksiyonlarının atanmasında belirli kurallara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Kümedeki elemanlara sahip oldukları üyelik dereceleri rastgele verilemez. Atanan üyelik fonksiyonunun özelliğine göre belirlenmektedir (Lin ve Lee, 1996: 12).

3.7.1. Üyelik Fonksiyonunun Oluşturulması

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları belirleme aşamasında kullanıcı vericinin sezgilerine, tercihlerine ve görüşlerine belli bir dereceye kadar yer verilir. Farklı kullanıcılar tarafından belirlenen üyelik fonksiyonları bu kullanıcıların, kültürlerine, tecrübelerine ve bakış açılarına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Üyelik fonksiyonunun tespitinde ‘’sezgi’’ ve ‘’tecrübelerden’’ sıkça faydalanılmaktadır (Zimmermann,1987:241).

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntem; Zadeh’in örnekleme yöntemidir. Örnekleme yöntemi ile U evrensel kümesine ait bir A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu, A kümesi için yapılacak örneklemeler sonucunda elde edilen bilgiler ile belirlenir (Erdin, 2007: 48).

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan bir başka yöntem de açısal yöntemlerle elde edilmiş açısal üyelik derecelerinin atanması yöntemidir (Şen, 2001:41).

3.7.2. Üyelik Fonksiyon Çeşitleri

Literatürde çok sayıda üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar arasında uygulamalarda en çok kullanılanlar, isimlerini sahip oldukları fonksiyonlarının şekillerinden alan üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonlarıdır (Özkan, 2003: 55).

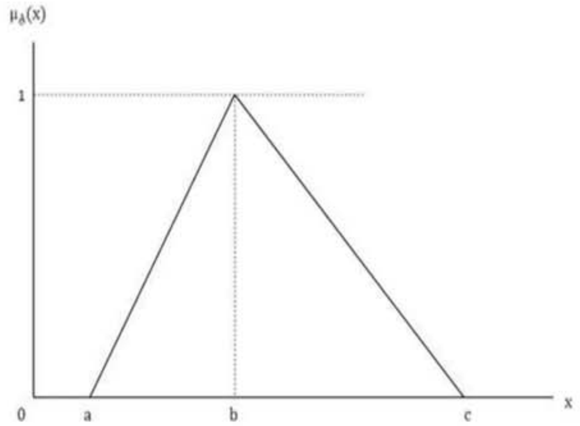
3.7.2.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu

Reel sayılar kümesinde tanımlı olan bir üçgen üyelik fonksiyonu a, b ve c olmak üzere üç parametre ile tanımlanır. Üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilir (Pedrycz ve Gomide, 2007: 34):

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x; a, b, c) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & ; a \leq x \leq b \; ise \\ \frac{c-x}{c-b}, & ; b \leq x \leq c \; ise \\ 0 \;, & ; x \geq c \; veya \; x \leq a \; ise \end{cases} \quad (3.67)$$

Şekilde, a ve c parametreleri destek kümesinin başlangıç be bitiş noktalarını ve b parametresi ise üyelik derecesi 1 olan elemanı göstermektedir. Burada b parametresi bulunduğu bulanık kümenin kernel kümesini göstermektedir. Üçgensel bulanık kümenin normallik özelliğini sağladığı şekilde görülmektedir.

Şekil 19: Üçgensel Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Pedrycz ve Gomide, 2007: 34.

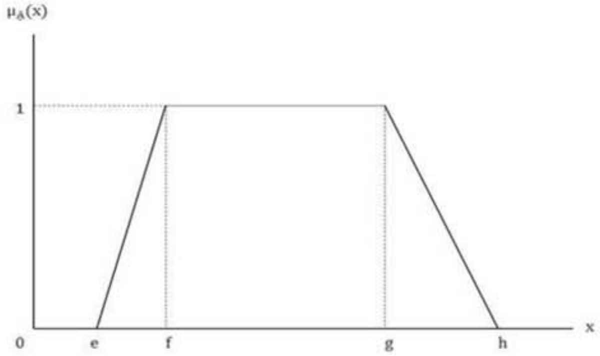
3.7.2.2. Yamuksal Üyelik Fonksiyonu

Reel sayılar kümesinde tanımlı olan bir yamuk üyelik fonksiyonu a, b, c ve d olmak üzere dört parametre ile tanımlanır. Yamuksal üyelik fonksiyonunun matematik gösterimi aşağıdaki gibi ifade edilir (Pedrycz ve Gomide, 2007: 35):

$$\mu_{\underset{\sim}{A}}(x) = \mu_{\underset{\sim}{A}}(x; e, f, g, h) = \begin{cases} \frac{x-e}{f-e}, & ; e \leq x \leq f \; ise \\ 1 \;, & ; f \leq x \leq g \; ise \\ \frac{h-x}{h-g}, & ; g \leq x \leq h \; ise \\ 0 \;, & ; x \geq h \; veya \; x \leq e \; ise \end{cases} \quad (3.68)$$

Aşağıdaki grafikte, e ve h parametreleri destek kümesinin alt ve üst aralığını f ve g parametreleri ise kümeye tam üye olan elemanların başlangıç ve bitiş noktalarını gösterir.ve g parametreleri aynı zamanda ilgili kümedeki kernel kümesini temsil eder.

Şekil 20: Yamuksal Üyelik Fonksiyonu

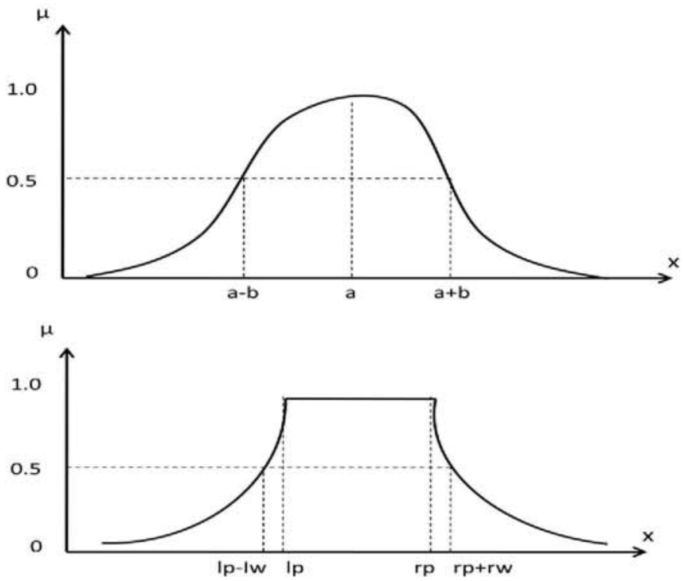


Kaynak: Pedrycz ve Gomide, 2007: 35.

3.7.2.3. Π Üyelik Fonksiyonu

Π Üyelik Fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 21 : Π Üyelik Fonksiyonu

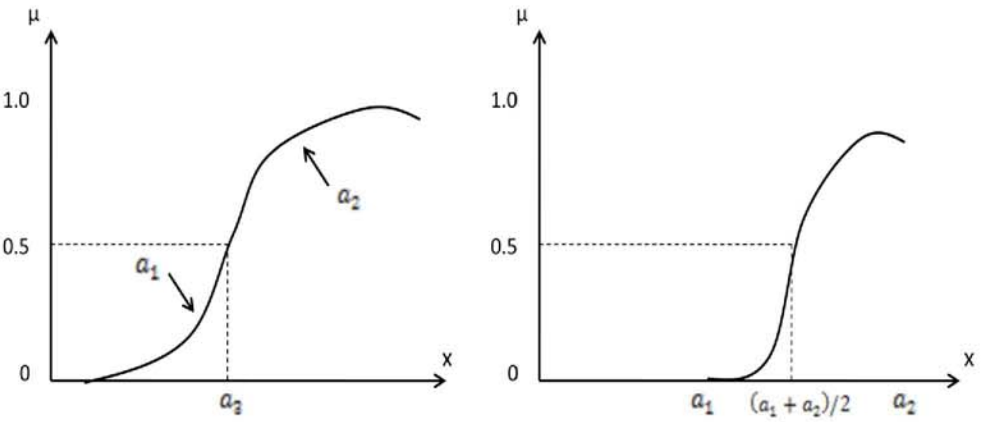


Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 80

3.7.2.4. S Üyelik Fonksiyonu

S Üyelik Fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

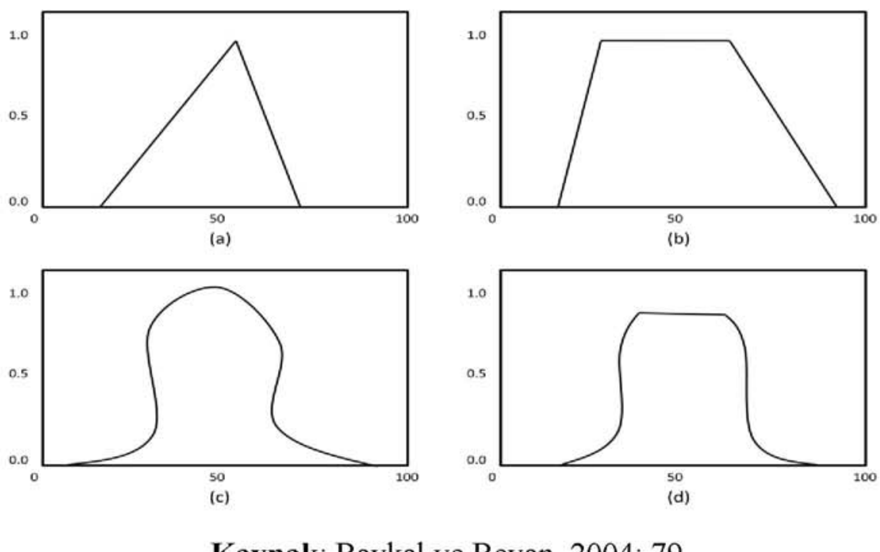
Şekil 22 : S Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 81

Gaussian Üyelik Fonksiyonu, Çan Şekli Üyelik Fonksiyonu ve Sigmodial Üyelik Fonksiyonunun grafikleri aşagıdaki gibidir (Baykal ve Beyan,2004:79).

Şekil 23 : Gaussian, Çan Şekli ve Sigmodial Üyelik Fonksiyonunun



Kaynak: Baykal ve Beyan, 2004: 79.

3.8. BULANIK SAYILAR

Bulanık sayılar, normal, konveks ve üyelik fonksiyonu [0,1] kapalı aralığında tanımlanmış bir küme olarak ifade edilir (Cheng, 2004:1621).

3.8.1 Üçgensel Bulanık Sayılar

Bulanık sayılar (a_1,a_2,a_3) gibi üçlüler ile gösterilir. a_1, a_2, a_3 parametreleri sırasıyla üçgensel sayıdaki en küçük değer, alınabilecek en büyük değer ve yine en küçük değeri temsil etmektedir (Çitli, 2006:5).

Ele alınan bulanık sayının üyelik fonksiyonunun üçgensel üyelik fonksiyonu olması halinde, üyelik fonksiyonu tam üye olan elemanın sağında ve solunda olacak şekilde artan parça ve azalan parça olacak şekilde iki kısma ayırmaktadır. [0,1] arasında değer alabilen üyelik fonksiyonlarında 0'dan 1'e kadar olan kısım artan, 1'den 0'a kadar olan kısım da azalan parça olarak adlandırılmaktadır (Asady ve Zendehnam, 2007:2590).

Üçgensel bulanık sayıların toplama, çıkarma, çarpma, bölme işlemleri ve bulanık sayı eşitlikleri aşağıdaki gibi ifade edilir (Chen, 1996: 267):

A ve B iki üçgensel bulanık sayı olsun;

A=(a_1, b_1, c_1)   B=(a_2, b_2, c_2)

Üçgensel Bulanık Sayılarda Toplama

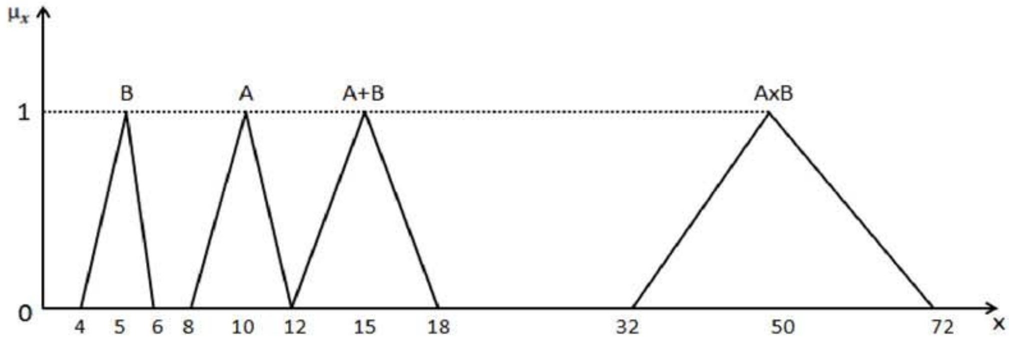
Bulanık sayı toplamı:

$$(a_1, b_1, c_1) + (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \qquad \textbf{(3.69)}$$

Örneğin, A=(8, 10, 12) ve B=(4, 5, 6) olsun

A + B = (8, 10, 12) + (4, 5, 6) = (12, 15, 18)

Şekil 24: Bulanık Sayı İşlemleri



Kaynak: Chen, 1996: 267.

Üçgensel Bulanık Sayılarda Çıkarma

Üçgensel bulanık sayılarda çıkarma işlemi aşağıdaki gibidir ve sonuç üçgensel bulanık sayıdır.

$$(a_1, a_2, a_3) - (b_1, b_2, b_3) = (a_1-b_1, a_2-b_2, a_3-b_3) \quad \textbf{(3.70)}$$

Üçgensel Bulanık Sayılarda Çarpma

Üçgensel bulanık sayıların çarpımı aşağıda verildiği gibidir ve sonuç yine bir üçgensel sayıdır

$$(a_1, b_1, c_1) \text{ x } (a_2, b_2, c_2) = (a_1 \text{ x} a_2, b_1 \text{ x} b_2, c_1 \text{ x} c_2) \quad \textbf{(3.71)}$$

Üçgensel Bulanık Sayılarda Bölme

Üçgensel bulanık sayılarda bölme işlemi aşağıda gösterildiği gibidir.

$(a_1, a_2, a_3) : (b_1, b_2, b_3) = (a_1 : b_1, a_2 : b_2, a_3 : b_3)$ **(3.72)**

Üçgensel Bulanık Sayılarda Eşitlik

A ve B bulanık sayılarının eşitliği karşılıklı bütün elemanlarının (üyelik fonksiyonlarının) eşitliği anlamına gelir. Matematiksel olarak;

$A = B \Leftrightarrow (a_1, a_2, a_3) = (b_1, b_2, b_3) \Leftrightarrow a_1 = b_1, a_2 = b_2, a_3 = b_3$ **(3.73)**

3.8.2. Yamuksal Sayılar

Yamuksal bulanık sayılar a_1, a_2, a_3, a_4 şeklindeki dörtlüler ile ifade edilmektedir. İfadedeki a_2 ve a_3 parametreleri ve bu parametrelerin gösterildiği aralık büyüklüğün mutlaka gösterildiği değerleri, a_1 ve a_4 parametreleri ise sırasıyla alt ve üst sınırı ifade etmektedir
(Çitli, 2006:5).

Yamuksal bulanık sayıların toplama, çıkarma, çarpma, bölme işlemleri ve bulanık sayı eşitlikleri aşağıdaki gibi ifade edilir (Çitli, 2006:8).

A ve B iki yamuksal bulanık sayı olsun;
$A=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ $B= (b_1, b_2, b_3, b_4)$

Yamuksal Bulanık Sayılarda Toplama

Yamuksal bulanık sayıların toplama işlemi aşağıda gösterilmiştir. İki bulanık sayının toplamı yine bir bulanık sayı olmaktadır.

$(a_1, a_2, a_3, a_4) + (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1+b_1, a_2+b_2, a_3+b_3, a_4+b_4)$ **(3.74)**

Yamuksal Bulanık Sayılarda Çıkarma

İki yamuksal bulanık sayının toplamı aşağıda gösterilmiştir.

$(a_1, a_2, a_3, a_4) - (b_1, b_2, b_3, b_2) = (a_1\text{-}b_1, a_2\text{-}b_2, a_3\text{-}b_3, a_4\text{-}b_4)$ **(3.75)**

Yamuksal Bulanık Sayılarda Çarpma

Yamuksal bulanık sayıların çarpımı aşağıda gösterilmiştir.

$(a_1, a_2, a_3, a_4)\ x\ (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1xb_1, a_2xb_2, a_3xb_3, a_4xb_4)$ **(3.76)**

Yamuksal Bulanık Sayılarda Bölme

Yamuksal bulanık sayıların bölme işlemi aşağıda gösterilmiştir.

$(a_1, a_2, a_3, a_4)\ :\ (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 : b_1, a_2 : b_2, a_3 : b_3, a_4 : b_4)$ **(3.77)**

Yamuksal Bulanık Sayılarda Eşitlik

Yamuksal bulanık sayılarda eşitlik işlemi aşağıda verilmiştir.

$(a_1, a_2, a_3, a_4) = (b_1, b_2, b_3, b_4) \Leftrightarrow a_1 = b_1, a_2 = b_2, a_3 = b_3, a_4 = b_4$ **(3.78)**

3.9. BULANIK MANTIĞIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Aşağıda bulanık mantığın bazı avantaj ve dezavantajları verilmiştir (Kaya, 2010: 42-43)

3.9.1.Bulanık Mantığın Avantajları

- ✓ Bulanık mantık, dildeki belirsizliğin üstesinden gelmek için bize yol gösteröektedir. Dildeki belirsizlikler ilk defa bulanık mantıkta ele alınmıştır.

- ✓ Bulanık mantık bize bilgi işlemede yeni bir yol göstermektedir.

- ✓ Bulanık mantık, günlük hayatta sıkça karşılaştığımız belirsiz, zamanla değişebilen ve iyi tanımlanamamış sistemlere basit çözümler sunar.

- ✓ Bulanık mantıkta denetim genellikle daha küçük bir yazılım ile sağlanıp bu denetim daha hızlı şekilde sonuçlanmaktadır

- ✓ Bulanık mantığın sağladığı faydalardan biri de kullanıcının deneyimlerinden kolayca yararlanabilmesine imkan sağlamasıdır (Yaralıoğlu, 2005).

- ✓ Bulanık kümeler kullanılarak Keskin sınırları olmayan kümeler kolaylıkla modellenebilir.

- ✓ Bulanık mantık uzman bilgisinin kullanılmasına oalanak sağlar. Bulanık mantık bu bilginin tutarlı ve yapısal bir şekilde işleme yeteneğine.

- ✓ Bulanık mantık sadece lineer fonksiyonları değil aynı zamanda lineer olmayan karmaşık fonksiyonları modelleyebilir.

3.9.2.Bulanık Mantığın Dezavantajları

- ✓ Üyelik fonksiyonlarının seçiminde kullanılan herhangi belirgin bir yol bulunmamaktadır. Çoğunlukla karar vericinin tecrübelerinden faydalanılmaktadır.

- ✓ Bazen üyelik fonksiyonlarının seçimi uzun zaman alabilmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

4.1. BULANIK ORTAMDA KARAR VERME

Geleneksel bir karar problemi, karar verici, amaç, karar ölçütü, seçenekler, olaylar ve sonuç olmak üzere altı bileşenden meydana gelmektedir. Buradaki amaç bileşeni maksimizasyon ya da minimizasyon olarak tanımlayabiliriz. Problemde yer alan fayda, kar, maliyet fonksiyonlar veya geliri de karar ölçütünü meydana getirmektedir. Seçenekler kümesi evrensel küme olarak kabul edilebilir. Olaylar, evrensel kümede yer alan hangi elemanların karar probleminin çözümünü oluşturacağını ifade eden kısıtlardan meydana gelmektedir. Bulanık ortamda karar verme problemini yukarıda sözü edilen bileşenler ile açıklanabilmektedir (Özkan, 2003:155-156).

Optimizasyon problemlerinin çözümü eldeki mevcut verilerin kesin olması kabulüne dayanmaktadır. Eldeki mevcut verilerin her zaman kesin olmasının zorluğundan dolayı optimizasyon problemlerini bulanık ortamda değerlendirmek daha doğru olmaktadır. Belirsizlikleri gidermeyi amaçlayan bulanık hedef programlamaya bulanık küme teorisinin optimizasyon problemlerine uyarlanmasıyla ulaşılmaktadır. Bulanık hedef programlama tekniğinin temelini "bulanık karar", "optimal karar" ve "bulanık hedef" gibi bileşenler oluşturmaktadır.

Bulanık Karar: Bulanık hedef programlama tekniğinin çözümü sonucu elde edilecek alternatifler uzayındaki bulanık küme olarak tanımlanmaktadır. Bulanık karar kümeleri de bulanık kümeler gibi üyelik fonksiyonları ile ifade edilebilmektedir. Söz edilen alternatif çözümler bulanık kısıtlar ve belirlenen hedefleri sağlama başarısına göre sıralanmaktadır.

Optimal Karar: Alternatifler arasından en iyi çözümün seçimi ile belirlenmektedir. Bulanık kısıtlar ve hedeflere en çok yaklaşan çözüm en iyi çözüm olarak kabul edilmektedir. Optimal çözüm, bulanık karar kümesinde yer alan üyelik derecesini en büyükleyen çözümdür. Bu nedenle optimizasyon düşüncesinden ziyade bir doyum düşüncesine dayanır.

Bulanık hedefler: Karar vericinin belirlediği ve aralık olarak ifade edilebilen hedeflerdir. A'nın bir hedef olduğunu kabul edelim. Bu durumda bulanık A hedefi '' A'nı değeri yaklaşık x kadar olmalıdır '' şeklinde ifade edilmektedir. Bulanık kümelerin özelliği gereği her bulanık kümenin alt ve üst sınırı olmalı. Bundan dolayı A hedefi için bir alt ve üst sınır belirlenir ve A bir aralık olarak ifade edilir (Erdin, 2007: 108-109).

4.2. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ

Neigota ve Ralesco tarafından 1977 yılında yapılan çalışmada, uygun teknikler kullanılarak bulanık kısıtlara sahip bir optimizasyon probleminin sıradan bir optimizasyon problemine dönüşebileceği üzerinde durulmuştur. Bulanıklık içeren sağ taraf değerlerinin kesin ifadeler haline dönüştürülmesi için uygun teknikler bulunması amaçlanmıştır. Aynı senede yapılan başka bir çalışmada ise Sularia, optimizasyon içeren planlama problemlerinde tek vektör yerine uygun bir aralık tanımlamanın daha uygun olacağı üzerinde durmuştur.

Bulanık kümelerin çok amaçlı problemlerdeki ilk kullanımı 1973 yılında Zeleny tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda bulanık hedef programlamanın da temelini oluşturmaktadır. Zeleny bulanık küme teorisini etkin noktaların sayısını azaltmakta kullanmıştır.

Çok amaçlı problemlerde bulanık küme teorisini kullanan başka bir çalışma da 1973 yılında Zimmermenn tarafından yapılmıştır. Zimmermann bu çalışmasında, her bir amaç fonksiyonunun tek tek maksimize edilmesi ve her biri için optimal değerler elde etmeyi amaçlamıştır (Erdin, 2007:105-106).

Hedef programlama modelinde yer alan, amaç fonksiyonları, bu amaç fonksiyonları için belirlenen erişim değerleri ve modeldeki kısıtlayıcılar deterministik olarak ifade edilmektedir. Erişim değerleri ile hedeflerin tercih öncelikli sıralaması ve göreceli ağırlıkları çoğunlukla karar vericinin kişisel kararlarıyla belirlenmektedir. Karar vericilerin bu kişisel kararları bulanık küme teorisi ile ele alınabilir. Bulanık kümelerin hedef programlama modeline uygulanması ile hedeflere ait erişim düzeyleri ve tercihlerin önceliği kesin olmayan ifadeler ile gösterilebilmektedir. Bulanık küme teorisi, kesin olmayan bu ifadeler için “yaklaşık olarak ....’e eşit’’ ve “ ....’den oldukça küçük” gibi dilsel değişkenlerin kullanımına olanak tanımaktadır (Özkan, 2003:181).

Hedeflerdeki öncelik yapısına göre bulanık hedef programlama modeli iki şekilde ele alınmaktadır. Bunlardan ilki, bütün hedefleri aynı anda doyuran çözümün belirlendiği ve bütün hedeflerin aynı tercih önceliğine sahip olduğu hedef programlama modelidir. İkincisi ise, hedeflerin farklı önceliklerde olduğu ve karar vericinin tercih önceliğinin dikkate alan çözümü bulmaya çalışan bulanık hedef programlama modelidir. Erişim düzeylerinin bulanık olduğu kabul edilen, genelleştirilmiş bulanık hedef programlama modeli aşağıda gösterilmektedir (Özkan, 2003:181).

$$\left.\begin{array}{lll} (Ax)_i \cong b_i & ; & i=1,2,\ldots\ldots,m_1 \\ (Ax)_i \lesssim b_i & ; & i=m_1+1,\ldots,m_2 \\ (Ax)_i \gtrsim b_i & ; & i=m_2+1,\ldots,m_3 \end{array}\right\} \text{Bulanık hedefler} \qquad \textbf{(4.1)}$$

$$\left.\begin{array}{lll} (Ax)_l \{=,\leq,\geq\}\, b_l & ; & l=1,2,\ldots,p \\ X_j \geq 0 & ; & j=1,2,\ldots,n \end{array}\right\} \text{Bulanık olmayan kısıtlayıcılar} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Yukarıdaki gösterim en çok kullanılan üç tip bulanık hedefi kapsamaktadır (Yaghoobi ve Tamiz, 2007:1581).

Bulanık hedefler için üçgensel ikizkenar, parçalı doğrusal, iç bükey biçimli parçalı doğrusal, yarı iç bükey parçalı doğrusal, s-biçimli parçalı doğrusal ve dış bükey biçimli parçalı doğrusal olacak şekilde farklı özellikler taşıyan üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Bulanık hedef programlama için geliştirilen yöntemlerin çoğunda işlemsel kolaylık sağladığından dolayı Zimmermann’ın geliştirdiği üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Aşağıdaki eşitlikte Zimmermann tipi üyelik fonksiyonu gösterilmiştir (Özkan, 2003:182).

$$(Ax)_i \cong b_i \Rightarrow \mu_i(x)=\begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \leq b_i - d_i\ ise \\ 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{d_i} & ;\ eğer\ b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i\ ise \\ 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i} & ;\ eğer\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i\ ise \\ 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \geq b_i + d_i\ ise \end{cases} \quad (i=1,2,\ldots,m_1 \qquad \mathbf{(4.3)}$$

$$(Ax)_i \lesssim b_i \Rightarrow \mu_i(x)=\begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \geq b_i + d_i\ ise \\ 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{d_i} & ;\ eğer\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i\ ise \\ 1 & ;\ eğer\ (Ax)_i \leq b_i\ ise \end{cases} \quad (i=m_1+1,\ldots,m_2) \qquad \mathbf{(4.4)}$$

$$(Ax)_i \gtrsim b_i \Rightarrow \mu_i(x)=\begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \leq b_i - d_i\ ise \\ 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i} & ;\ eğer\ b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i\ ise \\ 1 & ;\ eğer\ (Ax)_i \geq b_i\ ise \end{cases} \quad i=m_2+1,\ldots,m_3) \qquad \mathbf{(4.5)}$$

(4.3), (4.4) ve (4.5) numaralı eşitliklerde;

$(Ax)_i$; hedef kısıtını

b_i; karar vericinin belirlediği erişim değerini

d_i; karar vericinin belirlediği erişim değereinden kabul edilebilir sapma değerini göstermektedir.

Zimmermann'a göre, bulanık eşitsizliklerin tamamen doyurulması durumunda üyelik derecesinin 1, hiç doyurulmaması durumunda üyelik derecesinin o ve kısmen doyurulması durumunda üyelik derecesinin 0'dan 1'e doğru artması gerekmektedir (Zimmermann, 2001:338).

Bulanık Hedef Programlama problemlerinin çözümü için geliştirilen, "Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Narasimhan Yaklasımı", "Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Yang, Ignizio Kim Yaklasımı" ve "Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Hannan Yaklasımı" teknikleri aynı anda doyurulan bulanık hedef programlama modellerinin çözümünde kullanılır. Bu tekniklerin kullanıldığı bulanık hedef programlama modellerinde tercih önceliği bulunmamaktadır. "Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Tiwari, Dharmar ve Rao Yaklasımı" ve "Üçgensel Üyelik

Fonksiyonlarıyla Chen Yaklasımı" ise hedeflere ait farklı önceliklerin olduğu öncelikli bulanık hedef programlama modellerinde kullanılmaktadır (Erdin, 2007:113).

4.3. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN TEKNİKLER

4.3.1. Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla NarasimhanYaklasımı

Narasimhan bulanık hedef programlamayı, 1980 yılında hedef programlama modelinde bulanık kümeleri kullanarak tanıtmıştır. Narasimhan'ın bu çalışmasından sonra bulanık hedef programlama ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmış ve bulanık hedef programlamanın çeşitli yönleri literatürde araştırılmıştır (Yaghoobi ve Tamiz, 2007:1581). Narasimhan bulanık hedefleri bulanık eşitlikler olarak kabul etmiş ve bu hedefleri üçgensel üyelik fonksiyonları yardımıyla nitelendirmiştir (Özkan, 2003:183). Narasimhan yaklaşımında, hedefler arasında öncelik sözkonusu olmadığından bütün hedeflerin aynı önem derecesine sahip olduğu kabul edilmektedir (Kim ve Whang, 1998:616).

Zimmermann'ın bulanık doğrusal programlama modeli için geliştirdiği modelden faydalanan Narasimhan, ortaya attığı bulanık hedef programlama modelinin çözümünde bulanık karar kümesi kavramından faydalanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanını tespit etmeye çalışmıştır. Bunun için aşadaki problemin çözümünden faydalanmıştır (Özkan, 2003:183)

$$\mu_{\underset{\sim}{D}}(x^M) = max_{x\geq 20}(min[\mu_i(x)]) \qquad \textbf{(4.6)}$$

4.6'daki eşitlik karşımıza i'ninci üyelik fonksiyonuna ait iki doğrusal fonksiyon çıkarır ve bu da çözüm için zorluk teşkil etmektedir. Bu zorluğun üstesinden, üyelik fonksiyonlarını 0'dan 1'e doğru artan parça ve 1'den 0'a doğru azalan parça olarak ele almakla gelinebilir. Bu durumda bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanının belirlenmesi iki alt probleme dönüşmüş olmaktadır. Bu düşünceden hareketle i'yinci bulanık hedef için aşağıda verilen alt problemler oluşturulur (Narasimhan, 1980:327).

$$\mu_{\underset{\sim}{D}}(x^M) = max_{x\geq 0}(min[\mu_i(x)]) = \left\{ \begin{array}{c|c} 1.problem: & 2.problem: \\ max_{x\geq 0}\left\{min\left[1-\frac{b_i-(Ax)_i}{d_i}\right]\right\} & max_{x\geq 0}\left\{min\left[1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i}\right]\right\} \\ kısıtlayıcılar & kısıtlayıcılar \\ b_i-d_i \leq (Ax)_i \leq b_i & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i+d_i \\ \mathrm{i}=1,2,\dots,\mathrm{m}_1 & \mathrm{i}=1,2,\dots,\mathrm{m}_1 \end{array} \right\} \quad \textbf{(4.7)}$$

Yukarıdaki eşitliklerde bulanık hedeflere erişim derecesini gösteren λ değişkeni tanımlayalım. Bu durumda problemler doğrusal programlama problemine dönüşmüş olup aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Lai ve Hwang, 1994:142).

$$\mu_{\underset{\sim}{D}}(x^M) = max_{x\geq 0}(min[\mu_i(x)]) = \left\{ \begin{array}{c|c} 1.problem: & 2.problem: \\ \max\lambda & \max\lambda \\ kısıtlayıcılar & kısıtlayıcılar \\ 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{d_i} \geq \lambda & 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i-d_i \leq (Ax)_i \leq b_i & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i+d_i \\ x \geq 0 & x \geq 0 \\ \lambda \in [0,1] & \lambda \in [0,1] \\ \mathrm{i}=1,2,\dots,\mathrm{m}_1 & \mathrm{i}=1,2,\dots,\mathrm{m}_1 \end{array} \right\} \quad \textbf{(4.8)}$$

4.8'deki x^m vektörü herhangi bir bulanık hedef için $b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i$ eşitsizliğini doyurmaktadır. Diğer hedef için de $b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i$ eşitsizliği doyurulabilir. Bub durumda sözü edilen alt problemler aşağıdaki gibi bir araya getirilebilir (Lai ve Hwang, 1994:142).

max λ

Kısıtlayıcılar

$$\left.\begin{array}{l} 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i-d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \end{array}\right\} \text{Bazı i'ler için} \quad \textbf{(4.9)}$$

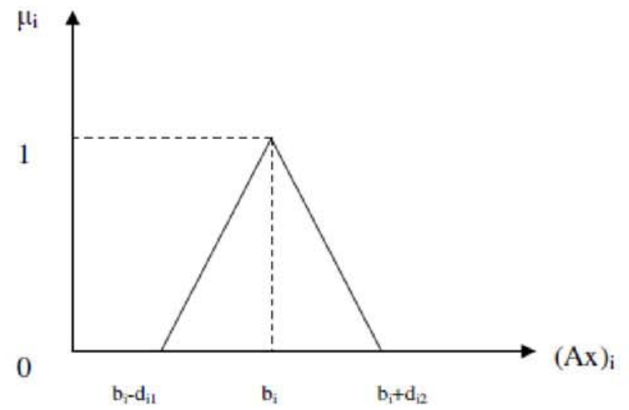
$$\left.\begin{array}{l} 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i+d_i \end{array}\right\} \text{Diğer i'ler için}$$

$\lambda \in [0,1]$

$\mathrm{i} = 1,2,\dots,\mathrm{m}_1$

Narasimhan yaklaşımında, m_1 adet bulanık hedefli bir bulanık hedef programlama modeli için 2^{m1} adet alt problem oluşmaktadır. Bu alt problemlerin çözümünden elde edilen λ değerleri içinden en yüksek değere sahip olanı problemin çözümü olarak kabul edilmektedir (Özkan, 2003:185).

Şekil 25: Bulanık Hedefler için Üçgensel Üyelik Fonksiyonunu



Kaynak: Lai ve Hwang, 1994: 14.

4.3.2. Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla HannanYaklaşımı

Hannan, Narasimhanın ortaya attığı bulanık hedef programlama modelini geliştirmiştir (Kim ve Whang, 1998:614). Hannan 1981 yılında yapmış olduğu çalışmada; bulanık hedeflerin kesin hedeflere dönüştürüldükten sonra, eldeki problemin hedef programlama tekniği ile çözülebileceğini dile getirmiştir. Hannan'ın geliştirdiği çözüm yöntemi Narasimhan'ın geliştirdiği yönteme özdeş olup aynı optimal sonuçları vermektedir (Yaghoobi ve Tamiz, 2007:1582). Hannan geliştirdiği yöntemde, her bir amaç fonksiyonu için [0,1] aralığında değerler alan birer üyelik fonksiyonu tanımlandığını dile getirmiştir (Martel ve Aouni, 1998:129). Tanımlanan bu üyelik fonksiyonları simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarından oluşmaktafır (Özkan, 2003:189).

Hannan bulanık hedef programlama modellerinin çözümünde, Narasimhan'ın geliştirdiği yöntemdeki 2^k adet alt problem yönteminden yararlanarak mevcut bulanık hedef programlama modelini doğrusal programlama modeline dönüştürmeyi başarmıştır (Lai ve Whang, 1994:142). Kısıt sayısı ve alt problem sayısı Narasimhan'a göre aha az olduğu için uygulamada daha kolay ve daha hızlıdır (Martel ve Aouni; 1998:130).

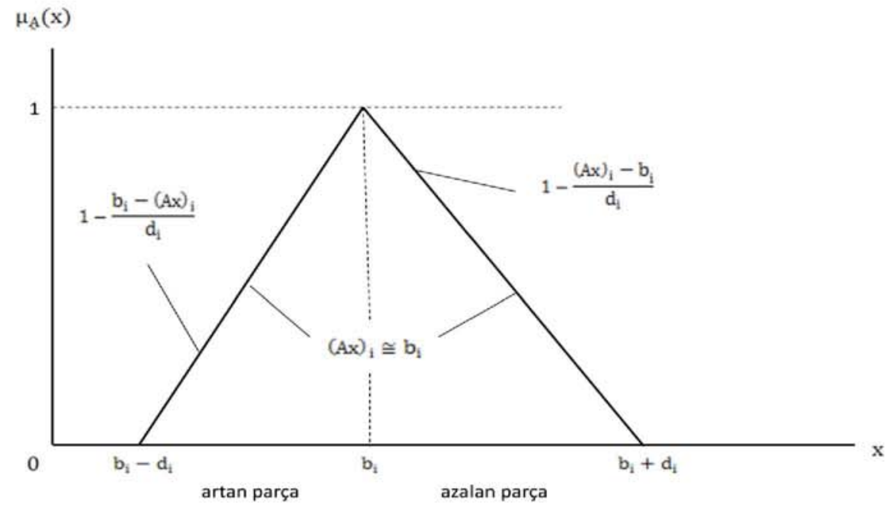
Hannan aşağıda gösterilmiş olan eşitlik sayesinde, bulanık hedef programlamayı tek bir doğrusal programlama modeli olarak göstermeyi başarmıştır.

$$\lambda^* = \max \lambda_j \; ; \; j=1,2,3,\ldots,2^{m1} \tag{4.10}$$

Yukarıdaki gösterimde λ_j, Narasimhan yaklaşımından elde edilen alt problemlerin çözüm değerlerini ve λ^* değeri de bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanını göstermektedir (Özkan, 2003:189).

Bu yaklaşımı açıklayabilmek için aşağıda üçgensel üyelik fonksiyonu ile Narasimhan yaklaşımındaki alt problemler verilmiştir.

Şekil 26: Narasimhan yaklaşımı için üçgensel üyelik fonksiyonu



Kaynak: Özkan, 2003: 189.

Narasimhan yaklaşımının alt problemleri ise;

max λ

Kısıtlayıcılar;

$$\left.\begin{array}{l} 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i-d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \end{array}\right\} \quad \text{artan parça} \tag{4.11}$$

$$\left.\begin{array}{l} 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i} \geq \lambda \\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \end{array}\right\} \quad \text{azalan parça}$$

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

$$i = 1,2,\ldots,m_1$$

Aşağıda modelin artan parça ve azalan parça kısımları incelenmiştir. Artan parça kısmında, $(Ax)_i \leq b_i$ ifadesi d_i tolerans miktarına bölündüğü zaman,

$$\frac{(Ax)i}{di} \leq \frac{bi}{di} \quad \textbf{(4.12)}$$

ifadesi elde edilir. Elde edilen bu ifadenin sol tarafına pozitif sapma değişkeni p_i eklendiğinde

$$\frac{(Ax)i}{di} + p_i = \frac{bi}{di} \quad \textbf{(4.13)}$$

eşitliği elde edilmiş olur. Eşitlik p_i değişkenine göre düzenlenirse

$$p_i = \frac{bi}{di} - \frac{(Ax)i}{di} \quad \textbf{(4.14)}$$

ifadesi oluşur. Pozitif sapma değişkeni kısıtlayıcıların artan parça kısmında yerine yazılırsa

$$\lambda + p_i \leq 1 \quad \textbf{(4.15)}$$

kısıtlayıcısı elde edilir. Benzer işlemleri azalan parça kısmına uygulayalım. Azalan parça kısmında yer alan $(Ax)_i \geq b_i$ ifadesini tolerans miktarı d_i' ye böldüğümüz zaman

$$\frac{(Ax)i}{di} \geq \frac{bi}{di} \quad \textbf{(4.16)}$$

ifadesi elde edilir. Bu sefer eşitsizliğin sol tarafından negatif sapma değişkeni n_i çıkarıldığında $\frac{(Ax)i}{di} - n_i = \frac{bi}{di}$ **(4.17)**

ifadesi elde edilir. İfademiz negatif sapma değişkenine göre düzenlendiğinde

$$n_i = \frac{(Ax)i}{di} - \frac{bi}{di} \quad \textbf{(4.18)}$$

ifadesi oluşur. Negatif sapma değişkenini azalan parça kısmındaki ifadede yerine yazdığımız zaman

$\lambda + n_i \leq 1$ **(4.19)**

kısıtlayıcısı elde edilmiş olur. Hannan bulanık bir eşitlik eçin belirlenmiş erişim düzeyine ne derece yaklaşıldığını bulmak için

$\lambda + p_i \leq 1$ **(4.20)**

$\lambda + n_i \leq 1$ **(4.21)**

4.20 ve 4.21 kısıtlayıcılarını bir araya getirerek

$\lambda + n_i + p_i \leq 1$ **(4.22)**

kısıtlayıcısını elde etmiştir. Bu düşünceden hareketle Narasimhan yaklaşımındaki bulanık hedef programlama modelini aşağıda verilmiş olan tek bir doğrusal programlama modeli haline getirmiştir (Hannan, 1981:524).

max λ

Kısıtlayıcılar

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

$$\lambda + n_i + p_i \leq 1$$

$x_j , \lambda , n_i , p_i \geq 0 \quad i = 1,2,\dots,m \quad j = 1,2,\dots,n$

4.3.3. Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Yang, Ignizio ve Kim Yaklasımı

Yang, Ignizio ve Kim, 1991 yılandaki çalışmalarında bulanık hedef programlama problemlerinin doğrusal programlama problemi olarak çözülebileceğini açıklamışlardır. Bunun da bulanık eşitliklerin üçgensel üyelik fonksiyonları ile nitelendirilmesi yardımıyla olabileceğini göstermişlerdir (Yang ve Diğerleri, 1991: 48).

Yang, Ignizio ve Kim makalelerinde; Zimmermann'ın geliştirdiği simetrik bulanık doğrusal programlama probleminin, ek bir λ değişkeni yardımıyla geleneksel doğrusal programlama modeline dönüştüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca λ değişkeninin, bulanık kısıtlayıcılar ve bulanık amaç fonksiyonunun çözüm vektörü tarafından aynı anda doyurulma derecesi olduğunu belirtmiş ve bu yaklaşımın Hannan ve Narasimhan yaklaşımlarına özdeş sonuçlar verdiğini kanıtlamışlardır (Yang ve Diğerleri, 1991: 48).

Yang, Ignizio ve Kim yaklaşımına göre, $(Ax)_i \cong b_i$ ifadesi aşağıdaki eşitlik şeklinde gösterilmektedir.

$$\left\{\begin{matrix} (Ax)_i \cong b_i \\ x_j \geq 0 \end{matrix}\right\} \equiv \left\{\begin{matrix} (Ax)_i \underset{\sim}{\leq} b_i \\ (Ax)_i \underset{\sim}{\geq} b_i \\ x_j \geq 0 \end{matrix}\right\} \qquad \textbf{(4.23)}$$

4.23 numaralı eşitliğe dayanarak, bulanık eşitlik üçgensel bir üyelik fonksiyonuna dayanarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$(Ax)_i \underset{\sim}{\leq} b_i \ (i = 1,2,\dots,m_1)\ \mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \geq b_i + d_i\ ise \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} & ;\ eğer\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i\ ise \\ 1 & ;\ eğer\ (Ax)_i = b_i\ ise \end{cases} \qquad \textbf{(4.24)}$$

$$(Ax)_i \underset{\sim}{\geq} b_i (i = 1,2,\dots,m_1\ \mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \leq b_i - d_i\ ise \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} & ;\ eğer\ b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i\ ise \\ 1 & ;\ eğer\ (Ax)_i = b_i\ ise \end{cases} \qquad \textbf{(4.25)}$$

Yukarıdaki eşitliğe göre, bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik derecesine sahip elemanı aşağıdaki doğrusal programlama probleminin yardımı ile bulunmaktadır (Özkan, 2003:193).

Max λ

Kısıtlayıcılar

$$\left.\begin{aligned} 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{d_i} &\geq \lambda \\ 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i} &\geq \lambda \end{aligned}\right\} \; i = 1,2,\dots,m_1 \qquad \textbf{(4.26)}$$

$\lambda \in [0,1]$

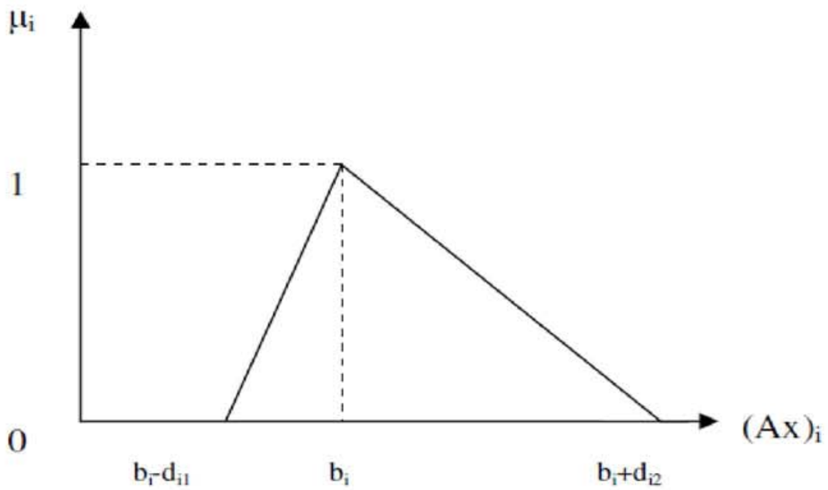
$x_j \geq 0$

j = 1,2,…,n

Bu yaklaşıma göre, üçgensel üyelik fonksiyonlarının tanımlı olduğu

[b_i - d_i, b_i] ve [b_i, b_i + d_i,] aralıklarının simetrik olması gerekmemektedir. Bu durum aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Erdin, 2007: 125)

Şekil 27: Yang, Ignizio ve Kim yaklaşımı için üçgensel üyelik fonksiyonu



Kaynak: Yang ve diğerleri, 1991: 48

Yukarıdaki şekilde yer alan d_i sapma miktarları merkezde yer alan b_i değerine farklı uzaklıkta yer alabildiği gösterilmektedir. d_{i1} ve d_{i2} farklı sapma miktarlarını göstermektedir (Güneş ve Umarusman, 2005:214).

Simetrik olmayan üyelik fonksiyonunun gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$(Ax)_i \cong b_i => \mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \leq b_i - d_{i_1}\ ise \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_{i_1}} & ;\ eğer\ b_i - d_{i_1} \leq (Ax)_i \leq b_i\ ise \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_{i_2}} & ;\ eğer\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_{i_2}\ ise \\ 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \geq b_i + d_{i_2}\ ise \end{cases} \quad (i=1,2,\ldots\ldots,m_1) \qquad \textbf{(4.27)}$$

$(i = 1,2, \ldots, m_1)$

En yüksek üyelik derecesine sahip elemanın bulunması için doğrusal programlama problemi aşağıda gösterildiği gibi olmaktadır (Chen ve Tsai, 2001:550)

Max λ

Kısıtlayıcılar

$$\left. \begin{aligned} 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_{i_1}} &\geq \lambda \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_{i_2}} &\geq \lambda \end{aligned} \right\} \quad i = 1,2, \ldots, m_1 \qquad \textbf{(4.28)}$$

$\lambda \in [0,1]$

$x_j \geq 0 \qquad j = 1,2, \ldots ,n$

4.3.4. Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla Tiwari, Dharmar ve RaoYaklasımı

Bulanık hedef programlamada bulanık hedeflere farklı önceliklerin verilmesi ilk defa Twari, Dharmar ve Rao tarafından yapılmıştır. Twari, Dharmar ve Rao 1986 yılında yaptıkları çalışmada; bulanık hedef programlama problemlerinde, net bir şekilde belirtilmeyen çok sayıdaki hedefin aynı anda gerçekleştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ancak aynı anda gerçekleştirilmek istenen bu hedefler birbiriyle çelişen zıt hedefler olabilmektedir. Hedeflerin birbiriyle zıt ve çelişen hedefler olması durumunda karar verici hedeflere öncelik verebilmektedir (Twari ve Diğerleri, 1986:252).

Twari, Dharmar ve Rao yaklaşımı, karar vericilerin belirlediği her tercih önceliği için Narasimhan yaklaşımının ardışık programlamayla birleştirilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda, T_i tercih önceliği için en yüksek λ değerini elde ettiğimiz alt problemin çözümü, T_{i+1} tercih önceliğinde bir kısıt olarak yer almaktadır. En düşük tercih önceliğindeki hedefler doyurulana kadar bu süreç devam eder. Sonuç olarak en düşük tercih önceliğindeki en yüksek λ değerini bulduğumuz alt problemin çözümü tercih öncelikli bulanık hedef programlama probleminin çözümü olmaktadır (Özkan, 2003:196).

m tane bulanık hedefe sahip bir bulanık hedef programlama problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Twari ve Diğerleri, 1986:253).

$$G_1 : \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 \ldots + \alpha_{1n}x_n \cong B_1,$$

$$G_2 : \alpha_{21}x_1 + \alpha_{22}x_2 \ldots + \alpha_{2n}x_n \cong B_2,$$

.

. **(4.29)**

.

$$G_m : \alpha_{m1}x_1 + \alpha_{m2}x_2 \ldots + \alpha_{mn}x_n \cong B_m,$$

$$X_j \geq 0,\ j = 1,2,3,\ldots,n$$

Yukarıdaki gösterimde kullanılan ‘’ $\cong$’’ bulanıklığı ifade etmektedir. $(Ax)_i \cong B_i$ gibi bir ifadenin anlamı ise; $(Ax)_i$ ‘in B_i’den büyük bir değer olabileceği gibi küçük bir değer de olabileceğidir. $B_{İL}$ ve $B_{İG}$ i’inci hedeflere ait pozitif ve negatif sapmalar ve $B_i - B_{İL} = B_{İG} - B_i = \Delta_i$ olsun. Bu durumda bulanık hedefler için aşağıdaki üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır (Twari ve Diğerleri, 1986:253).

$$\mu_i(Ax) = \begin{cases} 1 & (Ax)_i = B_i \\ 0 & (Ax)_i \leq B_i - \Delta_i = B_{iL} \\ \dfrac{(Ax)_i - B_{iL}}{\Delta_i} & B_{iL} \leq (Ax)_i \leq B_i \\ \dfrac{B_{iG} - (Ax)_i}{\Delta_i} & B_i \leq (Ax)_i \leq B_i + \Delta_i = B_{iG} \\ 0 & B_{iG} \leq (Ax)_i \end{cases} \quad \textbf{(4.30)}$$

Üyelik fonksiyonunun tanımlanmasından sonra çözülmesi gereken problemimiz ise aşağıda gösterilmiştir (Twari ve Diğerleri, 1986:254).

$$Max_{x\geq 0}\left[min_i\left\{\frac{(Ax)_i - B_i}{\Delta_i}\right\} = \lambda\right] \text{ olsun} \quad \textbf{(4.31)}$$

$B_{iL} \leq (Ax)_i \leq B_i$ $\quad$ i = 1,2, … , m

ya da;

Max λ

$$\lambda = \frac{(Ax)_i - B_i}{\Delta_i} \quad \textbf{(4.32)}$$

$$B_{iL} \leq (Ax)_i \leq B_i$$

$$\lambda, x \geq 0$$

Twari, Dharmar ve Rao geliştirdikleri yöntemde üçgensel üyelik fonksiyonlarından faydalanmışlardır. Bu yüzden m tane üyelik fonksiyonuna sahip bir problemin çözümü için $\mathbf{2^m}$ adet alt probleme ihtiyaç vardır. $\mathbf{2^m}$ sayıdaki alt problem, problemde yer alan bulanık problemlerin olası tüm kombinasyonlarını içermektedir. Twari, Dharmar ve Rao'nın geliştirdikleri modelin amacı, olası tüm kombinasyonları deneyerek en büyük üyelik fonksiyon değerini veren çözümü elde etmektir (Twari ve Diğerleri, 1986:254).

Twari, Dharmar ve Rao, makalelerinde geliştirdikleri teknik ile Narasimhan'ın tekniğini karşılaştırmış ve kendi tekniklerinin "daha tutarlı" ve "daha hızlı işlen yapabilme olanağı" sunduğunu belirtmişlerdir (Erdin, 2007:132)

4.3.5. Üçgensel Üyelik Fonksiyonlarıyla ChenYaklasımı

Twari, Dharmar ve Rao bulanık hedef programlama problemlerini çözmede simetrik üçgensel üyelik fonksiyonlarını kullanmışlardır. Ayrıca geliştirdikleri teknik sayesinde bulanık hedef programlama problemleri için tercih önceliğini de göz önünde bulundurmuşlardır. Ancak geliştirdikleri teknikte karşılaşılan işlem yükü belirlenen hedef ve önceliklerin sayısıyla orantılı olarak artmaktadır (Chen,1994:288). Oluşan bu işlem yükünü azaltmayı amaçlayan alternatif bir yöntem 1994 yılında Chen tarafından önerilmiştir. Chen yaptığı çalışmada, T_i tercih önceliğine sahip bulanık hedef programlama problemlerini tek bir doğrusal programlama problemine indirgemeyi başarmıştır. Bu nedenle Chen'in geliştirdiği yöntem işlem yükünün az olmasından dolayı Twari, Dharmar ve Rao'nun yaklaşımından daha etkindir (Özkan, 2003:201).

Chen makalesinde, bulanık hedeflerin üyelik derecelerinin maksimize edilmesi yerine, bulanık hedeflerden üyelik derecelerinin en fazla 1'e eşit olabilenlerden oluşacak sapmaları minimize edilmesinin en iyi sonuç için gerekli olduğunu belirtmiştir. Chen'in bu yaklaşımı, bulanık bir hedefin üyelik derecesinin maksimize edilmesinin, bulanık hedefe üye olmama derecesinin minimize edilmesiyle özdeş olduğu düşüncesinden hareketle geliştirilmiştir (Chen,1994:288).

Chen bu yaklaşımda, bulanık hedeflere üye olmama derecesini λ' ile göstermiş ve $\lambda' = 1 - \lambda$ olarak göstermiştir. Bu durumdan hareketle çözülmesi gereken problem aşağıdaki gösterildiği gibidir;

$b_i - d_i$ ve $b_i + d_i$ i'inci hedeften oluşabilecek pozitif ve negatif sapma miktarını göstersin.

$$min_{x\geq 0}\,\lambda' = \left[max_i\left\{\left|1-\frac{(Ax)_i}{\Delta_i}\right|\right\}\right]$$

Kısıtlayıcılar;

$$b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i$$

$x \geq 0$

Yukarıdaki gösterimde, $(Ax)_i \cong b_i$ bulanık hedefini niteleyen üyelik fonksiyonu artan parça ve azalan parça olarak iki kısımda incelenebildiği için mutlak değer işareti kullanılabilir. Üyelik fonksiyonuna ait azalan parça 1- $\frac{Ax\ i - bi}{di}$ fonksiyonu ile gösterilirken artan parça kısmı da 1- $\frac{bi - Ax\ i}{di}$ fonksiyonu ile gösterilmektedir. Bu durumda çözülmesi gereken model, aşağıda gösterildiği gibi doğrusal programlama problemine dönüşmüş olur (Chen,1994:289).

Max $\lambda = 1 - \lambda'$

Kısıtlayıcılar;

$$\left.\begin{array}{l}\lambda' \geq \left(1-\dfrac{b_i-(Ax)_i}{d_i}\right)-1\\ \lambda' \geq \left(1-\dfrac{(Ax)_i-b_i}{d_i}\right)-1\end{array}\right\} \equiv \left\{\begin{array}{l}\lambda' \geq \dfrac{(Ax)_i-b_i}{d_i}\\ \lambda' \geq \dfrac{b_i-(Ax)_i}{d_i}\end{array}\right. \quad i = 1,2,\ldots,m_1 \tag{4.33}$$

$$b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i$$

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

$x \geq 0$

4.3.6. Kim ve Whang Yaklaşımı

Kim ve Whang 1998 yılında yapmış oldukları çalışmada, bulanık eşitsizlikler içeren tercih öncelikli hedef programlama problemlerinin Hannan yaklaşımı yardımıyla çözülebileceğini kanıtlamışlardır. Bu yaklaşımları karar vericilerin bulanık hedeflerine ilişkin tolerans miktarını belirlemesi ilkesine dayanmaktadır (Kim ve Whang, 1998:615).

Bulanık hedefler $(Ax)_i \cong b_i$, $(Ax)_i \lessapprox b_i$ ve $(Ax)_i \gtrapprox b_i$ olmak üzere üç farklı şekilde gösterilmektedir. Bu yaklaşımda $(Ax)_i \lessapprox b_i$ ve $(Ax)_i \gtrapprox b_i$ bulanık hedefleri için karar vericinin tolerans miktarı belirlemektedir. Sözü edilen tolerans miktarları $(Ax)_i \lessapprox b_i$ bulanık hedefi için t_i^+ ve $(Ax)_i \gtrapprox b_i$ bulanık hedefi için t_i^- ile gösterilmiş olsun. Burada t_i^+ dğeri, $(Ax)_i \lessapprox b_i$ bulanık hedefinin erişim düzeyi b_i'yi geçebilmesine imkan verdiği, t_i^- değeri ise, $(Ax)_i \gtrapprox b_i$ hedefinin b_i'den daha küçük değerler alabileceğini göstermektedir. $(Ax)_i \lessapprox b_i$ ve $(Ax)_i \gtrapprox b_i$ hedeflerinin sırasıyla $[b_i, b_i + t_i^+]$ ve $[b_i - t_i^-, b_i]$ aralıklarında değerler almaları beklenmektedir. Bu durumda, $(Ax)_i \cong b_i$ hedefinin de $[b_i - t_i^-, b_i + t_i^+]$ aralığında değer alması beklenmektedir (Özkan, 2003:205).

Bütün bunlar göz önüne alındığında Kim ve Whang yaklaşımındaki Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları aşağıda gösterildiği gibidir (Özkan, 2003:205).

$$(Ax)_i \cong b_i \Rightarrow \mu_i(x)=\begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \leq b_i - t_i^-\ ise \\ 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{t_i^-} & ;\ eğer\ b_i - t_i^- \leq (Ax)_i \leq b_i\ ise \\ 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{t_i^+} & ;\ eğer\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + t_i^+\ ise \\ 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \geq b_i + t_i^+\ ise \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,m_1) \qquad \textbf{(4.34)}$$

$(i = 1,2,\dots,m_1)$

$$(Ax)_i \lessapprox b_i\ (i=m_1+1,\dots,m_2) \Rightarrow \mu_i(x)=\begin{cases} 0 & ;\ eğer\ (Ax)_i \geq b_i + t_i^+\ ise \\ 1-\frac{(Ax)_i-b_i}{t_i^+} & ;\ eğer\ b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + t_i^+\ ise \\ 1 & ;\ eğer\ (Ax)_i = b_i\ ise \end{cases} \qquad \textbf{(4.35)}$$

$$(Ax)_i \gtrsim b_i \; (i=m_2+1,\ldots,m_3) \Rightarrow \mu_i(x)= \begin{cases} 0 & ; \; eğer \; (Ax)_i \leq b_i - t_i^- \; ise \\ 1-\frac{b_i-(Ax)_i}{t_i^-} & ; \; eğer \; b_i - t_i^- \leq (Ax)_i \leq b_i \; ise \\ 1 & ; \; eğer \; (Ax)_i = b_i \; ise \end{cases} \quad \textbf{(4.36)}$$

Kim ve Whang yaklaşımına göre, bulanık hedef programlama probleminin doğrusal programlama problemi olarak ele alınmasında $\mu_i(x) \geq \lambda$ ilişkisi temel alınır. Bu düşünceden hareketle yukarıdaki üyelik fonksiyonları $\mu_i(x) \geq \lambda$ ifadesinde yerine yazılabilir (Özkan, 2003:205).

$(Ax)_i \lesssim b_i$ bulanık hedefini ele alınırsa (Özkan, 2003:206-207);

$$\mu i \; x \geq \lambda$$

$$1-\frac{Ax\; i - bi}{t_i^+} \geq \lambda \quad \Rightarrow (Ax)_i - t_i^+(1-\lambda) \leq b_i \qquad \textbf{(4.37)}$$

Eşitsizliğinde λ değişkeni, bulanık hedefler ulaşma derecesini gösterdiğinden dolayı β_i^+ değişkeni de $(Ax)_i \lesssim b_i$ bulanık hedefine erişim düzeyi olarak tanımlanmaktadır. Burada $(1-\lambda)$ ifadesi yerine β_i^+ ifadesi yazıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilmiş olur.

$$(Ax)_i - t_i^+\beta_i^+ \leq b_i$$

Yukarıdaki eşitlikte, β_i^+ değeri '' 0 '' değerini alması durumunda $(Ax)_i \lesssim b_i$ bulanık hedefi için herhangi bir tolerans aralığının belirlenmesine gerek duyulmadığı, β_i^+ değeri '' 1 '' değerini alması durumunda ise $(Ax)_i \lesssim b_i$ bulanık hedefinin tamamen doyurulduğu anlaşılmaktadır.

Benzer işlemler $(Ax)_i \gtrsim b_i$ bulanık hedef için yapılırsa;

$$\mu i \; x \geq \lambda$$

$$1-\frac{bi - Ax\; i}{t_i^-} \geq \lambda \quad \Rightarrow (Ax)_i + t_i^-(1-\lambda) \geq b_i \qquad \textbf{(4.38)}$$

İfadesi elde edilir. Bu eşitlikte $(1-\lambda)$ ifadesi β_i^- ile nitelendiğinde 4.39 numaralı eşitlik aşağıda gösterildiği gibi olur.

$$(Ax)_i + t_i^-\beta_i^- \geq b_i \qquad \textbf{(4.39)}$$

$(Ax)_i \cong b_i$ ifadesi $(Ax)_i \lesseqgtr b_i$ ve $(Ax)_i \gtreqless b_i$ cinsinden ifade edilebildiği için $(Ax)_i \cong b_i$ bulanık hedefini ele alınırsa;

$(Ax)_i \cong b_i$ bulanık hedefinin tamamen doyurulması için β_i^- ve β_i^+ değerlerinin "0" değerini alması gerekmektedir. Bu durumda Hannan'ın yaklaşımına benzer bir yaklaşım elde edilir ve bu yaklaşım aşağıda gösterildiği gibidir.

$$(Ax)_i + t_i^- \beta_i^- + t_i^+ \beta_i^+ = b_i$$

Yukarıdaki eşitlikte β_i^- ve β_i^+ ifadeleri yerine $(1-\lambda)$ yazılarak aşağıdaki eşitlik elde edilmiş olur.

$$(Ax)_i + (t_i^- - t_i^+) - (t_i^- - t_i^+)\lambda = b_i$$

Bulanık hedefi niteleyen üçgensel üyelik fonksiyonunun simetrik olması halinde $t_i^- = t_i^+$ olacak ve $(Ax)_i = b_i$ eşitliği elde edilecektir.

Kim ve Whang yaklaşımına göre kısıtlayıcı kümesinin oluşturulması yukarıda açıklanmıştır. Kısıtlayıcı kümesini oluşturduktan sonra bulanık hedef programlama probleminin amaç fonksiyonunun nasıl oluşturulacağı aşağıda anlatılmıştır.

Yukarıdaki açıklamada t_i^- ve t_i^+ değişkenlerinin bulanık hedefler için kabul edilebilir tolerans, β_i^- ve β_i^+ değişkenlerinin ise çözüm vektörünün bulanık hedeflere üye olmama derecesini gösterdiği belirtilmiştir. Kim ve Whang yaklaşımında bulanık hedefler için kabul edilebilir tolerans değerleri veya çözüm vektörünün bulanık hedeflere üye olmama derecesi minimize edilmeye çalışıldığı için amaç fonksiyonumuz aşağıda gösterilmiştir.

$$\min \left[\sum_{i=1}^{m1}(\beta_i^- + \beta_i^+) + \sum_{i=m1+1}^{m2}\beta_i^+ + \sum_{i=m2+1}^{m}\beta_i^- \right] \qquad \textbf{(4.40)}$$

Bu durumda söz konusu yaklaşımdaki hedef programlama modelimiz aşağıda verilmiş olan doğrusal programlama modelini indirgenmiş olmaktadır.

$$\min\left[\sum_{i=1}^{m_1}(\beta_i^+ + \beta_i^-) + \sum_{i=m_1+1}^{m_2}\beta_i^+ + \sum_{i=m_2+1}^{m}\beta_i^-\right] \qquad \textbf{(4.41)}$$

kısıtlayıcılar;

$(Ax)_i + t_i^- \beta_i^- + t_i^+ \beta_i^+ = b_i \qquad i = 1,2,\dots,m_1$

$(Ax)_i - t_i^+ \beta_i^+ \leq b_i \qquad i = m_1+1,\dots,m_2 \qquad$ **(4.42)**

$(Ax)_i + t_i^- \beta_i^- \geq b_i \qquad i = m_2+1,\dots,m_3$

$\beta_i^- \,,\ \beta_i^+ \geq 0 \qquad i = 1,2,\dots,m_3$

$x \geq 0$

4.3.7. Tiwari, Dharmar ve Rao'nun Toplamsal Model Yaklaşımı

Aynı önceliğe sahip hedefleri içeren bulanık hedef programlama yaklaşımlarının birçoğunda, bulanık hedeflere ait ortak doyum derecesine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu durum, elde edilen çözüm kümesindeki bütün hedeflerin aynı üyelik derecesini alması ile sonuçlanmaktadır. Karar vericinin bulanık hedefler arasında tercih önceliklerini belirlemesi, bulanık hedeflerin farklı düzeylerde doyurulmasına imkan sağlamaktadır. Twari, Dharmar ve Rao (1987) yaptıkları çalışmada, bulanık hedeflere ait ortak doyum derecesine ulaşmak yerine, hedeflerin ayrı ayrı doyum derecelerinin toplamını en çoklamaya çalışmışlardır (Twari ve Diğerleri, 1987: 28).

Zimmermann tipi üyelik fonksiyonlarından oluşan ve aynı tercih önceliğine sahip hedefler içeren bulanık hedef programlama modeli aşağıdaki gibi olsun (Özkan, 2003:210).

$$Ax_i \lesseqqgtr b_i \quad i = m_1+1,\dots,m_2 \;\Rightarrow\; \mu_i = \begin{array}{ll} 0 & ;\text{eğer } Ax_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{Ax_i - b_i}{d_i} & ;\text{eğer } b_i \leq Ax_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 & ;\text{eğer } Ax_i \leq b_i \text{ ise} \end{array} \qquad (4.43)$$

$$Ax_i \gtreqqless b_i \quad i = m_2+1,\dots,m_3 \;\Rightarrow\; \mu_i = \begin{array}{ll} 0 & ;\text{eğer } Ax_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - Ax_i}{d_i} & ;\text{eğer } b_i - d_i \leq Ax_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 & ;\text{eğer } Ax_i \gtreqqless b_i \text{ ise} \end{array} \qquad (4.44)$$

$x \geq 0$

4.43 ve 4.44 numaralı eşitlikte verilmiş olan bulanık hedef programlamaya ilişkin Twari, Dharmar ve Rao'nun geliştirdiği toplamsal model, bulanık hedeflere ait üyelik değerlerinin toplamı şeklinde aşağıda gösterilmiştir (Twari ve Diğerleri, 1987: 28).

$$Maksimum\ V\ \mu \quad \sum_{i=m_1+1}^{m_3} \mu_i$$

$Kısıtlayıcılar;$

$$\mu_i = 1 - \frac{Ax_i - b_i}{d_i} \qquad i = m_1 + 1, \ldots, m_2$$

$$\mu_i = 1 - \frac{b_i - Ax_i}{d_i} \qquad i = m_2 + 1, \ldots, m_3 \qquad \textbf{(4.45)}$$

$$\mu_i \leq 1 \qquad i = m_1 + 1, \ldots, m_3$$

$$x, \mu_i \geq 0$$

4.45'deki eşitliklerde geçen d_i ifadesi, her bir hedef için belirlenen tolerans miktarından oluşan sapmayı göstermektedir. Hedeflere ait belirlenen tolerans miktarı r_i olsun. Bu durumda $d_i = |r_i - b_i|$ olmuş olur (Twari ve Diğerleri, 1987: 28).

Bu durumda 4.45'teki eşitlik 4.46'daki gibi gösterilebilir.

$$Maksimum\ V\ \mu \quad \sum_{i=m_1+1}^{m_3} \mu_i$$

$Kısıtlayıcılar;$

$$\mu_i = 1 - \frac{Ax_i - b_i}{|ri - bi|} \qquad i = m_1 + 1, \ldots, m_2$$

$$\mu_i = 1 - \frac{b_i - Ax_i}{|ri - bi|} \qquad i = m_2 + 1, \ldots, m_3 \qquad \textbf{(4.46)}$$

$$\mu_i \leq 1 \qquad i = m_1 + 1, \ldots, m_3$$

$$x, \mu_i \geq 0$$

Belirlenen tolerans miktarları karar vericiye bağlı olup ulaşılmak istenen hedef değerinden büyük olabilir (Twari ve diğerleri, 1987: 28).

Twari, Dharmar ve Rao'nun yaklaşımında, bulanık hedeflere farklı önem değerleri atanması durumunda ağırlıklı toplamsal model elde edilmiş olur ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Özkan, 2003:211).

Maksimum V μ $\sum_{i=m_1+1}^{m_3} \omega i \mu_i$

Kısıtlayıcılar;

$$\mu_i = 1 - \frac{Ax_i - b_i}{|ri - bi|} \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_2)$$

$$\mu_i = 1 - \frac{b_i - Ax_i}{|ri - bi|} \qquad (i = m_2+1,\ldots,m_3) \qquad \textbf{(4.47)}$$

$$\mu_i \leq 1 \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_3)$$

$$x, \mu_i \geq 0$$

Yukarıdaki eşitlikte, ω_i hedeflere atanan ağırlık değerlerini belirtir. Aynı zamanda bu değer $0 \leq \omega_i \leq 1$ ve $\sum \omega i = 1$ koşullarını sağlaması gerekmektedir (Özkan, 2003:211).

Yukarıdaki açıklamaları Twari ve arkadaşlarının (1987) yılında yazdıkları makaledeki örnekte gösterelim;

$\sum_{i=1}^{5} \mu_i$

Hedefler;

$$4x_1 + 2x_2 + 8x_3 + x_4 \lesseqqgtr 35$$

$$4x_1 + 7x_2 + 6x_3 + 2x_4 \gtreqqless 100$$

$$x_1 - 6x_2 + 5x_3 + 10x_4 \gtreqqless 120 \qquad \textbf{(4.48)}$$

$$5x_1 + 3x_2 + 2x_4 \gtreqqless 70$$

$$4x_1 + 4x_2 + 4x_3 \gtreqqless 40$$

Sistem Kısıtları;

$7x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 2x_4 \leq 98$

$7x_1 + x_2 + 6x_3 + 6x_4 \leq 117$

$x_1 + x_2 + 2x_3 + 6x_4 \leq 130$

$9x_1 + x_2 + 6x_4 \leq 105$

$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$

$\mu_i \geq 0$

Karar vericinin hedeflere ilişkin belirlediği tolerans miktarı sırasıyla (55, 40, 70, 30, 10) olsun. Bu durumda problemimiz aşağıdaki gibi düzenlenmektedir.

$$^{5}_{i=1}\mu_i$$

$$\mu_1 = 1- \frac{4X1 + 2\,X2 + 8\,X3 + X4 - 35}{|55-35|}$$

$$\mu_2 = 1- \frac{100-(4x1 + 7\,x2 + 6\,x3 + 2x4)}{|40-100|}$$

$$\mu_3 = 1- \frac{120- x1 - 6x2 + 5x3 + 10x4}{|70-120|}$$

$$\mu_4 = 1- \frac{70- 5x1 + 3x2 + 2x4}{|30-70|}$$

$$\mu_5 = 1- \frac{40- 4x1 + 4x2 + 4x3}{|10-40|}$$

$7x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 2x_4 \leq 98$

$7x_1 + x_2 + 6x_3 + 6x_4 \leq 117$

$x_1 + x_2 + 2x_3 + 6x_4 \leq 130$

$9x_1 + x_2 + 6x_4 \leq 105$

$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$

$\mu_i \geq 0$

Yukarıdaki eşitlikler düzenlendiğinde aşağıdaki gösterim elde edilecektir.

$$\sum_{i=1}^{5} \mu_i$$

$4x_1 + 2x_2 + 8x_3 + x_4 + 20\mu_1 = 55$

$7x_1 + x_2 + 6x_3 + 6x_4 - 60\mu_2 = 40$

$x_1 - 6x_2 + 5x_3 + 10x_4 - 50\mu_3 = 70$

$5x_1 + 3x_2 + 2x_4 - 40\mu_4 = 30$

$4x_1 + 4x_2 + 4x_3 - 30\mu_5 = 10$

$7x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 2x_4 \leq 98$

$7x_1 + x_2 + 6x_3 + 6x_4 \leq 117$

$x_1 + x_2 + 2x_3 + 6x_4 \leq 130$

$9x_1 + x_2 + 6x_4 \leq 105$

$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$

$\mu_i \geq 0$

Yukarıda düzenlenmiş olan problemin çözümüne ilişkin çözüm sonuçlarını gösteren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 4: Problemin Çözümüne İlişkin Çözüm Sonuçları

x_1	x_2	x_3	x_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5
0	9,75	0	15,875	0,981	1	0,605	0,775	0,967

H_1, H_2, H_3, H_4 ve H_5 problemde belirlenen hedefler olsun. Hedeflerin gerçekleşme miktarına ilişkin tablo aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 5: Hedeflerin Gerçekleşme Miktarı

H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
35,375	100	100,25	61	34

Yukarıdaki örneği ağırlıklandırarak ele alalım. Hedeflere ilişkin ağırlıklar sırasıyla ω = (0.49, 0.131, 0.153, 0.114, 0.112) olsun. Bu durumda ağırlıklandırılmış bulanık hedef programlama modelimiz aşağıdaki gibi olur.

$$\text{Max } Z(\omega) = 0{,}49\,\mu_1 + 0{,}131\,\mu_2 + 0{,}153\,\mu_3 + 0{,}114\,\mu_4 + 0{,}112\,\mu_5$$

$$4x_1 + 2x_2 + 8x_3 + x_4 + 20\,\mu_1 = 55$$

$$7x_1 + x_2 + 6x_3 + 6x_4 - 60\,\mu_2 = 40$$

$$x_1 - 6x_2 + 5x_3 + 10x_4 - 50\,\mu_3 = 70$$

$$5x_1 + 3x_2 + 2x_4 - 40\,\mu_4 = 30$$

$$4x_1 + 4x_2 + 4x_3 - 30\,\mu_5 = 10$$

$$7x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 2x_4 \leq 98$$

$$7x_1 + x_2 + 6x_3 + 6x_4 \leq 117$$

$$x_1 + x_2 + 2x_3 + 6x_4 \leq 130$$

$$9x_1 + x_2 + 6x_4 \leq 105$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

$$\mu_i \geq 0$$

Çözüme ilişkin tablolar aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 6: Çözüme ilişkin Tablo

x_1	x_2	x_3	x_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5
0	9,545	0	14,909	1	0,977	0,636	0,761	0,939

Hedeflerin gerçekleşme miktarına ilişkin tablo ise;

Tablo 7: Hedeflerin gerçekleşme miktarı

H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
35	98,633	101,82	60,453	38,18

4.3.8. Chen ve Tsai'nin Toplamsal Model Yaklaşımı

Tercih öncelikli hedef programlama problemlerini çözmek için geliştirilen yöntemlerin çoğunda ardışık optimizasyon yöntemi bulunmaktadır. Tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemlerinde, her bir tercihin çözümü için yeni bir doğrusal programlama modeli tanımlanmakta ve bu modelin çözüm sonucu sonraki tercih için kısıtlayıcı olmaktadır. Bu nedenle öncelik düzey sayısının artması hem yeni işlemsel yük getirmekte hem de bu işlemlerin etkinlik kaybına yol açmaktadır (Özkan, 2003:215).

Tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemlerinin çözümünde meydana gelen bu işlemsel yükün azaltılması için öncelikli tercih yapısının tek bir doğrusal programlama modeli halinde ifade edilmesi gerekmektedir. Twari, Dharmar ve Rao'nun geliştirdiği yaklaşımda ağırlık kavramını kullanmaları uygun bir çözüm olarak görülebilir. Twari, Dharmar ve Rao'nun toplamsal model yaklaşımlarında, bulanık hedeflere atanan göreli ağırlıkların tercih önceliğini tam olarak yansıtmadığı görülmektedir. Bu sorunu gidermek için Chen ve Tsai tarafından (2001) yeni bir yöntem geliştirmiştir. Chen ve Tsai, en önemli hedefin en yüksek üyelik derecesini almasını sağlayan ve tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemini tek bir problemin çözümüne indirgemeyi sağlayan bir çözüm yöntemi geliştirmeyi amaçlamıştır. Chen ve Tsai, Twari, Dharmar ve Rao'nun geliştirdiği toplamsal modele $\mu_i \geq \alpha_i$ kısıtını ekleyerek yeni bir model geliştirmişlerdir. Burada, μ_i i'ninci bulanık hedefin üyelik derecesini gösterirken α_i ise karar vericinin ulaşmak istediği minimum üyelik derecesini göstermektedir (Chen ve Tsai, 2001:552).

Chen ve Tsai'nin geliştirdiği toplamsal model aşağıda gösterilmiştir (Özkan, 2003:215).

Maksimum $V(\mu)\ \sum_{i=m_2+1}^{m_3} \mu_i$

Kısıtlayıcılar

$$\mu_i = 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_2)$$

$$\mu_i = 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \qquad (i = m_2+1,\ldots,m_3) \qquad \textbf{(4.49)}$$

$$\mu_i \leq 1 \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_3)$$

$$\mu_i \geq \alpha_i$$

$$x, \mu_i \geq 0$$

Bu yaklaşımda iki dezavantaj bulunmaktadır. Bunlardan ilki, bulanık hedefler için ulaşılmak istenen α_i üyelik derecelerinin karar vericiler tarafından tespitinin kolay olmaması, diğeri ise, karar vericilerin bulanık hedeflerin her biri için gerekenden daha büyük üyelik derecelerine ulaşmak istemeleri halinde uygun olmayan çözümler ile karşılaşmalarıdır (Özkan, 2003:216).

Bulanık hedeflerin tercihleri arasında $T_1 > T_2 > T_3 > \ldots > T_{n-1} > T_n$ ilişkisi olsun. Bu durumda, bulanık hedefler arasındaki tercih önceliğinin üyelik değerleri $\mu_1 \geq \mu_2 \geq \ldots \geq \mu_{n-1} \geq \mu_n$ olarak gösterilebilir. Bu gösterim, birinci tercih önceliğindeki bulanık hedefe ait üyelik derecesinin diğer bulanık hedeflere ait üyelik derecelerinden büyük olması gerektiğini göstermektedir. Twari, Dharmar ve Rao'nun toplamsal modeline yukarıdaki bağıntı eklendiğinde, tercih öncelikli bulanık hedef programlama modeli doğrusal programlama modeline dönüşmekte ve matematiksel gösterimi aşağıda gösterildiği gibi olmaktadır (Özkan, 2003:217).

Maksimum $V(\mu)$ $\sum_{i=m_2+1}^{m_3} \mu_i$

Kısıtlayıcılar

$$\mu_i = 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_2)$$

$$\mu_i = 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \qquad (i = m_2+1,\ldots,m_3) \qquad \textbf{(4.50)}$$

$$\mu_i \leq 1 \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_3)$$

$$\mu_i \geq \mu_j \qquad i \neq j$$

$$x, \mu_i \geq 0$$

Tercih öncelikli bulanık hedef programlama problemleri için, karar vericilerin ulaşılmak istenen minimum üyelik değerlerini ifade edebilmeleri durumunda aşağıdaki toplamsal model elde edilmiş olur (Özkan, 2003:217).

Maksimum $V(\mu)$ $\sum_{i=m_2+1}^{m_3} \mu_i$

Kısıtlayıcılar

$$\mu_i = 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_2)$$

$$\mu_i = 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \qquad (i = m_2+1,\ldots,m_3) \qquad \textbf{(4.51)}$$

$$\mu_i \leq 1 \qquad (i = m_1+1,\ldots,m_3)$$

$$\mu_i > \alpha_i \qquad T_i \textit{ tercih önceliği için}$$

....

$$\mu_n > \alpha_n \qquad T_n \textit{ tercih önceliği için}$$

$$x, \mu_i \geq 0$$

4.4. HEDEF PROGRAMLAMA İLE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA ARASINDAKİ İLİŞKİ

Hedef Programlama ile Bulanık Hedef Programlama arasındaki farklar aşağıda ifade edilmiştir (Kağnıcıoğlu, 2006:34-35).

- ✓ Bulanık hedef programlama hedef programlamaya göre daha esnektir.
- ✓ Hedef programlamada, karar vericiler tarafından hedeflere belirli değerler verilme zorunluluğunun olması.
- ✓ Hedef programlamadaki belirlenen hedef değerlerin modele eklenme zorunluluğuna karşın bulanık hedef programlamada bu durum biraz daha esneklik göstermektedir.
- ✓ Hedef programlamada hedeflere belirli değerler verilmekte ve bu değerlerin eşitsizlik ya da eşitlik durumuna bağlı olarak oluşan sapma değerlerinin bu hedeflere ne kadar ulaşıldığını gösterirken bulanık hedef programlamada ise hedefler tam olarak belirgin olmayıp bu değerler atanan üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak tolerans limitleri ile belirlenmeye çalışılmaktadır.
- ✓ Hedef programlamada yer alan amaç fonksiyonundaki sapma değişkenlerinin sıfır yada sıfıra yakın değerler alması söz konusu hedefe ne kadar yaklaşıldığını gösterirken, bulanık hedef programlamada ise üyelik fonksiyonunun değeri ile net olmayan hedef değerlerine verilen tolerans miktarına ne derecede ulaşıldığı anlaşılmaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM
UYGULAMA

Üretim planlaması, üretilecek madde ya da sunulacak hizmetlerin, istenilen zamanda, istenilen kalite ve nicelikte olması ve gerekli işlemlerin uygulanabilmesi için gerekli olan kuramsal yanının, yazılı ve matematiksel olarak hazırlanması şeklinde tanımlanabilir. Başka bir ifade ile, gelecekteki imalat faaliyetlerinin miktarını belirleyen bir fonksiyon olarak tanımlanabilmektedir. Üretim planlaması aynı zamanda, gerekli görüldüğünde üzerinde değişiklik yapılabilecek bir süreç olarak da görülebilmektedir.

İşletmelerdeki üretim planlamasının temel amacı, talep edilen ürünlerin istenen zamanda ve yeterli miktarda hazır bulundurmaktır. Bu durumun sağlanabilmesi için üretim faktörlerinin gerekli miktarda ve tam zamanında sağlanması gerekmektedir.

İşletmeler üretim planlamasına aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı ihtiyaç duyarlar;

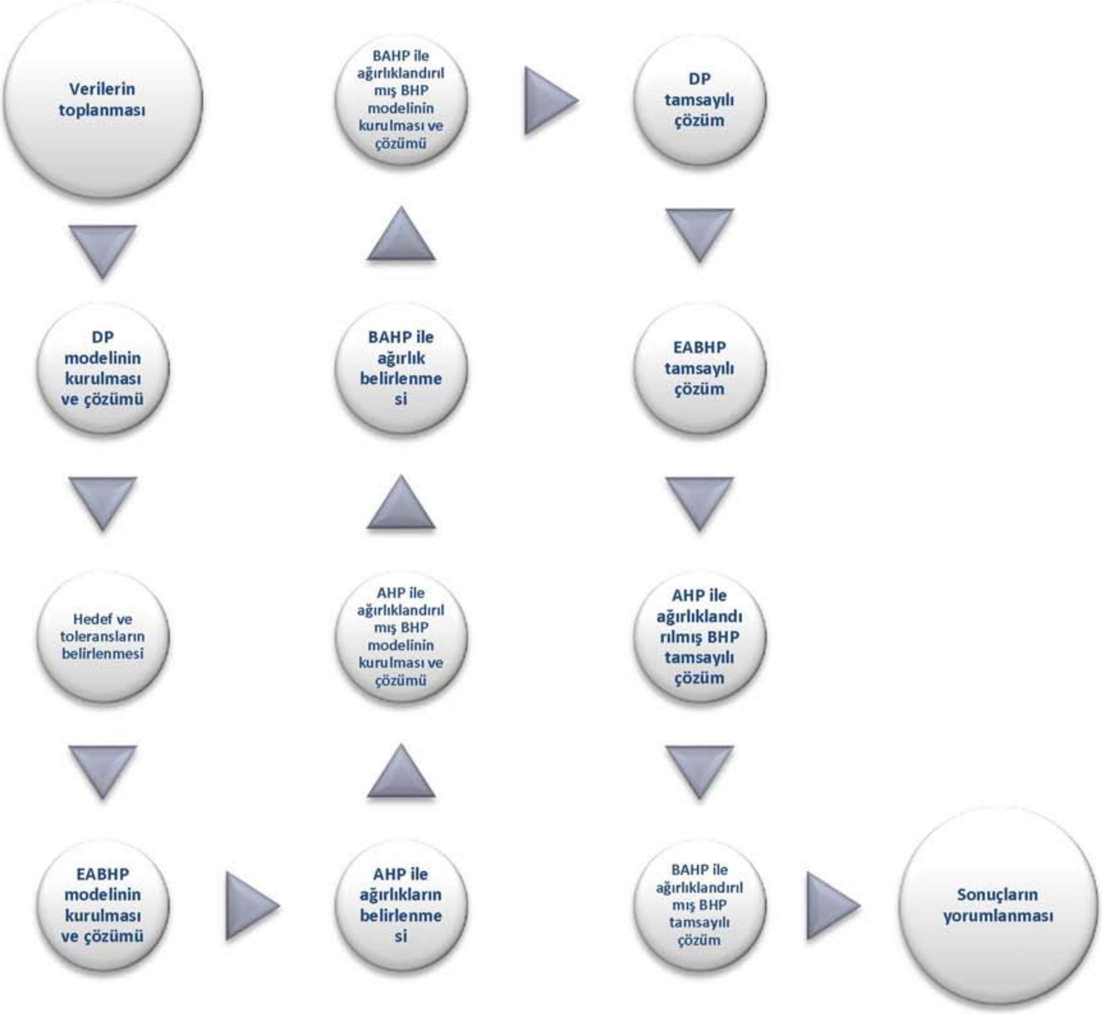
- ✓ Üretim sistemlerinde karşılaşılan karmaşıklık,
- ✓ Üretim faaliyetlerinin yoğunluğu,
- ✓ İşletmede oluşan koordinasyon zorluğu,
- ✓ İşletmeler arasındaki ilişkiler,
- ✓ Taleplerin zamanla büyümesi ve çok çeşitlenmesi,
- ✓ Kalite ve hizmet rekabetinde oluşan büyük artış,
- ✓ Malzeme, işgücü ve tehcizat kayıplarının minimum düzeye indirilme zorunluluğu (Akman, 2009:52-53)

Eğitim-öğretim hayatımızın yanında günlük yaşamda da çok önemli bir ihtiyaç olan kırtasiye ve büro malzemelerinin her an temin edilebilir olması ve üretiminin her zaman devam etmesi gerekmektedir. Teknolojik gelişmeler ve talepteki çeşitlilik kırtasiye ve büro malzemelerinin üretimde zamanla değişikliklere neden olmuştur. Günümüzde genç nüfusun artıyor olması ve buna bağlı olarak okuyan öğrenci sayılarındaki artışın kırtasiye ürünlerinin üretiminde değişikliğe neden olması gibi özel sektör ve devlet kurumlarındaki büro malzemelerine olan talep de üretimde değişikliğe neden olmuştur.

Eğitim-öğretimin belli dönemlerde olması üretimi kısıtlıyor gibi görünse de kırtasiye ve büro malzemelerindeki ürün yelpazesinin genişliğinden dolayı her an talep olmakta ve firmalar bu talepleri karşılamak üzere yoğun çaba sarf etmektedir.

Şekil 28'deki uygulama akışında gösterildiği üzere, firma ziyaretleri sırasında elde edilen üretime ilişkin veriler toplanmıştır. Bu veriler, ürün isim ve kodları, birim zaman ve iş kapasitesi, hammadde miktarı, her bir süreçte görevli personel sayısı ve birim kar miktarlarıdır. Bu veriler tablolar halinde verildikten sonra problemin önce DP modeli kurulmuş ve bu modelin Doğrusal çözümü DSFW paket programı ile yapılmıştır. Daha donra firmadan alınan hedef ve tolerans miktarları belirlenip bunlara bağlı olarak BHP modeli oluşrurulup benzer şekilde çözüm yapılmıştır. Hedeflere ilişkin önem dereceleri firma yönetimi açısından önemli olduğu için Ağırlıklandırılmış BHP modeli oluşturulmuş ve Doğrusal çözümleri DSFW ile yapılmıştır. Ağırlıkların daha tutarlı ve gerçeği daha iyi yansıtması düşüncesiyle ağırlıklandırma işlemi hem AHP hem de Bulanık AHP ile yapılmış ve ayrı ayrı çözümler elde edilmiştir. Elde edilen bu dört farklı modelin Doğrusal çözümlerinin yanında aynı sıralamayla Tamsayılı çözümleri MATLAB paket programında yapılmış ve tablolar eşliğinde sunulmuştur. Uygulamanın sonuç kısmında ise sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiş ve değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

Şekil 28: Uygulama Akışı



Çalışmada, İzmir ilinde kırtasiye ve büro malzemeleri ürünleri üreten Batı Matbaacılık San. Tic. Lim. Şti.'de bir aylık üretim planlaması yapılmıştır. Çok geniş ürün yelpazesine sahip olan firma için bazı ürünlerin planlaması amaçlanmıştır. Üretim planlaması yapılan ürünlerin ortak özelliği yılın her zamanında talep alan ürünler olmasıdır. Bu ürünler çoğunlukla işletmeler ve bazı kamu kurumlarında kullanılan ürünlerden oluşmaktadır. Söz konusu ürünler ve kodları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 8: Ürünler ve Kodları

BM056 YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ)	**BM541** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI)	**BM561** ADİSYON 3H NUMARALI	**BM564** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI	**BM650** BARO DOSYASI 1. KALİTE EKONOMİK	**BM209** KAPSÜLLÜ DOSYA YARIM KAPAK	**M0595** ARŞİV KARTON KLASÖR	**MO663** MAKBUZ

Yukarıda verilmiş olan ürünlere ilişkin, yazboz dokuz farklı üretim süreçten, personel özlük dosyası on yedi, 3h adisyon dokuz, otokopili adisyon dokuz, baro dosyası yedi, kapsüllü dosya altı, karton arşiv dosyası yedi ve makbuz on iki farklı süreçten geçmektedir. Söz konusu süreçler ve bu süreçlere ilişkin iş kapasitesini gösteren tablo aşağıda gösterilmiştir

Tablo 9: Birim Zaman ve İş Kapasitesi

	(BM056)	(BM541)	(BM561)	(BM564)	(BM650)	(M0209)	(M0595)	(M0663)	
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	iş kapasitesi
kesim1	1,723	0,288	0,716	0,716				4,109	345600
kesim2	1,396	0,288	1,396	1,396				0,563	288000
baskı1	1,111	1,8	1,11	1,11				11,252	288000
Baskı 2	1,111	1,8	1,11	1,11				0,225	288000
kapak-iz		2							57600
harman	0,117		0,117	0,117				3	288000
dikiş	6	0,00321	6	6				5,136	230400
kapak-tutkal	12		12	12				3,75	576000
sayım-bağlama	4,077	0,75	4,077	4,077	0,7936	1,6923		0,6	691200
ambalaj	12,3625	0,8399	12,3625	12,3625	0,8399	15,5366	2,9836	7,5	921600
kapak-kırım-tel-delme		1,124							57600
iç harman		5,791							57600

kırım		5,0398							57600
kapak iç geçirme		0,2023							115200
çevirme 1		0,9295							57600
tel takma		0,4616				6,25			230400
çevirme 2		1,369							57600
kapsül		2,006				1,875			115200
kesim					1,08	1,5579			115200
baskı					2,1818				57600
tel geçirme					0,1754				57600
kıvrım-katlama					1,2869	1,5569			115200
bölme							2,027		57600
etiket							8,5714	0,5	115200
çember							6,1037		57600
mekanizma							7,2028		115200
firkete							4,0677		115200
kesim3								0,3385	57600
kesim4								0,625	57600
TOPLAM	**39,8975**	**24,6923**	**38,8885**	**38,8885**	**6,3576**	**28,4687**	**30,9562**	**37,5985**	1324800

Tablo 9'da her bir sürece ilişkin saniye cinsinden birim adet için harcanan zamanı göstermektedir. Veriler, her hüretim sürecinde farklı gözlem sonuçları alınarak hesaplanmış ve daha sonra firmanın hesapladığı ortalamalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu karşılaştırmalar sonucunda görülmüş ve ölçüm sonuçları hesaplanarak taplo oluşturulmuştur.

Her bir ürün için gerekli olan hammadde ve toplam elde bulunan hammadde miktarı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 10: Hammadde Miktarı

	ÜRÜNLER	(BM056)	(BM541)	(BM561)	(BM564)	(BM650)	(BM209)	(M0595)	(M0663)	
	HAMMADDELER	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	
1	SHRING PE FILM	0,04	0,04			0,04	0,095		0,12	30000
2	OFSET BOYA	0,016	0,005	0,016	0,016	0,005			0,00006	30000
3	DIKIS TELI NO: 23 1BOBIN 14,5KG	0,008	0,0075	0,008	0,008					15000
4	TUTKAL MUCELLIT SICAK HOTMELT	0,0056		0,0022	0,056					25000
5	3.HAMUR 45GR 61CM	5,85								100000
6	KROME KARTON 175GR 39CM	13								100000
7	GRI KARTON 340GR 65CM	0,4368		0,4368						150000
8	PP SERIT (rota - 1 rulo 6500 mt)		0,7							100000
9	DOSYA TELI APARATI 10CM PLASTIK		27,5				275			500000
10	KAPSUL NO4 1PAKET 5000AD		55				550			1000000
11	DOSYA TELI 14 CM		27,5				275			500000
12	1.HAMUR 70GR 60CM		1,18125							25000
13	KROME KARTON 230GR 60CM		0,87975							10000
14	POLIOLEFIN FILM 2KATLI HER BOBIN 1332MT			0,04	0,04			0,65		80000
15	KROME KARTON 190GR 65CM			0,4672	0,4672					100000
16	3.HAMUR 48.8GR 62CM			5,568						100000
17	OTOKOPILI KAGIT 1.N 54GR 60CM				60,72					200000
18	OTOKOPILI KAGIT 3.N				60,72					200000

	54GR 60CM									
19	KROME KARTON 260GR 47CM				0,30792					10000
20	DOSYA TELI APARATI 12CM PLASTIK					55				100000
21	DOSYA TELI 24 CM					55				100000
22	DOSYALIK 300GR 34CM EKONOMIK PEMBE (SIMKA 1K)					3,257				50000
23	KAPSULLU DOSYA 2K PEMBE 31*41 !!!!						250			500000
24	DOSYALIK 260GR 31CM 2K PEMBE						8,34			100000
25	FLEXO BOYA						0,0025			10000
26	KLASOR KOLISI BUYUK 49*91*66							0,05		10000
27	KLASOR FIRKETE PLASTIK							5		100000
28	HALKA							5,1	6,1	1000000
29	KLASOR MEKANIZMA GENIS							5		100000
30	PERCIN 1PAKETEE 10.000AD							22		300000
31	MUKAVVA NO:20 65*66 BASKILI ARSIV GENIS KLASOR ICIN							2,5		50000
32	KUSE MAT 90GR 68*80CM							0,00675	0,0972	10000
33	TUTKAL MUCELLIT								0,036	10000
34	MUKAVVA NO:20 71*72 KUSE BASKILI								3	400000

Yukarıdaki tabloda her bir maddenin üretimi için gerekli olan madde miktarı gösterilmiş ve bu bilgiler firma tarafından belirlenmiştir.

Her bir süreçte görevlendirilen personel sayısını gösteren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 11: Süreç Başına Düşen Kişi Sayısı

KİŞİLER	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Süreç
kesim1	1	2	1	1				1	345600
kesim2	1	1	1	1				1	288000
baskı1	1	1	1	1				1	288000
baskı2	1	1	1	1				1	288000
Kapak-iz		1							57600
harman	1	1	1	1				1	288000
dikiş	1	1	1	1					230400
kapak-tutkal	2	2	2	2				2	576000
Sayım.bağ	2	2	2	2	1	1		2	691200
ambalaj	2	2	2	2	2	2	2	2	921600
kapak kırım-tel-delme		1							57600
iç harman		1							57600
kırım		1							57600
kapak iç geçirme		2							115200
çevirme1		1							57600
tel takma		2				2			230400
çevirme2		1							57600
kapsül		1				1			115200
kesim					1	1			115200
baskı					1				57600
tel geçirme					1				57600

kıvrım-katlama					1	1			115200
bölme							1		57600
etiket							1	1	115200
çember							1		57600
mekanizma							2		115200
firkete							2		115200
kesim3								1	57600
kesim4								1	57600

Her bir sürece ilişkin zaman ölçümü yapılırken aynı zamanda her süreçte görevli personel sayısı not alınmış ve yukarıdaki tablo oluşturulmuştur.

Ürünler ve bu ürünlere ait işlem süreçleri verildikten sonra üretim planlamasının yapılması için gerekli olan matematiksel formülasyon aşağıda aşamalarıyla beraber açıklanmıştır.

Karar değişkenlerimiz;

x_1 : YAZBOZ NUMARALI

x_2 : PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI)

x_3 : ADİSYON 3H NUMARALI

x_4 : ADİSYON OTOKOPİLİ

x_5 : BARO DOSYASI

x_6 : KAPSÜLLÜ DOSYA

x_7 : ARŞİV KARTON KLASÖR

x_8 : MAKBUZ

5.1. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA ÇÖZÜMÜ

Firma yönetiminin herhangi bir hedef olmaksızın hangi üründen üretim yapmanın kendisine daha fazla kazanç sağlayacağını görmesi, herhangi bir değişimin (iş gücü artışı/azalışı) hangi kısıtlarda olmasının faydasına olacağını görmek istemesi ve hammadde kullanım miktarının üretimi nasıl etkilediğini görmek istemesi nedeniyle BHP tekniğinden önce model DP problemi olarak çözülmüştür. BHP modelimizi oluşturmadan önce modelimizi doğrusal programlama formunda yazalım. Modelimizin doğrusal formu, her bir kısıt ve her bir ürüne ilişkin kar miktarları aşağıda ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 12: Her Ürüne İlişkin Birim Kar

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Kar	0,585	1,472	2,08	1,275	0,25	0,135	0,41	2,002

Doğrusal amaç fonksiyonumuz aşağıda gösterilmiştir

Maks $Z= 0{,}585x_1 + 1{,}472x_2 + 2{,}08x_3 + 1{,}275x_4 + 0{,}25x_5 + 0{,}135x_6 + 0{,}41x_7 + 2{,}002x_8$

İşlem kısıtlarımız ve bunlara ait formülasyonlar aşağıda gösterildiği gibidir.

Kesim1 kısıtı;

$1.723X_1+0{,}288X_2+0.716X_3+0.716X_4+4{,}109X_8 \leq 345600$

Kesim2 kısıtı;

$1{,}396X_1+0{,}288X_2+1{,}396X_3+1{,}396X_4+0{,}563X_8 \leq 288000$

Baskı1 kısıtı;

$1.111X_1+1{,}8X_2+1.11X_3+1.11X_4+11{,}252X_8 \leq 288000$

Baskı2 kısıtı;

$1.111X_1+1{,}8X_2+1.11X_3+1.11X_4+0{,}225X_8 \leq 288000$

Kapak-iz kısıtı;

$2X_2 \leq 57600$

Harmanlama kısıtı;

$0.117X_1 + 0.117X_2 + 0.117X_3 + 0.117X_4 + 3X_8 \leq 288000$

Dikiş atma kısıtı;

$6X_1 + 0.00321X_2 + 6X_3 + 6X_4 + 5,136X_8 \leq 230400$

Kapak tutkal kısıtı;

$12X_1 + 12X_3 + 12X_4 + 3,75X_8 \leq 576000$

Sayım ve bağlama kısıtı;

$4,077X_1 + 0,75X_2 + 4,077X_3 + 4,077X_4 + 0,7936X_5 + 1,6923X_6 + 0,6X_8 \leq 691200$

Ambalaj kısıtı;

$12,3625X_1 + 0,8399X_2 + 12,3625X_3 + 12,3625X_4 + 0,8395X_5 + 15,5366X_6 + 2,9836X_7 + 7,5X_8 \leq 921600$

Kapak kırma tel takma ve delme kısıtı;

$1.124X_2 \leq 57600$

İç harmanlama kısıtı;

$5,791X_2 \leq 57600$

Kırım kısıtı;

$5,0398X_2 \leq 57600$

Kapak iç geçirme kısıtı;

$0.2023X_2 \leq 115200$

Çevirme1 kısıtı;

$0.9295X_2 \leq 57600$

Tel takma kısıtı;

$0.4616X_2 + 0.625X_6 \leq 230400$

Çevirme2 kısıtı;

$1,369X_2 \leq 57600$

Kapsül kakma kısıtı;

$2,006X_2 + 1,875X_6 \leq 115200$

Kesim kısıtı;

$1,8X_5 + 1.5579X_6 \leq 115200$

Baskı kısıtı;

$2,1818X_5 \leq 57600$

Tel geçirme kısıtı;

$0.1754X_5 \leq 57600$

Kıvrım ve katlama kısıtı;

$1.2869X_5 + 1,5569X_6 \leq 115200$

Bölme kısıtı;

$2,027X_7 \leq 57600$

Etiket kısıtı;

$8,5714X_7 + 0,5X_8 \leq 115200$

Çember kısıtı;

$6,1037X_7 \leq 57600$

Mekanizma kısıtı;

$7,2028X_7 \leq 115200$

Firkete kısıtı;

$4,0677X_7 \leq 115200$

Kesim3 kısıtı;

$0,3385X_8 \leq 57600$

Kesim4 kısıtı;

$0,625X_8 \leq 57600$

Hammadde kısıtlarımız da aşağıda gösterildiği gibidir.

Shiring Pe Film Kısıtı;

$0.04X_1 + 0.04X_2 + 0.04X_5 + 0.095X_6 + 0,12X_8 \leq 30000$

Ofset Boya Kısıtı;

$0.016X_1+0.005X_2+0.016X_3+0.016X_4+0.005X_5+0.00006X_8 \leq 30000$

Dikiş Teli ;

$0.008X_1 + 0.0075X_2 + 0.008X_3 + 0.008X_4 \leq 15000$

Tutkal mücellit kısıtı;

$0.0056X_1 + 0.0022X_3 + 0.056X_4 \leq 25000$

3. Hamur 45 gr 61 cm kısıtı;

$5.85X_1 \leq 100000$

Krom Karton 175 gr kısıtı;

$13X_1 \leq 100000$

Gri Karton 340 gr kısıtı;

$0.4368X_1 + 0.4368X_3 \leq 150000$

PP Şerit kısıtı;

$0.7X_2 \leq 100000$

Dosya teli aparatı kısıtı;

$27.5X_2 + 275X_6 \leq 500000$

Kapsül no:4 kısıtı;

$55X_2 + 550X_6 \leq 1000000$

Dosya teli 14 cm kısıtı;

$27.5X_2 + 275X_6 \leq 500000$

1. Hamur 70 gr kısıtı;

$1.18125X_2 \leq 25000$

Krom karton 230 gr kısıtı;

$0.87975X_2 \leq 10000$

Poliolefin film kısıtı;

$0.04X_3 + 0.04X_4 + 0.65X_7 \leq 80000$

Krom karton 190 gr kısıtı;

$0.4672X_3 + 0.4672X_4 \leq 100000$

3. Hamur kısıtı;

$5.568X_3 \leq 100000$

Otokopili kağıt 1N kısıtı;

$60.72X_4 \leq 200000$

Otokopili kağıt 3N kısıtı;

$60.72X_4 \leq 200000$

Krom karton 260 gr kısıtı;

$0.30792X_4 \leq 10000$

Dosya teli aparatı 12 cm plastik kısıtı;

$55X_5 \leq 100000$

Dosya teli 24 cm kısıtı;

$55X_5 \leq 100000$

Dosyalık 300 gr 34 cm karton kısıtı;

$3.257X_5 \leq 50000$

Kapsüllü dosya 2K kısıtı;

$250X_6 \leq 500000$

Dosyalık 260 gr karton kısıtı;

$8.34X_6 \leq 100000$

Flexo boya kısıtı;

$0.0025X_6 \leq 10000$

Klasör kolisi kısıtı;

$0.05X_7 \leq 10000$

Klasör firkete plastik kısıtı;

$5X_7 \leq 100000$

Halka kısıtı ;

$5.1X_7 + 6{,}1X_8 \leq 1000000$

geniş klasör mekanizma kısıtı;

$5X_7 \leq 100000$

Perçin kısıtı;

$22X_7 \leq 300000$

Mukavva kısıtı;

$2.5X_7 \leq 50000$

Kuşe mat kağıt kısıtı;

$0.00675X_7 + 0{,}0972X_8 \leq 10000$

Tutkal mücellit kısıtı;

$0{,}036X_8 \leq 10000$

Mukavva no:20 kısıtı;

$3X_8 \leq 400000$

Doğrusal Programlam modelimizi düzenlersek aşağıdaki modeli elde etmiş oluruz.

Maks Z= $0{,}585x_1 + 1{,}472x_2 + 2{,}08x_3 + 1{,}275x_4 + 0{,}25x_5 + 0{,}135x_6 + 0{,}41x_7 + 2{,}002x_8$

$1.723X_1+0{,}288X_2+0.716X_3+0.716X_4+4{,}109X_8 \leq 345600$

$1{,}396X_1+0{,}288X_2+1{,}396X_3+1{,}396X_4+0{,}563X_8 \leq 288000$

$1.111X_1+1{,}8X_2+1.11X_3+1.11X_4+11{,}252X_8 \leq 288000$

$1.111X_1+1{,}8X_2+1.11X_3+1.11X_4+0{,}225X_8 \leq 288000$

$2X_2 \leq 57600$

$0.117X_1 + 0.117X_2 + 0.117X_3 + 0.117X_4 + 3X_8 \leq 288000$

$6X_1 + 0.00321X_2 + 6X_3 + 6X_4 + 5{,}136X_8 \leq 230400$

$12X_1 + 12X_3 + 12X_4 + 3{,}75X_8 \leq 576000$

$4{,}077X_1 + 0{,}75X_2 + 4{,}077X_3 + 4{,}077X_4 + 0{,}7936X_5 + 1{,}6923X_6 + 0{,}6X_8 \leq 691200$

$12{,}3625X_1 + 0{,}8399X_2 + 12{,}3625X_3 + 12{,}3625X_4 + 0{,}8395X_5 + 15{,}5366X_6 + 2{,}9836X_7 + 7{,}5X_8 \leq 921600$

$1.124X_2 \leq 57600$

$5{,}791X_2 \leq 57600$

$5{,}0398X_2 \leq 57600$

$0.2023X_2 \leq 115200$

$0.9295X_2 \leq 57600$

$0.4616X_2 + 0.625X_6 \leq 230400$

$1{,}369X_2 \leq 57600$

$2{,}006X_2 + 1{,}875X_6 \leq 115200$

$1{,}8X_5 + 1.5579X_6 \leq 115200$

$2{,}1818X_5 \leq 57600$

$0.1754X_5 \leq 57600$

$1.2869X_5 + 1{,}5569X_6 \leq 115200$

$2{,}027X_7 \leq 57600$

$8{,}5714X_7 + 0{,}5X_8 \leq 115200$

$6{,}1037X_7 \leq 57600$

$7{,}2028X_7 \leq 115200$

$4{,}0677X_7 \leq 115200$

$0{,}3385X_8 \leq 57600$

$0{,}625X_8 \leq 57600$

$39{,}8975x_1 + 24{,}6923x_2 + 38{,}8885x_3 + 38{,}8885x_4 + 6{,}3576x_5 + 28{,}4687x_6 + 30{,}5985x_7 + 37{,}5985x_8 \leq 1324800$

$0.04X_1 + 0.04X_2 + 0.04X_5 + 0.095X_6 + 0{,}12X_8 \leq 30000$

$0.016X_1 + 0.005X_2 + 0.016X_3 + 0.016X_4 + 0.005X_5 + 0.00006X_8 \leq 30000$

$0.008X_1 + 0.0075X_2 + 0.008X_3 + 0.008X_4 \leq 15000$

$0.0056X_1 + 0.0022X_3 + 0.056X_4 \leq 25000$

$5.85X_1 \leq 100000$

$13X_1 \leq 100000$

$0.4368X_1 + 0.4368X_3 \leq 150000$

$0.7X_2 \leq 100000$

$27.5X_2 + 275X_6 \leq 500000$

$55X_2 + 550X_6 \leq 1000000$

$27.5X_2 + 275X_6 \leq 500000$

$1.18125X_2 \leq 25000$

$0.87975X_2 \leq 10000$

$0.04X_3 + 0.04X_4 + 0.65X_7 \leq 80000$

$0.4672X_3 + 0.4672X_4 \leq 100000$

$5.568X_3 \leq 100000$

$60.72X_4 \leq 200000$

$60.72X_4 \leq 200000$

$0.30792X_4 \leq 10000$

$55X_5 \leq 100000$

$55X_5 \leq 100000$

$3.257X_5 \leq 50000$

$250X_6 \leq 500000$

$8.34X_6 \leq 100000$

$0.0025X_6 \leq 10000$

$0.05X_7 \leq 10000$

$5X_7 \leq 100000$

$5.1X_7 + 6{,}1X_8 \leq 1000000$

$5X_7 \leq 100000$

$22X_7 \leq 300000$

$2.5X_7 \leq 50000$

$0.00675X_7 + 0{,}0972X_8 \leq 10000$

$0{,}036X_8 \leq 10000$

$3X_8 \leq 400000$

$X_i \geq 0, i=1,2,\ldots,8$

Modelin DS For Windows paket programına giriş ekran görüntüsü EK 1 ‘de, çözüm ekranı da EK 2’de gösterilmiştir. DP çözüm sonuçlarını gösteren tablo aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 13: Doğrusal Programlama Sonuç Tablosu.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Max z
Sonuç		9,946.469	27,751.1						72363,49

Tablo 13'ten, sekiz üründen sadece ikisinin üretime dahil olduğu, diğer ürünlerden üretmenin firma için pek avantajlı olmadığı görülmektedir. Haftalık karın yüksek olmasının ve bu sonucun elde edilmesinin, DP modelinde Talep Kısıtlarının olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Firma yönetiminin bütün ürenlerden üretmek istemesinden dolayı BHP tekniğine ihtiyaç duyulmuştur.

5.2. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜM

Bulanık hedef programlama tekniğinin kullanılabilmesi için bulanıklık taşıyan sağ taraf sabitlerine ilişkin üyelik fonksiyonlarının oluşturulması gerekmektedir. Üyelik fonksiyonunun oluşturulmasına yönelik birçok yöntem mevcuttur. Oluşturulan üyelik fonksiyonunun kurulan modele uygunluğun kesinliği varsayımıyla hareket edilir. Bu çalışmada kurulan modelde yer alan hedefler ve hedeflere ait üyelik fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir.

Firma ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenen hedefler ve bu hedeflere ilişkin tolerans miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 14: Hedef ve Tolerans Tablosu

Hedef Açıklaması	Ürün	Tolerans	Hedef
H_1 : x_1 'in üretim miktarına ilişkin hedef	YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ	1000	4000'den fazla
H_2 : x_2 'in üretim miktarına ilişkin hedef	PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI	2000	7000'den fazla
H_3 : x_3 'in üretim miktarına ilişkin hedef	ADİSYON 3H NUMARALI	500	1000'den fazla
H_4 : x_4 'in üretim miktarına ilişkin hedef	ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI	1000	5000'den fazla
H_5 : x_5 'in üretim miktarına ilişkin hedef	BARO DOSYASI 1. KALİTE EKONOMİK	5000	10000'den fazla
H_6 : x_6 'in üretim miktarına ilişkin hedef	KAPSÜLLÜ DOSYA YARIM KAPAK	10000	20000'den fazla
H_7 : x_7 'in üretim miktarına ilişkin hedef	ARŞİV KARTON KLASÖR	3000	5000'den fazla
H_8 : x_8 'in üretim miktarına ilişkin hedef	MAKBUZ	2000	8000'den fazla
H_9 : Amaç fonk.'a ilişkin hedef	Amaç fonksiyonu	30000	40000 TL'den fazla

Tablo 14'te yer alan hedef değerleri ile tolerans miktarları firma yönetimi ile yapılan görüşmeler sonuncunda elde edilmiştir. Hedef değerleri firma yönetiminin tecrübe ve beklentileri doğrultusunda, tolerans miktarlarının ise günün koşulları göz önene alınarak belirlendiği firma yönetimi tarafından belirtilmiştir. Tabloda yer alan "tolerans" miktarı, belirlenen hedeften en fazla ne kadar uzaklaşılabileceğini yani en son limitinin ne olduğunu göstermektedir.

Hedeflerin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$x_1 \gtrapprox 4000$

$x_2 \gtrapprox 7000$

$x_3 \gtrapprox 1000$

$x_4 \gtrapprox 5000$

$x_5 \gtrapprox 10000$

$x_6 \gtrapprox 20000$

$x_7 \gtrapprox 5000$

$x_8 \gtrapprox 8000$

$0{,}585X_1 + 1{,}472X_2 + 2{,}08X_3 + 1{,}275X_4 + 0{,}25X_5 + 0{,}135X_6 + 0{,}41X_7 + 2{,}002X_8 \gtrapprox 40000$

Hedeflere ilişkin üyelik fonksiyonları Tiwari ve arkadaşlarının 4.46'da göstermiş olsuğu eşitlikler kullanılarak aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$\mu_1 = 1 - \frac{4000 - x1}{|4000 - 1000|}$$

$$\mu_2 = 1 - \frac{7000 - x2}{|7000 - 2000|}$$

$$\mu_3 = 1 - \frac{1000 - x3}{|1000 - 500|}$$

$$\mu_4 = 1 - \frac{5000 - x4}{|5000 - 1000|}$$

$$\mu_5 = 1 - \frac{10000 - x5}{|10000 - 5000|}$$

$$\mu_6 = 1 - \frac{20000 - x6}{|20000 - 10000|}$$

$$\mu_7 = 1 - \frac{5000 - x7}{|5000 - 3000|}$$

$$\mu_8 = 1 - \frac{8000 - x8}{|8000 - 2000|}$$

$$\mu_9 = 1 - \frac{4000 - (0{,}585X1 + 1{,}472X2 + 2{,}08X3 + 1{,}275X4 + 0{,}25X5 + 0{,}135X6 + 0{,}41X7 + 2{,}002X8)}{|40000 - 30000|}$$

Yukarıdaki formülasyonlar düzenlendiği zaman aşağıdaki gibi erişim düzeylerine (μ) bağlı eşitlikler elde edilmiştir.

$x_1 - 3000\mu_1 = 1000$

$x_2 - 5000\mu_2 = 2000$

$x_3 - 500\mu_3 = 500$

$x_4 - 4000\mu_4 = 1000$

$x_5 - 5000\mu_5 = 5000$

$x_6 - 10000\mu_6 = 10000$

x_7 - $2000\mu_7$ =3000

x_8 - $6000\mu_8$ =2000

$0{,}585x_1 + 1{,}472x_2 + 2{,}08x_3 + 1{,}275x_4 + 0{,}25x_5 + 0{,}135x_6 + 0{,}41x_7 + 2{,}002x_8 - 10000\,\mu_9 = 30000$

Bu durumda Twari, Dharmar ve Rao'nun Toplamsal Model Yaklaşımına göre oluşturulmuş BHP modelimiz aşağıda gösterildiği gibi olmaktadır.

Max $Z = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5 + \mu_6 + \mu_7 + \mu_8 + \mu_9$

$1.723X_1+0{,}288X_2+0.716X_3+0.716X_4+4{,}109X_8 \leq 172800$

$1{,}396X_1+0{,}288X_2+1{,}396X_3+1{,}396X_4+0{,}563X_8 \leq 144000$

$1.111X_1+1{,}8X_2+1.11X_3+1.11X_4+11{,}252X_8 \leq 144000$

$1.111X_1+1{,}8X_2+1.11X_3+1.11X_4+0{,}225X_8 \leq 144000$

$2X_2 \leq 28800$

$0.117X_1 + 0.117X_2 + 0.117X_3 + 0.117X_4 + 3X_8 \leq 144000$

$6X_1 + 0.00321X_2 + 6X_3 + 6X_4 + 5{,}136X_8 \leq 115200$

$12X_1 + 12X_3 + 12X_4 + 3{,}75X_8 \leq 288000$

$4{,}077X_1 + 0{,}75X_2 + 4{,}077X_3 + 4{,}077X_4 + 0{,}7936X_5 + 1{,}6923X_6 + 0{,}6X_8 \leq 345600$

$12{,}3625X_1 + 0{,}8399X_2+12{,}3625X_3 +12{,}3625X_4+0{,}8395X_5+15{,}5366X_6+2{,}9836X_7+7{,}5X_8 \leq 460800$

$1.124X_2 \leq 28800$

$5{,}791X_2 \leq 28800$

$5{,}0398X_2 \leq 28800$

$0.2023X_2 \leq 57600$

$0.9295X_2 \leq 28800$

$0.4616X_2 + 0.625X_6 \leq 115200$

$1{,}369X_2 \leq 28800$

$2{,}006X_2 + 1{,}875X_6 \leq 57600$

$1{,}8X_5 + 1.5579X_6 \leq 57600$

$2{,}1818X_5 \leq 28800$

$0.1754X_5 \leq 28800$

$1.2869X_5 + 1{,}5569X_6 \leq 57600$

$2{,}027X_7 \leq 28800$

$8{,}5714X_7 + 0{,}5X_8 \leq 57600$

$6,1037X_7 \leq 28800$

$7,2028X_7 \leq 57600$

$4,0677X_7 \leq 57600$

$0,3385X_8 \leq 28800$

$0,625X_8 \leq 28800$

$0.04X_1 + 0.04X_2 + 0.04X_5 + 0.095X_6 + 0,12X_8 \leq 30000$

$0.016X_1+0.005X_2+0.016X_3+0.016X_4+0.005X_5+0.00006X_8 \leq 30000$

$0.008X_1 + 0.0075X_2 + 0.008X_3 + 0.008X_4 \leq 15000$

$0.0056X_1 + 0.0022X_3 + 0.056X_4 \leq 25000$

$5.85X_1 \leq 100000$

$13X_1 \leq 100000$

$0.4368X_1 + 0.4368X_3 \leq 150000$

$0.7X_2 \leq 100000$

$27.5X_2 + 275X_6 \leq 500000$

$55X_2 + 550X_6 \leq 1000000$

$27.5X_2 + 275X_6 \leq 500000$

$1.18125X_2 \leq 25000$

$0.87975X_2 \leq 10000$

$0.04X_3 + 0.04X_4 + 0.65X_7 \leq 80000$

$0.4672X_3 + 0.4672X_4 \leq 100000$

$5.568X_3 \leq 100000$

$60.72X_4 \leq 200000$

$60.72X_4 \leq 200000$

$0.30792X_4 \leq 10000$

$55X_5 \leq 100000$

$55X_5 \leq 100000$

$3.257X_5 \leq 50000$

$250X_6 \leq 500000$

$8.34X_6 \leq 100000$

$0.0025X_6 \leq 10000$

$0.05X_7 \leq 10000$

$5X_7 \leq 100000$

$5.1X_7 + 6{,}1X_8 \leq 1000000$

$5X_7 \leq 100000$

$22X_7 \leq 300000$

$2.5X_7 \leq 50000$

$0.00675X_7 + 0{,}0972X_8 \leq 10000$

$0{,}036X_8 \leq 10000$

$3X_8 \leq 400000$

$X_1 - 3000\mu_1 = 1000$

$X_2 - 5000\mu_2 = 2000$

$X_3 - 500\mu_3 = 500$

$X_4 - 4000\mu_4 = 1000$

$X_5 - 5000\mu_5 = 5000$

$X_6 - 10000\mu_6 = 10000$

$X_7 - 2000\mu_7 = 3000$

$X_8 - 6000\mu_8 = 2000$

$0{,}585X_1 + 1{,}472X_2 + 2{,}08X_3 + 1{,}275X_4 + 0{,}25X_5 + 0{,}135X_6 + 0{,}41X_7 + 2{,}002X_8 - 10000\,\mu_9 = 30000$

$X_i \geq 0 \quad , i= 1,2,\ldots,8$

$\mu_i \geq 0 \quad ,i= 1,2,\ldots,9$

Modelin DS For Windows paket programına giriş ekran görüntüsü EK 3' te, çözüm ekran görüntüsü de EK 4'te gösterilmiş olup çözüm tablosu aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 15: Eşit Ağırlıklandırılmış BHP Doğrusal Sonuç Tablosu.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Sonuç	4000	7000	1000	5000	10000	10455,94	5000	6463,26	1	1	1	1	1	0,05	1	0,74	1

5.3. AHP İLE AĞIRLIKLANDIRILMIŞ BHP YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜM

Hedeflere ait ağırlıkları belirlemek için EK 5'teki soru formu hazırlanmış ve firma yönetimi ile soru formu doldurulmuştur. Alınan veriler Expert Choice paket programına aktarılmış ve hedeflere ilişkin aşağıdaki ağırlıklar bulunmuştur. Firma yönetiminden alınan verilerin Expert Choice paket programına giriş ve çözüm sonuç ekranları sırasıyla EK 6 ve EK 7'de gösterilmiştir. Hedeflere ilişkin bulunan ağırlık değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 16: Hedeflere İlişkin AHP İle Elde Edilmiş Ağırlıklar.

	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Ağırlıklar	0,091	0,281	0,266	0,162	0,022	0,018	0,014	0,07	0,076

Yukarıdaki tablo ışığında amaç fonksiyonumuz aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$\text{Max } Z = 0{,}091\mu_1 + 0{,}281\mu_2 + 0{,}266\mu_3 + 0{,}162\mu_4 + 0{,}022\mu_5 + 0{,}018\mu_6 + 0{,}014\mu_7 + 0{,}07\mu_8 + 0{,}076\mu_9$$

Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Modelimizin kısıtları **5.2** deki Bulanık Hedef Programlama Modeli ile tamamen aynı olup sadece amaç fonksiyonu yukarıda belirtildiği şekilde düzenlenerek Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama problemimiz için DS For Windows Paket Programında çözüm elde edilmiş ve sonuç tablosu aşağıda verilmiştir. Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama modelimizin DS For Windows giriş ekran görüntüsü EK 8'de, sonuca ilişkin ekran görüntüsü ve sonuç tablosu EK 9 ve Ek 10'da gösterilmiştir.

Tablo 17: AHP ile Ağırlıklandırılmış BHP Doğrusal Sonuç Tablosu

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Sonuç	4000	7000	1000	5000	10000	10455,94	5000	6463,26	1	1	1	1	1	0,05	1	0,74	1

5.4. BAHP İLE AĞIRLIKLANDIRILMIŞ BHP YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜM

BAHP ile hedeflere ilişkin ağırlıklar bulunurken Chang'in Mertebe Analiz yönteminden faydalanılmış olup hesaplamalar işlemlerin hızlı ve kolay yapılması amacı ile Excell'de hesaplanmış ve hedeflere ilişkin BAHP ile elde edilen ağırlıklar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 18: Hedeflere İlişkin BAHP İle Elde Edilmiş Ağırlıklar.

	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Ağırlıklar	0	0,391	0,296	0,311	0	0	0	0	0

BAHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama modelimizin kısıtları 5.2 ve 5.3'teki kısıtlar ile aynı olup amaç fonksiyonumuz bulunan ağırlıklar ışığında yeniden düzenlenerek aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Max } Z = 0\mu_1 + 0{,}391\mu_2 + 0{,}296\mu_3 + 0{,}311\mu_4 + 0\mu_5 + 0\mu_6 + 0\mu_7 + 0\mu_8 + 0\mu_9$$

Kurulan modelimizin DS For Windows Paket Programına girişi ve modelin çözüm ekran görüntüleri Ek 11, Ek 12 ve Ek 13'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuç tablosu aşağıda verilmiştir.

Tablo 19: Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış BHP Doğrusal Sonuç Tablosu.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Sonuç	1000	7000	1000	5000	5000	10000	3000	3409,59	0	1	1	1	0	0	0	0,23	0

Yukarıda anlatılan bölümlerde problemimiz DP Problemi olarak ele alınmış ve çözümler DP'ye uygun olarak elde edilmiştir. Ancak gerçek hayata uygunluğu düşünüldüğünde problemlerin Doğrusal olarak değil Tamsayılı olarak ele alınması bir gerekmektedir. Aşağıda anlatılacak bölümlerde yukarıdaki dört durumun tamsayılı çözümü ele alınacaktır.

5.5. TAMSAYILI PROGRAMLAMA ÇÖZÜMÜ

Bölüm 5.1'de oluşturulan modele, bütün değişkenlerin tamsayılı olma koşulu eklenerek Tamsayılı model elde edilmiştir. Elde edilen modelin çözümü MATLAB paket programı ile yapılmış olup verilerin giriş ekranı ve sonuç ekranı Ek 14'te gösterilmiştir. Elde edilen tamsayılı sonuç aşağıdaki tabloda verilmişitir.

Tablo 20: Doğrusal Programlama Tamsayılı Sonuç Tablosu.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Max z
Sonuç	0	9945	27752	0	0	0	0	0	72363

Tamsayılı çözüm değerleri ile Doğrusal çözüm değerleri arasında büyük farklılık olmadığı ve DP çözümün değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir.

5.6. EŞİT AĞILIKLANDIRILMIŞ BHP TAMSAYILI ÇÖZÜM

Bölüm 5.2'de oluşturulan modele, üretim ile ilgili değişkenlerin tamsayılı ve hedeflere ilişkin erişim değerlerinin "0" ile "1" arasında olma koşulu eklenerek MATLAB paket programında çözüm elde edilmişitir. Modelin MATLAB paket programına griş ekranı ve sonuç ekranı Ek 15'te gösterilmiştir. Probleme ilişkin çözüm tablosu aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 21: Eşit Ağırlıklandırılmış BHP Tamsayılı Sonuç Tablosu.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Sonuç	4000	7000	1000	5000	10000	10456	5000	6463	1	1	1	1	1	0,0456	1	0,7438	0,9999

5.7. AHP İLE AĞILIKLANDIRILMIŞ BHP TAMSAYILI ÇÖZÜM

Bölüm 5.3'te oluşturulan modele bölüm 5.6'daki eklemeler yapılarak MATLAB paket programında çözüm elde edilmişitir. MATLAB giriş ve sonuç ekranı Ek 16'da gösterilmiştir. Elde edilen çözüm tablosu aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 22: AHP ile Ağırlıklandırılmış BHP Tamsayılı Sonuç Tablosu

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Sonuç	4000	7000	1000	5000	10000	10456	5000	6463	1	1	1	1	1	0,0456	1	0,7438	0,9999

5.8. BAHP İLE AĞILIKLANDIRILMIŞ BHP TAMSAYILI ÇÖZÜM

Bölüm 5.4'te oluşturulan modele Bölüm 5.7'deki elemeler yapılarak oluşturulan modelin MATLAB paket programına giriş ve çözüm ekranları Ek 17'de gösterilmiştir. Elde edilen çözüm değerlerinin tablosu aşağıda verilmiştir.

Tablo 23: Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış BHPTamsayılı Sonuç Tablosu.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9
Sonuç	1000	7000	1000	5000	5004	10002	3000	3409	0	1	1	1	0,0008	0,0002	0	0,23483	0

Aynı kategoride yer alan tablolar ikili değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir.

- Tablo 14 DP DP çözümü, Tablo 21 de Tamsayılı çözümünü göstermektedir. Tamsayılı çözüme göre, Adisyon 3H'nin üretim miktarında 2 birimlik artış olurken Personel Özlük Dosyasının üretim miktarında yaklaşık 1 birimlik azalma görülmüştür. Bu değişime karşılık Amaç Fonksiyonunda yaklaşık 21TL'ik bir artış olmuştur.
- Tablo 16 (EABHP DS çözüm tablosu) ve Tablo 22 (EABHP MATLABçözüm tablosu) karşılaştırıldığında önemli değişmeler olmamasına rağmen Kapsüllü Dosya üretiminin yaklaşık 1 birim arttığı, Makbuz üretiminin ise yaklaşık 1 birim azaldığı görülmüştür. Tamsayılı çözümüne

göre gerçekleştirilen çözüme göre hedeflere ilişkin, 6. ve 9. hedefin gerçekleştirilme oranlarında çok az miktarda azalma olduğu görülmüştür.

- Tablo 16 (AHP ile ağırlıklandırılmış BHP DS çözüm tablosu) ile Tablo 18 (AHP ile ağırlıklandırılmış BHP Tamsatılı çözüm tablosu) karşılaştırıldığında her iki çözümün de aynı sonucu verdiği görülmüştür
- Tablo 20 (BAHP ile ağırlıklandırılmış BHP Doğrusal çözüm tablosu) ile Tablo 24 (BAHP ile ağırlıklandırılmış BHP Tamsayılı çözüm tablosu) karşılaştırıldığında Baro Dosyasının üretim miktarı 4 birim, Kapsüllü Dosyanın ise 2 birim artarken Makbuzun üretim miktarında yaklaşık 1 birimlik azalma olduğu görülmüştür. Hedeflere ilişkin gerçekleşme oranlarında Tamsayılı çözüm tablosunda 5. hedef, 6. hedef ve 8. hedefin gerçekleşme oranlarında çok az bir değişme görülmektedir. 8. hedefin ağırlığı "0" olmasına rağmen kısmen gerçekleştiği görülmektedir.

5.9. UYGULAMA SONUCU

Gerçek yaşam problemlerine ait matematiksel modeller oluşturulurken iki ana özelliğe dikkat edilmelidir. Bunlardan ilki problemin yapısındaki birden fazla olan amaç; diğeri ise gerçek yaşam problemi olmasından dolayı problem tanımındaki bulanıklıktır. Bu iki özellik 1970'li yılların sonlarına doğru, bulanık küme teorisinin karar problemlerine uygulanmasıyla matematiksel olarak bir arada ifade edilmeye başlanmıştır (Arıkan, 1996). Bulanık Hedef Programlama problemlerinin çözümünde, çözümün etkili sonuçlar vermesine en çok etki eden unsur bulanıklığı temsil eden bulanık değerlerdir. Bu bulanık değerlerin doğru seçimi ve doğru kullanımı karar verme sürecinin en hassas noktalarından birini oluşturmaktadır. Bir modeli oluşturan parametrelerin belirlenmesinin çok önemli hale gelmesi, çözüm başarısının oluşturulan modelin sistemi ne kadar yansıtabildiğinden kaynaklanmaktadır.

Belirsizliğin olduğu durumlarda karar verme problemlerine, belirsizliği derecelendirerek çözüme ulaşmaya çalışan Bulanık Küme Teorisinin BHP'ya uygulanması ve bu sayede önerdiği yaklaşımlar, gerçek dünyanın karmaşık yapısının daha kolay modellenmesine olanak sunmuştur. Klasik HP'nin belirsizlikleri de kapsayacak şekilde genişletilmesi ile ortaya çıkan BHP ile ilgili literatürde pek çok yaklaşım bulunmaktadır.

Çalışmada, İzmir'de ofis ve kırtasiye malzemeleri üretimi yapan bir firmanın bir aylık üretim planlaması yapılmıştır. Gerçek verilerin ölçümler sonucu alındığı firmaya ait, firmanın önemli gördüğü sekiz ürünün bir aylık planlaması gerçekleştirilmiştir. Sekiz ürünün aylık planlamasına ilişkin dokuz hedef belirlenmiş ve bu hedeflerin hem belirlenme aşaması hem de hedeflere atanan ağırlıkların bulunması firma yönetimi ile düzenli görüşmeler sonucunda olmuştur. Veri toplama aşamasındaki ölçümler her bir ürünün her süreci için ayrı ayrı elde edilmiş ve model bu veriler ışığında oluşturulmuştur. Hedefler firma yönetimi tarafından belirlendikten sonra hedeflere ilişkin ağırlıkların bulunması amacı ile firma yönetimine, hedeflerin ikili karşılaştırmasının olduğu bir soru formu doldurulmuş ve veriler Expert Choice programı yardımıyla ağırlıklar tespit edilmiştir.

Tez dört bölümden oluşan teorik kısım ve uygulama kısmı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Teorik kısımda, tezin uygulama kısmında kullanılan yöntemler detaylı şekilde anlatılmış ve gerekli literatür araştırması yapılmıştır. Uygulama kısmında gerçek veriler tablolar halinde sunulmuş, farklı modeller kurulmuş ve bu modellerin çözümleri hem doğrusal hem de tam sayılı olarak çözülmüştür. Uygulamanın yapılmasında, hedeflere ilişkin başarı düzeylerinin ayrı ayrı bulunması yerine hedeflere ait başarı düzeylerinin toplamının en büyüklendiği Tiwari, Dharmar ve Rao'nun Toplamsal Model Yaklaşımı kullanılmıştır. AHP yardımıyla ağırlıkların elde edilmesinden sonra Ağırlıklandırılmış Toplamsal Model Yaklaşımı kullanılmış ve bu yaklaşım tezin uygulama kısmında temel alınmıştır.

Problemin dört farklı modeli hem Doğrusal olarak hem de Tamsayılı olarak iki şekilde çözülmüştür. DP çözümleri DSFW paket programıyla, Tamsayılı çözümler ise MATLAB paket programıyla çözülmüştür. Hem Doğrusal hem de Tamsayılı çözümü yapılan modeller DP modeli, EABHP modeli, AHP ile Ağırlıklandırılmış BHP modeli ve Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış BHP modelidir. Bu modellerin her iki şekildeki çözümlerini içeren tablolar 5. bölümde verilmiş ve yorumları aşağıda önce ayrı ayrı yapılmış ve daha sonrada tek tabloda üzerinde karşılaştırmalı olarak yapılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında önce doğrusal model kurulmuş ve bu modelin DP çözümü DSFW paket programıyla yapılmıştır. Çözüme sekiz üründen sadece iki tanesinin girdiği ve toplam karın 72363,49TL olduğu görülmüştür. Çözüme ilişkin Tablo 13'te gösterilmiştir. Buna göre sadece Personel Özlük Dosyası ve 3H Numaralı Adisyonun girdiği görülmektedir. Personel Özlük Dosyasından 9,946.469 ve 3H Numaralı Adisyonundan 27,751.1 adet üretilmesi durumunda haftalık maksimum karın 72363,49TL olacağı görülmektedir. Dual değerler incelendiğinde ise sadece İç Harman kısıtı ve Toplam İşgücü kısıtında pozitif değer çıktığı, diğer kısıtların değerlerinin "0" çıktığı görülmektedir. İç Harman kısıtını dual değeri 0,0262 ve Toplam İşgücü kısıtının dual değerinin ise 0,0535 olduğu EK 11'deki tabloda görülmektedir. Bu değerlerden; iç harman kısıtına fazladan ayrılacak bir saniyenin amaç fonksiyonundaki etkisinin 0,0262 TL ve toplam işgücü kısıtına fazladan bir saniye ayırmanın amaç fonksiyonuna 0,0535 TL olacağı görülmektedir. Başka bir ifadeyle, iç harman kısıtına ayrılacak süre (belli bir değere kadar) artırılırsa firmanın haftalık karı da bir saniye için 0,0262TL artacak, aynı şekilde toplam işgücü kısıtının ise bir saniye için haftalık kara katkısı 0,0565TL olacaktır. Bunun yanın da iç harman kısıtında çalışmak üzere personel görevlendirildiği taktirde çalışacağı bir saniyelik işin ücretinin 0,0262TL olmasının karı değiştirmeyeceği, fazla olmasının ise karın azaltacağı söylenebilir. Az olması durumunda ise bir saniye için aradaki fark kadar artışın olacağı söylenebilir.

Firma yönetiminin doğrusal çözüm değerlerinden hareketle belirlediği hedefler Tablo 14'te gösterilmiş ve bu hedeflerin matematiksel gösterimi Bölüm 5.2'de gösterilmiştir. Oluşturulan modelin DSFW iile yapılan DP çözüm tablosu Tablo 15'te verilmiştir. Buna göre 1, 2, 3, 4, 5, 7 ve 9. hedefler tamamen gerçekleştirildiği, 6. hedef 0,05 ve 8. hedef 0,74 oranında gerçekleştiği ve toplam gerçekleşme oranın 0,8655 olduğu görülmüştür.

Ağırlıklandırma işlemi, ağırlıklandırmanın daha gerçekçi olması ve her bir hedefin birbiriyle kıyaslanabilme olanağı sağlaması nedeniyle AHP tekniği kullanılarak yapılmıştır. İkili karşılaştırmalar yapılırken EK19'daki soru formu uygulanmış ve elde edilen veriler Expert Choice paket programı yardımıyla çözümlenerek Tablo 16'daki ağırlıklar elde edilmiştir. Bu ağırlıklar Bölüm 5.2'deki modelde amaç fonksiyonunda yerine yazıldıktan sonra DSFW paket programıyla çözüm elde edilmiştir. Elde edilen çözüm değerleri Tablo 17'de gösterilmiştir. Ağırlıklandırma işlemi yapılmasına ve ağırlıklar birbirinden farklı olmasına rağmen EABHP ile AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlamanın çözüm sonuçları aynı çıkmıştır. Bu durum AHP ile ağırlıklandırma sonucu oluşan ağırlıkların birbirine yakın olmasından kaynaklanmış olabilir. Aynı modellerin Dual değerler incelendiğinde, hiçbir kısıtın modeli zorlamadığı ancak hedeflerin modeli çok az miktarda zorladığı EK 8'deki tabloda görülmektedir. Tablonun ilgili kısmı aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 24: Hedeflere İlişkin Dual Değerler

Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
h1	-0.0001	0.	1,000.	-3,000.	1,408.98
h2	-0.0001	0.	2,000.	-68.45	4,946.47
h3	-0.0002	0.	500.	-500.	4,794.01
h4	-0.0002	0.	1,000.	-1,569.77	1,791.25
h5	0.	0.	5,000.	-5,000.	12,112.22
h6	-0.0001	0.	10,000.	455.94	10,455.94
h7	-0.0001	0.	3,000.	-2,000.	3,508.42
h8	-0.0002	0.	2,000.	463.26	6,463.26
h9	0.	0.	30,000.	21,860.32	30,629.59

Yukarıda verilen tablodan; 1, 2, 6 ve 7. hedeflerin alt limitlerinin birer birim artırılmasının amaç fonksiyonuna negatif yönlü 0,0001 birim, 3,4 ve 8. hedeflerin alt limitlerinin birer birim artırılmasının ise amaç fonksiyonuna negatif yönlü 0,0002 birim etki yapacağı görülmektedir. 5. ve 9. hedefin modeli zorlamadığı aynı tabloda görülmektedir. Başka bir ifadeyle, 5. ve 9. hedefin belli bir yere kadar artırmanın çözüme etkisinin olmayacağının fakat diğer hedeflerde bir birimlik artışın çözümü negatif yönde etkileyeceği dolayısıyla firmanın karlılığını azaltacağı anlaşılmaktadır.

Ağırlıklandırma işleminin sonucunun gerçek hayata daha uygun olması düşüncesi ile ağırlıklandırma işleminin Bulanık AHP ile yapılması sonucu oluşan ağırlık değerleri Tablo 18'de gösterilmiştir. Ağırlıklandırma işlemi yapılırken Chang'in Mertebe Analiz Yönteminden faydalanılmıştır. BAHP sonucu üç ürünüe ilişkin ağırlık değerleri sıfırdan büyük iken altı hedefe ilişkin ağırlık değerleri sıfır çıkmıştır. Chang'in yönteminde uygulanan ikili karşılaştırmalar neticesinde çoğu hedefin ağırlığının sıfır bulunması, bu yöntemin ağırlıklandırma işlemi için uygun olmayacağı gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Elde edilen bu ağırlıkların modele yazılması ile oluşan modelin DSFW ile yapılan DPçözüm değeri Tablo 19'da gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, sekizinci hedefin ağırlığının sıfır olmasına rağmen başarı düzeyi μ=0,23 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumun nedenlerinden birinin; dokuzuncu hedefin alt sınırının modeli zorlaması ve bunun gerçekleşebilmesi için bazı hedeflerin bir kısmının başarılmasının gerekliliği olarak düşünülmüştür. Toplam başarılma düzeyi 0,3588 olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda sözü edilen dört farklı modelin tam sayılı çözümü Matlab paket programı ile yapılmış ve sonuçları aşağıdaki Tablo'da verilmiştir.

Şekil 25: Karşılaştırma Tablosu

		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	Max Z
Doğrusal çözüm	Doğrusal	0	9,946.469	27,751.1	0	0	0	0	0										72363,49
	Tamsayılı	0	9,945	27,752	0	0	0	0	0										72363
Eşit ağırlıklı çözüm	Doğrusal	4000	7000	1000	5000	10000	10455,94	5000	6463,26	1	1	1	1	1	0,05	1	0,74	1	7,79
	Tamsayılı	4000	7000	1000	5000	10000	10456	5000	6463	1	1	1	1	1	0,0456	1	0,7438	0,999	7,7884
AHP ile Ağırlıklandırılmış çözüm	Doğrusal	4000	7000	1000	5000	10000	10455,94	5000	6463,26	1	1	1	1	1	0,05	1	0,74	1	7,79
	Tamsayılı	4000	7000	1000	5000	10000	10456	5000	6463	1	1	1	1	1	0,0456	1	0,7438	0,999	7,7884
Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış Çözüm	Doğrusal	4000	7000	1000	5000	10000	10455,94	5000	6463,26	0	1	1	1	0	0	0	0,23	0	3,23
	Tamsayılı	1000	7000	1000	5000	5004	10002	3000	3409	0	1	1	1	0,0008	0,0002	0	0,2348	0	3,2358

Yukarıdaki tablodan; EABHP ile AHP ile ağırlıklandırılmış BHP çözüm değerlerin aynı olduğu, X_6 ve X_8' in üretim miktarlarının DSFW tan farklı olduğu görülmektedir. Hem AHP ile ağırlıklandırılmış BHP DSFW çözümündeki toplam başarı oranı hem de EABHP DSFW çözümündeki toplam başarı oranı eşit ve %86,55 iken MATLAB çözümündeki toplam başarı oranının %86,53 olduğu görülmektedir. Bulanık AHP ile ağırlıklandırılmış BHP çözümünde ise X_1, X_5, X_6, X_7 ve X_8 üretim miktarlarının azaldığı ve diğer ürünlerin üretim miktarında bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Aynı şekilde hedeflerin toplam başarı oranı %35,95 olduğu anlaşılmaktadır.

SONUÇ

Karar problemlerinde bulunan belirsizliklerin azaltılması bazı yollarla mümkün olsa bile karar vericilerin karar verme aşamasında Yöneylem Araştırması ve Bulanık Mantık uygulamalarını etkin bir biçimde kullanmalıdır. Problemdeki belirsizliklere göre farklı modeller kullanılabilir ve bu modellerin çözümüne ulaşmak ve çözümler arasında en uygun olanının tespiti karar problemlerinin etkili biçimde ele alınmasını sağlayabilmektedir. Üretim planlaması gibi belirsizliklerin çok olduğu problemlerde, bulanık küme teorisi matematiksel bir araç olarak kullanılabilir. Bu amaçla bulanık kümelerin uygulandığı BHP modelleri de üretim endüstrisi için modellemelerde kullanılarak etkili sonuçlar elde edilebilir.

Elde edilen sonuçlar firma yönetimi ile beraber değerlendirmeye alınmış ve elde edilen sonuçların beklentilerini karşıladığı görülmüştür. Üretim planlama probleminin çözümü için BHP tekniğinin etkili sonuçlar verdiği, ağırlıklandırma işleminin farklı tekniklerle yapılmasının farklı sonuçlar alınmasına olanak sunabileceği anlaşılmaktadır. DP modelinde talep kısıtlarının olmamasının BHP çözününden çok farklı çözüm değerlerinin oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Bulanık AHP ile ağırlıklandırma tekniklerinden Chang'in mertebe analiz yönteminin üretim planlama problemi için uygun olmadığı, başka yöntemler ile ağırlıklandırma yapıldığında farklı sonuçlar elde edilebileceği sonuçlardan anlaşılmaktadır. Söz konusu yöntentemin hedeflerin ağırlıklandırılması yerine hedeflerin belirlenmesi ya da bazı hedeflerin elenmesi için daha kullanışlı olabileceği görülmektedir. BAHP'nin kullanılmaması gerettiği ve kullanıldığı zaman yanıltıcı sonuçlar verebileceği ile ilgili çalışma Zhü (2014) tarafından yapılmıştır. Zhü'nün eleştirilerinde olduğu gibi bazı hedeflerin ağırlıkları sıfır çıkmış ve amaç fonksiyonunda yer almamıştır. Zhü'nün düşüncelerinden ve elde ettiğimiz sonuçlardan hareketle BAHP'nin hedefleri ağırlıklandırma işleminde kullanılmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. BAHP ile elde edilen sonuç ve AHP ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, Ahp ile elde edilen sonucun gerçeğe daha yakın olduğu ve firma yönetimini tatmin ettiği görülmüştür. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan tablo ile Zhü'nün eleştiri fikri paralellik göstermektedir.

Sonraki çalışmalarda;

- Ağırlıklandırma işlemi farklı takniklerle yapılarak sonuçlar değerlendirilebilir,
- Belirlenecek tolerans miktarları karar vericiler ya da yöneticilerin sezgilerine dayanarak değil de daha bilimsel ve objektif bir şekilde belirlenebilir,
- Tiwari ve arkadaşlarının Toplamsal Model yaklaşımı geliştirilerek daha kullanışlı hale getirilebilir,
- Ağırlıklandırmanın yanında önceliklendirilerek çözümün hedeflere etkisi tartışılabilir,
- Doğrusal Programlama çözümüne Talep Kısıtları eklenerek elde edilecek çözümler BHP çözümleri ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

Akdeniz, A. ve Aras, S. (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):07-19.

Akman, G. (2009). Bulanık Hedef Programlama Modeli ve Bir Uygulama Denemesi, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi) Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul

Asady, B. ve Zendehnam, A. (2007). Ranking Fuzzy Numbers By Distance Minimization, *Applied Mathematical Modelling 31*:2590.

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

Baray, A.S. ve Esnaf S. (2000). *Yöneylem Arastırması (Hamdy A.. Taha, Operation Research An Introduction 6. Basımdan Çeviri*), Literatür Yayınları, Birinci Baskı, İstanbul.

Baykal, N. ve Beyan, T. (2004). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri.* Bıçaklar Kitabevi.

Baykasoğlu, A., Dereli, T., Gökçen, T. ve Daş, G.S. (2004). *Çok Objektifli Üretim Planlaması Probleminin Bulanık Matematiksel Programlama ile Çözülmesi*, YA/EM'2004 - Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi, 2004.

Bellman, R.E. ve Zadeh, L.A. (1970). Decision Making in a Fuzzy Environment. *Management Science. 17*: 141-164.

Bezdek, J.C. (1981). *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms.* New York ve London: Plenum Press.

Bezdek, J.C. (1992). Computing with Uncertainty. *IEEE Communications Magazine.* 1: 24-36.

Biswas, A. ve Pal, B.B. (2005). Application Of Fuzzy Goal Programming Technique To Land Use Planning In Agricultural System, *Omega 33*:393.

Bojadziev, G. ve Bojadziev, M. (2007). *Fuzzy Logic for Business, Finance and Management*. Singapore: World Scientific.

Buckley, J.J. ve Eslami, E. (2002). *An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer

Castro, J. L. ve Zurita, J.M. (1996). A Multivalued Logic ATMS, *International Journal of Intelligent Systems*. 11: 185-195.

Chan, F.T.S. ve Kumar, N. (2007). Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP Based Approach, *Omega, 35*(4): 417-431.

Chandrana, B., Golden, B. ve Wasil, E. (2005). Linear programming models for estimating weights in the analytic hierarchy process, *Computers & Operations Research, 32*: 2235-2236.

Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, C.T. ve Chen, H.C. (2008). Evaluating and controlling silicon wafer slicing quality using fuzzy analytical hierarchy and sensitivity analysis, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36*(3):322-333

Chang, D.Y. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research. 95*(3): 649-655.

Chang, N.B. ve Wang, S.F. (1997). A Fuzzy Goal Programming Approach for the Optimal Planning of Metropolitan Solid Waste Management System, *European Journal of Operation Research 99*:303-321

Chankong, V. ve Haimes, Y.Y. (1983). *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*, Springer Verlag Berlin Heidelberg North-Holland.

Chen, C.T., Lin, C.T. ve Huang,S.F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, *Int. J. Production Economics* 102: 289–301.

Chen, G. ve Pham, T.T. (2001). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems,* Boca Raton London New York Washington: CRC Press.

Chen, K.H. (1994). A Note On a Fuzzy Goal Programming Algorithm by Twari, Dharmar, and Rao, *Fuzzy Sets and Systems, 62*:288.

Chen, L.H. ve Tsai, F.C. (2001). Fuzzy Goal Programming With Different Importance And Priorities, *European Journal of Operation Research, 133*:548-556.

Chen, S.M. (1996). Evaluating Weapon Systems Using Fuzzy Arithmetic Operations. *Fuzzy Sets and Systems*, *77*: 265-276.

Cheng, C.B. (2004). Group Opinion Aggregation Based On Agrading Process: A Method For Constructing Triangular Fuzzy Numbers, *Computers And Mathematics With Applications, 48*:1621.

Çelikyılmaz, A. ve Türkşen, B. (2009). *Modeling Uncertainty With Fuzzy Logic With Recent Theory And Applications*, Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Çitli, N. (2006). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Dagdeviren, M., Akay, D. ve Kurt, M. (2004). Analytical Hierarchy Process For Job Evaluation and Application, *Journal Faculty Engineering and Arch Gazi University, 19*(2), p.132.

Dombi, J. (1990). Membership Function as an Evaluation, *Fuzzy Sets and Systems.* 35: 1-21.

Dubois, D. ve Prade, H. (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, Boston: Academic Press.

Dubois, D. ve Prade, H. (2000). *Fundamentals of Fuzzy Sets*. New York: Springer.

Dündar, A.O. ve Zerenler, M. (2011). Bir Un Fabrikasında Hedef Programlama Uygulaması, *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 21*:73-94.

Dyer, R.F. ve Forman, E.H. (1992). Group decision support with the Analytic Hierarchy Process. *Decision Support Systems.* 8: 99-124.

Erdin, C. (2007). Bulanık Hedef Programlama ve İşletme Yönetiminde Bir Uygulama, (Yayımlanmış Doktora Tezi) İstanbul Üniversitesi, İstanbul

Erpolat, S. (2010). Üretim Planlamasında Hedef Programlama ve Bulanık Hedef Programlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Marmara Üniversitesi Açık Arşiv Sistemi*, 233-246

Ertuğrul, İ. (2005). Bulanık Hedef Programlama ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama Örneği, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6*(2):45-79.

Evren, R. ve Ülengin, F. (1992). *Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme*, İstanbul: İ.T.Ü.

Figueira, J., Mousseau, V. ve Roy, B. (2005). *Electre Methods. Multiple Criteria Decision Analysis,*(133-153), Boston: Springer Science, Business Media, Inc.

Fraisse, G., Virgone, J. ve Roux, J.J. (1997). Thermal control of a discontinuously occupied building using a classical and a fuzzy logic approach, *Energy and Buildings 26*: 303-316.

Gülenç, İ.F. ve Karabulut, B. (2005). Doğrusal Hedef Programlama ile Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9*(1): 55-68.

Güneş, M. ve Umarosman, N. (2005). Fuzzy Goal Programming Approach On Computation Of The Fuzzy Arithmetic Mean, *Mathematical and Computation Applications, 10*(2): 211-220.

Hammond, J.S., Keeney, R.L. ve Raiffa, H. (1999). S*mart Choices: A Practical Guide to Making Better Decisions*, Harvard Business School Press.

Hannan, E.L. (1981). Linear Programming With Multiple Fuzzy Goals, *Fuzzy Set And System, 6*:235-248.

Hannan, E.L. (1981). On Fuzzy Goal Programming, *Decision Science, 12*:524.

Hans, J. ve Zimmermann, H.J. (1976). Description and Optimization of Fuzzy Systems, *Int. J. General Systems, 2*: 209-215.

Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications: A literature review, *European Journal of Operational Research.* 186: 211-228.

Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H. ve Izadikhah,M. (2006). "Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data, *Applied Mathematics and Computation*. 181: 544–1551.

Jian-Zhong X., Li-Jing W. ve Jun L. (2008). A Study of AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation on The Development of Eco-Enterprise, *International Conference On Management Science & Engineering, 10-12*: 219-224

Jones, A., Kaufmann, A. ve Zimmermann, H.J. (1986). *Fuzzy Sets Theory and Applications,* Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.

Kağnıcıoğlu, C.H. (2006). Hedef Programlama ve Bulanık Hedef Programlama Arasındaki İlişki, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7*(2):17-38.

Kahraman, C. (2008). Fuzzy Multi Criteria Decision Making. New York: Springer.

Karaatlı, M., Ömürbek, N. ve Yılmaz, H. (2014). Mobilya Sektöründe Bulanık Doğrusal Programlama Tekniği İle Üretim Planlaması Uygulaması, *Int. Journal of Economics and Business, 10*(22): 95-118.

Kaya, Ö.O. (2010). Bulanık Hedef Programlama İle Tedarikçi Seçimi (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Kim, J.S. ve Whang, K.S. (1998). A Tolerance Approach To The Fuzzy Goal Programming Problems With Unbalance Triangular Membership Function, *European Journal of Operation Research 107*:615.

Kwak, N.K., Schniederjans, M.J. ve Warkentin, K.S. (1991). An Application of Linear Goal Programming to the Marketing Distribution Decision, *European Journal of Operation Research 52*: 334-344.

Lai, Y.J. ve Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications*, Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Lai, Y.J. ve Hwang, C.L. (1996). *Fuzzy Multiple Objective Decision Making Methods and Applications*, Berlin, Springer - Verlag, p.2.

Lai, Y.J., Liu, T.Y. ve Hwang, C.L. (1994). TOPSIS for MODM, *European Journal of Operational Research*. 76: 486-500.

Leung, Y. (1983). *Fuzzy Sets Approach to Spatial Analysis and Planning: A Nontechnical Evaluation. Geografiska Annaler*, Series B, Human Geography. 65: 65-75.

Levy, J.K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management, *Stochastic Environmental Research and Risk Assesment. 19*: 438–447.

Liang, G.S. (1999). Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts, *European Journal of Operational Research. 112*: 682-691.

Lin, C.T. ve Lee, C.S.G. (1996). *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism To Intelligent Systems,* New Jersey: Prentice Hall.

Lootsma, F.A. (1999). *Multi-Criteria Decision Analysis via Ratio and Difference Judgement*. London, Kluwer Academic Publishers.

Mahdavi, I., Amiri, N.M., Heidarzade, A. ve Nourifar, R. (2008). Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making, *Applied Mathematics and Computation*. 1-11.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, NewYork, John Wiley&Sons.

Maria, A., Mattson, C.A., Ismail-Yahaya, A. ve Messac, A. (2003). Linear Physical Programming For Production Planning Optimization, *Engineering Optimization*, , *35*(1):22.

Martel, J.M. ve Aouni B. (1998). Diverse Imprecise Goal Programming Model Formülations, *Journal of Global Optimization, 12*:129.

Mateo, J.R.S.C. (2012). *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry,* Verlag London Limited: Springer.

McCosh, J. (1991). *The Laws of Discursive Thought Being A Textbook of Formal Logic,* New York: Robert Carter and Brothers.

Mendoza, G.A. ve Prabhub, R. (2000). Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study, *Forest Ecology and Management. 131*: 107-126.

Mikhailov, L. (2004). Group prioritization in the AHP by fuzzy preference programming method, *Computers & Operations Research. 31*: 293-301.

Novak, V., Ramik, J. ve Mares, M. (1992). *Fuzzy Approach to Reasoning and Decision Making,* Prague: Academia.

Organ, A., Ertuğrul, İ. ve Gürel, S.G. (2013). Bütünleşik Üretim Programlamasının Hedef Programlamayla Optimizasyonu ve Denizli İmalat Sanayiinde Uygulaması, *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6*(1): 96-115.

Öner, N. (1986). *Klasik Mantık,* Ankara: Ankara Üniversitesi Basım Evi.

Özkan, M.M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama,* Bursa: Ekin Kitapevi.

Öztürk, A. *Yöneylem Arastırması*, 10. Baskı, Ekin Kitabevi, 2005.

Passino, K.M. ve Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy Control,* Menlo Park California: Addison Wesley.

Pedrycz, W. ve Gomide, F. (2007). *Fuzzy Systems Engineering Toward Human-Centric Computing,* New Jersey: John Wiley.

Ross, T.J. (2004). *Fuzzy Logic With Engineering Applications,* England: John Wiley & Sons, Ltd.

Ross, T.J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications,* Southern Gate, Chichester, West Sussex: Wiley Publication.

Saaty, T.L. (1994). *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*, Interfaces. 24: 19-43.

Sakawa, M., Yano, H. ve Nishizaki, I. (2013). *Linear and Multiobjective Programming with Fuzzy Stochastic Extensions,* New York Heidelberg Dordrecht London: Springer.

Salo, A.A. ve Hamalainen, R.P. (1995). Preference Programming Through Approximate Ratio Comparisons, *European Journal of Operational Research. 82* (1995): 458-475.

Schiederjans, M.J. (2004). *Information Technology Investment: Decision-Making Methodology*, Singapore, World Scientific Publishing Company,

Stanley Z. (1981). A Multi Criteria Method for Choosing Among Discrete Alternatives, *European Journal Of Operation Research, 7*(2): 145.

Şen, Z. (2009). *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme,* İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

Tamiz, M. (1996). *Multi-Objective Programming and Goal Programming*, Berlin, Springer.

Tamiz, M., Jones, D. ve Romero, C. (1998). Goal Programming For Decision Making: An Overview Of The Current State-of-the-Art, *European Journal of Operation Research, 111*:570.

Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S.N. ve Ray, T. (1998). Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach, *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 15*: 175-186.

Tuş, A. (2006). Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Üretim Planlamasında Uygulama Örneği, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi) Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Twari, R.N., Dharmar, S. ve Rao, J.R. (1986). Priority Structure in Fuzzy Goal Programming, *Fuzzy Sets and Systems, 19*:251-259.

Twari, R.N., Dharmar, S. ve Rao, J.R. (1987). Fuzzy Goal Programming- An Additive Model, *Fuzzy Sets and Systems, 24*:27-34.

Üstüntaş, T., Müftüoğlu, O. ve Şen Z. (2006). Dijital Fotogrametride Yapısal Eslestirme, *İTÜ dergisi, Mühendislik Dergisi, 5*(1):75-82.

Vaidya, O.S. ve Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications, *European Journal of Operational Research.* 169: 1–29.

Vargas, L.G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications, *European Journal of Operational Research, 48*(1), P:2-8

Wang, L.X. (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control,* New Jersey: Prentice Hall.

Wu, W.W. ve Lee, Y.T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method, *Expert Systems with Applications.* 32: 499–507.

Yaghoobi, M.A. ve Tamiz, M. (2007b). A Note On Article A Tolerance Approach To The Fuzzy Goal Programming Problems With Unbalanced Triangular Membership Function, *European Journal of Operation Research, 176*:637.

Yang, T., Ignizio, J. ve Kim, H.J. (1991). Fuzzy Programming With Nonlinear Membership Function: Piecewise Linear Approximation, *Fuzzy Sets and Systems 41*:48.

Yaralıoğlu, K. (2010). *Karar Verme Yöntemleri.* Ankara: Detay Yayıncılık.

Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information Sciences.* 8: 199-249.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control.* 8: 338-353.

Zhang, J.G., Ruan, D. ve Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques. Covent Garden London*, Imperial College Press.

Zhang, J.G., Ruan, D. ve Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques,* Covent Garden London: Imperial College Press.

Zhang, J.L.G., Ruan, D. ve Wu, F. (2007). *Multi-Objective Group Decision Making,* Imperial College Press.

Zhu, K.J., Y.Jing, ve Chang, D.Y. (1999). A discussion on Extent Analysis Method and applications of fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research. 116*: 450-456.

Zhü, K. (2014). Fuzzy analytic hierarchy process: Fallacy of the popular methods, *European Journal of Operational Research, 236*:209–217

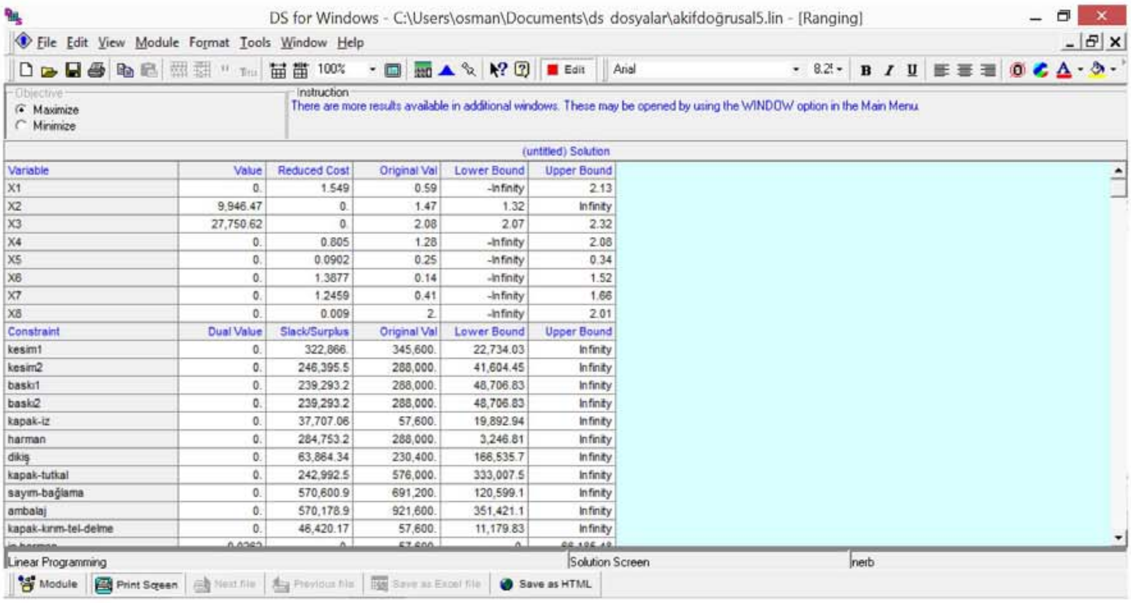
Zimmermann, H.J. (1987). Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, *Fuzzy Sets and Systems.* 1: 45-55.

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

Zimmermann, H.J. (2001). *Fuzy Set Theory and Its Aplications.Fourth Edition*, Kluwer Academic Publishers Boston/Dordrecht/London.

EKLER

Ek 1: Doğrusal Programlama DS Çözüm Ekranı görüntüsü.



(untitled) Solution

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	0.	1.549	0.59	-Infinity	2.13
X2	9,946.47	0.	1.47	1.32	Infinity
X3	27,750.62	0.	2.08	2.07	2.32
X4	0.	0.805	1.28	-Infinity	2.08
X5	0.	0.0902	0.25	-Infinity	0.34
X6	0.	1.3877	0.14	-Infinity	1.52
X7	0.	1.2459	0.41	-Infinity	1.66
X8	0.	0.009	2.	-Infinity	2.01
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
kesim1	0.	322,866.	345,600.	22,734.03	Infinity
kesim2	0.	246,395.5	288,000.	41,604.45	Infinity
baskı1	0.	239,293.2	288,000.	48,706.83	Infinity
baskı2	0.	239,293.2	288,000.	48,706.83	Infinity
kapak-iz	0.	37,707.06	57,600.	19,892.94	Infinity
harman	0.	284,753.2	288,000.	3,246.81	Infinity
dikiş	0.	63,864.34	230,400.	166,535.7	Infinity
kapak-tutkal	0.	242,992.5	576,000.	333,007.5	Infinity
sayım-bağlama	0.	570,600.9	691,200.	120,599.1	Infinity
ambalaj	0.	570,178.9	921,600.	351,421.1	Infinity
kapak-kırım-tel-delme	0.	46,420.17	57,600.	11,179.83	Infinity

Ek 2: Doğrusal Programlama Sonuç Tablosu

(untitled) Solution

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	0.	1.549	0.59	-Infinity	2.13
X2	9,946.47	0.	1.47	1.32	Infinity
X3	27,750.62	0.	2.08	2.07	2.32
X4	0.	0.805	1.28	-Infinity	2.08
X5	0.	0.0902	0.25	-Infinity	0.34
X6	0.	1.3877	0.14	-Infinity	1.52
X7	0.	1.2459	0.41	-Infinity	1.66
X8	0.	0.009	2.	-Infinity	2.01

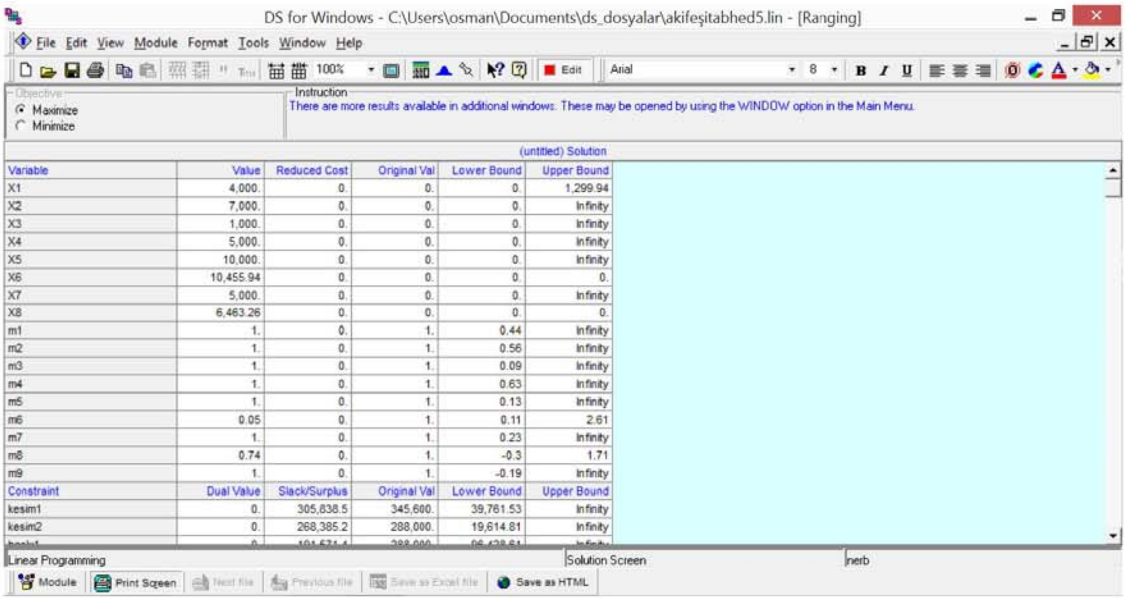
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
kesim1	0.	322,866.	345,600.	22,734.03	Infinity
kesim2	0.	246,395.5	288,000.	41,604.45	Infinity
baskı1	0.	239,293.2	288,000.	48,706.83	Infinity
baskı2	0.	239,293.2	288,000.	48,706.83	Infinity
kapak-iz	0.	37,707.06	57,600.	19,892.94	Infinity
harman	0.	284,753.2	288,000.	3,246.81	Infinity
dikiş	0.	63,864.34	230,400.	166,535.7	Infinity
kapak-tutkal	0.	242,992.5	576,000.	333,007.5	Infinity
sayım-bağlama	0.	570,600.9	691,200.	120,599.1	Infinity
ambalaj	0.	570,178.9	921,600.	351,421.1	Infinity
kapak-kırım-tel-delme	0.	46,420.17	57,600.	11,179.83	Infinity
iç harman	0.0262	0.	57,600.	0.	66,185.48
kırım	0.	7,471.785	57,600.	50,128.21	Infinity
kapak iç geçirme	0.	113,187.8	115,200.	2,012.17	Infinity
çevirme1	0.	48,354.76	57,600.	9,245.24	Infinity
tel takma	0.	225,808.7	230,400.	4,591.3	Infinity
çevirme2	0.	43,983.29	57,600.	13,616.71	Infinity
kapsül	0.	95,247.38	115,200.	19,952.62	Infinity
kesim	0.	115,200.	115,200.	0.	Infinity
baskı	0.	57,600.	57,600.	0.	Infinity
tel geçirme	0.	57,600.	57,600.	0.	Infinity

kıvrım-katlama	0.	115,200.	115,200.	0.	Infinity
bölme	0.	57,600.	57,600.	0.	Infinity
etiket	0.	115,200.	115,200.	0.	Infinity
çember	0.	57,600.	57,600.	0.	Infinity
mekanizma	0.	115,200.	115,200.	0.	Infinity
firkete	0.	115,200.	115,200.	0.	Infinity
kesim3	0.	57,600.	57,600.	0.	Infinity
kesim4	0.	57,600.	57,600.	0.	Infinity
toplamiş	0.0535	0.	1,324,800.	245,578.4	1,738,747.
SHRING PE FILM	0.	99,999,600.	100,000,000.	400.	Infinity
OFSET BOYA	0.	99,999,500.	100,000,000.	496.	Infinity
DIKIS TELI NO: 23 1BOBIN 145KG	0.	99,999,700.	100,000,000.	296.	Infinity
TUTKAL MUCELLIT SICAK HOTMELT	0.	99,999,940.	100,000,000.	64.	Infinity
3.HAMUR 45GR 61CM	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
KROME KARTON 175GR 39CM	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
GRI KARTON 340GR 65CM	0.	99,987,880.	100,000,000.	12,120.	Infinity
PP SERIT (rota - 1 rulo 6500 mt)	0.	99,993,040.	100,000,000.	6,960.	Infinity
DOSYA TELI APARATI	0.	99,726,470.	100,000,000.	273,528.	Infinity

10CM PLASTIK					
KAPSUL NO4 1PAKET 5000AD	0.	99,452,940.	100,000,000.	547,056.	Infinity
DOSYA TELI 14 CM	0.	99,726,470.	100,000,000.	273,528.	Infinity
1.HAMUR 70GR 60CM	0.	99,988,250.	100,000,000.	11,752.	Infinity
KROME KARTON 230GR 60CM	0.	99,991,250.	100,000,000.	8,752.	Infinity
POLIOLEFIN FILM 2KATLI HER BOBIN 1332MT	0.	99,998,890.	100,000,000.	1,112.	Infinity
KROME KARTON 190GR 65CM	0.	99,987,030.	100,000,000.	12,968.	Infinity
3.HAMUR 48.8GR 62CM	0.	99,845,490.	100,000,000.	154,512.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 1.N 54GR 60CM	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 3.N 54GR 60CM	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
KROME KARTON 260GR 47CM	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
DOSYA TELI APARATI 12CM PLASTIK	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
DOSYA TELI 24 CM	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity

DOSYALIK 300GR 34CM EKONOMIK PEMBE (SIMKA 1K)	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
KAPSULLU DOSYA 2K PEMBE 31*41 !!!!	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
DOSYALIK 260GR 31CM 2K PEMBE	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
FLEXO BOYA	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
KLASOR KOLISI BUYUK 49*91*66	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
KLASOR FIRKETE PLASTIK	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
HALKA	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
KLASOR MEKANIZMA GENIS	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
PERCIN 1PAKETEE 10.000AD	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
MUKAVVA NO:20 65*66 BASKILI ARSIV GENIS KLASOR ICIN	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity
KUSE MAT 90GR 68*80CM	0.	100,000,000.	100,000,000.	0.	Infinity

Ek 3: Eşit Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama DS Çözüm Ekran görüntüsü.



Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	4,000.	0.	0.	0.	1,299.94
X2	7,000.	0.	0.	0.	Infinity
X3	1,000.	0.	0.	0.	Infinity
X4	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X5	10,000.	0.	0.	0.	Infinity
X6	10,455.94	0.	0.	0.	0.
X7	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X8	6,463.26	0.	0.	0.	0.
m1	1.	0.	1.	0.44	Infinity
m2	1.	0.	1.	0.56	Infinity
m3	1.	0.	1.	0.09	Infinity
m4	1.	0.	1.	0.63	Infinity
m5	1.	0.	1.	0.13	Infinity
m6	0.05	0.	1.	0.11	2.61
m7	1.	0.	1.	0.23	Infinity
m8	0.74	0.	1.	-0.3	1.71
m9	1.	0.	1.	-0.19	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
kesim1	0.	305,838.5	345,600.	39,761.53	Infinity
kesim2	0.	268,385.2	288,000.	19,614.81	Infinity

Ek 4: Eşit Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Çözüm Tablosu

(untitled) Solution					
Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	4,000.	0.	0.	0.	1,299.94
X2	7,000.	0.	0.	0.	Infinity
X3	1,000.	0.	0.	0.	Infinity
X4	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X5	10,000.	0.	0.	0.	Infinity
X6	10,455.94	0.	0.	0.	0.
X7	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X8	6,463.26	0.	0.	0.	0.
m1	1.	0.	1.	0.44	Infinity

m2	1.	0.	1.	0.56	Infinity
m3	1.	0.	1.	0.09	Infinity
m4	1.	0.	1.	0.63	Infinity
m5	1.	0.	1.	0.13	Infinity
m6	0.05	0.	1.	0.11	2.61
m7	1.	0.	1.	0.23	Infinity
m8	0.74	0.	1.	-0.3	1.71
m9	1.	0.	1.	-0.19	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
kesim1	0.	305,838.5	345,600.	39,761.53	Infinity
kesim2	0.	268,385.2	288,000.	19,614.81	Infinity
baskı1	0.	191,571.4	288,000.	96,428.61	Infinity
baskı2	0.	262,841.8	288,000.	25,158.22	Infinity
kapak-iz	0.	43,600.	57,600.	14,000.	Infinity
harman	0.	267,440.2	288,000.	20,559.78	Infinity
dikiş	0.	137,182.2	230,400.	93,217.78	Infinity
kapak-tutkal	0.	431,762.8	576,000.	144,237.2	Infinity
sayım-bağlama	0.	615,671.4	691,200.	75,528.56	Infinity
ambalaj	0.	557,854.5	921,600.	363,745.4	Infinity
kapak-kırım-tel-delme	0.	49,732.	57,600.	7,868.	Infinity
iç harman	0.	17,063.	57,600.	40,537.	Infinity
kırım	0.	22,321.4	57,600.	35,278.6	Infinity
kapak iç geçirme	0.	113,783.9	115,200.	1,416.1	Infinity

çevirme1	0.	51,093.5	57,600.	6,506.5	Infinity
tel takma	0.	161,819.2	230,400.	68,580.8	Infinity
çevirme2	0.	48,017.	57,600.	9,583.	Infinity
kapsül	0.	81,553.12	115,200.	33,646.88	Infinity
kesim	0.	88,110.7	115,200.	27,089.3	Infinity
baskı	0.	35,782.	57,600.	21,818.	Infinity
tel geçirme	0.	55,846.	57,600.	1,754.	Infinity
kıvrım-katlama	0.	86,052.16	115,200.	29,147.85	Infinity
bölme	0.	47,465.	57,600.	10,135.	Infinity
etiket	0.	69,111.38	115,200.	46,088.63	Infinity
çember	0.	27,081.5	57,600.	30,518.5	Infinity
mekanizma	0.	79,186.	115,200.	36,014.	Infinity
firkete	0.	94,861.5	115,200.	20,338.5	Infinity
kesim3	0.	55,412.19	57,600.	2,187.81	Infinity
kesim4	0.	53,560.46	57,600.	4,039.54	Infinity
toplamiş	0.	0.	1,324,800.	1,312,976.	1,572,309.
SHRING PE FILM	0.	99,998,170.	100,000,000.	1,832.	Infinity
OFSET BOYA	0.	99,999,650.	100,000,000.	352.	Infinity
DIKIS TELI NO: 23 1BOBIN 145KG	0.	99,999,820.	100,000,000.	184.	Infinity
TUTKAL MUCELLIT SICAK HOTMELT	0.	99,999,680.	100,000,000.	320.	Infinity
3.HAMUR 45GR 61CM	0.	99,976,580.	100,000,000.	23,416.	Infinity
KROME KARTON 175GR 39CM	0.	99,946,670.	100,000,000.	53,328.	Infinity

GRI KARTON 340GR 65CM	0.	99,994,990.	100,000,000.	5,008.	Infinity
PP SERIT (rota - 1 rulo 6500 mt)	0.	99,995,100.	100,000,000.	4,896.	Infinity
DOSYA TELI APARATI 10CM PLASTIK	0.	96,932,120.	100,000,000.	3,067,880.	Infinity
KAPSUL NO4 1PAKET 5000AD	0.	93,864,230.	100,000,000.	6,135,768.	Infinity
DOSYA TELI 14 CM	0.	96,932,120.	100,000,000.	3,067,880.	Infinity
1.HAMUR 70GR 60CM	0.	99,991,730.	100,000,000.	8,272.	Infinity
KROME KARTON 230GR 60CM	0.	99,993,840.	100,000,000.	6,160.	Infinity
POLIOLEFIN FILM 2KATLI HER BOBIN 1332MT	0.	99,996,250.	100,000,000.	3,752.	Infinity
KROME KARTON 190GR 65CM	0.	99,994,180.	100,000,000.	5,824.	Infinity
3.HAMUR 48.8GR 62CM	0.	99,958,450.	100,000,000.	41,552.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 1.N 54GR 60CM	0.	99,696,400.	100,000,000.	303,600.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 3.N 54GR 60CM	0.	99,696,400.	100,000,000.	303,600.	Infinity
KROME KARTON 260GR 47CM	0.	99,998,460.	100,000,000.	1,536.	Infinity
DOSYA TELI APARATI 12CM PLASTIK	0.	99,450,000.	100,000,000.	550,000.	Infinity
DOSYA TELI 24 CM	0.	99,450,000.	100,000,000.	550,000.	Infinity
DOSYALIK 300GR 34CM EKONOMIK PEMBE (SIMKA 1K)	0.	99,967,430.	100,000,000.	32,568.	Infinity

KAPSULLU DOSYA 2K PEMBE 31*41 !!!!	0.	97,386,020.	100,000,000.	2,613,984.	Infinity
DOSYALIK 260GR 31CM 2K PEMBE	0.	99,912,800.	100,000,000.	87,200.	Infinity
FLEXO BOYA	0.	99,999,980.	100,000,000.	24.	Infinity
KLASOR KOLISI BUYUK 49*91*66	0.	99,999,750.	100,000,000.	248.	Infinity
KLASOR FIRKETE PLASTIK	0.	99,975,000.	100,000,000.	25,000.	Infinity
HALKA	0.	99,974,500.	100,000,000.	25,496.	Infinity
KLASOR MEKANIZMA GENIS	0.	99,975,000.	100,000,000.	25,000.	Infinity
PERCIN 1PAKETEE 10.000AD	0.	99,890,000.	100,000,000.	110,000.	Infinity
MUKAVVA NO:20 65*66 BASKILI ARSIV GENIS KLASOR ICIN	0.	99,987,500.	100,000,000.	12,496.	Infinity
KUSE MAT 90GR 68*80CM	0.	99,999,970.	100,000,000.	32.	Infinity
h1	-0.0001	0.	1,000.	-3,000.	1,408.98
h2	-0.0001	0.	2,000.	-68.45	4,946.47
h3	-0.0002	0.	500.	-500.	4,794.01
h4	-0.0002	0.	1,000.	-1,569.77	1,791.25
h5	0.	0.	5,000.	-5,000.	12,112.22
h6	-0.0001	0.	10,000.	455.94	10,455.94
h7	-0.0001	0.	3,000.	-2,000.	3,508.42
h8	-0.0002	0.	2,000.	463.26	6,463.26
h9	0.	0.	30,000.	21,860.32	30,629.59
a1	0.557	0.	1.	0.	1.14

a2	0.4378	0.	1.	0.59	1.59
a3	0.9137	0.	1.	0.	9.59
a4	0.3708	0.	1.	0.36	1.2
a5	0.8675	0.	1.	0.	2.42
a6	0.	0.9544	1.	0.05	Infinity
a7	0.7725	0.	1.	0.	1.25
a8	0.	0.2561	1.	0.74	Infinity
a9	1.1897	0.	1.	0.19	1.06

Ek 5: ikili karşılaştırma soru formu

		Eşit önemli (1)	(2)	Biraz Önemli (3)	(4)	Kuvvetli Derecede Önemli (5)	(6)	Çok Kuvvetli Derecede Önemli (7)	(8)	Kesin Önemli (9)
	H1. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef					X_a				
	H2. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef			X_b						

X_a cevabının anlamı: "H1" kriterinin "H2" kriterine göre "kuvvetli derecede önemli" olduğunu göstermektedir.

X_b cevabının anlamı: "H2" kriterinin "H1" kriterine göre "biraz önemli" olduğunu göstermektedir.

ANKET

		Eşit önemli (1)	(2)	Biraz Önemli (3)	(4)	Kuvvetli Derecede Önemli (5)	(6)	Çok Kuvvetli Derecede Önemli (7)	(8)	Kesin Önemli (9)
	Hedef Kriterlerine ait karşılaştırmalar;									
1	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim									

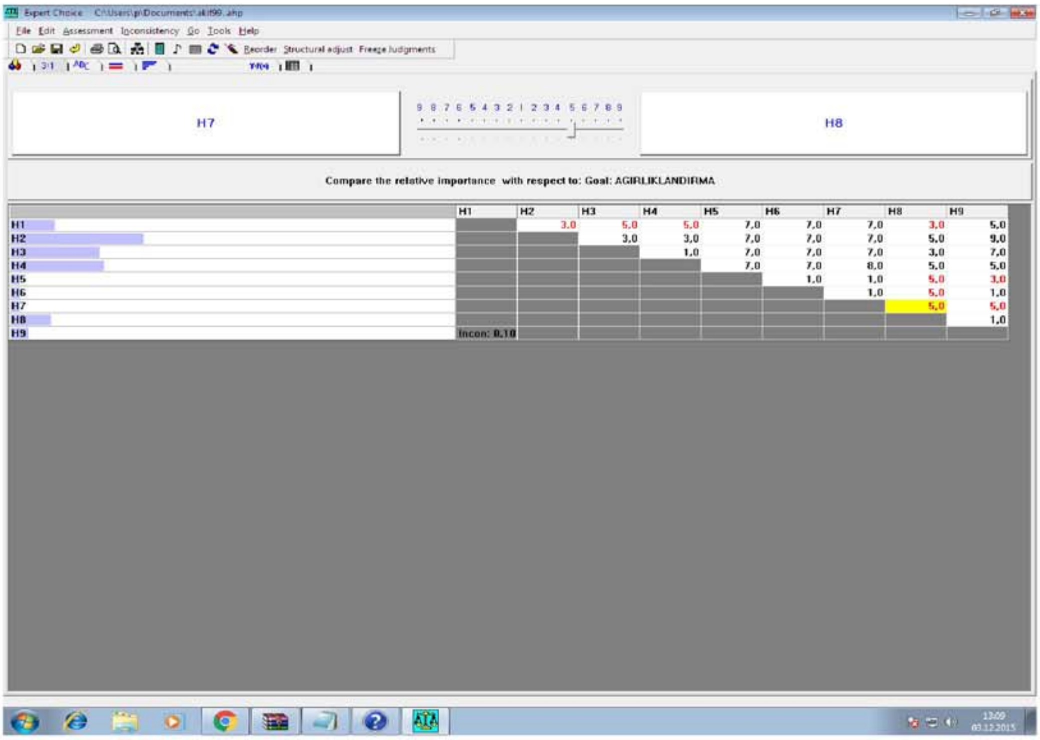
	miktarına ilişkin hedef									
	H2. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
2	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ ‘nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H3. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
3	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ ‘nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H4. ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
4	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ ‘nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H5. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
5	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ ‘nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H6. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
6	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ ‘nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına ilişkin hedef									
7	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ ‘nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef									
8	**H1**. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ ‘nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									
9	**H2**. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H3. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
10	**H2**. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim									

	miktarına ilişkin hedef									
	H4. ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
11	**H2**. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H5. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
12	**H2**. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H6. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
13	**H2**. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına ilişkin hedef									
14	**H2**. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef									
15	**H2**. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									
16	**H3**. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H4. ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
17	**H3**. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H5. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
18	**H3**. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H6. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
19	**H3**. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına									

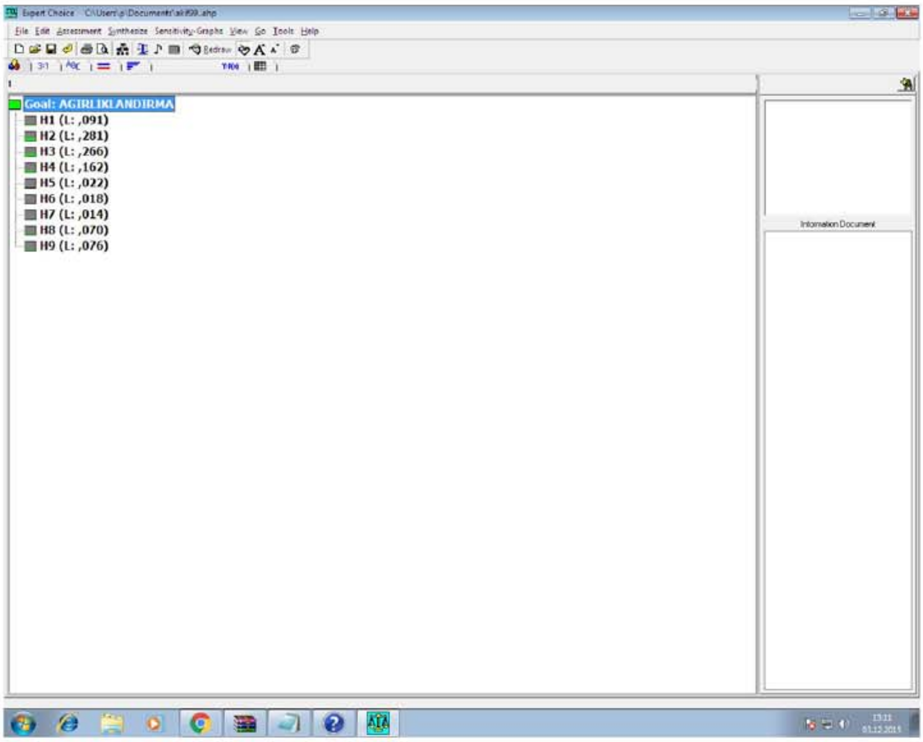
	ilişkin hedef										
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına ilişkin hedef										
20	**H3**. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H8. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef										
21	**H3**. ADİSYON 3H NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef										
22	**H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H5. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
23	**H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H6. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
24	**H4**. ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına ilişkin hedef										
25	**H4**. ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H8. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef										
26	**H4**. ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef										
27	**H5**. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H6. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
28	**H5**. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef										
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına										

	ilişkin hedef									
29	**H5**. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef									
30	**H5**. BARO DOSYASI ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									
31	**H6**. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına ilişkin hedef									
32	**H6**. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef									
33	**H6**. KAPSÜLLÜ DOSYA ‘nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									
34	**H7**. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef									
35	**H7**. ARŞİV KARTON KLASÖR ‘ün üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									
36	**H8**. MAKBUZ ‘un üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									

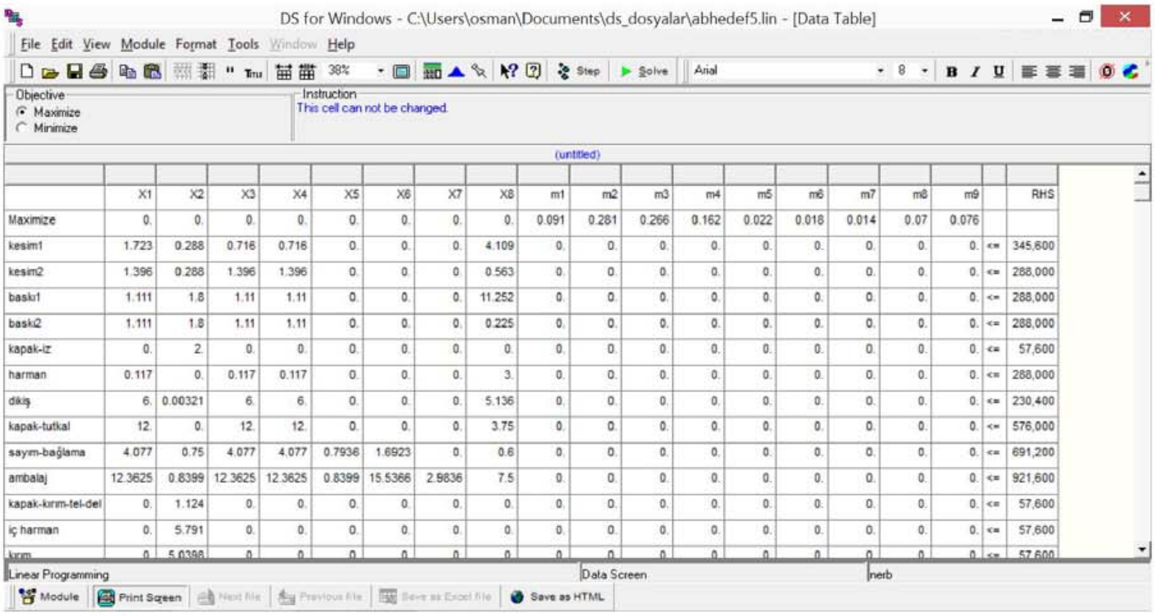
Ek 6: ikili karşılaştırma Expert Choice Giriş Ekran Görüntüsü.



Ek 7: ikili karşılaştırma Expert Choice Sonuç Ekran Görüntüsü.

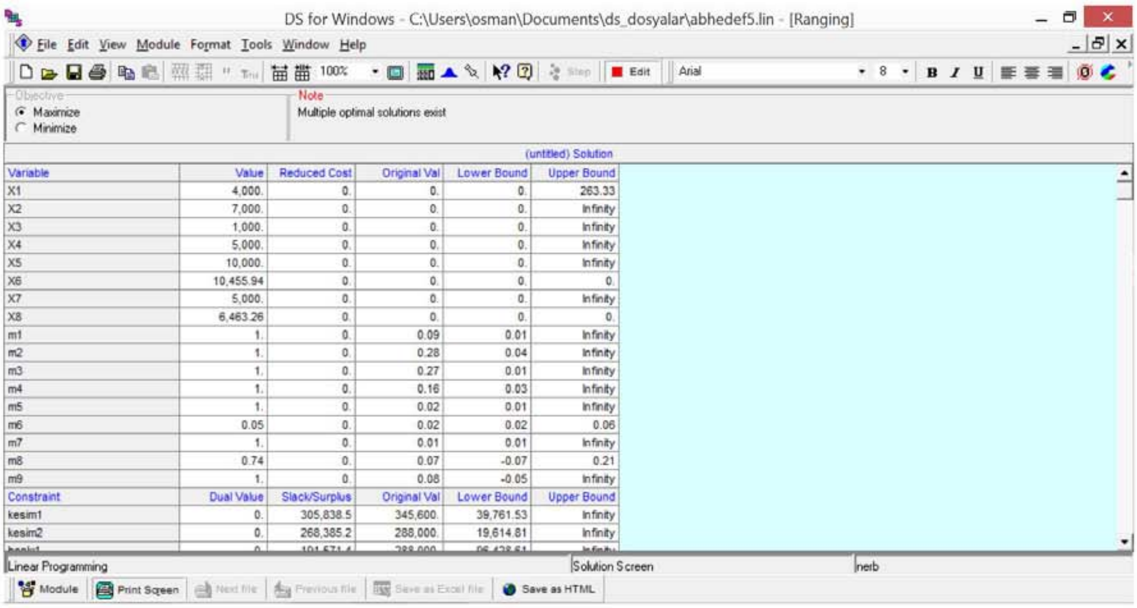


Ek 8: AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama DS Girişi Ekran görüntüsü.



	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9		RHS
Maximize	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.091	0.281	0.266	0.162	0.022	0.018	0.014	0.07	0.076		
kesim1	1.723	0.288	0.716	0.716	0.	0.	0.	4.109	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	345,600
kesim2	1.396	0.288	1.396	1.396	0.	0.	0.	0.563	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	288,000
baskı1	1.111	1.8	1.11	1.11	0.	0.	0.	11.252	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	288,000
baskı2	1.111	1.8	1.11	1.11	0.	0.	0.	0.225	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	288,000
kapak-iz	0.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	57,600
harman	0.117	0.	0.117	0.117	0.	0.	0.	3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	288,000
dikiş	6.	0.00321	6.	6.	0.	0.	0.	5.136	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	230,400
kapak-tutkal	12.	0.	12.	12.	0.	0.	0.	3.75	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	576,000
sayım-bağlama	4.077	0.75	4.077	4.077	0.7936	1.6923	0.	0.6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	691,200
ambalaj	12.3625	0.8399	12.3625	12.3625	0.8399	15.5366	2.9836	7.5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	921,600
kapak-kırım-tel-del	0.	1.124	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	57,600
iç harman	0.	5.791	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	<=	57,600
kırım	0.	5.0398	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	[illegible]	57,600

Ek 9: AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama DS Çözümü Ekran görüntüsü.



Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	4,000.	0.	0.	0.	263.33
X2	7,000.	0.	0.	0.	Infinity
X3	1,000.	0.	0.	0.	Infinity
X4	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X5	10,000.	0.	0.	0.	Infinity
X6	10,455.94	0.	0.	0.	0.
X7	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X8	6,463.26	0.	0.	0.	0.
m1	1.	0.	0.09	0.01	Infinity
m2	1.	0.	0.28	0.04	Infinity
m3	1.	0.	0.27	0.01	Infinity
m4	1.	0.	0.16	0.03	Infinity
m5	1.	0.	0.02	0.01	Infinity
m6	0.05	0.	0.02	0.02	0.06
m7	1.	0.	0.01	0.01	Infinity
m8	0.74	0.	0.07	-0.07	0.21
m9	1.	0.	0.08	-0.05	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
kesim1	0.	305,838.5	345,600.	39,761.53	Infinity
kesim2	0.	268,385.2	288,000.	19,614.81	Infinity

Ek 10: AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Çözüm Tablosu

(untitled) Solution					
Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	4,000.	0.	0.	0.	263.33
X2	7,000.	0.	0.	0.	Infinity
X3	1,000.	0.	0.	0.	Infinity
X4	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X5	10,000.	0.	0.	0.	Infinity
X6	10,455.94	0.	0.	0.	0.
X7	5,000.	0.	0.	0.	Infinity
X8	6,463.26	0.	0.	0.	0.
m1	1.	0.	0.09	0.01	Infinity
m2	1.	0.	0.28	0.04	Infinity
m3	1.	0.	0.27	0.01	Infinity
m4	1.	0.	0.16	0.03	Infinity
m5	1.	0.	0.02	0.01	Infinity
m6	0.05	0.	0.02	0.02	0.06
m7	1.	0.	0.01	0.01	Infinity
m8	0.74	0.	0.07	-0.07	0.21
m9	1.	0.	0.08	-0.05	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
kesim1	0.	305,838.5	345,600.	39,761.53	Infinity

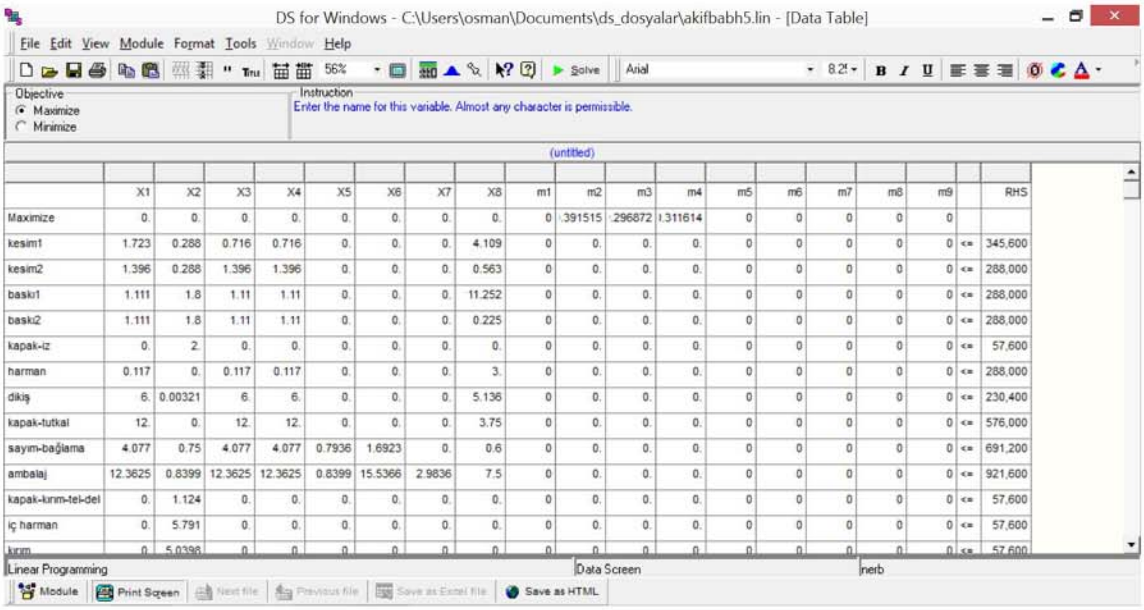
kesim2	0.	268,385.2	288,000.	19,614.81	Infinity
baskı1	0.	191,571.4	288,000.	96,428.61	Infinity
baskı2	0.	262,841.8	288,000.	25,158.22	Infinity
kapak-iz	0.	43,600.	57,600.	14,000.	Infinity
harman	0.	267,440.2	288,000.	20,559.78	Infinity
dikiş	0.	137,182.2	230,400.	93,217.78	Infinity
kapak-tutkal	0.	431,762.8	576,000.	144,237.2	Infinity
sayım-bağlama	0.	615,671.4	691,200.	75,528.56	Infinity
ambalaj	0.	557,854.5	921,600.	363,745.4	Infinity
kapak-kırım-tel-delme	0.	49,732.	57,600.	7,868.	Infinity
iç harman	0.	17,063.	57,600.	40,537.	Infinity
kırım	0.	22,321.4	57,600.	35,278.6	Infinity
kapak iç geçirme	0.	113,783.9	115,200.	1,416.1	Infinity
çevirme1	0.	51,093.5	57,600.	6,506.5	Infinity
tel takma	0.	161,819.2	230,400.	68,580.8	Infinity
çevirme2	0.	48,017.	57,600.	9,583.	Infinity
kapsül	0.	81,553.12	115,200.	33,646.88	Infinity
kesim	0.	88,110.7	115,200.	27,089.3	Infinity
baskı	0.	35,782.	57,600.	21,818.	Infinity
tel geçirme	0.	55,846.	57,600.	1,754.	Infinity
kıvrım-katlama	0.	86,052.16	115,200.	29,147.85	Infinity
bölme	0.	47,465.	57,600.	10,135.	Infinity
etiket	0.	69,111.38	115,200.	46,088.63	Infinity
çember	0.	27,081.5	57,600.	30,518.5	Infinity

mekanizma	0.	79,186.	115,200.	36,014.	Infinity
firkete	0.	94,861.5	115,200.	20,338.5	Infinity
kesim3	0.	55,412.19	57,600.	2,187.81	Infinity
kesim4	0.	53,560.46	57,600.	4,039.54	Infinity
toplamiş	0.	0.	1,324,800.	1,312,976.	1,572,309.
SHRING PE FILM	0.	99,998,170.	100,000,000.	1,832.	Infinity
OFSET BOYA	0.	99,999,650.	100,000,000.	352.	Infinity
DIKIS TELI NO: 23 1BOBIN 145KG	0.	99,999,820.	100,000,000.	184.	Infinity
TUTKAL MUCELLIT SICAK HOTMELT	0.	99,999,680.	100,000,000.	320.	Infinity
3.HAMUR 45GR 61CM	0.	99,976,580.	100,000,000.	23,416.	Infinity
KROME KARTON 175GR 39CM	0.	99,946,670.	100,000,000.	53,328.	Infinity
GRI KARTON 340GR 65CM	0.	99,994,990.	100,000,000.	5,008.	Infinity
PP SERIT (rota - 1 rulo 6500 mt)	0.	99,995,100.	100,000,000.	4,896.	Infinity
DOSYA TELI APARATI 10CM PLASTIK	0.	96,932,120.	100,000,000.	3,067,880.	Infinity
KAPSUL NO4 1PAKET 5000AD	0.	93,864,230.	100,000,000.	6,135,768.	Infinity
DOSYA TELI 14 CM	0.	96,932,120.	100,000,000.	3,067,880.	Infinity
1.HAMUR 70GR 60CM	0.	99,991,730.	100,000,000.	8,272.	Infinity
KROME KARTON 230GR 60CM	0.	99,993,840.	100,000,000.	6,160.	Infinity
POLIOLEFIN FILM 2KATLI HER BOBIN 1332MT	0.	99,996,250.	100,000,000.	3,752.	Infinity

KROME KARTON 190GR 65CM	0.	99,994,180.	100,000,000.	5,824.	Infinity
3.HAMUR 48.8GR 62CM	0.	99,958,450.	100,000,000.	41,552.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 1.N 54GR 60CM	0.	99,696,400.	100,000,000.	303,600.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 3.N 54GR 60CM	0.	99,696,400.	100,000,000.	303,600.	Infinity
KROME KARTON 260GR 47CM	0.	99,998,460.	100,000,000.	1,536.	Infinity
DOSYA TELI APARATI 12CM PLASTIK	0.	99,450,000.	100,000,000.	550,000.	Infinity
DOSYA TELI 24 CM	0.	99,450,000.	100,000,000.	550,000.	Infinity
DOSYALIK 300GR 34CM EKONOMIK PEMBE (SIMKA 1K)	0.	99,967,430.	100,000,000.	32,568.	Infinity
KAPSULLU DOSYA 2K PEMBE 31*41 !!!!	0.	97,386,020.	100,000,000.	2,613,984.	Infinity
DOSYALIK 260GR 31CM 2K PEMBE	0.	99,912,800.	100,000,000.	87,200.	Infinity
FLEXO BOYA	0.	99,999,980.	100,000,000.	24.	Infinity
KLASOR KOLISI BUYUK 49*91*66	0.	99,999,750.	100,000,000.	248.	Infinity
KLASOR FIRKETE PLASTIK	0.	99,975,000.	100,000,000.	25,000.	Infinity
HALKA	0.	99,974,500.	100,000,000.	25,496.	Infinity
KLASOR MEKANIZMA GENIS	0.	99,975,000.	100,000,000.	25,000.	Infinity
PERCIN 1PAKETEE 10.000AD	0.	99,890,000.	100,000,000.	110,000.	Infinity
MUKAVVA NO:20 65*66 BASKILI ARSIV	0.	99,987,500.	100,000,000.	12,496.	Infinity

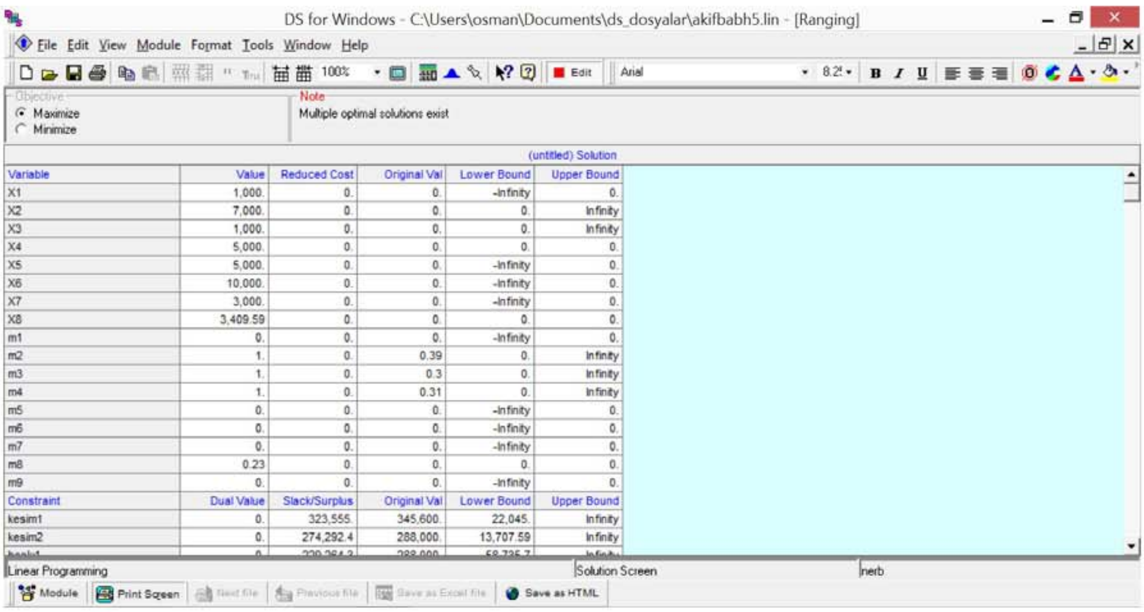
GENIS KLASOR ICIN					
KUSE MAT 90GR 68*80CM	0.	99,999,970.	100,000,000.	32.	Infinity
h1	0.	0.	1,000.	-3,000.	1,408.98
h2	0.	0.	2,000.	-68.45	4,946.47
h3	0.	0.	500.	-500.	4,794.01
h4	0.	0.	1,000.	-1,569.77	1,791.25
h5	0.	0.	5,000.	-5,000.	12,112.22
h6	0.	0.	10,000.	455.94	10,455.94
h7	0.	0.	3,000.	-2,000.	3,508.42
h8	0.	0.	2,000.	463.26	6,463.26
h9	0.	0.	30,000.	21,860.32	30,629.59
a1	0.0774	0.	1.	0.	1.14
a2	0.2387	0.	1.	0.59	1.59
a3	0.2599	0.	1.	0.	9.59
a4	0.1299	0.	1.	0.36	1.2
a5	0.0144	0.	1.	0.	2.42
a6	0.	0.9544	1.	0.05	Infinity
a7	0.0074	0.	1.	0.	1.25
a8	0.	0.2561	1.	0.74	Infinity
a9	0.1269	0.	1.	0.19	1.06

Ek 11: Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama DS Giriş Ekranı görüntüsü



	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9		RHS
Maximize	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	.391515	.296872	.311614	0	0	0	0	0		
kesim1	1.723	0.288	0.716	0.716	0.	0.	0.	4.109	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	345,600
kesim2	1.396	0.288	1.396	1.396	0.	0.	0.	0.563	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	288,000
baskı1	1.111	1.8	1.11	1.11	0.	0.	0.	11.252	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	288,000
baskı2	1.111	1.8	1.11	1.11	0.	0.	0.	0.225	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	288,000
kapak-iz	0.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	57,600
harman	0.117	0.	0.117	0.117	0.	0.	0.	3.	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	288,000
dikiş	6.	0.00321	6.	6.	0.	0.	0.	5.136	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	230,400
kapak-tutkal	12.	0.	12.	12.	0.	0.	0.	3.75	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	576,000
sayım-bağlama	4.077	0.75	4.077	4.077	0.7936	1.6923	0.	0.6	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	691,200
ambalaj	12.3625	0.8399	12.3625	12.3625	0.8399	15.5366	2.9836	7.5	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	921,600
kapak-kırım-tel-del	0.	1.124	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	57,600
iç harman	0.	5.791	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	57,600
kırım	0.	5.0398	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0	0	0	0	0	<=	57,600

Ek 12: Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama DS Çözüm Ekranı görüntüsü.



Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	1,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X2	7,000.	0.	0.	0.	Infinity
X3	1,000.	0.	0.	0.	Infinity
X4	5,000.	0.	0.	0.	0.
X5	5,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X6	10,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X7	3,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X8	3,409.59	0.	0.	0.	0.
m1	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m2	1.	0.	0.39	0.	Infinity
m3	1.	0.	0.3	0.	Infinity
m4	1.	0.	0.31	0.	Infinity
m5	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m6	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m7	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m8	0.23	0.	0.	0.	0.
m9	0.	0.	0.	-Infinity	0.
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
kesim1	0.	323,555.	345,600.	22,045.	Infinity
kesim2	0.	274,292.4	288,000.	13,707.59	Infinity

Ek 13: Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Çözüm Tablosu

(untitled) Solution					
Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	1,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X2	7,000.	0.	0.	0.	Infinity
X3	1,000.	0.	0.	0.	Infinity
X4	5,000.	0.	0.	0.	0.
X5	5,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X6	10,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X7	3,000.	0.	0.	-Infinity	0.
X8	3,409.59	0.	0.	0.	0.
m1	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m2	1.	0.	0.39	0.	Infinity
m3	1.	0.	0.3	0.	Infinity
m4	1.	0.	0.31	0.	Infinity
m5	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m6	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m7	0.	0.	0.	-Infinity	0.
m8	0.23	0.	0.	0.	0.
m9	0.	0.	0.	-Infinity	0.
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound

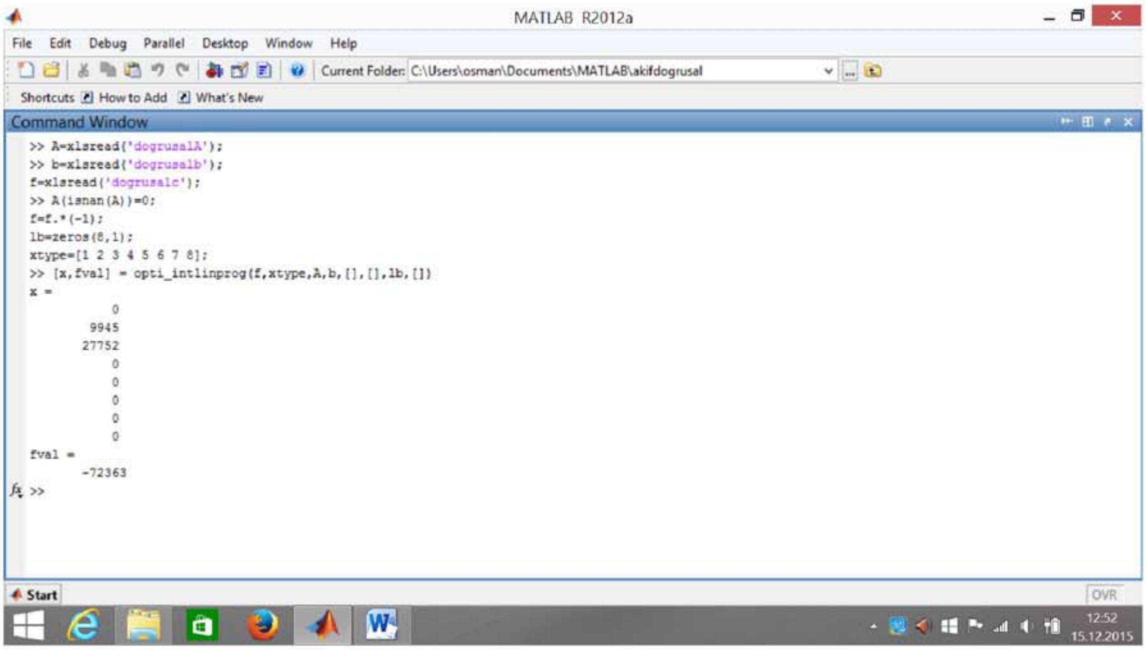
kesim1	0.	323,555.	345,600.	22,045.	Infinity
kesim2	0.	274,292.4	288,000.	13,707.59	Infinity
baskı1	0.	229,264.3	288,000.	58,735.7	Infinity
baskı2	0.	266,861.8	288,000.	21,138.16	Infinity
kapak-iz	0.	43,600.	57,600.	14,000.	Infinity
harman	0.	276,952.2	288,000.	11,047.78	Infinity
dikiş	0.	170,865.9	230,400.	59,534.13	Infinity
kapak-tutkal	0.	479,214.	576,000.	96,785.97	Infinity
sayım-bağlama	0.	634,474.3	691,200.	56,725.75	Infinity
ambalaj	0.	635,095.	921,600.	286,505.1	Infinity
kapak-kırım-tel-delme	0.	49,732.	57,600.	7,868.	Infinity
iç harman	0.	17,063.	57,600.	40,537.	Infinity
kırım	0.	22,321.4	57,600.	35,278.6	Infinity
kapak iç geçirme	0.	113,783.9	115,200.	1,416.1	Infinity
çevirme1	0.	51,093.5	57,600.	6,506.5	Infinity
tel takma	0.	164,668.8	230,400.	65,731.2	Infinity
çevirme2	0.	48,017.	57,600.	9,583.	Infinity
kapsül	0.	82,408.	115,200.	32,792.	Infinity
kesim	0.	94,221.	115,200.	20,979.	Infinity
baskı	0.	46,691.	57,600.	10,909.	Infinity
tel geçirme	0.	56,723.	57,600.	877.	Infinity
kıvrım-katlama	0.	93,196.5	115,200.	22,003.5	Infinity
bölme	0.	51,519.	57,600.	6,081.	Infinity
etiket	0.	87,781.01	115,200.	27,418.99	Infinity

çember	0.	39,288.9	57,600.	18,311.1	Infinity
mekanizma	0.	93,591.6	115,200.	21,608.4	Infinity
firkete	0.	102,996.9	115,200.	12,203.1	Infinity
kesim3	0.	56,445.86	57,600.	1,154.15	Infinity
kesim4	0.	55,469.01	57,600.	2,130.99	Infinity
toplamiş	0.	341,186.2	1,324,800.	983,613.8	Infinity
SHRING PE FILM	0.	99,998,530.	100,000,000.	1,472.	Infinity
OFSET BOYA	0.	99,999,780.	100,000,000.	224.	Infinity
DIKIS TELI NO: 23 1BOBIN 145KG	0.	99,999,860.	100,000,000.	136.	Infinity
TUTKAL MUCELLIT SICAK HOTMELT	0.	99,999,700.	100,000,000.	296.	Infinity
3.HAMUR 45GR 61CM	0.	99,994,140.	100,000,000.	5,856.	Infinity
KROME KARTON 175GR 39CM	0.	99,986,660.	100,000,000.	13,336.	Infinity
GRI KARTON 340GR 65CM	0.	99,997,640.	100,000,000.	2,360.	Infinity
PP SERIT (rota - 1 rulo 6500 mt)	0.	99,995,100.	100,000,000.	4,896.	Infinity
DOSYA TELI APARATI 10CM PLASTIK	0.	97,057,500.	100,000,000.	2,942,496.	Infinity
KAPSUL NO4 1PAKET 5000AD	0.	94,115,000.	100,000,000.	5,885,000.	Infinity
DOSYA TELI 14 CM	0.	97,057,500.	100,000,000.	2,942,496.	Infinity
1.HAMUR 70GR 60CM	0.	99,991,730.	100,000,000.	8,272.	Infinity
KROME KARTON 230GR 60CM	0.	99,993,840.	100,000,000.	6,160.	Infinity
POLIOLEFIN FILM 2KATLI HER BOBIN 1332MT	0.	99,997,670.	100,000,000.	2,328.	Infinity
KROME KARTON 190GR 65CM	0.	99,995,600.	100,000,000.	4,400.	Infinity
3.HAMUR 48.8GR 62CM	0.	99,975,450.	100,000,000.	24,552.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 1.N 54GR 60CM	0.	99,696,400.	100,000,000.	303,600.	Infinity
OTOKOPILI KAGIT 3.N 54GR 60CM	0.	99,696,400.	100,000,000.	303,600.	Infinity

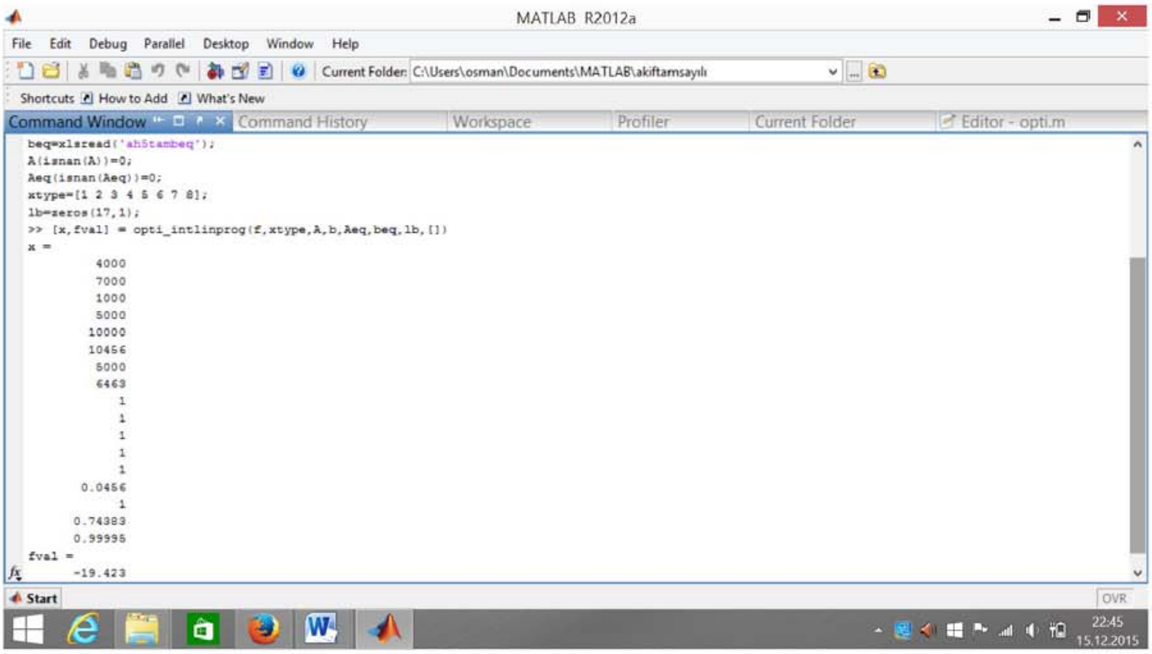
KROME KARTON 260GR 47CM	0.	99,998,460.	100,000,000.	1,536.	Infinity
DOSYA TELI APARATI 12CM PLASTIK	0.	99,725,000.	100,000,000.	275,000.	Infinity
DOSYA TELI 24 CM	0.	99,725,000.	100,000,000.	275,000.	Infinity
DOSYALIK 300GR 34CM EKONOMIK PEMBE (SIMKA 1K)	0.	99,983,710.	100,000,000.	16,288.	Infinity
KAPSULLU DOSYA 2K PEMBE 31*41 !!!!	0.	97,500,000.	100,000,000.	2,500,000.	Infinity
DOSYALIK 260GR 31CM 2K PEMBE	0.	99,916,600.	100,000,000.	83,400.	Infinity
FLEXO BOYA	0.	99,999,980.	100,000,000.	24.	Infinity
KLASOR KOLISI BUYUK 49*91*66	0.	99,999,850.	100,000,000.	152.	Infinity
KLASOR FIRKETE PLASTIK	0.	99,985,000.	100,000,000.	15,000.	Infinity
HALKA	0.	99,984,700.	100,000,000.	15,296.	Infinity
KLASOR MEKANIZMA GENIS	0.	99,985,000.	100,000,000.	15,000.	Infinity
PERCIN 1PAKETEE 10.000AD	0.	99,934,000.	100,000,000.	66,000.	Infinity
MUKAVVA NO:20 65*66 BASKILI ARSIV GENIS KLASOR ICIN	0.	99,992,500.	100,000,000.	7,504.	Infinity
KUSE MAT 90GR 68*80CM	0.	99,999,980.	100,000,000.	24.	Infinity
h1	0.	0.	1,000.	0.	5,823.93
h2	0.	0.	2,000.	-4,243.21	3,917.12
h3	0.	0.	500.	-500.	1,856.73
h4	0.	0.	1,000.	-4,000.	3,213.33
h5	0.	0.	5,000.	0.	16,288.
h6	0.	0.	10,000.	0.	23,156.28
h7	0.	0.	3,000.	0.	9,436.9
h8	0.	0.	2,000.	-2,590.41	3,409.59
h9	0.	0.	30,000.	27,178.	39,190.

a1	0.	1.	1.	0.	Infinity
a2	0.3915	0.	1.	0.	1.38
a3	0.2969	0.	1.	0.	3.71
a4	0.3116	0.	1.	0.	1.55
a5	0.	1.	1.	0.	Infinity
a6	0.	1.	1.	0.	Infinity
a7	0.	1.	1.	0.	Infinity
a8	0.	0.7651	1.	0.23	Infinity
a9	0.	1.	1.	0.	Infinity

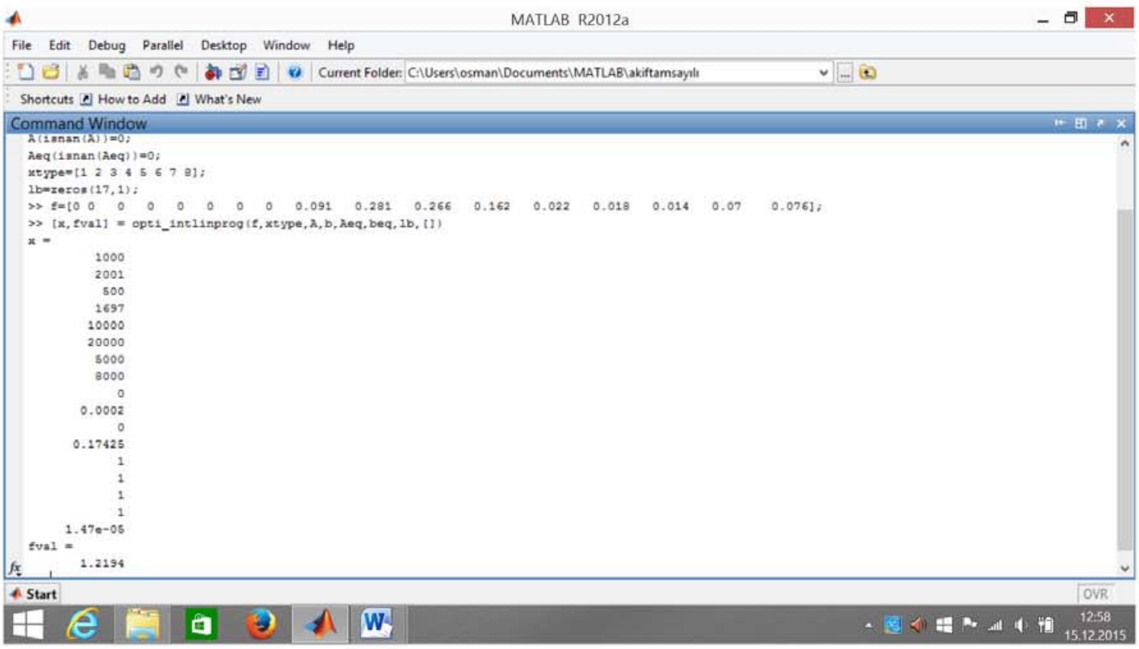
Ek 14: Doğrusal Programlama Matlab Giriş ve Çözüm Ekranı görüntüsü.



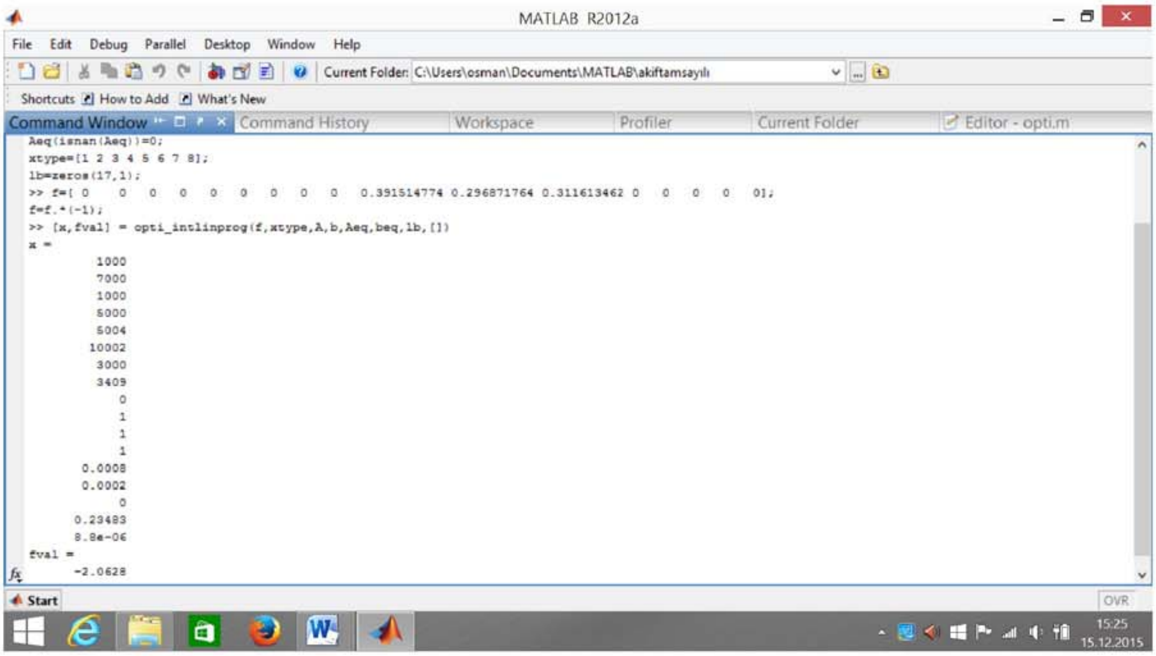
Ek 15: Eşit Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Matlab Giriş ve Çözüm Ekranı görüntüsü.



Ek 16: AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Matlab Giriş ve Çözüm Ekranı görüntüsü.



Ek 17: Bulanık AHP ile Ağırlıklandırılmış Bulanık Hedef Programlama Matlab Giriş ve Çözüm Ekranı görüntüsü.



Ek 18: Personel Özlük Dosyasının işlem süreci hakkında bilgi alma resmi

Ek 19: Firkete zaman ölçümü resmi

Ek 20: Shiring ölçüm resmi

Ek 21: Ambalaj ölçüm resmi

Ek 22: Yönetici tarafından doldurulan AHP formu

Aşağıdaki soru formu üretim planlamasında belirlenen hedeflerin ağırlıklarının tespitinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Sorulara vereceğiniz cevaplar gizli tutulacaktır ve sadece akademik amaçlar için kullanılacaktır. Katkılarınızdan ötürü teşekkür ederiz.

Anket uygulaması üretim planlamasına için belirlenen hedeflerin karşılaştırmaları şeklindedir. Örnek olarak aşağıda iki faktöre ilişkin karşılaştırma yapılmıştır. Faktörler arasındaki ikili karşılaştırmalarda, lütfen cevabınızı önemli olduğunu düşündüğünüz faktör satırı ile önem derecesini veren ilgili sütunun kesişimine 'X' işareti koyarak veriniz.

		Eşit önemli (1)	(2)	Biraz Önemli (3)	(4)	Kuvvetli Derecede Önemli (5)	(6)	Çok Kuvvetli Derecede Önemli (7)	(8)	Kesin Önemli (9)
	H1. YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef					X_a				
	H2. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef			X_b						

X_a cevabının anlamı: "H1" kriterinin "H2" kriterine göre "kuvvetli derecede önemli" olduğunu göstermektedir.

X_b cevabının anlamı: "H2" kriterinin "H1" kriterine göre "biraz önemli" olduğunu göstermektedir.

ANKET

		Eşit önemli (1)	(2)	Biraz Önemli (3)	(4)	Kuvvetli Derecede Önemli (5)	(6)	Çok Kuvvetli Derecede Önemli (7)	(8)	Kesin Önemli (9)
	Hedef Kriterlerine ait karşılaştırmalar;									
1	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H2. PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef			X						
2	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H3. ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef					X				
3	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef									
	H4. ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef					X				
4	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef							X		
	H5. BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef									
5	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef							X		
	H6. KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef									
6	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef							X		
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef									
7	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef									

	H8. MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef									
8	**H1.** YAZBOZ NUMARALI 6 BÖLMELİ 'nin üretim miktarına ilişkin hedef **H9.** Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef					X				
9	**H2.** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H3.** ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef			X						
10	**H2.** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef			X						
11	**H2.** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H5.** BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef							X		
12	**H2.** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H6.** KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef							X		
13	**H2.** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H7.** ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef							X		
14	**H2.** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H8.** MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef					X				
15	**H2.** PERSONEL ÖZLÜK DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H9.** Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									X
16	**H3.** ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef	X								
17	**H3.** ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H5.** BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef							X		
18	**H3.** ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H6.** KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef							X		
19	**H3.** ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H7.** ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef							X		
20	**H3.** ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H8.** MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef			X						
21	**H3.** ADİSYON 3H NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H9.** Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef							X		
22	**H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H5.** BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef							X		
23	**H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef **H6.** KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef							X		

24	**H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef								X	
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef									
25	**H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef					X				
	H8. MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef									
26	**H4.** ADİSYON OTOKOPİLİ NUMARALI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef					X				
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									
27	**H5.** BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef	X								
	H6. KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef									
28	**H5.** BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef	X								
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef									
29	**H5.** BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef					X				
30	**H5.** BARO DOSYASI 'nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef			X						
31	**H6.** KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef	X								
	H7. ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef									
32	**H6.** KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef					X				
33	**H6.** KAPSÜLLÜ DOSYA 'nın üretim miktarına ilişkin hedef	X								
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									
34	**H7.** ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef									
	H8. MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef					X				
35	**H7.** ARŞİV KARTON KLASÖR 'ün üretim miktarına ilişkin hedef									
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef					X				
36	**H8.** MAKBUZ 'un üretim miktarına ilişkin hedef	X								
	H9. Amaç fonksiyonuna ilişkin hedef									