KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTATİSTİK VE BİLGİSAYAR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN AHP'YE DAYALI ÇÖZÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan AKBAŞ

ARALIK 2014
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTATİSTİK VE BİLGİSAYAR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN AHP'YE DAYALI ÇÖZÜMÜ

Serkan AKBAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"YÜKSEK LİSANS (İSTATİSTİK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.12.2014
Tezin Savunma Tarihi : 30.12.2014

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Türkan ERBAY DALKILIÇ

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalında

Serkan AKBAŞ tarafından hazırlanan

BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN

AHP'YE DAYALI ÇÖZÜMÜ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 09 / 12 / 2014 gün ve 1580 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan	**: Prof. Dr. İhsan ÜNVER**	**……………………………**
Üye	**: Doç. Dr. Türkan ERBAY DALKILIÇ**	**……………………………**
Üye	**: Doç. Dr. Zafer KÜÇÜK**	**……………………………**

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Bulanık Çok Ölçütlü Programlama Probleminin AHP’ ye Dayalı Çözümü” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Başta tez çalışma süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam sayın Doç. Dr. Türkan ERBAY DALKILIÇ’a, yüksek lisans eğitimi yapma fırsatı bulduğum İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümündeki tüm hocalarıma, desteği ile her zaman yanımda olan, görüş ve önerilerinden her zaman yararlandığım Yeşim YEGİNOĞLU’na, tez süresince hiç bir yardımdan kaçınmayan arkadaşlarım Eda ÖZKUL’a ve Buğra Kaan TİRYAKİ’ye teşekkürü borç bilirim.

Son olarak tüm hayatım boyunca maddi manevi her zaman beni destekleyen, her adımımda arkamda duran ve bugünlerimin mimarı olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının, bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Serkan AKBAŞ
Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bulanık Çok Ölçütlü Programlama Probleminin AHP’ ye Dayalı Çözümü” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Türkan ERBAY DALKILIÇ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/12/2014

Serkan AKBAŞ

İÇİNDEKİLER

Yüksek Lisans

ÖZET

BULANIK ÇOK ÖLÇÜTLÜ PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN AHP'YE DAYALI ÇÖZÜMÜ

Serkan AKBAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Türkan ERBAY DALKILIÇ
2014, 67 Sayfa, 10 Ek Sayfa

Çok ölçütlü karar verme yöntemi hedeflerin birden fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Çok ölçütlü doğrusal programlama problemlerinde, amaçlara ve kısıtlara ilişkin fonksiyonların parametrelerinin değerleri uzmanlar ve karar vericiler tarafından kesin olarak belirlenemediği durumlarda, problemlerin çözümü için bulanık çok ölçütlü doğrusal programlama yöntemleri kullanılmaktadır. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi süreci (AHP), karmaşık problemleri çözmek için tasarlanmıştır. AHP' nin çözüm süreci hedeflerin ağırlıklandırılmasına dayanmaktadır. Bu çalışmada çok ölçütlü karar verme problemleri ve bu problemler için uzman görüşlerine dayanan çözüm süreçleri ele alınmıştır. İlk aşamada bulanık çok ölçütlü doğrusal programlama problemi literatürde var olan Zimmerman ve Hibrit yaklaşımları ile çözülmüştür. Literatürde yer alan, uzman görüşlerinin temel alındığı bu yöntemlere ilişkin çözüm sürecinde üçgensel bulanık sayılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada üçgensel bulanık sayılar olarak verilen uzman görüşleri için alternatif olarak yamuk bulanık sayılar tanımlanmıştır. Ayrıca literatürde amaç fonksiyonlarının sadece en küçüklemek olduğu durumlara ek olarak amaç fonksiyonlarının bazılarının en küçüklemek bazılarının en büyüklemek olduğu durumlar ele alınmıştır. Son olarak bulanık çok ölçütlü doğrusal programlama problemlerinin çözümü için ele alınan durumları içeren bir çözüm algoritması önerilmiş ve algoritmanın örnek veriler üzerinde yazılan program aracılığı ile işletilmesi ile elde edilen sonuçlar literatürde var olan yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Çok Ölçütlü Doğrusal Programlama, AHP (Analytic Hierarchy Process), Zimmerman Yaklaşımı, Hibrit Yaklaşımı.

Master Thesis

SUMMARY

SOLVING FUZZY MULTI-OBJECTIVE PROGRAMMING PROBLEM BASED AHP

Serkan AKBAŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Statistical and Computer Science Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Türkan ERBAY DALKILIÇ
2014, 67 Pages, 10 Pages Appendix

Multi-criteria decision making method is used in when there are mutliple targets. In multi criteria linear programming problems, when value of the function parameters on objects and constraints can not be measured precisely by experts and decision makers, fuzzy multicriteria linear programming methods are used to solve the problems. Analytic hierarchy process (AHP), one of the multi-criteria decision-making methods, is designed to solve complex problems. The AHP solution process is based on weighting of the targets. In this study, multiple criteria decision making problems and expert opinions for these problems are discussed. In the first stage, fuzzy multi criteria linear programming problem is solved with Zimmerman and Hybrid approaches which are take part in literature. In the literature, these methods are applied using triangular fuzzy numbers. In this study, as an alternative to the triangular fuzzy number given as experts opinions, trapezoidal fuzzy numbers are defined. Also, in literature, conditions that objective functions are only minimization are discussed. In this study, in addition to this, conditions that some of objective functions are maximization are examined. Finally, a solution algorithm, containing the matter in hand conditions for solving fuzzy multi criteria linear programming problems, is proposed. And this algorithm is executed by means of written programme using example data. The obtained results were compared with results obtained from the approaches in the literature.

Key Words: Fuzzy Multi-Objective Linear Programming, AHP (Analytic Hierarchy Process), Zimmerman Approach, Hybrid Approach.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Sayfa No</u>

SEMBOLLER DİZİNİ

f_L	: L. Amaç fonksiyonu
g_i	: i. Teknolojik kısıt fonksiyonu
$\underline{x}$	: Karar değişkeni vektörü
a_{ij}	: Katsayılar
b_i	: Sağ yan değerler
U	: Modelin fayda fonksiyonu
ω	: Ağırlık vektörü
d_k	: k. Optimal değer ile diğer baskın çözüm değeri arasındaki uzaklık ölçüsü
$\mu(x)$	: Üyelik fonksiyonu
Max	: Maksimum
Min	: Minimum
$<$	: Küçük
$=$	: Eşit
$>$	: Büyük
$\tilde{\leqq}$	: Bulanık küçük eşit
$\tilde{\geqq}$	: Bulanık büyük eşit
$\tilde{A}$	: A Bulanık Kümesi
$\sum$	: Toplam
$\forall$	: Her
λ	: Lamda
γ	: Gamma
m_i^-	: i. Üçgen bulanık sayının sol ayağı
m_i	: i. Üçgen bulanık sayının merkezi
m_i^+	: i. Üçgen bulanık sayının sağ ayağı
Z_j^{max}	: j. Amaç fonksiyonunun maksimum değeri
Z_j^{min}	: j. Amaç fonksiyonunun minimum değeri
a_i^1	: i. Yamuk bulanık sayının sol ayağı
a_i^4	: i. Yamuk bulanık sayının sağ ayağı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Çok ölçütlü karar verme yöntemi karmaşık karar verme problemlerinin üstesinden gelmek için uygun optimizasyon tekniklerinden biridir ve hedeflerin birden fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Birden fazla hedefin bulunduğu çok ölçütlü karar verme problemlerinde hedefler çakışabilmektedir ve bu yüzden aynı anda tüm hedefler için en iyi değerleri elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Çok ölçütlü karar verme problemlerinde hedefler ve kısıtlar doğrusal eşitlik ve/veya eşitsizlik biçiminde tanımlandığından, doğrusal fonksiyonun optimizasyonu ile ilgilenilmektedir. Fakat çoğu durumda tanımlanan fonksiyonlara ilişkin parametrelerin değerleri uzmanlar veya karar vericiler tarafından kesin olarak belirlenememektedir. Bu durum bulanık çok ölçütlü doğrusal programlama modelinin gelişimine zemin oluşturmuştur.

Analitik hiyerarşi süreci (AHP) çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biridir ve karmaşık problemleri çözmek için tasarlanmıştır. Ele alınan bir problemdeki amaçların hepsi aynı önemde veya öncelikte olmayabilir. Bu gibi durumlarda AHP yöntemi ile amaç fonksiyonları ağırlıklandırılarak karar verme işlemi tamamlanmaktadır.

Bu çalışmada çok ölçütlü karar verme problemleri ve bu problemler için uzman görüşleri ele alınmıştır. İlk aşamada bulanık doğrusal programlama problemi literatürde var olan Zimmerman yaklaşımı ile çözülmüştür. Ardından aynı problem, uzman değerlendirmeleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülüp bu sayılardan ağırlıklar elde edilerek modellenmiştir ve Hibrit yaklaşımı ile çözümler elde edilmiştir. Literatürde yer alan bu çözümlere alternatif olarak yamuk bulanık sayılar tanımlanmıştır. Üçgensel bulanık sayı ve iki farklı yapıda yamuk bulanık sayı olmak üzere üç farklı biçimde ağırlıklandırma yapılarak problem Hibrit yaklaşımı ile çözülmüştür. Bir sonraki aşamada literatürde amaç fonksiyonlarının sadece en küçüklemek olduğu duruma alternatif olarak amaç fonksiyonlarından bazılarının en küçüklemek bazılarının en büyüklemek biçiminde olabildiği durumlar ele alınmıştır. Son olarak Zimmerman yaklaşımından, üçgensel bulanık sayılardan elde eldilen ağırlıklarla hesaplanan Hibrit yaklaşımından ve yamuk bulanık sayılardan elde edilen ağırlıklarla hesaplanan Hibrit yaklaşımından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1.2. Önceki Çalışmalar

Zadeh (1965), L. A. Bulanık yaklaşım konusundaki ilk ciddi adımı 1965 yılında yayınlanan "Bulanık Kümeler" adlı makale ile atmıştır. Zadeh bulanık mantığın matematik ve bilgisayar bilimleri alanlarındaki uyarlanabilirliği üzerinde durmuştur.

Zimmerman (1978) çalışmasında bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ile çözülen doğrusal maksimum vektör problemini ele almıştır. Bu çalışma bulanık doğrusal programlama ile elde edilen sonuçların her zaman etkili sonuçlar olduğunu göstermiştir.

Takagi ve Sugeno (1985) Bulanık ifadeler ve ilişkilerin kullanıldığı sistemlerin bulanık modellerinin oluşturulmasında kullanılmak üzere matematiksel gereçler önerdikleri çalışmalarında bulanık sistemlerin modellenmesi ve kontrolü için uygulamalar vermişlerdir.

Civanlar ve Trussel (1986) çalışmalarında üyelik fonksiyonunun belirlenmesinin, bulanık küme teorisinin pratik uygulamalarında önemli olduğu belirtmişler ve elemanları bilinen bir olasılık yoğunluk fonksiyonu ile belirleyici niteliklere sahip, bulanık kümelere dair üyelik fonksiyonunun belirlenmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmada üyelik fonksiyonunun sağlaması gereken koşullar da verilmiştir.

Tiwari, Dharmar ve Rao (1987) çalışmalarında bulanık hedef programlamayı çözmek için toplanır bir model formüle etmişlerdir. Bu modelde ilgili karar fonksiyonunda kullanılan bulanık hedefleri oluşturmak için aritmetik toplama işlemi kullanılmış ve çözüm süreci bir sayısal örnek üzerinde gösterilmiştir.

Dombi (1990) üyelik fonksiyonları üzerine yaptığı çalışmada kullanılan farklı üyelik fonksiyonlarını tanımlamış, üyelik fonksiyonlarının kurulması için gerekli özellikler ve üyelik fonksiyonlarının matematiksel formları ile ilgili bilgi vermiştir.

Chen ve Wang (1999) bulanık üyelik fonksiyonlarının en iyilenmesi için bulanık kümeleme analizi isimli çalışmalarında bulanık modelleme tanımını vermişlerdir. Bulanık modelleme için en önemli kriterlerden birinin bulanık sistemlerde kullanılan üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin belirlenmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Jana ve Kumar (2005) çalışmalarında çok ölçütlü bulanık doğrusal programlama probleminin çözümünü ve ulaşım problemi üzerinde bir uygulamasını ele almışlardır. Bu problemi iki parçada incelemişlerdir. İlk aşamada bulanık amaç katsayıları ve bulanık kısıt fonksiyonlarını üçgensel bulanık sayılar ile tanımlanmışlardır. İkinci aşamada ise ulaşım problemi bulanık çerçevede ele alınmıştır.

A. Özdağoğlu ve G. Özdağoğlu (2007) çalışmalarında bir gıda sanayisine çalışan seçimi örneği üzerinde klasik AHP ve bulanık AHP'yi aynı kriter ve hiyerarşi yapısı altında kıyaslamış, aralarındaki farkları göstermişlerdir. Sonuç olarak çalışan seçimi problemi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde sözel değerlendirmeler kullanıldığında bulanık AHP modelinin kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Rahman ve Ahsan (2011) çalışmalarında tedarikçileri değerlendirmek ve en iyi tedarikçiyi belirlemek için kapsamlı bulanık AHP analizi uygulamışlardır. Değerlendirme kriterleri özellikle giyim imalatı organizasyonu için geliştirilmiştir ve önerilen model için başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Modelin adım adım uygulaması çalışmada gösterilmiş ve sonuç olarak en iyi tedarikçi belirlenmiştir.

Yalçın ve Enginel (2011) çalışmalarında çok amaçlı doğrusal programlamada hedeflerin ağırlıklarını karar vericilerin tercihleri olmadan belirleme için bir yöntem öne sürmüşlerdir.

Shaw (2012) çalışmasında tedarikçi seçiminde karbon salınımının önemini ele almıştır. Çalışmalarında bulanık AHP ve bulanık çok ölçütlü doğrusal programlama kullanmıştır. İlk olarak faktörlerin ağırlıklarını belirlemek için AHP uygulanmıştır. Ardından tedarikçi seçebilmek için, hesaplanan bu ağırlıklar bulanık çok ölçütlü doğrusal programlamada kullanılmıştır.

Veerabathiran (2012) ve arkadaşları çalışmalarında bulanık AHP' nin kullanımı için yeni bir yaklaşımdan bahsetmişlerdir. Bu yeni yaklaşımda, bulanık AHP nin ikili karşılaştırma ölçüleri için üçgensel bulanık sayılar, ölçü analizi metodu için ise İkili karşılaştırmaların bir yapay değeri S_i kullanılmıştır .

1.3. Doğrusal Programlama Modeli

Bir optimizasyon (eniyileme) yöntemi olan doğrusal programlama, sınırlı kaynakları en iyi şekilde kullanmak amacıyla tasarlanmış bir matematiksel modelleme yöntemidir. Tarım, endüstri, ulaştırma, ekonomi sağlık sistemleri gibi bir çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Belirlenecek karar değişkenleri, optimum hale getirilecek hedef ve içinde bulunulan kısıtlar genel bir doğrusal programlama modelinin üç temel elemanıdır.

Bir doğrusal programlama modeli için öncelikle karar değişkenleri tanımlanır ve tanımlanan karar değişkenlerinden yararlanılarak amaç fonksiyonu oluşturulur. Son olarak da belirlenen kısıtlar altında bulunan herhangi bir çözüm uygun çözüm olarak belirlenir (Taha, 2007).

Bir eniyileme probleminin doğrusal programlama problemi olarak tanımlanabilmesi için oransallık varsayımı, toplamsallık varsayımı, bölünebilirlik varsayımı ve belirlilik varsayımı olmak üzere dört varsayımın sağlanması gerekmektedir.

Oransallık varsayımında her x_j değişkenin amaç fonksiyonuna ya da kısıta katkısı doğrudan değişkenin seviyesi ile orantılıdır. Yani x_j=10 olduğunda, bunun fonksiyona katkısı $10c_j$ kadardır. c_j $j.$ karar değişkeninin fiyatıdır.

Toplamsallık varsayımı, $i.$ kısıta toplam katkısının tek tek faaliyetlerin katkılarının toplamına eşit olmasıdır. Bu da toplam maliyetin, tek tek maliyetlerin toplamına eşit olması anlamına gelmektedir. Oransallık özelliğinin sağlandığı bir problemde toplamsallık özelliği de sağlanıyorsa amacın $c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$ olarak ortaya çıktığı görülür. Bu doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonudur.

Bölünebilirlik varsayımında karar değişkenleri herhangi bir kesirli seviyeye bölünebilir ve küsuratlı değerler alabilir.

Belirlilik varsayımında doğrusal programlama probleminde tüm parametreler kesin olarak biliniyor olması durumdadır.

Oransallık ve toplamsallık özellikleri doğrusal programlama kavramları için yeterlidir. Karar değişkenleri olan x'lerin bir kısmı ya da tamamı bölünebilirlik özelliğini sağlamadığında "tam sayılı doğrusal programlama", parametrelerin bir kısmı veya tamamının sayısal değerleri bilinmiyor ancak bunların olasılık dağılımları belirlenmiş ise "stokastik doğrusal programlama" çözüm aracı olarak kullanılır.

Doğrusal programlama probleminin matematiksel modeli; x_j, bilinmeyen ve çözüm sonunda değeri belirlenecek karar değişkenleri, a_{ij}, kısıtlara ilişkin katsayılar, c_j, fiyatlar ve b_i, sağ yan değerleri olmak üzere,

$$\begin{aligned} &Max(Min) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\ &\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \ \ \{\leq, =, \geq\} \ b_i \qquad i = 1, \dots, m \\ &x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \tag{1}$$

biçiminde ifade edilir (Yalçın Seçme, 2005).

1.4. Çok Ölçütlü Karar Verme

Çok ölçütlü karar verme yöntemi, bir probleme ilişkin karar verme durumunda olan kişi ya da grupların belirli kısıtlamalar altında ve birbiriyle çelişen nitelikte birden fazla amacı en iyi düzeyde gerçekleştirmek istemeleri halinde çözüm üretmeye yönelik çalışan karar modelleri kümesidir.

Çok ölçütlü karar verme, II. Dünya savaşından sonra hızlı ekonomik büyümenin yarattığı verimlilik artışı, doğal kaynakların kullanımı, artan enerji ve su talebi, ürünlerin depolanması, çevre kirliliği ve toplumun eğitimi gibi yeni toplumsal sorunlara olan ilginin artmasıyla gelişmeye başlamıştır.

Çok ölçütlü karar verme modellerinde temel yapı ve nitelikleri dikkate alarak uygun çözüm alanı içerisinde karar vericiyi en iyi tatmin edecek amaç değerlerini saptamak üzere model kurulmuştur. Çok ölçütlü karar verme modellerinin genel matematiksel yapısı,

$$P_1 \begin{cases} max z_1 = c\underline{x} = f_1 \\ max z_2 = c\underline{x} = f_2 \\ \vdots \\ max z_L = c\underline{x} = f_L \\ g_i(x) \leq 0 \quad (i = 1 \dots m) \\ x \geq 0 \end{cases} \tag{2}$$

biçimindedir. Burada f_L: L, amaç fonksiyonunu, g_i, i. kısıt fonksiyonunu, L, amaç fonksiyonunu, m, kısıtlayıcı koşul sayısını ve $\underline{x}$, karar değişkeni vektörünü ifade etmektedir. P_1, problemi ile verilen çok ölçütlü karar verme problemlerinde sözü edilen tatmin edici sonuçlara üç ana yaklaşımla ulaşılmaya çalışılır.

İlk yaklaşımda karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun bir fayda fonksiyonu tanımlanır ve maksimize edilir. U, modelin fayda fonksiyonu olmak üzere,

$$\begin{aligned} &\max f = U(z_1, z_2, \dots, z_L) \\ &f_k(x) = z_k \quad 1 \leq k \leq L \\ &g_i(x) \leq 0 \\ &x \geq 0 \end{aligned} \tag{3}$$

biçiminde ifade edilir.

Eşitlik (3) ile verilen modelde amaç fonksiyonu ağırlıklandırıldığında ω, ağırlık vektörü olmak üzere problem,

$$\begin{aligned} & \max f \sum_{k=i}^{L} \omega_k z_k \\ & g_i(x) \leq x \quad \underline{x} \geq 0 \\ & \sum_{i=1}^{L} \omega_i = 1 \end{aligned} \tag{4}$$

biçimde ifade edilir.

İkinci yaklaşımda karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun olarak amaçlardan birini optimize etmek için a_L, L. amaca ilişkin belirlenmiş alt sınır değeri olmak üzere problem,

$$\begin{aligned} & \max z = f_p(x) \\ & g_i(x) \leq 0 \\ & f_L(x) \geq a_L \end{aligned} \tag{5}$$

biçiminde ifade edilir.

Üçüncü yaklaşımda karar vericinin ve modelin özelliklerine uygun bir ceza fonksiyonu tanımlanarak bu fonksiyonu minimize etmek için $g_i(x)$, teknolojik kısıt, d_k, k. optimal değer ile diğer baskın çözüm değeri arasındaki uzaklık ölçüsü ve ω_k karar verici tarafından belirlenen ağırlık ölçüsü olmak üzere problemde,

$$\begin{aligned} & \min G = \sum_{k=1}^{L} \omega_k d_k \\ & g_i(x) \leq 0 \\ & \underline{x} \geq 0 \\ & d_k = f_k(x^*) - f_k(x) \end{aligned} \tag{6}$$

biçiminde ifade edilir. Çok ölçütlü karar verme problemlerine ilişkin literatürde yer alan çözüm yöntemlerinden biri de Analitik hiyerarşi sürecidir (Sipahi, 2002).

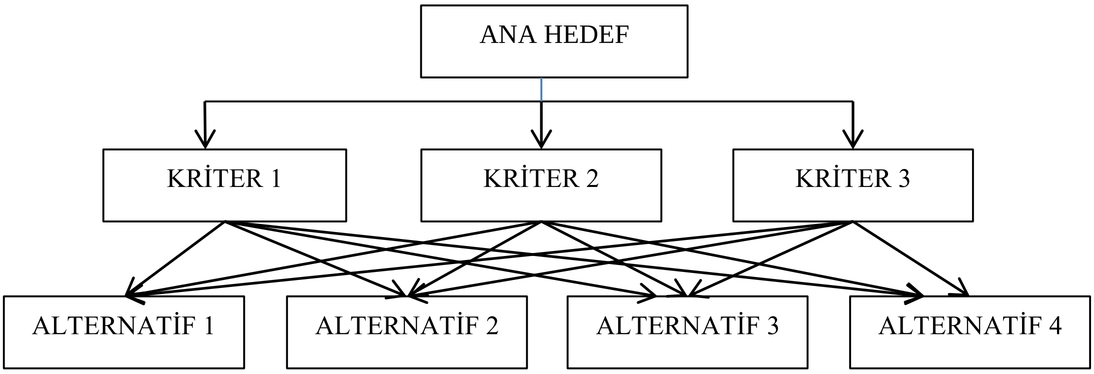
1.5. Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik hiyerarşi süreci (AHP), 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. Süreç karar vericinin belirlediği her bir kriterin göreceli önemlerini belirlemesini ve daha sonra her bir kritere göre karar alternatifleri arasında seçim yapmasını gerektirir (Arıkan, 2008). Kullanımı kolaydır ve hem ölçülebilir hem de ölçülemeyen kriterleri dikkate alır. Karar verici her bir kriterin göreceli önemlerini belirler. Her bir kritere göre karar alternatifleri arasında seçim yapar. AHP yönteminde kriterler arasında karşılaştırma yapılırken Saaty tarafından önerilen 1-9 önem skalası kullanılır (Saaty, 1980). Bunun dışında 1-5, 1-7 ,1-15 ve 1-20 gibi önem skalaları da bulunmaktadır. Fakat en iyi sonucu 1-9 önem skalası vermektedir. Söz konusu Saaty'in 1-9 önem skalası Tablo 1' de yer almaktadır (Dağdeviren, vd.,2004).

Tablo 1. 1-9 Önem skalası ve tanımları

ÖNEM DERECESİ	TANIM	AÇIKLAMALAR
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Bir faktörün diğerine göre orta derecede daha önemli olması	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettiriyor
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip
2, 4, 6, 8	Ortalama değerleri	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı açısına düşen değerler

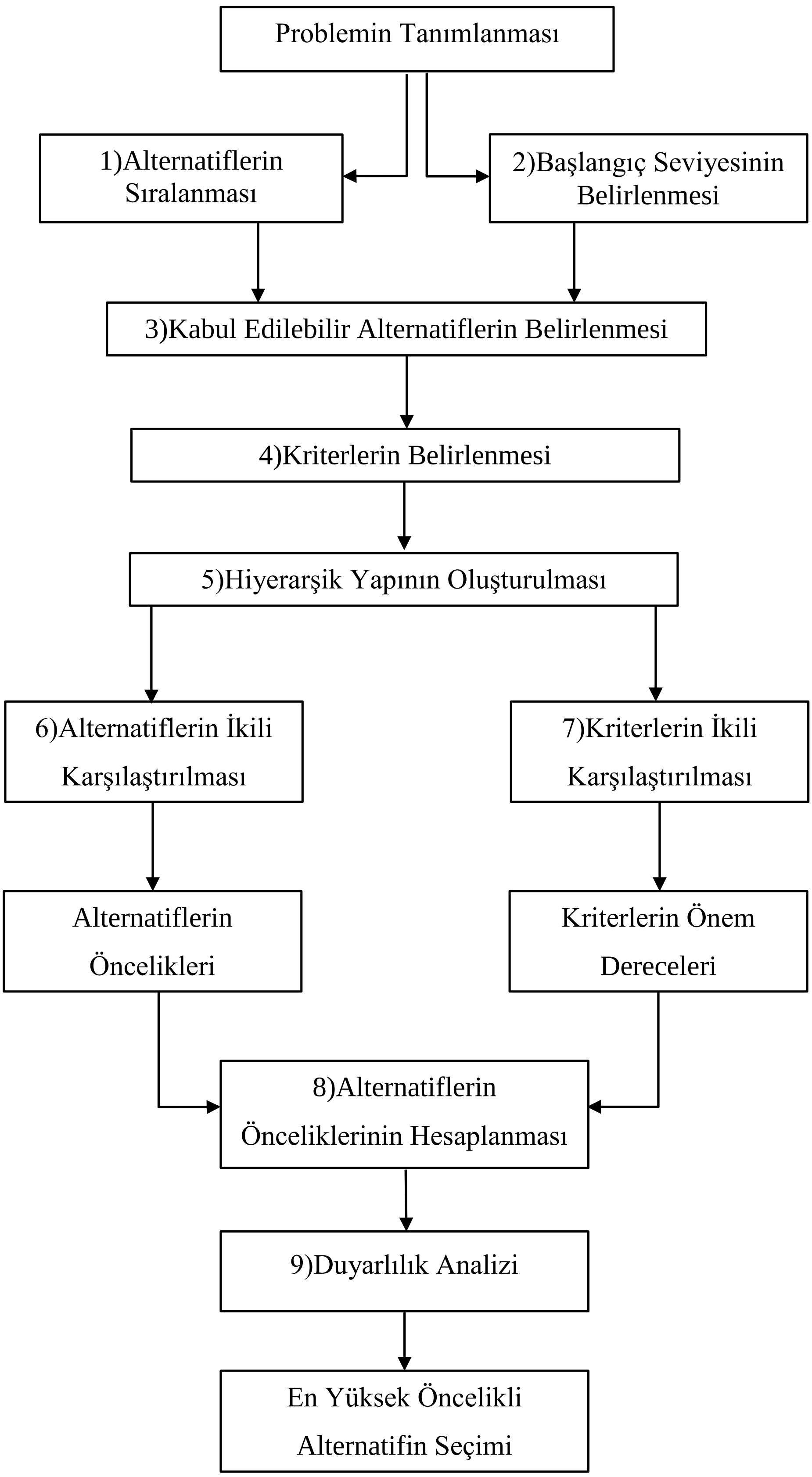
Çok kriterli bir karar verme problemi için Analitik hiyerarşi sürecinin hiyerarşik yapısı Şekil 1' de yer almaktadır.



Şekil 1. Analitik hiyerarşi süreci seçim şeması

AHP planlama, pazarlama, toplam kalite yönetimi, kıyaslama, proje seçimi, risk yönetimi, reklam kampanyaları, Ar-Ge, eğitim gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. (Sipahi, 2002).

Hiyerarşik yapı, problemi en iyi şekilde temsil etmelidir. Problemi etkileyen tüm yan faktörler, çözüme ışık tutabilecek tüm yayın ve belgeler dikkate alınmalıdır. Problemin içerisinde rol alacak katılımcılar belirlenmelidir (Topel, 2006). Hiyerarşide öğelerin her kümesi bir hiyerarşi düzeyini oluşturur. En üst düzeyde sadece hedef bulunur. Her bir düzeydeki öğe, kendinden bir üst düzeydeki kriter çerçevesinde birbirleriyle karşılaştırılır. Her düzeydeki öğeler aynı önem derecesine sahip olmalıdır. Öğeler arasındaki çelişki büyük ise, yani öğeler birbirinden çok farklı önem derecelerine sahip ise, bu öğeler değişik düzeylerde yer almalıdır. Hiyerarşinin düzey sayısında bir sınırlama yoktur. Hiyerarşiye yeni kriterler eklenip çıkarılabilir, kriterlerin göreceli önemleri hakkında değerlendirmeler değiştirilebilir, düzey sayısı arttırılabilir (Arıkan, 2008). AHP sürecinin şematik yapısı Şekil 2’de verilmiştir (Huizingh ve Vrolijk, 1995).



Şekil 2. Analitik Hiyerarşi Sürecinin şematik yapısı

1.6. Bulanık Mantık

Bulanık Mantık yaklaşımı ilk defa 1956 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde düzenlenen bir konferansta duyurulmuştur. Ancak bu konudaki ilk ciddi adım 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan bir makalede "bulanık kümeler" adı altında ortaya konulmuştur. Zadeh klasik matematiksel yöntemlerin gerçek dünyadaki karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kaldığını, insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğunu, kesin olmadığını belirtmiştir. Bulanıklık, matematiksel olarak çok değerlilik anlamına gelir. Klasik mantıkta ikili değer mevcuttur. Zadeh, özelliklerin ikili üyelik fonksiyonuyla ifade edildiği klasik kümeler yerine, dereceli üyelik fonksiyonuyla ifade edildiği bulanık kümelerin tanımlanmasını önermiştir. Bulanık mantık insan mantığında olduğu gibi, sadece kesin değerleri değil ara değerleri de baz almaktadır. Çok sıcak, ılık, soğuk ve çok soğuk gibi dilsel terimler bulanık değişkenlerdir (Elmas, 2003).

Klasik mantık uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, bulanık mantık alternatif yöntem olarak çok hızlı gelişmiş ve modern denetim alanında geniş uygulama alanı bulmuştur. Zadeh'e göre bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır. Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklinde olabilir ve her şey [0,1] aralığında belirli bir derece ile gösterilir. Ayrıca her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir (Erbay Dalkılıç, 2005; Elmas, 2003).

Bulanık küme, bir elemanın farklı üyelik dereceleri ile birden fazla kümeye ait olmasına imkân sağlar. Yani bir eleman birden fazla bulanık kümenin elemanı olabilir. Üyelik fonksiyonları bir elemanın bir kümeye ne kadar ait olduğunu belirleyen fonksiyonlardır. Üyelik derecesinin 0 olması durumu, elemanın kümeye ait olmadığını, 1 olması durumu ise kesin olarak ait olduğunu gösterirken, 1'e yakın değerler elemanın yüksek derecede kümeye ait olduğunu, 0'a yakın değerler ise düşük derecede kümeye ait olduğunu gösterir. Buradan da anlaşılacağı gibi klasik kümede üyelik fonksiyonları {0,1} değerlerini alırken; bulanık kümede üyelik fonksiyonları [0,1] aralığında değerler alabilir. Klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyon, $\mu_A: E \to \{0,1\}$ biçiminde gösterilirken, bulanık kümelerde $\mu_A: E \to [0,1]$ biçiminde üyelik fonksiyonu olarak ifade edilir.

A bulanık kümesi, $\mu_A: E \to [0,1]$ A'nın üyelik fonksiyonu ve $\mu_A(x) \in [0,1]$ $x \in E$'nin A bulanık kümesindeki üyelik derecesi olmak üzere $A = \{(\mu_A(x), x)\}$ olarak yazılabilir. Bu durumda E'de bir bulanık küme olan A kümesi;

$$A = \{(\mu_A(x), x)\} = \left\{\frac{\mu_A(x)}{x}\right\}$$
$$A = \{\mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \cdots + \mu_A(x_n)/x_n\} \tag{7}$$

biçimindedir ve genel olarak,

$$A = \left\{\sum \mu_A(x_i)/x_i\right\}$$

biçiminde ifade edilebilir. Bulanık kümenin sürekli olması durumunda gösterim,

$$A = \left\{\int \mu_A(x_i)/x_i\right\}$$

biçiminde olacaktır (Yalçın Seçme, 2005).

1.6.1. Bulanık Mantıkta Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları, bir elemanın bir kümeye ait olma derecesini belirleyen fonksiyonlardır. Üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, bulanık küme teorisinin kullanıldığı uygulamalarda oldukça önemlidir. Üyelik fonksiyonları sürekli fonksiyonlardır ve bir $[a, b]$ aralığını $\mu(x)$ fonksiyonu yardımı ile $[0,1]$ aralığına dönüştürmektedirler.

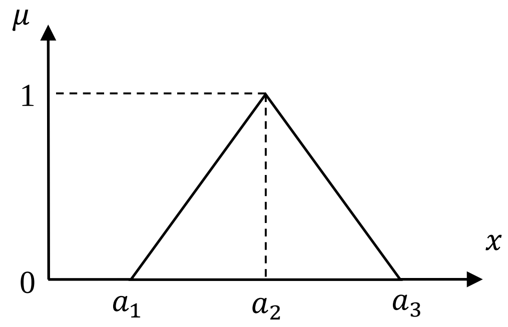
Literatürde çok sayıda üyelik fonksiyonu mevcuttur. Bu fonksiyonların çeşitliliği ele alınan problemlerin yapılarına göre değişiklik göstermektedir. En yaygın olan üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu ve Gaussian üyelik fonksiyonudur. Yapılan çalışmanın kapsamına göre mevcut üyelik fonksiyonlarının dışına çıkılarak literatürde tanımlanan yöntemler yardımıyla yeni üyelik fonksiyonları da oluşturulabilir (Kumar vd.,2006).

1.6.1.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu üç parametreden oluşur. Bunlardan a_1 üçgenin sol ayağını, a_3 sağ ayağını, a_2 tepe noktasının iz düşümünü göstermektedir ve

$$\mu_{\widetilde{A}}(x, a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0\,, & x > a_3 \; ve \; x < a_1 \end{cases} \tag{8}$$

biçiminde ifade edilmektedir.



Şekil 3. Üçgen üyelik fonksiyonu

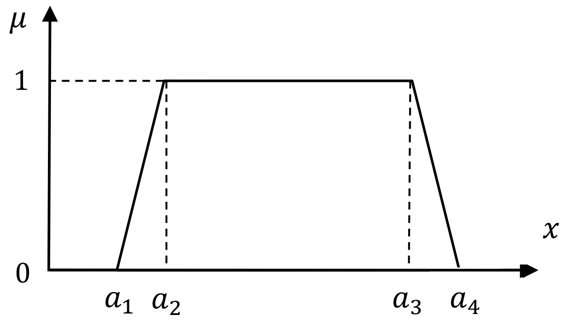
Şekil 3'te x karar değişkeninin a_1 alt ve a_3 üst sınırları arasındaki her noktasına Eşitlik 8 de yer alan üyelik fonksiyonu kullanılarak ayrı bir üyelik derecesi atanmış olup, $[a_1, a_2]$ aralığına sol yayılım, $[a_2, a_3]$ aralığına sağ yayılım denir. $(a_2 - a_1) = (a_3 - a_2)$ olduğunda üçgensel bulanık sayı, simetrik üçgensel bulanık sayı olarak adlandırılmaktadır (Klir ve Yuan, 1995; Erbay Dalkılıç, 2005).

1.6.1.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Bir yamuk üyelik fonksiyonu a_1, a_2, a_3, a_4 ile gösterilen dört parametreden oluşur,

$$\mu_{\widetilde{A}} = \begin{cases} \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1\quad, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \dfrac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0\,, & x > a_4 \; veya \; x < a_1 \end{cases} \tag{9}$$

biçiminde ifade edilir.



Şekil 4. Yamuk üyelik fonksiyonu

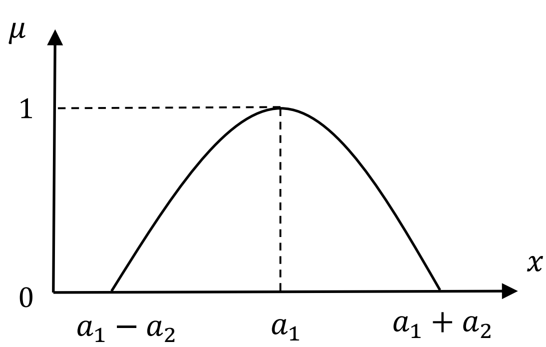
Şekil 4'te $[a_1, a_2]$ aralığına sol yayılım, $[a_3, a_4]$ aralığına sağ yayılım adı verilmektedir. $a_2 = a_3$ olduğunda yamuk bulanık sayı üçgen bulanık sayıya dönüşmektedir (Klir ve Yuan, 1995).

1.6.1.3. Gaussian Üyelik Fonksiyonu

Gaussian üyelik fonksiyonu iki parametreden oluşur. Bu parametrelerden "a_1" merkezi temsil ederken "a_2" merkezden sapmayı temsil etmektedir. Yani "a_2" ne kadar büyük olursa üyelik fonksiyonu o kadar genişlemiş olur. Gaussian üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = exp\left(-\frac{(x-a_1)^2}{2a_2^2}\right) \tag{10}$$

biçiminde ifade edilmektedir.



Şekil 5. Gaussian üyelik fonksiyonu

Şekil 5 ile verilen Gaussian üyelik fonksiyonunda, $[a_1 - a_2, a_1]$ aralığına sol yayılım, $[a_1, a_1 + a_2]$ sağ yayılım adı verilmektedir.

1.6.2. Bulanık Doğrusal Programlama

Zadeh'in 1960'lı yılların ortalarında ortaya koyduğu bulanık mantık teorisinin uygulama alanlarından biri de bulanık doğrusal programlamadır. Bulanık doğrusal programlama optimizasyon modelinde yer alan parametrelerin kesin olarak bilinemediği optimizasyon modeli topluluğudur. Burada amaç fonksiyonun katsayıları, kısıtlayıcıları, girdi-çıktı katsayıları tam olarak bilinmemekte ve eşitsizliklerin bazıları kesin olmayan sınırlara sahip olabilmektedir. Yani bulanık doğrusal programlama yöntemi, doğrusal programlama yöntemi ile çözülebilen problemlere, karar süreçlerinde belirsizlikler dahil edildiğinde kullanılmaktadır (Çevik ve Yıldırım, 2010). Optimizasyon probleminin kurulmasında mevcut bilgiye bağlı olarak amaç fonksiyonları bulanık kısıtlayıcılar ve bulanık girdi-çıktı katsayılarının belirlenmesi gerekir. Bulanık hedefler ve bulanık kısıtlar, bulanık kümeler kullanılarak alternatifler uzayında kesin olarak tanımlanabilir. Bu durumda bulanık bir karar incelenen problemdeki hedeflerin ve kısıtların kesişimi olarak düşünülebilir. Optimal karar ise en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karardır ve bu karar doğal olarak alternatif uzaydaki noktalardan biridir.

Doğrusal programlamanın genel matematiksel yapısı,

$$\begin{aligned} & Max(Min) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\ & \sum_{j=1}^{n} A_j x_j \{\leq, =, \geq\} b_j \end{aligned} \tag{11}$$

biçiminde ifade edilmektedir.

Burada A, b, c parametrelerinin herhangi biri bulanık olduğunda problem bulanık doğrusal programlama problemi olarak adlandırılır. Bir problemin kesin doğrusal programlama ile çözülebilmesi için kesinlik varsayımını sağlaması gerekirken bulanık doğrusal programlama ile çözülebilmesi için kesin olmama varsayımını sağlaması gerekmektedir. Kesin doğrusal programlama ile bulanık doğrusal programlama amaçları yönünden de birbirinden farklı iki yöntemdir. Kesin doğrusal programlamada amaç problemin optimal çözümüne ulaşmaktır. Bulanık doğrusal programlamada ise amaç, en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karar olarak tanımlanan optimal karara ulaşmaktır.

1.6.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci

AHP'nin amacı uzmanların bilgisini ortaya çıkarmak olmasına rağmen geleneksel AHP yöntemleri insan düşünce tarzını halen yansıtmamaktadır. Uzmanların bir konudaki görüşlerini kesin bir sayı yerine daha gerçekçi bir seçenek olan sözel değerlendirmelerle vermeleri daha uygun olmaktadır. Bu yüzden pek çok araştırmacı geleneksel AHP teknikleriyle karşılaştırmalı olarak karar verme sürecinde daha kesin tanımlamalar sağlayan ve bulanık AHP olarak ifade edilen Saaty'nin geliştirdiği AHP teorisinin bulanık uzantısı ile ilgilenmişlerdir. Bulanık AHP yöntemi çeşitli alanlarda yapılandırılmamış problemleri modellemede kullanılan AHP yönteminden geliştirilen ileri bir analitik teknik olarak düşünülebilir.

Klasik AHP yönteminde karar verilirken kriterlerin birbirine göre üstünlükleri 1-9 önem skalası kullanılarak belirlenirken, bulanık AHP yönteminde kriterlerin karşılaştırılması bulanık sayılar ve dilsel değişkenler kullanılarak yapılmaktadır. İkili karşılaştırmalarda karar vericiler tarafından genellikle üçgen bulanık sayılar tercih edilmektedir. İkili karşılaştırmalarda kullanılan bulanık önem dereceleri Tablo 2'de verilmiştir (Akman ve Alkan, 2006).

Tablo 2. Bulanık önem dereceleri

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit önem	$(1 \quad 1 \quad 1)$	$(1/1 \quad 1/1 \quad 1/1)$
Ara değer	$(1 \quad 2 \quad 3)$	$(1/3 \quad 1/2 \quad 1/1)$
Biraz daha fazla önemli	$(2 \quad 3 \quad 4)$	$(1/4 \quad 1/3 \quad 1/2)$
Ara değer	$(3 \quad 4 \quad 5)$	$(1/5 \quad 1/4 \quad 1/3)$
Kuvvetli derecede önemli	$(4 \quad 5 \quad 6)$	$(1/6 \quad 1/5 \quad 1/4)$
Ara değer	$(5 \quad 6 \quad 7)$	$(1/7 \quad 1/6 \quad 1/5)$
Çok kuvvetli derecede önemli	$(6 \quad 7 \quad 8)$	$(1/8 \quad 1/7 \quad 1/6)$
Ara değer	$(7 \quad 8 \quad 9)$	$(1/9 \quad 1/8 \quad 1/7)$
Tamamıyla önemli	$(8 \quad 9 \quad 9)$	$(1/9 \quad 1/9 \quad 1/8)$

Bir doğrusal programlama probleminde bulanıklık, karar vericinin amaç fonksiyonunun tam olarak bildiği fakat sınır setinin bulanık olduğu, karar vericinin sınır setini tam olarak bildiği buna karşılık amacın bulanık olduğu ve karar vericinin amacı ve sınırları kesin olarak bilmediği yani tüm modelin bulanık olduğu şeklinde üç durumda olabilir (Verdegay, 1984).

Sağ yan değerleri bulanık olan doğrusal programlama problemlerinde Verdegay (1984) ve Werners (1987) yaklaşımları kullanılmaktadır. Verdegay sadece sağ yan değerlerinin bulanıklığına ilişkin yaklaşımdır. Werners ise sağ yan değerlerinin bulanık olmasından dolayı amaç fonksiyonunda bulanık olacağını ifade etmektedir. Sağ yan değerleri ve amaç fonksiyonu bulanık olan doğrusal programlama problemlerinde başlangıçta hem sınırın hem de amaç fonksiyonunun bulanık olduğu bilinmektedir. Karar verici ile etkileşime girilerek hem sınır için hem de amaç fonksiyonu için istek seviyesi belirlenir. Zimmerman yaklaşımında karar vericinin hem amaç hem de sınır için erişim düzeylerini başta tanımlayacağı belirtilmektedir (Yalçın Seçme, 2005).

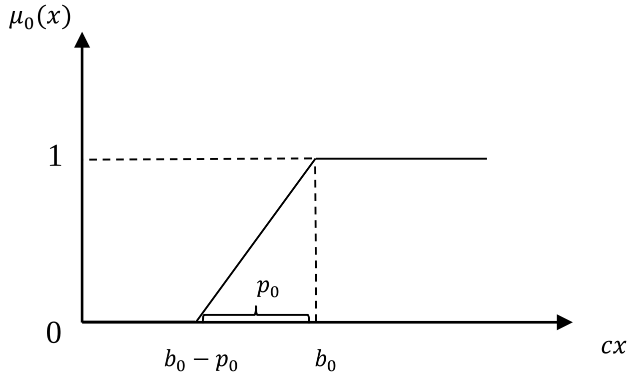
1.6.4. Bulanık Doğrusal Programlama Problemine Zimmerman Yaklaşımı

Bulanık doğrusal programlamayı bir karar modeli olarak ilk kez kullanan Zimmerman halk seçimleri ve güç sistemlerinin planlanması uygulamalarını bu modeli kullanarak yapmıştır. (Darby-Dowman vd., 1986). Zimmermann bulanık amaç ve bulanık kısıtlı doğrusal programlama modellerinde, karar vericinin amaç fonksiyonu için hedeflediği seviyeyi ve tolerans miktarını çözüm öncesinde belirleyebildiğini öne sürmüştür. Zimmerman tarafından belirlenen bulanık doğrusal programlama problemi,

$$\begin{aligned} & c^T x \gtrapprox b_0 \\ & (Ax)_i \lessapprox b_i \qquad \forall i \;\; i = \overline{1, m} \\ & x \geq 0 \end{aligned} \tag{12}$$

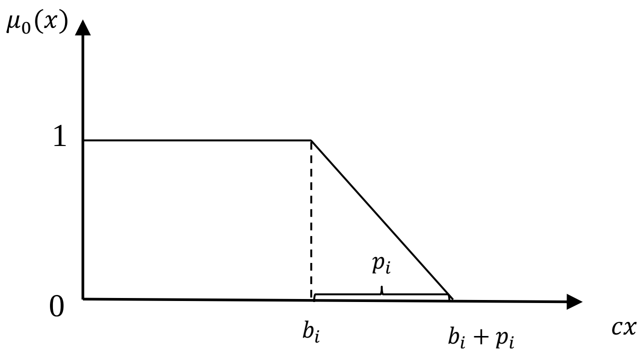
biçiminde ifade edilir. Burada $\lessapprox$, $\gtrapprox$ işaretleri bulanık eşitsizlikleri ifade etmektedir. Yani Ax'in b civarında veya daha az olduğunu ve $c^T x$'in b_0 civarında veya daha fazla olduğunu ifade etmektedir (Özkan, 2003).

Bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlayıcıların parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları sırasıyla,



Şekil 6. Bulanık amaç fonksiyonu için üyelik fonksiyonları grafiği

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & c^T x > b_0 \\ 1 - \dfrac{b_0 - c^T x}{d_0} & b_0 - d_0 \le c^T x \le b_0 \\ 0 & c^T x < b_0 - d_0 \end{cases} \tag{13}$$



Şekil 7. Bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları grafiği

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & (Ax)_i < b_i \\ 1 - \dfrac{[(Ax)_i - b_i]}{d_i} & b_i \le (Ax)_i \le b_i + d_i \\ 0 & (Ax)_i > b_i + d_i, \forall i \end{cases} \tag{14}$$

biçiminde ifade edilir (Özkan, 2003).

Simetrik bulanık doğrusal programlama problemleri, problemin yeniden modellenmesi üzerine, amaç fonksiyonunun ve kısıtların üzerine konulabilecek sapma miktarını en küçük düzeyde tutmak için tanımlanan λ değişkeninin en büyük yapılması üzerine kurulan model,

$$
\begin{aligned}
& Max\ \lambda \\
& c^T x \geq b_0 - (1-\lambda)p_0 \\
& (Ax)_i \leq b_i + (1-\lambda)p_i \\
& x \geq 0, \qquad \lambda \in [0,1]
\end{aligned}
\tag{15}
$$

biçimindedir (Çevik ve Yıldırım, 2010).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bulanık çok ölçütlü karar verme probleminin çözümü için literatürde yer alan Zimmerman yaklaşımı ve Hibrit yaklaşımı olmak üzere iki temel yaklaşım ele alınmıştır. Zimmerman yaklaşımında, tek bir λ'nın maksimize edilmesi üzerine çalışılmakta iken Hibrit yaklaşımda her bir amaç fonksiyonu için farklı λ' lar elde edilip, elde edilen λ' lar ile ağırlıklandırma yapılmaktadır (Shaw vd., 2012). Ayrıca bu ağırlıkların hesaplanması için uzmanlar tarafından belirtilen probleme ilişkin kriterlerin birbirlerine göre olan önem derecelerinin değerleri farklı biçimlerde tanımlanabilir.

Çalışmada çok ölçütlü karar verme problemleri ve bu problemler için uzman görüşleri ele alınmıştır. İlk aşamada bulanık doğrusal programlama problemi literatürde var olan Zimmerman yaklaşımı ile çözülmüştür. Ardından aynı problem, uzman değerlendirmeleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülüp bu sayılardan ağırlıklar elde edilerek modellenmiştir ve Hibrit yaklaşımı ile çözümler elde edilmiştir. Literatürde yer alan üçgensel bulanık sayıların kullanıldığı bu çözümlere alternatif olarak, yamuk bulanık sayılar tanımlanmıştır. Üçgensel bulanık sayı ve iki farklı yapıda tanımlana yamuk bulanık sayı olmak üzere üç şekilde ağırlıklandırma yapılarak problem Hibrit yaklaşımı ile çözülmüştür. Bir sonraki aşamada literatürde amaç fonksiyonlarının sadece en küçüklemek olduğu durumlara alternatif olarak amaç fonksiyonlarının bazılarının en küçüklemek bazılarının en büyüklemek olduğu durumlar ele alınmıştır. Son olarak da Zimmerman yaklaşımından, üçgensel bulanık sayılardan elde eldilen ağırlıklarla hesaplanan Hibrit yaklaşımından ve yamuk bulanık sayılardan elde edilen ağırlıklarla hesaplanan Hibrit yaklaşımından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Uygulama aşamasında verilen bu algoritmalar gerçek hayattan alınan bir çok ölçütlü karar verme probleminin çözümü için işletilmiştir. Algoritmalar MATLAB'de koda dönüştürülmüş, doğrusal programlama problemlerinin çözümünde ise WinQSB programı kullanılmıştır.

2.1. Bulanık Doğrusal Programlama Problemi İçin Zimmerman Yaklaşımına İlişkin Algoritma

Zimmerman modeli, tek bir λ'nın maksimize edilmesi üzerine kurulmuştur ve Eşitlik (15) ile verilen problemin çözüm algoritması aşağıdaki adımlardan oluşur;

Adım 1: Her bir amaç fonksiyonuna ilişkin maksimum ve minimum değerler modelin kısıtları altında hesaplanır ve aralarındaki farklar elde edilir.

Adım 2: Amaç fonksiyonunun minimum olduğu durumda bualnık amaç fonksiyonlarının üyelik değerleri ;

$$\mu_{Zi}(x) = \begin{cases} 1 \quad , & Z_i(x) \le Z_i^{min} \\ \dfrac{[Z_i^{max} - Z_i(x)]}{[Z_i^{max} - Z_i^{min}]}, & Z_i^{min} \le Z_i(x) \le Z_i^{max} \\ 0 \quad , & Z_i(x) \ge Z_i^{max} \end{cases}$$

biçiminde, amaç fonksiyonunun maksimum olduğu durumda ise,

$$\mu_{Zi}(x) = \begin{cases} 1 \quad , & Z_i(x) \le Z_i^{min} \\ \dfrac{[Z_i(x) - Z_i^{min}]}{[Z_i^{max} - Z_i^{min}]}, & Z_i^{min} \le Z_i(x) \le Z_i^{max} \\ 0 \quad , & Z_i(x) \ge Z_i^{max} \end{cases}$$

biçiminde belirlenir.

Adım 3: Eşitlik (15) ile verilen problemin yeni modeli,

$Max\ \lambda$

$\lambda(Z_i^{max} - Z_i^{min}) + Z_i(x) \le Z_i^{max}$ → amaçlar minimum olduğu durumda

$Z_i(x) - \lambda(Z_i^{max} - Z_i^{min}) \ge Z_i^{min}$ → amaçlar maksimum olduğu durumda

$\lambda(d_x) + g_k(x) \le b_k + d_k$

$Ax \le b$

$x \ge 0$ ve tamsayı

$0 \le \lambda \le 1$

d_k =Tolerans aralığı

$i = 1,2, \dots, n$ (Amaç fonksiyonları için)

$k = 1,2, \dots, K$ (Bulanık parametreler için)

biçiminde kurulur ve WinQSB programı ile çözülür (Kumar ve ark., 2006).

2.2. Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Ağırlıklandırılan Bulanık Doğrusal Programlama Problemi İçin Hibrit Yaklaşımı Algoritması

Zimmerman algortiması tek bir λ'nın maksimize edilmesi temeline dayanırken hibrit algoritmada her bir amaç fonksiyonu için farklı λ'lar belirlenir. Belirlenen λ'ların ağırlıklandırılmasıyla yeni modelin amaç fonksiyonu elde edilir.

Ağırlık hesaplama işleminde üçgensel bulanık sayılar kullanıldığında Hibrit yaklaşımı için aşağıdaki algoritma adımları izlenir:

Adım 1: Her bir amaç fonksiyonuna ilişkin maksimum ve minimum değerler hesaplanır ve aralarındaki farklar elde edilir.

Adım 2: Bulanık amaç fonksiyonlarının üyelik değerleri, amaç fonksiyonunun minimum olması durumunda;

$$\mu_{Zi}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad Z_i(x) \leq Z_i^{min} \\ \dfrac{[Z_i^{max} - Z_i(x)]}{[Z_i^{max} - Z_i^{min}]}, & Z_i^{min} \leq Z_i(x) \leq Z_i^{max} \\ 0 & , \quad Z_i(x) \geq Z_i^{max} \end{cases}$$

biçiminde, amaç fonksiyonunun maksimum olması durumunda ise;

$$\mu_{Zi}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad Z_i(x) \leq Z_i^{min} \\ \dfrac{\left[Z_i(x) - Z_i^{min}\right]}{\left[Z_i^{max} - Z_i^{min}\right]}, & Z_i^{min} \leq Z_i(x) \leq Z_i^{max} \\ 0 & , \quad Z_i(x) \geq Z_i^{max} \end{cases}$$

biçiminde belirlenir.

Adım 3: Bir çok ölçütlü karar verme probleminde n kriter sayısı, k görüşüne başvurulan uzman sayısı olmak üzere C_i ile belirtilen kriterlere ilişkin uzmanlar tarafından verilen karşılaştırma değerleri (a) Tablo 3'de verildiği gibi belirlenir.

Tablo 3. Üçgen bulanık sayılardan oluşan uzman değerlendirmelerinin genel durumu

	C_1	C_2	C_3	…	C_n
C_1	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) ⋮ (1,1,1)	a_{121} a_{122} a_{123} ⋮ a_{12k}	a_{131} a_{132} a_{133} ⋮ a_{13k}	…	a_{1n1} a_{1n2} a_{1n3} ⋮ a_{1nk}
C_2	a_{211} a_{212} a_{213} ⋮ a_{21k}	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) ⋮ (1,1,1)	a_{231} a_{232} a_{233} ⋮ a_{23k}	…	a_{2n1} a_{2n2} a_{2n3} ⋮ a_{2nk}
C_3	a_{311} a_{312} a_{313} ⋮ a_{31k}	a_{321} a_{322} a_{323} ⋮ a_{32k}	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) ⋮ (1,1,1)	…	a_{3n1} a_{3n2} a_{3n3} ⋮ a_{3nk}
⋮	⋮	⋮	⋮	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) ⋮ (1,1,1)	⋮
C_n	a_{n11} a_{n12} a_{n13} ⋮ a_{n1k}	a_{n21} a_{n22} a_{n23} ⋮ a_{n2k}	a_{n31} a_{n32} a_{n33} ⋮ a_{n3k}	…	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) ⋮ (1,1,1)

Adım 4: Adım 3' de yer alan n tane kriterin ikişerli karşılaştırmalarından yeni bir üçgensel sayı elde edilir. C_i ve C_j kriterlerinin karşılaştırılması için;

$$a_{ijk} = (a_{ijk}^{-} \quad a_{ijk} \quad a_{ijk}^{+})$$

$$m_{ij}^{-} = \left(a_{ij1}^{-} * a_{ij2}^{-} * a_{ij3}^{-} * \dots * a_{ijk}^{-}\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$m_{ij} = \left(a_{ij1} * a_{ij2} * a_{ij3} * \dots * a_{ijk}\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$m_{ij}^{+} = \left(a_{ij1}^{+} * a_{ij2}^{+} * a_{ij3}^{+} * \dots * a_{ijk}^{+}\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$M_{ij} = [m_{ij}^{-} \quad m_{ij} \quad m_{ij}^{+}]$$

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

$$j = 1,2, \dots, n, (i \neq j)$$

biçiminde belirlenir. Her ikişerli kriter için aynı işlemler yapılarak yeni üçgen bulanık sayılar elde edilir.

Adım 5: Elde edilen yeni üçgensel bulanık sayıların kullanılması ile elde kriter tablosu Tablo 4'de yer almaktadır.

Tablo 4. Üçgen bulanık sayılardan oluşan kriterler

	C_1	C_2	C_3	…	C_n
C_1	(1 1 1)	M_{12}	M_{13}	…	M_{1n}
C_2	M_{21}	(1 1 1)	M_{12}	…	M_{2n}
C_3	M_{31}	M_{32}	(1 1 1)	…	M_{3n}
⋮	⋮	⋮	⋮	(1 1 1)	⋮
C_n	M_{n1}	M_{n2}	M_{n3}	…	(1 1 1)

Adım 6: Tablo 4'de oluşturulan yeni üçgen bulanık sayılar (M_{ij}) toplanır ve

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij} = (1{,}1{,}1) + M_{12} + M_{13} + \cdots + M_{n(n-1)} + (1{,}1{,}1)$$

$$= (m_{ij}^{-} \quad m_{ij} \quad m_{ij}^{+})$$

biçiminde elde edilir.

Adım 7: Elde edilen toplamın tersi alınır:

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{m_{ij}^{+}} \quad \frac{1}{m_{ij}} \quad \frac{1}{m_{ij}^{-}}\right)$$

Adım 8: Her bir kriter için üyelik değerleri ($(F_i) = (f_i^{-} \quad f_i \quad f_i^{+})$)

$$F_1 = \sum_{j=1}^{n} M_{1j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1}$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^{n} M_{2j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1}$$

$$\vdots$$

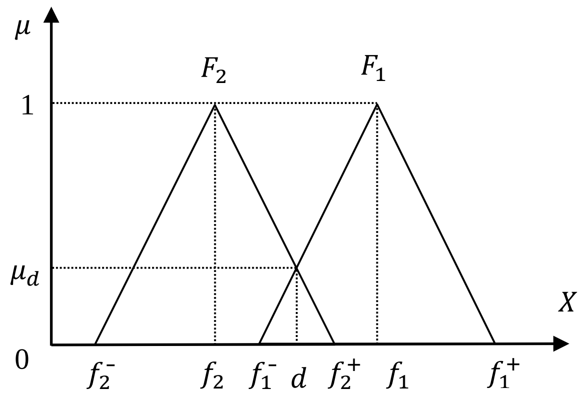
$$F_n = \sum_{j=1}^{n} M_{nj} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} M_{ij} \right]^{-1}$$

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

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

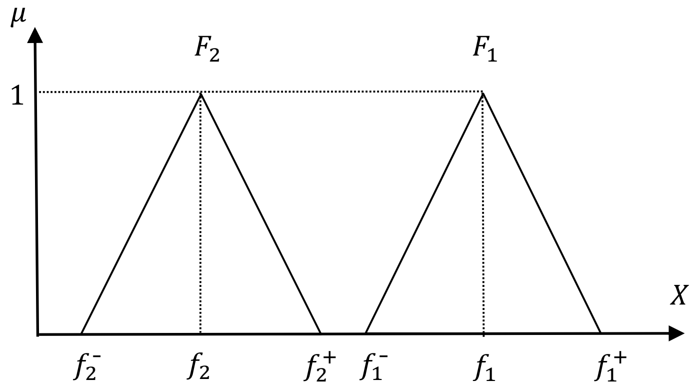
biçiminde elde edilir.

Adım 9: Üyelik değerlerinin belirlenmesi Adım 8'den hesaplanan $F_i \quad (i = 1, \dots, n)$ değerlerinin büyüklüklerinin karşılaştırılmasına dayanır;



Şekil 8. Üçgensel bulanık sayılardan elde edilen F değerlerinin karşılaştırılması

Herhangi iki F_i değeri karşılaştırılmak istensin, eğer herhangi iki ağırlık değeri Şekil 8'deki gibi $f_1^- \geq f_2^-, \quad f_1 \geq f_2, \quad f_1^+ \geq f_2^+$ biçiminde ise $F_1(f_1^-, \ f_1, \ f_1^+)$ üçgensel bulanık sayısı $F_2(f_2^-, \ f_2, \ f_2^+)$ üçgensel bulanık sayısından büyüktür denir ve $V(F_1 \geq F_2) = \mu_d = 1$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 9. Üçgen bulanık sayılardan elde edilen F değerlerinin karşılaştırılması

Eğer Şekil 9'da olduğu gibi $f_2^+ \leq f_1^-$ biçiminde ise $V(F_1 \geq F_2) = \mu_d = 0$

Diğer durumlarda ise,

$$V(F_2 \geq F_1) = \mu_d = \frac{f_1^- - f_2^+}{(f_2 - f_2^+) - (f_1 - f_1^-)} \tag{16}$$

biçimindeki formül ile hesaplanır.

Adım 10: Her bir F_i üçgensel sayısının diğer tüm F_i üçgensel sayılarıyla büyüklüklerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen üyelik değerlerinin minimumları,

$$d(F_1) = Min\{V(F_1 \geq F_2), V(F_1 \geq F_3), V(F_1 \geq F_4) \dots, V(F_1 \geq F_n)\}$$
$$d(F_2) = Min\{V(F_2 \geq F_1), V(F_2 \geq F_3), V(F_2 \geq F_4) \dots, V(F_2 \geq F_n)\}$$
$$d(F_3) = Min\{V(F_3 \geq F_1), V(F_3 \geq F_2), V(F_3 \geq F_4) \dots, V(F_3 \geq F_n)\}$$
$$\vdots$$
$$d(F_n) = Min\{V(F_n \geq F_1), V(F_n \geq F_2), V(F_n \geq F_3) \dots, V(F_n \geq F_{n-1})\}$$

biçimindeki ağırlık vektörlerini vermektedir.

Adım 11: $d(F_i)$'ler kullanılarak ağırlık matrisi,

$$W' = \left(d(F_1), d(F_2), d(F_3), \dots, d(F_n)\right)^T$$

biçiminde belirlenir

Adım 12: Bulunan ağırlık matrisinden yararlanılarak doğrusal programlama problemi,

$Max\ \sum_{i=1}^{n} w_i\lambda_i + \sum_{k=1}^{K} \beta_k\gamma_k$

$\lambda_i \le \mu_{Z_i}(x),$

$\gamma_k \le \mu_{g_k}(x),$

$g_p(x) \le b_p,$

$\lambda_i, \gamma_k\ \in [0,1],$

$\sum_{i=1}^{1} w_i + \sum_{k=1}^{K} \beta_k = 1$

$Ax \le b \quad x_i \ge 0\ \ ve\ tamsayı$

$w_j, \beta_k \ge 0,$

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

$k = 1,2, \dots, K$

$p = 1,2, \dots, M$

biçiminde modellenir.

Adım 13: Adım 12' de oluşturulan problem çözülerek karar değişkenleri olan x' lerin ve amaç fonksiyonlarının değerleri belirlenir.

2.3. Yamuk Bulanık Sayılar Kullanılarak Ağırlıklandırılan Bulanık Doğrusal Programlama Problemi İçin Hibrit Yaklaşımı Algoritması

Klasik AHP de kesin önem dereceleri kullanılırken daha sonraki çalışmalarda kesin sayıların bir genişlemesi olan üçgensel bulanık sayılar önem derecelerini tanımlamada kullanılmıştır. Bu çalışmada ise üçgensel sayıların da bir genişlemesi olan yamuk bulanık sayıların kullanılması durumunda elde edilecek ağırlıkların çözümlere yapacağı etki irdelenmiştir. Bunun için ağırlık hesaplama işleminde yamuk bulanık sayılar kullanıldığında Hibrit yaklaşımı için aşağıdaki algoritma adımları izlenir:

Adım 1: Her bir amaç fonksiyonuna ilişkin maksimum ve minimum değerler modelin kısıtları altında hesaplanır ve aralarındaki farklar elde edilir.

Adım 2: Bulanık amaç fonksiyonlarının üyelik değerleri, amaç fonksiyonunun minimum olması durumunda;

$$\mu_{Zi}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad Z_i(x) \leq Z_i^{min} \\ \dfrac{[Z_i^{max} - Z_i(x)]}{[Z_i^{max} - Z_i^{min}]}, & Z_i^{min} \leq Z_i(x) \leq Z_i^{max} \\ 0 & , \quad Z_i(x) \geq Z_i^{max} \end{cases}$$

biçiminde, amaç fonksiyonunun maksimum olması durumunda ise;

$$\mu_{Zi}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad Z_i(x) \leq Z_i^{min} \\ \dfrac{[Z_i(x) - Z_i^{min}]}{[Z_i^{max} - Z_i^{min}]}, & Z_i^{min} \leq Z_i(x) \leq Z_i^{max} \\ 0 & , \quad Z_i(x) \geq Z_i^{max} \end{cases}$$

biçiminde belirlenir.

Adım 3: n kriter sayısı, k görüşüne başvurulan uzman sayısı olmak üzere kriterlere ilişkin uzmanlar tarafından verilen karşılaştırma değerleri (a) Tablo 5'de verildiği gibi belirlenir.

Tablo 5. Yamuk bulanık sayılardan oluşan uzman değerlendirmelerinin genel hali

	C_1	C_2	C_3	$\cdots$	C_n
C_1	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) $\vdots$ (1,1,1,1)	a_{121} a_{122} a_{123} $\vdots$ a_{12k}	a_{131} a_{132} a_{133} $\vdots$ a_{13k}	$\cdots$	a_{1n1} a_{1n2} a_{1n3} $\vdots$ a_{1nk}
C_2	a_{211} a_{212} a_{213} $\vdots$ a_{21k}	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) $\vdots$ (1,1,1,1)	a_{231} a_{232} a_{233} $\vdots$ a_{23k}	$\cdots$	a_{2n1} a_{2n2} a_{2n3} $\vdots$ a_{2nk}
C_3	a_{311} a_{312} a_{313} $\vdots$ a_{31k}	a_{321} a_{322} a_{323} $\vdots$ a_{32k}	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) $\vdots$ (1,1,1,1)	$\cdots$	a_{3n1} a_{3n2} a_{3n3} $\vdots$ a_{3nk}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) $\vdots$ (1,1,1,1)	$\vdots$
C_n	a_{n11} a_{n12} a_{n13} $\vdots$ a_{n1k}	a_{n21} a_{n22} a_{n23} $\vdots$ a_{n2k}	a_{n31} a_{n32} a_{n33} $\vdots$ a_{n3k}	$\cdots$	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) $\vdots$ (1,1,1,1)

Adım 4: Adım 3' de yer alan n tane kriterin ikişerli karşılaştırmalarından yeni bir yamuk sayı elde edilir. C_i ve C_j kriterlerinin karşılaştırılması için

$a_{ijk} = (a_{ijk}^1 \quad a_{ijk}^2 \quad a_{ijk}^3 \quad a_{ijk}^4)$

$m_{ij}^1 = \left(a_{ij1}^1 * a_{ij2}^1 * a_{ij3}^1 * \dots * a_{ijk}^1\right)^{\frac{1}{k}}$

$m_{ij}^2 = \left(a_{ij1}^2 * a_{ij2}^2 * a_{ij3}^2 * \dots * a_{ijk}^2\right)^{\frac{1}{k}}$

$m_{ij}^3 = \left(a_{ij1}^3 * a_{ij2}^3 * a_{ij3}^3 * \dots * a_{ijk}^3\right)^{\frac{1}{k}}$

$m_{ij}^4 = \left(a_{ij1}^4 * a_{ij2}^4 * a_{ij3}^4 * \dots * a_{ijk}^4\right)^{\frac{1}{k}}$

$M_{ij} = [m_{ij}^1 \quad m_{ij}^2 \quad m_{ij}^3 \quad m_{ij}^4]$

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

$j = 1,2, \dots , n \ , (i \neq j)$

Her ikişerli kriter için aynı işlemler yapılarak yamuk bulanık sayılar elde edilir.

Adım 5: Elde edilen yeni yamuk sayıların kullanılması ile elde edilen kriter tablosu Tablo 6' da yer almaktadır.

Tablo 6. Yamuk bulanık sayılardan oluşan kriterler

	C_1	C_2	C_3	…	C_n
C_1	(1 1 1 1)	M_{12}	M_{13}	…	M_{1n}
C_2	M_{21}	(1 1 1 1)	M_{12}	…	M_{2n}
C_3	M_{31}	M_{32}	(1 1 1 1)	…	M_{3n}
⋮	⋮	⋮	⋮	(1 1 1 1)	⋮
C_n	M_{n1}	M_{n2}	M_{n3}	…	(1 1 1 1)

Adım 6: Kriter tablosunda oluşturulan bulanık sayıların (M_{ij}) toplamı ile

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij} = (1,1,1,1) + M_{12} + M_{13} + \cdots + M_{n(n-1)} + (1,1,1,1)$$

$$= (m_{ij}^1 \quad m_{ij}^2 \quad m_{ij}^3 \quad m_{ij}^4)$$

biçiminde elde edilir.

Adım 7: Elde edilen toplamın tersi alınır:

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{m_{ij}^{4}} \quad \frac{1}{m_{ij}^{3}} \quad \frac{1}{m_{ij}^{2}} \quad \frac{1}{m_{ij}^{1}}\right)$$

Adım 8: Her bir kriter için üyelik değerleri $((F_i) = (f_i^- \quad f_i \quad f_i^+))$,

$$F_1 = \sum_{j=1}^{n} M_{1j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1}$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^{n} M_{2j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1}$$

$$\vdots$$

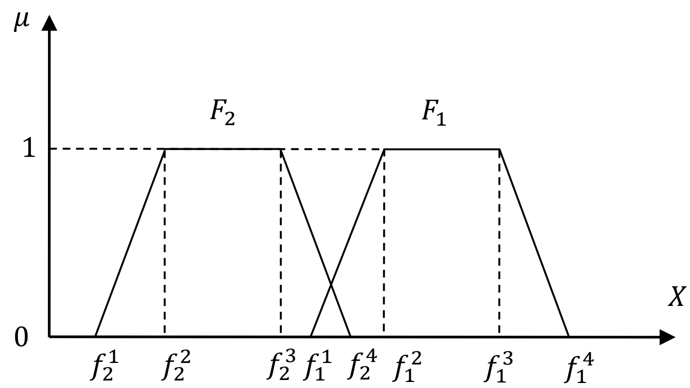
$$F_n = \sum_{j=1}^{n} M_{nj} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1}$$

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

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

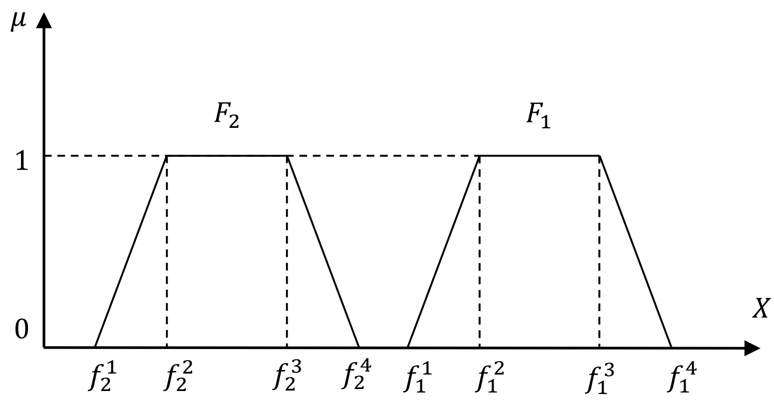
biçiminde elde edilir.

Adım 9: Üyelik değerlerinin belirlenmesinde Adım 8' den hesaplanan F_i $(i = 1,\dots,n)$ değerlerinin büyüklüklerinin karşılaştırılmasına dayanır,



Şekil 10. Yamuk sayılardan elde edilen F değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 10' daki gibi $f_1^1 \geq f_2^1$, $f_1^2 \geq f_2^2$, $f_1^3 \geq f_2^3$, $f_1^4 \geq f_2^4$ olduğunda $F_1(f_1^1, f_1^2, f_1^3, f_1^4)$ yamuk bulanık sayısı $F_2(f_2^1, f_2^2, f_2^3, f_2^4)$ yamuk bulanık sayısında büyüktür denir ve $V(F_1 \geq F_2) = \mu_d = 1$ ile ifade edilir.



Şekil 11. Yamuk sayılardan elde edilen F değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 11' deki gibi $f_1^1 \geq f_2^4$ olduğu durumda $V(F_1 \geq F_2) = \mu_d = 0$ olarak belirlenir.

Diğer durumlarda ise,

$$V(F_2 \geq F_1) = \mu_d = \frac{f_1^1 - f_2^4}{(f_2^3 - f_2^4) - (f_1^2 - f_1^1)} \tag{17}$$

biçiminde hesaplanır.

Adım 10: Her bir F_i yamuk sayısının diğer tüm F_i yamuk sayılarıyla büyüklüklerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen üyelik değerlerinin minimumları,

$$d(F_1) = Min\{V(F_1 \geq F_2), V(F_1 \geq F_3), V(F_1 \geq F_4) \ldots, V(F_1 \geq F_n)\}$$
$$d(F_2) = Min\{V(F_2 \geq F_1), V(F_2 \geq F_3), V(F_2 \geq F_4) \ldots, V(F_2 \geq F_n)\}$$
$$d(F_3) = Min\{V(F_3 \geq F_1), V(F_3 \geq F_2), V(F_3 \geq F_4) \ldots, V(F_3 \geq F_n)\}$$
$$\vdots$$
$$d(F_n) = Min\{V(F_n \geq F_1), V(F_n \geq F_2), V(F_n \geq F_3) \ldots, V(F_n \geq F_{n-1})\}$$

biçimindeki ağırlık vektörlerini vermektedir.

Adım 11: $d(F_i)$'ler kullanılarak ağırlık matrisi,

$W' = \left(d(F_1), d(F_2), d(F_3), \ldots, d(F_n)\right)^T$

biçiminde belirlenir.

Adım 12: Bulunan ağırlık matrisinden yararlanılarak doğrusal programlama problemi,

$Max\ \sum_{i=1}^{n} w_i\lambda_i + \sum_{k=1}^{K} \beta_k\gamma_k$

$\lambda_i \leq \mu_{Z_i}(x),$

$\gamma_k \leq \mu_{g_k}(x),$

$g_p(x) \leq b_p,$

$\lambda_i, \gamma_k \in [0,1],$

$\sum_{i=1}^{1} w_i + \sum_{k=1}^{K} \beta_k = 1$

$Ax \leq b \quad x \geq 0$ ve tamsayı

$w_j, \beta_k \geq 0,$

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

$k = 1,2, \dots, K$

$p = 1,2, \dots, M$

biçiminde modellenir.

Adım 13: Adım 12 ‘de oluşturulan problem çözülerek karar değişkenleri olan x’ lerin ve amaç fonksiyonlarının değerleri belirlenir.

Algoritmaların işleyişini irdelemek üzere iki farklı örnek ele alınmıştır.

Örnek 1: Dört farklı amacı, dört karar değişkeni ve altı kısıtı olan bir çok ölçütlü karar verme problemi;

$$P_2: \begin{aligned} &Z_{1(min)} = 6x_1 + 7x_2 + 4x_3 + 3x_4 \\ &Z_{2(min)} = 0.05x_1 + 0.03x_2 + 0.02x_3 + 0.04x_4 \\ &Z_{3(min)} = 0.03x_1 + 0.02x_2 + 0.08x_3 + 0.04x_4 \\ &Z_{4(min)} = 1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4 \\ &x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 20000 \\ &6x_1 \leq 24000 \\ &7x_2 \leq 70000 \\ &x_3 \leq 7000 \\ &3x_4 \leq 10000 \\ &1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4 \leq 30000 \\ &x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \\ &x_1, x_2, x_3, x_4 \text{ tamsayı } x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \end{aligned} \tag{18}$$

biçiminde modellenmiş olsun.

Shaw ve arkadaşlarının (2012) çalışmalarında ele aldıkları amaç fonksiyonları ve kısıtları P_2 ile verilmiş olan problem için amaç fonksiyonlarının aldıkları maksimum, minimum değerler WinQSB programı ile hesaplanarak çözüm sonuçları Tablo 7'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 7. Örnek 1 için amaç fonksiyonu değerleri

Amaç fonksiyonu	$\mu = 1\ (minimum)$	$\mu = 0\ (maximum)$	$(\mu = 0) - (\mu = 1)$
Z_1	101666.7	118000	16333.3
Z_2	560	686.6667	126.6667
Z_3	666.6667	926.6667	260
Z_4	27100	28733.33	1633.33

Problem Zimmerman yaklaşımı ile Tablo 7'deki sonuçlar kullanılarak

$$
\begin{aligned}
P_3: \quad & \max \lambda \\
& \lambda \leq \frac{118000 - (6x_1 + 7x_2 + 4x_3 + 3x_4)}{16333.3} \\
& \lambda \leq \frac{686 - (0.05x_1 + 0.03x_2 + 0.02x_3 + 0.04x_4)}{126.6667} \\
& \lambda \leq \frac{926 - (0.03x_1 + 0.02x_2 + 0.08x_3 + 0.04x_4)}{260} \\
& \lambda \leq \frac{28733 - (1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4)}{1633.33} \\
& \lambda \leq \frac{20100 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{100} \\
& \lambda \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - 19950}{50} \\
& 6x_1 \leq 24000 \\
& 7x_2 \leq 70000 \\
& x_3 \leq 7000 \\
& 3x_4 \leq 10000 \\
& 1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4 \leq 30000 \\
& x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \\
& x_1, x_2, x_3, x_4 \ \text{tamsayı}
\end{aligned} \tag{19}
$$

biçiminde modellenir. Eşitlik (19) ile verilen P_3 problemi WinQSB programında çözülerek, karar değişkenlerine ilişkin değerler ve amaç fonksiyonu değeri,

$\lambda = 0{,}4586$ ve x_i değerleri de

$x_1 = 2922$, $x_2 = 9088$, $x_3 = 5469$, $x_4 = 2494$

biçiminde elde edilmiştir. Buradan P_2 modelindeki amaç fonksiyonu değerleri,

$Z_1 = 110506$, $Z_2 = 628$, $Z_3 = 806$, $Z_4 = 27981$

olarak elde edilir.

Yeni kriter tablosu Tablo 8' de verilmektedir.

Tablo 8. Örnek 1 için yeni kriterler

	A	**B**	**C**	**D**	**E**
A	(1,1,1)	(1,1.15,2.16)	(1,1.32,2.35)	(1,1.32,2.35)	(1,1.74,2.76)
B	(0.46,0.87,1)	(1,1,1)	(1,1,2)	(1,1,2)	(1,1.52,2.55)
C	(0.43,0.75,1)	(0.5,1,1)	(1,1,1)	(0.5,1,1)	(1,1,2)
D	(0.43,0.75,1)	(0.5,1,1)	(1,1,2)	(1,1,1)	(1,1.15,2.16)
E	(0.36,0.57,1)	(0.39,0.66,1)	(0.33,0.5,1)	(0.46,0.87,1)	(1,1,1)

Üçgen bulanık sayılar ile ağırlık hesaplama algoritması kullanılarak elde edilen ağırlıklar,

$$W = [0.257 \quad 0.224 \quad 0.184 \quad 0.202 \quad 0.133]$$

biçimindedir.

Problem Hibrit yaklaşımı ile Tablo 7'deki sonuçlar kullanılarak,

$$
\begin{aligned}
P_4: \quad & max \;\; 0.257\lambda_1 + 0.224\lambda_2 + 0.184\lambda_3 + 0.202\lambda_4 + 0.133\gamma_1 \\
& \lambda_1 \le \frac{118000 - (6x_1 + 7x_2 + 4x_3 + 3x_4)}{16333.3} \\
& \lambda_2 \le \frac{686 - (0.05x_1 + 0.03x_2 + 0.02x_3 + 0.04x_4)}{126.6667} \\
& \lambda_3 \le \frac{926 - (0.03x_1 + 0.02x_2 + 0.08x_3 + 0.04x_4)}{260} \\
& \lambda_4 \le \frac{28733 - (1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4)}{1633.33} \\
& \gamma_1 \le \frac{20100 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{100}
\end{aligned}
\qquad (20)
$$

$$\gamma_1 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - 19950}{50}$$

$6x_1 \leq 24000$

$7x_2 \leq 70000$

$x_3 \leq 7000$

$3x_4 \leq 10000$

$1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4 \leq 30000$

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

x_1, x_2, x_3, x_4 tamsayı

biçiminde modellenir. Eşitlik (20) ile verilen P_4 problemi WinQSB programında çözülerek, karar değişkenlerine ilişkin değerler ve amaç fonksiyonu değeri,

$\lambda = 0{,}6336$ ve $\lambda_1 = 0{,}755$, $\lambda_2 = 0{,}9684$, $\lambda_3 = 0{,}1513$, $\lambda_4 = 0{,}3059$ $\gamma_1 = 1$ ve x_i değerleri de

$x_1 = 0$, $x_2 = 9667$, $x_3 = 7000$, $x_4 = 3333$

biçiminde elde edilmiştir.

Buradan P_2 modelindeki amaç fonksiyonu değerleri,

$Z_1 = 105668$, $Z_2 = 563$, $Z_3 = 887$, $Z_4 = 28233$

olarak elde edilir.

Yamuk bulanık sayılardan oluşan ağırlıklar MATLAB programında yazılan kod yardımı ile elde edilmektedir. Program girdisi olarak Tablo 9' daki yamuk bulanık sayılardan elde edilmiş uzman görüşleri kullanılmaktadır.

Tablo 9. Örnek 1 için yamuk bulanık sayılardan elde edilmiş uzman görüşleri

	A	**B**	**C**	**D**	**E**
A	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(1,3,5,7) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (2,3,5,6)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)
B	(0.28,0.33,1,2) (0.28,0.33,1,2) (0.2,0.25,0.5,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.28,0.33,1,2)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(1,3,5,7) (2,3,5,6) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5)	(1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (2,3,5,6)	(1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (2,3,5,6)
C	(0.14,0.2,0.33,1) (0.28,0.33,1,2) (0.2,0.25,0.5,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.16,0.2,0.33,0.5)	(0.14,0.2,0.33,1) (0.16,0.2,0.33,0.5) (0.2,0.25,0.5,1) (0.14,0.2,0.33,1) (0.2,0.25,0.5,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(1,3,5,7) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (2,3,5,6)	(0.5,1,3,3.5) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (2,3,5,6)
D	(0.28,0.33,1,2) (0.2,0.25,0.5,1) (0.14,0.2,0.33,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.28,0.33,1,2)	(0.2,0.25,0.5,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.14,0.2,0.33,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.16,0.2,0.33,0.5)	(0.14,0.2,0.33,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.16,0.2,0.33,0.5)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5)
E	(0.28,0.33,1,2) (0.2,0.25,0.5,1) (0.28,0.33,1,2) (0.2,0.25,0.5,1) (0.28,0.33,1,2)	(0.2,0.25,0.5,1) (0.14,0.2,0.33,1) (0.14,0.2,0.33,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.16,0.2,0.33,0.5)	(0.28,0.33,1,2) (0.14,0.2,0.33,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.2,0.25,0.5,1) (0.16,0.2,0.33,0.5)	(0.2,0.25,0.5,1) (0.28,0.33,1,2) (0.2,0.25,0.5,1) (0.28,0.33,1,2) (0.2,0.25,0.5,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)

Yamuk bulanık sayılar ile ağırlık hesaplama algoritması kullanılarak elde edilen ağırlıklar,

$$W = [0.3481 \quad 0.3626 \quad 0.2265 \quad 0.0629 \quad 0]$$

biçimindedir.

Problem Hibrit yaklaşımı ile Tablo 7'deki sonuçlar kullanılarak

$$P_5: \quad max\ 0.3481\lambda_1 + 0.3626\lambda_2 + 0.2265\lambda_3 + 0.0629\lambda_4 + 0\gamma_1$$

$$\lambda_1 \leq \frac{118000 - (6x_1 + 7x_2 + 4x_3 + 3x_4)}{16333.3}$$

$$\lambda_2 \leq \frac{686 - (0.05x_1 + 0.03x_2 + 0.02x_3 + 0.04x_4)}{126.6667}$$

$$\lambda_3 \leq \frac{926 - (0.03x_1 + 0.02x_2 + 0.08x_3 + 0.04x_4)}{260}$$

$$\lambda_4 \geq \frac{28733 - (1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4)}{1633.33}$$

$$\gamma_1 \geq \frac{20100 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{100}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - 19950}{50} \qquad (21)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 20000$$

$$6x_1 \leq 24000$$

$$7x_2 \leq 70000$$

$$x_3 \leq 7000$$

$$3x_4 \leq 10000$$

$$1.3x_1 + 1.5x_2 + 1.2x_3 + 1.6x_4 \leq 30000$$

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

x_1, x_2, x_3, x_4 tamsayı

biçiminde modellenir. Eşitlik (21) ile verilen P_5 problemi WinQSB programında çözülerek, karar değişkenlerine ilişkin değerler ve amaç fonksiyonu değeri,

$\lambda = 0{,}6830$ ve $\lambda_1 = 0{,}7765$, $\lambda_2 = 0{,}9803$, $\lambda_3 = 0{,}1552$, $\lambda_4 = 0{,}3519$ $\gamma_1 = 0$ ve x_i değerleri de

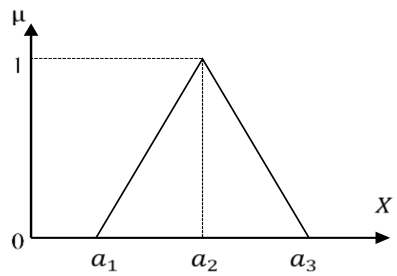
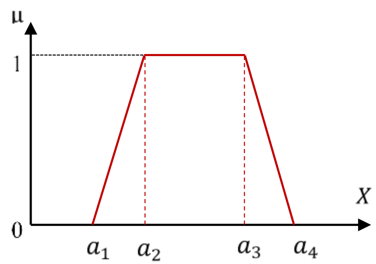
$x_1 = 0$, $x_2 = 9617$, $x_3 = 7000$, $x_4 = 3333$

biçiminde elde edilmiştir. Buradan P_2 modelindeki amaç fonksiyonu değerleri,

$Z_1 = 105318$, $Z_2 = 495.17$, $Z_3 = 885.66$, $Z_4 = 28158.3$

olarak elde edilir. Sonuçlar Tablo 10' da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 10. Örnek 1' e ilişkin farklı yöntemlerden elde edilen çözümler

	AĞIRLIK	**GRAFİK**	$\boldsymbol{\lambda_i}$	$\boldsymbol{x_i}$	$\boldsymbol{\lambda}$	$\boldsymbol{Z_i}$
ZİMMERMAN				$x_1 = 2922$ $x_2 = 9088$ $x_3 = 5469$ $x_4 = 2494$	$\lambda = 0.4586$	$Z_1 = 110506$ $Z_2 = 628$ $Z_3 = 806$ $Z_4 = 27981$
ÜÇGEN BULANIK SAYI	$W = \begin{bmatrix} 0.257 \\ 0.224 \\ 0.184 \\ 0.202 \\ 0.133 \end{bmatrix}$		$\lambda_1 = 0.755$ $\lambda_2 = 0.9684$ $\lambda_3 = 0.1513$ $\lambda_4 = 0.3059$ $\gamma_1 = 1$	$x_1 = 0$ $x_2 = 9667$ $x_3 = 7000$ $x_4 = 3333$	$\lambda = 0.6336$	$Z_1 = 105668$ $Z_2 = 563$ $Z_3 = 887$ $Z_4 = 28233$
YAMUK BULANIK SAYI	$W = \begin{bmatrix} 0.3481 \\ 0.3626 \\ 0.2265 \\ 0.0629 \\ 0 \end{bmatrix}$		$\lambda_1 = 0.7765$ $\lambda_2 = 0.9803$ $\lambda_3 = 0.1552$ $\lambda_4 = 0.3519$ $\gamma_1 = 0$	$x_1 = 0$ $x_2 = 9617$ $x_3 = 7000$ $x_4 = 3333$	$\lambda = 0.6830$	$Z_1 = 105318$ $Z_2 = 495.17$ $Z_3 = 885.66$ $Z_4 = 28158.3$

Örnek 1, Zimmerman yaklaşımı, üçgensel sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı ve yamuk sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı ile çözülmüş ve sonuçlar Tablo 10' daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 10'da görüldüğü üzere amaç fonksiyonu değeri olan λ, en yüksek değere yamuk sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımının çözümünde ulaşmıştır.

Örnek 2: Bazı amaç fonksiyonlarının en küçükleme bazı amaç fonksiyonlarının en büyükleme olduğu durumlarda ,

$$\begin{aligned} P_6: \quad & Z_{1(min)} = 501x_1 + 412x_2 + 141x_3 + 162x_4 \\ & Z_{2(min)} = 4{,}1x_1 + 7{,}8x_2 + 8{,}1x_3 + 8{,}3x_4 \\ & Z_{3(min)} = 0{,}15x_1 + 11{,}6x_2 + 10x_3 + 4{,}8x_4 \\ & Z_{4(max)} = 83x_1 + 87x_2 + 69x_3 + 70x_4 \\ & Z_{5(max)} = 95x_1 + 80x_2 + 75x_3 + 60x_4 \\ & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 250 \\ & x_1 \leq 170 \\ & x_2 \leq 200 \\ & x_3 \leq 66 \\ & x_4 \leq 70 \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \\ & x_1, x_2, x_3, x_4 \text{ tamsayı,} \end{aligned} \tag{22}$$

Amaç fonksiyonları ve kısıtları P_6 İle verilmiş olan problem için amaç fonksiyonlarının aldıkları maksimum, minimum değerler WinQSB programında hesaplatılmıştır. Hesaplanan değerler ve bu değerler arasındaki farklar Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 11. Örnek 2 için amaç fonksiyonu değerleri

Amaç fonksiyonu	$\boldsymbol{\mu = 1\ (minimum)}$	$\boldsymbol{\mu = 0\ (maximum)}$	$\boldsymbol{(\mu = 0) - (\mu = 1)}$
Z_1	57314	128430	71116
Z_2	1126	2199.8	1073.8
Z_3	289.5	3023.2	2733.7
Z_4	16841	23625	6784
Z_5	16270	24550	8280

Problem Zimmerman yaklaşımı ile Tablo 11' deki sonuçlar kullanılarak,

$$
\begin{aligned}
P_7: \quad & max\ \lambda \\
& \lambda \leq \frac{128430-(501x_1+412x_2+141x_3+162x_4)}{71116} \\
& \lambda \leq \frac{2199.8-(4{,}1x_1+7{,}8x_2+8{,}1x_3+8{,}3x_4)}{1073.8} \\
& \lambda \leq \frac{3023.2-(0{,}15x_1+11{,}6x_2+10x_3+4{,}8x_4)}{2733.7} \\
& \lambda \leq \frac{(83x_1+87x_2+69x_3+70x_4)-16841}{6784} \\
& \lambda \leq \frac{(95x_1+80x_2+75x_3+60x_4)-16270}{8280} \\
& \lambda \leq \frac{275-(x_1+x_2+x_3+x_4)}{25} \\
& \lambda \leq \frac{(x_1+x_2+x_3+x_4)-225}{25} \\
& x_1 \leq 170 \\
& x_2 \leq 200 \\
& x_3 \leq 66 \\
& x_4 \leq 70 \\
& x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \text{ ve } x_1, x_2, x_3, x_4 \text{ tamsayı}
\end{aligned}
\tag{23}
$$

biçiminde modellenir. Eşitlik (23) ile verilen P_7 problemi WinQSB programında çözülerek, karar değişkenlerine ilişkin değerler ve amaç fonksiyonu değeri,

$\lambda = 0{,}5265$ ve x_i değerleri de

$x_1 = 119$, $x_2 = 39$, $x_3 = 66$, $x_4 = 37$

biçiminde elde edilmiştir.

Buradan P_6 modelindeki amaç fonksiyonu değerleri,

Z_1 =90987 , Z_2 =1633.8 , $Z_3 = 1307.85$ $Z_4 = 20414$, $Z_5 = 21595$

olarak elde edilir.

Üçgen bulanık sayılardan oluşan ağırlıklar MATLAB programında yazılan kod yardımı ile elde edilmektedir. Program girdisi olarak Tablo 12' deki üçgensel bulanık sayılardan elde edilmiş uzman görüşleri kullanılmaktadır.

Tablo 12. Örnek 2 için üçgensel bulanık sayılardan elde edilmiş uzman görüşleri

	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)
	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(1,2,3)	(3,4,5)
A	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)
	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)
	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)
	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)
	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)
B	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)
	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)
	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)
	(0.2,0.25,0.33)	(0.2,0.25,0.33)	(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)
	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)
C	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5
	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5)
	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(1,1,1)	(0.2,0.25,0.33)	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)
	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
D	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(2,3,4)	(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(1,2,3)
	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)
	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(3,4,5)	(1,1,1)	(0.33,0.5,1)	(2,3,4)
	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(1,2,3)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(1,2,3)
	(0.33,0.5,1)	(0.25,0.33,0.5)	(1,2,3)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)
E	(0.33,0.5,1)	(0.25,0.33,0.5)	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,1,1)	(1,2,3)
	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5)	(2,3,4)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)	(2,3,4)
	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,1,1)	(2,3,4)
	(0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1)	(1,2,3)	(0.25,0.33,0.5	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)
	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(1,2,3)	(0.25,0.33,0.5	(0.25,0.33,0.5	(1,1,1)
F	(0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5)	(2,3,4)	(0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1)	(1,1,1)
	(0.25,0.33,0.5)	(0.2,0.25,0.33)	(2,3,4)	(0.33,0.5,1)	(0.25,0.33,0.5	(1,1,1)
	(0.2,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.5)	(1,2,3)	(0.25,0.33,0.5	(0.25,0.33,0.5	(1,1,1)

Üçgen bulanık sayılar ile ağırlık hesaplama algoritması kullanılarak elde edilen ağırlıklar,

$$W = [0.2720 \quad 0.2574 \quad 0.2162 \quad 0.1540 \quad 0.0991 \quad 0.0013]$$

biçimindedir.

Problem Hibrit yaklaşımı ile Tablo 11'deki sonuçlar kullanılarak;

$$
\begin{aligned}
P_8: \quad & max\ \ 0.3025\lambda_1 + 0.2601\lambda_2 + 0\lambda_3 + 0.2129\lambda_4 + 0.1554\lambda_5 + 0.0690\gamma_1 \\
& \lambda_1 \leq \frac{128430 - (501x_1 + 412x_2 + 141x_3 + 162x_4)}{71116} \\
& \lambda_2 \leq \frac{2199.8 - (4{,}1x_1 + 7{,}8x_2 + 8{,}1x_3 + 8{,}3x_4)}{1073.8} \\
& \lambda_3 \leq \frac{3023.2 - (0{,}15x_1 + 11{,}6x_2 + 10x_3 + 4{,}8x_4)}{2733.7} \\
& \lambda_4 \leq \frac{(83x_1 + 87x_2 + 69x_3 + 70x_4) - 16841}{6784} \\
& \lambda_5 \leq \frac{(95x_1 + 80x_2 + 75x_3 + 60x_4) - 16270}{8280} \\
& \gamma_1 \leq \frac{275 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{25} \\
& \gamma_1 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - 225}{25} \\
& x_1 \leq 170 \\
& x_2 \leq 200 \\
& x_3 \leq 66 \\
& x_4 \leq 70 \\
& x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \text{ ve } x_1, x_2, x_3, x_4 \text{ tamsayı}
\end{aligned} \tag{24}
$$

biçiminde modellenir. Eşitlik (24) ile verilen P_8 problemi WinQSB programında çözülerek, karar değişkenlerine ilişkin değerler ve amaç fonksiyonu değeri,

$\lambda = 0{,}6045$ ve $\lambda_1 = 0{,}4456$, $\lambda_2 = 0{,}7934$, $\lambda_3 = 0$, $\lambda_4 = 0{,}4132$, $\lambda_5 = 0{,}6848$, $\gamma_1 = 1$ ve x_i değerleri de

$x_1 = 170$, $x_2 = 0$, $x_3 = 66$, $x_4 = 14$

biçiminde elde edilmiştir.

Buradan P_6 modelindeki amaç fonksiyonu değerleri,

$Z_1 = 96744$, $Z_2 = 1347.8$, $Z_3 = 752.7$, $Z_4 = 19644$, $Z_5 = 21940$

olarak elde edilir.

Yamuk bulanık sayılardan oluşan ağırlıklar MATLAB programında yazılan kod ile elde edilmektedir. Program girdisi olarak Tablo 13' deki yamuk bulanık sayılardan elde edilmiş uzman görüşleri kullanılmaktadır.

Tablo 13. Örnek 2 için yamuk bulanık sayılardan elde edilmiş uzman görüşleri

	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (2,3,5,6)
B	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(1,3,5,7) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (2,3,5,6) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5)
C	(0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(1,3,5,7) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (2,3,5,6)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,2,4,5)
D	(0.28,0.33,1,2) (0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.16, … ,0.5)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5)	(1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5)
E	(0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5)
F	(0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.16, … ,0.5)	(0.28, … ,2) (0.16, … ,0.5) (0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1)	(0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1)	(0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)

Problem Hibrit yaklaşımı ile Tablo 11'deki sonuçlar kullanılarak,

$$P_9: \quad \begin{aligned} & max\ \ 0.2890\lambda_1 + 0.2696\lambda_2 + 0.2091\lambda_3 + 0.1437\lambda_4 + 0.0886\lambda_5 + 0\gamma_1 \\ & \lambda_1 \leq \frac{128430 - (501x_1 + 412x_2 + 141x_3 + 162x_4)}{71116} \\ & \lambda_2 \leq \frac{2199.8 - (4{,}1x_1 + 7{,}8x_2 + 8{,}1x_3 + 8{,}3x_4)}{1073.8} \\ & \lambda_3 \leq \frac{3023.2 - (0{,}15x_1 + 11{,}6x_2 + 10x_3 + 4{,}8x_4)}{2733.7} \\ & \lambda_4 \leq \frac{(83x_1 + 87x_2 + 69x_3 + 70x_4) - 16841}{6784} \\ & \lambda_5 \leq \frac{(95x_1 + 80x_2 + 75x_3 + 60x_4) - 16270}{8280} \\ & \gamma_1 \leq \frac{275 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{25} \\ & \gamma_1 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) - 225}{25} \\ & x_1 \leq 170 \\ & x_2 \leq 200 \\ & x_3 \leq 66 \\ & x_4 \leq 70 \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0 \\ & \text{ve } \ x_1, x_2, x_3, x_4 \text{ tamsayı} \end{aligned} \tag{25}$$

biçiminde modellenir. Eşitlik (25) ile verilen P_9 problemi WinQSB programında çözülerek, karar değişkenlerine ilişkin değerler ve amaç fonksiyonu değeri,

$\lambda = 0{,}6691$ ve $\lambda_1 = 0{,}4830$, $\lambda_2 = 0{,}9744$, $\lambda_3 = 0{,}1$, $\lambda_4 = 0{,}1649$, $\lambda_5 = 0{,}3841$,

$\gamma_1 = 0$ ve x_i değerleri de

$x_1 = 170$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$, $x_4 = 55$

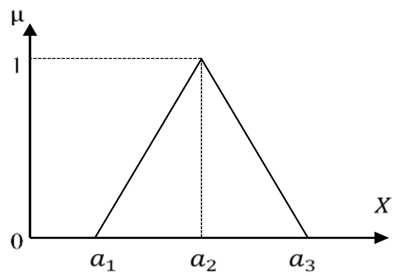
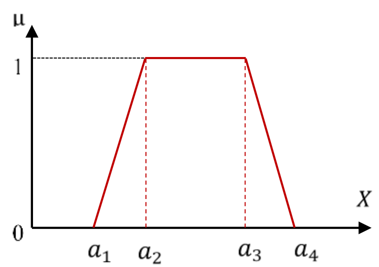
biçiminde elde edilmiştir.

Buradan P_6 modelindeki amaç fonksiyonu değerleri,

$Z_1 = 94080$, $Z_2 = 1153.5$, $Z_3 = 289.5$, $Z_4 = 17960$, $Z_5 = 19450$

olarak elde edilir. Sonuçlar Tablo 14' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 14. Örnek 2' ye ilişkin farklı yöntemlerden elde edilen çözümler

	AĞIRLIK	GRAFİK	λ_i	x_i	λ	Z_i
ZİMMERMAN				$x_1 = 119$ $x_2 = 39$ $x_3 = 66$ $x_4 = 37$	$\lambda = 0.5265$	$Z_1 = 90987$ $Z_2 = 1633.8$ $Z_3 = 1307.85$ $Z_4 = 20414$ $Z_5 = 21595$
ÜÇGEN BULANIK SAYI	$W = \begin{bmatrix} 0.3025 \\ 0.2601 \\ 0 \\ 0.2129 \\ 0.1554 \\ 0.0690 \end{bmatrix}$		$\lambda_1 = 0.4456$ $\lambda_2 = 0.7934$ $\lambda_3 = 0$ $\lambda_4 = 0.4132$ $\lambda_5 = 0.6848$ $\gamma_1 = 1$	$x_1 = 170$ $x_2 = 0$ $x_3 = 66$ $x_4 = 14$	$\lambda = 0.6045$	$Z_1 = 96744$ $Z_2 = 1347.8$ $Z_3 = 752.7$ $Z_4 = 19644$ $Z_5 = 21940$
YAMUK BULANIK SAYI	$W = \begin{bmatrix} 0.2890 \\ 0.2696 \\ 0.2091 \\ 0.1437 \\ 0.0886 \\ 0 \end{bmatrix}$		$\lambda_1 = 0.4830$ $\lambda_2 = 0.9744$ $\lambda_3 = 0.1$ $\lambda_4 = 0.1649$ $\lambda_5 = 0.3841$ $\gamma_1 = 0$	$x_1 = 170$ $x_2 = 0$ $x_3 = 0$ $x_4 = 55$	$\lambda = 0.6691$	$Z_1 = 94080$ $Z_2 = 1153.5$ $Z_3 = 289.5$ $Z_4 = 17960$ $Z_5 = 19450$

Örnek 2 Zimmerman yaklaşımı, üçgensel sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı ve yamuk sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı ile çözülmüş ve sonuçlar Tablo 14' deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 14' de görüldüğü üzere amaç fonksiyonu değeri olan λ, en yüksek değere yamuk sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımının çözümünde ulaşmıştır.

2.4. Uygulama

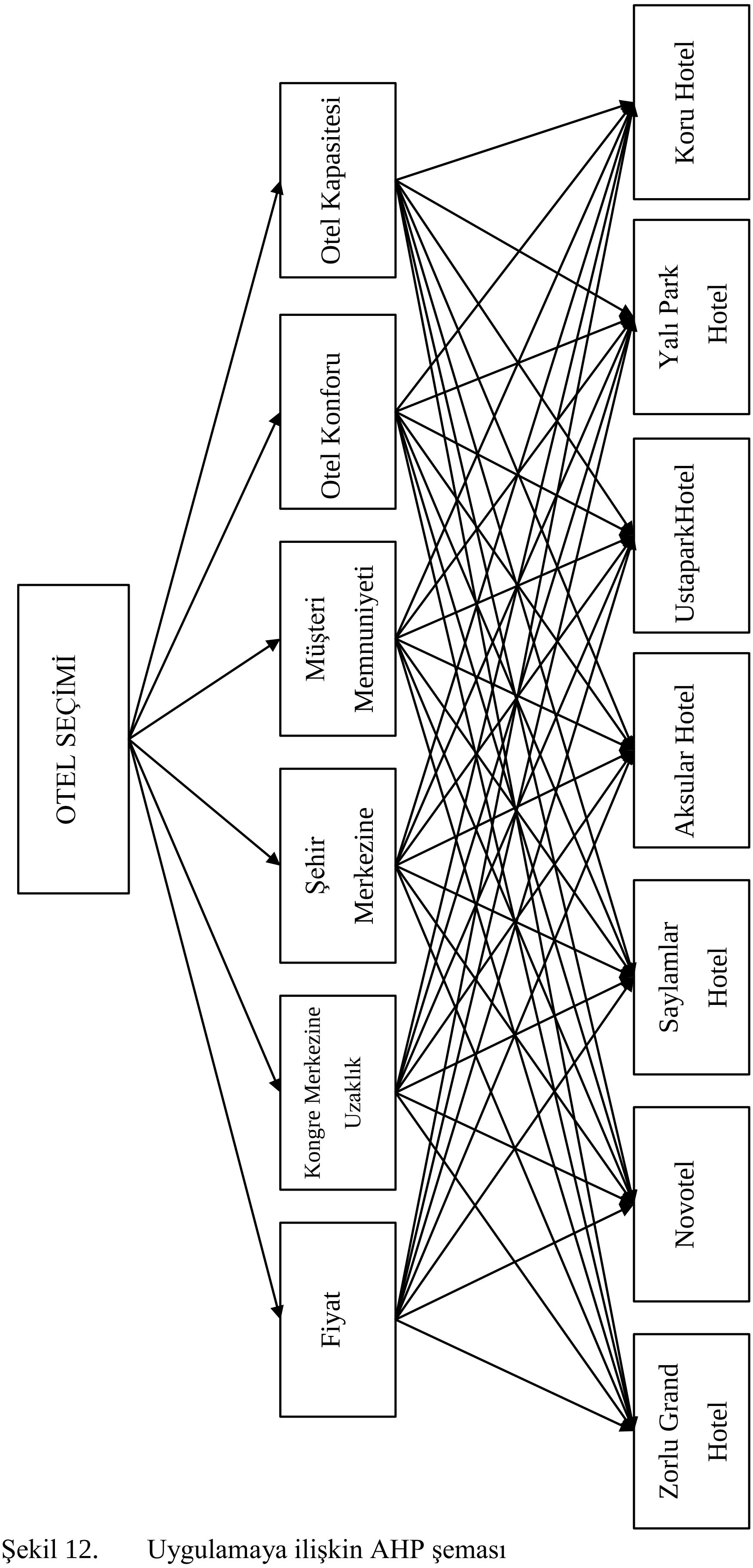
Trabzon şehrinde bilimsel bir kongre düzenlenecektir. Ve bu kongre yaklaşık 500 kişinin katılacağı düşünülmektedir. Organizasyon şirketi bu şehirde var olan yedi otele ilişkin oda fiyatı, otelin kongre merkezine ve şehir merkezine uzaklığı, otelin müşteri memnuniyeti, otellerin konforu ve otellerin kapasite bilgilerini belirlemiştir. Katılımcıların bu yedi otele yukarıda belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun biçimde yerleştirilmeleri amaçlanmaktadır. Belirlenen kriterlere ilişkin sayısal bilgiler Tablo 15'de yer almaktadır.

Tablo 15. Otel bilgileri

OTELLER	TEK KİŞİLİK ODA FİYATI	KONGRE MERKEZİNE UZAKLIK (Gidiş+Dönüş)	ŞEHİR MERKEZİNE UZAKLIK (Gidiş+Dönüş)	MÜŞTERİ MEMNUNİYETİ YÜZDESİ (%)	OTEL KONFORU YÜZDESİ (OTEL YILDIZI SAYISINA BAĞLI)(%)	OTEL KAPASİTELERİ
ZORLU GRAND HOTEL	242 ₺	8.5 km	0,36 km	82	95(5 yıldız)	157 oda
NOVOTEL	250 ₺	19 km	22.6 km	84	85(4 yıldız)	200 oda
SAYLAMLAR HOTEL	120 ₺	18.8 km	22.2 km	63	75(4 yıldız)	66 oda
AKSULAR HOTEL	153 ₺	15.8 km	8.2 km	67	60(3 yıldız)	69 oda
USTAPARK HOTEL	135 ₺	7.4 km	0,52 km	59	70(4 yıldız)	120 oda
YALI PARK HOTEL	181 ₺	9.3 km	16.2 km	76	75(4 yıldız)	88 oda
KORU HOTEL	90 ₺	0.10 km	6.9 km	79	80(4 yıldız)	108 oda

Verilen bilgiler ışığında organizasyon şirketi otellerin toplam oda fiyatlarının, kongre merkezine uzaklıklarının ve şehir merkezine uzaklıklarının minimum olmasını amaçlarken, müşteri memnuniyetinin ve otel konforunun maksimum olmasını amaçlamaktadır.

Altı kritere ve yedi seçeneğe sahip probleme ilişkin AHP şeması Şekil 12' de verilmiştir.



Şekil 12. Uygulamaya ilişkin AHP şeması

Verilen otel kapasiteleri kısıtı altında, problem

x_i: i. otelde konaklayacak katılımcı sayısını göstermek üzere;

$Z_{1(min)} = 242x_1 + 250x_2 + 120x_3 + 153x_4 + 135x_5 + 181x_6 + 90x_7$

$Z_{2(min)} = 8.5x_1 + 19x_2 + 18.8x_3 + 15.8x_4 + 7.4x_5 + 9.3x_6 + 0.10x_7$

$Z_{3(min)} = 0.36x_1 + 22.6x_2 + 22.2x_3 + 8.2x_4 + 0.52x_5 + 16.2x_6 + 6.9x_7$

$Z_{4(max)} = 82x_1 + 84x_2 + 63x_3 + 67x_4 + 59x_5 + 76x_6 + 79x_7$

$Z_{5(max)} = 95x_1 + 85x_2 + 75x_3 + 60x_4 + 70x_5 + 75x_6 + 80x_7$

$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 500$

$x_1 \leq 157$

$x_2 \leq 200$

$x_3 \leq 66$

$x_4 \leq 69$

$x_5 \leq 120$

$x_6 \leq 88$

$x_7 \leq 108$

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0, x_6 \geq 0, x_7 \geq 0$

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ tamsayı

biçiminde modellenmiştir.

Her bir amaç fonksiyonu modelin kısıtları altında maksimum ve minimum değerlerini verecek şekilde WinQSB programında yapılan hesaplamalar Ek Tablolar olarak Ekler kısmında verilmiştir.

Beş adet hedeften her birine ilişkin çözümler Tablo 16' da yer almaktadır.

Tablo 16. Amaç fonksiyonu değerleri

Amaç fonksiyonu	$\boldsymbol{\mu = 0}$ $(\boldsymbol{maximum})$	$\boldsymbol{\mu = 1}$ $(\boldsymbol{minimum})$	$(\boldsymbol{\mu = 0}) - (\boldsymbol{\mu = 1})$
Z_1	115964	66133	49831
Z_2	7816.4	3083.3	4733.1
Z_3	8680.4	1770.12	6910.28
Z_4	42766	33049	9717
Z_5	45055	34770	10285

Problem Zimmerman yaklaşımı ile Tablo 16' daki sonuçlar kullanılarak,

$$P_{10}: \quad Max\ \lambda$$

$$\lambda \le \frac{115964 - (242x_1 + 250x_2 + 120x_3 + 153x_4 + 135x_5 + 181x_6 + 90x_7)}{49831}$$

$$\lambda \le \frac{7816.4 - (8.5x_1 + 19x_2 + 18.8x_3 + 15.8x_4 + 7.4x_5 + 9.3x_6 + 0.10x_7)}{4733.1}$$

$$\lambda \le \frac{8680.4 - (0.36x_1 + 22.6x_2 + 22.2x_3 + 8.2x_4 + 0.52x_5 + 16.2x_6 + 6.9x_7)}{6910.28}$$

$$\lambda \le \frac{(82x_1 + 84x_2 + 63x_3 + 67x_4 + 59x_5 + 76x_6 + 79x_7) - 33049}{9717}$$

$$\lambda \le \frac{(95x_1 + 85x_2 + 75x_3 + 60x_4 + 70x_5 + 75x_6 + 80x_7) - 34770}{10285}$$

$$\lambda \le \frac{525 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)}{25}$$

$$\lambda \le \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) - 475}{25}$$

$$x_1 \le 157$$

$$x_2 \le 200$$

$$x_3 \le 66$$

$$x_4 \le 69$$

$$x_5 \le 120$$

$$x_6 \le 88$$

$$x_7 \le 108$$

$x_1 \ge 0, x_2 \ge 0, x_3 \ge 0, x_4 \ge 0, x_5 \ge 0, x_6 \ge 0$ ve $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ tamsayı

biçiminde modellenir.

Uygulamanın Zimmerman yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi ve programdan elde edilen sonuçlar Tablo 17 ve Tablo 18' de yer almaktadır.

Tablo 17. Uygulamanın Zimmerman yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Direction	R. H. S.
Maximize	1	0	0	0	0	0	0	0		
C1	49831	242	250	120	153	135	181	90	<=	115964
C2	4733.1	8.5	19	18.8	15.8	7.4	9.3	0.10	<=	7816.4
C3	6910.28	0.36	22.6	22.2	8.2	0.52	16.2	6.9	<=	8680.4
C4	-9717	82	84	63	67	59	76	79	>=	33049
C5	-10285	95	85	75	60	70	75	80	>=	34770
C6	25	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C7	-25	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C8	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C9	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C10	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C11	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C12	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C13	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C14	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Tablo 18. Uygulamanın Zimmerman yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	23:07:21		Thursday	November	06	2014
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1	X1	0,5757	1,0000	0,5757	0	basic
2	X2	157,0000	0	0	-0,0049	at bound
3	X3	19,0000	0	0	-0,0050	at bound
4	X4	66,0000	0	0	-0,0024	at bound
5	X5	69,0000	0	0	-0,0031	at bound
6	X6	3,0000	0	0	-0,0027	at bound
7	X7	88,0000	0	0	-0,0036	at bound
8	X8	108,0000	0	0	-0,0018	at bound
	Objective	Function	(Max.) =	0,5757		
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price
1	C1	115.964,0000	<=	115.964,0000	0	0,0000
2	C2	7.602,9630	<=	7.816,4000	213,4367	0
3	C3	8.667,8460	<=	8.680,4000	12,5543	0
4	C4	33.053,4800	>=	33.049,0000	4,4759	0
5	C5	35.148,4500	>=	34.770,0000	378,4522	0
6	C6	524,3937	<=	525,0000	0,6063	0
7	C7	495,6064	>=	475,0000	20,6063	0
8	C8	157,0000	<=	157,0000	0	0
9	C9	19,0000	<=	200,0000	181,0000	0
10	C10	66,0000	<=	66,0000	0	0
11	C11	69,0000	<=	69,0000	0	0
12	C12	3,0000	<=	120,0000	117,0000	0
13	C13	88,0000	<=	88,0000	0	0
14	C14	108,0000	<=	108,0000	0	0

Probleme ilişkin amaç fonksiyonu değeri $\lambda = 0{,}5757$ olarak belirlenmiş ve karar değişkenlerinin değerleri,

$x_1 = 157$, $x_2 = 19$, $x_3 = 66$, $x_4 = 69$, $x_5 = 3$, $x_6 = 88$ $x_7 = 108$

biçiminde elde edilmiş ve bu değerlere bağlı olarak amaç fonksiyonlarının değerleri,

$Z_1 = 87274$, $Z_2 = 4877.9$, $Z_3 = 4689.3$, $Z_4 = 38648$, $Z_5 = 41070$

biçiminde hesaplanmıştır.

Problemin Hibrit yaklaşımı ile çözümünde, kriterler 5 uzman tarafından değerlendirilip, her bir kriter ikilisi üçgen bulanık sayılar ile karşılaştırılmış ve karşılaştırma değerleri Tablo 19'da verilmiştir.

Kriterler;

K_1: Otelin kişi başı ortalama fiyatı,

K_2: Otelin kongre merkezine olan uzaklığı,

K_3: Otelin şehir merkezine olan uzaklığı,

K_4: Otelin müşteri memnuniyeti,

K_5: Otelin konforu,

K_6: Otelin kapasitesi,

olarak tanımlanmıştır.

Tablo 19. Üçgen bulanık sayılardan elde edilmiş kriter karşılaştırması

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
K_1	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(1,2,3) (1,2,3) (2,3,4) (2,3,4) (1,2,3)	(2,3,4) (1,2,3) (2,3,4) (2,3,4) (1,2,3)	(1,2,3) (2,3,4) (3,4,5) (2,3,4) (1,2,3)	(1,2,3) (2,3,4) (1,2,3) (2,3,4) (1,2,3)	(2,3,4) (1,2,3) (1,2,3) (2,3,4) (3,4,5)
K_2	(0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(3,4,5) (2,3,4) (2,3,4) (1,2,3) (2,3,4)	(1,2,3) (1,2,3) (1,2,3) (2,3,4) (1,2,3)	(2,3,4) (3,4,5) (3,4,5) (2,3,4) (1,2,3)	(1,2,3) (2,3,4) (2,3,4) (3,4,5) (2,3,4)
K_3	(0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1)	(0.2,0.25,0.33) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(3,4,5) (2,3,4) (2,3,4) (2,3,4) (3,4,5)	(1,2,3) (1,2,3) (2,3,4) (2,3,4) (1,2,3)	(1,2,3) (1,2,3) (2,3,4) (2,3,4) (2,3,4)
K_4	(0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.2,0.25,0.33) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1)	(0.2,0.25,0.33) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.2,0.25,0.33)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(1,2,3) (1,2,3) (2,3,4) (1,2,3) (2,3,4)	(2,3,4) (2,3,4) (1,2,3) (1,2,3) (2,3,4)
K_5	(0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1)	(0.25,0.33,0.5) (0.2,0.25,0.33) (0.2,0.25,0.33) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1)	(0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(1,2,3) (2,3,4) (1,2,3) (2,3,4) (2,3,4)
K_6	(0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.2,0.25,0.33)	(0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.2,0.25,0.33) (0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5)	(0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5)	(0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.33,0.5,1) (0.25,0.33,0.5) (0.25,0.33,0.5)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)

Üçgen bulanık sayılar ile ağırlık hesaplama algoritması kullanılarak elde edilen ağırlıklar şu şekilde hesaplanmıştır:

$$W = [0.2720 \quad 0.2574 \quad 0.2162 \quad 0.1540 \quad 0.0991 \quad 0.0013]$$

Problem Hibrit yaklaşımı ile Tablo 16’ daki sonuçlar kullanılarak,

$$P_{11}: \quad Max\ 0.2720\lambda_1 + 0.2574\lambda_2 + 0.2162\lambda_3 + 0.1540\lambda_4 + 0.0991\lambda_5 + 0.0013\gamma_1$$

$$\lambda_1 \leq \frac{115964 - (242x_1 + 250x_2 + 120x_3 + 153x_4 + 135x_5 + 181x_6 + 90x_7)}{49831}$$

$$\lambda_2 \leq \frac{7816.4 - (8.5x_1 + 19x_2 + 18.8x_3 + 15.8x_4 + 7.4x_5 + 9.3x_6 + 0.10x_7)}{4733.1}$$

$$\lambda_3 \leq \frac{8680.4 - (0.36x_1 + 22.6x_2 + 22.2x_3 + 8.2x_4 + 0.52x_5 + 16.2x_6 + 6.9x_7)}{6910.28}$$

$$\lambda_4 \leq \frac{(82x_1 + 84x_2 + 63x_3 + 67x_4 + 59x_5 + 76x_6 + 79x_7) - 33049}{9717}$$

$$\lambda_5 \leq \frac{(95x_1 + 85x_2 + 75x_3 + 60x_4 + 70x_5 + 75x_6 + 80x_7) - 34770}{10285}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{525 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)}{25}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) - 475}{25}$$

$$x_1 \leq 157$$

$$x_2 \leq 200$$

$$x_3 \leq 66$$

$$x_4 \leq 69$$

$$x_5 \leq 120$$

$$x_6 \leq 88$$

$$x_7 \leq 108$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0, x_6 \geq 0$$

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ tamsayı

biçiminde modellenir.

Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi ve programdan elde edilen sonuçlar Tablo 20 ve Tablo 21’ de yer almaktadır.

Tablo 20. Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	Direction	R. H. S.
Maximize	0.2720	0.2574	0.2162	0.1540	0.0991	0.0013	0	0	0	0	0	0	0		
C1	49831	0	0	0	0	0	242	250	120	153	135	181	90	<=	115964
C2	0	4733.1	0	0	0	0	8.5	19	18.8	15.8	7.4	9.3	0.10	<=	7816.4
C3	0	0	6910.28	0	0	0	0.36	22.6	22.2	8.2	0.52	16.2	6.9	<=	8680.4
C4	0	0	0	-9717	0	0	82	84	63	67	59	76	79	>=	33049
C5	0	0	0	0	-10285	0	95	85	75	60	70	75	80	>=	34770
C6	0	0	0	0	0	25	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C7	0	0	0	0	0	-25	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Tablo 21. Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	23:37:32		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0,7187	0,2720	0,1955	0	basic	0,1877	0,6815
2	X2	1,0000	0,2574	0,2574	0	basic	0,1798	M
3	X3	0,9224	0,2162	0,1994	0	basic	0,0484	0,4214
4	X4	0,2325	0,1540	0,0358	0	basic	0	0,1916
5	X5	0,3797	0,0991	0,0376	0	basic	0	0,1435
6	X6	0	0,0013	0	-0,0065	at bound	-M	0,0078
7	X7	157,0000	0	0	0	basic	-0,0007	M
8	X8	0	0	0	-0,0006	at bound	-M	0,0006
9	X9	0	0	0	-0,0003	at bound	-M	0,0003
10	X10	2,0000	0	0	0	basic	-0,0003	0,0002
11	X11	120,0000	0	0	0	basic	-0,0008	M
12	X12	88,0000	0	0	0	basic	-0,0002	M
13	X13	108,0000	0	0	0	basic	-0,0016	M
	Objective	Function	(Max.) =	0,7258				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	115.964,0000	<=	115.964,0000	0	0,0000	80.148,0000	M
2	C2	7.816,3990	<=	7.816,4000	0	0,0001	3.083,3000	M
3	C3	8.680,4000	<=	8.680,4000	0	0,0000	2.306,1200	M
4	C4	33.049,0000	>=	33.049,0000	0	0,0000	-M	35.308,0000
5	C5	34.770,0000	>=	34.770,0000	0	0,0000	-M	38.675,0000
6	C6	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
7	C7	475,0000	>=	475,0000	0	-0,0003	473,0000	525,0000
8	C8	157,0000	<=	157,0000	0	0,0007	90,0000	159,0000
9	C9	0	<=	200,0000	200,0000	0	0	M
10	C10	0	<=	66,0000	66,0000	0	0	M
11	C11	2,0000	<=	69,0000	67,0000	0	2,0000	M
12	C12	120,0000	<=	120,0000	0	0,0008	53,0000	122,0000
13	C13	88,0000	<=	88,0000	0	0,0002	21,0000	90,0000
14	C14	108,0000	<=	108,0000	0	0,0016	41,0000	110,0000

Probleme ilişkin amaç fonksiyonu değerleri WinQSB programında çözülerek karar değişkenine ilişkin değerler ve amaç fonksiyonu değerleri

$\lambda = 0{,}7258$ ve $\lambda_1 = 0.7187$, $\lambda_2 = 1$, $\lambda_3 = 0.9224$, $\lambda_4 = 0.2325$, $\lambda_5 = 0.3797$, $\gamma_1 = 0$

$x_1 = 157$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$, $x_4 = 2$, $x_5 = 120$, $x_6 = 88$, $x_7 = 108$

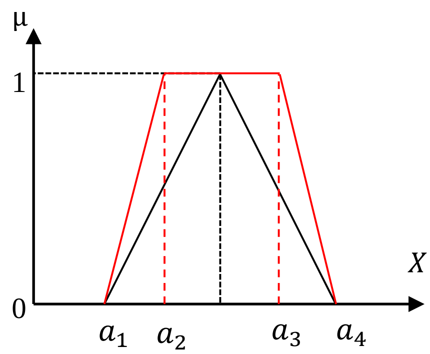
biçiminde elde edilmiş ve bu değerlere bağlı olarak amaç fonksiyonlarının değerleri,

$Z_1 = 104348$, $Z_2 = 3083.3$, $Z_3 = 2306.1$, $Z_4 = 35308$, $Z_5 = 38675$

biçiminde hesaplanmıştır.

Uzman değerlendirmeleri ayrıca üçgen bulanık sayı ile aynı merkezli 2 farklı yapıda yamuk bulanık sayı oluşturulmuştur, bu uzman değerlendirmeleri Tablo 22 ve Tablo 25' de yer almaktadır.

Şekil 13'de yer alan yamuk bulanık sayı üçgensel bulanık sayı ile aynı merkezli ve aynı sağ ve sol yayılıma sahip yamuk bulanık sayıdır,



Şekil 13. 1. Yamuk bulanık sayı

Problemin Hibrit yaklaşımı ile çözümünde, kriterler 5 uzman tarafından değerlendirilip, her bir kriter ikilisi yamuk bulanık sayılar ile karşılaştırılmış ve karşılaştırma değerleri Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22. 1. Yamuk bulanık sayılardan oluşturulmuş kriter karşılaştırması

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
K_1	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (2,3,5,6)
K_2	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(1,3,5,7) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,3,5,7) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (2,3,5,6) (1,2,4,5) (1,3,5,7) (1,2,4,5)
K_3	(0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(1,3,5,7) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (2,3,5,6)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5) (1,2,4,5)
K_4	(0.28,0.33,1,2) (0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.16, … ,0.5)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5)	(1,2,4,5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5)
K_5	(0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)	(0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (0.5,1,3,3.5) (1,2,4,5) (1,2,4,5)
K_6	(0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.16, … ,0.5)	(0.28, … ,2) (0.16, … ,0.5) (0.2, … ,1) (0.14, … ,1) (0.2, … ,1)	(0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1)	(0.2, … ,1) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1)	(0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.28, … ,2) (0.2, … ,1) (0.2, … ,1)	(1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1) (1,1,1,1)

1. yamuk bulanık sayılar ile ağırlık hesaplama algoritması kullanılarak elde edilen ağırlıklar şu şekilde hesaplanmıştır:

$$W = [0.2890 \quad 0.2696 \quad 0.2091 \quad 0.1437 \quad 0.0886 \quad 0]$$

Problem Hibrit yaklaşımı ile Tablo 16' daki sonuçlar kullanılarak,

$$P_{12}: \quad Max\ 0.2890\lambda_1 + 0.2696\lambda_2 + 0.2091\lambda_3 + 0.1437\lambda_4 + 0.0886\lambda_5 + 0\gamma_1$$

$$\lambda_1 \leq \frac{115964 - (242x_1 + 250x_2 + 120x_3 + 153x_4 + 135x_5 + 181x_6 + 90x_7)}{49831}$$

$$\lambda_2 \leq \frac{7816.4 - (8.5x_1 + 19x_2 + 18.8x_3 + 15.8x_4 + 7.4x_5 + 9.3x_6 + 0.10x_7)}{4733.1}$$

$$\lambda_3 \leq \frac{8680.4 - (0.36x_1 + 22.6x_2 + 22.2x_3 + 8.2x_4 + 0.52x_5 + 16.2x_6 + 6.9x_7)}{6910.28}$$

$$\lambda_4 \leq \frac{(82x_1 + 84x_2 + 63x_3 + 67x_4 + 59x_5 + 76x_6 + 79x_7) - 33049}{9717}$$

$$\lambda_5 \leq \frac{(95x_1 + 85x_2 + 75x_3 + 60x_4 + 70x_5 + 75x_6 + 80x_7) - 34770}{10285}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{525 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)}{25}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) - 475}{25}$$

$$x_1 \leq 157$$

$$x_2 \leq 200$$

$$x_3 \leq 66$$

$$x_4 \leq 69$$

$$x_5 \leq 120$$

$$x_6 \leq 88$$

$$x_7 \leq 108$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0, x_6 \geq 0,\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \ \text{tamsayı}$$

biçiminde modellenir.

Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi ve programdan elde edilen sonuçlar Tablo 23 ve Tablo 24' de yer almaktadır.

Tablo 23. Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	Direction	R. H. S.
Maximize	0.2890	0.2696	0.2091	0.1437	0.0886	0	0	0	0	0	0	0	0		
C1	49831	0	0	0	0	0	242	250	120	153	135	181	90	<=	115964
C2	0	4733.1	0	0	0	0	8.5	19	18.8	15.8	7.4	9.3	0.10	<=	7816.4
C3	0	0	6910.28	0	0	0	0.36	22.6	22.2	8.2	0.52	16.2	6.9	<=	8680.4
C4	0	0	0	-9717	0	0	82	84	63	67	59	76	79	>=	33049
C5	0	0	0	0	-10285	0	95	85	75	60	70	75	80	>=	34770
C6	0	0	0	0	0	25	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C7	0	0	0	0	0	-25	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Tablo 24. Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	23:40:08		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0,7187	0,2890	0,2077	0	basic	0,1171	0,6587
2	X2	1,0000	0,2696	0,2696	0	basic	0,1115	M
3	X3	0,9224	0,2091	0,1929	0	basic	0,0447	0,4061
4	X4	0,2325	0,1437	0,0334	0	basic	0	0,2202
5	X5	0,3797	0,0886	0,0336	0	basic	0	0,1791
6	X6	0	0	0	-0,0132	at bound	-M	0,0132
7	X7	157,0000	0	0	0	basic	-0,0007	M
8	X8	0	0	0	-0,0007	at bound	-M	0,0007
9	X9	0	0	0	-0,0003	at bound	-M	0,0003
10	X10	2,0000	0	0	0	basic	-0,0003	0,0002
11	X11	120,0000	0	0	0	basic	-0,0008	M
12	X12	88,0000	0	0	0	basic	-0,0002	M
13	X13	108,0000	0	0	0	basic	-0,0016	M
	Objective	Function	(Max.) =	0,7372				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	115.964,0000	<=	115.964,0000	0	0,0000	80.148,0000	M
2	C2	7.816,3990	<=	7.816,4000	0	0,0001	3.083,3000	M
3	C3	8.680,4000	<=	8.680,4000	0	0,0000	2.306,1200	M
4	C4	33.049,0000	>=	33.049,0000	0	0,0000	-M	35.308,0000
5	C5	34.770,0000	>=	34.770,0000	0	0,0000	-M	38.675,0000
6	C6	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
7	C7	475,0000	>=	475,0000	0	-0,0005	473,0000	525,0000
8	C8	157,0000	<=	157,0000	0	0,0007	90,0000	159,0000
9	C9	0	<=	200,0000	200,0000	0	0	M
10	C10	0	<=	66,0000	66,0000	0	0	M
11	C11	2,0000	<=	69,0000	67,0000	0	2,0000	M
12	C12	120,0000	<=	120,0000	0	0,0008	53,0000	122,0000
13	C13	88,0000	<=	88,0000	0	0,0002	21,0000	90,0000
14	C14	108,0000	<=	108,0000	0	0,0016	41,0000	110,0000

Probleme ilişkin amaç fonksiyonu değeri $\lambda = 0{,}7372$ olarak belirlenmiş ve karar değişkenlerinin değerleri,

$x_1 = 157$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$, $x_4 = 2$, $x_5 = 120$, $x_6 = 88$, $x_7 = 108$

$\lambda_1 = 0.7187$, $\lambda_2 = 1$, $\lambda_3 = 0.9224$, $\lambda_4 = 0.2325$, $\lambda_5 = 0.3797$, $\gamma_1 = 0$

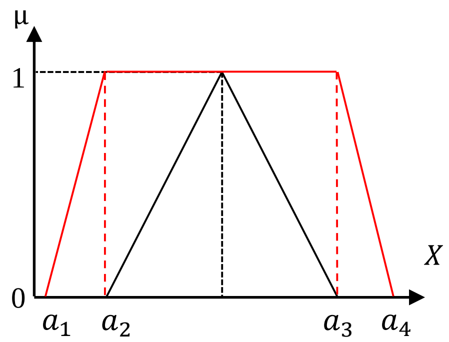
biçiminde elde edilmiş ve bu değerlere bağlı olarak amaç fonksiyonlarının değerleri

$Z_1 = 104348$, $Z_2 = 3083.3$, $Z_3 = 2306.1$, $Z_4 = 35308$, $Z_5 = 38675$

biçiminde hesaplanmıştır.

Şekil 14'de yer alan yamuk bulanık sayı üçgensel bulanık sayı ile aynı merkezli ve farklı sağ ve sol yayılıma sahip yamuk bulanık sayıdır.

.



Şekil 14. 2. Yamuk bulanık sayı

Tablo 25. 2. Yamuk bulanık sayılardan oluşturulmuş kriter karşılaştırması

	$\boldsymbol{K_1}$	$\boldsymbol{K_2}$	$\boldsymbol{K_3}$	$\boldsymbol{K_4}$	$\boldsymbol{K_5}$	$\boldsymbol{K_6}$
$\boldsymbol{K_1}$	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3)	(2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4)	(1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (3,3.6,4.4,5) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3)	(1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3)	(2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (3,3.6,4.4,5)
$\boldsymbol{K_2}$	(0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(3,3.6,4.4,5) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4)	(1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3)	(2,2.6,3.4,4) (3,3.6,4.4,5) (3,3.6,4.4,5) (2,2.6,3.4,4) (3,3.6,4.4,5)	(1,1 .6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (3,3.6,4.4,5) (2,2.6,3.4,4)
$\boldsymbol{K_3}$	(0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5)	(0.2, … ,0.33) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(3,3.6,4.4,5) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (3,3.6,4.4,5)	(1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3)	(1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4)
$\boldsymbol{K_4}$	(0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.2, … ,0.33) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1)	(0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1)	(0.2, … ,0.33) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.2, … ,0.33)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4)	(2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4)
$\boldsymbol{K_5}$	(0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1)	(0.25, … ,0.5) (0.2, … ,0.33) (0.2, … ,0.33) (0.25, … ,0.5) (0.2, … ,0.33)	(0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1)	(0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (1,1.6,2.4,3) (2,2.6,3.4,4) (2,2.6,3.4,4)
$\boldsymbol{K_6}$	(0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.2, … ,0.33)	(0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.2, … ,0.33) (0.25, … ,0.5)	(0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5)	(0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5)	(0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.33, … ,1) (0.25, … ,0.5) (0.25, … ,0.5)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)

2. yamuk bulanık sayılar ile ağırlık hesaplama algoritması kullanılarak elde edilen ağırlıklar şu şekilde hesaplanmıştır:

$$W = [0.4544 \quad 0.3825 \quad 0.1631 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

Ağırlıklara dayalı problem Tablo 16' daki sonuçlar kullanılarak Hibrit yaklaşımı ile,

$$P_{13}: \quad Max\ 0.4544\lambda_1 + 0.3825\lambda_2 + 0.1631\lambda_3 + 0\lambda_4 + 0\lambda_5 + 0\gamma_1$$

$$\lambda_1 \leq \frac{115964 - (242x_1 + 250x_2 + 120x_3 + 153x_4 + 135x_5 + 181x_6 + 90x_7)}{49831}$$

$$\lambda_2 \leq \frac{7816.4 - (8.5x_1 + 19x_2 + 18.8x_3 + 15.8x_4 + 7.4x_5 + 9.3x_6 + 0.10x_7)}{4733.1}$$

$$\lambda_3 \leq \frac{8680.4 - (0.36x_1 + 22.6x_2 + 22.2x_3 + 8.2x_4 + 0.52x_5 + 16.2x_6 + 6.9x_7)}{6910.28}$$

$$\lambda_4 \leq \frac{(82x_1 + 84x_2 + 63x_3 + 67x_4 + 59x_5 + 76x_6 + 79x_7) - 33049}{9717}$$

$$\lambda_5 \leq \frac{(95x_1 + 85x_2 + 75x_3 + 60x_4 + 70x_5 + 75x_6 + 80x_7) - 34770}{10285}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{525 - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)}{25}$$

$$\gamma_1 \leq \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6) - 475}{25}$$

$$x_1 \leq 157$$

$$x_2 \leq 200$$

$$x_3 \leq 66$$

$$x_4 \leq 69$$

$$x_5 \leq 120$$

$$x_6 \leq 88$$

$$x_7 \leq 108$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0, x_6 \geq 0$$

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ tamsayı

biçiminde modellenir.

Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi ve programdan elde edilen sonuçlar Tablo 26 ve Tablo 27' de yer almaktadır.

Tablo 26. Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	Direction	R. H. S.
Maximize	0.4544	0.3825	0.1631	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C1	49831	0	0	0	0	0	242	250	120	153	135	181	90	<=	115964
C2	0	4733.1	0	0	0	0	8.5	19	18.8	15.8	7.4	9.3	0.10	<=	7816.4
C3	0	0	6910.28	0	0	0	0.36	22.6	22.2	8.2	0.52	16.2	6.9	<=	8680.4
C4	0	0	0	-9717	0	0	82	84	63	67	59	76	79	>=	33049
C5	0	0	0	0	-10285	0	95	85	75	60	70	75	80	>=	34770
C6	0	0	0	0	0	25	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C7	0	0	0	0	0	-25	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Tablo 27. Uygulamanın Hibrit yaklaşımı ile kurulan modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	23:41:58		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0,8384	0,4544	0,3810	0	basic	0,4339	0,5505
2	X2	0,8967	0,3825	0,3430	0	basic	0,2743	0,4062
3	X3	0,8464	0,1631	0,1381	0	basic	0,0886	0,1954
4	X4	0,1291	0	0	0	basic	0	0,0237
5	X5	0,1517	0	0	0	basic	0	0,0108
6	X6	0	0	0	-0,0726	at bound	-M	0,0726
7	X7	90,0000	0	0	0	basic	-0,0002	0,0000
8	X8	0	0	0	-0,0014	at bound	-M	0,0014
9	X9	0	0	0	-0,0002	at bound	-M	0,0002
10	X10	69,0000	0	0	0	basic	0,0000	M
11	X11	120,0000	0	0	0	basic	-0,0011	M
12	X12	88,0000	0	0	0	basic	-0,0001	M
13	X13	108,0000	0	0	0	basic	-0,0019	M
	Objective	Function	(Max.) =	0,8620				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	115.964,0000	<=	115.964,0000	0	0,0000	74.185,0000	M
2	C2	7.816,3990	<=	7.816,4000	0	0,0001	3.572,4000	M
3	C3	8.680,3990	<=	8.680,4000	0	0,0000	2.831,4000	M
4	C4	33.049,0000	>=	33.049,0000	0	0	-M	34.303,0000
5	C5	34.770,0000	>=	34.770,0000	0	0	-M	36.330,0000
6	C6	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
7	C7	475,0000	>=	475,0000	0	-0,0029	459,7073	525,0000
8	C8	90,0000	<=	157,0000	67,0000	0	90,0000	M
9	C9	0	<=	200,0000	200,0000	0	0	M
10	C10	0	<=	66,0000	66,0000	0	0	M
11	C11	69,0000	<=	69,0000	0	0,0000	2,0000	113,5714
12	C12	120,0000	<=	120,0000	0	0,0011	53,0000	174,5217
13	C13	88,0000	<=	88,0000	0	0,0001	21,0000	166,0000
14	C14	108,0000	<=	108,0000	0	0,0019	41,0000	198,0000

Probleme ilişkin amaç fonksiyonu değeri $\lambda = 0{,}8620$ olarak belirlenmiş ve karar değişkenlerinin değerleri

$x_1 = 90$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$, $x_4 = 69$, $x_5 = 120$, $x_6 = 88$, $x_7 = 108$

$\lambda_1 = 0.8384$, $\lambda_2 = 8967$, $\lambda_3 = 0.8464$, $\lambda_4 = 0.1291$, $\lambda_5 = 0.1517$, $\gamma_1 = 0$

biçiminde elde edilmiş ve bu değerlere bağlı olarak amaç fonksiyonlarının değerleri

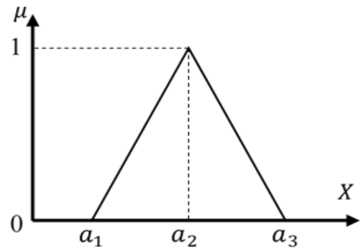
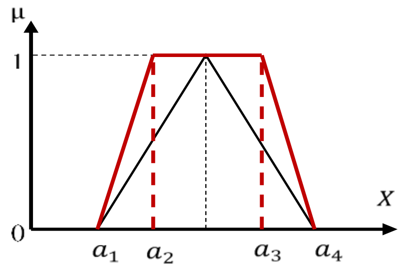
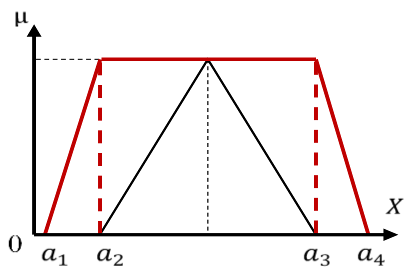
$Z_1 = 74185$, $Z_2 = 3572.4$, $Z_3 = 2831.4$, $Z_4 = 34303$, $Z_5 = 36330$

olarak elde edilmiştir.

Sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 28'de verilmiştir. Uygulama Zimmerman yaklaşımı, üçgensel sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı, aynı merkezli ve aynı sağ - sol yayılıma sahip yamuk sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı ve aynı merkezli ve farklı sağ sol yayılıma sahip yamuk bulanık sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı ile çözülmüş ve sonuçlar Tablo 28'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 28'de görüldüğü üzere amaç fonksiyonu değeri olan λ'nın en yüksek değerine aynı merkezli ve farklı sağ-sol yayılıma sahip yamuk bulanık sayılardan elde edilen ağırlıklar kullanılarak Hibrit yaklaşımı çözümünde ulaşılmıştır.

Tablo 28. Uygulamaya ilişkin farklı yöntemlerden elde edilen çözümler

	AĞIRLIK	GRAFİK	λ_i	x_i	λ	Z_i
ZİMMERMAN				$x_1 = 157$ $x_2 = 19$ $x_3 = 66$ $x_4 = 69$ $x_5 = 3$ $x_6 = 88$ $x_7 = 108$	$\lambda = 0.5757$	$Z_1 = 87274$ $Z_2 = 4877.9$ $Z_3 = 4689.3$ $Z_4 = 38648$ $Z_5 = 41070$
ÜÇGEN BULANIK SAYI	$W = \begin{bmatrix} 0.2720 \\ 0.2574 \\ 0.2162 \\ 0.1540 \\ 0.0991 \\ 0.0013 \end{bmatrix}$		$\lambda_1 = 0.7187$ $\lambda_2 = 1$ $\lambda_3 = 0.9224$ $\lambda_4 = 0.2325$ $\lambda_5 = 0.3797$ $\lambda_6 = 0$	$x_1 = 157$ $x_2 = 0$ $x_3 = 0$ $x_4 = 2$ $x_5 = 120$ $x_6 = 88$ $x_7 = 108$	$\lambda = 0.7258$	$Z_1 = 104348$ $Z_2 = 3083.3$ $Z_3 = 2306.1$ $Z_4 = 35308$, $Z_5 = 38675$
1.YAMUK BULANIK SAYI	$W = \begin{bmatrix} 0.2890 \\ 0.2696 \\ 0.2091 \\ 0.1437 \\ 0.0886 \\ 0 \end{bmatrix}$		$\lambda_1 = 0.7187$ $\lambda_2 = 1$ $\lambda_3 = 0.9224$ $\lambda_4 = 0.2325$ $\lambda_5 = 0.3797$ $\lambda_6 = 0$	$x_1 = 157$ $x_2 = 0$ $x_3 = 0$ $x_4 = 2$ $x_5 = 120$ $x_6 = 88$ $x_7 = 108$	$\lambda = 0.7372$	$Z_1 = 104348$ $Z_2 = 3083.3$ $Z_3 = 2306.1$ $Z_4 = 35308$ $Z_5 = 38675$
2.YAMUK BULANIK SAYI	$W = \begin{bmatrix} 0.4544 \\ 0.3825 \\ 0.1631 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$		$\lambda_1 = 0.8384$ $\lambda_2 = 0.8967$ $\lambda_3 = 0.8464$ $\lambda_4 = 0.1291$ $\lambda_5 = 0.1517$ $\lambda_6 = 0$	$x_1 = 90$ $x_2 = 0$ $x_3 = 0$ $x_4 = 69$ $x_5 = 120$ $x_6 = 88$ $x_7 = 108$	$\lambda = 0.8620$	$Z_1 = 74185$ $Z_2 = 3572.4$ $Z_3 = 2831.4$ $Z_4 = 34303$ $Z_5 = 36330$

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada Trabzon şehrinde yaklaşık 500 kişilik katılımcısı olan bilimsel bir konferans ele alınmıştır. Ve organizasyon şirketi bu 500 kişiyi, Trabzon şehrinde bulunan 7 adet otele optimum şekilde dağıtmayı hedeflemektedir. Bunu yaparken otellerin toplam oda fiyatını, kongre merkezine uzaklığını ve şehir merkezine uzaklığını en küçüklemeyi, müşteri memnuniyetini ve otel konforunu en büyüklemeyi hedeflemektedir.

Bu çok amaçlı problemin çözümünde bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Otellerin özelliklerinin birbiriyleriyle karşılaştırmasında uzman görüşleri alınmıştır. Problem ilk aşamada Zimmerman yaklaşımı ile çözülmüştür. Ardından aynı problem, uzman değerlendirmeleri üçgen bulanık ve iki çeşit yamuk bulanık sayı olacak şekilde üç farklı şekilde ağırlıklandırılarak Hibrit yaklaşımı ile çözülmüştür.

Problem Zimmerman yaklaşımı ile ele alındığında $\lambda = 0{,}5757$. Zorlu Grand otele 157 kişi, Novotel'e 19 kişi, Saylamlar otele 66 kişi, Aksular otele 69 kişi, Usta Park otele 3 kişi, Yalı Park otele 88 kişi, Koru otele ise 108 kişi yerleştirilmiştir. Ve amaçlar toplam oda fiyatı 87274 lira, otellerin kongre merkezine uzaklıklarının toplamı 4877.9 km, otellerin şehir merkezine uzaklıklarının toplamı 4689.3 km, toplam müşteri memnuniyeti 38648 ve toplam otel konforu 41070 olarak hesaplanmıştır.

Problem uzman görüşleri üçgen bulanık sayılar olarak ele alındığında uygulanan Hibrit yaklaşımı sonucunda $\lambda = 0{,}7258$. Zorlu Grand otele 157 kişi, Novotel'e 0 kişi, Saylamlar otele 0 kişi, Aksular otele 2 kişi, Usta Park otele 120 kişi, Yalı Park otele 88 kişi, Koru otele ise 108 kişi yerleştirilmiştir. Ve amaçlar toplam oda fiyatı 104348 lira, otellerin kongre merkezine uzaklıklarının toplamı 3083.3 km, otellerin şehir merkezine uzaklıklarının toplamı 2306.1 km, toplam müşteri memnuniyeti 35308 ve toplam otel konforu 38675 olarak hesaplanmıştır.

Problem uzman görüşleri 1. yamuk bulanık sayılar olarak ele alındığında uygulanan Hibrit yaklaşımı sonucunda $\lambda = 0{,}7372$. Zorlu Grand otele 157 kişi, Novotel'e 0 kişi, Saylamlar otele 0 kişi, Aksular otele 2 kişi, Usta Park otele 120 kişi, Yalı Park otele 88 kişi, Koru otele ise 108 kişi yerleştirilmiştir. Ve amaçlar toplam oda fiyatı 104348 lira, otellerin kongre merkezine uzaklıklarının toplamı 3083.3km, otellerin şehir merkezine uzaklıklarının toplamı 2306.1 km, toplam müşteri memnuniyeti 35308 ve toplam otel konforu 38675 olarak hesaplanmıştır.

Problem uzman görüşleri 2. yamuk bulanık sayılar olarak ele alındığında uygulanan Hibrit yaklaşımı sonucunda $\lambda = 0{,}8620$. Zorlu Grand otele 90 kişi, Novotel'e 0 kişi, Saylamlar otele 0 kişi, Aksular otele 69 kişi, Usta Park otele 120 kişi, Yalı Park otele 88 kişi, Koru otele ise 108 kişi yerleştirilmiştir. Ve amaçlar toplam oda fiyatı 74185 lira, otellerin kongre merkezine uzaklıklarının toplamı 3572.4 km, otellerin şehir merkezine uzaklıklarının toplamı 2831.4 km, toplam müşteri memnuniyeti 34303 ve toplam otel konforu 36330 olarak hesaplanmıştır. Uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuçlar Tablo 39'da özetlenmiştir.

Çok ölçütlü karar verme problemleri için önerilen algoritma, benzer problemlerin çözümleri için alternatif yöntem olarak kullanılabilir. Ayrıca çalışmada simetrik yamuk sayı tanımlanarak problemler çözümlenmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında simetrik olmayan yamuk sayı tanımlanarak çözüm süreçleri irdelenebilir.

4. KAYNAKLAR

Akman, G., ve Alkan, A., 2006. Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık Ahp Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayiinde Bir Uygulama, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9, 23-46, Türkiye.

Arıkan, V. S., 2008. Fasoncu Seçimi için AHP Modelinin Bir Tekstil İşletmesine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Chen, M., ve Wang, S. 1999. Fuzzy clustering analysis for optimizing fuzzy membership functions, Fuzzy Sets and Systems 103, 239–254.

Civanlar, M. R., ve Trussell, H. J., 1986. Constructing Membership Functions Using Statistical Data, Fuzzy Sets and Systems, 18,1, 1–13.

Çevik, O., ve Yıldırım, Y., 2010. Bulanık Doğrusal Programlama ile Süt Ürünleri İşletmesinde Bir Uygulama, KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi 12 ,18, 15-26.

Dağdeviren, M., Akay, D. ve Kurt, M., 2004. İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19,2,131–138.

Darby-Dowman, K., Lucas, C., Mitra, G.ve Yadegar, J., 1986. Linear, Integer, Seperable and Fuzzy Programming Problems: A Unified Approach Towards Reformulation, The Journal of Operation Research Society, 39,2.

Dombi, J., 1990. Membership Function As an Evaluation, Fuzzy Sets and Systems, 35,1, 1–21.

Erbay Dalkılıç, T., 2005. Switching Regresyon'da Bulanık Sinir Ağları Yaklaşımı ile Parametre Tahmini, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Ankara.

Huizingh, E. ve Vrolijk, H., 1995. Decision Support for Information Systems Management: Applying Analytic Hierarchy Process, 1–15.

Jana, B. ve Roy, T. K., 2005. Multi-Objective Fuzzy Linear Programming and Its Application in Transportation Model, Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences 21,2, 243–268.

Klir, G.J. ve Yuan, B., 1995. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Prentice-Hall, USA.

Kumar, M., Vrat, P. ve Shankar, R., 2006. A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain, International Journal of Production Economics, 101,2, 273–285.

Kuruüzüm, A., 1999. Bulanık Amaç Katsayılı Doğrusal Programlama, D.E.Ü.İ.İ.B.F. Dergisi, 14,1, 27-36.

Lai, Y. J. ve Hwang, C. L., 1992a. Fuzzy Mathematical Programming, Methods andApplications , Lecture Notes in Economics, Springer- Verlag, Berlin.

Lai, Y. J. ve Hwang, C. L., 1992b. A New Approach to Some Possibilistic Linear Programming Problem, Fuzzy Sets and Systems, 49.

Özdağoğlu, A. ve Özdağoğlu, G., 2007. Comparison of Ahp and Fuzzy Ahp for The Multi-Criteria Decision Making Processes With Linguistic Evaluations, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 65–85.

Özkan, M. M., 2003. Bulanık Hedef Programlama, Ekin Kitabevi, Bursa.

Rahman, M. M. ve Ahsan, K. B., 2011. Application of Fuzzy-AHP Extent Analysis for Supplier Selection in an Apparel Manufacturing Organization, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 1204–1208.

Rommelfanger, H., Hanuscheck, R., ve Wolf, J., 1989. Linear Programming with Fuzzy Objectives , Fuzzy Sets and Systems , 29, 31-48.

Saaty, T., 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill International Book Company, USA.

Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S. ve Thakur, L. S., 2012. Supplier Selection Using Fuzzy AHP and Fuzzy Multi-Objective Linear Programming For Developing Low Carbon Supply Chain, Expert Systems with Applications, 39,9, 8182–8192.

Sipahi, S., 2002. Ülkemiz İllerinin Yaşanabilirlik Açısından Analitik Hiyerarşi Prosesi Tekniği ile Sıralanması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Taha, H. A., 2007. Operation Research an Introduction, Eight Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey.

Takagi, T. ve Sugeno, M., 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications To Modeling and Control, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-15,1, 116–132.

Tiwari, R. N., Dharmar, S. ve Rao, J. R., 1987. Fuzzy Goal Programming - An Additive Model. Fuzzy Sets And Systems, 24,1, 27–34.

Topel, A., 2006. Analitik Hiyerarşi Prosesinin Bulanık Mantık Ortamındaki Uygulamaları Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Veerabathiran, R., 2012. Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, International Journal of Engineering Science and Technology, 4,07, 3472–3480.

Verdegay, J. L., 1984. A Dual Approach to Solve the Fuzzy Linear Programming Problem, Fuzzy Sets and Systems, 14, 131-141.

Yalcin, G. D. ve Erginel, N., 2011. Determining Weights in Multi-Objective Linear Programming Under Fuzziness, Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, II, 4–9.

Yalçın Seçme, N., 2005. Klasik Doğrusal Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlamanın Karşılaştırmalı Bir Analizi: Üretim Planlama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

Zadeh, L., 1965. Fuzzy sets, Information and Control, 353, 338–353.

Zimmermann, H.-J., 1978. Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, Fuzzy Sets And Systems, 1,1, 45–55.

5. EKLER

Ek Tablo 1. Uygulamaya ilişkin Z_1^{max} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Maximize	242	250	120	153	135	181	90		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 2. Uygulamaya ilişkin Z_1^{max} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:26:20		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	157,0000	242,0000	37.994,0000	0	basic	135,0000	M
2	X2	200,0000	250,0000	50.000,0000	0	basic	135,0000	M
3	X3	0	120,0000	0	-15,0000	at bound	-M	135,0000
4	X4	69,0000	153,0000	10.557,0000	0	basic	135,0000	M
5	X5	11,0000	135,0000	1.485,0000	0	basic	120,0000	153,0000
6	X6	88,0000	181,0000	15.928,0000	0	basic	135,0000	M
7	X7	0	90,0000	0	-45,0000	at bound	-M	135,0000
	Objective	Function	(Max.) =	115.964,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	525,0000	<=	525,0000	0	135,0000	514,0000	634,0000
2	C2	525,0000	>=	475,0000	50,0000	0	-M	525,0000
3	C3	157,0000	<=	157,0000	0	107,0000	48,0000	168,0000
4	C4	200,0000	<=	200,0000	0	115,0000	91,0000	211,0000
5	C5	0	<=	66,0000	66,0000	0	0	M
6	C6	69,0000	<=	69,0000	0	18,0000	0	80,0000
7	C7	11,0000	<=	120,0000	109,0000	0	11,0000	M
8	C8	88,0000	<=	88,0000	0	46,0000	0	99,0000
9	C9	0	<=	108,0000	108,0000	0	0	M

Ek Tablo 3. Uygulamaya ilişkin Z_1^{min} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Minimize	242	250	120	153	135	181	90		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 4. Uygulamaya ilişkin Z_1^{min} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:28:30		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	24,0000	242,0000	5.808,0000	0	basic	181,0000	250,0000
2	X2	0	250,0000	0	8,0000	at bound	242,0000	M
3	X3	66,0000	120,0000	7.920,0000	0	basic	-M	242,0000
4	X4	69,0000	153,0000	10.557,0000	0	basic	-M	242,0000
5	X5	120,0000	135,0000	16.200,0000	0	basic	-M	242,0000
6	X6	88,0000	181,0000	15.928,0000	0	basic	-M	242,0000
7	X7	108,0000	90,0000	9.720,0000	0	basic	-M	242,0000
	Objective	Function	(Min.) =	66.133,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
2	C2	475,0000	>=	475,0000	0	242,0000	451,0000	525,0000
3	C3	24,0000	<=	157,0000	133,0000	0	24,0000	M
4	C4	0	<=	200,0000	200,0000	0	0	M
5	C5	66,0000	<=	66,0000	0	-122,0000	0	90,0000
6	C6	69,0000	<=	69,0000	0	-89,0000	0	93,0000
7	C7	120,0000	<=	120,0000	0	-107,0000	0	144,0000
8	C8	88,0000	<=	88,0000	0	-61,0000	0	112,0000
9	C9	108,0000	<=	108,0000	0	-152,0000	0	132,0000

Ek Tablo 5. Uygulamaya ilişkin Z_2^{max} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Maximize	8.5	19	18.8	15.8	7.4	9.3	0.10		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 6. Uygulamaya ilişkin Z_2^{max} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:30:02		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	102,0000	8,5000	867,0000	0	basic	7,4000	9,3000
2	X2	200,0000	19,0000	3.800,0000	0	basic	8,5000	M
3	X3	66,0000	18,8000	1.240,8000	0	basic	8,5000	M
4	X4	69,0000	15,8000	1.090,2000	0	basic	8,5000	M
5	X5	0	7,4000	0	-1,1000	at bound	-M	8,5000
6	X6	88,0000	9,3000	818,4000	0	basic	8,5000	M
7	X7	0	0,1000	0	-8,4000	at bound	-M	8,5000
	Objective	Function	(Max.) =	7.816,4000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	525,0000	<=	525,0000	0	8,5000	475,0000	580,0000
2	C2	525,0000	>=	475,0000	50,0000	0	-M	525,0000
3	C3	102,0000	<=	157,0000	55,0000	0	102,0000	M
4	C4	200,0000	<=	200,0000	0	10,5000	145,0000	302,0000
5	C5	66,0000	<=	66,0000	0	10,3000	11,0000	168,0000
6	C6	69,0000	<=	69,0000	0	7,3000	14,0000	171,0000
7	C7	0	<=	120,0000	120,0000	0	0	M
8	C8	88,0000	<=	88,0000	0	0,8000	33,0000	190,0000
9	C9	0	<=	108,0000	108,0000	0	0	M

Ek Tablo 7. Uygulamaya ilişkin Z_2^{min} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Minimize	8.5	19	18.8	15.8	7.4	9.3	0.10		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 8. Uygulamaya ilişkin Z_2^{min} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:31:07		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	157,0000	8,5000	1.334,5000	0	basic	-M	15,8000
2	X2	0	19,0000	0	3,2000	at bound	15,8000	M
3	X3	0	18,8000	0	3,0000	at bound	15,8000	M
4	X4	2,0000	15,8000	31,6000	0	basic	9,3000	18,8000
5	X5	120,0000	7,4000	888,0000	0	basic	-M	15,8000
6	X6	88,0000	9,3000	818,4000	0	basic	-M	15,8000
7	X7	108,0000	0,1000	10,8000	0	basic	-M	15,8000
	Objective	Function	(Min.) =	3.083,3000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
2	C2	475,0000	>=	475,0000	0	15,8000	473,0000	525,0000
3	C3	157,0000	<=	157,0000	0	-7,3000	90,0000	159,0000
4	C4	0	<=	200,0000	200,0000	0	0	M
5	C5	0	<=	66,0000	66,0000	0	0	M
6	C6	2,0000	<=	69,0000	67,0000	0	2,0000	M
7	C7	120,0000	<=	120,0000	0	-8,4000	53,0000	122,0000
8	C8	88,0000	<=	88,0000	0	-6,5000	21,0000	90,0000
9	C9	108,0000	<=	108,0000	0	-15,7000	41,0000	110,0000

Ek Tablo 9. Uygulamaya ilişkin Z_3^{max} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Maximize	0.36	22.6	22.2	8.2	0.52	16.2	6.9		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 10. Uygulamaya ilişkin Z_3^{max} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:44:13		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0	0,3600	0	-6,5400	at bound	-M	6,9000
2	X2	200,0000	22,6000	4.520,0000	0	basic	6,9000	M
3	X3	66,0000	22,2000	1.465,2000	0	basic	6,9000	M
4	X4	69,0000	8,2000	565,8000	0	basic	6,9000	M
5	X5	0	0,5200	0	-6,3800	at bound	-M	6,9000
6	X6	88,0000	16,2000	1.425,6000	0	basic	6,9000	M
7	X7	102,0000	6,9000	703,8000	0	basic	0,5200	8,2000
	Objective	Function	(Max.) =	8.680,4000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	525,0000	<=	525,0000	0	6,9000	475,0000	531,0000
2	C2	525,0000	>=	475,0000	50,0000	0	-M	525,0000
3	C3	0	<=	157,0000	157,0000	0	0	M
4	C4	200,0000	<=	200,0000	0	15,7000	194,0000	302,0000
5	C5	66,0000	<=	66,0000	0	15,3000	60,0000	168,0000
6	C6	69,0000	<=	69,0000	0	1,3000	63,0000	171,0000
7	C7	0	<=	120,0000	120,0000	0	0	M
8	C8	88,0000	<=	88,0000	0	9,3000	82,0000	190,0000
9	C9	102,0000	<=	108,0000	6,0000	0	102,0000	M

Ek Tablo 11. Uygulamaya ilişkin Z_3^{min} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Minimize	0.36	22.6	22.2	8.2	0.52	16.2	6.9		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 12. Uygulamaya ilişkin Z_3^{min} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:45:20		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	157,0000	0,3600	56,5200	0	basic	-M	16,2000
2	X2	0	22,6000	0	6,4000	at bound	16,2000	M
3	X3	0	22,2000	0	6,0000	at bound	16,2000	M
4	X4	69,0000	8,2000	565,8000	0	basic	-M	16,2000
5	X5	120,0000	0,5200	62,4000	0	basic	-M	16,2000
6	X6	21,0000	16,2000	340,2000	0	basic	8,2000	22,2000
7	X7	108,0000	6,9000	745,2000	0	basic	-M	16,2000
	Objective	Function	(Min.) =	1.770,1200				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
2	C2	475,0000	>=	475,0000	0	16,2000	454,0000	525,0000
3	C3	157,0000	<=	157,0000	0	-15,8400	90,0000	178,0000
4	C4	0	<=	200,0000	200,0000	0	0	M
5	C5	0	<=	66,0000	66,0000	0	0	M
6	C6	69,0000	<=	69,0000	0	-8,0000	2,0000	90,0000
7	C7	120,0000	<=	120,0000	0	-15,6800	53,0000	141,0000
8	C8	21,0000	<=	88,0000	67,0000	0	21,0000	M
9	C9	108,0000	<=	108,0000	0	-9,3000	41,0000	129,0000

Ek Tablo 13. Uygulamaya ilişkin Z_4^{max} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Maximize	82	84	63	67	59	76	79		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 14. Uygulamaya ilişkin Z_4^{max} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:46:50		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	157,0000	82,0000	12.874,0000	0	basic	76,0000	M
2	X2	200,0000	84,0000	16.800,0000	0	basic	76,0000	M
3	X3	0	63,0000	0	-13,0000	at bound	-M	76,0000
4	X4	0	67,0000	0	-9,0000	at bound	-M	76,0000
5	X5	0	59,0000	0	-17,0000	at bound	-M	76,0000
6	X6	60,0000	76,0000	4.560,0000	0	basic	67,0000	79,0000
7	X7	108,0000	79,0000	8.532,0000	0	basic	76,0000	M
	Objective	Function	(Max.) =	42.766,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	525,0000	<=	525,0000	0	76,0000	475,0000	553,0000
2	C2	525,0000	>=	475,0000	50,0000	0	-M	525,0000
3	C3	157,0000	<=	157,0000	0	6,0000	129,0000	217,0000
4	C4	200,0000	<=	200,0000	0	8,0000	172,0000	260,0000
5	C5	0	<=	66,0000	66,0000	0	0	M
6	C6	0	<=	69,0000	69,0000	0	0	M
7	C7	0	<=	120,0000	120,0000	0	0	M
8	C8	60,0000	<=	88,0000	28,0000	0	60,0000	M
9	C9	108,0000	<=	108,0000	0	3,0000	80,0000	168,0000

Ek Tablo 15. Uygulamaya ilişkin Z_4^{min} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Minimize	82	84	63	67	59	76	79		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 16. Uygulamaya ilişkin Z_4^{min} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:47:39		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	24,0000	82,0000	1.968,0000	0	basic	79,0000	84,0000
2	X2	0	84,0000	0	2,0000	at bound	82,0000	M
3	X3	66,0000	63,0000	4.158,0000	0	basic	-M	82,0000
4	X4	69,0000	67,0000	4.623,0000	0	basic	-M	82,0000
5	X5	120,0000	59,0000	7.080,0000	0	basic	-M	82,0000
6	X6	88,0000	76,0000	6.688,0000	0	basic	-M	82,0000
7	X7	108,0000	79,0000	8.532,0000	0	basic	-M	82,0000
	Objective	Function	(Min.) =	33.049,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
2	C2	475,0000	>=	475,0000	0	82,0000	451,0000	525,0000
3	C3	24,0000	<=	157,0000	133,0000	0	24,0000	M
4	C4	0	<=	200,0000	200,0000	0	0	M
5	C5	66,0000	<=	66,0000	0	-19,0000	0	90,0000
6	C6	69,0000	<=	69,0000	0	-15,0000	0	93,0000
7	C7	120,0000	<=	120,0000	0	-23,0000	0	144,0000
8	C8	88,0000	<=	88,0000	0	-6,0000	0	112,0000
9	C9	108,0000	<=	108,0000	0	-3,0000	0	132,0000

Ek Tablo 17. Uygulamaya ilişkin Z_5^{max} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Maximize	95	85	75	60	70	75	80		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 18. Uygulamaya ilişkin Z_5^{max} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:49:11		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	157,0000	95,0000	14.915,0000	0	basic	75,0000	M
2	X2	200,0000	85,0000	17.000,0000	0	basic	75,0000	M
3	X3	60,0000	75,0000	4.500,0000	0	basic	75,0000	80,0000
4	X4	0	60,0000	0	-15,0000	at bound	-M	75,0000
5	X5	0	70,0000	0	-5,0000	at bound	-M	75,0000
6	X6	0	75,0000	0	0	at bound	-M	75,0000
7	X7	108,0000	80,0000	8.640,0000	0	basic	75,0000	M
	Objective	Function	(Max.) =	45.055,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	525,0000	<=	525,0000	0	75,0000	475,0000	531,0000
2	C2	525,0000	>=	475,0000	50,0000	0	-M	525,0000
3	C3	157,0000	<=	157,0000	0	20,0000	151,0000	217,0000
4	C4	200,0000	<=	200,0000	0	10,0000	194,0000	260,0000
5	C5	60,0000	<=	66,0000	6,0000	0	60,0000	M
6	C6	0	<=	69,0000	69,0000	0	0	M
7	C7	0	<=	120,0000	120,0000	0	0	M
8	C8	0	<=	88,0000	88,0000	0	0	M
9	C9	108,0000	<=	108,0000	0	5,0000	102,0000	168,0000

Ek Tablo 19. Uygulamaya ilişkin Z_5^{min} modelinin WinQSB programına girişi

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Direction	R. H. S.
Minimize	95	85	75	60	70	75	80		
C1	1	1	1	1	1	1	1	<=	525
C2	1	1	1	1	1	1	1	>=	475
C3	1	0	0	0	0	0	0	<=	157
C4	0	1	0	0	0	0	0	<=	200
C5	0	0	1	0	0	0	0	<=	66
C6	0	0	0	1	0	0	0	<=	69
C7	0	0	0	0	1	0	0	<=	120
C8	0	0	0	0	0	1	0	<=	88
C9	0	0	0	0	0	0	1	<=	108
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

Ek Tablo 20. Uygulamaya ilişkin Z_5^{min} modelinin WinQSB programından elde edilen sonuçları

	22:50:02		Thursday	November	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0	95,0000	0	10,0000	at bound	85,0000	M
2	X2	24,0000	85,0000	2.040,0000	0	basic	80,0000	95,0000
3	X3	66,0000	75,0000	4.950,0000	0	basic	-M	85,0000
4	X4	69,0000	60,0000	4.140,0000	0	basic	-M	85,0000
5	X5	120,0000	70,0000	8.400,0000	0	basic	-M	85,0000
6	X6	88,0000	75,0000	6.600,0000	0	basic	-M	85,0000
7	X7	108,0000	80,0000	8.640,0000	0	basic	-M	85,0000
	Objective	Function	(Min.) =	34.770,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	475,0000	<=	525,0000	50,0000	0	475,0000	M
2	C2	475,0000	>=	475,0000	0	85,0000	451,0000	525,0000
3	C3	0	<=	157,0000	157,0000	0	0	M
4	C4	24,0000	<=	200,0000	176,0000	0	24,0000	M
5	C5	66,0000	<=	66,0000	0	-10,0000	0	90,0000
6	C6	69,0000	<=	69,0000	0	-25,0000	0	93,0000
7	C7	120,0000	<=	120,0000	0	-15,0000	0	144,0000
8	C8	88,0000	<=	88,0000	0	-10,0000	0	112,0000
9	C9	108,0000	<=	108,0000	0	-5,0000	0	132,0000

ÖZGEÇMİŞ

Serkan AKBAŞ, 24 Eylül 1988 tarihinde Trabzon'da doğdu. Orta öğrenimini Trabzon Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2011 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümünden mezun oldu. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik ve Bilgisayar Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başladı. 2013-2014 eğitim öğretim yılı güz döneminde eğitimini Erasmus programı kapsamında Macaristan Eszterhazy Karoly Üniversitesi'nde sürdürmüştür.