

BULANIK AHP İLE BELEDİYELERİN TOPLU TAŞIMA ARAÇ SEÇİMİ

Ümran ŞENGÜL*

Miraç EREN**

Seyedhadi ESLAMIAN SHIRAZ***

ÖZ

Sosyal, çevresel, yapısal, politik v.b. soyut faktörlerin olduğu ve kısıtlı bütçenin en iyi şekilde kullanılmasının zorunlu olduğu kamu hizmet sektöründe ihtiyaca göre seçim yapılması problemiyle sık sık karşılaşılır. Çok kriterli karar verme tekniklerinden, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), birden çok kriter içeren bu tür problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. Bu çalışmada belediyelerin toplu taşıma araç seçim problemi ele alınarak ikili karşılaştırma yargılarındaki sözel belirsizliği daha iyi ifade etmek amacıyla Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi tekniklerinden biri olan Chang'ın Meritebe Analiz Yöntemi kullanılmıştır. Bulanık sayıları sıralamak için ise Kareli Ortalama ve Kwong-Bai yöntemi kullanılarak alternatifler arasında sıralama yapılmıştır.

Anahtar Kavramlar: AHP, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Bulanık Mantık, Otobüs Seçimi, Bulanık Sayıları Sıralama.

MUNICIPALITIES PUBLIC TRANSPORT VEHICLE SELECTION USING FUZZY AHP

ABSTRACT

Social, environmental, structural, political etc. intangible factors, and the best way is the use of a limited budget is necessary to choose according to need with the problem of public sector services are often encountered. Multi-criteria decision-making techniques, Analytical Hierarchy Process (AHP), is used to solve these kinds of problems with multiple criteria decision-making method. In this study, by considering the problem of selection of the municipalities of public transport vehicles, in order to state accurately the linguistic uncertainty in the pairwise comparison judgments of the alternatives, the Chang's Extent Analysis Method which is one of the Fuzzy Analytic Hierarchy Process techniques, has been used as a prioritization method. Ranking among alternatives is made by using Quadratic Mean and the Kwong-Bai technique to rank fuzzy numbers.

Keywords: AHP, Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Logic, Bus Selection, Rank of Fuzzy Numbers.

* Yrd. Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, İ.İ.B.F., Ekonometri Bölümü.

**Arş. Gör., Atatürk Üniversitesi, İ.İ.B.F., Ekonometri Bölümü.

***Öğr. Gör. Nabi Akram Üniversitesi, İnsani Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü.

Makalenin kabul tarihi: Şubat 2013.

GİRİŞ

Karar verme, her yönetim düzeyinde sonuçlandırılması gereken bir veya bir dizi sorunun tüm boyutlarıyla değerlendirilerek en uygun sonucu verebilecek seçenek veya seçeneklerin belirlenmesidir (Toksarı, Toksarı, 2003: 51). Yani karar verme, karşılaşılan bir durum karşısında en iyi olanı belirlemektir (Göksu, Güngör, 2008: 2). Organizasyonlar, karar vermek için büyük miktarda para ve zaman harcamaktadırlar. Bu açıdan, doğru karar almak için bir takım bilimsel ölçütlerin dikkate alınması para ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır. Karar verme problemleri iki gruba ayrılır. *Birinci grupta*, problemin çözüm seçeneklerini oluşturan n tane alternatif ve bu alternatifleri değerlendirmeye yarayan N tane ölçüt vardır. Örneğin piyasada bulunan televizyonların; fiyat, elektrik tüketimi, uzun ömürlülük, garanti süresi, servis imkânları v.b. kriterler altında seçimi problemi gibi. *İkinci grupta*, N ölçütten oluşan ölçütler bütün alternatifleri değerlendirebilir. Yani alternatifler ya kısmen verilir ya da çözüm kuralı belirlendikten sonra ortaya çıkar. Örneğin, işletmelerde araştırma geliştirme projelerine, kaynak sağlanması için çözüm kurallarının üretilmesi problemi veya belediyelerin otobüs alımı için ihale yolu ile teklifler verilmeden önce, onları değerlendirmek için gerekli ölçütleri ve karar kurallarını belirlemesidir (Gasimov, 2004: 5).

Karar verme problemlerinde üç önemli öge vardır. Bunlar; karar veren kişi, alternatifler ve kriterlerdir. *Karar veren kişi*, en iyi eylemin seçilmesine karar veren kişidir. *Alternatifler*, olası eylem seçenekleridir ve karar verme probleminin ayrılmaz parçalarıdır. Karar verme probleminin oluşması için en az iki alternatife ihtiyaç vardır. *Kriterler (ölçütler, değişkenler)* ise çözüm seçeneklerinin karar veren kişi için cazip olan bir takım göstergelerle nitelendirilmesidir (Gasimov, 2004: 6-7).

Birçok karar verme problemi ve çözümünü nicel olarak anlaşılamayacak kadar karmaşıktır. Bulanık küme teorisi, yaklaşık bilginin kullanılmasında ve kararların verilmesindeki belirsizliği insanın sorgulamasına benzetmektedir. Bulanık mantık insanın düşünme mantığına çok yakın olmasından dolayı, bu mantığa göre alınan kararlar daha isabetli olmaktadır. Bulanık küme teorisi kesin olarak tanımlanamayan sınırlar ile verinin sınıflandırılmasını sağlar. Böylece, bulanık küme teorisi kullanılarak gerçek dünya problemlerinin çözümü sağlanır. Bu problemlerde dilsel ifadeler çokça yer alır. Örneğin az, orta, çok gibi dilsel ifadelerin nicel olarak neye karşılık gelebileceği tam olarak net değildir. Bulanık kümeler aracılığıyla nitel olan bu ifadeler nicel hale gelmektedir (Yalçın, Özdemir, 2008: 2).

Çok kriterleri karar verme teknikleri, karar verme problemlerinde kriter (değişken) sayısının çok olduğu durumlarda kullanılır. Çok kriterli karar verme tekniklerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu tekniklerden bazıları; WPM, WSM, ELECTRE, TOPSIS, PROMETHEE, ANP, SAW, VIKOR, DEMATEL,

AHP, Gri İlişkisel Analiz v.b.'dir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme tekniklerinden, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), bazı değişkenlerin belirsizlik durumları da göz önüne alınarak bulanık mantıkla birleştirilmiş ve bulanık analitik hiyerarşi proses (BAHP) çalışılmıştır. AHP'nin amacı uzmanların bilgisini elde ederek karar verme olmasına karşın, insan düşünme stilini yansıtamadığından Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi gerçek hayat problemlerinde karar verme problemlerini çözmek için daha uygundur.

Çalışmada; Belediyelerin toplu taşıma araç seçimi kararı için BAHP uygulanmıştır. Bu amaçla çalışmada sırasıyla, AHP, Bulanık mantık, Bulanık AHP ve yöntemleri anlatılmıştır. Uygulama kısmında ise, belediyelerin toplu taşıma için en uygun otobüsü seçim kararının belirlenmesi amaçlanmıştır.

I. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

Analitik Hiyerarşi Prosesi (The Analytic Hierarchy Process) 1970'lerde Profesör Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir (Gasımov, 2004: 26). İlk olarak 1971 yılında ABD Savunma Bakanlığı'nda olasılık planlama problemlerinde kullanılmış ve 1973 yılında Sudan ulaşım projesinde kullanılmasıyla tam olgunluğa ulaşmıştır. Teorik olarak tam gelişimini 1974-1978 yıllarında yapmıştır (Göksu, Güngör, 2008: 5).

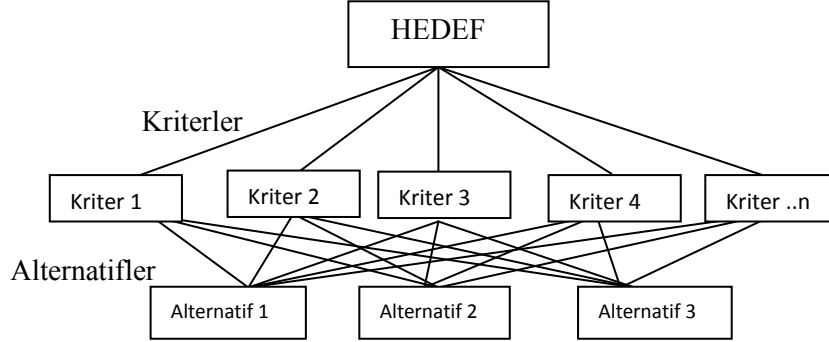
AHP, karar verme için temel bir yaklaşımdır. AHP; hem objektif, hem de sübjektif değerlendirme ölçütlerini kullanır. Daha sonra değerlendirmelerin tutarlılığının test eder. Özellikle de çok sayıdaki ölçütlere göre değerlendirilmesi gereken alternatifler içerisinde hangisine öncelik verilmesi gerektiği gibi çok önemli bir kararın karar verici tarafından uygulanması sağlar (Gasımov, 2004: 26).

AHP'nin işleyiş süreci şöyledir: karar verici alternatifler arasında basit ikili karşılaştırmalar yapar, daha sonra bu ikili karşılaştırmalar aracılığıyla alternatiflerin öncelikli sıralanmasını sağlar. AHP hem alternatifler arasındaki kararların tutarsızlığına müsaade eder hem de tutarlılığını geliştirmek için bir araç sağlar (Saaty, Vargas, 2001: 1). AHP kararların analizi ve hesaplanması için oluşturulan sezgisel bir modeldir. AHP modelinde; karar almada etkili olan somut ve soyut kriterler sayısallaştırılarak, karşılaştırılır ve bu kriterlerin birbirine göre öncelikleri ölçülür ve önem sıralarını belirlenir. Bu yaklaşımda karar alınması gereken problemle ilgili kriterlerin belirlenmesinde karar vericilerin/uzmanların deneyim ve bilgilerine başvurulur. Yani, AHP'de kararları etkileyecek kriterler kümesine ve bu kriterlerin verilecek karardaki göreceli önemlerini belirleme de uzmanların değerlendirmeleri dikkate alınarak belirlenir. Böylece sistematik bir yaklaşımla sayısal performans ölçümleri sübjektif değerlendirmeler ile birleştirilerek sağlıklı sonuçlar elde edilir (Güngör, İşler, 2005: 21).

AHP'nin ilk adımı, karar problemini temel bileşenlerine ayırtmak ve hiyerarşik bir yapı oluşturmaktır. Karar vericiye, ilgili kararın daha küçük parçala-

rı üzerinde odaklanmasına yardımcı olur. Karar hiyerarşisinin en tepesinde ana hedef, bir alt kademede kriterler, en altında ise karar seçenekleri yer almaktadır. Hiyerarşinin amacı, üst seviyedeki elemanların alt seviyelerdeki elemanlar üzerindeki seviyesini tahmin etmektir (Şekil 1).

Şekil 1: AHP Modeli için Hiyerarşi Yapısı



Kaynak: Saaty, Thomas L. and Vargas G. Luis; (2001), Model, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process, **Kluwer's International Series**, pp.3.

İkili karşılaştırmalar, AHP'nin ikinci temel adımını oluşturmaktadır. İki seçeneğin/kriterin birbiriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. İkili karşılaştırmada, karar ölçütlerinin önem ağırlıkları ve alternatiflerin her bir ölçüt açısından önemi belirlenir. İkili karşılaştırma değerleri $n \times n$ boyutunda bir matrisde yer alır ve bu matrise *ikili karşılaştırmalar matrisi (reciprocal matrix)* denir (Tablo 1).

Tablo 1: Kriterler için İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Elde Edilmesi

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter n
Kriter 1	w_1/w_1	w_1/w_2	w_1/w_n
Kriter 2	w_2/w_1	w_2/w_2	w_2/w_n
Kriter n	w_n/w_1	w_n/w_2	w_n/w_n

Kaynak: Vargas, G. Luis; (1990), "An Overview of The Analytic Hierarchy Process and Its Applications", **European Journal of Operational Research**, 48(1), pp.2-8.

Hiyerarşi n kriter içeriyorsa, toplam $n(n-1)/2$ adet ikili karşılaştırma yapmak gerekir. İkili karşılaştırmalar matrisinde w_i/w_j değerleri bulunur. w_i/w_j ifadesi; i . kriterin j .kriterden ne kadar daha önemli olduğunu ifade eder. Subjektif değerlendirmelerde, Tablo.2'de verilen değerler kullanılarak ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilir (Günden, Miran, 2008: 196). Örneğin uygulamada subjektif bir değerlendirme söz konusu ise yani 1. kriter 2. kriterden aşırı derecede önemli ise $w_2/w_1 = 9$ olur. Objektif bir değerlendirme söz konusu ise yani 1.

kriterin değeri 25 br, 2. kriterin değeri 5 br ise w_1 'in w_2 'ye göre önemi $w_1/w_2=25/5= 5$ olur. Buda 1. kriterin 2. kriterden 5 kat daha önemli olduğu anlamına gelir.

Tablo 2: Saaty Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki kriterde eşit düzeyde önemlidir.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterle göre biraz daha fazla önemli olursa.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterden fazla önemli olursa.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterden daha fazla önemli olursa.
9	Kesin önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kriterden kesin önemli olursa.
2,4,6,8	Ortalama değerler	1,3,5,7 ve 9 da yer alan yargılar arasında uzlaşma gerektiğinde kullanılacak değerler.

Kaynak: Saaty, Thomas L. and Vargas, G. Luis; (2006), Decision Making with the Analytic Network Process, **Springer's International Series**, pp.3.

Karşılaştırılan her kriterin, önceliğinin (görelî öneminin) hesaplanmasına sentezleme denilmektedir (Günden, Miran, 2008: 197). Sentezleme yapabilmek için karşılaştırma matrisinin i .inci sütununun her elemanı bu sütunun tüm elemanlarının toplamına bölünerek yeni bir matris oluşturulur. Sütun elemanlarının toplamı 1'e eşit olan (sütunları normalize edilmiş) bu yeni matris norm matrisidir. Norm matrisin her bir satırının aritmetik ortalaması alınarak sütun vektörü " W_i " hesaplanır. Bu sütun vektörüne aynı zamanda ağırlık ya da önem vektörü de denilmektedir (Hasgöl, 2010: 5-8). Önem vektörü bulunduktan sonra bu değerlerin tutarlı olup olmadıklarına bakılır. Tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonucunda bulunan değerlerin yani önceliklerin birbiriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkisi olarak tanımlanabilir (Göksu, Güngör, 2008: 7). Bir karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için, en büyük öz değerinin (λ_{max}) matris boyutuna (n) eşit olması gerekmektedir. Son adım tutarlılık göstergesinin ve tutarlılık oranının bulunmasıdır. Bu oranları bulmak için aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

$$\text{Tutarlılık Göstergesi} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\text{Tutarlılık Göstergesi}}{\text{Rassallık göstergesi}}$$

Rassallık göstergesi en çok 15 boyutlu matrisler için hesaplanmaktadır. Kriter sayısının çokluğu kriterlerin tümü birlikte değerlendirildiklerinde tutarlı

sonuç elde etme ihtimalini azaltmaktadır (Güngör, İşler, 2005: 24). Tutarlılık oranı 0,1'den küçük ise matrisin tutarlı olduğu kabul edilir.

II. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık ilk kez Azeri asıllı bilim adamı Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında yayınlanan *Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets)* adlı makalesi ile ortaya çıkmıştır. Zadeh makalesinde, gerçek hayatta karşılaşılan nesne sınıflarının üyelik derecelerinin tam olarak tanımlanmadığından ve insan düşüncesinin bulanıklığından söz ederek 0 ve 1 ile temsil edilen ikili mantık sisteminin bu düşünceleri açıklamakta yetersiz kaldığından bahsetmiştir (Zadeh, 1965: 339). İnsanın düşünce biçimindeki algılama farklılıkları, sübjektif davranışları ve hedeflerindeki belirsizlikler bulanıklık kavramı ile açıklanabilir. Bulanık mantık farklı türlerdeki belirsizlik ve bulanıklıkların modellenmesine yardımcı olmaktadır. Yani bulanık mantık için matematiğin gerçek dünyaya uygulanması tanımlaması yapılabilir (Başkaya, 2011: 14).

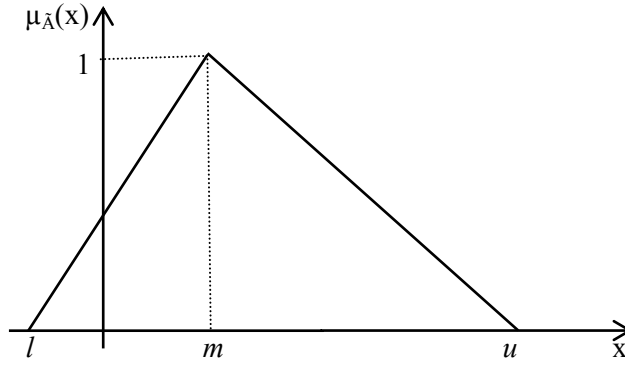
Bulanık mantığın diğer mantık sistemlerinden önemli bir farklılığı, sözel değişkenlerin kullanımına izin vermesidir. Sözel değişkenler net olarak ifade edilemeyen kavramların yaklaşık olarak nitelenebilmesini sağlar. Böylece sözel değişkenler, sözel ifadeleri matematiksel olarak ifade edebilmek için bulanık kümelerin kullanımını gerektiren bir araç haline gelirler.

Bulanık bir küme, sınır koşulları esnek olarak tanımlanan bir kümedir. Bulanık küme teorisi, kısmi üyeliğe izin vererek geleneksel küme teorisini genişletir ve küme üyeliği için $[0,1]$ aralığındaki herhangi bir değeri kabul eder (Özkan, 2003: 126). Bulanık kümeler, keskin olmayan sınırlara sahiptir. Klasik kümede, bir kümeye giren elemanların o kümeye ait olması durumunda üyelik dereceleri 1'e, ait olmaması durumunda ise 0'a eşit varsayılmıştır. Bulanık küme kavramında ise, 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinden bahsedilmektedir. Klasik kümelerde üyelik derecesi derecelendirilerek ölçülmektedir (Günden, Miran, 2008: 197). Bulanık kümede, 0 sayısı ilgili nesnenin kümenin üyesi olmadığını, 1 sayısı ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ise ilgili nesnenin kümeye üyelik derecesini veya kısmi üyeliğini gösterir. Buna göre, bulanık küme teorisinde kümenin elemanı olmayan nesnelere, kümenin tam elemanı olan nesnelere doğru esnek ve dereceli bir geçişe izin verilir (Özkan, 2003: 6). Bir anlamda, çok değerli küme kuramı olan bulanık küme kuramı, belirsizliğin formüle edilmesidir. Getirdiği yaklaşım klasik küme kuramlarında kullanılan üyelik kavramını bir tarafa bırakıp yerine tamamen yenisini koymak değil iki-değerli üyeliği çok-değerliliğe taşıyarak genelleştirmektir (Baykal, Beyan, 2004: 74).

Bulanık bir küme üyelik derecesi sürekli olan nesnelere bir sınıftır. Böyle bir küme, her bir elemanı 0 ile 1 arasındaki üyelik dereceleri ile belirtilen üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir. Bulanıklığı ifade eden işaret “ \sim ” sem-

bolü ile gösterilir ve bulanık bir küme ifadesi için kullanılır (Yalçın, Özdemir, 2008: 178). Bir bulanık küme içerisindeki tüm bilgiler, bulanık kümenin üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilir. \tilde{A} bulanık kümesi için tanımlanan üyelik fonksiyonları 0 ile 1 arasında değerler alan fonksiyonlar ile modellenebilir. Üyelik fonksiyonlarının doğru ve uygulama ile örtüşen bir şekilde belirlenmesi ile bulanık küme teorisinde bulanık olan herhangi bir şey kalmaz (Özkan, 2003:10). Üyelik fonksiyonları; Tekil, Üçgen, Yamuk, Gaussian, Çan Şekilli, Sigmoidal, S (Başkaya, 2011: 111-120) ve II (Baykal, Beyan, 2004: 81) gibi isimler verilerek adlandırılabilir. Ayrıca üyelik fonksiyonlarını kesikli-sürekli, parametrik-parametrik olmayan ve simetrik-asimetrik şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Bulanık bir değişkene ilişkin üyelik fonksiyonunun belirlenmesi, rassal bir değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesine benzetilebilir. Bulanık küme teorisinde üyelik fonksiyonlarını belirleme süreci için özel algoritmalar ve kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Ancak, bir çok uygulama işlemsel kolaylık sağlaması nedeniyle parametrik olarak ifade edilebilen üyelik fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir. Parametrik üyelik fonksiyonları arasında üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları yaygın olarak kullanılmaktadır (Özkan, 2003: 9-10). Bulanık sayılar dışbükey, normalleştirilmiş, sınırlı-sürekli üyelik fonksiyonu olan ve gerçel sayılarda tanımlanmış bir bulanık küme olarak ifade edilir. Bulanık sayı normal ve dışbükey olmalıdır. Burada normalleştirme maksimum üyelik değerinin "1" olmasını vurgular. Bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile tanımlandıklarından bulanık sayılarda kendi üyelik fonksiyonları ile aynı kavramdır ve bu sebeple üyelik fonksiyonu çeşidi kadar bulanık sayı çeşidi vardır (Baykal, Beyan, 2004: 234). Bu çalışmada da üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonu üç parametre ile tanımlanmaktadır. Bu parametreler l , m , u olarak alınırsa üçgen üyelik fonksiyonunun bileşenleri ve şekli aşağıda verilmiştir (Grafik 1);

$$\mu_{\tilde{A}}(x; l, m, u) = \begin{cases} l \leq x \leq m & \text{ise} & \frac{(x-l)}{(m-l)} \\ m \leq x \leq u & \text{ise} & \frac{(u-x)}{(u-m)} \\ x > u \text{ veya } x < l & \text{ise} & 0 \end{cases}$$

Grafik 1: Üçgen Üyelik Fonksiyonu

$\mu_A(m) = 1$ olmak üzere m 'ye üçgen bulanık sayının tepesi denir ve m 'nin l ve u 'nun orta noktası olma zorunluluğu yoktur (Baykal, Beyan, 2004:234).

III. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

AHP yöntemi, uzman kişilerin bilgilerini ele alsa da, insani düşünme tarzını yansıtamamaktadır. Bu yüzden bulanık mantıkla AHP birleştirilerek BAHP ortaya çıkmıştır. Net değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, BAHP'de kıyaslama oranları bir değer aralığında verilmektedir (Ertuğrul, 2007: 173). Literatürde birçok BAHP uygulaması mevcuttur. BAHP uygulamalarında araştırmacılar, bulanık kümeler kuramını ve hiyerarşi yapısını kullanarak çok kriterli ortamda en iyi seçeneği belirlemeye veya seçenekleri sıralamaya yönelik çeşitli yöntemler sunmuşlardır. Bulanık AHP'ye ilişkin ilk çalışma üçgen bulanık sayılar kullanılarak, bulanık oranları kıyaslayan Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Buckley (1985), yamuk bulanık sayıları kullanarak bir model geliştirmiştir. Chang (1992), BAHP'nin ikili karşılaştırma ölçeği için üçgen bulanık sayıları ve ikili karşılaştırmaların yapay mertebe değerleri için mertebe analizi yöntemini kullanarak BAHP'nin ele alınmasında yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur (Kaptanoğlu, Özok, 2006: 199). Bu yöntemin en avantajlı yanı hesap gereksiniminin az olması ve klasik AHP'nin adımlarını izleyerek ilave işlem gerektirmemesidir. Dezavantajı ise sadece bulanık üçgen sayıları kullanmasıdır (Göksu, Güngör, 2008: 8). Literatürde, BAHP, tedarikçi seçiminde (Krishnendu vd., 2012: 8182), bulanık TOPSİS ile birleştirilerek, dağıtım kanallarının yönetiminde örgütsel strateji geliştirmek amacıyla, (Paksoy vd., 2012:2822), bilgisayar destekli bakım yönetim sistemlerinin seçiminde, (Orlando, 2011: 821), web sitesinin kalitesini değerlendirmede, (Lin, 2010:877), veri zarflama analizi ile entegre edilerek ulusal hidrojen enerji teknolojisinin gelişiminde Ar-Ge performansının göreceli etkinliğini ölçmede (Lee, Kon, 2010:2236), tıbbi karar destek sistemlerinin seçiminde (Uzoka, Emeka, 2011: 11), küçük ve orta işletmelerde banka kredisi kararı almada (Che vd.,

2010:7189), PROMETHEE ile entegre edilerek esnek imalat sistemlerinde makine tezgah seçiminde (Taha, Rostam, 2011: 1), güzergah seçiminde, (Arslan, Khirsty, 2006: 571) ve daha birçok karar alma probleminde uygulanmıştır.

A. GENİŞLETİLMİŞ BAHF ALGORİTMASI

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ölçüt (nesne) kümesi, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ amaç (hedef) kümesi olsun. Chang'ın (Chang 1992:352) yöntemine göre, her bir nesne bir amaçı gerçekleştirmek üzere ele alınır. Böylece ikili karşılaştırma matrisi uygulanarak m tane genişletilmiş ya da mertebe analiz değerleri elde edilir. Bu değerler şu şekilde gösterilir.

$$\tilde{A}_{g_i}^1, \tilde{A}_{g_i}^2, \dots, \tilde{A}_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Burada tüm $\tilde{A}_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$)'ler Triangular Fuzzy Numbers (TFN) yani üçgen bulanık sayılardır.

Adım1: i . nesneye göre bulanık sentetik mertebe değeri şu şekilde tanımlanır;

$$S_i = \sum_{j=1}^m \tilde{A}_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{A}_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

Burada, $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için $j=1, 2, \dots, m$ tane mertebe analiz değerinin bulanık toplanması ile şu şekilde elde edilir;

$$\sum_{j=1}^m \tilde{A}_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

(2)'deki denklemde $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{A}_{g_i}^j \right]^{-1}$ elde etmek içinde $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) değerleri üzerinde bulanık toplama işlemi yapılır;

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{A}_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4)$$

(4) nolu vektörün tersi alınırsa;

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{A}_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (5)$$

ifadesi elde edilir. Bu aşamadan sonra elde edilen bulanık sayıların sıralanması yapılır.

IV. BULANIK SAYILARIN SIRALANMASI

Bulanık sayılar kesin olmayan ortamlarda belirsiz değerleri sayısallaştırabilme için kullanıldığından, çeşitli uygulamalar açısından bulanık sayıların birbirleriyle kıyaslanabilmesi ya da sıralanması oldukça önemlidir. Bulanık sayıların sıralanması yada derecelendirilmesi bulanık optimizasyon ve bulanık karar verme yöntemlerinin önemli sorunudur. Bulanık değerlerin sıralanması, bulanık kümelerin farklı özelliklerine dayalı olarak yapılmaktadır. Bunlar çekim merkezi, üyelik derecesi fonksiyonu altındaki alan veya bazı kesişim noktalarıdır. Farklı sıralama yöntemleri aynı veriler için farklı sıralama sonuçları verebilir. Bulanık sayılar reel sayılarda olduğu gibi doğal bir sıra oluşturmadıkları için, bulanık sayıları sıralamak için farklı yöntemler kullanılmaktadır (Kaptanoğlu, Özok, 2006: 194). Bu yöntemlerin her birinin avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Literatürde yer alan sıralama metodlarından bazıları sezgisel sıralama, bulanık ortalama değer ve sapma, α -kesme metodu ile sıralama metodu olarak sayılabilir (Göksu, Güngör, 2008: 3).

Bulanık sayıları sıralamak için ilk çalışma Jain tarafından 1976 yılında yapılmıştır (Jain, 1976: 699). Günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından bulanık sayıların sıralaması için metodlar geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; Bortolan ve Degani (1985), Baas ve Kwakernaak (1977), Chen ve Hwang (1972), Choobineh ve Li (1993), Abdel-Kader ve Dugdale (2001), İbrahim ve Ayyub (1992), Ezzati v.d. (2012)'dir.

Üçgen bulanık sayıları sıralamada birçok metod vardır. Bunlardan bazıları;

- Chang Yöntemi
- Liou ve Wang Yöntemi
- Abdel-Kader ve Dugdale Yöntemi
- Kareli Ortalama Yöntemi
- Kwong-Bai Yöntemi

dir. Bu yöntemlerin her birinin kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bu yüzden hangi yöntemin daha iyi olduğuna karar vermek zordur. Bu sıralama metodlarının algoritmaları aşağıda anlatılmıştır.

A. CHANG YÖNTEMİ

Chang'ın yöntemi, BAHF algoritmasında elde edilen sentez değerlerinin karşılaştırılması ve bu karşılaştırma değerlerinden ağırlık değerlerinin elde edilmesi esasına dayanmaktadır.

1.Adım: Sıralanacak bulanık sayılar \tilde{A}_1 ve \tilde{A}_2 olarak tanımlanırsa, $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2) \succeq \tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ifadesinin olasılık derecesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$V(\tilde{A}_2 \geq \tilde{A}_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{\tilde{A}_2}(x), \mu_{\tilde{A}_1}(y))] \quad (6)$$

ve

$$V(\tilde{A}_2 \geq \tilde{A}_1) = \text{hgt}(\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2) = \mu_{\tilde{A}_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (7)$$

bağıntıdaki d değeri, $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgen bulanık sayılarının kesişim noktasının ordinatıdır. Yani \tilde{A}_1 ve \tilde{A}_2 yi karşılaştırabilmek için, hem $V = (\tilde{A}_1 \geq \tilde{A}_2)$ hem de $V = (\tilde{A}_2 \geq \tilde{A}_1)$ değerlerinin bulunması gerekir (Chang, 1992:352).

B. LIOU VE WANG YÖNTEMİ

Liou ve Wang, üçgen bulanık sayıları sıralamak için toplam entegral değer yöntemini baz alır. Yöntemde, $\tilde{A} = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayı için toplam entegral değer şöyle hesaplanır;

$$\begin{aligned} I_7^\alpha(\tilde{A}) &= \frac{1}{2} \alpha(m + u) + \frac{1}{2} (1 - \alpha)(l + m) \\ &= \frac{1}{2} [\alpha.u + m + (1 - \alpha).l] \end{aligned} \quad (8)$$

bağıntıdaki $\alpha \in [0,1]$ kapalı aralığında değer alan iyimserlik indeksidir. İndeks büyüdükçe iyimser bir karar verici, küçüldükçe karamsar bir karar vericiyi temsil eder (Liou, Wang, 1992: 247).

C. ABDEL-KADER VE DUGDALE'NİN YÖNTEMİ

Abdel-Kader ve Dugdale, üçgen bir bulanık sayıyı; tam üyelikler, sağ taraftaki kısmi üyelikler ve sol taraftaki kısmi üyelikler olmak üzere üç kısma ayırır. Mevcut sıralama yöntemleri ya sol taraftaki üyelikleri ya da her iki taraftaki üyelikleri yansıtmaktadır. Bu yöntem sıralama sürecinde bir bulanık sayının sayılan üç kısmını da dahil edecek yeni bir sıralama yöntemi önerir. Bu değerleri sıralamak için α iyimserlik indeksinin kullanır (Abdel-Kader, Dugdale, 2001:460).

$$\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1), \dots, \dots, \dots, \tilde{A}_k = (l_k, m_k, u_k)$$

Bulanık sayıları için;

$S = (l_1, m_1, u_1, \dots, \dots, l_k, m_k, u_k)$ ve $V(\tilde{A}_k)$ ise \tilde{A}_k 'nın değeri olsun.

$$V(\tilde{A}_k) = m_k \left\{ (\alpha) \left[\frac{u_k - x_{min}}{x_{max} - x_{min} + u_k - m_k} \right] + (1 - \alpha) \left[1 - \frac{x_{max} - l_k}{x_{max} - x_{min} m_k - l_k} \right] \right\} \quad (9)$$

$$x_{min} = \inf S \quad (10)$$

$$x_{max} = \sup S \quad (11)$$

D. KARELİ ORTALAMA YÖNTEMİ

Kareli ortalama sıfır ya da negatif sayıların bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. Burada bulanık sayının sınırlarından biri sıfır ya da negatif olma durumunda sıralamaya imkan verebilmektedir. Bu yöntemde $\tilde{A}_k = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayı için,

$$K(A_k) = \sqrt{\frac{l^2 + m^2 + u^2}{3}} \quad (12)$$

Şeklinde hesaplanmakta ve $K(A_k)$ değerleri sıralanmaktadır (Göksu, Güngör, 2008: 4).

E. KWONG-BAI YÖNTEMİ

Kwong ve Bai üçgen bulanık sayıları sıralamak için aşağıdaki denklemi kullanmışlardır. $\tilde{A}_k = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayı olmak üzere,

$$M_k = \frac{l+4m+u}{6} \quad (13)$$

şeklinde sıralama yapar (Kwong, Bai, 2003:620-625).

Chang tarafından önerilen bulanık sayıların sıralanması yönteminde tutarlılığın hesaplanması bazı durumlarda mümkün değildir. BAHP sonucunda toplam ağırlık vektöründe bazı kriterlerin ağırlıkları sıfır çıkmaktadır. Tutarlılık indeksi hesaplamada, λ_{max} hesaplanırken matematiksel olarak tanımsız çıkmaktadır. Bu açıdan, çalışmada; sentez değerleri Chang yöntemine göre elde edildikten sonra bulanık sayıların sıralanmasında Kareli Ortalama ve Kwong-Bai yöntemi kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca, BAHP'de kullanılan bir kaç ölçek türü vardır. Bu çalışmada, Chang'ın yöntemine göre belirlenen ölçek kullanılmıştır. Ölçek dereceleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Chang Yöntemine Göre BAHP’de Kullanılan Ölçek

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit önemli	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Biraz daha fazla önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli derecede önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derecede önemli	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Tamamıyla önemli	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

Kaynak: Kaptanoğlu; Dilek ve Ahmet Fahri Özok; (2006), “Akademik Performans Değerlendirilmesi İçin Bir Bulanık Model”, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 5(1), ss. 193-204.

V.UYGULAMA

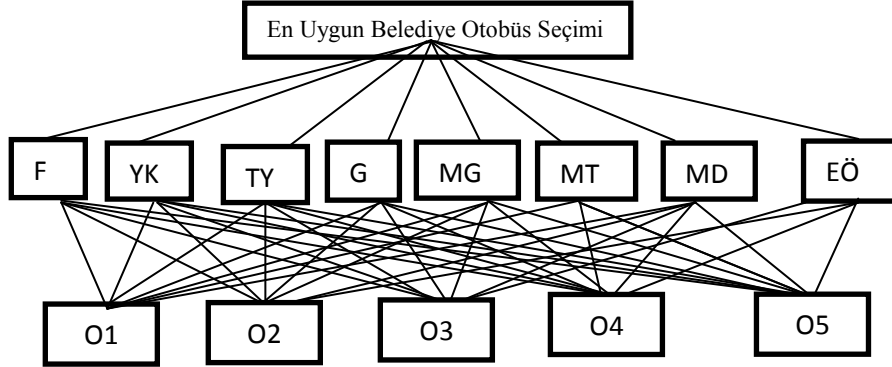
Belediyelerin toplu taşıma araçlarını seçim süreci karmaşık bir yapıya sahiptir. Toplu taşımacılık hizmetinde kullanılmak üzere alınacak olan solo ve/veya körüklü tip otobüslerin seçiminde; aracın fiyatı, yolcu kapasitesi, tükettiği yakıt miktarı, garanti süresi v.b. çeşitli karar seçenekleri bulunmaktadır. Bu bağlamda belediyelerin karar önceliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Günümüzde körüklü ve solo tip otobüs imalatı yapan firma sayısı 5 tanedir. Bu firmalar belediyelerin ve kullanıcıların isteklerine göre yeni modeller üretme yarışındadırlar. Firmalar; alçak tabanlı, Euro 5 emisyonlu, çağdaş çizgilere sahip, ekonomik ömrü uzun, yakıt sarfiyatı az, garanti süresi uzun v.b. çeşitli özelliklere sahip araçlar üretmektedirler. Bu kriterler belirlense dahi mevcut araç modelleri içerisinde ihtiyaçları en iyi karşılayacak ve fiyatı uygun olan aracın belirlenmesi yerel yönetimler için önemli bir karar verme problemidir. Bunların yanı sıra trafik sorunu çözmek amacıyla toplu taşıma araç alımı artmaktadır. Araç artışı beraberinde hava kirliliği, bakım-onarım maliyeti gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeplerden dolayı belediyeler hem çevreci hem de yukarıda bahsedilen faydaları maksimize edecek araçlar almaya yönelmişlerdir.

Uygulama için öncelikle Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı ile görüşme yapılmıştır. Uzman görüşleri ve araç alımları için oluşturdukları şartnameler dikkate alınarak ana kriterler belirlenmiştir. Ulaşım dairesi ve araçlar konusunda uzman kişilerle yapılan görüşmeler neticesinde 8 kriter ve en çok tercih edilen 5 farklı 12 m (körüksüz) otobüs tipi belirlenmiştir. Alternatifler arasında sıralama yapmak için BAHF kullanılarak üçgen bulanık sayılar yardımıyla sentez değer hesapları elde edilmiş ve daha sonra bulanık sayıların reel sayıları dönüştürülmesi için Kareli Ortalama ve Kwong-Bai yöntemi kullanılmıştır.

Problemin çözüm aşamaları ayrı ayrı gösterilmiştir. İlk aşama hiyerarşi yapının oluşturulmasıdır. Şekil 2’de hiyerarşik yapı gösterilmiştir. Şekildeki

semboller sırası ile; F: Fiyat, YK: Yolcu Kapasitesi, TY: Tüketilen Yakıt, MT: Motor Tipi, G: Garanti, MG: Motor Gücü, MD: Marka Değeri, EÖ: Ekonomik Ömrü göstermektedir. Otobüs markaları ise O1,O2,O3,O4,O5 ile gösterilmiştir.

Şekil 2: Otobüs Seçimi için Hiyerarşik Yapı



Kriterlerden fiyat, yolcu kapasitesi, tüketilen yakıt, garanti süresi ve motor gücü objektif kriterler olup değerleri Tablo. 4’de gösterilmektedir. Motor tipi, marka değeri ve ekonomik ömür ise subjektif kriterlerdir.

Tablo 4: Otobüs Seçiminde Objektif Kriterlerin Değerleri

	Fiyat (000TL)	Yolcu Kapasitesi (kişi)	Tükettiği Yakıt Miktarı (lt/km)	Garanti Süresi (Yıl)	Motor Gücü (HP)
O1	360	96	0,36	5	247
O2	370	99	0,27	2	290
O3	375	103	0,25	2	285
O4	415	102	0,4	1	282
O5	330	106	0,45	1	265

2. aşamada kriterler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Uygulamada 8 kriter olduğundan 8x8 lik bir tablo yazılacaktır. Tablodaki değerler üçgen bulanık sayılara göre oluşturulmuştur. Tablo. 5’de ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir.

Tablo 5: Üçgen Bulanık sayılarla Oluşturulmuş Kriterlerin Kendi Aralarında İkili Karşılaştırmalar Matrisi

	Fiyat	Yolcu Kapasitesi	Tüketilen Yakıt	Motor Tipi	Garanti	Motor Gücü	Marka Değeri	Ekonomik Ömür
Fiyat	1 1 1	7 9 9	1 3 5	3 5 7	3 5 7	1 3 5	1 3 5	1 3 5
Yolcu Kapasitesi	1/9 1/9 1/7	1 1 1	1/5 1/3 1	7 9 9	5 7 9	3 5 7	3 5 7	3 5 7
Tüketilen Yakıt	1/5 1/3 1	1 3 5	1 1 1	7 9 9	5 7 9	3 5 7	1 3 5	1 3 5
Motor Tipi	1/7 1/5 1/3	1/9 1/9 1/7	1/9 1/9 1/7	1 1 1	1/9 1/7 1/5	1/5 1/3 1	1/5 1/3 1	1/5 1/3 1
Garanti	1/7 1/5 1/3	1/9 1/7 1/5	1/9 1/7 1/5	5 7 9	1 1 1	1 3 5	1/9 1/7 1/5	1/9 1/7 1/5
Motor Gücü	1/5 1/3 1	1/7 1/5 1/3	1/7 1/5 1/3	1 3 5	1/5 1/3 1	1 1 1	1/9 1/9 1/7	1/9 1/7 1/5
Marka Değeri	1/5 1/3 1	1/7 1/5 1/3	1/5 1/3 1	1 3 5	5 7 9	7 9 9	1 1 1	1 3 5
Ekonomik Ömür	1/5 1/3 1	1/7 1/5 1/3	1/5 1/3 1	1 3 5	5 7 9	5 7 9	1/5 1/3 1	1 1 1

$\tilde{A}_{ij}=(l_{ij},m_{ij},u_{ij})$ olarak ifade edilen üçgen bulanık sayıların toplama işlemi Chang'in genişletilmiş BAHF algoritmasında (3) nolu eşitliğe göre yapılır. (3) nolu eşitlik $j=1,\dots,8$ için tekrar yazılırsa;

$$\sum_{j=1}^8 \tilde{A}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^8 l_{ij}, \sum_{j=1}^8 m_{ij}, \sum_{j=1}^8 u_{ij} \right)$$

Öyleyse $i=1$ (fiyat nesnesi) için bulanık sayıların toplamı;

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^8 \tilde{A}_{1j} &= (1,1,1) \oplus (7,9,9) \oplus (1,3,5) \oplus (3,5,7) \oplus (3,5,7) \oplus (1,3,5) \oplus (1,3,5) \\ &\oplus (1,3,5) = (18,32,44) \end{aligned}$$

Her bir nesne için bulunan toplamlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: 8x1'lik Üçgen Sütün Vektörü Elemanları

$\sum M_{1j}$	18	32	44
$\sum M_{2j}$	22,31	32,44	41,14
$\sum M_{3j}$	19,2	31,33	42
$\sum M_{4j}$	2,08	2,57	4,81
$\sum M_{5j}$	7,59	11,78	16,13
$\sum M_{6j}$	2,91	5,32	9,01
$\sum M_{7j}$	15,54	23,87	31,33
$\sum M_{8j}$	12,74	19,2	27,33

i. nesne için bulanık yapay büyüklük (yada sentez merteye değeri) (2) nolu eşitlik aracılığıyla bulunur. Bu eşitlik bulanık sayılarda yapılan bir çeşit normalizasyon işlemidir. Her bir nesne için sentez değerleri (5) ve (2) nolu eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan değer Tablo. 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Her Bir Nesne için Sentez Değerleri

S1(Fiyat)	0,0834	0,2019	0,4384
S2(Yolcu Kap.)	0,1034	0,2047	0,4099
S3(Tüketilen Yak.)	0,0889	0,1977	0,4185
S4(Motor Tipi)	0,0096	0,0161	0,0480
S5(Garanti)	0,0351	0,0743	0,1607
S6 (Motor Gücü)	0,0134	0,0334	0,0898
S7(Marka Değeri)	0,0720	0,1506	0,3122
S8(Ekonomik Ömür)	0,0590	0,1211	0,2723

Subjektif kriterlerin (motor tipi, marka değeri ve ekonomik ömür) sentez değeri hesabı için aşağıda belirtilen adımlar gerçekleştirilir. İlk olarak üçgen bulanık sayılardan oluşan subjektif kritere göre araç modellerini kıyaslayan matris oluşturulur. Uygulamada 5 tane araç olduğu için 5x5 lik bir matris oluşturulur. Motor tipi kriterine göre oluşturulan matris aşağıda verilmiştir.

Tablo 8: Motor Tipi Kriterine Göre Araçların Kıyaslanması

	O1	O2	O3	O4	O5
O1	1 1 1	1/7 1/5 1/3	1/7 1/5 1/3	1 1 1	3 5 7
O2	3 5 7	1 1 1	1 3 5	3 5 7	5 7 9
O3	3 5 7	1/5 1/3 1	1 1 1	3 5 7	5 7 9
O4	1 1 1	1/7 1/5 1/3	1/7 1/5 1/3	1 1 1	3 5 7
O5	1/7 1/5 1/3	1/9 1/7 1/5	1/9 1/7 1/5	1/7 1/5 1/3	1 1 1

Kriterlerin sentez değerlerini hesaplamak için (2) ve (5) nolu eşitlikler kullanılmıştır. Sonuç değerler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9: Motor Tipi Kriterine Göre Kriterlerin Sentez Değerleri

S1(O1)	0,0701	0,1326	0,2593
S2(O2)	0,1724	0,3762	0,7779
S3(O3)	0,1618	0,3284	0,6706
S4(O4)	0,0701	0,1326	0,2593
S5(O5)	0,0200	0,0302	0,0554

Marka değeri kriterine göre araçların kıyaslanması ve sentez değer hesapları aşağıda Tablo 10 ve 11'de verilmiştir.

Tablo 10: Marka Değeri Kriterine Göre Araçların Kıyaslanması

	O1	O2	O3	O4	O5
O1	1 1 1	1 3 5	1/7 1/5 1/3	1/9 1/9 1/7	1/9 1/7 1/5
O2	1/5 1/3 1	1 1 1	1/7 1/5 1/3	1/9 1/9 1/7	1/7 1/5 1/3
O3	3 5 7	3 5 7	1 1 1	1/9 1/7 1/5	1/5 1/3 1
O4	7 9 9	7 9 9	5 7 9	1 1 1	3 5 7
O5	5 7 9	3 5 7	1 3 5	1/7 1/5 1/3	1 1 1

Tablo 11: Marka Değeri Kriterine Göre Sentez Değerleri

S1(O1)	0,0285	0,0686	0,1503
S2(O2)	0,0285	0,0686	0,1503
S3(O3)	0,0881	0,1766	0,3647
S4(O4)	0,2770	0,4771	0,7880
S5(O5)	0,1222	0,2493	0,5026

Ekonomik ömür kriterine göre araçların kıyaslanması ve sentez değerleri Tablo. 12 ve 13'de verilmiştir.

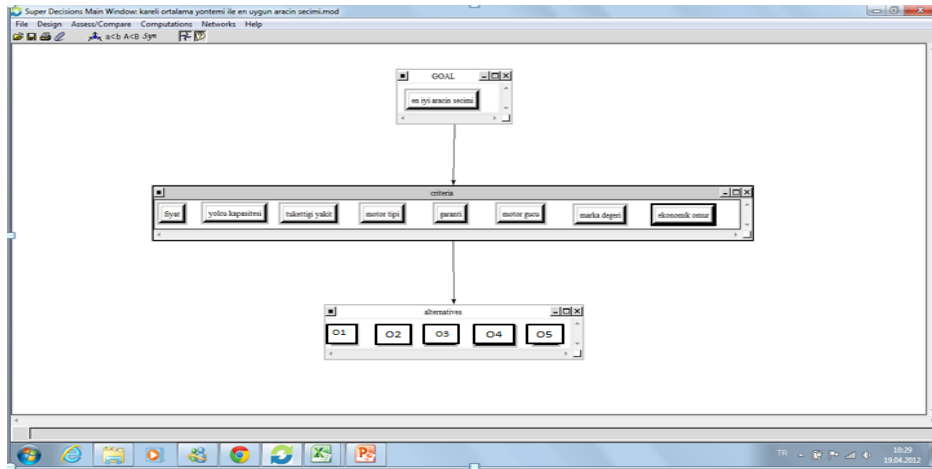
Tablo 12: Ekonomik Ömür Kriterine Göre Araçların Kıyaslanması

	O1	O2	O3	O4	O5
O1	1 1 1	1 3 5	1/7 1/5 1/3	1/9 1/9 1/7	1/5 1/3 1
O2	1/5 1/3 1	1 1 1	1/9 1/7 1/5	1/9 1/9 1/7	1/7 1/5 1/3
O3	3 5 7	5 7 9	1 1 1	1/9 1/7 1/5	3 5 7
O4	7 9 9	7 9 9	5 7 9	1 1 1	5 7 9
O5	1 3 5	3 5 7	1/7 1/5 1/3	1/9 1/7 1/5	1 1 1

Tablo 13: Ekonomik Ömür Kriterine Göre Sentez Değerleri

S1(O1)	0,0289	0,0694	0,1612
S2(O2)	0,0184	0,0267	0,0577
S3(O3)	0,1427	0,2711	0,5217
S4(O4)	0,2945	0,4931	0,7977
S5(O5)	0,0619	0,1396	0,2918

Elde edilen bu bulanık sayıların reel sayıya çevrilmesi gerekir. Bu çalışmada Kareli ortalama ve Kwong-Bai yöntemleri kullanılmıştır. Bulanık sayıları reel sayıya çevirmek için (12) ve (13) nolu eşitlikler kullanılmıştır. Daha sonra, “Super Decisions Software for Decision-Making” programı kullanılarak ağırlığı en yüksek olan araç belirlenmiştir. Şekil 3.’de Super Decision programında problemin hiyerarşik yapısının şekli görülmektedir.

Şekil 3: Super Decision Veri Giriş Sayfası

Super Decisions paket programı kullanarak, iki sıralama tekniğine göre elde edilen değerler Tablo. 14 ve 15’de verilmiştir.

Tablo 14: Kareli Ortalamaya Göre Seçeneklerin Ağırlık Değerleri

Alternatives	Total	Normal	İdeal	Ranking
O1	0.0909	0.1819	0.6830	4
O5	0.0993	0.1986	0.7460	3
O4	0.1331	0.2663	1.0000	1
O2	0.0769	0.1537	0.5774	5
O3	0.0997	0.1995	0.7493	2

Tablo 15: Kwong-Bai Yöntemine Göre Seçeneklerin Ağırlık Değerleri

Alternatives	Total	Normal	İdeal	Ranking
O1	0.0901	0.1801	0.6586	4
O5	0.0987	0.1973	0.7214	2
O4	0.1368	0.2735	1.0000	1
O2	0.0760	0.1520	0.5558	5
O3	0.0985	0.1970	0.7202	3

Bulanık sayıların sıralanması için kullanılan kareli ortalama ve Kwong-Bai yöntemi birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Her iki yöntemde de araç seçiminin ilk sırasında O4 yer almaktadır. 2. Sıra ile 3. sıranın yeri değişmektedir.

SONUÇ

Günümüzde yönetim ve karar sürecini etkileyen faktörlerin artması ve daha karmaşık hale gelmesiyle, yöneticiler, sorunlarına çözüm bulmak amacıyla farklı teknolojiler, sistemler, politikalar ve stratejiler arasından bir tercih yapmak zorunda kalmaktadırlar. Sınırlı kaynakların, en fazla faydayı sağlayacak şekilde kullanılabilmesi için ihtiyaçların doğru bir şekilde tespit edilip önceliklendirilmesi, karar verme kavramı içinde değerlendirilmektedir. Özellikle sosyal, çevresel, yapısal, politik v.b somut olmayan faktörlerin göz önüne alındığı ve kısıtlı bütçenin en iyi şekilde kullanılmasının zorunlu olduğu kamu hizmet sektöründe ihtiyaçların önceliklendirilmesi problemiyle sık sık karşılaşmaktadır. Kamu hizmet sektörlerinden biri olan belediyelerde sürekli karar alma problemleriyle karşılaşmaktadır. Belediyelerin yürütmekte olduğu bir çok kamu hizmetinden biride toplu taşımadır. Toplu taşıma, büyüme ve gelişme sürecindeki şehirlerin temel meselelerinden biridir. Toplu taşıma hizmetinin iyi yapılabilmesi için bu hizmette kullanılacak araç seçiminin de iyi yapılması gerekir. Araç seçiminde bir çok kriter vardır. Kriter sayısının artması, alınacak aracın seçimini zorlaştırmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri adı altında çözülen bu tip problemler için birçok çözüm tekniği geliştirilmiştir. Bu teknik-

lerden en çok kullanılan AHP'dir. AHP çok kriterli karar vermede etkili olan bir analizdir. AHP'nin bulanık ortamda kullanılması ise sözel ifadelerin belirli kriterler altında olması yerine esneklik kazandırılmasını kolaylaştırması bakımından etkili olmuştur. Çalışmada belediyelerin toplu taşıma araçlarının seçim sorununa Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yaklaşımı ile bir çözüm önerisi sunulmuştur. Araçlar konusunda uzman kişilerle yapılan görüşmeler neticesinde 8 kriter ve en çok tercih edilen 5 farklı 12 m (körüksüz) otobüs tipi belirlenmiştir. Alternatifler arasında sıralama yapmak için BAHP kullanılarak üçgen bulanık sayılar yardımıyla sentez değer hesapları elde edilmiş ve daha sonra bulanık sayıların reel sayıları dönüştürülmesi için Kareli Ortalama ve Kwong-Bai yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra Super Decision paket programı kullanarak alternatifler arasında sıralama yapılmıştır. Bulunan sonuçlara göre Kareli Ortalama ve Kwong-Bai yöntemi sıralama açısından birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir.

Yapılan uygulama ile tatmin edici sonuçlara ulaşılmış olansa bile, gelecek çalışmalar da; ele alınan kriterlerin alt kriterleri belirlenip iki aşamalı BAHP uygulanabilir. AHP yönteminde kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiler dikkate alınmaz, gelecek çalışmalarda Bulanık Analitik Serim Süreci yöntemi ile problem tekrar çözülebilir. Ayrıca bulanık sayıların sıralanması için literatürde yer alan farklı yöntemler kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- ABDEL-KADER, Magdy and David DUGDALE; (2001), "Evaluating Investments in Advanced Manufacturing Technology: A Fuzzy set Theory Approach." **British Accounting Review**, 33, pp. 455-489.
- ARSLAN, Turan and Jotin KHIRSTY; (2006), "A Rational Approach to Handling Fuzzy Perceptions in Route Choice", **European Journal of Operational Research**, 168(29), pp. 571-583.
- BAAS, Sejoerd M. and Huibert KWAKERNAAK; (1977), "Rating and Ranking of Multiple Aspect Alternatives Using Fuzzy Sets", **Automatica**, 13, pp. 47-58.
- BAŞKAYA, Zehra; (2011), **Bulanık Doğrusal Programlama**, Birinci Baskı, Bursa: Ekin Yayınevi.
- BAYKAL, Nazife ve Timur BEYAN; (2004), **Bulanık Mantık İlke Ve Temelleri**, Birinci Baskı, Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- BORTOLAN, Giovanni and Rossana DEGANI; (1985), "A Review of Some Methods for Ranking Fuzzy Numbers", **Fuzzy Sets and Systems**, 15, pp. 1-19.
- BUCKLEY, James J.; (1985), "Fuzzy Hierarchical Analysis", **Fuzzy Sets and Systems**, 17(3), pp. 233-247.
- CHANG, Da-Yong; (1996), "Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", **European Journal of Operational Research**, 95(3), pp. 649-655.
- CHEN, Shu-Jen; Ching-Lai HWANG and Frank P. HWANG; (1992), **Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**, First Edition, Berlin- Verlag: Springer.
- CHE, ZhengHua; HerShing WANG and Chih-Ling CHUANG; (2010), "A Fuzzy AHP and DEA Approach for Making Bank Loan Decisions For Small and Medium Enterprises in Taiwan", **Expert Systems with Applications**, 37(10), pp. 7189-7199.
- CHOOBINEH, Fred and Li HUIHEN; (1993), " An Index for Ordering Fuzzy Numbers", **Fuzzy Sets and Systems**, 54(3), pp. 287-294.
- ERTUĞRUL, İrfan; (2007), "Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bir Tekstil İşletmesinde Makine Seçim Problemine Uygulanması", **Hacettepe Üniversitesi İİBF Dergisi**, 25(1), ss. 171-192.
- EZZATI, Rosli; Tofigh ALLAHVIRANLOO; Solmaz KHEZERLOO and Mesiam KHEZERLOO; (2012), "An Approach for Ranking of Fuzzy Numbers", **Expert Systems with Applications**, 39, pp. 690-695.

- GASIMOV, Rafail N.; (2004), **Karar Analizi**, Osman Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- GÖKSU, Ali ve İbrahim GÜNGÖR; (2008), “Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması” **Süleyman Demirel Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**,13(3), ss. 1-26.
- GÜNDEN, Cihat ve Bülent MİRAN; (2008), “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanarak Çiftçi Kararlarının Analizi”, **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 45(3), ss. 195-204.
- GÜNGÖR, İbrahim ve İŞLER Büyüker Didar; (2005), “Analitik Hiyerarşik Yaklaşım İle Otomobil Seçimi”, **ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi**, 1(2), ss. 21-33.
- HASGÜL, Servet; (2010), "Analitik Hiyerarşi Süreci", Karar Verme Ders Notları, İnternet Adresi, “<http://rd.spring.com/article/10.1007/s19845-011-0560-2#>.” Erişim Tarihi:16.07.2012.
- İBRAHİM, Ahmed and Bilal M. AYYUB; (1992), “Multi-Criteria Ranking of Components According to Their Priority for Inspection”, **Fuzzy Sets and Systems**, 48, pp. 1-14.
- JAIN, Ramesh; (1976), “Decision Making in the Presence of Fuzzy Variable”, **IEEE Trans Systems Man and Cybernet SMC**, 6, pp. 698-703.
- KAPTANOĞLU, Dilek ve Ahmet Fahri ÖZOK; (2006), “Akademik Performans Değerlendirilmesi İçin Bir Bulanık Model” **İTÜ Dergisi/d Mühendislik**, 5(1), ss. 193-204.
- KRISHNENDU, Shaw; Shankar RAVI; S. Yadav SURENDRA and S. Thakur LAKSHMAN; (2012), “Supplier Selection Using Fuzzy AHP and Fuzzy Multi-Objective Linear Programming for Developing low Carbon Supply Chain”, **Expert Systems with Applications**, 39(9), pp. 8182-8192.
- KWONG, C.K. and Hoglei BAI; (2003), “Determining the Importance Weights for the Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP with an Extent Analysis Approach” **IEE Transactions**, 35(7), pp. 619-626.
- LAARHOVEN, Van P.M.J. and Witold PEDRYCZ; (1983), "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory”, **Fuzzy Sets and Systems**, 1(11), pp. 229-241.
- LEE, Seong Kon; Gento MOGI; Zhuolin LI; K.S. HUI; Sang Kon LEE; K.N. HUI; Sang Yong PARK; Young Jin HA and Jong Wook KIM; (2010), “Econometric Analysis of the R&D Performance in the National Hydrogen Energy Technology Development for Measuring Relative Efficiency: The fuzzy AHP/DEA Integrated Model Approach”, **International Journal of Hydrogen Energy**, 35(6), pp. 2236-2246.

- LIN, Hsiu-Fen; (2010), “An Application of Fuzzy AHP for Evaluating Eour-seWebsite Quality”, **Computers & Education**, 54(4), pp. 877-888.
- LIOU, Tian-Shy and Mao-Juin J. WANG; (1992), “Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value” **Fuzzy Sets and Systems**, 50(3), pp. 247-255.
- ORLANDO, Duran; (2011), “Computer-aided Maintenance Management Systems Selection Based on a Fuzzy AHP Approach” **Advances in Engineering Software**, 42(10), pp. 821-829.
- ÖZKAN, M. Mustafa; (2003), **Bulanık Hedef Programlama**, Birinci Baskı, Bursa: Ekin Kitabevi.
- PAKSOY, Turan; Nimet Yapıcı PEHLİVAN, ve Cengiz KAHRAMAN; (2012), “Organizational Strategy Development in Distribution Channel Management using Fuzzy AHP and Hierarchical Fuzzy TOPSİS”, **Expert Systems with Applications**, 39(3), pp. 2822-2841.
- SAATY, Thomas L. and G. Luis VARGAS; (2001), **Model, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process**, First Edition, Denmark: Kluwer’s International Series.
- SAATY, Thomas L. and Luis G. VARGAS; (2001), **Model, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process**, First Edition, Denmark: Kluwer’s International Series.
- TAHA, Zahari and Sarkawt ROSTAM; (2011), “A Hibrid Fuzzy AHP-PROMETHEE Decision Support System for Machine Tool Selection in Flexible Manufacturing cell.”, **Journal of Intelligent Manufacturing**, 23(6), pp. 2137-3149, Internet Address, (<http://rd.springer.com/article/10.1007/s10845-011-0560-2#>). Date of Access: 07.08.2012
- TOKSARI, Murat and M. Duran TOKSARI; (2003), “Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yaklaşımı Kullanılarak Hedef Pazarların Belirlenmesi”, **ODTÜ Gelişme Dergisi**, 38, ss. 51-57.
- UZOKA, Faith Michael Emeka; Okure OBOT; Ken BARKER and Joseph OSUJI; (2011), “An Experimental Comparison of Fuzzy Logic and AHP for Medical Decision Support Systems”, **Computer Methods and Programs Biomedicine**, 103(1), pp. 10-27.
- VARGAS, G.Luis; (1990), “An Overview of The Analytic Hierarchy Process and Its Applications”, **European Journal of Operational Research**, 48(1), pp. 2-8.
- YALÇIN, Seçme N. ve Ali İhsan ÖZDEMİR; (2008), “Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Çok Kriterli Stratejik Tedarikçi Seçimi: Türkiye Örneği” **Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 22(2), ss. 175-190.
- ZADEH, Lotfi A. (1965), “Fuzzy Sets.” **Information and Control**, 8, pp. 338-353.

