



## An new interval type-2 hybrid fuzzy rule-based AHP system for supplier selection

Müslüm Öztürk\*<sup>1</sup>, Turan Paksoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Technologies, Kilis 7 Aralık University, Kilis, 79000, Turkey

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Konya Technical University, Konya, 42000, Turkey

### Highlights:

- Supplier selection with interval type-2 fuzzy rule-based AHP (IT2 FRB AHP) approach: a new method of application
- Comparison of IT2 FRB AHP and interval type 2 fuzzy AHP (IT2 FAHP) method
- Ranking of alternatives with IT2 FRB AHP and IT2 FAHP approach

### Keywords:

- Fuzzy rule based system
- Interval type-2 hybrid fuzzy rule based AHP approach
- Supplier selection ranking
- Supplier selection with interval type-2 fuzzy rule based AHP.

### Article Info:

Research Article  
Received: 09.12.2018  
Accepted: 09.02.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.494086

### Correspondence:

Author: Müslüm ÖZTÜRK  
e-mail: mozturk@kilis.edu.tr  
phone: +90 544 741 5394

### Graphical/Tabular Abstract

The ranking of three alternatives under three criteria for the selection of appropriate suppliers in this study, taking into account expert opinions is as follows: Primarily, the interval fuzzy type-2 Analytical Hierarchy Process (IT2 FAHP) method, which has no rule base and recommended by Kahraman et al. (2014) was used, and then the alternatives were ranked by the Interval Type-2 Fuzzy-Rule Based Analytical Hierarchy Process (IT2 FRB AHP) which was recommended in the context of this study. Then, IT2 BAHP and IT2 FRB AHP methods used without rule base, and Kendall Tau correlation method were used in this study, and the 3 alternative suppliers which were addressed in the problem of selecting 3 supplier firms are ranked. The ranking values obtained are shown in Table A whereas, the values belonging to ranking performance evaluation based on the Kendall Tau correlation are shown in Table B. As a result; It was seen that the range type-2 fuzzy rule-based AHP (IT2 FRB AHP) method produces more significant results and higher performance than interval type-2 AHP with actual ranking method used without the actual fuzzy rule base.

**Table A.** Proposed IT2 FRB AHP method, supplier selection ranking results

Alternatives	Rankings		
	Real Ranking in accordance with Expert Opinion	IT2 FAHP	IT2 FRB AHP
A2	1	2	1
A1	2	1	2
A3	3	3	3

**Table B.** Ranking performance evaluation based on Kendall Tau correlation

Alternatives	IT2 FAHP		IT2 FRB AHP	
	G <sub>ij</sub>	J <sub>ij</sub>	G <sub>ij</sub>	J <sub>ij</sub>
A2	1	1	2	0
A1	1	0	1	0
A3	0	0	0	0
In Total	2	1	3	0
$\tau$		0,33		1,00
z		0,517		1,567

**Purpose:** In this study; it was aimed to rank three alternatives under the three criteria for supplier selection using the developed interval type 2 fuzzy rule-based AHP method.

### Theory and Methods:

In an environment with a large number of criteria and alternatives, the supplier selection problem for firms and organizations was tested comparatively using Interval Type-2 Fuzzy AHP (IT2 FAHP) and Interval Type-2 Fuzzy rule-Based AHP (IT2 FRB AHP) methods in this study.

### Results:

In this paper, a novel variation of IT2 FAHP method via extending established IT2 FAHP method (Kahraman et al., 2014) by attached the ability of fuzzy rule based system approach in solving the multi criteria decision making problems. The proposed method was defined as IT2 FRB AHP. The ranking based on proposed method is validated comparatively using Kendall tau correlation (see Table 10). The results shows proposed method (IT2 FRB AHP) outperform the established non rule based version of IT2 FAHP in term of ranking performance. In the IT2 FAHP method, the significance values of the ranking values were 0,517, whereas this value was calculated as 1,567 for the proposed method (see Table 18). It is seen that ranking performance based on the Kendall Tau correlation produces higher correlated results in the proposed interval type-2 fuzzy rule-based method. The result shows that IT2 FRB AHP method is more successful than AT2 BAHP method. The proposed method not only provides a useful way to handle MCDM problems in a more flexible and intelligent manner also presents expert knowledge more accurately. In this paper, the authors have successfully extended established IT2 FAHP using fuzzy rule-based system.

### Conclusion:

In this study, it was shown that the use of IT2 FRB AHP method in selecting suppliers is higher performance than other methods.



## Tedarikçi seçimi için yeni bir aralık tip-2 hibrit bulanık kural tabanlı AHP sistemi

Müslüm Öztürk\*<sup>1</sup>, Turan Paksoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri bölümü, 79000 Kilis, Türkiye

<sup>2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 42000 Konya, Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- Aralık tip-2 bulanık kural-tabanlı AHP (AT2 BKT AHP) yaklaşımı ile tedarikçi seçimi: Yeni bir metod uygulaması
- AT2 BKT AHP ile aralık tip-2 bulanık AHP (AT2 BAHP) yönteminin karşılaştırılması
- AT2 BKT AHP ve AT2 BAHP yaklaşımı ile alternatiflerin sıralanması

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 09.12.2018

Kabul: 09.02.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.494086

### Anahtar Kelimeler:

Bulanık kural tabanlı sistem, aralık tip-2 hibrit bulanık kural tabanlı AHP yaklaşımı, tedarikçi seçimi sıralaması, aralık tip-2 bulanık kural tabanlı AHP ile tedarikçi seçimi

### ÖZET

Bulanık karar vermenin ana çalışma alanı, belirsizlik altında karar vermektir. Çünkü belirsizliğe neden olan kriterlere, alternatiflere ve sonuçlara ilişkin sayısal değerler değil, sözel değerler mevcuttur. Tip-1 bulanık kümelerin üyelik işlevleri, kendisiyle ilgili bir belirsizliğe sahip değildir. Oysa tip-1 bulanık kümelere göre tip-2 bulanık kümeler ile aşırı aritmetik işlemlere ihtiyaç duyulurken; tip-2 bulanık kümeler, tip-1 bulanık kümeleri ve sistemleri yaygınlaştırarak üyelik fonksiyonlarını tanımlama konusunda daha fazla belirsizliği ele alabilmektedir. Tip-2 bulanık kümesi, üyelik fonksiyonlarının belirsizliğini bulanık küme teorisine dâhil etmemizi sağlar. Bu nedenle, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin tip-2 bulanık sayılar ile entegre edilmesi karar verme sürecinde avantajlar sağlayacaktır. Öte yandan, karar vericinin etki derecesini yansıtmak için insan duyarlılığının kullanılmasını gerektiren karar verme sürecinin karma bir analizi bulanık kural tabanlı ile ifade edilebilir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), aynı anda çeşitli ve çelişen kriterleri hesaba katan ve yaygın bir şekilde kullanılan ÇKKV yöntemidir. Ve AHP yöntemi, aynı zamanda karar vericilerin kişisel tercihlerini çözüm sürecine dâhil etmelerini sağlayan bir yöntemdir. Amacımız, tip-2 bulanık kümeleri için yeni bir sıralama yöntemi ile birlikte bir Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı AHP (AT2 BKT AHP) yöntemini geliştirmektir. Önerilen metodu, AT2 BAHP metodu ile bir tedarikçi seçim problemine karşılaştırmalı olarak uygulayacağız.

## An new interval type-2 hybrid fuzzy rule-based AHP system for supplier selection

### H I G H L I G H T S

- Supplier selection with interval type-2 fuzzy rule-based AHP (IT2 FRB AHP) approach: a new method of application
- Comparison of IT2 FRB AHP and interval type 2 fuzzy AHP (IT2 FAHP) method
- Ranking of alternatives with IT2 FRB AHP and IT2 FAHP approach

### Article Info

Research Article

Received: 09.12.2018

Accepted: 09.02.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.494086

### Keywords:

Fuzzy rule based system, interval type-2 hybrid fuzzy rule based AHP approach, supplier selection ranking, supplier selection with interval type-2 fuzzy rule based AHP

### ABSTRACT

The main study area of fuzzy decision making is decision making under uncertainty. Because there are verbal values, not numerical values, regarding criteria, alternatives and results which causes uncertainty in return. The membership functions of type-1 fuzzy set do not have any uncertainty related to themselves. Whereas, the excessive arithmetic operations are required by type-2 fuzzy set in comparison with type-1 fuzzy set, type-2 fuzzy set may address more uncertainty in the issue of defining the membership functions by generalizing type-1 fuzzy sets and systems. A type-2 fuzzy set lets us incorporate the uncertainty of membership functions into the fuzzy set theory. For this reason, integrating multicriteria decision making (MCDM) problems with interval type-2 fuzzy numbers will provide advantages in the decision-making process. On the other hand, a mixed analysis of the decision-making process, which requires the use of human sensitivity to reflect the influence level of the decision maker, can be expressed as the fuzzy rule base. Analytic Hierarchy Process (AHP) is a widely used MCDM that can take into account various and conflicting criteria at the same time. And the AHP method is also a method that allows decision makers to incorporate their personal preferences into the solution process. Our objective is to develop an Interval Type-2 Fuzzy Rule-Based AHP (IT2 FRB AHP) method together with a new ranking method for type-2 fuzzy sets. We will apply the proposed method comparatively with the interval type-2 fuzzy AHP (IT2 FAHP) method to a supplier selection problem

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Her gün daha da artan rekabet ortamında işletmeler varlıklarını sürdürebilmek için, en iyi kalitedeki ürünü en uygun maliyet ile tedarik edip hızlı bir şekilde müşterilerine sunmak durumundadırlar [1]. Bu sebeple günümüz rekabetçi dünyasında organizasyonların üzerinde değer yaratmak ve bu değerın müşterilere dağıtımı için daha iyi yollar bulunması baskısı artmaktadır. İşletmeler rekabetin ve işbirliğinin küreselleşmesi, müşteri isteklerinin çeşitlenmesi ve ürün hayat döngülerinin kısalması gibi rekabetçi pazar baskılarıyla karşı karşıya olmalarından dolayı yönetim stratejilerini ayarlamak ve rekabet avantajlarını sürdürmek için etkili metotlar bulma arayışındadırlar. Örneğin, malzeme ihtiyaç planlaması ve kurumsal kaynak planlaması operasyonları kaynakları bütünleştirmek için kullanılmaktadır. Bu araçların amacı müşteri taleplerini karşılamak için tepki zamanını azaltmak ve müşteri memnuniyetini arttırmaktır. Her bir firmanın yönetsel yeteneği tedarik zinciri üyeleri arasındaki karmaşık işletme ilişkilerinin koordinasyonuna ve bütünleştirilmesine bağlıdır [2]. Rekabetçi bir ortamda başarılı tedarikçilerin seçimini ve değerlendirmesini dikkate almazsak, herhangi bir üretim sürecini yüksek kalitede ve düşük maliyetle yönetmek son derece zor olacaktır. Tedarik zinciri yönetimi, müşterinin emrinden başlayıp, ürün dağıtımına kadar iyi organize bir şekilde çeşitli faaliyetleri sistemleştirerek bir araya getiren bir süreçtir. Tedarik zincirlerinde tedarikçi, perakendeci, dağıtıcı, vb. olmak üzere çok sayıda üye bulunmaktadır [3]. Herhangi bir tedarik zinciri yönetiminin başarısı veya başarısızlığı büyük oranda uygun bir sisteme ve uygun tedarikçilere bağlıdır. Günümüzün hızla değişen tedarik zinciri yönetimi ortamı düşük kâr sınırı, siparişler için daha az bekleme süresi ile yüksek kalite beklentileri ile karakterizedir [4]. Tedarikçi seçimi, güvenilir tedarikçileri seçmek için kalitatif ve kantitatif faktörleri birlikte göz önünde bulunduran karmaşık, çok kriterli bir karar verme sürecidir [5-8]. Bu karmaşıklık, belirsiz ve kontrolsüz faktörlerden kaynaklanır ve bunlar belirsiz ve birbirleriyle çelişebilir [8, 9]. Geçmişte, tedarikçi seçimi problemleri, uzman görüşüne dayalı bulanık kural tabanını ve belirsizliği ele almada güçlü olan tip-2 bulanık kümeler gibi konuları fazla dikkate almadan genellikle tedarikçi firmalar için ürün maliyeti, ürün teslim süresi ve ürün kalitesi gibi konular üzerine odaklandılar.

Bir tedarik zinciri ağında, tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi, karar verme sürecinde yer alan çeşitli çelişkili, ölçülebilen, sıralı ve temel faktörlerle olan yüksek komplikasyonlardan dolayı tasarlanmış bir görevdir [10]. Bu ağda; kuruluşlar, avantaj elde etmek için satın alma faaliyetlerini uyumlaştırmaya zorlanmaktadır. Kuruluşlar, satın alma aktivitelerini uygun bir şekilde yönetirken, tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi hayati bir rol oynar ve kuruluşlar için tedarikçi seçimi herhangi bir organizasyonun uygulanabilir faydaları için çok temel bir unsur haline gelmiştir [11]. Bununla birlikte, uygun tedarikçilerin seçilmesi, malzeme satın alma maliyetini önemli ölçüde

düşürür, esnekliği ve ürün kalitesini artırır ve sonunda malzeme satın alma sürecini hızlandırmaya yardımcı olur [12]. Tedarikçinin seçilmesinin ana hedefleri, alıcı ile tedarikçi arasındaki uzun vadeli bir ilişki satın alma ve geliştirme riskini azaltmaktır [13].

Çok kriterli karar verme son zamanlarda optimizasyon problemlerinde [14-16] büyük ilgi görmüştür. Herhangi bir sektöre çözüm önerisi sunmak amacıyla ele alınan bir karar verme problemi her türlü belirsizlik ve karışıklıktan arındırılmalıdır [17]. ÇKKV sorunlarının geleneksel formülasyonunda, insanın yargıları kesin sayılar olarak temsil edilir. Bununla birlikte, birçok pratik durumda, veriler kesin olmayabilir veya karar vericiler, değerlendirmede tam sayısal değerleri atayamayabilirler [18]. Bazı değerlendirme kriterleri doğası gereği öznel ve nitel olduğundan, karar vericinin tercihlerini tam sayısal değerleri kullanarak ifade etmesi çok zordur [19]. Tedarikçi seçimi problemlerinde, bir çeşit karar yapıcılar vasıtasıyla karar vericinin kısıtlamaları ve tercih öncelikleri açısından alternatiflerin sonlu sayıdaki özellikleri üzerinde kararlar alırlar. Örneğin en uygun tedarikçi seçimi için [20] yeni bir metotla dilsel etiketlerin kullanıldığı bir çevrede belirsizliklerle ilişkilendirilmiş çok kriterli karar yapıcı problemlerde, dil ağırlıklı aritmetik ortalama yaklaşımı ile her kriterin ağırlığının genel tercih değerini almıştır. Geleneksel ÇKKV yaklaşımları, dilbilimsel değerlendirmelerin kesin olmayan veya belirsiz doğasıyla uğraşırken daha az etkili olma eğilimindedirler [21]. En çok kullanılan ÇKKV yaklaşımlarından biri olan AHP, birçok çelişen kriter dahil olmak üzere karmaşık kararların düzenlenmesi ve analiz edilmesi için yapılandırılmış çok kriterli bir tekniktir. Literatürde tip-1 bulanık kümeler dayalı bulanık AHP yöntemleri bulunmaktadır. Bulanık AHP tekniği, geleneksel AHP'den geliştirilmiş gelişmiş bir analitik yöntem olarak görülebilir. Karar vericilerin kararlarına dayanan çok ölçütlü karar verme problemlerinin nicel ve nitel kriterlerini ele almada AHP'nin rahatlığına rağmen, birçok karar verme probleminde var olan bulanıklık ve belirsizlik, geleneksel AHP yaklaşımlarında karar vericilerin kesin kararlarına neden olabilir [22]. Birçok karar verme problemi ve çözümü nicel sayılar ile tanımlanamayacak kadar karmaşık yapıdadır. Bulanık küme teorisi sayesinde kesin olarak tanımlanamayan sınırlar ile verilerin sınıflandırılması gerçekleştirilir. Böylece insanın düşünme tarzına uygun, gerçek dünya problemlerinin çözümü sağlanabilir [23]. Tip-1 bulanık kümelerde, her elemanın, [0,1] [24] aralığında bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanan bir üyelik derecesi vardır. Tip-2 bulanık kümesi kavramı, [25] tarafından, tip-1 bulanık küme adı verilen sıradan bulanık küme kavramının bir uzantısı olarak tanımlanmıştır. Tip-2 bulanık kümeler, bulanık bir küme için tam üyelik fonksiyonunu belirlemenin zor olduğu durumlarda çok faydalıdır. Bu nedenle, dilbilimsel belirsizliklerin dahil edilmesi için yararlıdır. Örneğin, dilbilimsel bilgide kullanılan kelimeler, kişiden kişiye göre farklılık gösterebilir [26]. Bu nedenle, tip-1 bulanık kümeleri, gerçek dünya belirsizliklerine birinci dereceden bir yaklaşım olarak düşünüldüğünde, tip-2 bulanık kümeleri,

belirsizliğe ikinci dereceden bir yaklaşım olarak görülebilir. Yani, tip-1 bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları iki boyutlu iken, tip-2 bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları üç boyutludur. Tip-2 bulanık kümelerde doğrudan belirsizlikleri modellemeyi mümkün kılan özellik bu yeni üçüncü boyuttur [18].

Aralık tipi-2 bulanık kümeler, genel tip-2 bulanık kümelerin özel bir halidir. Aralık tipi-2 bulanık kümelerinin tüm ikincil üyelik işlevleri, bir işlev yerine 1 gibi keskin bir değer alır. Bu nedenle, ikincil üyelik işlevleri, tip-2 bulanık kümelerdeki ayırt edici bilgileri taşımamaktadır ve tip 2 bulanık mantıksal işlemlerinde sadece birincil üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerinin kullanılması yeterlidir [27]. Bu nedenden dolayı, aralık tip-2 bulanık kümeleri genellikle hesaplama kolaylığı nedeniyle genel tip-2 bulanık sistemlerde daha çok kullanılmaktadır [28]. Bu sebeple bu çalışmada da; aralık tipi-2 bulanık kümeleri kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında tedarikçi seçimi konusu hakkında yapılan literatür çalışması aşağıda özet halinde verilmiştir. [18] tarafından yapılan bir çalışmada dört kriter altında tedarikçi seçimi problemine Bulanık AHP ve aralık tip-2 Bulanık AHP yöntemini uygulamıştır. Sonuçta belirsizliği ifade etmede daha güçlü olan aralık tip-2 bulanık kümelerin tedarikçi seçiminde daha başarılı olduğu saptanmıştır. [29] tarafından yapılan çalışmada aralık tip-2 bulanık mantık kümelerini kullanarak Üçüncü Parti Tersine Lojistik (3PTL) Firma Seçimi problemine uygulamışlardır. Çalışmada, en iyi 3PTL firma seçimi için yedi kriter ve üç alternatif ile AT2 BAHF yöntemi kullanılmıştır. Yapılan uygulama çalışması sonucunda, uygulanan aralık tip-2 bulanık AHP yönteminin 3PTL firma seçiminde kullanılabileceği ortaya konulmuştur. [30] tarafından yapılan bir çalışmada; geliştirilen aralık tip-2 bulanık kural tabanlı TOPSIS modeli bir stok seçimi problemine uygulanmıştır. Araştırma sonucunda önerilen aralık tip-2 bulanık kural tabanlı TOPSIS modelinin kural tabanlı olmayan aralık tip-2 bulanık TOPSIS modelinden daha başarılı bir performans sergilediği görülmüştür. [31] tarafından “mekânsal analiz için aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı sistem” adlı çalışmada; coğrafi bilgi sistemlerinde yer alan mekânsal analiz problemlerinde aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı sistemler kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, tip-1 bulanık kümeler kullanılarak elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu mekânsal analiz problemlerinde tip-2 bulanık-kural tabanlı sistemlerin kullanılmasının tip-1 bulanık sistemlere göre daha güçlü ve etkili olduğu sonucuna varılmıştır. [32] tarafından “hava yolu firmaları seçimi için bulanık çok kriterli bir model” adlı çalışmada; müşteri gereksinimlerine göre beş hava yolu firması arasında en iyi hava yolu firmasını belirlemek için Kano Model (KM), Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile yeni bulanık çok kriterli bir model geliştirilmiştir. Bu model ile Türkiye’de faaliyet gösteren ve önemli pazar paylarına sahip beş hava yolu firması değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde, ilk olarak, on adet müşteri isteği yani hizmet kriteri belirlenmiş ve KM kullanılarak bu kriterler arasından en önemli kriterin “uçuş güvenliği” kriteri olduğu ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra, Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile yapılan

karşılaştırmalı analiz sonucunda hizmet kriterlerini karşılama açısından en iyi hava yolu firmalarının sıralaması yapılmıştır. [33] tarafından “iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model ve uygulaması” adlı çalışmada; tehlikelerin değerlendirilmesi ve tehlikelere yönelik önlemlerin değerlendirilmesi olmak üzere iki aşamadan oluşan çok kriterli karar verme probleminde, bulanık mantık ve ÇKKV yöntemlerinin risk analizi sürecine entegrasyonu ile geleneksel risk analizi yaklaşımının etkinliği artırılmıştır. Birinci aşamada, geleneksel risk analizinde kullanılan “olasılık” ve “şiddet” faktörlerine “maliyet” unsuru da dâhil edilmiş, faktör ağırlıkları Bulanık-AHP ile belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar kullanılarak Bulanık-TOPSIS ile tehlikeler önceliklendirilmiştir. İkinci aşamada ise tehlikelerin faktör ağırlıkları kullanılarak önlemlerin öncelik sırası Bulanık-TOPSIS ile belirlenmiştir. Bu yaklaşımın önemi bulanık mantık ve ÇKKV yöntemlerinden yararlanarak iş sağlığı ve güvenliği konusunda risklerin yanında önlemlerin de önceliklendirilmesidir. [34] tarafından yapılan çalışmada; şirketler için farklı üreticilerin mevcut ürünlerini karşılaştırmaları için aralık tip-2 TOPSIS tekniği geliştirilmiştir. Daha sonra önerilen bu teknik ile tip-1 bulanık kümelerle yapılan ürün değerlendirmeleri karşılaştırılmış ve ürün değerlendirmesinde tip-2 kümelerin tip-1 bulanık kümelere göre daha başarılı sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. [35] tarafından “genişletilmiş bulanık AHP kullanarak risk faktörlerini dikkate alan küresel tedarikçi geliştirme” isimli çalışmada; klasik AHP yöntemini bulanık AHP yöntemine genişletmişlerdir. Genişletilmiş bulanık AHP yöntemi klasik AHP yöntemiyle karşılaştırmalı olarak tedarikçi seçiminde uygulanmıştır. Sonuç olarak tedarikçi seçiminde; klasik yöntemlere göre bulanık kümelerin ÇKKV yöntemleriyle birlikte kullanılmasının daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür. [36] tarafından yapılan bir çalışmada; coğrafi bilgi sistemlerinin mekânsal analizi için aralık tip-2 bulanık kural tabanlı yeni bir sistem önermişlerdir. Çalışma kapsamında mekânsal analiz problemi aralık tip-2 bulanık kural tabanlı sistem ve Mamdani tipi tip-1 bulanık kural tabanlı sistem kullanılarak test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, aralık tip-2 bulanık kural tabanlı sistemin tip-1 bulanık kural tabanlı sistemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tedarikçi seçiminde; [15] tarafından önerilen yöntemde; aralık tip-2 bulanık kümeler kullanılarak önerilen bulanık TOPSIS yaklaşımı aralık tip-1 bulanık AHP yöntemiyle karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin daha başarılı olduğu görülmüştür. Tip-1 bulanık AHP’de ayırıcı fark değeri 0,120 olarak hesaplanırken tip-2 bulanık AHP için bu değer 0,232 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın amacı da karar alıcıların aralık tip-2 bulanık çevrede bulanık kural tabanlı kümeleri tedarikçi seçimi probleminde entegre etmelerine yardımcı olmak için ÇKKV’ye dayalı bir karar verme aracı geliştirmek ve bir tedarikçi seçim probleminde uygulamaktır. Böylece bu yazıda, ilk kez aralık tip-2 bulanık kurala dayalı bir AHP yöntemi geliştirilmiş ve literatüre sunulmuştur. Çünkü bulanık AHP’nin dilsel ölçeği, aralık tip-2 bulanık kümeler tarafından daha detaylı ve esnek bir şekilde ifade edilmektedir.

Bu çalışma aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır: Genel tip-2 ve aralık tip-2 bulanık kümeleri Bölüm 2’de açıklanmıştır. Önerilen model ve benimsenen çözüm yaklaşımı Bölüm 3’te açıklanmıştır. Tedarikçi seçimi sorunu için bir uygulama çalışması yapılmış ve uygulama çalışmasına dayalı sayısal veriler Bölüm 4’te verilmiştir. Uygulama çalışmasının analiz sonuçları Bölüm 5’te verilmiştir. Genel sonuç, Bölüm 6’da verilmiştir.

**2. GENEL TİP-2 VE ARALIK TİP-2 BULANIK KÜMELER (GENERAL TYPE-2 AND INTERVAL TYPE-2 FUZZY SETS)**

Bu bölümde, genel tip-2 bulanık kümeleri ve aralık tipi-2 bulanık kümelerinin bazı tanımları kısaca açıklanmıştır.

X evrenindeki bir tip-2 bulanık  $\tilde{A}$  kümesi, bir tip-2 üyelik fonksiyonu olan  $\mu_{\tilde{A}}$  şeklinde temsil edilebilir [37]. Eş. 1’de bir tip-2 bulanık  $\tilde{A}$  kümesinin tanımı verilmiştir.

**Tanım 1.**  $\tilde{A} = \left\{ \begin{array}{l} (x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \\ \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \end{array} \right\}$  (1)

Burada;  $J_x [0, 1]$  aralığında bir aralığı temsil etmektedir. Tip-2 bulanık bir  $\tilde{A}$  kümesi Eş. 2’de gösterildiği gibi ifade edilir [38]:

$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u)$ , (2)

Burada  $J_x \subseteq [0,1]$  ve  $\int \int x$  ve  $u$  üzerinde kabul edilebilir tüm birleşimleri ifade etmektedir.

$\tilde{A}$ , tip-2 üyelik fonksiyonu olan  $\mu_{\tilde{A}}$  tarafından X evreninde temsil edilen bir tip-2 bulanık küme olsun. Eğer tüm  $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$  ise ondan sonra  $\tilde{A}$ , aralık tip-2 bulanık kümesi olarak adlandırılır [37]. Bir aralık tip-2 bulanık  $\tilde{A}$  kümesi genel tip-2 bulanık bir kümenin özel bir hali olarak tanımlanır ve Eş. 3’te görüldüğü gibi ifade edilir [38]:

$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1 / (x, u)$  (3)

Burada  $J_x \subseteq [0,1]$  [38].

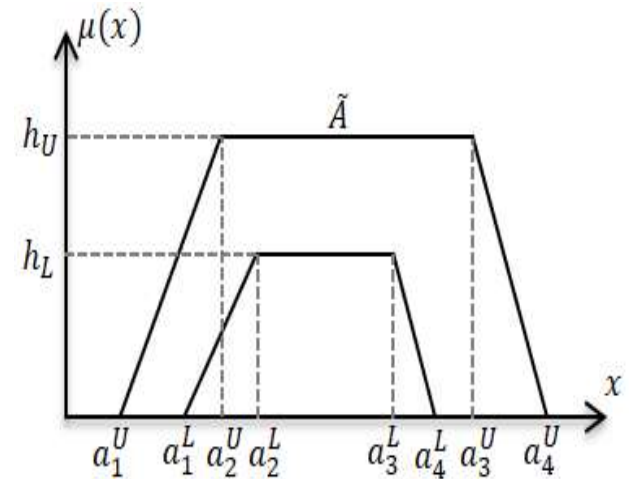
Aralık tip-2 bulanık kümelerle ilgili aritmetik işlemler yamuk tip-2 üyelik fonksiyonu örnek verilerek aşağıda gösterilmiştir:

**Tanım 2.** Bir aralık tip-2 bulanık kümenin alt ve üst üyelik fonksiyonu sırasıyla birer tip-1 üyelik fonksiyonlardır. Bu üyelik fonksiyonu Eş. 4’te görüldüğü şekilde tanımlanır.

$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = \left( \begin{array}{l} (a_{i1}^u, a_{i2}^u, a_{i3}^u, a_{i4}^u; h_1(\tilde{A}_i^U), h_2(\tilde{A}_i^U)), \\ (a_{i1}^l, a_{i2}^l, a_{i3}^l, a_{i4}^l; h_1(\tilde{A}_i^L), h_2(\tilde{A}_i^L)) \end{array} \right)$  (4)

Burada;  $\tilde{A}_i^U$  ve  $\tilde{A}_i^L$  tip-1 bulanık kümeleridir.  $a_{i1}^u, a_{i2}^u, a_{i3}^u, a_{i4}^u, a_{i1}^l, a_{i2}^l, a_{i3}^l, a_{i4}^l$  aralık tip-2 bulanık  $\tilde{A}_i$  kümesinin referans noktalarıdır,  $h_j(\tilde{A}_i^U) 1 \leq j \leq 2$  iken yamuk üst üyelik fonksiyonu olan  $\tilde{A}_i^U$  üyelik fonksiyonunda  $a_{i(j+1)}^u$  elemanının üyelik değerini ifade etmektedir.  $h_j(\tilde{A}_i^L) 1 \leq j \leq 2$  iken yamuk alt üyelik fonksiyonu olan  $\tilde{A}_i^L$  üyelik fonksiyonunda  $a_{i(j+1)}^l$  elemanının üyelik değerini ifade etmektedir. Ayrıca;  $h_1(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], h_2(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], h_1(\tilde{A}_i^L) \in [0,1], h_2(\tilde{A}_i^L) \in [0,1], 1 \leq i \leq n$  dir.

Aşağıda Şekil 1’de görüldüğü gibi  $h_1(\tilde{A}_i^L)$  ve  $h_2(\tilde{A}_i^L)$  üyelik değerleri eşit olup bu değer  $h_L$  ile ifade edilmiştir. Aynı şekilde;  $h_1(\tilde{A}_i^U)$  ve  $h_2(\tilde{A}_i^U)$  üyelik değerleri de eşit olup bu değer  $h_U$  ile ifade edilmiştir.  $a_{i1}^u, a_{i2}^u, a_{i3}^u, a_{i4}^u, a_{i1}^l, a_{i2}^l, a_{i3}^l, a_{i4}^l$  referans noktaları ise  $a_1^u, a_2^u, a_3^u, a_4^u, a_1^l, a_2^l, a_3^l, a_4^l$  olarak ifade edilmiştir [39].



**Şekil 1.** Aralık tip-2 bulanık  $\tilde{A}$  kümesinin, üst yamuk üyelik fonksiyonu  $\tilde{A}^U$  ve alt yamuk üyelik fonksiyonu  $\tilde{A}^L$  (Sets of interval type-2 fuzzy  $\tilde{A}$ , upper trapezoid membership function  $\tilde{A}^U$  and lower trapezoid membership Function  $\tilde{A}^L$ ).

Toplama ve çarpma işlemleri için kullanılacak olan yamuk aralık tip-2 bulanık kümeler olan  $\tilde{A}_1$  ve  $\tilde{A}_2$  kümeleri Eş. 5 ve Eş. 6’da görüldüğü şekilde tanımlanır. [39]:

$\tilde{A}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left( \begin{array}{l} (a_{11}^u, a_{12}^u, a_{13}^u, a_{14}^u; h_1(\tilde{A}_1^U), h_2(\tilde{A}_1^U)), \\ (a_{11}^l, a_{12}^l, a_{13}^l, a_{14}^l; h_2(\tilde{A}_1^L), h_2(\tilde{A}_1^L)) \end{array} \right)$  (5)

ve

$\tilde{A}_2 = (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left( \begin{array}{l} (a_{21}^u, a_{22}^u, a_{23}^u, a_{24}^u; h_1(\tilde{A}_2^U), h_2(\tilde{A}_2^U)), \\ (a_{21}^l, a_{22}^l, a_{23}^l, a_{24}^l; h_1(\tilde{A}_2^L), h_2(\tilde{A}_2^L)) \end{array} \right)$  (6)

**Tanım 3.** Toplama işlemi: Eş. 7’de görüldüğü şekilde ifade edilir.

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (\tilde{A}_1^u, \tilde{A}_1^l) \oplus (\tilde{A}_2^u, \tilde{A}_2^l) = \left( \left( \begin{array}{c} a_{11}^u + a_{21}^u, a_{12}^u + a_{22}^u, a_{13}^u + a_{23}^u, a_{14}^u + a_{24}^u; \\ \min(h_1(\tilde{A}_1^u),), h_1(\tilde{A}_2^u),), \min(h_2(\tilde{A}_1^u),), h_2(\tilde{A}_2^u),) \end{array} \right), \left( \begin{array}{c} a_{11}^l + a_{21}^l, a_{12}^l + a_{22}^l, a_{13}^l + a_{23}^l, a_{14}^l + a_{24}^l; \\ \min(h_1(\tilde{A}_1^l),), h_1(\tilde{A}_2^l),), \\ \min(h_2(\tilde{A}_1^l),), h_2(\tilde{A}_2^l),) \end{array} \right) \right) [39]. \quad (7)$$

**Tanım 4.** Sabit bir k sayısı ile bir bulanık kümenin çarpımı: Eş. 8’de görüldüğü şekilde ifade edilir

$$k\tilde{A}_1 = k(\tilde{A}_1^u, \tilde{A}_1^l) = \left( \begin{array}{c} ka_{11}^u, ka_{12}^u, ka_{13}^u, ka_{14}^u; h_1(\tilde{A}_1^u), h_2(\tilde{A}_1^u), \\ ka_{11}^l, ka_{12}^l, ka_{13}^l, ka_{14}^l; h_1(\tilde{A}_1^l), h_2(\tilde{A}_1^l) \end{array} \right) [39]. \quad (8)$$

**2.1. Sıralama Performansı Metodu**  
(Ranking Performance Method)

[18] tarafından üçgen ve yamuk tip-2 bulanık kümelerinin durulaştırılması ve sıralanması için bir sıralama performansı metodu önerilmiştir. Üçgen aralık tip-2 bulanık kümeleri için DTriT metodu önerilmiştir. Bu metodun kullanımı Eş. 9’da görüldüğü gibidir:

$$DTriT = \left( \left( (u_U - l_U) + (m_U - l_U) \right) / 3 \right) + l_U + \alpha \left( \left( (u_L - l_L) + (m_L - l_L) \right) / 3 + l_L \right) / 2 \quad (9)$$

Burada;  $\alpha$  önerilen tip-2 bulanık kümenin alt üyelik fonksiyonunun maksimum üyelik derecesidir.  $u_U$  üst üyelik fonksiyonunun en büyük referans noktası değeridir.  $l_U$  üst üyelik fonksiyonunun en düşük referans noktası değeridir.  $m_U$  üst üyelik fonksiyonunun tepe değerinin en yüksek değerini aldığı referans noktasının değeridir.  $u_L$  alt üyelik fonksiyonunun en büyük referans noktası değeridir.  $l_L$  alt üyelik fonksiyonunun en düşük referans noktası değeridir.  $m_L$  alt üyelik fonksiyonunun tepe değerinin en yüksek değerini aldığı referans noktasının değeridir. Bu yöntemi bir örnek ile açıklayalım: DTriT yöntemi için Şekil 2 kullanılarak durulaştırma ve sıralama performansı değeri Eş. 10 kullanılarak hesaplanır.

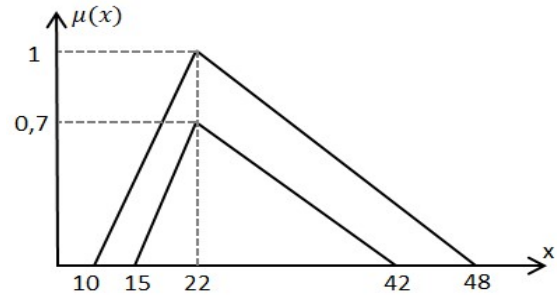
$$DTriT = ((48 - 10) + (22 - 10)) / 3 + 10 + 0,7 \left[ \frac{(42 - 15) + (22 - 15)}{3} + 15 \right] / 2 = 22,55 \quad (10)$$

Yamuk aralık tip-2 bulanık kümeleri için DTraT metodu önerilmiştir. Bu metodun kullanımı Eş. 11’de verilmiştir:

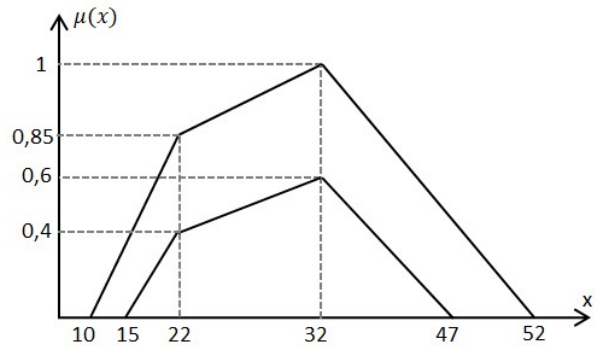
$$DTraT = \left( \left( (u_U - l_U) + (\beta_U \cdot m_{1U} - l_U) + (\alpha_U \cdot m_{2U} - l_U) \right) / 4 \right) + l_U + \left( \left( (u_L - l_L) + (\beta_L \cdot m_{1L} - l_L) + (\alpha_L \cdot m_{2L} - l_L) \right) / 4 \right) / 2 \quad (11)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  önerilen tip-2 bulanık kümesinin alt üyelik fonksiyonunun maksimum üyelik dereceleridir.  $u_U$  üst üyelik

fonksiyonunun en büyük referans noktası değeridir.  $l_U$  üst üyelik fonksiyonunun en düşük referans noktası değeridir.  $m_{1U}$  ve  $m_{2U}$  üst üyelik fonksiyonunun ikinci ve üçüncü referans noktalarının değerleridir.  $u_L$  alt üyelik fonksiyonunun en büyük referans noktası değeridir.  $l_L$  alt üyelik fonksiyonunun en düşük referans noktası değeridir.  $m_{1L}$  ve  $m_{2L}$  alt üyelik fonksiyonunun ikinci ve üçüncü referans noktalarının değerleridir.



**Şekil 2.** Örnek bir üçgen tip-2 bulanık kümesi  
(A sample triangle type-2 fuzzy set).



**Şekil 3.** Örnek bir yamuk tip-2 bulanık kümesi  
(A sample trapezoid type-2 fuzzy set).

Bu yöntemi bir örnek ile açıklayalım: DTraT yöntemi için Şekil 3 kullanılarak durulaştırma ve sıralama performansı değeri Eş. 12 kullanılarak hesaplanır.

$$DTraT = \left( \left( (52 - 10) + ((0,85 \times 22) - 10) + (32 - 10) \right) / 4 \right) + 10 + \left( \left( (47 - 15) + (0,4 \times 22 - 15) + (0,6 \times 32) \right) / 4 \right) / 2 = 25,34 \quad (12)$$

**3. ÖNERİLEN AT2 BKT AHP YÖNTEMİ**  
(PROPOSED AT2 BKT AHP METHOD)

Bu bölümde, önerilen yöntemin daha iyi anlaşılabilmesi için, [18] tarafından önerilen AT2 BAHP yöntemi adımlarıyla verilecektir. Daha sonra tarafımızdan önerilen yöntem sunulacaktır.

**3.1. AT2 BAHP Metodu (AT2 BAHP Method)**

**Adım 1:** Problemin tanımı ve probleme uygun problemin amacı belirlenir.

**Adım 2:** Probleme ait kriterler (varsa alt kriterler) ve alternatifler belirlenir.

**Adım 3:** Tüm kriterler ve alternatifler arasında bulanık ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. İkili karşılaştırma matrisini oluşturmak için uzman dilsel değişkenleri kullanılır. Dilsel değişkenler ve bunların aralık tip-2 bulanık ölçekleri Tablo 1’de verilmiştir. Dilsel değişkenlerin kullanılması ile Eş. 13’teki gibi bulanık ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Çalışma kapsamında uzman karar vericiler tarafından oluşturulacak olan kural tabanının öncül ifadeleri ve alternatiflerin seviyeleri için dilsel etiketler ve bunların aralık tip-2 bulanık ölçekleri Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 1.** Dilsel değişkenlerin aralık tip-2 bulanık ölçekleri (Interval type-2 fuzzy scales of linguistic variables)

Dilsel Etiketler	Yamuk Tip-2 Bulanık
Kesinlikle Güçlü (KÇ)	(7,8,9,9;1,1) (7,2, 8,2, 8,8, 9;0,8, 0,8)
Çok Güçlü (ÇG)	(5,6,8,9;1,1) (5,2, 6,2, 7,8, 8,8;0,8, 0,8)
Oldukça Güçlü (OG)	(3,4,6,7;1,1) (3,2, 4,2, 5,8, 6,8;0,8, 0,8)
Çok Az Güçlü (ÇAG)	(1,2,4,5;1,1) (1,2, 2,2, 3,8, 4,8;0,8, 0,8)
Tam Eşit (E)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1)

Eğer faktör  $i$  faktör  $j$  ile karşılaştırıldığında yukarıdaki değişkenlerden birini alıyorsa,  $j$  ile karşılaştığında karşıt (karşılıklı) değeri alır.

**Tablo 2.** Alternatiflerin seviyeleri için dilsel etiketler (Linguistic term for alternative level)

Dilsel Etiketler	Yamuk Tip-2 Bulanık
Çok kötü (ÇK)	(0,00, 0,00, 0,00, 0,20;1,1)(0,00, 0,00, 0,00, 0,20;1,1)
Kötü (K)	(0,20, 0,25, 0,25, 0,40;1,1)(0,20, 0,25, 0,25, 0,40;1,1)
Orta (O)	(0,40, 0,50, 0,50, 0,60;1,1)(0,40, 0,50, 0,50, 0,60;1,1)
İyi (İ)	(0,60, 0,75, 0,75, 0,80;1,1) (0,60, 0,75, 0,75, 0,80;1,1)
Çok İyi (Çİ)	(0,80, 1,00, 1,00, 1,00;1,1) (0,80, 1,00, 1,00, 1,00;1,1)

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Burada

$$1/\tilde{a} = \left( (1/a_{14}^u, 1/a_{13}^u, 1/a_{12}^u, 1/a_{21}^u; H_1(a_{12}^u), H_2(a_{13}^u)), (1/a_{24}^l, 1/a_{23}^l, 1/a_{21}^l, 1/a_{12}^l; H_1(a_{22}^l), H_2(a_{23}^l)) \right) \quad (14)$$

**Adım 4:** Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı incelenir. Bu amaçla bulanık ikili karşılaştırma matrisleri durulaştırılır ve tutarlılık incelenir. Eğer tutarsızlık tespit edilirse uzmanların yeniden değerlendirme yapması istenir. Bulanık çift karşılaştırma matrislerinin tutarlılığını kontrol etmek için önerilen DTriT (Üçgen bulanık sayılar için) veya DTraT (Yamuk bulanık sayılar için) yaklaşımı kullanılır.

**Adım 5:** Uzmanların görüşleri geometrik ortalama kullanılarak toplanır. Her bir satırın geometrik ortalaması  $\tilde{r}_i$  Eş. 15 kullanılarak hesaplanır:

$$\tilde{r}_i = [\tilde{a}_{i1} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{1/n} \quad (15)$$

Burada;

$$\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij}} = \left( \left( \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^u}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^u}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^u}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^u}; H_1^u(a_{ij}), H_2^u(a_{ij}) \right), \left( \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^l}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^l}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^l}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^l}; H_1^l(a_{ij}), H_2^l(a_{ij}) \right) \right) \quad (16)$$

**Adım 6:** Her bir kriterin bulanık ağırlıkları hesap edilir. Bu amaçla ilk önce her bir satırın geometrik ortalaması olan  $\tilde{r}_i$  hesaplanır.  $i$ . kriterin bulanık ağırlığı  $\tilde{w}_i$  aşağıdaki şekilde Eş. 17 kullanılarak hesaplanır:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \quad (17)$$

Burada;

$$\frac{\tilde{a}_{ij}}{\tilde{b}_{ij}} = \left( \frac{a_1^u}{b_4^u}, \frac{a_2^u}{b_3^u}, \frac{a_3^u}{b_2^u}, \frac{a_4^u}{b_1^u}; \min(H_1^u(a), H_1^u(b)), \min(H_2^u(a), H_2^u(b)) \right), \left( \frac{a_1^l}{b_4^l}, \frac{a_2^l}{b_3^l}, \frac{a_3^l}{b_2^l}, \frac{a_4^l}{b_1^l}; \min(H_1^l(a), H_1^l(b)), \min(H_2^l(a), H_2^l(b)) \right) \quad (18)$$

**Adım 7:** Her alternatifin bulanık performans puanları Eş. 19 kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}, \forall i. \quad (19)$$

Burada;  $\tilde{U}_i$ ,  $i$ . alternatifin bulanık faydasını,  $\tilde{w}_j$ ,  $j$ . kriterin ağırlığını ve  $\tilde{r}_{ij}$ ,  $j$ . kritere göre  $i$ . alternatifin performans puanını göstermektedir. Daha sonra, en iyi alternatifi belirlemek için klasik AHP yönteminin prosedürü uygulanır.

### 3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Yukarıda [18] tarafından sunulan altı basamaklı yöntem, tarafımızdan geliştirilmiş ve on adımdan oluşan bir yöntem olarak sunulmuştur. Önerilen yöntemin ilk yedi adımını

yukarıda açıklanmış geriye kalan dört adım ise bu çalışma kapsamında ilk kez geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında ilk kez geliştirilen bu adımlar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

**Adım 8:** Alternatiflerin performans seviyesini belirlemek için aralık tp-2 bulanık sayılar durulaştırılarak her alternatif  $A_i$ 'nin yakınlık göreceli derecesi ( $CC_i$ ) hesaplanır. Bu hesaplama için [1] tarafından önerilen durulaştırma yöntemi (DTraT) kullanılmıştır (Eş. 20). Aynı şekilde diğer tüm alternatifler için benzer prosedür (yol) izlenir.

$$DTraT = ((u_U - l_U) + (\beta_U \cdot m_{1U} - l_U) + (\alpha_U \cdot m_{2U} - l_U)) / 4 + l_U + ((u_L - l_L) + (\beta_L \cdot m_{1L} - l_L) + (\alpha_L \cdot m_{2L} - l_L)) / 4 / 2 = CC_i \quad (20)$$

**Adım 9:** Her alternatifin yakınlık katsayısı etkisi ( $ICC_i$ );

Günlük hayatta şu bir gerçektir ki; daha fazla deneyime sahip olan uzmanların bir karar hakkındaki değerlendirmeleri daha az deneyime sahip olan uzmanlarınkinden daha etkilidir. Bu aşamada öncelikli olarak her karar vericinin etki derecesi ( $\sigma_K$ ) Eş. 21 kullanılarak belirlenir.

$$\sigma_K = \theta_i / \sum_{i=1}^K \theta_i \quad i = 1, \dots, m \text{ için}; \quad (21)$$

Burada;  $\sigma_K$   $K^{\text{th}}$  karar yapıcısı için normalize edilmiş etki değerini temsil etmektedir.  $\theta_i$  karar yapıcısının 0 (önemsiz) ve 10 (çok önemli) arasındaki önem derecesidir. Ondan sonra

$$ICC_i = \sigma_K * CC_i \quad (22)$$

Ve  $ICC_i$  değişen değerinin 0 ile 1 arasındaki değerini garantiye almak için  $ICC_i$  ( $NICC_i$ ) ifadesinin Eş. 23'te görüldüğü gibi normalize etmek gereklidir.

$$NICC_i = ICC_i / \max_i ICC_i \quad (23)$$

**Adım 10:** Öncül ( $\Lambda$ ) ve sonuç ( $\chi$ ) matrisleri

Bir öncül matrisi Eş. 24 kullanılarak hesaplanır.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Burada;  $X_{ij}$  kriterlere göre her alternatifin karar yapıcının görüşünü temsil eden dilsel etiketlerdir. İlk önce karar yapıcıları tarafından tanımlanmış olan her alternatif için bir değer elde edilir. Bu değer Tablo 2'de daha yüksek üyelikli bulanık kümeye göre alternatif sonuçlarını belirlemek için kullanılır. Ondan sonra sonuçların matrisi Eş.24'te görüldüğü şekilde tanımlanır.

$$X = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_m \end{bmatrix} \quad (25)$$

Burada;  $Y_j$ , Eş. 23'te değerini bulduğumuz alternatifin önem seviyesinin Tablo 2'ye dayalı sistem çıkışını gösteren bir dilsel terime dayalı bir ifadedir. Bu nedenle Eş. 24 ve Eş. 25'te öncül ve sonuç matrisleri Eğer-O Halde kuralları aşağıdaki gibi yazılabilir:

**Eğer**  $C_1=X_{11}$  **Ve**  $C_2=X_{12}$  **Ve....Ve**  $C_{1n}=X_{1n}$  **İse** **O Halde**  $A_1=Y_1$

**Eğer**  $C_1=X_{21}$  **Ve**  $C_2=X_{22}$  **Ve....Ve**  $C_{2n}=X_{2n}$  **İse** **O Halde**  $A_1=Y_2$

- 
- 
- 

**Eğer**  $C_1=X_{m1}$  **Ve**  $C_2=X_{m2}$  **Ve....Ve**  $C_{mn}=X_{mn}$  **İse** **O Halde**  $A_1=Y_m$

**Adım 11:** Her alternatif için final skoru ( $\Gamma$ ) Eş. 26'da verilmiştir.

$$\Gamma = \lambda * \Omega \quad (26)$$

Burada;  $\lambda$  Eş. 25'te çıkışın toplanmış (birleştirilmiş) üyelik fonksiyonunun bir keskin değeridir. Ve  $\lambda$  aşağıda Eş. 27'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \sum_{i=1}^K \alpha_{ij} / K \quad (27)$$

Burada;  $\alpha_{ij} \in Y_j$  çıkışın maksimum üyelik derecesidir. Bizde bu örnekte daha iyi bir sıralama elde etmek için çalışma kapsamında önerilen yöntemi kullanacağız. Bu yöntem özellikle benzer sıralama pozisyonlarına sahip alternatifler olduğu zaman etki çarpanı olması açısından önemlidir. Bu yöntem her alternatifte küçük bir farklılık olsa bile bu farklılığı bize daha iyi (daha duyarlı) bir şekilde gösterecektir. Etki çarpanını ( $\Omega$ ) genel olarak hesaplamak için maksimum üyelik derecesine sahip marjinal bir yakınlık katsayısı kullanılır ki bu marjinal yakınlık katsayısı aşağıda Eş. 28'de verilmiştir.

$$\Omega = \sum_{i=1}^K NICC_i / K \quad (28)$$

$\lambda$  ve  $\Omega$  değerleri hesaplandıktan sonra Eş. 26 kullanılarak her alternatif için final skoru olan ( $\Gamma$ ) değeri hesaplanır. Daha sonra  $\Gamma$ 'nin değerinden, tüm alternatiflerin sıralama sırası tespit edilebilir. Burada;  $\Gamma$ 'nin daha yüksek değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.



#### 4. ÖNERİLEN YÖNTEMİN UYGULANMASI (APPLICATION OF THE PROPOSED METHOD)

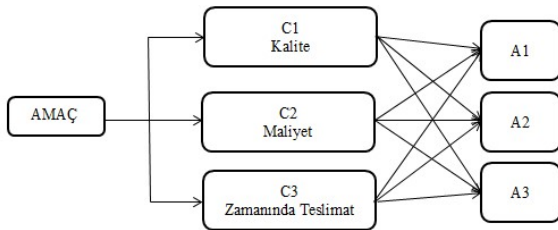
Bu bölümde aşamaları yukarıda verilen AT2 BKT AHP yöntemi bir tedarikçi seçim problemine uygulanmıştır. Uygulama süreci üç aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada probleme ait kriter ve alternatifler belirlenmiştir. Daha sonra problemi ele alabilmek için uzmanlardan oluşan komite oluşturulmuş ve değerlendirme süreci başlatılmıştır. İkinci aşamada problemin amacına uygun olarak, kriterler ve alternatifler uzmanlara değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise uzmanların değerlendirmeleri doğrultusunda uygulanan yöntemin sonucunda alternatiflerin sıralanması yapılmıştır.

##### 4.1. Karar Modeli (Decision Model)

Adana ilinde süt imalatı üzerinde üretim yapan bir firma ile birlikte çalışılmış ve bu firma için en uygun tedarikçileri belirlemek üzere çalışma yapılmıştır. Öncelikle, üç yöneticiden (bir üretim müdürü, bir kalite müdürü ve bir akademisyen) oluşan bir komite oluşturulmuştur. Tedarikçi firma seçimi için değerlendirme kriteri olarak üç kriter (Kalite, Maliyet, Zamanında Teslimat) literatür taraması ve komite görüşlerince belirlenmiştir. Tablo 3'te ele alınan üç kriterin açıklamaları verilmiştir. Sonuç olarak Şekil 4'te hiyerarşik yapısı verilen üç seviyeli karar problemi oluşturulmuştur.

**Tablo 3:** Tedarikçi firma seçimi için kullanılan Kriterler (Criteria used for supplier selection)

Kriter	Açıklama
Kalite (C1)	Firmaların ürün performansı, dayanıklılığı firmaların kalite anlayışını vb. içerikleri kapsamaktadır.
Zamanında Teslimat (C2)	Firmaların ürünleri zamanında ulaştırması, teslim zamanını içermektedir.
Maliyet (C3)	Ürünün üretilmesi için gerekli olan girdilere yapılan ödemelerin toplamı ifade eder.



**Şekil 4.** Karar probleminin hiyerarşik yapısı (The hierarchical structure of the decision problem).

##### 4.2. Önerilen Yöntemin Uygulanması (Application of the Proposed Method)

Bu bölümde önerilen yöntemin tedarikçi firma seçiminde uygulanabilirliği adım adım gösterilmiştir. Karar probleminin amacı, üç kriteri dikkate alarak üç tedarikçi firmasından en iyisinin seçilmesidir. Şimdi önerilen yöntemi, ele alınan tedarikçi seçimi problemine uygulanmasını adım adım açıklayalım:

###### Adım 1: Problemin tanımının ve amacının belirlenmesi

Bu uygulamada önerilen yöntem kullanılarak üç tedarikçi firma sıralaması yapılacaktır.

###### Adım 2: Probleme ait kriterler ve alternatiflerin belirlenmesi

Probleme ait üç kriter ve üç alternatif (tedarikçi) belirlenmiştir. Problem için belirlenen kriterler Tablo 3'te açıklamalarıyla beraber verilmiştir.

###### Adım 3: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Üç farklı uzman, Tablo 1'de verilen dilsel değişkenler ölçeğini kullanarak üç kriter için Tablo 4'te verilen ikili karşılaştırmaları elde edilmiştir. Her bir alternatifin kriterlere göre ikili karşılaştırmalarını yapabilmek için uzmanlar tarafından Tablo 5'te verilen ikili karşılaştırmaları elde edilmiştir. Yine alternatifler için üç farklı karar verici uzman bilgisi puanları [0 (önemsiz) ve 10 (çok önemli)] için Tablo 6 oluşturulmuştur.

**Adım 4:** Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık kontrolü [18] tarafından önerilen DTraT yöntemi kullanılarak Tablo 7 ve Tablo 8'deki durulaştırılmış değerler elde edilir.

Kriterler ve alternatifler için elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı her bir uzman için ayrı ayrı incelenmiş ve hesaplanan tutarlılık oranlarının 0,1'den (%10) küçük olduğu bulunmuştur. Bu sebeple; uzmanlara göre kriterler ve alternatifler arasında yapılan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlı olduğu söylenilebilir.

###### Adım 5: Geometrik ortalama olan $\tilde{r}_i$ değerinin hesaplanması

Bu adımda her bir karşılaştırma matrisi için çözümlerin verilmesi çok zor olacağı için sadece bir matris üzerinden örnek hesaplamalar anlatılmıştır. C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirmesi hesaplamalar için örnek olarak kabul edilmiştir. Bu matriste A3 ve A1 alternatiflerinin değerlendirilmesi, üç uzmana göre sırasıyla OG, ÇAG ve ÇG olarak elde edilmiştir. Üç uzmanın

**Tablo 4:** Kriterler için İkili Karşılaştırma Matrisi (Binary comparison matrix for criteria)

	C1			C2			C3		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
C1	E	E	E	1/ÇG	1/OG	ÇG	1/ÇG	1/ÇG	1/OG
C2	ÇG	OG	1/ÇG	E	E	E	1/ÇG	1/ÇG	1/OG
C3	ÇG	ÇG	OG	ÇG	ÇG	KÇ	E	E	E

**Tablo 5:** Alternatifler İçin İkili Karşılaştırma Matrisleri (Binary comparison matrices for alternatives)

	A1			A2			A3		
C1'e Göre	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
A1	E	E	E	1/OG	1/ÇAG	1/OG	1/OG	1/ÇAG	1/ÇG
A2	OG	ÇAG	OG	E	E	E	1/ÇAG	E	E
A3	OG	ÇAG	ÇG	ÇAG	E	E	E	E	E
	A1			A2			A3		
C2'e Göre	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
A1	E	E	E	E	E	ÇAG	OG	ÇG	ÇG
A2	E	E	1/ÇAG	E	E	E	OG	ÇG	OG
A3	1/OG	1/ÇG	1/ÇG	1/OG	1/ÇG	1/OG	E	E	E
	A1			A2			A3		
C3'e Göre	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
A1	E	E	E	OG	ÇAG	ÇAG	ÇG	ÇG	ÇG
A2	1/ÇG	1/ÇG	1/ÇG	E	E	E	OG	ÇAG	OG
A3	1/OG	1/ÇAG	1/OG	1/OG	1/OG	1/ÇAG	E	E	E

**Tablo 6:** Alternatifler İçin Karar Verici Uzman Değerlendirmesi [0 (önemsiz)--->10 (çok önemli)] (Decision-Maker (DM) expert evaluation for alternatives [0 (insignificant) ---> 10 (very important)])

	U1	U2	U3
A1	8	10	10
A2	10	8	9
A3	7	10	10

**Tablo 7.** Kriterler için durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi (Defuzzified pairwise comparison matrix for criteria.)

	C1			C2			C3		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
C1	1	1	1	0,1	0,21	6,65	0,1	0,1	0,21
C2	6,65	2,85	0,1	1	1	1	0,1	0,1	0,21
C3	6,65	6,65	4,75	6,65	6,65	7,83	1	1	1

**Tablo 8:** Alternatifler için durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisleri (Defuzzified pairwise comparison matrix for alternatives)

	A1			A2			A3		
C1'e Göre	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
A1	1	1	1	0,21	0,44	0,21	0,21	0,44	0,1
A2	4,75	4,75	4,75	1	1	1	0,44	1	1
A3	4,75	4,75	6,65	4,75	1	1	1	1	1
	A1			A2			A3		
C2'e Göre	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
A1	1	1	1	1	1	4,75	4,75	6,65	6,65
A2	1	1	0,44	1	1	1	4,75	6,65	4,75
A3	0,21	0,1	0,1	0,21	0,1	0,21	1	1	1
	A1			A2			A3		
C3'e Göre	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
A1	1	1	1	4,75	4,75	4,75	6,65	6,65	6,65
A2	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,75	4,75	4,75
A3	0,21	0,44	0,21	0,21	0,21	0,44	1	1	1

değerlendirmeleri Eş. 15 ve Eş. 16 kullanılarak toplanmış ve Eş. 29'daki sonuç elde edilmiştir.

$$\tilde{a}_{31} = \sqrt[3]{\begin{matrix} (3,4,6,4; 1,1)(3,2, 4,2, 5,8, 6,8; 0,8, 0,8) \otimes \\ (1,2,4,5; 1,1)(1,2, 2,2, 3,8, 4,8; 0,8, 0,8) \otimes \\ (5,6,8,9; 1,1)(5,2, 6,2, 7,8, 8,8; 0,8, 0,8) \end{matrix}} \quad (29)$$

$$=(2,466, 3,634, 5,768, 6,804;1,1)(2,712, 3,854, 5,560, 6,597;0,8, 0,8)$$

Uzmanların değerlendirmeleri aynı hesaplamalar ile yapılmış ve C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için Tablo 5'ten yararlanılarak Tablo 9 oluşturulmuştur.

Daha sonra her bir ikili karşılaştırma matrisi için her satırın geometrik ortalaması alınmıştır. Örnek kabul edilen C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için bu değerler Eş. 15 kullanılarak Eş. 30'da görülen değerler hesaplanmıştır.

**Tablo 9:** C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi (Evaluation of alternatives according to C1)

	A1	A2	A3
A1	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1) (2,080, 3,175, 5,241, 6,257;1,1)	(0,160, 0,191, 0,315, 0,250;1,1) (0,165, 0,199, 0,295, 0,433;0,8, 0,8)	(0,147, 0,173, 0,275, 0,405;1,1) (0,152, 0,180, 0,259, 0,369;1,1) (0,585, 0,630, 0,794,1;1,1)
A2	(2,308, 3,386, 5,037, 6,055;0,8, 0,8) (2,466, 3,634, 5,769, 6,804;1,1)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1)	(0,593, 0,641, 0,769, 0,941;0,8, 0,8)
A3	(2,713, 3,855, 5,560, 6,598;0,8, 0,8)	(1, 1,260, 1,587, 1,710;1,1) (1,063, 1,301, 1,560, 1,687;0,8, 0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1)

$$\tilde{r}_1 = \sqrt[3]{\begin{matrix} (1,1,1,1; 1,1)(1,1,1,1; 1,1) \otimes \\ (0,160, 0,191, 0,315, 0,250; 1,1) \\ (0,165, 0,199, 0,295, 0,433; 0,8, 0,8) \otimes \\ (0,147, 0,173, 0,275, 0,405; 1,1) \\ (0,152, 0,180, 0,259, 0,369; 1,1) \end{matrix}} \quad (30)$$

$$=(0,286, 0,320, 0,442, 0,466;1,1) \\ (0,292, 0,329, 0,424, 0,542;1,1)$$

Diğer iki alternatif içinde benzer hesaplamalar yapıldıktan sonra C1 kriterine göre elde edilen  $\tilde{r}_i$  değerleri Tablo 10’da gösterilmiştir.

**Tablo 10:** C1 Kriterine göre elde edilen  $\tilde{r}_i$  değerleri ( $\tilde{r}_i$  values obtained according to C1)

	$\tilde{r}_i$ Değerleri
A1	(0,286, 0,320, 0,442, 0,466;1,1)(0,292, 0,329, 0,424, 0,542;0,8, 0,8)
A2	(1,067, 1,259, 1,608, 1,842;1,1)(1,110, 1,294, 1,570, 1,786;0,8, 0,8)
A3	(1,351, 1,660, 2,092, 2,265;1,1)(1,423, 1,711, 2,054, 2,232;0,8, 0,8)

**Adım 6:** Kriterlerin ve alternatiflerin öncelik değerleri ( $\tilde{w}_i$ ) değerlerinin hesaplanması

$\tilde{r}_i$  değerleri hesaplandıktan sonra kriterlerin ve alternatiflerin öncelik değerleri ( $\tilde{w}_i$ ) için Eş.16 kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \quad \text{eşitliğinden} \quad A1 \text{ alternatifi için;}$$

$$(0,286, 0,320, 0,442, 0,466;1,1)(0,292, 0,329, 0,424, 0,542;0,8, 0,8) \otimes [(0,286, 0,320, 0,442, 0,466;1,1)(0,292, 0,329, 0,424, 0,542;0,8, 0,8) \oplus (1,067, 1,259, 1,608, 1,842;1,1)(1,110, 1,294, 1,570, 1,786;0,8, 0,8) \oplus (1,351, 1,660, 2,092, 2,265;1,1)(1,423, 1,711, 2,054, 2,232;0,8, 0,8)]^{-1}$$

$$=(0,286, 0,320, 0,442, 0,466;1,1)(0,292, 0,329, 0,424, 0,542;0,8, 0,8) \otimes [(2,704, 3,241, 4,143, 4,574;1,1)(2,825, 3,335, 4,050, 4,561;0,8, 0,8)]^{-1} \\ = (0,286, 0,320, 0,442, 0,466;1,1)(0,292, 0,329, 0,424, 0,542;0,8, 0,8) \otimes (0,218, 0,241, 0,308, 0,369;1,1)(0,219, 0,246, 0,299, 0,353;0,8, 0,8)$$

$$=(0,062, 0,077, 0,106, 0,172;1,1)(0,064, 0,081, 0,127, 0,192;0,8, 0,8)$$

C1 kriteri için benzer işlemler diğer alternatifler için de yapıldıktan sonra elde edilen  $\tilde{w}_i$  değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 11:** C1 Kriterine göre elde edilen  $\tilde{w}_i$  değerleri ( $\tilde{w}_i$  values obtained according to C1)

	$\tilde{w}_i$ Değerleri
A1	(0,062, 0,077, 0,106, 0,172;1,1)(0,064, 0,081, 0,127, 0,192;0,8, 0,8)
A2	(0,233, 0,304, 0,388, 0,681;1,1)(0,243, 0,319, 0,470, 0,632;0,8, 0,8)
A3	(0,295, 0,400, 0,504, 0,837;1,1)(0,312, 0,422, 0,616, 0,790;0,8, 0,8)

Benzer hesaplamalar her bir kriter ve alternatifler için yapılmış ve hesaplanan değerler Tablo 12 ve Tablo 13’te gösterilmiştir.

**Tablo 12:** Kriterler altında alternatiflerin öncelik değerleri (Priority values of alternatives under criteria)

	Öncelik Değerleri
	C1 Kriterine Göre
A1	(0,062, 0,077, 0,106, 0,172;1,1)(0,064, 0,081, 0,127, 0,192;0,8, 0,8)
A2	(0,233, 0,304, 0,388, 0,681;1,1)(0,243, 0,319, 0,470, 0,632;0,8, 0,8)
A3	(0,295, 0,400, 0,504, 0,837;1,1)(0,312, 0,422, 0,616, 0,790;0,8, 0,8)
	C2 Kriterine Göre
A1	(0,461, 0,444, 0,542, 0,416;1,1)(0,366, 0,463, 0,627, 0,758;0,8, 0,8)
A2	(0,341, 0,302, 0,352, 0,532;1,1)(0,264, 0,312, 0,407, 0,504;0,8, 0,8)
A3	(0,096, 0,085, 0,104, 0,162;1,1)(0,075, 0,088, 0,120, 0,153;0,8, 0,8)
	C3 Kriterine Göre
A1	(0,595, 0,496, 0,675, 0,418;1,1)(0,365, 0,531, 0,867, 1,200;0,8, 0,8)
A2	(0,213, 0,166, 0,226, 0,464;1,1)(0,128, 0,177, 0,289, 0,422;0,8, 0,8)
A3	(0,096, 0,069, 0,097, 0,221;1,1)(0,056, 0,073, 0,122, 0,195;0,8, 0,8)

**Tablo 13:** Amaç altında kriterlerin öncelik Değerleri  
(Priority values of the criteria under the objective)

Öncelik Değerleri	
Kriter	Amaca Göre
C1	(0,077, 0,098, 0,189, 0,312;1,1)(0,084, 0,123, 0,208, 0,291;0,8, 0,8)
C2	(0,062, 0,090, 0,168, 0,230;1,1)(0,067, 0,093, 0,153, 0,214;0,8, 0,8)
C3	(0,259, 0,363, 0,637, 0,832;1,1)(0,276, 0,375, 0,587, 0,783;0,8, 0,8)

**Adım 7:** Her alternatifin bulanık performans puanlarının hesaplanması;

Öncelik değerlerinin hesaplanmasından sonra alternatiflerin yerel ağırlıkları elde edilir. Alternatiflerin yerel ağırlıkları, Eş. 19 kullanılarak her bir alternatifin öncelik değeri ile ilgili kriterin ağırlıklarının çarpılması ile bulunur. Tablo 12 ve Tablo 13'te elde edilen ağırlıkların kullanılması ile alternatiflerin yerel ağırlık değerleri Tablo 14'teki gibi elde edilmiştir.

**Adım 8:** Daha sonra Eş. 19 kullanılarak her alternatifin son (global) ağırlık değerleri ile Eş. 20 kullanılarak her alternatifin

yakınlık göreceli derecesi olan ( $CC_i$ ) değerleri Tablo 15'te görüldüğü gibi hesaplanır.

**Adım 9:** Her alternatifin yakınlık katsayı etkisi ( $ICC_i$ ) değerinin hesaplanması;

Tablo 6'deki bilgiler kullanılarak Eş. 21'den alternatifler için her karar vericinin etki değerleri Eş. 31, Eş. 32 ve Eş. 33 kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_1 = 8/(8 + 10 + 10) = 0,285 \quad (31)$$

$$\sigma_2 = 10/(10 + 8 + 9) = 0,370 \quad (32)$$

$$\sigma_3 = 7/(7 + 10 + 10) = 0,259 \quad (33)$$

Daha sonra Eş.21 kullanılarak A1, A2 ve A3 alternatifleri için yakınlık katsayısı etkisi ( $ICC_i$ ), Eş. 34, Eş. 35 ve Eş. 36 kullanılarak hesaplanır:

$$ICC_1 = \sigma K * CC_1 = 0,285 \times 0,507 = 0,144 \quad (34)$$

$$ICC_2 = \sigma K * CC_2 = 0,370 \times 0,411 = 0,152 \quad (35)$$

$$ICC_3 = \sigma K * CC_3 = 0,259 \times 0,383 = 0,100 \quad (36)$$

Daha sonra her alternatif için hesaplanan yakınlık katsayısı etkisi Tablo 2'de yer alan dilsel etiketlere eşleştirilmeden önce normalleştirilmelidir. Bu çalışmada örnek olarak; incelenen 3 tedarikçi alternatifimiz için hesaplanan  $ICC_i = 0,152$ 'nin maksimum değer olduğuna göre; Eş. 23 kullanılarak her alternatif için yakınlık derecesi etkisi Eş. 37, Eş. 38 ve Eş. 39 kullanılarak hesaplanır:

$$NICC_1 = 0,144 / 0,152 = 0,947 \quad (37)$$

$$NICC_2 = 0,152 / 0,152 = 1 \quad (38)$$

**Tablo 14:** Alternatiflerin yerel ağırlık değerleri (Local weight values of alternatives)

Yerel Ağırlık Değerleri			
	A1	A2	A3
C1	(0,005, 0,008, 0,020, 0,054;1,1) (0,005, 0,010, 0,026, 0,056;0,8, 0,8)	(0,018, 0,030, 0,074, 0,212;1,1) (0,021, 0,039, 0,098, 0,184;0,8, 0,8)	(0,023, 0,039, 0,096, 0,261;1,1) (0,026, 0,052, 0,128, 0,230;0,8, 0,8)
C2	(0,029, 0,040, 0,091, 0,096;1,1) (0,024, 0,043, 0,096, 0,163;0,8, 0,8)	(0,021, 0,027, 0,059, 0,123;1,1) (0,018, 0,029, 0,063, 0,108;0,8, 0,8)	(0,006, 0,008, 0,018, 0,038;1,1) (0,005, 0,008, 0,018, 0,033;0,8, 0,8)
C3	(0,154, 0,181, 0,431, 0,348;1,1) (0,101, 0,199, 0,509, 0,940;0,8, 0,8)	(0,055, 0,061, 0,145, 0,386;1,1) (0,036, 0,066, 0,170, 0,331;0,8, 0,8)	(0,025, 0,025, 0,062, 0,184;1,1) (0,016, 0,028, 0,072, 0,153;0,8, 0,8)

**Tablo 15.** Alternatiflerin son (global) ağırlık değerleri (Final (global) weight values of alternatives)

Son Ağırlık Değerleri			
	Aralık Tip-2 global ağırlıklar	Durulaştırılmış değerler (Keskin değerler)	Normalize edilmiş değerler
A1 ( $CC_1$ )	(0,198, 0,247, 0,594, 0,617;1,1) (0,142, 0,273, 0,691, 1,299;0,8, 0,8)	0,507	0,389
A2 ( $CC_2$ )	(0,118, 0,163, 0,395, 1,076;1,1) (0,100, 0,185, 0,467, 0,917;0,8, 0,8)	0,411	0,315
A3 ( $CC_3$ )	(0,086, 0,143, 0,366, 1,028;1,1) (0,084, 0,167, 0,443, 0,877;0,8, 0,8)	0,383	0,294

$$NICC_3 = 0,100 / 0,152 = 0,657 \text{ olarak hesaplanır.} \quad (39)$$

**Adım 10:** Öncül ( $\Lambda$ ) ve sonuç ( $\chi$ ) matrisleri;

Her karar verici ayrı ayrı öncül ve sonuçların t matrisine sahiptir (Eş. 40).

$$\text{Eğer } \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ R_m \end{matrix} \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\text{O Halde } \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_m \end{bmatrix} \quad (40)$$

Burada bir kural aşağıda gösterilen bir formata sahiptir.

**Eğer**  $X_{11}=\text{ÇG}$  **Ve**  $X_{12}=\text{ÇG}$  **Ve**  $X_{13}=\text{ÇG}$  **Ve**  $X_{14}=\text{ÇG}$  **Ve** ..... **Ve**  $X_{1n}=\text{ÇG}$  **O Halde**  $Y_1=\text{Çİ}$  dir.

Şimdi, NICC<sub>i</sub>'nin değeri Tablo 2 içinde yer alan alternatifler için dilsel etiketlere eşleşmesi yapılabilir. Örneğin NICC<sub>1</sub> = 0,95 ise ondan sonra Y<sub>1</sub> Tablo 2'de Çİ (Çok İyi) aralık tip-2 bulanık kümeye ait olur. Aynı şekilde NICC<sub>2</sub> = 1 ile Çİ (Çok İyi) ve NICC<sub>3</sub> = 0,657 ile İ (İyi) aralık tip-2 bulanık kümeye ait olurlar.

**Adım 11:** Her alternatif için final Skoru ( $\Gamma$ );

Eş. 26 kullanılarak her alternatif için final skoru ( $\Gamma$ ) hesaplanır. S1 alternatifi için üç karar vericiden (Tablo 16'dan yararlanarak) üç kural R1, R2, R3 işlediğini varsayarsak; S1 alternatifi için final skoru ( $\Gamma$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

R1: **Eğer** C1=Çİ **Ve** C2=Çİ **Ve** C3=G **O Halde** S1=Çİ

R2: **Eğer** C1=Çİ **Ve** C2=Çİ **Ve** C3=Oİ **O Halde** S1=Çİ

R3: **Eğer** C1=İ **Ve** C2=Çİ **Ve** C3=O **O Halde** S1=Çİ

Eş. 27 kullanılarak  $\lambda$ 'nın değerini hesaplamak için; S1 alternatifi için her kuralın çıkışı aşağıdaki gibi olur.

$$R1: \text{Çİ} = (0,055, 0,09, 0,168, 0,23;1,1) (0,006, 0,093, 0,153, 0,214;1,1)$$

$$R2: \text{Çİ} = (0,043, 0,081, 0,151, 0,23;1,1) (0,046, 0,083, 0,137, 0,214;1,1)$$

$$R3: \text{Çİ} = (0,053, 0,088, 0,168, 0,23;1,1) (0,058, 0,093, 0,153, 0,214;1,1)$$

**Tablo 16.** Üç Uzman Karar Verici Tarafından Oluşturulan Örnek Bir Kural Tabanı  
(An Example Rule Base Created by Three Expert Decision Makers)

R1	Eğer C1=Çİ Ve C2=Çİ Ve C3=İ O Halde S1=Çİ
R2	Eğer C1=Çİ Ve C2=İ Ve C3=İ O Halde S1=Çİ
R3	Eğer C1=İ Ve C2=Çİ Ve C3=O O Halde S1=Çİ
R4	Eğer C1=İ Ve C2=Oİ Ve C3=O O Halde S1=İ
R5	Eğer C1=Oİ Ve C2=O Ve C3=O O Halde S1=İ
R6	Eğer C1=O Ve C2=OK Ve C3=O O Halde S1=O
R7	Eğer C1=Çİ Ve C2=Çİ Ve C3=İ O Halde S2=Çİ
R8	Eğer C1=Çİ Ve C2=İ Ve C3=İ O Halde S2=Çİ
R9	Eğer C1=İ Ve C2=Oİ Ve C3=O O Halde S2=İ
R10	Eğer C1=Oİ Ve C2=O Ve C3=O O Halde S2=İ
R11	Eğer C1=OK Ve C2=O Ve C3=O O Halde S2=O
R12	Eğer C1=İ Ve C2=İ Ve C3=İ O Halde S3=İ
R13	Eğer C1=Çİ Ve C2=İ Ve C3=İ O Halde S3=İ
R14	Eğer C1=İ Ve C2=İ Ve C3=Çİ O Halde S2=İ
R15	Eğer C1=Çİ Ve C2=Çİ Ve C3=Çİ O Halde S3=Çİ
R16	Eğer C1=Çİ Ve C2=Çİ Ve C3=İ O Halde S3=Çİ
R17	Eğer C1=İ Ve C2=O Ve C3=O O Halde S3=O
R18	Eğer C1=İ Ve C2=O Ve C3=O O Halde S1=O
R19	Eğer C1=ÇK Ve C2=K Ve C3=O O Halde S2=K

Ondan sonra  $\lambda$  değeri Eş.40 kullanılarak hesaplanır:

$$\lambda = (0,168 + 0,151 + 0,168)/3 = 0,163 \quad (41)$$

Ayrıca, Eş. 28 kullanılarak  $\Omega$  değeri hesaplanır.

9. aşamada, S1 alternatifi için her kuralın değeri R1: 0,95 R2: 0,95 R3: 0,95 olduğuna göre;  $\Omega$ 'nın değeri Eş. 42'de görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$\Omega = (0,947 + 0,947 + 0,947)/3 = 0,947 \quad (42)$$

Son olarak, final skoru ( $\Gamma$ ) Eş. 26'dan yararlanılarak Eş. 43'teki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} \Gamma &= \lambda * \Omega \\ &= 0,163 * 0,947 \\ &= 0,154 \end{aligned} \quad (43)$$

Diğer tüm alternatifleri için de benzer prosedür uygulanır. Tüm alternatifler için hesaplanan değerler Tablo 17'de verilmiştir. Bundan sonra,  $\Gamma$ 'nin değerinden, tüm alternatiflerin sıralaması belirlenebilir. En iyi alternatif, final skor ( $\Gamma$ ) değeri yüksek olandır.

**Tablo 17.** Önerilen Yöntemin Tedarikçi Seçim Sıralaması Sonuçları (Supplier selection ranking results of proposed method)

	$\lambda$	$\Omega$	$\Gamma$
A1	0,163	0,947	0,154
A2	0,189	1	0,189
A3	0,126	0,657	0,082

## 5. SONUÇLARIN ANALİZİ (ANALYSIS OF RESULT)

Bu çalışmada, tedarikçi seçim probleminde önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için alternatiflerin sıralaması AT2 BAHP yöntemine göre karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Uzman görüşüne göre alternatiflerin sıralama değerleri Tablo 6'daki veriler kullanılarak Eş. 21 ile hesaplanmış ve bu değerler Şekil 5 (A)'da gösterilmiştir. Ardından AT2 BAHP yöntemine göre Eş. 20 kullanılarak hesaplanan alternatiflerin sıralama değerleri Tablo 15'te; grafiksel olarak da Şekil 5 (B)'de gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında önerilen yönteme göre alternatiflerin hesaplanan sıralama değerleri Tablo 17'de gösterilmiştir. Tüm alternatiflerin sıralaması Eş.25 kullanılarak hesaplanan  $\Gamma$  değerinden belirlenebilir. En iyi alternatif  $\Gamma$  skor değeri en yüksek olandır. Önerilen yönteme göre alternatiflerin sıralama değerleri aşağıda Şekil 5 (C)'de ve Tablo 18'de gösterilmiştir.

**Tablo 18.** Önerilen Yöntemin Tedarikçi Seçim Sıralaması Sonuçları (Supplier selection ranking results of proposed method)

Alternatifler	Sıralamalar		
	Uzman Görüşüne Göre Gerçek Sıralama	AT2 BAHP	AT2 BKT AHP
A2	1	2	1
A1	2	1	2
A3	3	3	3

Daha sonra, Tablo 18'den yararlanılarak önerilen yöntemin sıralama performansını belirlemek için alternatiflerin sıralama değerleri Kendall Tau sıralama korelasyonu ( $\tau$ ) kullanılarak karşılaştırıldı [40]. Kendall tau korelasyonunun

en önemli avantajları kolay cebirsel yapısı ve sezgisel olarak basit bir şekilde yorumlanabilmesidir. Diğer bir avantajı da incelenen değişkenler sıralı ve sıralanan küçük örneklem için diğer analiz testlerine göre daha başarılı olmasıdır. Bu avantajlarından ötürü bu çalışma kapsamında karşılaştırılan yöntemlerin sıralama performanslarını ölçmek için Kendall Tau sıralama analizi yönteminden yararlanılmıştır. Genel olarak tau katsayısı, iki sıralama verisi (sütünü) arasındaki uyum derecesini gösterir. Tau Katsayısı Eş. 44 kullanılarak hesaplanır:

$$\tau = (\sum G_{ij} - \sum J_{ij}) / (\sum G_{ij} + \sum J_{ij}) \quad (44)$$

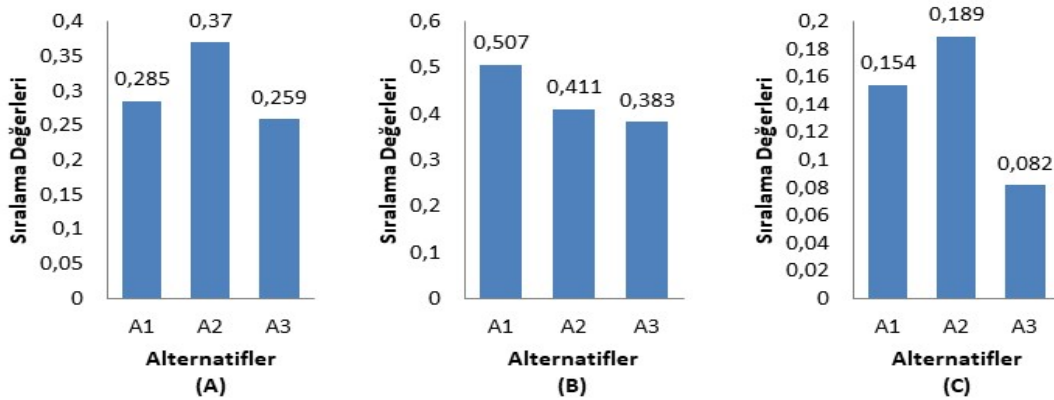
Burada;  $G_{ij}$  ve  $J_{ij}$  sırasıyla uyumlu çiftini ve uyumsuzluk çiftini temsil eder. Uyumlu çiftler, belirli bir değerden daha büyük olan değerlerin sayısını ifade ederken; uyumsuz çiftler, belirli bir değerden daha küçük değerlerin sayısını ifade etmektedir. Daha sonra [41] tarafından önerilen istatistiksel z skoru değerinden ele alınan yöntemlerin sıralama performansları test edilir. z skoru değeri aşağıda Eş. 45'te görüldüğü şekilde hesaplanır:

$$z = (3 * \tau * \sqrt{n(n-1)}) / (\sqrt{2(2n+5)}) \quad (45)$$

Burada; z-skoru değeri büyüdükçe, sıralamanın gerçek sıralamaya göre anlamlılığı artar. n ise ele alınan alternatif sayısını ifade etmektedir. Kendall Tau korelasyonuna dayanan sıralama performans değerlendirilmesine ait değerler Tablo 19'da gösterilmiştir.

**Tablo 19.** Kendall Tau korelasyonuna dayalı sıralama performansını değerlendirmesi (Ranking performance evaluation based on Kendall Tau correlation)

Alternatifler	AT2 BAHP		AT2 BKT AHP	
	$G_{ij}$	$J_{ij}$	$G_{ij}$	$J_{ij}$
A2	1	1	2	0
A1	1	0	1	0
A3	0	0	0	0
Toplam	2	1	3	0
$\tau$	0,33		1,00	
z	0,517		1,567	

**Şekil 5.** a) Uzman görüşüne göre alternatiflerin gerçek sıralama değerleri. b) AT2 BAHP yöntemine göre alternatiflerin sıralama değerleri. c) Önerilen yönteme göre alternatiflerin sıralama değerleri

((a) Actual ranking values of alternatives according to expert opinion. (b) Sorting values of alternatives according to the AT2 BAHP method. (c) Sorting values of alternatives according to the proposed method).

Tablo 19'da yer alan Kendall Tau korelasyonu analizine dayanarak önerilen yöntemin ( $z=1,567$ ), gerçek bulanık kural tabanlı olmaksızın kullanılan AT2 BAHF yönteminden ( $z=0,517$ ) daha önemli sonuçlar ve daha yüksek performans ürettiği görülmüştür. Böylece önerilen yöntemeye dayalı sıralama performansı, Kendall Tau korelasyonu kullanılarak karşılaştırılmalı olarak doğrulanmıştır (bkz. Tablo 19). Ayrıca önerilen yöntemin, bulanık kural tabanlı olmayan AT2 BAHF yöntemini geride bıraktığı görülmüştür. Yine önerilen yöntemin çok kriterli karar verme problemlerini daha esnek ve zeki bir şekilde ele almanın yararlı yollarını sağlamakta kalmadığı aynı zamanda alternatiflerin seçiminde uzman bilgisini de daha doğru bir şekilde seçimin içerisine kattığı görülmüştür. Yine daha önce tedarikçi seçim problemi üzerine yapılan birçok çalışmaya bakıldığında; tedarikçi seçiminde, ÇKKV yöntemleriyle birlikte aralık tip-2 bulanık kümelerin kullanılmasının tip-1 bulanık kümelere göre daha yüksek performans ve başarı sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada da; tedarikçi seçiminde, ÇKKV yöntemi olan AHP ile birlikte tip-2 bulanık kümelerin kullanımının yanı sıra uzman değerlendirmelerinden yararlanılarak seçim probleminin içerisine kural tabanı eklenmiştir. Böylece önerilen kural tabanlı yaklaşımın kural tabanı olmadan kullanılan AT2 BAHF yaklaşımından daha önemli sonuçlar ve daha yüksek performans ürettiği görülmüştür (bkz. Tablo 19).

## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Tip-1 bulanık kümeleri, üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasında biraz problemlidir. Çünkü tip-1 üyelik fonksiyonlarını kullanarak belirsizliği modellemek mümkün değildir. Tip-2 bulanık kümeleri, bu problemi belirsizliğin ayak izini tip-1 bulanık kümelere dahil ederek yakalar. Bu yazıda ilk kez tip-2 bulanık kümelere dayalı Bulanık Kural-Tabanlı AHP geliştirilmiştir. Dilsel ölçekler, önerilen yöntemde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Böylece karar vericilere, ele alınan problemi değerlendirmelerine yönelik esnek bir tanımlama fırsatı sağlanmıştır.

Literatür çalışmalarına bakıldığında; birçok yazar tarafından tedarikçi seçim problemlerine, bulanık ÇKKV yöntemleri geleneksel ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılmalı olarak uygulanmış ve sonuç olarak bulanık ÇKKV yöntemlerinin geleneksel ÇKKV yöntemlerinden daha başarılı sıralama yaptıkları görülmüştür. Yine yapılan literatür çalışmalarında; bulanık kuralların karar verme yöntemleriyle birleştirilmesinin birçok araştırmacı tarafından ortaya konduğu görülmüştür. Oysa bulanık kuralların tip-2 bulanık sayılarla birleştirilmesi yeni bir şeydir. Bu çalışmada da; çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP yöntemi, aralık tip-2'ye dayalı bulanık kurallar arasında bütünleştirilmiştir. Tip-2 bulanık sayılarla birlikte uzman bilgisinin seçim probleminde dahil edilmesi önemlidir ve bu da önerilen yöntemin en büyük avantajlarından bir tanesidir. Önerilen yöntemin bir diğer avantajı da geleneksel çok kriterli karar verme metodu olan AHP'ye uzman bilgisini de dahil ederek tip-2 bulanık sayılarla bütünleştirilmesi ve tedarikçi seçim probleminde başarı ile uygulanmasıdır. Bu

yöntem özellikle, benzer sıralama pozisyonlarına sahip alternatifler olduğunda bir etki çarpanı olması bakımından önemlidir. Bu yöntem, her alternatifte küçük bir farklılık olsa bile, farkı daha iyi (daha hassas) bir şekilde gösterecektir. Bu da önerilen yöntemi önemli ve benzersiz kılmaktadır. Önerilen yöntemin en büyük dezavantajı ise tip-2'ye dayalı bulanık kuralların [37] tarafından önerilen bulanık AHP metodu ile sınırlı olmasıdır. Önerilen yöntemin ikinci bir dezavantajı ise yapılan çalışmanın, üç kriter, üç alternatif ve üç uzman sayısı ile sınırlı olmasıdır. İleride yapılacak çalışmalarda, kriter, alternatif ve uzman sayısı artırılarak alternatifler için farklı sıralamalar elde edilebilir. Yine önerileni yaklaşımının bir diğer sınırlılığı da, dilsel terimlerle ifade edilen girdi verilerinin karar vericilerin görüşlerine ve deneyimlerine dayanması ve bu nedenle öznel olduğu içermesidir.

İleriki çalışmalarda; aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı sayılar [42] veya [43] tarafından önerilen diğer AHP yöntemlerine genişletilebilir. Ayrıca ÇKKV yöntemlerinden VIKOR, COPRAS ve MOORA gibi yöntemler aralık tip-2 bulanık kurallara dayalı sistemlerle birlikte tedarikçi seçim problemlerinde kullanılabilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karakaşoğlu N., Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2008.
2. Chen C. T., Huang S. F., Order-fulfillment ability analysis in the supply-chain system with fuzzy operation times, *International Journal of Production Economics*, 101 (1), 185-193, 2006.
3. Torun H., Canbulut G., Analysis of two stage supply chain coordination under fuzzy demand, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (3), 1315-1328, 2019.
4. Ke H., Cui Z., Govindan K., Zavadskas E. K., The impact of contractual governance and trust on EPC projects in construction supply chain performance. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26 (4), 349-363, 2015.
5. Guo C., Li X., A multi-echelon inventory system with supplier selection and order allocation under stochastic demand, *International Journal of Production Economics*, 151, 37-47, 2014.
6. Kannan D., Khodaverdi R., Olfat L., Jafarian A., Diabat A., Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain, *Journal of Cleaner production*, 47, 355-367, 2013.
7. Önüt S., Gülsün B., Tuzkaya U. R., Tuzkaya G., A two-phase possibilistic linear programming methodology for multi-objective supplier evaluation and order allocation problems, *Information Sciences*, 178 (2), 485-500, 2008.
8. Sanayei A., Mousavi S. F., Abdi M. R., Mohaghar A., An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-

- attribute utility theory and linear programming, *Journal of the Franklin institute*, 345 (7), 731-747, 2008.
9. Kilic H. S., An integrated approach for supplier selection in multi-item/multi-supplier environment, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (14-15), 7752-7763, 2013.
  10. Yazdani M., Hashemkhani Zolfani S., Zavadskas E. K., New integration of MCDM methods and QFD in the selection of green suppliers, *Journal of Business Economics and Management*, 17 (6), 1097-1113, 2016.
  11. Rezaei J., Fahim P. B., Tavasszy L., Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP, *Expert Systems with Applications*, 41 (18), 8165-8179, 2014.
  12. Yazdani M., Chatterjee P., Zavadskas E. K., Zolfani S. H., Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection, *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740, 2017.
  13. Omurca S. I., An intelligent supplier evaluation, selection and development system, *Applied Soft Computing*, 13 (1), 690-697, 2013.
  14. Shidpour H., Shahrokhi M., Bernard A., A multi-objective programming approach, integrated into the TOPSIS method, in order to optimize product design; in three-dimensional concurrent engineering. *Computers & Industrial Engineering*, 64 (4), 875-885, 2013.
  15. Awasthi A., Chauhan S. S., Omrani H., Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems, *Expert systems with Applications*, 38 (10), 12270-12280, 2011.
  16. Şengül Ü., Eren M., Shiraz S. E., Gezder V., Şengül A. B., Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey, *Renewable Energy*, 75, 617-625, 2015.
  17. Şahin B., Yazır D., An analysis for the effects of different approaches used to determine expertise coefficients on improved fuzzy analytical hierarchy process method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 89-102, 2018.
  18. Kahraman C., Öztayşi B., Sarı İ. U., Turanoğlu E., Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets, *Knowledge-Based Systems*, 59, 48-57, 2014.
  19. Tseng M. L., Lin Y. H., Chiu A. S., Chen C. Y., Fuzzy AHP approach to TQM strategy evaluation, *Industrial Engineering & Management Systems*, 7 (1), 34-43, 2008.
  20. Wu Z., Chen Y., The maximizing deviation method for group multiple attribute decision making under linguistic environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 158 (14), 1608-1617, 2007.
  21. Kahraman C., Ruan D., Doğan I., Fuzzy group decision-making for facility location selection, *Information Sciences*, 157, 135-153, 2003.
  22. Chen S. J., Hwang C. L., Fuzzy multiple attribute decision making methods. In *Fuzzy multiple attribute decision making*, Springer, Berlin, Heidelberg, 375, 289-486, 1992.
  23. Bostancı B., Bakır N.Y., Doğan U., Güngör M.K., Research on GIS-aided housing satisfaction using fuzzy decision-making techniques, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (4), 1193-1208, 2017.
  24. Zadeh L.A., Fuzzy sets. *Information and control*, 8 (3), 338-353, 1965.
  25. Zadeh L. A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I, *Information sciences*, 8 (3), 199-249, 1975.
  26. Karnik N. N., Mendel J. M., Operations on type-2 fuzzy sets, *Fuzzy sets and systems*, 122 (2), 327-348, 2001.
  27. Linda O., Manic M., Interval type-2 fuzzy voter design for fault tolerant systems, *Information Sciences*, 181 (14), 2933-2950, 2011.
  28. Jammeh E. A., Fleury M., Wagner C., Hagrass H., Ghanbari M., Interval type-2 fuzzy logic congestion control for video streaming across IP networks, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17 (5), 1123-1142, 2009.
  29. Çalık A., Paksoy T., Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi ile Üçüncü Parti Tersine Lojistik (3PTL) Firma Seçimi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 20 (1), 52-67, 2017.
  30. Yaakob A. M., Khalif K. M. N. K., Gegov A., Rahman S. F. A., Interval type 2-fuzzy rule based system approach for selection of alternatives using TOPSIS, In *2015 7th International Joint Conference on Computational Intelligence (IJCCI)*, Lisbon-Portugal, 112-120, 2015.
  31. Qin J., Liu X., Pedrycz W., An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 626-638, 2017.
  32. Delice E. K., A fuzzy multicriteria model for airline companies selection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 263-276, 2016.
  33. Yılmaz N., Şenol M. B., A model and application of occupational health and safety risk assessment, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 77-87, 2017.
  34. Büyüközkan G., Parlak I. B., Tolga A. C., Evaluation of knowledge management tools by using an interval type-2 fuzzy TOPSIS method, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9 (5), 812-826, 2016.
  35. Di Martino F., Sessa S., Type-2 interval fuzzy rule-based systems in spatial analysis, *Information Sciences*, 279, 199-212, 2014.
  36. Büyüközkan G., Kahraman C., Ruan D., A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection, *International Journal of General Systems*, 33 (2-3), 259-280, 2004.
  37. Buckley J. J., Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy sets and systems*, 17 (3), 233-247, 1985.



38. Mendel J. M., John R. I., Liu F., Interval type-2 fuzzy logic systems made simple, IEEE transactions on fuzzy systems, 14 (6), 808-821, 2006.
39. Türk S., John R., Özcan E., Interval type-2 fuzzy sets in supplier selection, In Computational Intelligence (UKCI), Bradford-UK, 1-7, 2014.
40. Adler L. M., A modification of Kendall's tau for the case of arbitrary ties in both rankings, Journal of the American Statistical Association, 52 (277), 33-35, 1957.
41. Dibley M. J., Staehling N., Nieburg P., Trowbridge F. L., Interpretation of Z-score anthropometric indicators derived from the international growth reference, The American journal of clinical nutrition, 46 (5), 749-762, 1987.
42. Chang D. Y., Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, European journal of operational research, 95 (3), 649-655, 1996.
43. Van Laarhoven P. J., Pedrycz W., A fuzzy extension of Saaty's priority theory, Fuzzy sets and Systems, 11 (1-3), 229-241, 1983.

