

Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemlerin Tedarikçi Seçiminde Kullanımının Önemi Üzerine Bir Araştırma

A Research on the Importance of Using Interval Type-2 Fuzzy Logic Method in Supplier Selection

Müslüm ÖZTÜRK
Kilis 7 Aralık Üniversitesi
mozturk@kilis.edu.tr

Turan PAKSOY
Selçuk Üniversitesi
tpaksoy@yahoo.com

Melek ÖZTÜRK
Kilis 7 Aralık Üniversitesi
melekozturk@kilis.edu.tr

Öz

Bulanık karar vermenin ana çalışma alanı belirsizlik altında karar vermedir. Çünkü elimizde kriterlere, alternatiflere ve sonuçlara ilişkin sayısal değerler değil sözel değerler mevcuttur ve bu da belirsizliğe neden olmaktadır. Ayrıca kriterlerin ve alternatiflerin çok ve belirsizliğin yoğun olduğu problemlerin çözümünde tip-2 bulanık mantık kümelerin kullanılması klasik mantık kümelerine göre daha esnek ve başarılıdır. Bu yüzden tedarik zinciri yönetiminde uygun bir tedarikçinin seçilmesi, bir tedarik zincirinin etkin yönetiminde çok önemli ve zorlayıcı bir görevdir. Bu amaçla yapılacak olan bu çalışmada, kriterlerin ve alternatiflerin yoğun olduğu problemler de tedarikçi seçimi için genel tip-2 bulanık kümelerin özel bir hali olan aralık tip-2 bulanık kümelerin kullanımının önemi üzerinde durulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tip 2 Bulanık Mantık, Aralık Tip 2 Bulanık Mantık, Tedarik Zinciri Yönetimi, Tedarikçi Seçimi.

1 Giriş

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 organizasyonlar üzerindeki değer yaratmak ve bu değerini müşterilere dağıtım için daha iyi yollar

Gönderme ve kabul tarihi: 23.10.2017-25.12.2017

Abstract

The main study area of the fuzzy decision maker is to give decision under uncertainty. Because, according to the criteria we have, there are verbal values rather than numerical values for alternatives and results and which leads to ambiguity. In addition to that, the use of type-2 fuzzy logic clusters is more flexible and successful than the classical logic clusters in solving the problems where the criteria and alternatives are very vague and ambiguous. For this reason, choosing an appropriate supplier in supply chain management is a very important and challenging task in the effective management of a supply chain. In this study, the problems of the criterion and the alternatives are emphasized by the use of the interval type-2 fuzzy clusters, which is a special case of generic type-2 fuzzy clusters for supplier selection.

Keywords: Type-2 Fuzzy Logic, Interval Type-2 Fuzzy Logic, Supply chain management, Supplier Selection.

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 çevrede, başarılı tedarikçilerin seçimi ve değerlendirmesini dikkate almaksak, yüksek kalitede ve düşük maliyet ile herhangi bir üretim sürecini yönetmek son derece zordur olacaktır. Tedarikçi seçimi ve değerlendirmesi için günümüzde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin; Data Envelopment Analysis (DEA, Veri Zarflama Analizi), Analytic Hierarchy Process (AHP, Analitik Hiyerarşi Süreci) and Fuzzy Set Theory (Bulanık Küme Teorisi) olarak örnek verilebilir [3].

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 [4] yeni bir metotla dilsel etiketlerin kullanıldığı bir çevrede belirsizliklerle ilişkilendirilmiş çok kriterli karar yapıcılar problemlerinde, dil ağırlıklı aritmetik ortalama yaklaşımı ile her kriterin ağırlığının genel tercih değerini almıştır. Günümüzde firma veya kuruluşların tedarikçi seçimi için kriter ve alt kriterlerin sayısının fazla olması ve bu kriterlerin dilsel ifadelerle kullanılmasıyla birlikte belirsizliğin yoğun olması sebebiyle karar vermede çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu sebeple belirsizliğin yoğun olduğu bu süreçlerde en uygun tedarikçi seçiminin gerçekleştirilmesi için tip-1 bulanık kümelerle göre belirsizliğin gücünü azaltmada etkili ve güçlü olan aralık tip-2 bulanık sistemlerin kullanılması işletmeler için daha yararlı olmaktadır.

Bulanık karar vermenin ana çalışma alanı belirsizlik altında karar vermedir. Çünkü elimizde kriterlere, alternatiflere ve sonuçlara ilişkin sayısal değerler değil sözel değerler mevcuttur ve bu da belirsizliğe neden olmaktadır [1]. Karar verici alternatifleri oluştururken kişisel görüşlerine dayanarak belirsizlik içeren sözel değerler kullanır ve bunlar bulanık kümeler ile temsil edilebilir. Karar verici tarafından üretilen bu tipte alternatiflerin mevcut kriterlere göre subjektif değerlendirmesinden sonra kriterlerin tümünü tatmin etme derecesine göre sıralamaya konular ve en yüksek değerlinin yani en uygununun bulunması ile optimal çözüm elde edilir [5].

Tedarikçi seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP (Analytic Hierarchy Process), belirsizlik ve öznel değerlendirmelerin bulunduğu durumlarda karar vermeye tam uygun olmadığından, klasik AHP bulanık mantıkla sentezlenerek Bulanık AHP (BAHP) oluşturulmuş ve bu sayede karar vericilerin aralıklı değerlendirme yapmaları sağlanmıştır [6]. Çünkü Çok Kriterli Karar Verme Analizlerine getirilen en büyük eleştiri olan kriterleri ve alternatifleri değerlendirirken verilen yargıların öznel olma ve kesinlik arz etmeme durumu idi. Bu nedenle günümüzde daha çok, çok kriterli karar verme problemleri için Bulanık Mantık kullanılarak oluşturulan melez bir yöntem olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve TOPSIS gibi ÇKKV yöntemleri sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca kriterlerin ve alternatiflerin çok ve belirsizliğin yoğun olduğu problemlerin çözümünde tip-2 bulanık mantık kümelerinin kullanılması klasik mantık kümelerine göre daha esnek ve başarılıdır. Bu amaçla yapılan bu çalışmada; öncelikle tedarikçi seçimi konusu, tip-1 bulanık kümeler ile genel tip-2 bulanık kümelerin özel bir hali olan aralık tip-2 bulanık kümeler konularına açıklık getirilmiştir. Daha sonra ise firma ve kuruluşlar için tedarikçi seçim sürecinin kural tabanlı olmayan tip-2 bulanık topsis sistemi ile kural tabanlı tip-2 bulanık topsis sistemi ile karşılaştırmalı örneği sunulmuştur.

2. Alan Araştırması

2.1. Tedarikçi Zinciri Yönetimi

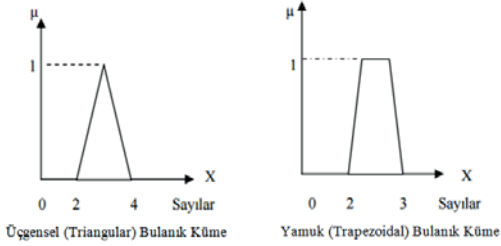
Tedarik Zinciri Yönetimi, tedarik zincirlerinin tüm süreçleri, malzeme akışları ve müşteriler ile tedarikçiler arasındaki uzun vadeli ilişkiler arasındaki bilgi akışı göz önüne alınarak, temel hammaddelerin tedarikinden nihai ürün sunumuna kadar olan maddi akışların yönetimi olarak tanımlanmaktadır [9]. Bu nedenle, tüm şirketlerin, bir ürünün verimli bir şekilde tedarik edilmesi için az sayıda güvenilir tedarikçiye sahip olması çok önemlidir [3]. Düşük yönetilen tedarikçiler aynı zamanda yüksek hammadde maliyetine sahip düşük kaliteli ürünlerle sonuçlanmaktadır. Bu nedenle tedarik zinciri yönetimi tüm şirketler için çok önemli bir yer kaplamaktadır.

2.2. Tip-1 Bulanık Kümeler

Günümüzde birçok uzman gerektiren karar verme problemlerinde bulanık-kural tabanlı sistemler modellenebilir. Bulanık kural tabanlı bir sistemde, bir bulanık çıkarım “EĞER ... İSE ...” koşul deyimleri üzerine temellendirilmiştir. Bunlardan EĞER ile İSE (IF...THEN) kelimeleri arasında bulunan kısma öncül veya ön şartlar, İSE kelimesinden sonraki kısma ise ardıl veya çıkarım adı verilir [10]. Kurallar içerisinde yer alan şartlar ise dilsel ifadelerden oluşmaktadır. Örneğin;

EĞER “hava sıcaklığı=çok düşük” **VE** “nem oranı=çok yüksek” ise **O HALDE** “yağmurun yağması=yüksektir.”

“hava sıcaklığı=çok düşük”, “nem oranı=çok yüksek” ve “yağmurun yağması=yüksek” şart önermeleri bir Tip-1 Bulanık Kümeler, dilsel etiketler ve ilişkili üyelik fonksiyonları üzerinden tanımlanır. Genellikle burada üçgen, yarı-yamuk ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılır. Aşağıda şekil 2.’de üçgen ve yamuk tip-1 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



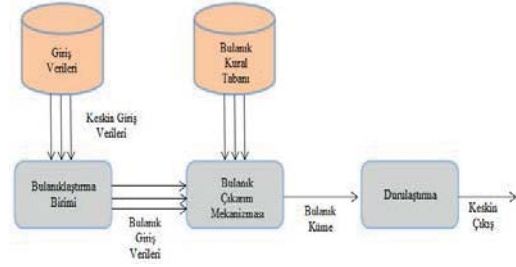
Şekil 2: Tip-1 Üçgen ve Yamuk Kümelerin Üyelik Fonksiyonları Grafiği

2.3. Genel Tip-2 Bulanık Kümeler

Tip-1 bulanık mantık kümelerine göre belirsizliği daha iyi ifade edebilme gücü olan tip-2 bulanık mantık kümeleri için tanımlanan üyelik fonksiyonları, klasik bulanık mantık olarak bilinen tip-1 üyelik fonksiyonlarından yola çıkılarak incelenmektedir.

Tip-2 bulanık küme (T2-BK) kavramı ilk olarak [11] tarafından 1975 yılında ortaya atılmış olmasına karşın 1990'lara kadar literatürde tip-2 bulanık mantıkla ilgili çok fazla çalışma yer almamıştır. 1998 yılında M. M. Karnik' in doktora çalışması ile tip-2 bulanık mantık teorisi oldukça geliştirilmiş ve uygulanabilir

tip-1 bulanık kümesidir. Bir tip-1 bulanık-kural tabanlı sistemin bileşenleri aşağıda şekil 1.'de görülmektedir.



Şekil 1: Tip-1 Bulanık-Kural Tabanlı Sistemin Bileşenleri

hale gelmiştir [12]. Böylece o yıldan itibaren tip-2 bulanık mantık üzerine yapılan çalışmalar büyük ivme kazanmış ve tip-2 bulanık mantık günümüzde birçok çalışma alanında kendisine yer bulmuştur [8].

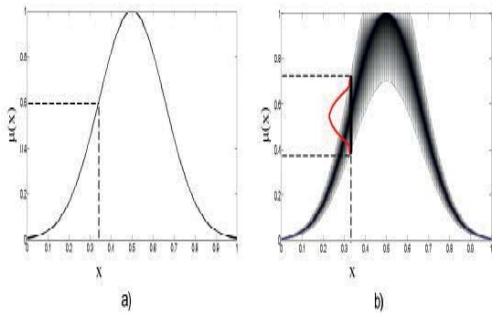
Tip-2 bulanık mantık, tip-1 bulanık mantık teorisinin bir uzantısıdır. Bilindiği gibi tip-1 bulanık kümelerde o kümeyle ait olan elemanların üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığında keskin değerler almaktadır. Tip-2 bulanık kümeler ise o kümeyle ait her bir elemanın üyelik derecelerinin de bir bulanık küme belirttiği üyelik fonksiyonları ile ifade edilirler. Böylece mevcut olan belirsizliğin modellenmesi tip-2 bulanık kümelerde yalnız dilsel değişkenlerle sınırlı olmayıp üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasında da yer almaktadır. Nasıl ki bir elemanın bir kümeyle üyeliği 0 ya da 1 şeklinde tam olarak belirlenemediği durumlarda tip-1 bulanık kümeleri kullanılıyorsa, benzer şekilde bir tip-1 bulanık kümenin üyelik fonksiyonunu tanımlarken belirsizliklere bağlı olarak o kümeyle ait elemanların üyelik dereceleri tam olarak belirlenemediği zaman tip-2 bulanık kümeler kullanılır. Bu yüzden tip-1 bulanık kümeler gerçek dünyadaki belirsizliklere karşı birinci dereceden bir yaklaşım olarak düşünülürse, tip-2 bulanık kümeler de belirsizliğe karşı ikinci dereceden bir yaklaşım olarak görülebilirler [13].

Tip-1 bulanık sistemlerde kullanılan bulanık kümelerdeki üyelik değerleri birer keskin değer olduğundan tip-1 bulanık sistemler bu tip belirsizliklerin mevcut olması durumunda yeterli kadar etkili olamamaktadırlar. Fakat tip-2 bulanık

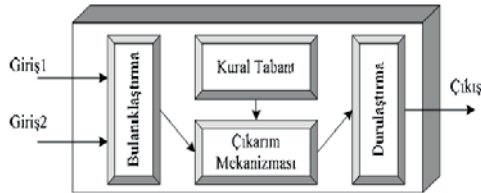
sistemlerde üyelik dereceleri de bir bulanık küme belirttiğinden tip-2 bulanık sistemler bu tip belirsizliklerin etkisini azaltabilmektedir [14]. Bu yüzden tip-2 bulanık sistemler gürültülü girişlerin olması durumunda ve anlamları uzmandan uzmana değişebilen dilsel veriler üzerinde belirsizlik olması durumunda iyi bir başarımla sergileme yeteneğine sahiptir [8].

Bilindiği gibi genellikle uzman bilgisinden gelen dilsel bilgiler üyelik fonksiyonlarının şekli hakkında bir bilgi vermez. Yukarıda bahsedilen yöntemler ile üyelik fonksiyonlarının nümerik veriler ile ayarlanması ya da belirlenmesi durumunda ise nümerik verilerdeki belirsizlik doğrudan üyelik fonksiyonları üzerinde bir belirsizliğe dönüşür. Bu gibi durumlarda ortaya çıkan dilsel ya da nümerik belirsizliklerin etkisi tip-1 bulanık sistemlerin aksine tip-2 bulanık sistemlerle azaltılabilmektedir [8].

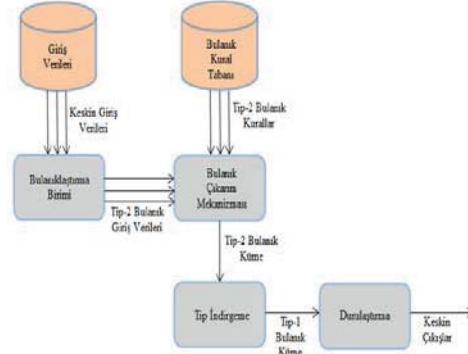
Aşağıda Tip-1 ve Tip-2 Bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları ile Tip-1 ve genel Tip-2 bulanık kümelerin çalışma sistemi aşağıda şekilsel-grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Bir bulanık kümenin a) tip-1 ve b) tip-2 üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesi.

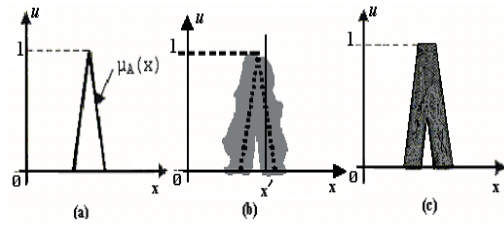


Şekil 4: Tip-1 bulanık sistemlerin temel yapısı.



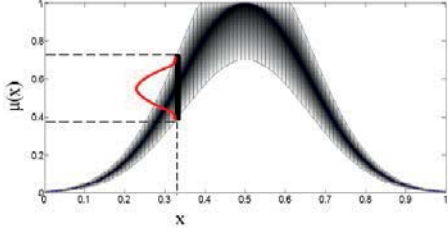
Şekil 5: Genel Tip-2 bulanık-kural tabanlı bir sistemin bileşenleri

Aşağıda şekil 6. (a)'daki tip-1 üyelik fonksiyonu üçgenin solundan ve sağından çeşitli miktarlarda noktaları kaydırılarak bulanıklaştırılmış olsun. Şekil 6. (b)'ye bakıldığında x ekseninde yer alan x' dikey çizginin bulanık kısımla kesiştiği noktalarda üyelik fonksiyonu birden fazla değer almıştır. Bu değerler aynı ağırlığa sahip olmak zorunda değildir ve bu noktalara bir genlik dağılımı uygulanabilir. Bu bütün $x \in X$ için yapırsa tip-2 bulanık kümeleri tanımlayan üç boyutlu üyelik fonksiyonu yani tip-2 üyelik fonksiyonu elde edilir [15].

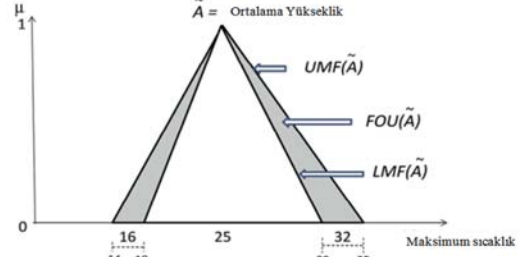


Şekil 6: a) Tip-1 üyelik fonksiyonu b) Bulanıklaştırılmış tip-1 üyelik fonksiyonu c) FOU (Belirsizliğin Ayak İzi)

Aşağıda yer alan şekil 7.'de ise Tip-2 bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonu verilmiş ve bir x noktası için tip-2 üyelik fonksiyonu üzerinde Gauss şeklindeki ikincil üyelik fonksiyonu kırmızı renk ile belirtilmiştir.



Şekil 7: Tip-2 bulanık bir kümenin birincil ve ikincil üyelik fonksiyonu

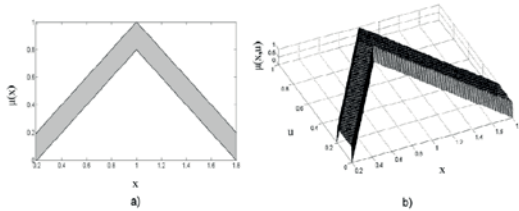


Şekil 9: Üçgen aralık tip-2 bulanık kümesi örneği

2.4. Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler

Aralık tip-2 bulanık kümeleri (AT2-BK) genel tip-2 bulanık kümelerin özel bir halidir. Aralık tip-2 bulanık kümelerin tüm ikincil üyelik fonksiyonları bir fonksiyon yerine 1 şeklinde keskin bir değer almaktadır. Böylece ikincil üyelik fonksiyonları aralık tip-2 bulanık kümelerde ayırt edici bir bilgi taşımamakta ve tip-2 bulanık mantık işlemlerinde sadece birincil üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerinin kullanılması yeterli olmaktadır [16]. Bu nedenle aralık tip-2 bulanık kümeleri sağladıkları hesaplama kolaylıkları nedeniyle genel tip-2 bulanık sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır [17].

Aşağıda şekil 18.'de birincil üyelik fonksiyonu üçgen şeklinde olan örnek bir aralık tip-2 bulanık kümenin iki boyutlu ve üç boyutlu görüntüsü gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her bir x için tüm ikincil üyelik değerleri 1'dir.



Şekil 8: Örnek bir aralık tip-2 bulanık kümenin a) iki boyutlu b) üç boyutlu görünüşü.

Aşağıda yer alan şekil 9.'da ise maksimum sıcaklık için verilen ve ortalama yükseklik olarak etiketlenmiş bir aralık tip-2 bulanık grafiği verilmiştir.

Burada; üst üyelik fonksiyonunu Upper Membership Function (UMF(\tilde{A})) ile ve alt üyelik fonksiyonunu ise Lower Membership Function (LMF(\tilde{A})) olarak tanımlayabiliriz. (UMF(\tilde{A})) ve (LMF(\tilde{A})) arasında kalan bölgeye ise belirsizliğin ayak izi olarak tanımlayabileceğimiz Footprint of Uncertainty (FOU(\tilde{A})) olarak tanımlayacağız. Burada dikkat edilirse aralık tip-2 bulanık kümesi, iki tane tip-1 bulanık kümenin birleşmesiyle oluşmuş aralık tip-2 türünde bir bulanık kümedir. Burada (LMF(\tilde{A})) kümesini \tilde{A}^- ve (UMF(\tilde{A})) kümesini de \tilde{A}^+ ile gösterdiğimizde; oluşan yeni aralık tip-2 bulanık kümesini aşağıdaki gibi formüle edebiliriz:

$$\tilde{A} = (\tilde{A}^-, \tilde{A}^+) \quad (1)$$

Yukarıdaki şekilde verilen örnek dikkate alındığında; sabitlenmiş iki aralıkta belirsizliği kolay bir şekilde modelleyebiliriz. Sol taraf için L (Left), Sağ taraf için R (Right) ve ortalama yükseklik için M (Mean) değişkenleri kullanıldığında; L parametresinin 14 ve 18 aralığındaki belirsizlik değerlerini aldığı; R parametresinin 29 ve 35 aralığındaki belirsizlik değerlerini aldığı ve M değerinin ise 25 değerini aldığı görülmektedir. Burada M parametresi ile L ve R parametrelerine bağlı olarak bir aralık tip-2 bulanık küme formüle edebiliriz. Burada L parametresinin iki değer aldığı ve bunları L- ve L+ ile ve yine iki değer alan R parametresini de R- ve R+ ile ifade ettiğimizde; $L^+ \leq L^- \leq M \leq R^- \leq R^+$ olduğunu görürüz. Yukarıdaki şekil için daha önce $\tilde{A} = (\tilde{A}^-, \tilde{A}^+)$ olarak tanımlamıştık. Burada $\tilde{A}^- = (L^-, M, R^-)$ için $L^- = 18$, $M = 25$ ve $R^- = 29$ ve $\tilde{A}^+ = (L^+, M, R^+)$ için ise $L^+ = 14$, $M = 25$ ve $R^+ = 35$ tir.

Şimdi her aralık tip-2 bulanık kümesinin belirsizlik taban alanının alt ve üst sınırlarını tanımlayan tip-1 üyelik fonksiyonlarına sırasıyla Alt Üyelik Fonksiyonu (LMF), $\underline{\mu}_A(x)$, ve Üst Üyelik Fonksiyonu (UMF), $\overline{\mu}_A(x)$, adı verilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_A(x) &\equiv \overline{\text{FOU}}(\bar{A}) & \forall x \in X \\ \text{ve} \\ \underline{\mu}_A(x) &\equiv \underline{\text{FOU}}(\bar{A}) & \forall x \in X \end{aligned} \quad (2)$$

Ya da

$$\begin{aligned} \underline{\mu}_A(x) &= \bar{A}_-(x), \\ \bar{\mu}_A(x) &= \bar{A}_+(x) \end{aligned} \quad (3)$$

Şeklinde tanımlanabilir.

Aralık tip-2 bulanık kümelerin en önemli özelliği yukarıda FOU ile tanımlanan belirsizlik alan özelliğidir. Çünkü bir aralık tip-2 bulanık küme kendisine ait belirsizlik taban alanı ile tam olarak tanımlanabilmektedir ve belirsizlik taban alanının büyüklüğü ve şekli doğrudan modellenen belirsizliğin yapısıyla ilgilidir.

Tip-2 bulanık sistemlerde giriş birimleri tıpkı tip-1 bulanık kümelerde olduğu gibi keskin giriş değerleridir. Tip-2 bulanık sistemlerde bulandırma mekanizması ise, keskin giriş değerlerini çıkarım mekanizmasında işlenebilir hale getirmek için bulanık değerlere çevirir. Bu bulandırma işleminde tekil tip, tip-1 ya da tip-2 bulanık kümeler kullanılabilir. Bunun için de giriş kısmında verilen keskin değerler; aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı kümelerde tanımlanan üyelik fonksiyonları vasıtasıyla (Üst ve alt üyelik fonksiyonları) bulanık değerlere dönüştürülürler. Burada tip-2 bulanık sisteme verilen giriş değerleri, tip-1 bulanık mantıkta olduğu gibi tip-2 bulanık mantık sistemi için tanımlanan üyelik fonksiyonları vasıtasıyla bulanıklaştırılır. Daha sonra bulanıklaştırılan giriş keskin değerleri, sistem için tanımlanan kural tabanı ile birlikte işlenmek üzere bulanık çıkarım mekanizmasına aktarılır.

Aralık tip-2 bulanık kural tabanlı sistemlerde bilgi tabanı üyelik fonksiyonlarının tanımlandığı veri tabanı ise kuralların tanımlandığı kural tabanından oluşur. Veri tabanında giriş ya da çıkış bulanık kümeleri için en az bir adet tip-2 üyelik fonksiyonu tanımlı bulunmaktadır.

Tip-1 bulanık kural tabanlı bir sistemde; giriş verileri $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve çıkış verisi y ve kural ifadesi

için R (Rule) ifadesi ile bir kural aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} \mathbf{R: IF (x_1=A_1) AND (x_2=A_2)...AND (x_n=A_n)} \\ \mathbf{THEN (y=B)} \end{aligned} \quad (4)$$

Aralık Tip-2 bulanık sistemlerde çıkarım mekanizması; tip-1 bulanık sistemlerde olduğu gibi bulandırılmış ölçümleri kullanarak o an için hangi kuralın uygun olduğunu değerlendirir ve çıkışın ne olması gerektiğine karar verir. Buradaki tek fark çıkarım mekanizmasının sonucunun tip-1 bulanık küme yerine tip-2 bulanık küme olmasıdır.

2.5. Tip İndirgeme İşlemi ve Aralık Tip-2 Bulanık Kümelerin Ağırlık Merkezi

Tip indirgeme işleminin amacı çıkarım mekanizması sonucu elde edilen tip-2 bulanık kümeyi tip-1 bulanık kümeye indirmektedir. Daha sonra bu tip-1 bulanık kümesi durulama işlemine tabi tutularak keskin çıkış değeri elde edilir. Literatürde ağırlık merkezi, kümeler merkezi, yükseklik gibi çeşitli tip indirgeme yöntemleri mevcuttur [8].

Bir aralık tip-2 bulanık kümenin ağırlık merkezi kümenin içerdiği tüm gömülü tip-1 bulanık kümelerin ağırlık merkezlerinin birleşiminden oluşmaktadır [14]. Aralık tip-2 bulanık kümelerin tüm ikincil üyelik değerleri 1 olduğundan tip indirgenmiş bulanık küme sol ve sağ sınır değerleri ile tanımlanan aralık tip-1 bulanık küme olmaktadır ve aralık tip-2 bulanık kümenin sahip olduğu belirsizliğin büyüklüğü bilgisini vermektedir. Aralık tip-2 bulanık kümenin ağırlık merkezinin hesaplanmasında sadece bu iki sınır noktasının bulunması yeterli olmaktadır [8].

Bir \bar{A} aralık tip-2 bulanık kümesinin $C\bar{A}$ ağırlık merkezi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$C\bar{A} = 1/[c_l, c_r] \quad (5)$$

Burada c_l ve c_r A kümesinin sırasıyla minimum ve maksimum ağırlık merkezidir. Bu değerler tip indirgenmiş aralık tip-1 bulanık küme $C\bar{A}$ 'nın sınır değerlerini oluşturmaktadır.

Bir bulanık kümenin ağırlık merkezi aşağıdaki genel formül ile hesaplanır:

$$C_{\tilde{A}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x \mu(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu(x) dx} \quad (6)$$

Tip-1 bulanık kümeler belirsizlik içermediklerinden tek bir ağırlık merkezi değerine sahiptirler. Tip-2 bulanık kümeler ise üyelik fonksiyonlarındaki belirsizlikten ötürü içlerinde barındırdıkları olası tip-1 bulanık kümeler kadar ağırlık merkezi değerine sahiptirler. Bu yüzden yukarıda bahsedildiği gibi tip-2 bulanık kümenin olası tüm ağırlık merkezlerinin toplamı bize indirgenmiş tip-1 aralık kümesini vermektedir. Bu indirgenmiş tip-1 aralık kümenin c_l ve c_r sınır değerleri alt ve üst üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile sürekli yapıda aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$c_l = \min(C_{\tilde{A}}) = \frac{\int_{-\infty}^L x \overline{\mu_A}(x) dx + \int_L^{\infty} x \underline{\mu_A}(x) dx}{\int_{-\infty}^L \overline{\mu_A}(x) dx + \int_L^{\infty} \underline{\mu_A}(x) dx} \quad (7)$$

$$c_r = \max(C_{\tilde{A}}) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x \underline{\mu_A}(x) dx + \int_R^{\infty} x \overline{\mu_A}(x) dx}{\int_{-\infty}^R \underline{\mu_A}(x) dx + \int_R^{\infty} \overline{\mu_A}(x) dx} \quad (8)$$

Burada L ve R sırasıyla $\overline{\mu_A}(x)$ 'den $\underline{\mu_A}(x)$ 'ya ve $\underline{\mu_A}(x)$ 'dan $\overline{\mu_A}(x)$ 'ya olan değişimleri gösteren anahtarlama noktalarıdır ve $c_l = L$ ve $c_r = R$ eşitliği mevcuttur.

3. Türkiye'de Ve Yurtdışında Yapılan Çalışmalar

3.1. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar

Yapılan araştırmalar sonucunda ülkemizde tedarikçi seçimi konusunda tip-2 bulanık mantık kullanımı yerine daha çok çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses'i (BAHP) yönteminin daha çok kullanıldığı ve bu alanda tip-2 bulanık kümelerin kullanımı ile ilgili çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir. İlgili çalışmalardan birkaçı aşağıda sunulmuştur;

Kahraman ve ark. (2004)'te aralık tip-2 bulanık mantık ile bulanık analitik hiyerarşi prosesi (BAHP) adlı çalışmada; aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı sistemler için yeni bir sıralama metodu geliştirerek bu metodu en iyi tedarikçi seçimi için BAHP ile beraber kullanmış ve geliştirilen sıralama metodu aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ile başarılı sonuçlar vermiştir.

Türk ve ark. (2014)'te tedarikçi seçiminde aralık tip-2 bulanık kümeler adlı çalışmada; Ordoobadi

yaklaşımı ile birlikte aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı sistemler altında tedarikçi seçimi sıralaması yapılmış ve bulunan sıralama değerleri tip-1 bulanık sistemler altında hesaplanan ve Ordoobadi çalışmasında elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Varılan sonuç üyelik merkez noktalarında herhangi bir kayma olmadan aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı sistemler kullanıldığında benzer sonuçlara varıldığı görülmüştür.

Ayağ ve Özdemir (2006)'da makina seçim problemi için BAHP yöntemini önermişlerdir. Önerilen yöntemde, ilk olarak birçok nitelik için alternatif ağırlıklarının belirlenmesinde BAHP yöntemi kullanılmış, daha sonra her alternatifin BAHP ile elde edilen skoru ve tedarik etme maliyeti kullanılarak fayda/maliyet oran analizi yapılmıştır. En yüksek fayda/maliyet oranına sahip alternatif, diğer alternatifler arasından en iyi makina olarak belirlenmiştir. Önerilen BAHP yöntemi, birçok matris hesaplaması gerektirdiği için bilgisayar ortamında bir yazılım geliştirilmiştir.

3.2. Yurt Dışında Yapılan Çalışmalar

Yurtdışında yapılan çalışmalar incelendiğinde ülkemize nazaran tedarikçi seçimi konusu ile ilgili çalışmalarda tip-1 ve tip-2 bulanık kümelerin kullanımından daha fazla yararlanıldığı görülmektedir. İlgili çalışmalardan birkaçı aşağıda sunulmuştur;

Qin ve ark. (2016)'da 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 ile elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu mekânsal analiz problemlerinde tip-2 bulanık-kural tabanlı sistemlerin kullanılması tip-1 bulanık sistemlere göre daha güçlü ve etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Keshavarz ve ark. (2016)'da sosyal ekonomik çevrede artan karmaşıklık ve belirsizlik yüzünden bazı kriterlerin değerlendirilmeleri sayısal değerlendirmeler ve tip-1 bulanık kümeler tarafından yeterli olarak sunulamadığını belirtmiştir. Bu nedenle çok kriterli karar yapıcı problemleri çözmek için aralık tip-2 bulanık kümelerle birlikte interaktif ve çok kriterli karar verme tekniğini (TODIM) geliştirmiş ve bu tekniği yeşil tedarikçi seçimi problemlerinde uygulamıştır. Bunun için başta aralık tip-2 çevrede

çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için olasılık teorisi üzerinde interaktif ve çok kriterli karar verme tekniği (TODIM) geliştirilmiştir. Daha sonra ise önerilen yöntemin yararını göstermek için bir yeşil tedarikçi seçimi örneği verilmiştir.

Yine Keshavarz ve ark. (2016)'da aralık tip-2 bulanık kümeler ile genişletilmiş bir WASPAS metodu kullanılarak yeşil tedarikçi seçiminin çok kriterli olarak değerlendirilmesi adlı çalışmada; çok kriterli karar verme problemlerinde aralık tip-2 bulanık kümelerin kullanımının belirsizliği modellemek için çok esnek bir yapı olduğunu belirtmiş ve çok kriterli karar verme problemleri ile başa çıkmak için aralık tip-2 bulanık mantık kümeleri ile birlikte Ağırlıklı Toplulaştırılmış Toplam Ürün Değerlendirmesi (WASPAS) metodunu geliştirmiştir. Geliştirilen WASPAS metodu sayesinde tedarikçi seçiminde daha gerçekçi ağırlıkların elde edilmesi için bir entropi yönteminden karar vericiler tarafından nesnel ağırlık sonuçları öznel (subjectif) ağırlık değerleri ile birleştirilmiştir. Böylece öznel ve nesnel ağırlık değerleri birleştirilerek geliştirilmiş olan bu yöntemin yeşil tedarikçi seçiminde istikrarı artırdığını ve diğer çalışmalarla da uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Yaakob ve ark. (2015)'te tedarikçi seçimi için iki aralık tip-2 bulanık küme arasındaki mesafeyi hesaplamak için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen bu mesafe (uzaklık) formülü literatürde daha önce kabul görmüş mesafe aralığı yöntemlerinden olan Hamming, Hausdorff metric ve Euclidean yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sonuçlar göstermiştir ki; kabul görmüş mesafeler önerilen bu mesafe metoduyla benzer özellikler göstermiştir. Fakat bahsi edilen diğer üç metod aralık tip-2 bulanık kümeler için uygun değildirler. Böylece hiyerarşik kümeleme metodu olarak geliştirilen bu yeni yöntem; tedarikçi seçimi problemlerini çözmek ve tedarikçilerin birbirine yakınlığını bulmak için kullanılmıştır. İlk başta tedarikçi seçimi için sekiz kritere sahip sekiz tane tedarikçi üzerine bir örnek olay çalışması gösterilmiş, daha sonra önerilen hiyerarşik kümeleme temelli metodu, diğer üç kümeleme metodu tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak ve test etmek için karşılaştırmalı bir deneysel analiz çalışması kullanılarak yöntem tasarlanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; Önerilen hiyerarşik kümeleme algoritması kabul edilebilir sonuçlar verir iken ayrıca geliştirilen yöntemin aralık tip-2 bulanık kümeler ve tedarikçilerin birbirine olan yakınlık derecesini göstermeye de uygun olduğu görülmüştür.

Yine Yaakob ve ark. (2015)'te alternatiflerin seçimi için ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS yöntemi kullanılarak aralık tip-2 bulanık sistem yaklaşımı adlı çalışmada; bir hisse senedi seçimi problemine ÇKKV yöntemi olan TOPSIS ile birlikte aralık tip-2 bulanık kümeleri kullanılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak; Chen ve Lee (2010) tarafından geliştirilmiş bulanık kural tabanlı olmayan tip-2 TOPSIS yöntemi, çalışmanın yazarları tarafından bulanık kural tabanlı tip-2 TOPSIS sistemi geliştirilmiştir. Bu değişikliğin temel amacı herhangi bir konu hakkında uzamın görüşlerini de sisteme yansıtılarak böylece önerilen yöntemin ÇKKV yeteneğini arttırmaktır. Böylece önerilen metod, ele alınan problem ile ilgili nihai bir çözüm önermek için etkisi değişen derecelerde karar vericilerin farklı görüşleri belirleyecek ve bir araya getirebilecektir. Önerilen metod Kuala Lumpur Borsası'ndan 25 hisse senedi incelenerek kabul görmüş finansal oranlarına (faiz ve vergi oranları) göre uygun olan hisse senedine yatırım yapılmıştır. Ele alınan 25 hisse senedi belirlenen 6 kritere göre (Firmaların Pazar Değeri, Öz kaynak Karlılığı, Borç/Öz kaynak Oranı, Şimdiki (Geçerli) Oranı, Pazar Değeri/Net Satışları, Fiyat/kazanç oranı) karar vericiler alternatifleri ağırlıklandırıp sıralayarak Kuala Lumpur Borsası'nda ele alınan 25 hisse senedini listelemişlerdir. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi Tip-2 TOPSIS ve Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı TOPSIS sisteminin Tip-2 TOPSIS sisteminden daha güçlü ve yetenekli olduğu yapılan karşılaştırmalı sonuçlar sonucunda görülmüştür.

Liao ve ark. (2015)'te aralık tip-2 dilsel bilgiler ile genişletilmiş bir VIKOR metodu kullanılarak çok kriterli tedarikçi seçimi adlı çalışmada; gelişen çok kriterli karar verme yöntemleri arasında gösterilen VIKOR yöntemini yeni model penye üreten en uygun tedarikçileri tespit etmek için genişletilmiş bir şekilde sunulmuştur. Önerilen aralık tip-2 dilsel VIKOR yöntemi fizibilite ve uygulanabilirliği gerçekçi üç tedarikçi seçimi ve mevcut yaklaşımlarla karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Sonuç göstermiştir ki; önerilen aralık tip-2 dilsel VIKOR yöntemi bilginin eksik ve belirsiz olduğu bir çevrede daha uygun ve etkili olduğu görülmüştür.

Chan ve Kumar (2007)'de küresel tedarikçi seçimi için verimli bir sistem geliştirmeye yönelik risk

faktörlerini içeren önemli ve kritik karar kriterlerini belirleyerek tartışmışlardır. Maliyet, kalite, servis performansı, tedarikçi profili ve küresel tedarikçi seçiminde yer alan risk faktörleri gibi farklı karar kriterlerini ele almak için genişletilmiş BAHP'ye dayalı bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalarında önerdikleri genişletilmiş BAHP yönteminin, diğer mevcut karar sistemlerine göre daha basit, az zaman alan ve hesaplama maliyeti düşük bir yöntem olduğu görülmüştür.

4. Yöntem

Firma ve kuruluşlar için tedarikçi seçimi, önemli karar verme problemlerinden biridir. Tedarikçi seçimi işlemini, zaman alıcı ve zor bir süreç olup deneyim ve bilgi birikimi gerektirmesinden dolayı karar vericiler için birçok soruna neden olmaktadır. Bu yüzden firma ve kuruluşlar uygun ve etkili bir karara ulaşmak için, karar verici birçok veriyi analiz etmek ve birçok faktörü dikkate almak zorundadır.

Bir karar verme sürecinde eksik ve sayısal olmayan bilgiler olması durumunda bulanık küme teorisi, karar verme sürecine dahil edilerek daha etkin kararlara ulaşılabilmektedir. Ayrıca karar verme subjektif bir süreçtir ve belirsizlikler içermektedir. Klasik karar verme yöntemleri, belirsiz ve kesin olmayan durumları ele almada yetersiz kaldığından bu gibi durumlarda bulanık karar verme yöntemlerini kullanmak uygun olmaktadır [1].

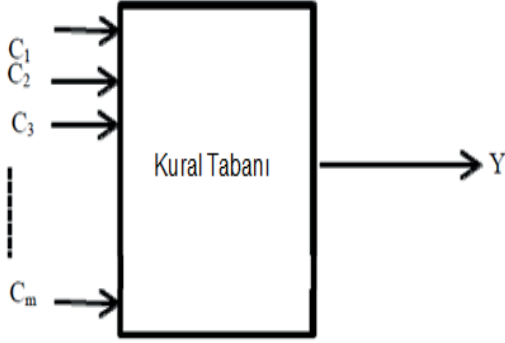
Bir karar verme probleminde somut veriler olduğunda karar vermenin daha kolay olacağı, ama soyut verilerin arttığı durumlarda ise karar vermenin zorlaşacağı bilinmektedir. Ayrıca karar vermede eğer tek bir kriter varsa alternatif olarak buna rahatlıkla karar verilebilir. Fakat karar problemindeki kriter sayısı birden çok ise bu durumda karar vermekte zorlaşmaktadır.

Bulanık mantık ise insani düşünce ve çıkarım sürecine benzer bir davranış sergilemektedir [7]. Özellikle karar ve kontrol problemlerinde başlangıçta klasik mantığa karşı Tip-1 bulanık kümeler ile işlemler yapılırken günümüzde belirsizliğe karşı Tip-1 bulanık kümelerin genişletilmesi olan Tip-2 bulanık kümeler kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü belirsizlik gerçek sistemlerin doğal bir karakteristiğidir. Tasarım aşamasında belirsizliğin doğrudan modellenmesi ve etkisinin azaltılması için fazladan serbestlik derecesine sahip olmalarından dolayı tip-2 bulanık sistemler tip-1 bulanık sistemlere göre belirsizliklerle

daha çok baş edebilme yeteneğine sahiptirler. Sahip oldukları hesaplama kolaylıklarına bağlı olarak gerçek zamanlı uygulamalarda çoğunlukla aralık tip-2 bulanık mantık kontrolörler kullanılmaktadır [8]. Bu çalışmada da firma ve kuruluşlar için birden fazla kriter ve alt kriterlere (alternatiflere) sahip en uygun tedarikçi seçimi için tip-1 bulanık kümeler, kural tabanlı olmayan aralık tip-2 bulanık kümeler ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımına aksine tip-2 bulanık kural tabanlı kümelerin kullanımının önemi üzerinde durulmaktadır. Yaakob ve ark. (2015) tarafından yapılan bulanık kural tabanlı olmayan tip-2 bulanık topsis yöntemi ile bulanık kural tabanlı tip-2 topsis yönteminin alternatiflerin sıralanmasında kullanımı aşağıda sunulmaktadır.

4.1. Önerilen Yöntem

Yaakob ve ark. (2015) tarafından önerilen metod tip-2 bulanık kural tabanlı sistem ile birlikte ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSIS yöntemi birlikte kullanılarak 25 Hisse Senedi şirketinin belirlenen 6 kritere göre (Firmaların Pazar Değeri, Öz kaynak Karlılığı, Borç/Öz kaynak Oranı, Şimdiki (Geçerli) Oranı, Pazar Değeri/Net Satışları, Fiyat/kazanç oranı) hisse senedi yatırımı için en iyi alternatifin (Hisse senedi şirketinin) bulunması örneğine uygulanmıştır. Bu yöntem, ÇKKV yöntemi olan TOPSIS yöntemi ile birlikte tip-2 bulanık kural tabanlı sistemlerinin kullanılması ayrıca karar verici işlemlerde, uzmanların deneysel bilgilerini kullanılan kural tabanıyla birlikte uygulama şansını vermektedir. Böylece bu iki yöntemin (Tip-2 bulanık-kural tabanlı sistem ile ÇKKV yöntemi olan TOPSIS yöntemi) birlikte kullanılması hem uzmanların deneysel bilgileri ile ilişkilidir hem de karar verici problemlerin hibrit analizlerine izin vermektedir. Çünkü karar vericilerin işlemleri insani duyguları gerektirir ve bu da sık sık bulanık kural tabanı sayesinde sunulur. Böylece sistemin davranışı karar verici tarafından tanımlanan kurallar daha büyük bir etkiye sahip olabilir. Tasarlanılan sistem aşağıda şekil 10.'da verilmiştir.



Şekil 10. Tasarlanan Bulanık Sistem (Yaakob vd., 2015).

Burada; $C_1, C_2, C_3, \dots, C_m$ giriş verileri/kriterler ve Y ise çıkış/alternatif düzeyidir. Sistem içinde kullanılacak kurallar normal bir şekilde uzman bilgisinden alınmaktadır.

Örnek sistemde; her kriterin önem ağırlığı Tablo 1.'de ve alternatiflerin dereceleri ise Tablo 2.'de verilmiştir. Kuralların uygulanması ve sonuç bölümleri yani alternatiflerin seviyesi ise Tablo 3.'te gösterilmiştir. Örnek uygulamada yamuk tip-2 bulanık kümeleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Her Kriterin Önem Ağırlığı İçin Dilsel Etiketler

Dilsel Etiketler	Tip-2 Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0.00,0.00,0.00,0.10,1,1) (0.00,0.00,0.00,0.10,1,1)
Düşük (D)	(0.00,0.10,0.10,0.25,1,1) (0.00,0.10,0.10,0.25,1,1)
Orta Düşük (OD)	(0.15,0.30,0.30,0.45,1,1) (0.15,0.30,0.30,0.45,1,1)
Orta (O)	(0.35,0.50,0.50,0.65,1,1) (0.35,0.50,0.50,0.65,1,1)
Orta Yüksek (OY)	(0.55,0.70,0.70,0.85,1,1) (0.55,0.70,0.70,0.85,1,1)
Yüksek (Y)	(0.80,0.90,0.90,1.00,1,1) (0.80,0.90,0.90,1.00,1,1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.90,1.00,1.00,1.00,1,1) (0.90,1.00,1.00,1.00,1,1)

Tablo 2. Tüm Alternatiflerin Dereceleri/Oranı İçin Dilsel Etiketler

Dilsel Etiketler	Yamuk Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0,0,0, 1,1) (0,0,0, 1,1)
Kötü (K)	(0,1,1,3,1,1) (0,1,1,3,1,1)
Orta Kötü (OK)	(1,3,3,5,1,1) (1,3,3,5,1,1)
Orta (O)	(3,5,5,7,1,1) (3,5,5,7,1,1)
Orta İyi (OI)	(5,7,7,9,1,1) (5,7,7,9,1,1)
İyi (İ)	(7,9,9,10,1,1) (7,9,9,10,1,1)
Çok İyi (Çİ)	(9,10,10,10,1,1)(9,10,10,10,1,1)

Tablo 3. Alternatiflerin Seviyeleri İçin Dilsel Etiketler

Dilsel Etiketler	Yamuk Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0.00,0.00,0.00,0.25,1,1) (0.00,0.00,0.00,0.25,1,1)
Kötü (K)	(0.00,0.25,0.25,0.50,1,1) (0.00,0.25,0.25,0.50,1,1)
Normal (N)	(0.25,0.50,0.50,0.75,1,1) (0.25,0.50,0.50,0.75,1,1)
İyi (İ)	(0.50,0.75,0.75,1,1,1) (0.50, 0.75, 0.75, 1,1,1)
Çok İyi (Çİ)	(0.75,1.00,1.00,1.00,1,1) (0.75,1.00,1.00,1.00,1,1)

Aşağıda toplam sekiz (8) adımda sunulan algoritma, alternatiflerin sıralamasını almak için kullanılmaktadır.

4.2. Tip-2 Bulanık-Kural Tabanlı TOPSIS Algoritması

Önceki TOPSIS metodunda ortalama bir karar matrisi hesaplama yerine burada her karar vericilerin görüşleri bağımsız bir şekilde değerlendirilecektir. Varsayalım ki; m tane alternatif ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$) ve n tane kriter ($C_1, C_2, C_3, \dots, C_n, C_{n+1}$) vardır. Burada C_{n+1} ifadesi her karar vericinin etki seviyesini temsil etmektedir. Ayrıca burada k tane Karar Verici ($DM_1, DM_2, DM_3, \dots, DM_k$) ve ondan sonra k tane karar matrisi olacaktır.

1. Aşama: Bulanık karar matrisi (D_K) ve alternatiflerin bulanık ağırlıkları (W_K) aşağıda eşitlik (1a)'da gösterilmiştir.

$$(D_K) = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

ve

$$W_K = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_n] \quad (1a)$$

Burada; x_{ij} ve w_i sırasıyla Tablo 1. ve Tablo 2. üzerinde temellendirilmiş aralık tip-2 bulanık kümelerdir. Bunlar sırasıyla Kriter C_j 'ye göre K^{th} karar vericilerin A_i gibi alternatiflerin önem ağırlıklarını ve oranını temsil etmektedirler.

2. Aşama: Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi (VK) aşağıda eşitlik (2a)'da verilmiştir.

$$VK = [v_{ij}]_{m \times n} \quad (i=1, \dots, m \text{ ve } j=1, \dots, n) \quad (2a)$$

Burada; $v_{ij} = x_{ij}(\cdot)w_{ij}$ aralık tip-2 bulanık kümenin bir çarpma işlemi olduğudur.

3. Aşama: Şimdi de ağırlıklandırılmış karar matrisinin sıralamasını yapalım: Öncelikle sıralama değerini ($\text{Rank}(A_i)$) bulmak için; aralık tip-2 bulanık küme v_{ij} 'nin üst üyelik fonksiyonu v_{ij}^U ve alt üyelik fonksiyonu v_{ij}^L içinde maksimum sınır sayısını S olarak tanımlayalım. Burada; $1 \leq i \leq n$ ve $1 \leq j \leq m$ dir. Eğer hesaplanan S değeri tek sayı ve $S \geq 3$ ise $r = S+1$ dir. Eğer hesaplanan S değeri çift sayı ve $S \geq 4$ ise o zaman $r=S$ dir. Aralık tip-2 bulanık kümenin $\text{Rank}(A_i)$ değeri aşağıda eşitlik (3a)'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{Rank}(A_i) &= \sum_{j \in \{U, L\}} M_1(A_i^j) + \sum_{j \in \{U, L\}} M_2(A_i^j) + \dots \\ &+ \sum_{j \in \{U, L\}} M_{r-1}(A_i^j) \\ &- \frac{1}{r} \left(\sum_{j \in \{U, L\}} S_1(A_i^j) + \sum_{j \in \{U, L\}} S_2(A_i^j) + \dots \right. \\ &\left. + \sum_{j \in \{U, L\}} S_r(A_i^j) \right) \\ &+ \sum_{j \in \{U, L\}} H_1(A_i^j) \\ &+ \sum_{j \in \{U, L\}} H_2(A_i^j) + \dots \\ &+ \sum_{j \in \{U, L\}} H_{r-2}(A_i^j) \end{aligned} \quad (3a)$$

Burada; $M_p(A_i^j)$ ifadesi a_{ip}^j ve $a_{i(p+1)}^j$ $1 \leq p \leq r-1$ için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_p(A_i^j) = \frac{a_{ip}^j + a_{i(p+1)}^j}{2}$$

ve $S_q(A_i^j)$ ifadesi $1 \leq p \leq r-1$ için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_q(A_i^j) = \sqrt{\frac{1}{r} \sum_{k=q}^{q+1} (a_{ik}^j - \frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} a_{ik}^j)^2}$$
 elemanlarının ortalamasıdır.

$S_r(A_i^j)$ ifadesi ise $a_{i1}^j, a_{i2}^j, \dots, a_{ir}^j$ elemanlarının standart sapması olarak ifade edilmektedir. $S_r(A_i^j)$ aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$S_r(A_i^j) = \sqrt{\frac{1}{r} \sum_{k=1}^r (a_{ik}^j - \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r a_{ik}^j)^2}$$

$H_p(A_i^j), a_{i(p+1)}^j$ $1 \leq p \leq r-2, j \in \{U, L\}$ elemanlarının üyelik değeri ve r çift sayıdır.

4. Aşama: Bulanık ideal pozitif çözüm (A^+) ve bulanık negatif ideal çözüm (A^-) aşağıda eşitlik (4a)'da verilmiştir.

$$(A^+) = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) \text{ ve } (A^-) = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (4a)$$

Burada;

$$v_i^+ = \begin{cases} \max_{1 \leq j \leq n} \{\text{Rank}(v_{ij})\}, & x_i \in B \\ \min_{1 \leq j \leq n} \{\text{Rank}(v_{ij})\}, & x_i \in C \end{cases}$$

ve

$$v_i^- = \begin{cases} \min_{1 \leq j \leq n} \{\text{Rank}(v_{ij})\}, & x_i \in B \\ \max_{1 \leq j \leq n} \{\text{Rank}(v_{ij})\}, & x_i \in C \end{cases}$$

Burada; B fayda özelliğinin kümesi ve C maliyet niteliğinin kümesi anlamına gelmektedir ve burada $1 \leq i \leq n$ dir. Her alternatif A_i ve bulanık pozitif ideal çözüm A^+ arasındaki $d^+(A_i)$ uzaklığı hesaplamak için aşağıda tanımlanan eşitlik (5a) kullanılır.

$$d^+(A_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (\text{Rank}(v_{ij}) - v_i^+)^2} \quad 1 \leq j \leq n \text{ için;} \quad (5a)$$

Aynı şekilde; Her alternatif A_i ve bulanık negatif ideal çözüm A- arasındaki d^- (A_i) uzaklığı hesaplamak için aşağıda tanımlanan eşitlik (6a) kullanılır.

$$d^-(A_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\text{Rank}(v_{ij}) - v_i^-)^2} \quad 1 \leq j \leq n \text{ için;} \quad (6a)$$

5. Aşama: Yakınlık Katsayısı (CCi) A_i 'nin yakınlığının (CCi) göreceli derecesi eşitlik (7a)'da görüldüğü gibi hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d^-}{d^+ + d^-} \quad i=1, \dots, m \text{ için} \quad (7a)$$

6. Aşama: Her alternatifin yakınlık katsayısının etkisi (ICCi)

Günlük hayatta şu bir gerçektir ki; daha fazla deneyime sahip olan uzmanların bir karar hakkındaki değerlendirmeleri daha az deneyime sahip olan uzmanlarınkinden daha etkilidir.

$$\sigma_K = \frac{\theta_i}{\sum_{i=1}^K \theta_i} \quad i = 1, \dots, m \text{ için;} \quad (8a)$$

Burada; σ_K Kth karar yapıcısı için normalize edilmiş etki değerini temsil etmektedir. θ_i karar yapıcısının 0 (önemsiz) ve 10 (çok önemli) arasındaki önem derecesidir. Ondan sonra

$$ICCi = \sigma_K * CC_i \quad (9a)$$

Ve ICCi değişen değerinin 0 ile 1 arasındaki değerini garantiye almak için ICCi (NICCi) ifadesinin eşitlik (10a)'da görüldüğü gibi normalize etmek gereklidir.

$$NICC_i = \frac{ICCi}{\max_i ICC_i} \quad (10a)$$

7. Aşama: Öncül (Λ) ve sonuç (χ) matrisleri

Bir öncül matrisi eşitlik (11a)'da görüldüğü gibi hesaplanır.

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

Burada; X_{ij} kriterlere göre her alternatifin karar yapıcının görüşünü temsil eden dilsel etiketlerdir. İlk önce karar yapıcıları tarafından tanımlanmış olan her alternatif için NICCi değeri elde edilir. Bu değer Tablo 3'de daha yüksek üyelikli bulanık kümeye göre alternatif sonuçlarını belirlemek için kullanılır. Ondan sonra sonuçların matrisi eşitlik (12a)'da görüldüğü şekilde tanımlanır.

$$X = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_m \end{bmatrix} \quad (12a)$$

Burada; Y_j , NICCi'nin eşitlik (10a)'da değerini bulmak için Tablo 3.'e dayalı sistem çıkışını gösteren bir dilsel terime dayalı bir ifade/değerdir. Bu nedenle eşitlik (11a) ve eşitlik (12a)'da öncül ve sonuç matrisleri İf-Then (Eğer-İse) 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 $A_1=Y_m$

8. Aşama: Her alternatif için final skoru (Γ) eşitlik (13a)'da verilmiştir.

$$\Gamma = \lambda * \Omega \quad (13a)$$

Burada; λ eşitlik (12a)'da çıkışın toplanmış (birleştirilmiş) üyelik fonksiyonunun bir keskin değeridir. Ve λ aşağıda eşitlik (14a)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^K \alpha_{ij}}{K} \quad (14a)$$

Burada; $\alpha_{ij} \in Y_j$ çıkışın maksimum üyelik derecesidir. Bizde bu örnekte daha iyi bir sıralama elde etmek için aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı TOPSIS yöntemini 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 (Ω) genel olarak hesaplamak için maksimum üyelik derecesine sahip marjinal bir yakınlık katsayısı kullanılır ki bu marjinal yakınlık katsayısı aşağıda eşitlik (15a)'da verilmiştir.

$$\Omega = \frac{\sum_{i=1}^K NICC_i}{K} \quad (15a)$$

Bu nedenle, Γ 'nın değerinden, tüm alternatiflerin sıralaması sırası tespit edilebilir. Burada; Γ 'nın daha yüksek değerine sahip olan alternatif en iyi alternatiftir.

4.3. T2-BKTS (Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı) TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Bu kısımda yukarıda algoritması ve aşamaları anlatılan AT2 BKT TOPSIS Yöntemi, örnek bir hisse senedi seçimi problemine uygulanarak yapılan hesaplama ve en uygun alternatifin bulunması işlemleri yer almaktadır. Burada hisse senedi seçimi için finansal uzman bilgilerini; finans öğretimi elemanlarını, fon yöneticilerini ve finansal alanda doktora öğrencileri kapsamaktadır. Bu örnek çalışmada; 25 tane hisse senedi 6 kritere göre (Firmaların Pazar Değeri, Öz kaynak Karlılığı, Borç/Öz kaynak Oranı, Şimdiki (Geçerli) Oranı, Pazar Değeri/Net Satışları, Fiyat/kazanç oranı) değerlendirilip AT2 BKT TOPSIS yöntemiyle en iyi alternatif seçilmeye çalışılmıştır. Şimdi AT2 BKT TOPSIS yönteminin, ele alınan hisse senedi seçimi problemine uygulanmasını adım adım açıklayalım:

1. Aşama: Öncelikle uygulama evrenine uygulanacak bir anket çalışması veya uzman görüşleri doğrultusunda eşitlik (1a)'da gösterildiği şekilde her alternatif için bir karar matrisi (DK) oluşturulur.

2. Aşama: Ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması;

Eşitlik (2a)'da normalize edilmiş (normalleştirilmiş) ağırlıklı karar matrisleri (VK) aşağıda gösterildiği gibi belirlenebilir:

$$W1 = (0.9, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0) (0.9, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0)$$

$$X11 = (9, 10, 10, 10, 1.0, 1.0) (9, 10, 10, 10, 1.0, 1.0)$$

Ondan sonra

$$v11 = ((0.9 \times 9), (1.0 \times 10), (1.0 \times 10), (1.0 \times 10), 1.0, 1.0) ((0.9 \times 9), (1.0 \times 10), (1.0 \times 10), (1.0 \times 10), 1.0, 1.0)$$

$$v11 = (8.1, 10, 10, 10, 1.0, 1.0) (8.1, 10, 10, 10, 1.0, 1.0)$$

Buradan; $\max_i C_{1j} = 10$,

$$v_{11} = \left(\frac{8.1}{10}, \frac{10}{10}, \frac{10}{10}, \frac{10}{10}, 1.0, 1.0 \right) \left(\frac{8.1}{10}, \frac{10}{10}, \frac{10}{10}, \frac{10}{10}, 1.0, 1.0 \right)$$

$$v_{11} = (0.81, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0) (0.81, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0)$$

Normalizasyon metodu, normalize edilmiş yamuk bulanık sayıların aralığını [0, 1] aralığında tutması içindir. Yukarıda görüldüğü gibi son olarak elde edilen yamuk bulanık sayıların hepsi [0, 1] aralığına dönüştürülmüş oldu.

3. Aşama: Ağırlıklı karar matrisi sıralamasının yapılması;

Eşitlik (3a)'dan; yamuk tip-2 bulanık sayı v_{ij} 'nin sıralama değerleri $RankK(A_i)$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir: örnek olarak S1 olarak tanımlanan 1. Alternatif olan hisse senedi için;

$$\begin{aligned} \text{Rank}(v_{11}) = & M_1(v_{11}^U) + M_1(v_{11}^L) + M_2(v_{11}^U) \\ & + M_2(v_{11}^L) + M_3(v_{11}^U) \\ & + M_3(v_{11}^L) \\ & - \frac{1}{4}(S_1(v_{11}^U) + S_1(v_{11}^L)) \\ & + S_2(v_{11}^U) + S_2(v_{11}^L) + S_3(v_{11}^U) \\ & + S_3(v_{11}^L) + S_4(v_{11}^U) \\ & + S_4(v_{11}^L)) + H_1(v_{11}^U) \\ & + H_1(v_{11}^L) + H_2(v_{11}^U) \\ & + H_2(v_{11}^L) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rank}(v_{11}) = & 0.905 + 0.905 + 1.0 + 1.0 + 1.0 \\ & + 1.0 \\ & - \frac{1}{4}(0.095 + 0 + 0 + 0.0823 \\ & + 0.095 + 0 + 0 + 0.0823) + 1 \\ & + 1 + 1 + 1 \end{aligned}$$

$$\text{Rank}(v_{11}) = 9.7214$$

Buradan S1 olarak tanımlı alternatif için belirlenen 6 kritere göre sıralama değerleri {9.7214,7.9931,8.6119,6.8219,5.4877} dir. Her alternatif için sıralama değerleri benzer şekilde elde edilebilir.

4. Aşama: Bulanık pozitif ideal çözüm (A+) ve bulanık negatif ideal çözüm (A-) değerinin hesaplanması; Eşitlik (4a)'ya göre; pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} A^+ = & \{9.7214, 8.7525, 9.5526, 7.5375, 9.5526, 6.3229\} \\ A^- = & \{0.0533, 2.8955, 1.1805, 2.1593, 3.5259, 1.4233\} \end{aligned}$$

Eşitlik (5a) kullanılarak ideal çözüm A+ ve her alternatif arasında d+(Ai) uzaklığını aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz:

$$d^+(A_1) =$$

$$\sqrt{(9.7214 - 9.7214) + \dots + (5.4877 - 6.3229)} = 1.8858 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Aynı şekilde; bulanık negatif ideal çözüm ve S1 alternatifleri arasındaki uzaklığı hesaplamak için aşağıdaki gibi eşitlik (6a)'dan yararlanılabilir:

$$d^-(A_1) =$$

$$\sqrt{(9.7214 - 0.0533)^2 + \dots + (5.4877 - 1.4233)^2} = 15.4535 \text{ olarak hesaplanır.}$$

5. Aşama: Eşitlik (7a) kullanılarak; bulanık pozitif ideal çözüm A+ ya göre her alternatif Ai'nin yakınlık göreceli derecesi (CCi) değerinin hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} = \frac{15.4535}{1.8858 + 15.4534} = 0.8912$$

Aynı şekilde her alternatif için CCi'yi hesaplamak için benzer prosedür (yol) izlenir.

6. Aşama: Her alternatifin yakınlık katsayısı etkisi (ICCi);

Bu aşamada öncelikli olarak her karar vericinin etki derecesi (σK) eşitlik (8a) kullanılarak belirlenmelidir. Bu örnek çalışmada; Tablo 4.'te C7, karar vericisinin önem derecesini temsil etmektedir. Burada uzman kişi (karar verici) tarafından 0 (önemsiz) ve 10 (çok önemli) şeklindeki etki değerleri daha önce belirtilmişti. Örneğin karar verici 1'in (DM1 [Daha önce örnek seçim probleminde 3 tane karar verici uzman bilgisinin olduğu açıklanmıştı.]) etki derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_1 = \frac{8}{8 + 10 + 7} = 0.32$$

Daha sonra eşitlik (9a) kullanılarak A1 için yakınlık katsayısı etkisi (ICC1) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$ICC_1 = 0.32 \times 0.8912 = 0.2852$$

Daha sonra yakınlık katsayısı etkisi Tablo 3.'te yer alan dilsel etiketlere katsayı eşleştirilmeden önce normalize edilmesi gerekir. Bu çalışmada örnek olarak; incelenen 25 hisse senedinden hesaplanan ICCi = 0.2852'nin maksimum değer olduğunu varsayarsak; ondan sonra yakınlık derecesi etkisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$NICC1 = 0.2852 / 0.2852 = 1 \text{ olarak hesaplanır.}$$

7. Aşama: Öncül (A) ve sonuç (χ) matrisleri;

Her karar verici ayrı ayrı öncül ve sonuçların t matrisine sahiptir.

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

Eğer

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_m \end{bmatrix}$$

O Halde

Burada bir kural aşağıdaki gösterilen bir formata sahiptir.

Eğer $X_{11}=\text{ÇK}$ **Ve** $X_{12}=\text{ÇK}$ **Ve** $X_{13}=\text{ÇK}$ **Ve** $X_{14}=\text{ÇK}$ **Ve** $X_{15}=\text{ÇK}$ **Ve** $X_{16}=\text{ÇK}$ **ise** **O Halde** $Y_1=\text{ÇK}$ dır.

Şimdi, NICC_i'nin değeri Tablo 3. İçinde yer alan alternatifler için dilsel etiketlere eşleşmesi yapılabilir. Örneğin NICC₁ = 1 ise ondan sonra Y₁ Tablo 3.'te Çİ (Çok İyi) aralık tip-2 bulanık kümeye ait olur.

8. Aşama: Her alternatif için final Skoru (Γ);

Eşitlik (13a) kullanılarak son olarak final skoru (Γ) hesaplanır. S1 alternatifi için üç karar vericiden üç kural R1, R2, R3 işlediğini varsaydığımızda; S1 alternatifi için final skoru (Γ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

R1: **Eğer** $C1=\text{Çİ}$ **Ve** $C2=\text{Çİ}$ **Ve** $C3=\text{İ}$ **Ve** $C4=\text{Çİ}$ **Ve** $C5=\text{İ}$ **Ve** $C6=\text{O}$ **ise** **O Halde** $S1=\text{Çİ}$

R2: **Eğer** $C1=\text{Çİ}$ **Ve** $C2=\text{Çİ}$ **Ve** $C3=\text{O}$ **Ve** $C4=\text{Oİ}$ **Ve** $C5=\text{Oİ}$ **Ve** $C6=\text{O}$ **ise** **O Halde** $S1=\text{Çİ}$

R3: **Eğer** $C1=\text{İ}$ **Ve** $C2=\text{Çİ}$ **Ve** $C3=\text{Çİ}$ **Ve** $C4=\text{Çİ}$ **Ve** $C5=\text{İ}$ **Ve** $C6=\text{İ}$ **ise** **O Halde** $S1=\text{Çİ}$

Eşitlik (14a) kullanılarak λ 'nın değerini hesaplamak için; S1 alternatifi için her kuralın çıkışı aşağıdaki gibidir.

$$R1: VG = (0.80, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0)$$

$$(0.80, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0)$$

$$R2: VG = (0.80, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0)$$

$$(0.80, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0)$$

$$R3: VG = (0.80, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0)$$

$$(0.80, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0)$$

Ondan sonra λ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lambda = \frac{0.9 + 0.9 + 0.9}{3} = 0.9$$

Ayrıca, eşitlik (15a) kullanılarak Ω değeri hesaplanır.

6. aşamadan, S1 alternatifi için her kuralın değeri R1: 1.0 R2: 1.0 R3: 1.0 varsayılırsa; Ω 'nın değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Omega = \frac{1.0 + 1.0 + 1.0}{3} = 1$$

Son olarak, final skoru (Γ) eşitlik (13a) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Gamma = \lambda * \Omega$$

$$= 0.9 * 1$$

$$= 0.9$$

Bundan sonra, Γ 'nin değerinden, tüm alternatiflerin sıralaması belirlenebilir. En iyi alternatif, final skor (Γ) değeri yüksek olandır.

5. Sonuçların Analizi

Yaakob vd. (2015) yılında yaptıkları çalışmada gerçek fiyat değişimleri, kural tabanlı olmadan kullanılan Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS ve Aralık Tip-2 bulanık-kural tabanlı TOPSIS (AT2 BKT TOPSIS) yöntemleri Kendall Tau korelasyonu yöntemi kullanılmış ve ele alınan 25 hisse senedinin seçimi probleminde ele alınan 25 hisse senedi alternatifleri sıralanmıştır. Elde edilen sıralama değerleri Tablo 4.'te gösterilmiştir. Sonuç olarak; Aralık tip-2 bulanık-kural tabanlı TOPSIS (AT2 BKT TOPSIS) yöntemi gerçek bulanık kural tabanlı olmadan kullanılan gerçek sıralamalı aralık tip-2 TOPSIS yönteminden daha belirgin sonuçlar ve yüksek performans ürettiği görülmüştür.

Tablo 4. Yatırım geri dönüş temelli, bulanık-kural tabanlı olmadan AT2 TOPSIS ve AT2 BKT TOPSIS Sıralaması

Alternatifler	Sıralamalar		
	Yatırım Geri Dönüş Temelli Gerçek Sıralama	AT2 TOPSIS	AT2 BKT TOPSIS
S3	1	24	24
S1	2	1	1
S15	3	15	10
S2	4	16	13
S16	5	9	8
S23	6	3	4
S21	7	11	11
S11	8	10	7
S14	9	13	15
S25	10	6	19
S6	11	19	17
S18	12	14	12
S12	13	4	3
S24	14	22	25
S19	15	23	22
S20	16	5	5
S7	17	2	2
S17	18	17	18
S5	19	21	21
S22	20	20	20
S4	21	7	6
S10	22	12	14
S9	23	25	23
S8	24	8	9
S13	25	18	16

6. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada; firma ve kuruluşlar için tedarikçi seçimi problemlerinde tip-2 bulanık kural tabanlı mantık yöntemleri kullanımının önemi üzerine yapılan literatür taraması sonucunda ülkemizde; tedarikçi seçim problemlerinde tip-2 bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaların yok denecek kadar az olduğu ve olan çalışmalarında çok kriterli karar verme yöntemleri olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve TOPSIS gibi yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Oysa bu konu hakkında yurtdışında yapılan çalışmalara bakıldığında ülkemize oranla daha fazla çalışma yapıldığı görülmüştür. Yurtdışında yapılan çalışmaların bir çoğu incelendiğinde aynı problem hem tip-1 bulanık mantık yöntemi hem de tip-2 bulanık mantık yöntemi kullanılarak sonuçlara varılmış ve varılan sonuçlarda firma ve kuruluşlar için tedarikçi seçim

problemlerinde tip-1 bulanık kümeler yerine tip-2 bulanık kümelerin kullanımının daha rasyonel ve gerçekçi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Yine firma ve kuruluşların tedarikçi seçim problemleri için kriterlerin ve alternatiflerin çok, bilginin eksik ve belirsizliğin yoğun olduğu bir çevrede tip-2 bulanık mantık kümelerinin kullanılmasının klasik mantık kümelerine göre daha esnek, uygun ve etkili olduğu görülmüştür.

Tablo 5. Kendall Tau korelasyonuna dayalı sıralama performansını değerlendirmesi

Alternatifler	AT2 TOPSIS		AT2 BKT TOPSIS	
	G_i	J_i	G_i	J_i
S3	1	23	1	23
S1	23	0	23	0
S15	9	13	14	8
S2	8	13	11	10
S16	13	7	14	6
S23	18	1	17	2
S21	11	7	12	6
S11	11	6	13	4
S14	9	7	9	7
S25	12	3	5	10
S6	5	9	6	8
S18	7	6	8	5
S12	11	1	11	12
S24	2	9	0	11
S19	1	9	1	9
S20	8	1	8	1
S7	8	0	8	0
S17	4	3	3	4
S5	1	5	1	5
S22	1	4	4	4
S4	4	0	4	0
S10	2	1	2	1
S9	0	2	0	2
S8	1	0	1	0
S13				
Toplam	170	130	173	127
τ		0.1333		0.1533
z		0.9342		1.0743
Kendall Tau Katsayısı		0.8238		0.8577

Yine alternatiflerin sıralanmasında; Kendall Tau sıralama korelasyonundan yararlanılarak kural tabanlı olmayan Bulanık Tip-2 TOPSIS ve Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı TOPSIS yöntemi 25 tane hisse senetleri sıralamasına karşılaştırmalı olarak uygulanmıştır. Sonuç; Bulanık Kural Tabanlı Tip-2 TOPSIS

yönteminin kural tabanlı olmayan bulanık tip-2 topsis yöntemine göre daha başarılı olduğunu göstermiştir. Yine Bulanık Kural Tabanlı Tip-2 TOPSİS yönteminin çok kriterli karar verme problemlerini daha esnek ve zeki bir şekilde ele almanın yararlı yollarını sağlamakla kalmadığı aynı zamanda alternatiflerin seçiminde uzman bilgisini de daha doğru bir şekilde seçimin içerisine kattığı görülmüştür. Buradan görülmektedir ki; kriterlerin ve alternatiflerin çok ve belirsizliğin yoğun olduğu problemlerin çözümünde tip-2 bulanık kural tabanlı sistemlerin tip-2 bulanık kural tabanlı olmayan sistemlere göre daha etkili ve başarılı sıralama yaptığı görülmektedir.

7. Kaynaklar

- [1] Karakaşoğlu, N. (2008). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve bir uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- [2] Chen, C.T. ve Sue-Fen Huang, S.F. (2006). *Order-Fulfillment Availability Analysis In The Supply Chain System With Fuzzy Operation Times*, International Journal of Production Economics, 101, ss.185-193.
- [3] Türk, S., John, R., & Özcan, E. (2014, September). *Interval type-2 fuzzy sets in supplier selection. In Computational Intelligence (UKCI), 2014 14th UK Workshop on* (pp. 1-7). IEEE.
- [4] Wu, Z. ve Chen, Y. (2007). *The maximizing deviation method for group multiple attribute decision making under linguistic environment. Fuzzy Sets Syst.*, 158(14):1608–1617, July 2007.
- [5] Eminov M., Ballı S. (2004). *Karmaşık Problemler İçin Belirsizlik Altında Çok Kriterli Bulanık Karar Verme*, Yöneyem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Gaziantep-Adana, s. 440-443.
- [6] Pala, O. (2013). *Bulanık mantık ve çok kriterli karar verme uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [7] Paksoy, T. (2013). *Bulanık Küme Teorisi*. Nobel Yayınevi, Ankara.
- [8] Ulu, C., (2013). *Granüler tip-2 bulanık yapılar kullanılarak sistemlerin modellenmesi ve kontrolü*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Thomas, D. J. & Griffin, P. M. (1996). *Coordinated supply chain management*. European journal of operational research, 94(1), 1-15.
- [10] Şen, Z. (2004). *Fuzzy logic and system models in water sciences*. Turkish Water.
- [11] Zadeh L. A. (1975). *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I*, Inform. Sci., 8, pp. 199–249.
- [12] Karnik N. N. (1998). *Type-2 fuzzy logic systems. Ph.D. Dissertation, ProQuest Dissertations & Theses (PQDT)*.
- [13] Castillo O., Melin P. (2008). *Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Verlag Berlin Heidelberg, Springer.
- [14] Mendel J. M. (2001). *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions*. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall.
- [15] Bulut, M. (2010). *Bulanık mantık için yeni bir yaklaşım: tip-2 bulanık mantık*. e-Journal of New World Sciences Academy 5 (3), ISSN:1306-3111, pp.541-557.
- [16] Linda O., Manic M. (2011). *Interval type-2 fuzzy voter design for fault tolerant systems*. Information Sciences, 181 (14), pp. 2933–2950.
- [17] Jammeh E. A., Fleury M., Wagner C., Hagraş H., Ghanbari M. (2009). *Interval type-2 fuzzy logic congestion control for video streaming across IP networks*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 17 (5), pp.1123–1142.
- [18] Kahraman, C., Büyüközkan, G. ve Ruan, D. (2004). *A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection*, International Journal of General Systems, 33 (2–3), p.259 280.
- [19] Ayağ, Z. Ve Özdemir, R.G. (2006). *A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives*, Journal of Intelligent Manufacturing, 17, p.179-190.
- [20] Ferdinando, D. M. ve Salvatore, S. (2014). *Type-2 interval fuzzy rule-based systems in spatial analysis*. Information Sciences 279, ss. 199-212.
- [21] Qin, J., Liu, X. ve Pedrycz, W. (2016). *An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment*. PII: S03772217(16)30811 6, DOI: 10.1016/j.ejor.2016.09.059.
- [22] Keshavarz, M., Zavadskas, E. K. ve Amiri, M. (2016). *Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets*. Journal of Cleaner Production, pp. 213-229.
- [23] Heidarzade, A., Mahdavi, I. ve Amiri, N. M. (2016). *Supplier selection using a clustering method based on a new distance for interval type-2 fuzzy sets: A case study*. Applied Soft Computing, pp. 213-231.

- [24] Yaakob, A., Khalif, K., Naim, KM., Gegov, A. E., Rahman, A. And Fatimah, S. (2015). *Interval type 2-fuzzy rule based system approach for selection of alternatives using TOPSIS*. In: Proceedings of the 7th international joint conference on computational intelligence: SCITEPRESS – Science and Technology Publications, pp. 112-120. ISBN 978-989-758-157-1.
- [25] Liao, H., Xu, Z., & Zeng, X. J. (2015). *Hesitant fuzzy linguistic VIKOR method and its application in qualitative multiple criteria decision making*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 23(5), 1343-1355.
- [26] Chan, F. T. S., Kumar, N. (2007). *Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach*, Omega International Journal of Management Science, 35, p.417-431.