

ARALIK TIP-2 BULANIK KURAL TABANLI AHP YAKLAŞIMI İLE TEDARİKÇİ SEÇİMİ

Turan PAKSOY¹
Müslüm ÖZTÜRK²

ÖZET

Kriterlerin ve alternatiflerin çok ve belirsizliğin yoğun olduğu problemlerin çözümünde klasik mantık kümelerine göre, tip-2 bulanık mantık kümeleri kullanılır. Çünkü daha esnek ve başarılıdırlar. Bu nedenle, Çok Kriterli Karar Verme problemlerinin aralık 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 tabanı ile ifade edilebilir. Bu çalışmada, uzman görüşleri de dikkate alınarak uygun tedarikçi seçimi için üç kriter altında üç alternatifin sıralanması; öncelikle Kahraman ve ark. (2014) tarafından önerilen kural tabanı olmayan Aralık Tip-2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi kullanılmış, daha sonra ise alternatiflerin sıralanması bu çalışma kapsamında önerilen Aralık Tip-2 Bulanık-Kural Tabanlı Analitik Hiyerarşi Prosesi ile yapılmıştır. İki yöntem sonucunda elde edilen sıralama sonuçları üzerinde Kendall Tau Korelasyonuna dayalı Sıralama Performansı Değerlendirmesi işlemi yapılmış ve elde edilen sonuçlardan Aralık Tip-2 Bulanık-Kural Tabanlı Analitik Hiyerarşi Prosesi ile yapılan sıralama performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan uygulama çalışması sonucunda, uygulanan Aralık Tip-2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yönteminin, firmalar için tedarikçi seçiminde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aralık Tip-2 Bulanık Mantık, Tedarik Zinciri Yönetimi, Tedarikçi Seçimi, Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı AHP.

¹ **Turan PAKSOY**, Prof. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. ORCID: 0000-0001-8051-8560

² **Müslüm ÖZTÜRK**, Öğr. Gör., Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü. ORCID: 0000-0003-1941-3115

* Makale Gönderim Tarihi: 07.05.2018 Kabul Tarihi: 14.09.2018

SUPPLIER SELECTION WITH INTERVAL TYPE-2 FUZZY RULE-BASED AHP APPROACH

ABSTRACT

The use of type-2 fuzzy logic sets is more flexible and successful than the classical logic sets in solving problems where the criteria and alternatives are large and the uncertainty is high. For this reason, integrating MCDM (multi criteria decision-making) 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. The ranking of three alternatives under three criteria for the selection of appropriate suppliers is used in this study on account of expert opinions. Primarily, the interval fuzzy type-2 Analytical Hierarchy Process method, which has no rule base and recommended by Kahraman et al. (2014) is used. Then the alternatives are ranked by the Interval Type-2 Fuzzy-Rule Based Analytical Hierarchy Process as recommended in the context of this study. The ranking performance evaluation based on the Kendall Tau correlation is made for the ranking results that were obtained by the two methods. It is seen that the ranking performance with Interval Type-2 Fuzzy-Rule Based Analytical Hierarchy Process is higher. Moreover, application, it is revealed that the applied interval fuzzy type-2 Analytical Hierarchy Process method can be used in the selection of suppliers for the firms.

Keywords: *Interval Type-2 Fuzzy Logic, Supply Chain Management, Supplier Selection, Interval Type-2 Fuzzy Rule Based AHP.*

1. GİRİŞ

Hergündahada artan rekabet ortamında işletmeler varlıklarını sürdürebilmek için, en iyi kalitedeki ürünü en uygun maliyet ile tedarik edip hızlı bir şekilde müşterilerine sunmak durumundadırlar (Karakışoğlu, 2008). İşletmeler; rekabetin ve işbirliğinin küreselleşmesi, müşteri isteklerinin çeşitlenmesi ve ürün hayat döngülerinin kısılması gibi rekabetçi pazar baskılarıyla karşı karşıya olmalarından dolayı yönetim stratejilerini belirlemek ve rekabet avantajlarını sürdürmek için etkili metotlar bulma arayışındadırlar. Her bir firmanın yönetsel yeteneği tedarik zinciri üyeleri arasındaki karmaşık işletme ilişkilerinin koordinasyonuna ve bütünleştirilmesine bağlıdır (Chen ve Huang, 2006).

Bir tedarik zinciri ağında, tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi, karar verme sürecinde yer alan çeşitli çelişkili, ölçülebilir, sıralı ve temel faktörlerle olan yüksek komplikasyonlardan dolayı tasarlanmış bir görevdir (Yazdani ve diğerleri, 2016). Kuruluşlar, avantaj elde etmek için tedarik zinciri ağında 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 (Rezaei ve diğerleri, 2014). 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 (Yazdani ve diğerleri, 2017). Tedarikçinin seçilmesinin ana hedefleri, alıcı ile tedarikçi arasındaki uzun vadeli bir ilişki sağlamak, satın alma ve gelistirme riskini azaltmaktır (Omurca, 2013).

Tedarikçi seçimi, güvenilir tedarikçileri seçmek için kalitatif ve kantitatif faktörleri birlikte göz önünde bulunduran karmaşık, çok kriterli bir karar verme sürecidir [Guo ve Le, Kannan ve ark., Önüt ve ark., Sanayei ve ark.]. Bu karmaşıklık, belirsiz ve kontrolsüz faktörlerden kaynaklanır ve bunlar belirsiz ve birbirleriyle çelişebilir (Sanayei ve ark., 2008; Kilic, 2013). Tedarikçi seçimi, literatürde birçok yöntemle değerlendirilmiş ve değerlendirmeye devam etmektedir (Çalık ve Paksoy, 2017). Bölüm 2'de ifade edildiği gibi yapılan birçok araştırmada görülmüştür ki; firmaların tedarikçi seçimi için genellikle kesin veya tip-1 bulanık sayıları tercih ettiği görülmüştür. Tip-1 bulanık kümeler, belirsizliği ele almada başarılı olmasına rağmen bazı eksiklikleri vardır. Tip-2 bulanık kümeler, belirsizliklerin yoğun olduğu ortamlarda Tip-1 bulanık kümelere göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Tip-2 bulanık kümelerin temel özelliği, belirsizlikleri Tip-1 bulanık kümelere göre daha verimli bir şekilde ele alabilmesidir. Bu da ancak daha fazla sayıda parametre ve daha fazla serbestlik derecesinin Tip-2 bulanık kümelerle mevcut olmasıyla mümkündür. Bu nedenle bu çalışmada Aralık Tip-2

Bulanık Kümeler kullanılmış ve karar vericilerin belirsizlikleri daha iyi ifade etmesi amaçlanmıştır.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) son zamanlarda optimizasyon problemlerinde (Shidpour ve diğerleri 2013) (Awasthi ve ark., 2011) ve (Şengül ve ark., 2015) büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmanın amacı da karar alıcıların aralık tip-2 bulanık çevrede bulanık kural tabanlı kümeleri tedarikçi seçimi problemlerine entegre etmelerine yardımcı olmak için ÇKKV'ye dayalı bir karar verme aracı geliştirmek ve bir tedarikçi seçim problemlerine uygulamaktır.

Çalışmanın sunum planı şöyledir: Bölüm 2'de, literatür taraması ve literatür araştırma bulguları açıklanmıştır. Bölüm 3'te önerilen model ve benimsenen çözüm yaklaşımı tanımlanmaktadır. Bölüm 4'te tedarikçi seçimi problemi için bir uygulama çalışması yapılmış ve uygulama çalışmasına dayalı sayısal verilere yer verilmiştir. Bölüm 5'de uygulama sonuçlarının analizine yer verilmiştir. Bölüm 6 ise araştırmanın sonuçları üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu çalışmada literatür incelemesi iki kategoriye ayrılmıştır. Birinci kategoride tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi seçimi problemi konusu, ikinci kategoride ise Tip-2 Bulanık Kümeleri ve Bulanık Kural Tabanlı Sistemleri açıklanmıştır.

2.1. Tedarikçi Zinciri Yönetimi ve Tedarikçi Seçimi Problemi

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 (Thomas ve Griffin, 1996). Bu nedenle, tüm şirketlerin, bir ürünün verimli bir şekilde tedarik edilmesi için az sayıda güvenilir tedarikçiye sahip olması çok önemlidir (Türk ve ark., 2014).

Tedarikçi seçimi, bakım maliyeti ve benzeri operasyonel maliyetleri düşürerek, yüksek kaliteli ürünler sunarak, toplam tedarik zinciri performansını ve toplam tedarik zinciri kârını genişleterek rekabetçi stratejiyi ve küresel pazar payını arttırmaya katkıda bulunduğu için satın alma işlevinin en önemli ve ön planda olduğu bir faaliyettir (Hamdan ve Cheaitou, 2017).

Yazdani ve ark. 2017'de yaptıkları çalışmada tedarikçi seçimi problemi için tüketici taleplerini de dikkate alan bir yaklaşım benimseyerek yedi

kriter altında on tane tedarikçinin sıralamasını yaparak ÇKKV metodlarının yanında tüketici taleplerini de işin içine katarak birleşik QFD-MCDM (Quality Function Deployment (Kalite İşlev Dağıtımı)-Multi Criteria Decision Maker (Çok Kriterli Karar Verme)) Karma Modelini uygulamışlardır. Hamdan ve Cheaitou (2017)'de yaptıkları bir araştırmada ÇKKV Yöntemlerinden BAHP ve Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution-Benzer İdeal Çözüm İçin Sipariş Tercihi Tekniği) Yöntemlerini birlikte kullanarak belirlenen yeşil ve geleneksel kriterler altında tedarikçi seçimi yapan bir yaklaşım uygulamışlardır. Kahraman ve ark. 2014'te yaptıkları bir çalışmada dört kriter altında tedarikçi seçimi probleminde Bulanık AHP ve Aralık Tip-2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AT2 BAHP) Yöntemini uygulamıştır. Sonuçta belirsizliği ifade etmede daha güçlü olan Aralık Tip-2 Bulanık Kümelerin tedarikçi seçiminde daha başarılı olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada Aralık Tip-2 Bulanık Değerlerin yanında uzman görüşlerinin de dikkate alındığı Bulanık Kural Tabanlı olarak işleyen bir Tedarikçi Seçim Problemi ele alınmıştır.

2.2. Genel Tip-2 Bulanık Kümeler, Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler ve Bulanık Kural Tabanlı Sistemler

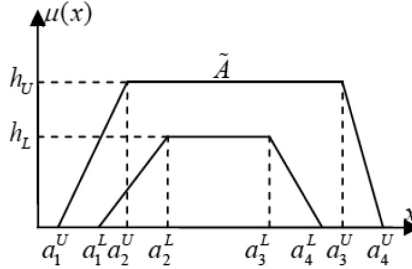
Tip-2 Bulanık Küme kavramı ilk olarak Zadeh tarafından 1975 yılında ortaya atılmış olmasına karşın 1990'lara kadar literatürde Tip-2 Bulanık Mantıkla ilgili çok fazla çalışma yer almamıştır. 1998 yılında N. N. Karnik'in doktora çalışması ile Tip-2 Bulanık Mantık Teorisi oldukça geliştirilmiş ve uygulanabilir hale gelmiştir (Karnik, 1998). Bu çalışmayla birlikte Tip-2 Bulanık Mantık üzerine yapılan çalışmalar büyük ivme kazanmış ve Tip-2 Bulanık Mantık günümüzde birçok çalışma alanında kendisine yer bulmuştur (Ulu, 2013). Çünkü Tip-1 Bulanık Mantık Sistemlerinde belirsizliklerin temel kaynakları:

- Kurullarda kullanılan kelimelerin anlamları belirsiz olabilir (kelimeler farklı kişilere göre farklı anlamlardadır),
- Bilgi aynı düşüncede olmayan uzmanlardan elde edilebilir,
- Tip-1 Bulanık Mantık Sistemlerinde aktif eden ölçümler gürültülü olabilir,
- Tip-1 Bulanık Mantık Sistemlerinin parametrelerini ayarlamak için kullanılan veri de gürültülü olabilir.

Bu belirsizliklerin tamamı bulanık küme üyelik fonksiyonları hakkında belirsizliklere dönüşür. Tip-1 Bulanık Kümeler bu belirsizlikleri direkt olarak modelleyemezler, çünkü onların üyelik fonksiyonları tamamen keskindir. Tip-2 Bulanık Kümeler bu belirsizlikleri modelleyebilirler, çünkü onların üyelik fonksiyonlarının kendisi bulanıktır. Tip-2 Bulanık Kümelerin üyelik fonksiyonları üç boyutludur. Model belirsizliklerini direkt olarak mümkün kılan ilave, serbestlik dereceleri sağlaması Tip-2 Bulanık Kümelerin yeni

üçüncü boyuttur (Karaköse ve Akın, 2013).

Bir Aralık Tip-2 Yamuk Bulanık Küme Fonksiyonu şekil 1’de görüldüğü gibi gösterilir:



Şekil 1. Aralık Tip-2 Bulanık Bir Kümenin Alt ve Üst Üyelik Fonksiyonu

ve burada Bir Yamuk Tip-2 Bulanık Bir Üyelik Fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

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

Bu konuda yapılan çalışmalar aşağıda özet halinde verilmiştir.

Çalık ve Paksoy 2017’de yaptıkları çalışmada Aralık Tip-2 Bulanık Mantık Kümelerini kullanarak Üçüncü Parti Tersine Lojistik (3PTL) Firma Seçimi probleminde uygulamışlardır. Çalışmada, en iyi 3PTL firma seçimi için yedi kriter ve üç alternatif ile AT2 BAHF Yöntemi kullanılmıştır. Yaakob ve Khalif 2015’de yaptıkları çalışmada geliştirdikleri Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı TOPSIS Modelini bir stok seçimi probleminde uygulamışlardır. 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. Di Martino ve Sessa 2014’te yaptıkları bir çalışmada coğrafi bilgi sistemlerinde mekânsal analizi yapmak için Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı Bir Sistem Tasarımı önermişlerdir. Çalışma kapsamında Mekansal Analiz Problemi önerilen Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı Bir Sistem ve Mamdani tipi Tip-1 Bulanık Kural Tabanlı Sistem ile test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçta Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemin kullanımının, Tip-1 Bulanık Kural Tabanlı Sistemlere göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. 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 Mekansal Analiz Problemlerinde Tip-2 Bulanık-Kural Tabanlı

Sistemlerin kullanılmasının Tip-1 Bulanık Sistemlere göre daha güçlü ve etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Keshavarz ve ark., 2016'da Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler ile genişletilmiş bir WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product ASsessment - Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi) Metodu kullanarak gerçekleştirdikleri Yeşil Tedarikçi Seçiminin Çok Kriterli Olarak Değerlendirilmesi adlı çalışmada; Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde Aralık Tip-2 Bulanık Kümelerin kullanımının belirsizliğini 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 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 ağırlık değerleri ile birleştirilmiştir. Böylece öznel ve nesnel ağırlık değerleri birleştirilerek geliştirilmiş olan bu yöntemin yeşil tedarikçi seçiminde istikrarı arttırdığını ve diğer çalışmalarla da uyumlu olduğu gösterilmiştir. Liao ve ark. 2015'de Aralık Tip-2 Dilsel Etiketler ile genişletilmiş bir VIKOR Metodu kullanarak 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 sunmuşlardır. Önerilen Aralık Tip-2 VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje - Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) 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 etkilidir. 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.

3. ÖNERİLEN ARALIK TİP-2 BULANIK-KURAL TABANLI AHP (AT2 BKT AHP) YÖNTEMİ

Kahraman ve ark. 2014'te yaptıkları çalışmada, Buckley'in 1985 yılında önermiş olduğu Tip-1 Bulanık Kümelere dayalı AHP Yöntemini geliştirerek AT2 BAHP Yöntemi olarak uygulamışlardır. Bu yöntem, bu çalışma kapsamında geliştirilerek 11 adımdan oluşan Aralık Tip-2 Bulanık-Kural Tabanlı Analitik Hiyerarşi Prosesi (AT2 BKT AHP) Yöntemi olarak sunulmuştur. Ayrıca önerilen yöntem, uzman görüşlerini de seçimin içerisine kattığı, yine

uzmanlar tarafından belirlenen kriterlerin her bir uzman görüşüne göre bağımsız bir şekilde değerlendirildiği ve alternatiflerin seçiminin her bir kriter altında bağımsız bir şekilde uzman görüşlerine göre değerlendirildiği için bu çalışma kapsamında ÇKKV yöntemlerinden AHP Yönteminin kullanılması benimsenmiştir. Önerilen yöntemin uygulanması 11 adımdan oluşmakta olup bu adımlar aşağıda açıklanmıştır:

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 arasında bulanık ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. İkili karşılaştırma matrisini oluşturmak için uzman dilsel değişkenleri kullanılır. Oluşturulan üç uzman komiteden yararlanılarak dilsel değişkenler ve bunların Aralık Tip-2 Bulanık Ölçekleri Çizelge 1'de verilmiştir. Dilsel değişkenlerin kullanılması ile Eşitlik (1)'deki gibi Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri oluşturulur. Çizelge 2'de alternatiflerin seviyeleri için dilsel etiketler ve bunların Aralık Tip-2 Bulanık Ölçekleri yer almaktadır. Çizelge 3'te ise bütün alternatiflerin derecelendirilmesi için dilsel etiketler ve bunların Aralık Tip-2 Bulanık Ölçekleri yer almaktadır.

Çizelge 1. Dilsel Değişkenlerin Aralık Tip-2 Bulanık Ölçekleri

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, i ile karşılaştığında karşıt (çarpımsal tersi) değeri alır (Bakınız Eşitlik 1).

Çizelge 2. Alternatiflerin Seviyeleri İçin Dilsel Etiketler

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)

Çizelge 3. Bütün Alternatiflerin Derecelendirilmesi İçin Dilsel Etiketler

Dilsel Etiketler	Yamuk Tip-2 Bulanık
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 0, 0, 1; 1, 1) (0, 0, 0, 0, 1; 1, 1)
Kötü (K)	(0, 0, 1, 0, 1, 0, 3; 1, 1) (0, 0, 1, 0, 1, 0, 3; 1, 1)
Orta Kötü (OK)	(0, 1, 0, 3, 0, 3, 0, 5; 1, 1) (0, 1, 0, 3, 0, 3, 0, 5; 1, 1)
Orta (O)	(0, 3, 0, 5, 0, 5, 0, 7; 1, 1) (0, 3, 0, 5, 0, 5, 0, 7; 1, 1)
Orta İyi (Öİ)	(0, 5, 0, 7, 0, 7, 0, 9; 1, 1) (0, 5, 0, 7, 0, 7, 0, 9; 1, 1)
İyi (İ)	(0, 7, 0, 9, 0, 9, 1; 1, 1) (0, 7, 0, 9, 0, 9, 1; 1, 1)
Çok İyi (Çİ)	(0, 9, 1, 1, 1; 1, 1) (0, 9, 1, 1, 1; 1, 1)

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

Burada $1/\tilde{a} = \left(\left(\frac{1}{a_{14}^U}, \frac{1}{a_{13}^U}, \frac{1}{a_{12}^U}, \frac{1}{a_{12}^U}; H_1(a_{12}^U), H_2(a_{13}^U) \right), \left(\frac{1}{a_{24}^L}, \frac{1}{a_{23}^L}, \frac{1}{a_{22}^L}, \frac{1}{a_{22}^L}; H_1(a_{22}^L), H_2(a_{23}^L) \right) \right)$ dir.

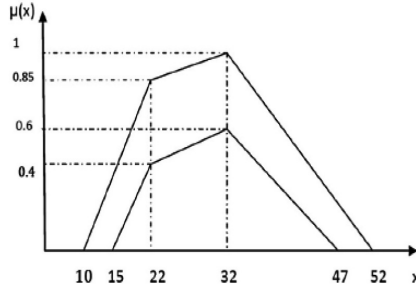
Adım 4: Bulanık İkili Karşılaştırma Matrislerinin tutarlılığı incelenir. Bu amaçla Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri durulaştırılır ve tutarlılık incelenir. Bulanık Çift Karşılaştırma Matrislerinin tutarlılığını kontrol etmek için önerilen DTrAT (Yamuk bulanık sayılar için) yaklaşımı kullanılır.

Önerilen Defuzzified Trapezoidal Type-2 Fuzzy Set-Durulaştırılmış Yamuk Tip-2 Bulanık Küme (DTrAT) yaklaşımı aşağıda sunulmuştur:

$$DTrAT = \frac{\frac{(u_U - l_U) + (\beta_U \cdot m_{1U} - l_U) + (\alpha_U \cdot m_{2U} - l_U)}{4} + l_U + \frac{(u_L - l_L) + (\beta_L \cdot m_{1L} - l_L) + (\alpha_L \cdot m_{2L} - l_L)}{4}}{2}$$

Burada α ve β önerilen tip-2 bulanık kümenin alt üyelik fonksiyonunun en yüksek üyelik derecesidir; u_U , üst üyelik fonksiyonunun en büyük değeridir; l_U , üst üyelik fonksiyonunun en düşük değeridir; m_{1U} and m_{2U} üst üyelik fonksiyonunun ikinci ve üçüncü parametreleridir; u_L , alt üyelik fonksiyonunun en büyük değeridir; l_L , alt üyelik fonksiyonunun en düşük değeridir; m_{1L} and m_{2L} alt üyelik fonksiyonunun ikinci ve üçüncü parametreleridir. Şekil 2'den yararlanılarak DtraT Yöntemiyle durulaştırılmış örnek bir değer aşağıda gösterilmiştir.

$$DTraT = \frac{\frac{(52-10)+(0,85 \times 22-10)+(32-10)}{4} + 10 + \frac{(47-15)+(0,4 \times 22-15)+(0,6 \times 32-15)}{4}}{2} = 25,34$$



Şekil 2. Tip-2 Yamuk Bulanık Bir Kümenin Gösterimi

Adım 5: Uzmanların görüşleri geometrik ortalama kullanılarak toplanılır. Her bir satırın geometrik ortalaması \tilde{r}_i aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tilde{r}_i = [\tilde{a}_{1n} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{1/n} \quad (2)$$

Burada;

$$\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij}} = \left(\left(\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^u}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^u}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^u}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^u}; H_1^u(a_{ij}), H_2^u(a_{ij}) \right), \left(\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^l}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^l}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^l}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^l}; H_1^l(a_{ij}), H_2^l(a_{ij}) \right) \right) \quad (3)$$

Burada; \otimes , tip-2 bulanık sayılar üzerinde çarpma işlemini ifade etmektedir.

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 hesaplanır:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \quad (4)$$

Burada;

$$\frac{\tilde{a}_{ij}}{\tilde{b}_{ij}} = \left(\frac{a_1^u}{b_4^u}, \frac{a_2^u}{b_3^u}, \frac{a_3^u}{b_2^u}, \frac{a_4^u}{b_1^u}; \min(H_1^u(a), H_1^u(b)), \min(H_2^u(a), H_2^u(b)) \right), \left(\frac{a_1^l}{b_4^l}, \frac{a_2^l}{b_3^l}, \frac{a_3^l}{b_2^l}, \frac{a_4^l}{b_1^l}; \min(H_1^l(a), H_1^l(b)), \min(H_2^l(a), H_2^l(b)) \right) \quad (5)$$

Burada; \oplus , tip-2 bulanık sayılar üzerinde toplama işlemini ifade etmektedir.

Adım 7: Her alternatifin bulanık performans puanları hesaplanır.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}, \quad \forall i. \quad (6)$$

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.

Adım 8: Alternatiflerin performans seviyesini belirlemek için Aralık Tip-2 Bulanık Sayılar durulaştırılarak her alternatif A_i 'nin yakınlık göreceli derecesi (CC_i) eşitlenir. Bu hesaplama için Kahraman vd. (2014) tarafından önerilen Durulaştırma Yöntemi (DTraT) kullanılmıştır. Aynı şekilde diğer tüm alternatifler için benzer prosedür (yol) izlenir.

$$DTraT = \frac{\frac{(u_U-l_U)+(\beta_U.m_{1U}-l_U)+(\alpha_U.m_{2U}-l_U)}{4} + l_U + \frac{(u_L-l_L)+(\beta_L.m_{1L}-l_L)+(\alpha_L.m_{2L}-l_L)}{4}}{2} = CC_i \quad (7)$$

Adım 9: Her alternatifin Yakınlık Katsayısı Etkisi (ICC_i);

Bu aşamada öncelikli olarak her karar vericinin etki derecesi (σ_K) Eşitlik (8) kullanılarak belirlenmelidir.

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

Burada; σ_K K^{th} karar yapıcısı için normalize edilmiş etki değerini temsil etmektedir. θ_i karar yapıcısının 0 (önemsiz) ve 10 (çok önemli) arasındaki önem derecesidir. m ise değerlendirme komitesinde yer alan uzman sayısıdır. Ondan sonra,

$$ICC_i = \sigma_K * CC_i \quad (9)$$

Ve ICC_i değişen değerinin 0 ile 1 arasındaki değerini garantiye almak için ICC_i ($NICC_i$) ifadesini Eşitlik (10)'da görüldüğü gibi normalize etmek gereklidir.

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

Adım 10: Öncül (Λ) ve Sonuç (X) Matrisleri

Bir Öncül Matrisi Eşitlik (11)'de görüldüğü gibi hesaplanır.

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

Burada; X_{mn} kriterlere göre her alternatifin karar yapıcının görüşünü temsil eden dilsel etiketlerdir. İlk önce karar yapıcıları tarafından tanımlanmış olan her alternatif için Adım 9'da bir değer elde edilir. Bu değer Çizelge 2'de daha yüksek üyelikli bulanık kümeye göre alternatif sonuçlarını belirlemek için kullanılır. Ondand sonra sonuçların matrisi Eşitlik (12)'de görüldüğü şekilde tanımlanır.

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

Burada; $Y_{m'}$, Eşitlik (10)'da değerini bulduğumuz alternatifin önem seviyesinin Çizelge 2'ye dayalı sistem çıkışını gösteren bir dilsel terime dayalı bir ifadedir. Bu nedenle Eşitlik (11) ve Eşitlik (12)'de öncül ve sonuç matrisleri If-Then (Eğer-İse) kuralları aşağıdaki gibi yazılabilir:

Eğer $C_1=X_{11}$ **ve** $C_2=X_{12}$ **ve....ve** $C_{1n}=X_{1n}$ **ise o halde** $A_1=Y_1$

Eğer $C_1=X_{21}$ **ve** $C_2=X_{22}$ **ve....ve** $C_{2n}=X_{2n}$ **ise o halde** $A_1=Y_2$

·

·

·

Eğer $C_1=X_{m1}$ **ve** $C_2=X_{m2}$ **ve....ve** $C_{mn}=X_{mn}$ **ise o halde** $A_1=Y_m$

Burada; C_1, C_2, \dots, C_{mn} =Kriter1, Kriter2,..., Kriter(mn); A_1, A_2 =Alternatif1, Alternatif2...vs. ifade etmektedir.

Adım 11: Her alternatif için final skoru (Γ) Eşitlik (13)'de verilmiştir.

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

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

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

Burada; $\alpha_{ij} \in Y_j$ çıkışın maksimum üyelik derecesidir. Bizde bu örnekte daha iyi bir sıralama elde etmek için AT2 BKT AHP 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 (15)'de verilmiştir.

$$\Omega = \frac{\sum_{i=1}^K \text{NICC}_i}{K} \quad (15)$$

λ ve Ω değerleri hesaplandıktan sonra Eşitlik (13) kullanılarak her alternatif için final skoru olan (Γ) değeri hesaplanır. Daha sonra Γ 'nın değerinden, tüm alternatiflerin sıralaması sırası tespit edilebilir. Burada; Γ 'nın daha yüksek değerine sahip olan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

4. ÖNERİLEN YÖNTEMİN UYGULANMASI

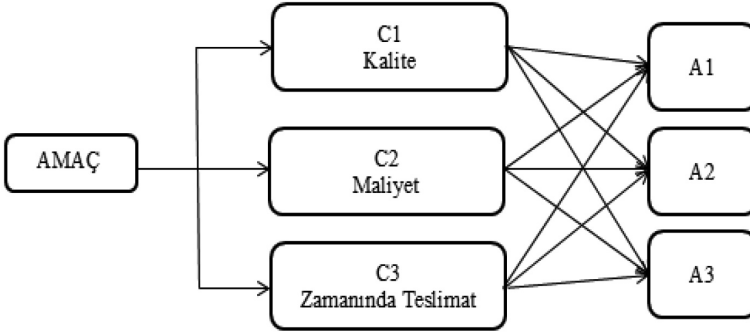
Bu bölümde aşamaları yukarıda verilen yöntem bir tedarikçi seçim problemine uygulanmıştır. Uygulama süreci üç aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada birbirinden bağımsız görev yapan üç uzmandan probleme ait birbirinden bağımsız üç kriter ve üç alternatif belirlenmiştir. Daha sonra problemi ele alabilmek için uzmanlardan oluşan komite oluşturulmuş ve değerlendirme süreci başlatılmıştır. İkinci aşamada problemin amacına uygun olarak, kriterler ve alternatifler uzmanlarca değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise uzmanların değerlendirmeleri doğrultusunda önerilen yöntemin sonucu ele alınan alternatiflerin sıralanması yapılmıştır.

4.1. Karar Modeli

Bir şirket yöneticisinin kendileri için en uygun tedarikçi firmaları belirlemek istediğini varsayalım. Öncelikle, üç yöneticiden (bir üretim müdürü, bir kalite müdürü ve bir akademisyen) oluşan bir komite oluşturulmuştur. Daha sonra önerilen yöntemin tedarikçi firma seçiminde uygulanabilirliğini göstermek için değerlendirme kriteri olarak birbirinden bağımsız üç kriter (Kalite, Maliyet, Zamanında Teslimat) literatür taraması ve komite görüşlerince belirlenmiştir. Çizelge 4'te ele alınan 3 kriterin açıklamaları verilmiştir. Sonuç olarak Şekil 3'te hiyerarşik yapısı verilen Üç Seviyeli Karar Problemi oluşturulmuştur.

Çizelge 4. Tedarikçi Firma Seçimi İçin Kullanılan Kriterler ve Açıklamaları

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 üretilebilmesi için gerekli olan girdilere yapılan ödemelerin toplamını ifade eder.



Şekil 3. Karar Probleminin Hiyerarşik Yapısı

4.2. Önerilen AT2 BKT AHP Yönteminin Uygulanması

Bu bölümde önerilen yöntemin tedarikçi firma seçiminde uygulanabilirliği adım adım gösterilmiştir. Karar probleminin amacı, üç kriteri dikkate alarak üç tedarikçi firmasından en iyisinin seçilmesidir. Problemin ilk aşamasında oluşturulan uzman komite ile değerlendirme süreci başlatılmış ve problemin kriterleri ve alternatifleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, öncelikle kriterlerin ikili karşılaştırılması yapılmış daha sonra ise her bir kriter altında alternatiflerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Toplamda kriterlerin karşılaştırılması için bir matris, her bir kritere göre alternatiflerin karşılaştırılması için 3 tane karşılaştırılma matrisi ve alternatiflerin uzman değerlendirmelerine göre de bir karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Yine üç farklı uzman Çizelge 1’de verilen Dilsel Değişkenler Ölçeğini kullanarak üç kriter için Çizelge 5’te verilen ikili karşılaştırmaları elde etmiştir. Her bir alternatifin kriterlere göre ikili karşılaştırmalarını yapabilmek için uzmanlar tarafından Çizelge 6’da verilen ikili karşılaştırmalar elde edilmiştir. Yine alternatifler için üç farklı karar verici uzman bilgisi puanları [0 (önemsiz) ve 10 (çok önemli)] için Çizelge 7 oluşturulmuştur. Önerilen yöntemin, ele alınan tedarikçi seçimi problemine uygulanmasının adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Problemin tanımının ve amacının belirlenmesi:

Bu uygulamada önerilen yöntem kullanılarak 3 tedarikçi firma sıralaması yapılmıştır.

Adım 2: Probleme ait kriterler ve alternatiflerin belirlenmesi:

Probleme ait üç kriter ve üç alternatif (tedarikçi) belirlenmiştir.

Adım 3: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması:

Üç farklı uzman, Çizelge 1’de verilen Dilsel Değişkenler Ölçeğini kullanarak üç kriter için Çizelge 5’te verilen ikili karşılaştırmaları elde etmiştir. Her bir

alternatifin kriterlere göre ikili karşılaştırmalarını yapabilmek için uzmanlar tarafından Çizelge 6'da verilen ikili karşılaştırmalar elde edilmiştir. Yine alternatifler için üç farklı karar verici uzman bilgisi puanları [0 (önemsiz) ve 10 (çok önemli)] için Çizelge 7 oluşturulmuştur.

Çizelge 5. Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

	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

Çizelge 6. Alternatifler İçin İkili Karşılaştırma Matrisleri

	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'ye 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

Çizelge 7. Alternatifler İçin Karar Verici Uzman Değerlendirmesi [0 (Önemsiz)--->10 (Çok Önemli)]

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

Adım 4: Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık kontrolü:

Kahraman ve ark. (2014) tarafından önerilen DTrat Yöntemi kullanılarak Çizelge 8 ve Çizelge 9'daki Durulaştırılmış Değerler elde edilir.

Çizelge 8. Kriterler İçin Durulaştırılmış İkili Karşılaştırma Matrisi

	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

Çizelge 9. Alternatifler İçin Durulaştırılmış İkili Karşılaştırma Matrisleri

	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'ye 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

Elde edilen İkili Karşılaştırma Matrislerinin tutarlılığı incelenmiş ve Tutarlılık Oranlarının 0,1'den küçük olduğu bulunmuştur.

Adım 5: Geometrik ortalama olan \tilde{r}_i değerlerinin 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 değerlendirmesi, üç uzmana göre sırasıyla OG, ÇAG ve ÇG olarak elde edilmiştir. Üç uzmanın değerlendirmeleri Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) kullanılarak toplanmış ve aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} & \tilde{a}_{31} \\ & = \sqrt[3]{(3, 4, 6, 4; 1, 1)(3, 2, 4, 2, 5, 8, 6, 8; 0, 8, 0, 8) \otimes (1, 2, 4, 5; 1, 1)(1, 2, 2, 2, 3, 8, 4, 8; 0, 8, 0, 8) \otimes (5, 6, 8, 9; 1, 1)(5, 2, 6, 2, 7, 8, 8, 8; 0, 8, 0, 8)} \\ & = (2, 466, 3, 634, 5, 768, 6, 804; 1, 1)(2, 712, 3, 854, 5, 560, 6, 597; 0, 8, 0, 8) \end{aligned}$$

Uzmanların değerlendirmeleri aynı hesaplamalar ile yapılmış ve C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirmesi için aşağıda Çizelge 10 oluşturulmuştur.

Çizelge 10. C1 Kriterine Göre Alternatiflerin Değerlendirmesi

	A1	A2	A3
A1	(1, 1, 1, 1; 1, 1) (1, 1, 1, 1; 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)
A2	(2,080, 3,175, 5,241, 6,257; 1, 1) (2,308, 3,386, 5,037, 6,055; 0,8, 0,8)	(1, 1, 1, 1; 1, 1) (1, 1, 1, 1; 1, 1)	(0,585, 0,630, 0,794, 1; 1, 1) (0,593, 0,641, 0,769, 0,941; 0,8, 0,8)
A3	(2,466, 3,634, 5,769, 6,804; 1, 1) (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)

Daha sonra her bir İkili Karşılaştırma Matrisi için her satırın geometrik ortalaması alınmıştır. Örnek kabul edilen C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için bu değerler Eşitlik (2) kullanılarak aşağıdaki gibi hesap edilmiştir.

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

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

Diğer iki alternatif içinde benzer hesaplamalar yapıldıktan sonra C1 kriterine göre elde edilen \tilde{r}_i değerleri Çizelge 11'de gösterilmiştir.

Çizelge 11. C1 Kriterine Göre Elde Edilen \tilde{r}_i Değerleri

	\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 Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır.

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

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

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

$$=(0,286, 0,320, 0,442, 0,466; 1, 1)(0,292, 0,329, 0,424, 0,542; 0,8, 0,8) \otimes (0,218, 0,241, 0,308, 0,369; 1, 1)(0,219, 0,246, 0,299, 0,353; 0,8, 0,8)$$

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

C1 kriteri için benzer işlemler diğer alternatifler için de yapıldıktan sonra elde edilen \tilde{w}_i değerleri Çizelge 12'de verilmiştir.

Çizelge 12. C1 Kriterine Göre Elde Edilen \tilde{w}_i Değerleri

\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 aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 13. Kriterler Altında Alternatiflerin Öncelik Değerleri

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)

Çizelge 14. Amaç Altında Kriterlerin Öncelik Değerleri

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, Eşitlik (6) kullanılarak her bir alternatifin öncelik değeri ile ilgili kriterin ağırlıklarının çarpılması ile bulunur. Çizelge 13 ve Çizelge 14’te elde edilen ağırlıkların kullanılması ile alternatiflerin yerel ağırlık değerleri Çizelge 15’teki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 15. Alternatiflerin Yerel Ağırlık Değerleri

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, 0,16300; 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)

Adım 8: Alternatiflerin Son (Global) Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması:

Daha sonra Eşitlik (6) kullanılarak her alternatifin son (global) ağırlık değerleri ile Eşitlik (7) kullanılarak her alternatifin yakınlık göreceli derecesi olan (CC_i) değerleri Çizelge 16’da görüldüğü gibi hesaplanır.

Çizelge 16. Alternatiflerin Son (Global) Ağırlık Değerleri

Son Ağırlık Değerleri			
	Aralık Tip-2 Global Ağırlıklar	Duruşturulmuş 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

Adım 9: Her alternatifin Yakınlık Katsayı Etkisi (ICC_i) değerinin hesaplanması:

Çizelge 7’deki bilgiler kullanılarak Eşitlik (8)’den alternatifler için her karar vericinin etki değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_1 = \frac{8}{8 + 10 + 10} = 0,285$$

$$\sigma_2 = \frac{10}{10 + 8 + 9} = 0,370$$

$$\sigma_3 = \frac{7}{7 + 10 + 10} = 0,259$$

Daha sonra Eşitlik (9) kullanılarak A1, A2 ve A3 alternatifleri için yakınlık katsayısı etkisi (ICC_i) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$ICC_1 = \sigma K * CC_1 = 0,285 \times 0,507 = 0,144$$

$$ICC_2 = \sigma K * CC_2 = 0,370 \times 0,411 = 0,152$$

$$ICC_3 = \sigma K * CC_3 = 0,259 \times 0,383 = 0,100$$

Daha sonra her alternatif için hesaplanan yakınlık katsayısı etkisi Çizelge 3'te yer alan dilsel etiketlere eşleştirilmeden önce normalleştirilmelidir. Bu çalışmada örnek olarak; incelenen 3 tedarikçi alternatifimiz için hesaplanan $ICC_1 = 0,152$ maksimum değer olduğuna göre; Eşitlik (10) kullanılarak her alternatif için yakınlık derecesi etkisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$NICC_1 = 0,144 / 0,152 = 0,947$$

$$NICC_2 = 0,152 / 0,152 = 1$$

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

Adım 10: Öncül (A) ve Sonuç (X) Matrisleri:

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

$$\text{If } \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ R_m \end{matrix} \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{mn} \end{bmatrix} \text{Then } \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_m \end{bmatrix}$$

Burada bir kural aşağıda gösterilen bir formata sahiptir.

If $X_{11} = \text{ÇG}$ **And** $X_{12} = \text{ÇG}$ **And** $X_{13} = \text{ÇG}$ **And** $X_{14} = \text{ÇG}$ **And** **And** $X_{1n} = \text{ÇG}$ **Then** $Y_1 = \text{Çİ}$ 'dir.

Şimdi, $NICC_1$ 'nin değeri Çizelge 2 içinde yer alan alternatifler için dilsel etiketlere eşleşmesi yapılabilir. Örneğin $NICC_1 = 0,95$ ise ondan sonra Y_1 Çizelge 2'de Çİ (Çok İyi) Aralık Tip-2 Bulanık Kümeye ait olur. Aynı şekilde $NICC_2 = 1$ ile Çİ (Çok İyi) ve $NICC_3 = 0,657$ ile İ (İyi) Aralık Tip-2 Bulanık Kümeye ait olurlar.

Adım 11: Her alternatif için Final Skoru (Γ):

Eşitlik (13) kullanılarak her alternatif için final skoru (Γ) hesaplanır. S1 alternatifi için üç karar vericiden (EK 1'den yararlanarak) üç kural R1, R2, R3 işlediğini varsayarsak; S1 alternatifi için final skoru (Γ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

R1: **If** C1=Çİ **And** C2=Çİ **And** C3=G **Then** S1=Çİ

R2: **If** C1=Çİ **And** C2=Çİ **And** C3=Oİ **Then** S1=Çİ

R3: **If** C1=İ **And** C2=Çİ **And** C3=O **Then** S1=Çİ

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

R1: Çİ = (0,055, 0,09, 0,168, 0,23; 1, 1) (0,006, 0,093, 0,153, 0,214; 1, 1)

R2: Çİ = (0,043, 0,081, 0,151, 0,23; 1, 1) (0,046, 0,083, 0,137, 0,214; 1, 1)

R3: Çİ = (0,053, 0,088, 0,168, 0,23; 1, 1) (0,058, 0,093, 0,153, 0,214; 1, 1)

Ondan sonra λ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lambda = \frac{0,168 + 0,151 + 0,168}{3} = 0,163$$

Ayrıca, Eşitlik (15) kullanılarak Ω değeri hesaplanır.

9. aşamada, S1 alternatifi için her kuralın değeri R1: 0,95 R2: 0,95 R3: 0,95 olduğuna göre; Ω 'nın değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Omega = \frac{0,947 + 0,947 + 0,947}{3} = 0,947$$

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

$$\begin{aligned} \Gamma &= \lambda * \Omega \\ &= 0,23 * 0,947 \\ &= 0,154 \end{aligned}$$

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

Çizelge 17. Önerilen AT2 BKT AHP Yöntemi Tedarikçi Seçim Sıralaması Sonuçları

	λ	Ω	Γ
A1	0,163	0,947	0,154
A2	0,189	1	0,189
A3	0,126	0,657	0,082

5. SONUÇLARIN ANALİZİ

Bu çalışmada; AT2 BAHP ve AT2 BKT AHP Yöntemleri karşılaştırmalı olarak 3 tedarikçi firmanın sıralanmasında uygulanmıştır. Sonuç olarak; uygulanan yöntemler sonucunda elde edilen reel sıralama değerleri Çizelge 18'de gösterilmiştir. Çizelge 18'den yararlanılarak Kendall Tau korelasyonuna dayalı sıralama performansı değerlendirmesine ait değerler ise Çizelge 19'da gösterilmiştir. Sonuç olarak; alternatiflerin sıralanmasında, AT2 BKT AHP yönteminin AT2 BAHP Yönteminden daha belirgin sonuçlar ve yüksek performans ürettiği görülmüştür.

Çizelge 18. Önerilen Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı AHP Yöntemi Tedarikçi Seçim Sıralaması Sonuçları

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

Çizelge 19. Kendall Tau Korelasyonuna Dayalı Sıralama Performansını Değerlendirmesi

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
t		0,33		1,00
z		0,517		1,567

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; firma ve kuruluşlar için tedarikçi seçim problemlerinde önerilen AT2 BKT AHP yönteminin alternatiflerin seçimi ve sıralaması önemi üzerinde durulmuştur. Daha önce yapılan birçok tedarikçi sıralaması çalışmalarında, bulanık mantık yöntemleri geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmış ve tedarikçi sıralanması bulanık mantık altında karar vermenin geleneksel yöntemlerden daha etkili olduğu görülmüştür (Bakınız Bölüm 2.). Bu çalışmada da kriterlerin ve alternatiflerin çok olduğu bir ortamda firma ve kuruluşlar için tedarikçi seçim problemi; AT2 BAHP yöntemi ve AT2 BKT AHP yöntemi ile ele alınmış ve sonuçta kural tabanlı sistemler kullanılarak yapılacak seçim problemlerinin daha etkili olduğu görülmüştür. Yine alternatiflerin sıralanmasında; Kendall Tau sıralama korelasyonundan yararlanılarak AT2 BAHP ve AT2 BKT AHP yöntemi 3 tane tedarikçi firma sıralamasına karşılaştırmalı olarak uygulanmıştır. Uygulama sonucunda alternatif sıralamaları sırasıyla; $A_2 > A_1 > A_3$ ve $A_1 > A_2 > A_3$ olarak elde edilmiştir. Çizelge 19'da Kendall Tau korelasyonuna dayalı sıralama performansının da önerilen Aralık Tip-2 Bulanık-Kural Tabanlı Yöntemde daha yüksek ilişkili sonuçlar ürettiği görülmektedir. Sonuç; AT2 BKT AHP Yönteminin AT2 BAHP Yöntemine göre daha başarılı olduğunu göstermiştir. Yine AT2 BKT AHP 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; 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. Ayrıca bu çalışma, Kural Tabanlı Aralık Tip-2 Bulanık Sayıları, tedarikçi firma seçiminde ele alan ilk çalışma olması özelliğine sahiptir. Uygulama sonucunda AT2 BKT AHP Yönteminin nasıl uygulanabileceği ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Bu çalışma önerilen yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için birbirini etkilemeyen üç bağımsız kriter altında üç alternatifin seçimi ile sınırlıdır. İleride yapılacak çalışmalarda ele alınan tedarikçi seçimi probleminin etkinliğini arttırabilmek için kriter sayısı ve alternatif sayısı arttırılarak önerilen yöntem uygulanabilir.

EK 1. Üç Uzman Karar Vericiler Tarafından Oluşturulan Örnek Bir Kural Tabanı

R1	If C1=Çİ And C2=Çİ And C3=İ Then S1=Çİ
R2	If C1=Çİ And C2=İ And C3=İ Then S1=Çİ
R3	If C1=İ And C2=Çİ And C3=0 Then S1=Çİ
R4	If C1=İ And C2=0İ And C3=0 Then S1=İ
R5	If C1=0İ And C2=0 And C3=0 Then S1=İ
R6	If C1=0 And C2=OK And C3=0 Then S1=0
R7	If C1=Çİ And C2=Çİ And C3=İ Then S2=Çİ
R8	If C1=Çİ And C2=İ And C3=İ Then S2=Çİ
R9	If C1=İ And C2=0İ And C3=0 Then S2=İ
R10	If C1=0İ And C2=0 And C3=0 Then S2=İ
R11	If C1=OK And C2=0 And C3=0 Then S2=0
R12	If C1=İ And C2=İ And C3=İ Then S3=İ
R13	If C1=Çİ And C2=İ And C3=İ Then S3=İ
R14	If C1=İ And C2=İ And C3=Çİ Then S2=İ
R15	If C1=Çİ And C2=Çİ And C3=Çİ Then S3=Çİ
R16	If C1=Çİ And C2=Çİ And C3=İ Then S3=Çİ
R17	If C1=İ And C2=0 And C3=0 Then S3=0
R18	If C1=İ And C2=0 And C3=0 Then S1=0
R19	If C1=ÇK And C2=K And C3=0 Then S2=K

KAYNAKÇA

- AWASTHI, A., CHAUHAN, S. S. & OMRANI, H., (2011), **Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems**, *Expert systems with Applications*, 38 (10), 12270-12280.
- CHAN, F. T. & KUMAR, N., (2007), **Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach**, *Omega*, 35 (4), 417-431.
- CHEN, C. T. & HUANG, S. F., (2006), **Order-fulfillment ability analysis in the supply-chain system with fuzzy operation times**, *International Journal of Production Economics*, 101 (1), 185-193.
- ÇALIK, A. ve PAKSOY, T., (2017), **Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi İle Üçüncü Parti Tersine Lojistik (3PTL) Firma Seçimi**, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 20 (1), 52-67.
- DI MARTINO, F. & SESSA, S., (2014), **Type-2 interval fuzzy rule-based systems in spatial analysis**, *Information Sciences*, 279, 199-212.
- GUO, C., & LI, X., (2014), **A multi-echelon inventory system with supplier selection and order allocation under stochastic demand**, *International Journal of Production Economics*, 151, 37-47.
- HAMDAN, S. & CHEAITOU, A., (2017), **Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach**, *Computers & Operations Research*, 81, 282-304.
- BÜYÜKÖZKAN, G., KAHRAMAN, C., & RUAN, D., (2004), **A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection**, *International Journal of General Systems*, 33 (2-3), 259-280.
- KAHRAMAN, C., ÖZTAYŞI, B., SARI, İ. U. & TURANOĞLU, E., (2014), **Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets**, *Knowledge-Based Systems*, 59, 48-57.
- KANNAN, D., KHODAVERDI, R., OLFAT, L., JAFARIAN, A. & DIABAT, A., (2013), **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.
- KARAKAŞOĞLU, N., (2008), **Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama** (Master's thesis).
- KARAKÖSE, M. ve Akin, E., (2013), **Tip-2 Bulanık Filtre**, Elektrik-elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İstanbul.
- KARNIK, N. N., (1998), **Type-2 fuzzy logic systems**, Ph.D. Dissertation, ProQuest Dissertations & Theses (PQDT), De Montfort University, UK.
- GHORABAE, M. K., ZAVADSKAS, E. K., AMIRI, M. & ESMAEILI, A., (2016), **Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets**, *Journal of Cleaner Production*, 137, 213-229.

- KILIC, H. S., (2013), **An integrated approach for supplier selection in multi-item/multi-supplier environment**, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (14-15), 7752-7763.
- 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.
- OMURCA, S. I., (2013), **An intelligent supplier evaluation, selection and development system**, *Applied Soft Computing*, 13 (1), 690-697.
- ÖNÜT, S., GÜLSÜN, B., TUZKAYA, U. R. & TUZKAYA, G., (2008), **A two-phase possibilistic linear programming methodology for multi-objective supplier evaluation and order allocation problems**, *Information Sciences*, 178 (2), 485-500.
- QIN, J., LIU, X. & PEDRYCZ, W., (2017), **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.
- REZAEI, J., FAHIM, P. B. & TAVASSZY, L., (2014), **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.
- SANAYEI, A., MOUSAVI, S. F., ABDI, M. R. & MOHAGHAR, A., (2008), **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.
- SHIDPOUR, H., SHAHROKHI, M. & BERNARD, A., (2013), **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.
- ŞENGÜL, Ü., EREN, M., SHIRAZ, S. E., GEZDER, V. & ŞENGÜL, A. B., (2015), **Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey**, *Renewable Energy*, 75, 617-625.
- THOMAS, D. J. & GRIFFIN, P. M., (1996), **Coordinated supply chain management**, *European journal of operational research*, 94 (1), 1-15.
- TÜRK, S., JOHN, R. & ÖZCAN, E., (2014), **Interval type-2 fuzzy sets in supplier selection**, In *Computational Intelligence (UKCI), 2014 14th UK Workshop on* (pp. 1-7), IEEE.
- ULU, C., (2013), **Granüler tip-2 bulanık yapılar kullanılarak sistemlerin modellenmesi ve kontrolü**, (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- YAAKOB, A. M., KHALIF, K. M. N. K., GEGOV, A. & RAHMAN, S. F. A., (2015), **Interval type 2-fuzzy rule based system approach for selection of alternatives using TOPSIS**, In *Computational Intelligence (IJCCI), 2015 7th International Joint Conference on* (Vol. 2, pp. 112-120), IEEE.

- YAZDANI, M., CHATTERJEE, P., ZAVADSKAS, E. K. & ZOLFANI, S. H., (2017), **Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection**, *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740.
- YAZDANI, M., HASHEMKHANI ZOLFANI, S. & ZAVADSKAS, E. K., (2016), **New integration of MCDM methods and QFD in the selection of green suppliers**, *Journal of Business Economics and Management*, 17 (6), 1097-1113.
- ZADEH, L. A., (1975), **Calculus of fuzzy restrictions**, In *Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes* (pp. 1-39).