

Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi ile Üçüncü Parti Tersine Lojistik (3PTL) Firma Seçimi

Third-Party Reverse Logistics (3PTL) Company Selection with Interval Type-2 Fuzzy AHP

Ahmet ÇALIK*
Turan PAKSOY**

ÖZ

Ömrü bitmiş ve kullanılmış ürünlerin yönetimi küreselleşme, yasal düzenlemeler ve artan çevresel farkındalık nedeniyle önemli bir lojistik faaliyeti haline gelmiştir. Tersine lojistik ağındaki akışın yönetimi özel altyapı ve uzmanlık gerektirdiği için, işletmelerin ağlarındaki hangi firma ile çalışacağı önemli bir sorundur. Bu nedenle işletmeler Üçüncü Parti Tersine Lojistik (3PTL) firmalarına (sağlayıcılarına) yönelmişlerdir. 3PTL, işletmelerin tersine lojistik ağındaki ihtiyaç duydukları hizmetlerin veya lojistik faaliyetlerinin dış kaynak kullanılarak karşılanmasıdır. Bu çalışmada, en iyi 3PTL firma seçimi için yedi kriter ve üç alternatif ile aralık tip-2 bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. Aralık tip-2 bulanık kümeler, çelişkili kriterlerin olduğu bulanık grup karar verme problemlerinin belirsizliğini yansıtmada tip-1 bulanık sayılardan daha uygun, daha esnek ve daha akıllıdır. Bu nedenle, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin aralık tip-2 bulanık sayılar ile entegre edilmesi karar verme sürecinde avantajlar sağlayacaktır. Yapılan uygulama çalışması sonucunda, uygulanan aralık tip-2 bulanık AHP yönteminin 3PTL firma seçiminde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER

Tersine Tedarik Zinciri, Üçüncü Parti Tersine Lojistik, Karar Verme, Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi

ABSTRACT

Management of end-of-life and used products has become an important logistics activity due to globalization, government regulations and increasing environmental awareness. Due to the management of return flow usually requires a specific infrastructure and special information, there is an important question which the company will operate in the network. Therefore, companies have turned Third Party Reverse Logistics Providers (3PTLs). 3PTL is a methodology which the services or logistics activities are met from using external sources. In this study, an interval type-2 fuzzy AHP method is used for selection of 3PTL company with seven criteria and three alternatives. Interval type-2 fuzzy sets are more convenient, flexible and intelligent with respect to type-1 fuzzy sets in fuzzy group decision making problems which contains various and conflicting criteria. Thus, integration of interval type-2 fuzzy sets and multi criteria decision making methods will gain benefits in decision making process. The results of numerical example show that interval type-2 fuzzy AHP method can be used in 3PTL company selection.

KEYWORDS

Reverse Supply Chain, Third Party Reverse Logistics, Decision Making, Interval Type-2 Fuzzy AHP Method

GİRİŞ

Tedarik zinciri kavramı üretim, pazarlama, planlama, satın alma, teslimat ve tersine lojistik de yer alan birçok faaliyete içeren bir kavramdır. Bu tür faaliyetlerin işletmelerin performansını artırması ve müşteri memnuniyet seviyesini artırması için doğru tanımlanması gerekmektedir. Tersine lojistik, ürünlerin son kullanıcıdan ilk kullanıcıya doğru taşınması sürecidir ve tedarikçi seçimi ileri lojistik ağında olduğu gibi tersine lojistik faaliyetlerinde işletmelerin başarısına katkı sağladığı için son yıllarda sıklıkla karşımıza çıkmaktadır (Govindan vd., 2012).

Tersine lojistik son yıllarda işletmeler ve akademik dünya tarafından artan bir ilgi çekmektedir. Tersine lojistik doğası gereği ileri tedarik zincirinden ayrılmaktadır. Tersine lojistik ağında, ileri tedarik zinciri ağına paralel veya ondan farklı bir şekilde işlem yapılmaktadır. İleri tedarik zincirinde, şirketler ürünlerini sıkı kalite kontrolleri ile teslim ederken tersine tedarik zinciri ağı genellikle farklı kalite standartları gerektirmektedir. Tersine lojistikte, ürünler az bir kalite ve kontrolle farklı noktalardan toplanmaktadır. Bununla birlikte ürün geri dönüşleri ile ilgili çeşitli politikalar bulunmaktadır ve şirketlerin bunlara uyması gerekmektedir (Zarandi vd., 2011). Son yıllarda, bu tür politikalar ve artan çevresel bilinç nedeniyle birçok şirket bu tür geri dönüş işlemlerini dış kaynak kullanarak gerçekleştirmeye başlamıştır.

Dış kaynak kullanmanın en önemli avantajı, işletmelerin karmaşık lojistik faaliyetlerinin azalması ve işletmelerin kendi faaliyetlerine yönelmeleridir. Dış kaynak kullanan işletmeler, maliyet azalımı ve kalite artımı ile lojistik faaliyetlerini başka firmaya devretmekte böylece kendi üretimindeki faaliyetler için daha fazla zaman ve iş gücü ayırmaktadırlar. Bu nedenle, işletmeler her geçen gün kendi temel yeteneklerine yoğunlaşmakta ve kendi dışındaki faaliyetleri uzman aktörlere devretmektedirler (Erturgut, 2016).

3PTL işletmelerin tersine lojistik de yer alan toplama, yeniden işleme, tamir, yenileme, geri dönüşüm ve bertaraf etme gibi birçok faaliyeti dış kaynak kullanarak yani işletme dışından alınan hizmetlerle gerçekleştirmesini içeren faaliyetler dizisidir. 3PTL hizmet alımı ile işletmeler, tersine lojistik ağındaki faaliyetlere ilave bir para, emek ve zaman kaybına imkan vermek yerine sadece kendi misyon ve vizyonuna odaklanmaktadır. Bu nedenle uygun 3PTL firmasının seçimi ve değerlendirmesi işletmelerin performansına etki eden en önemli kaynaklardan birisidir.

Tedarikçi seçimi literatürde birçok yöntemle değerlendirilmiş ve değerlendirmeye devam etmektedir. Ancak 3PTL firma seçimi, tedarikçi seçimine göre daha az ilgi çekmiştir. Ayrıca 3PTL firma seçimi için genellikle kesin veya tip-1 bulanık sayılar tercih edilmiştir. Tip-1 bulanık kümeler belirsizliği ele almada başarılı olmasına rağmen bazı eksiklikleri vardır. Bu nedenle bu çalışmada aralık tip-2 bulanık kümeler kullanılmış ve karar vericilerin belirsizlikleri daha iyi ifade etmesi amaçlanmıştır.

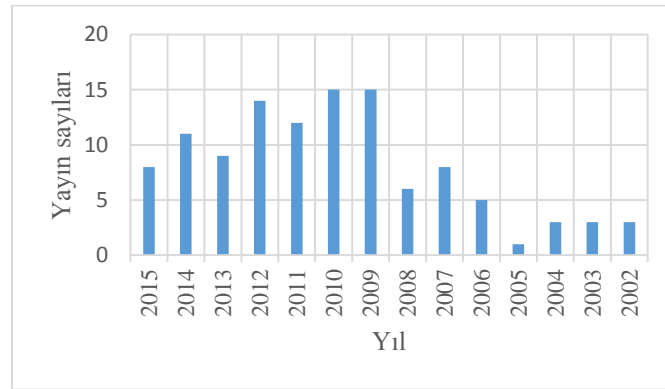
3PTL firma seçimi birbiriyle çelişkili ve farklı kriterler, farklı karar modelleri, farklı grup karar verme yöntemleri ve farklı belirsizlik türleri içermektedir. En uygun 3PTL firmasının seçimi ve sıralanması şirketler için farklı yöntemlerin ele alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, 3PTL firma seçiminde karar vericiler için uygun bir yöntem geliştirmek seçim sürecinde en önemli sorunların başında gelmektedir. Seçim süreci, karar vericilerin doğru kriterleri ve bu kriterlerin arasındaki etkileşimi anlaması ile başlamalıdır. Daha sonra kriterlerin etkisinde olan alternatifler uygun bir yöntemle değerlendirilmeli ve karar vericilere sonuçlar sunulmalıdır (Kannan vd., 2009). Bu çalışmada 3PTL firma seçimi için aralık tip-2 bulanık AHP yönteminin nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde 3PTL firma seçimi ve aralık tip-2 bulanık ÇKKV yöntemleri ile ilgili bir literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde, aralık tip-2 bulanık kümeler, bu kümeler üzerindeki işlemler ve aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise, 3PTL firma seçiminin örnek üzerinde uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, 3PTL firma seçimi için sonuçlar ve öneriler ortaya konmuştur.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3PTL firma seçimi için kullanılan çalışmalar Scopus veri tabanında başlıklarında, anahtar sözcüklerinde ve özetlerinde "3PTL firma seçimi" olarak araştırılmış ve yıllara göre yayınların dağılımı aşağıdaki gibi elde edilmiştir. 2002 yılında ele alınmaya başlayan 3PTL seçimi, 2009-2010 yıllarında en çok çalışma sayısına ulaşmış izleyen yıllarda ise bir azalma göstermiştir (Şekil 1).

Şekil 1: Yayınların Yıllara Göre Dağılımı



3PTL firma seçimi birçok yazar tarafından ele alınmasına rağmen, ülkemizde genellikle Üçünü Parti Lojistik (3PL) firma seçimi daha çok ele alınmıştır. Özbek ve Eren (2013) 3PL firma seçimi için analitik ağ süreci yöntemini kullanmışlardır. En uygun firmayı seçebilmek için dört kriter ve dört alternatiften oluşan bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Göl ve Çatay (2007) Tofaş-Fiat otomobil şirketinin lojistik operasyonlarının yeniden tasarlanması ve 3PL sağlayıcılarının seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Kannan vd. (2009) en iyi 3PTL sağlayıcısı seçimi için bulanık ortamda çok kriterli grup karar verme modeli geliştirmişlerdir. 15 alternatif 3PTL sağlayıcı arasından en iyisi yorumlayıcı yapısal modelleme ve TOPSIS yöntemi kullanılarak seçilmiştir. Hindistan’da yer alan pil imalat sanayisi üzerinde vaka araştırması yapılmıştır. Çalışma sonucunda, pil sanayinde 3PTL sağlayıcı seçiminde en önemli kriterin sağlayıcının teknik/mühendislik yeteneği olduğu elde edilmiştir. Sasikumar ve Haq (2011) 3PTL sağlayıcı seçiminde VIKOR yöntemini uygulayarak, bulanık ÇKKV modeli oluşturmuşlardır. Bunun için öncelikle, çok-aşamalı ve çok-üründen oluşan bir KDTZ ağı geliştirilmiştir. Oluşturulan KDTZ modeli 3PTL sağlayıcı seçimi ile birleştirilerek yeni bir model önerilmiştir. Govindan vd. (2012) 3PTL sağlayıcı seçiminde n sağlayıcı içerisinde en iyisini seçmek için Hindistan’da lastik üreten bir firma üzerinde vaka çalışması gerçekleştirmiştir. Firmanın amacına uygun olarak yedi kriter ve 35 alt-kriter belirlenmiştir. Yorumlayıcı yapısal modelleme ile modelin çözümü araştırılmıştır. Senthil vd. (2014) 3PTL sağlayıcı seçiminde AHP ve TOPSIS’ten oluşan hibrid bir yöntem önermişlerdir. AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin sıralanması yapılmıştır. Plastik geri dönüşüm fabrikası üzerinde modelin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Efendigil vd. (2008) 3PTL sağlayıcı seçimi için yapay sinir ağları ve bulanık AHP’den oluşan iki aşamalı bir model önermişlerdir. Govindan ve Murugesan (2011) pil sanayi için bulanık genişleme analizini 3PTL sağlayıcı seçiminde kullanmışlardır. Liu ve Wang (2009) 3PL sağlayıcı seçimi için üç farklı tekniğin kullanılmasından oluşan bir yöntem önermişlerdir. Jayant vd. (2014) 3PTL sağlayıcı seçiminde şirketlerin yöneticilerine yardımcı olabilmek için AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanılmasından oluşan bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Kafa vd. (2014) kriterlerin bulanık AHP yöntemi ile belirlendiği, 3PTL sağlayıcıların sıralamalarının bulanık PROMETHEE ile elde edildiği bir ÇKKV modeli tasarlamışlardır. Momeni vd. (2015) çok amaçlı toplamsal veri zarflama analizi modeli ile en uygun 3PTL firma seçimini ele almışlardır. Tavana vd. (2016) kriter ve alt-kriterlerin ağırlıklarının SWOT analizi ile tanımlandığı, sezgisel (intuitionistic) bulanık AHP ile ağırlıkların hesaplandığı bir yöntem önermişlerdir.

ÇKKV yöntemleri araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından yöneylem araştırmasında sıklıkla uygulanan ve uygulanmaya devam eden en önemli disiplinlerden birisidir. Tip-1 bulanık kümelerin entegre edilmesiyle genişleyen disiplin, günümüzde tip-2 bulanık kümeler ve sezgisel bulanık kümeler ile genişlemeye devam etmektedir. Tip-2 bulanık küme kavramı ilk olarak Zadeh (1975) tarafından ortaya konmuştur. Daha sonra (Mendel, 2007b; N. Karnik ve M. Mendel, 2001) tarafından tip-1 bulanık kümelerin genişlemeleri araştırılmıştır. Tip-2 bulanık kümeler karmaşık hesaplama işlemleri içerdiği için aralık tip-2 bulanık kümeler önerilmiştir (Mendel vd., 2006). Aralık tip-2 bulanık kümelerin kolay ve azaltılmış hesaplama yükü nedeniyle tip-2 bulanık kümelere göre daha çok kullanıldığını belirtmişlerdir (Mendel, 2007a). Bu nedenle bu çalışmada aralık tip-2 bulanık kümeler üzerinde işlem yapılmıştır. Aralık tip-2 bulanık kümeler ÇKKV yöntemleri ile de sıklıkla kullanılmıştır. Kahraman vd. (2014) aralık tip-2 bulanık AHP yöntemini Buckley (1985)’in yöntemi için geliştirmişlerdir ve tedarikçi seçim problemi için uygulamasını yapmışlardır. Oztaysi (2015) kurumsal bilgi sistemleri seçimini dört kriter ve altı alternatifi aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ile değerlendirmiştir. Kiliç ve Kaya (2016) Türkiye’deki bölge kalkınma ajanslarının hibe dağılımı için tip-2 bulanık kümelere dayalı

yeni bir ÇKKV modeli önermişlerdir. Orta Karadeniz Kalkınma Ajansında yer alan dört ilin sıralaması önerilen model ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelde kriterlerin ağırlıkları aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ile elde edilmiş daha sonra sıralamalar aralık tip-2 TOPSIS yöntem ile yapılmıştır. Celik vd. (2014) insani yardım lojistik yönetimindeki kriterlerin önem ağırlığını aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ile elde etmişlerdir. Özkan vd. (2015) elektrik enerji depolama alternatiflerini değerlendirebilmek için tip-2 bulanık kümelerle dayalı bir metodoloji önermişlerdir. Aralık tip-2 bulanık AHP ve aralık tip-2 bulanık TOPSIS yöntemi çözüm aşamasında kullanılmıştır. Chen ve Lee (2010a) aralık tip-2 bulanık TOPSIS yönteminin aralık tip-2 bulanık kümeler kullanarak geliştirmişler ve çeşitli örnekler üzerinde yöntemin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Chen ve Lee (2010b) aralık tip-2 bulanık kümeleri kullanarak çoklu grup karar verme problemleri için yeni bir yöntem önermişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasına göre, 3PTL firma seçiminde ÇKKV yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ancak Türkiye’de tersine lojistik ağındaki faaliyetler ile işlem yapan 3PTL firma seçimiyle ilgili bir çalışma bulunamamıştır. Bununla birlikte, tip-2 bulanık kümeler karar vericilerin görüşlerini yansıtmada daha iyi bir yaklaşım olduğu için bu çalışmada aralık tip-2 bulanık kümeler kullanılmıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın literatüre katkısı, grup karar verme altında aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi kullanılarak 3PTL firma seçiminin yapılmasıdır.

2. BÖLÜM

Bu bölümde aralık tip-2 bulanık kümelerle ilişkin temel kavramlar (Kahraman vd., 2014; Mendel vd., 2006; Oztaysi, 2015; Zadeh, 1975) ve aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi (Kahraman vd., 2014; Oztaysi, 2015) kısaca açıklanmıştır.

2.1. Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler

Bu bölümde tip-2 bulanık kümeler ve aralık tip-2 bulanık kümelerle ilişkin temel kavramlar ve tanımlamalar (Kahraman vd., 2014; Mendel vd., 2006; Zadeh, 1975) kaynaklarından yararlanılarak açıklanmıştır.

Tanım 1: X evrensel kümesine ait bir \tilde{A} tip-2 bulanık küme, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ tip-2 bulanık üyelik fonksiyonu ile aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\tilde{A} = \{((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1\} \quad (1)$$

burada, $J_x \subseteq [0,1]$ aralığını göstermektedir. Ayrıca, \tilde{A} tip-2 bulanık kümesinin bir başka ifade edilmiş şekli aşağıdaki gibidir:

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

burada $J_x \subseteq [0,1]$ olmak üzere, \iint tüm makul (kabul edilebilir) x ve u değerlerinin birleşimini ifade etmektedir.

Tanım 2: X evrensel kümesine ait \tilde{A} tip-2 bulanık kümesini tanımlayan tip-2 üyelik fonksiyonunu $\mu_{\tilde{A}}$ olarak gösterilsin. Eğer bütün $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$ ise, \tilde{A} kümesine aralık tip-2 bulanık küme adı verilir. Bir aralık tip-2 bulanık küme, \tilde{A} tip-2 bulanık kümenin özel bir durumu olarak kabul edilir ve aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

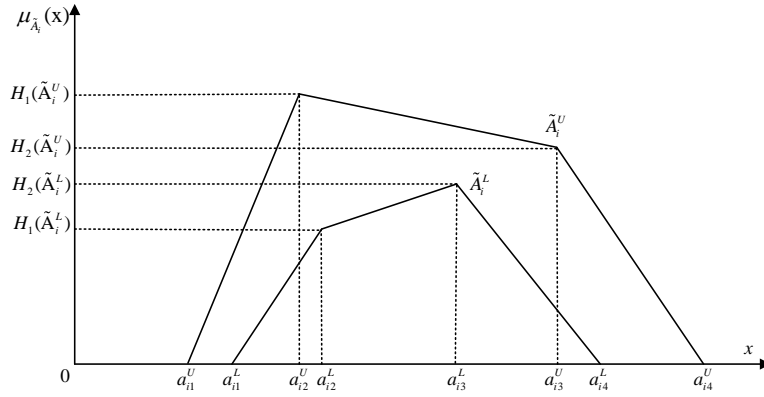
$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1 / (x, u) \quad (3)$$

burada $J_x \subseteq [0,1]$ dir.

Tanım 3: Aralık tip-2 bulanık kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonları sırasıyla tip-1 üyelik fonksiyonudur. Chen ve Lee (2010a) çalışmalarında bulanık çok kriterli grup karar verme problemlerinin çözümünde aralık tip-2 bulanık kümeleri kullanmak için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde göre, aralık tip-2 bulanık kümelerin referans noktaları ve üst ve alt üyelik fonksiyonlarının yükseklikleri, tip-2 bulanık kümelerini karakterize etmek için kullanılmıştır. Şekil 2’de yamuksal bir aralık tip-2 bulanık küme gösterilmektedir. Yamuksal bir aralık tip-2 bulanık kümeler $\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U; \tilde{A}_i^L) =$

$\left((a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(\tilde{A}_i^U), H_2(\tilde{A}_i^U)), (a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(\tilde{A}_i^L), H_2(\tilde{A}_i^L)) \right)$ burada \tilde{A}_i^U ve \tilde{A}_i^L tip-1 bulanık kümeleri, $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L$ yamuksal aralık tip-2 bulanık kümesi $\tilde{\tilde{A}}_i$ kümesinin referans noktalarını, $H_j(\tilde{A}_i^U); 1 \leq j \leq 2$ olmak üzere $a_{i(j+1)}^U$ elemanının \tilde{A}_i^U üst yamuksal üyelik fonksiyonundaki üyelik değerini, $H_j(\tilde{A}_i^L); 1 \leq j \leq 2$ olmak üzere $a_{i(j+1)}^L$ elemanının \tilde{A}_i^L alt yamuksal üyelik fonksiyonundaki üyelik değerini ifade ettiğinde ve $H_1(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], H_1(\tilde{A}_i^L) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_i^L) \in [0,1]$ ve $1 \leq i \leq n$ koşullarını sağladığında Eşitlik (1) ile gösterilir.

Şekil 2: Yamuksal Aralık Tip-2 Bulanık Sayının Üyelik Fonksiyonu



Tanım 4: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeleri arasındaki toplama işlemi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{aligned} \tilde{\tilde{A}}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\ \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right) \\ \tilde{\tilde{A}}_1 \oplus \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \oplus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\ &= \left((a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U, a_{14}^U + a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U))), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U)) \right), \\ &= \left((a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L, a_{14}^L + a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L))), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Tanım 5: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeleri arasındaki çıkarma işlemi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{aligned} \tilde{\tilde{A}}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\ \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right) \\ \tilde{\tilde{A}}_1 \ominus \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \ominus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\ &= \left((a_{11}^U - a_{21}^U, a_{12}^U - a_{22}^U, a_{13}^U - a_{23}^U, a_{14}^U - a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U))), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U)) \right), \\ &= \left((a_{11}^L - a_{21}^L, a_{12}^L - a_{22}^L, a_{13}^L - a_{23}^L, a_{14}^L - a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L))), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Tanım 6: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeleri arasındaki çarpma işlemi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{aligned}
\tilde{A}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\
\tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right) \\
\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \otimes (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\
&= \left((a_{11}^U \times a_{21}^U, a_{12}^U \times a_{22}^U, a_{13}^U \times a_{23}^U, a_{14}^U \times a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U); H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_2^U))), \right. \\
&\left. (a_{11}^L \times a_{21}^L, a_{12}^L \times a_{22}^L, a_{13}^L \times a_{23}^L, a_{14}^L \times a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L); H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_2^L))) \right) \\
&(6)
\end{aligned}$$

Tanım 7: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeler ve skaler k arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\begin{aligned}
\tilde{A}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\
k\tilde{A}_1 &= \left((k \times a_{11}^U, k \times a_{12}^U, k \times a_{13}^U, k \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (k \times a_{11}^L, k \times a_{12}^L, k \times a_{13}^L, k \times \right. \\
&\left. a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\
&(7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\tilde{A}_1}{k} &= \left(\left(\frac{1}{k} \times a_{11}^U, \frac{1}{k} \times a_{12}^U, \frac{1}{k} \times a_{13}^U, \frac{1}{k} \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U) \right), \left(\frac{1}{k} \times a_{11}^L, \frac{1}{k} \times a_{12}^L, \frac{1}{k} \times a_{13}^L, \frac{1}{k} \times \right. \right. \\
&\left. \left. a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L) \right) \right) \\
&(8)
\end{aligned}$$

burada $k > 0$ olmalıdır.

2.2. Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi

Kahraman vd. (2014) çalışmalarında, Buckley (1985)'in tip-1 bulanık kümelere dayalı bulanık AHP yöntemini aralık tip-2 bulanık kümelere göre düzenlemişlerdir. Aşağıda bu yöntemin adımları açıklanmıştır:

Adım 1: Problemin tanımı ve probleme uygun olarak amacı belirlenir.

Adım 2: Problemin kriterler, alt kriterler ve alternatiflerde dâhil olmak üzere hiyerarşik yapısı belirlenir.

Adım 3: Bütün kriterler arasındaki bulanık ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. İkili karşılaştırma matrisini oluşturmak için uzmanlar dilsel değişkenleri kullanırlar. Dilsel değişkenler ve bunların aralık tip-2 bulanık ölçekleri Tablo 1'de verilmiştir. Dilsel değişkenlerin kullanılması ile Eşitlik (9)'daki gibi bulanık ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Tablo 1: Dilsel Değişkenlerin Aralık Tip-2 Bulanık Ölçekleri

| Dilsel değişkenler | Yamuksal tip-2 bulanık ölçekler |
|-----------------------|--|
| Kesinlikle Güçlü (KG) | (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) |
| Biraz Güçlü (BG) | (1,2,4,5;1,1) (1.2,2.2,3.8,4.8;0.8,0.8) |
| Tamamen Eşit (E) | (1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1) |

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

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

burada $1/\tilde{a} = \left(\left(\frac{1}{a_{14}^U}, \frac{1}{a_{13}^U}, \frac{1}{a_{12}^U}, \frac{1}{a_{11}^U}; H_1(a_{12}^U), H_2(a_{13}^U) \right), \left(\frac{1}{a_{24}^L}, \frac{1}{a_{23}^L}, \frac{1}{a_{22}^L}, \frac{1}{a_{21}^L}; H_1(a_{22}^L), H_2(a_{23}^L) \right) \right)$

Adım 4: Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık incelenir. Bu amaçla bulanık ikili karşılaştırma matrisleri durulaştırılır ve tutarlılık incelenir. Eğer tutarsızlık tespit edilirse uzmanların yeniden değerlendirme yapması istenir.

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

$$\tilde{r}_i = [\tilde{a}_{i1} \otimes \cdots \otimes \tilde{a}_{in}]^{1/n} \quad (10)$$

burada

$$\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij}} = \left(\left(\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^U}; H_1^U(a_{ij}), H_2^U(a_{ij}) \right), \left(\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^L}; H_1^L(a_{ij}), H_2^L(a_{ij}) \right) \right) \quad (11)$$

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{p}_i aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\tilde{p}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \cdots \oplus \tilde{r}_i \oplus \cdots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \quad (12)$$

burada

$$\frac{\tilde{a}_{ij}}{\tilde{b}_{ij}} = \left(\left(\frac{a_1^U}{b_4^U}, \frac{a_2^U}{b_3^U}, \frac{a_3^U}{b_2^U}, \frac{a_4^U}{b_1^U}; \min(H_1^U(a), H_1^U(b)), \min(H_2^U(a), H_2^U(b)) \right), \left(\frac{a_1^L}{b_4^L}, \frac{a_2^L}{b_3^L}, \frac{a_3^L}{b_2^L}, \frac{a_4^L}{b_1^L}; \min(H_1^L(a), H_1^L(b)), \min(H_2^L(a), H_2^L(b)) \right) \right) \quad (13)$$

Adım 7: Her alternatifin bulanık performans puanları hesaplanır.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}, \quad \forall i. \quad (14)$$

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 sıralamalarını belirlemek için aralık tp-2 bulanık sayılar durulaştırılır. Durulaştırma için Kahraman vd. (2014) tarafından önerilen durulaştırma yöntemi (DTraT) kullanılmıştır.

$$DTraT = \frac{(u_U - l_U) + (\beta_U \cdot m_{1U} - l_U) + (\alpha_U \cdot m_{2U} - l_U) + l_U + \left[\frac{(u_L - l_L) + (\beta_L \cdot m_{1L} - l_L) + (\alpha_L \cdot m_{2L} - l_L) + l_L}{4} \right]}{2} \quad (15)$$

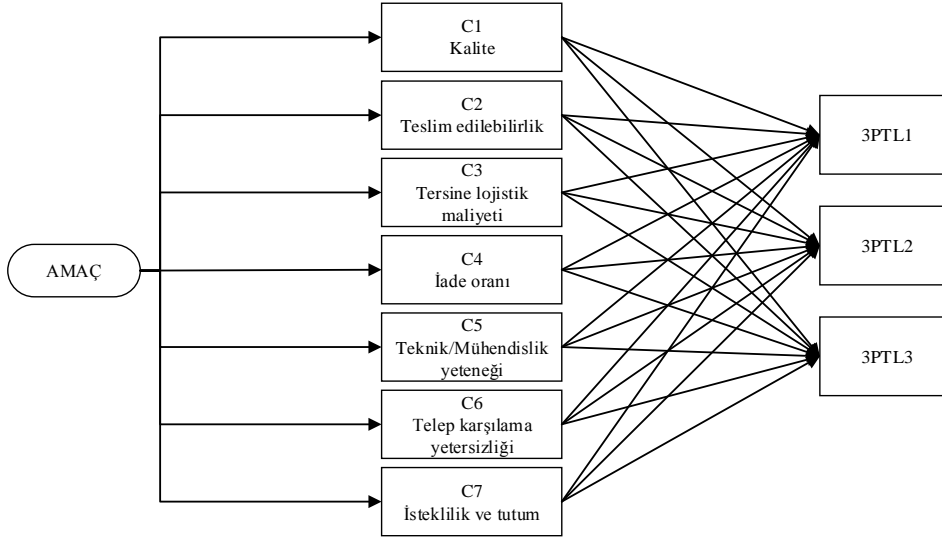
3. UYGULAMA

Bu bölümde aralık tip-2 bulanık AHP yönteminin 3PTL firma seçiminde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Uygulama süreci üç aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada problemi ele alabilmek için uzmanlardan oluşan komite oluşturulmuş ve değerlendirme süreci başlatılmıştır. İkinci aşamada problemin amacına uygun olarak, kriter ve alternatifler uzmanlara değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise komitenin değerlendirmesi sonucunda 3PTL firmalarının sıralanması elde edilmiştir.

3.1. Karar Modeli

Bir şirket yöneticisinin tersine lojistik ağındaki lojistik faaliyetleri için en uygun 3PTL firmasını belirlemek istediğini varsayalım. Öncelikle, üç yöneticiden (bir üretim müdürü, bir kalite müdürü ve bir akademisyen) oluşan bir komite oluşturulmuştur. 3PTL firma seçimi için değerlendirme kriteri olarak Kannan vd. (2009)'nin çalışmasında yer alan kriterler literatür taraması ve komite görüşlerince belirlenmiştir. Tablo 2'de ele alınan yedi kriterin açıklamaları verilmiştir. Sonuç olarak Şekil 3'de hiyerarşik yapısı verilen üç seviyeli karar problemi oluşturulmuştur.

Şekil 3: Karar Probleminin Hiyerarşik Yapısı



Tablo 2: 3PTL Firma Seçimi İçin Kullanılan Kriterler

| Kriter | Açıklama |
|--------------------------------------|---|
| 1. Kalite (C1) | Firmaların ürün performansı, dayanıklılığı vb. ve firmaların kalite anlayışını, ürün toplama yöntemleri vb. içerikleri kapsamaktadır. |
| 2. Teslim edilebilirlik (C2) | Firmaların ürünleri zamanında ulaştırması, teslim zamanını içermektedir. |
| 3. Tersine lojistik maliyeti (C3) | Ürünlerin kontrol maliyeti, depolama maliyeti, ulaştırma maliyet, paketleme maliyetini içermektedir. |
| 4. İade oranı (C4) | Ürünlerin geri dönüşümü için iade edilen ürünlerin kalite özelliklerini karşılamadaki yetersizliğini ifade eder. |
| 5. Teknik/Mühendislik yeteneği (C5) | Firmaların teknik insan gücü, ürün işleme teknolojisini, ARGE faaliyetleri vb. içerikleri kapsamaktadır. |
| 6. Talep karşılama yetersizliği (C6) | Firmaların beklenen talebi karşılamadaki yetersizliğini ifade eder. |
| 7. İsteklilik ve tutum (C7) | Firmaların alıcılar ile lojistik işlerdeki istekliliğini ifade etmektedir. |

3.2. Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi Uygulaması

Bu bölümde aralık tip-2 bulanık AHP yönteminin 3PTL firma seçiminde uygulanabilirliği adım adım gösterilmiştir. Karar probleminin amacı, yedi kriteri dikkate alarak üç 3PTL firmasından en iyisinin seçilmesidir. Problemin ilk aşamasında oluşturulan komite ile değerlendirme süreci başlatılmıştır ve problemin

kriterleri ve alternatifleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, öncelikle kriterlin ikili karşılaştırılması yapılmış daha sonra ise her bir kriter altında alternatiflerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Toplamda kriterlerin karşılaştırılması için bir matris, alternatiflerin karşılaştırılması için ise yedi tane karşılaştırılma matrisi elde edilmiştir. Üç farklı uzman Tablo 1’de verilen dilsel değişkenler ölçeğini kullanarak yedi kriter için Tablo 3, her bir kritere göre alternatiflerin değerlendirmesi için Tablo 4’de verilen ikili karşılaştırmaları elde etmişlerdir.

Tablo 3: Kriterler için İkili Karşılaştırma Matrisi

| C1 | C2 | | | C3 | | | C4 | | | C5 | | | C6 | | | C7 | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|------|------|------|
| | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 |
| C1 | E | E | E | 1/ÇG | 1/OG | ÇG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/OG | ÇG | OG | BG | BG | OG | ÇG | BG | ÇG | ÇG | ÇG | OG | ÇG |
| C2 | ÇG | OG | 1/ÇG | E | E | E | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/OG | 1/OG | 1/OG | 1/ÇG | OG | OG | ÇG | BG | ÇG | ÇG | ÇG | OG | BG |
| C3 | ÇG | ÇG | OG | ÇG | ÇG | OG | E | E | E | ÇG | ÇG | OG | ÇG | ÇG | ÇG | BG | BG | OG | ÇG | ÇG | ÇG |
| C4 | 1/ÇG | 1/OG | 1/BG | OG | OG | ÇG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/OG | E | E | E | BG | BG | ÇG | BG | OG | ÇG | OG | BG | ÇG |
| C5 | 1/BG | 1/OG | 1/ÇG | 1/OG | 1/OG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/BG | 1/BG | 1/ÇG | E | E | E | OG | OG | OG | 1/BG | 1/BG | 1/OG |
| C6 | 1/BG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/BG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/BG | 1/BG | 1/OG | 1/BG | 1/OG | 1/ÇG | 1/OG | 1/OG | 1/OG | E | E | E | 1/OG | 1/BG | 1/OG |
| C7 | 1/ÇG | 1/OG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/OG | 1/BG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/OG | 1/BG | 1/ÇG | BG | BG | OG | OG | BG | OG | E | E | E |

Tablo 4: Alternatifler için İkili Karşılaştırma Matrisleri

| | A1 | | | A2 | | | A3 | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 |
| C1'e göre | | | | | | | | | |
| A1 | E | E | E | 1/OG | 1/BG | 1/OG | 1/OG | 1/BG | 1/ÇG |
| A2 | OG | BG | OG | E | E | E | 1/BG | E | E |
| A3 | OG | BG | ÇG | BG | E | E | E | E | E |
| C2'e göre | | | | | | | | | |
| A1 | E | E | E | E | E | BG | OG | ÇG | ÇG |
| A2 | E | E | 1/BG | E | E | E | OG | ÇG | OG |
| A3 | 1/OG | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/OG | 1/ÇG | 1/OG | E | E | E |
| C3'e göre | | | | | | | | | |
| A1 | E | E | E | OG | BG | BG | ÇG | ÇG | ÇG |
| A2 | 1/ÇG | 1/ÇG | 1/ÇG | E | E | E | OG | BG | OG |
| A3 | 1/OG | 1/BG | 1/OG | 1/OG | 1/OG | 1/BG | E | E | E |
| C4'e göre | | | | | | | | | |
| A1 | E | E | E | E | 1/BG | 1/BG | 1/OG | 1/BG | 1/BG |

| | | | | | | | | | |
|-----------|----|----|----|------|------|------|------|------|------|
| A2 | E | BG | BG | E | E | E | E | 1/BG | 1/BG |
| A3 | OG | BG | BG | E | BG | BG | E | E | E |
| | A1 | | | A2 | | | A3 | | |
| C5'e göre | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 |
| A1 | E | E | E | E | 1/BG | 1/OG | E | 1/BG | 1/OG |
| A2 | E | BG | OG | E | E | E | E | E | BG |
| A3 | E | BG | OG | E | E | 1/BG | E | E | E |
| | A1 | | | A2 | | | A3 | | |
| C6'e göre | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 |
| A1 | E | E | E | 1/OG | 1/OG | 1/BG | 1/ÇG | 1/BG | 1/BG |
| A2 | OG | OG | BG | E | E | E | E | 1/BG | E |
| A3 | ÇG | E | BG | E | BG | E | E | E | E |
| | A1 | | | A2 | | | A3 | | |
| C7'e göre | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 | U1 | U2 | U3 |
| A1 | E | E | E | 1/OG | 1/BG | 1/OG | 1/OG | 1/BG | 1/ÇG |
| A2 | OG | BG | OG | E | E | E | 1/BG | E | E |
| A3 | OG | BG | ÇG | BG | E | E | E | E | E |

Elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlığı incelenmiş ve tutarlılık oranlarının 0.1'den küçük olduğu bulunmuştur. İkili karşılaştırma matrisleri kullanılarak aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ile en iyi 3PTL firma seçimi yapılmıştır.

3.3. Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi Sonuçları

Aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi adımları aşağıdaki gibidir:

Aralık tip-2 bulanık yönteminin çözümü için ilk adım her bir matris için geometrik ortalamaların hesaplanmasıdır. Her bir karşılaştırma matrisi için çözümlerin verilmesi çok zor olacağı için sadece bir matris üzerinden örnek hesaplamalar anlatılmıştır. C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi hesaplamalar için örnek olarak kabul edilmiştir. Bu matriste A3 ve A1 alternatiflerinin değerlendirilmesi, üç uzmana göre sırasıyla OG, B ve ÇG olarak elde edilmiştir. Üç uzmanın değerlendirmeleri Eşitlik (10) ve Eşitlik (11) kullanılarak toplanmış ve aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

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

$$= (2.466,3.634,5.768,6.804; 1,1)(2.712,3.854,5.560,6.597; 0,8,0,8)$$

Uzmanların değerlendirmeleri aynı hesaplamalar ile yapılmış ve C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için aşağıdaki tablo elde edilmiştir.

Tablo 5: 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 ikili karşılaştırma matrisi için her satırın geometrik ortalaması alınmıştır. Örnek kabul edilen C1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi için bu değerler Eşitlik (10) kullanılarak aşağıdaki gibi hesap edilmiştir.

$$\tilde{r}_1 = \sqrt[3]{\begin{matrix} (1,1,1,1; 1,1)(1,1,1,1; 1,1) \otimes \\ (0.160,0.191,0.315,0.250; 1,1)(0.165,0.199,0.295,0.433; 0.8,0.8) \otimes \\ (0.147,0.173,0.275,0.405; 1,1)(0.152,0.180,0.259,0.369; 1,1) \end{matrix}}$$

$$= (0.286,0.320,0.442,0.466; 1,1)(0.292,0.329,0.424,0.542; 1,1)$$

Tablo 6: 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) |

Bütün diğer \tilde{r}_i değerleri (Bknz. Tablo 6) hesaplandıktan sonra, kriterlerin ve alternatiflerin öncelik değerleri (\tilde{p}_i) Eşitlik (12) kullanılarak hesaplanır. Tablo 5 için bu değer aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\tilde{p}_1 = \tilde{r}_1 \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \tilde{r}_3]^{-1}$$

$$= (0.286,0.320,0.442,0.466; 1,1)(0.292,0.329,0.424,0.542; 0.8,0.8) \otimes$$

$$[(0.286,0.320,0.442,0.466; 1,1)(0.292,0.329,0.424,0.542; 0.8,0.8) \oplus$$

$$(1.067,1.259,1.608,1.842; 1,1)(1.110,1.294,1.570,1.786; 0.8,0.8) \oplus$$

$$(1.351,1.660,2.092,2.265; 1,1)(1.423,1.711,2.054,2.232; 0.8,0.8)]$$

$$= (0.286,0.320,0.442,0.466; 1,1)(0.292,0.329,0.424,0.542; 0.8,0.8) \otimes$$

$$[(2.704,3.241,4.143,4.574; 1,1)(2.825,3.335,4.050,4.561; 0.8,0.8)]^{-1}$$

$$= (0.286,0.320,0.442,0.466; 1,1)(0.292,0.329,0.424,0.542; 0.8,0.8) \otimes$$

$$(0.218,0.241,0.308,0.369; 1,1)(0.219,0.246,0.299,0.353; 0.8,0.8)$$

$$= (0.062,0.077,0.106,0.172; 1,1)(0.064,0.081,0.127,0.192; 0.8,0.8)$$

Tablo 7'de elde edilen \tilde{p}_i değerleri verilmiştir.

Tablo 7: C1 Kriterine Göre Elde Edilen \tilde{p}_i Değerleri

| \tilde{p}_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.

Tablo 8: Kriterler Altında Alternatiflerin Öncelik Değerleri

| Öncelik değerleri | | |
|-------------------|--|--|
| C1 kriterine göre | C2 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) | (0.461,0.444,0.542,0.416; 1,1)(0.366,0.463,0.627,0.758; 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) | (0.341,0.302,0.352,0.532; 1,1)(0.264,0.312,0.407,0.504; 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) | (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 | C4 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) | (0.087,0.109,0.155,0.250; 1,1)(0.086,0.115,0.199,0.341; 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) | (0.154,0.211,0.287,0.643; 1,1)(0.157,0.225,0.375,0.573; 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) | (0.249,0.391,0.557,1.141; 1,1)(0.265,0.423,0.732,1.047; 0.8,0.8) |
| C5 kriterine göre | C6 kriterine göre | |
| A1 | (0.119,0.137,0.175,0.221; 1,1)(0.117,0.142,0.203,0.283; 0.8,0.8) | (0.078,0.098,0.129,0.216; 1,1)(0.080,0.103,0.160,0.240; 0.8,0.8) |
| A2 | (0.296,0.377,0.460,0.702; 1,1)(0.301,0.395,0.544,0.669; 0.8,0.8) | (0.196,0.270,0.372,0.754; 1,1)(0.207,0.286,0.463,0.681; 0.8,0.8) |
| A3 | (0.248,0.299,0.365,0.587; 1,1)(0.248,0.312,0.430,0.551; 0.8,0.8) | (0.263,0.384,0.499,0.893; 1,1)(0.283,0.409,0.631,0.836; 0.8,0.8) |
| C7 kriterine göre | | |
| A1 | (0.052,0.067,0.093,0.184; 1,1)(0.054,0.071,0.122,0.200; 0.8,0.8) | |
| A2 | (0.161,0.226,0.312,0.728; 1,1)(0.171,0.241,0.413,0.647; 0.8,0.8) | |
| A3 | (0.243,0.405,0.596,1.281; 1,1)(0.272,0.441,0.793,1.169; 0.8,0.8) | |

Tablo 9: 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) |
| C4 | (0.071,0.104,0.197,0.275; 1,1)(0.077,0.108,0.180,0.255; 0.8,0.8) |
| C5 | (0.021,0.029,0.059,0.094; 1,1)(0.022,0.030,0.053,0.084; 0.8,0.8) |
| C6 | (0.012,0.017,0.032,0.047; 1,1)(0.013,0.017,0.028,0.043; 0.8,0.8) |
| C7 | (0.026,0.037,0.072,0.105; 1,1)(0.027,0.038,0.066,0.096; 0.8,0.8) |

Öncelik değerlerinin hesaplanmasından sonra alternatiflerin yerel ağırlıkları elde edilir. Alternatiflerin yerel ağırlıkları, her bir alternatifin öncelik değeri ile ilgili kriterin ağırlıklarının çarpılması ile bulunur. Tablo 8 ve Tablo 9'de elde edilen ağırlıkların kullanılması ile alternatiflerin yerel ağırlık değerleri Tablo 10'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 10: Alternatiflerin Yerel Ağırlık Değerleri

| Yerel ağırlık değerleri | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | A1 | A2 | A3 |
| C1 | (0.005,0.008,0.020,0.054;1,1) | (0.018,0.030,0.074,0.212; 1,1) | (0.023,0.039,0.096,0.261; 1,1) |
| | (0.005,0.010,0.026,0.056;0.8,0.8) | (0.021,0.039,0.098,0.184; 0.8,0.8) | (0.026,0.052,0.128,0.230; 0.8,0.8) |
| C2 | (0.029,0.040,0.091,0.096; 1,1) | (0.021,0.027,0.059,0.123; 1,1) | (0.006,0.008,0.018,0.038; 1,1) |
| | (0.024,0.043,0.096,0.16300; 0.8,0.8) | (0.018,0.029,0.063,0.108; 0.8,0.8) | (0.005,0.008,0.018,0.033; 0.8,0.8) |
| C3 | (0.154,0.181,0.431,0.348; 1,1) | (0.055,0.061,0.145,0.386; 1,1) | (0.025,0.025,0.062,0.184; 1,1) |
| | (0.101,0.199,0.509,0.940; 0.8,0.8) | (0.036,0.066,0.170,0.331; 0.8,0.8) | (0.016,0.028,0.072,0.153; 0.8,0.8) |
| C4 | (0.006,0.011,0.031,0.069; 1,1) | (0.011,0.022,0.057,0.177; 1,1) | (0.018,0.041,0.110,0.314; 1,1) |
| | (0.007,0.012,0.036,0.087; 0.8,0.8) | (0.012,0.024,0.068,0.146; 0.8,0.8) | (0.020,0.046,0.132,0.267; 0.8,0.8) |
| C5 | (0.002,0.004,0.010,0.021; 1,1) | (0.006,0.011,0.027,0.066; 1,1) | (0.005,0.009,0.021,0.055; 1,1) |
| | (0.003,0.004,0.011,0.024; 0.8,0.8) | (0.007,0.012,0.029,0.056; 0.8,0.8) | (0.005,0.009,0.023,0.046; 0.8,0.8) |
| C6 | (0.001,0.002,0.004,0.010; 1,1) | (0.002,0.004,0.012,0.036; 1,1) | (0.003,0.006,0.016,0.042; 1,1) |
| | (0.001,0.002,0.005,0.010; 0.8,0.8) | (0.003,0.005,0.013,0.029; 0.8,0.8) | (0.004,0.007,0.018,0.036; 0.8,0.8) |
| C7 | (0.001,0.002,0.007,0.019; 1,1) | (0.004,0.008,0.023,0.076; 1,1) | (0.006,0.015,0.043,0.134; 1,1) |
| | (0.001,0.003,0.008,0.019; 0.8,0.8) | (0.005,0.009,0.027,0.062; 0.8,0.8) | (0.007,0.017,0.052,0.112; 0.8,0.8) |

Tablo 11: Alternatiflerin Son (Global) Ağırlık Değerleri

| Son ağırlık değerleri | | | |
|-----------------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| | Aralık Tip-2 global ağırlıklar | Durulaştırılmış değerler (Kesin değerler) | Normalize edilmiş değerler |
| A1 | (0.198,0.247,0.594,0.617; 1,1) | 0.507 | 0,389 |
| | (0.142,0.273,0.691,1.299; 0.8,0.8) | | |
| A2 | (0.118,0.163,0.395,1.076; 1,1) | 0.411 | 0,315 |
| | (0.100,0.185,0.467,0.917; 0.8,0.8) | | |
| A3 | (0.086,0.143,0.366,1.028; 1,1) | 0.383 | 0,294 |
| | (0.084,0.167,0.443,0.877; 0.8,0.8) | | |

Yapılan aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi sonucunda alternatiflerin sıralanmaları $3PTL1 > 3PTL2 > 3PTL3$ olarak elde edilmiştir. Hesaplamaların sonucunda 3PTL firma seçiminde en iyi alternatifin birinci alternatif, en kötü alternatifin ise üçüncü alternatif olduğu elde edilmiştir.

4. SONUÇ

Son yıllarda artan baskılar ve rekabet koşulları nedeniyle, işletmeler rekabetçi pazar ortamında avantaj elde edebilmek ve ayakta kalabilmek için iyi tasarlanmış bir tedarik zinciri ağına ihtiyaç duyarlar. Tersine lojistik de işletmeler için maliyetleri düşürmek, müşteri memnuniyet düzeyini artırmak ve sosyal sorumluluğu yerine getirmek gibi ihtiyaçlar sebebi ile işletmeler için bu avantajları elde etmenin yollarından birisidir. İşletmeler tersine lojistik ağı karlılığını ve müşteri memnuniyet düzeyini artırmak için kendi öz uygulamaları dışında dış kaynaklara yönelmişlerdir. Bu nedenle, 3PTL firma seçimi tedarik zinciri ağına önemli bir sorun haline gelmiştir.

3PTL firma seçimi uygulamada karar vericilerin görüşlerindeki belirsizliklerden etkilenmektedir ve bu tür problemlerin çözümü için bulanık küme teorisi bir araç olabilmektedir. Tip-1 bulanık kümelerdeki belirsizlikleri daha iyi yansıtabilmek için tip-1 bulanık kümeler tip-2 bulanık kümelere genişletilmiştir. Bu çalışmada, en iyi 3PTL firma seçimi için yedi kriter ve üç alternatif ile Buckley'in aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. İlk önce bir komite oluşturulmuş ve komitedeki uzmanların yargıları aralık tip-2 bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Daha sonra en uygun alternatifin belirlenebilmesi için aralık tip-2 bulanık

AHP yöntemi kullanılmıştır. Uygulama sonucunda alternatif sıralamaları $3PTL1 > 3PTL2 > 3PTL3$ olarak elde edilmiştir. Bu çalışma, aralık tip-2 bulanık sayıları 3PTL firma seçiminde ele alan ilk çalışmadır. Uygulama sonucunda aralık tip-2 bulanık AHP yönteminin nasıl uygulanabileceği ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

İleriki çalışmalarda aralık tip-2 bulanık Bulanık sayılar diğer AHP yöntemlerine örneğin, Chang (1996) veya Van Laarhoven ve Pedrycz (1983)'in yöntemine genişletilebilir. Ayrıca ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS, VIKOR ve MOORA gibi yöntemleri 3PTL firma seçiminde kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Buckley, J. J. (1985), *Fuzzy hierarchical analysis*, Fuzzy Sets and Systems, 17(3), 233-247.
- Celik, Erkan; Gumus, Alev Taskin ve Alegoz, Mehmet (2014), *A trapezoidal type-2 fuzzy MCDM method to identify and evaluate critical success factors for humanitarian relief logistics management*, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 27(6), 2847-2855.
- Chang, Da-Yong (1996), *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*, European Journal of Operational Research, 95(3), 649-655.
- Chen, Shyi-Ming ve Lee, Li-Wei (2010), *Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method*, Expert Systems with Applications, 37(4), 2790-2798.
- Chen, Shyi-Ming ve Lee, Li-Wei (2010), *Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the ranking values and the arithmetic operations of interval type-2 fuzzy sets*, Expert Systems with Applications, 37(1), 824-833.
- Efendigil, Tuğba; Önüt, Semih ve Kongar, Elif (2008), *A holistic approach for selecting a third-party reverse logistics provider in the presence of vagueness*, Computers & Industrial Engineering, 54(2), 269-287.
- Ertugut, Ramazan (2016), *Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi* (1. Baskı), Ankara, Nobel Yayın.
- Govindan, Kannan ve Murugesan, P. (2011), *Selection of third-party reverse logistics provider using fuzzy extent analysis, Benchmarking: An International Journal*, 18(1), 149-167.
- Govindan, Kannan; Palaniappan, Murugesan; Zhu, Qinghua ve Kannan, Devika (2012), *Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural modeling*, International Journal of Production Economics, 140(1), 204-211.
- Göl, Hakan ve Çatay, Bülent (2007), *Third-party logistics provider selection: insights from a Turkish automotive company*, Supply Chain Management: An International Journal, 12(6), 379-384.
- Jayant, A.; Gupta, P.; Garg, S. K. ve Khan, M. (2014), *TOPSIS-AHP based approach for selection of reverse logistics service provider: A case study of mobile phone industry*, Procedia Engineering, 97, 2147-2156.
- Kafa, Nadine; Hani, Yasmina ve El Mhamedi, Abederrahman (2014), *A Fuzzy Multi Criteria Approach for Evaluating Sustainability Performance of Third - Party Reverse Logistics Providers*, IFIP Advances in Information and Communication Technology, 439, 270-277.
- Kahraman, Cengiz; Öztaysi, Başar; Uçal Sarı, İrem ve Turanoğlu, Ebru (2014), *Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets*, Knowledge-Based Systems, 59, 48-57.
- Kannan, Govindan; Pokharel, Shaligram ve Kumar, P. Sasi (2009), *A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider*, Resources, Conservation and Recycling, 54(1), 28-36.
- Kiliç, Mesut ve Kaya, İhsan (2016), *The prioritisation of provinces for public grants allocation by a decision-making methodology based on type-2 fuzzy sets*, Urban Studies, 53(4), 755-774.
- Liu, Hao-Tien ve Wang, Wei-Kai (2009), *An integrated fuzzy approach for provider evaluation and selection in third-party logistics*, Expert Systems with Applications, 36(3, Part 1), 4387-4398.
- Mendel, Jerry M. (2007), *Advances in type-2 fuzzy sets and systems*, Information Sciences, 177(1), 84-110.
- Mendel, Jerry M. (2007), *Type-2 Fuzzy Sets and Systems: An Overview [corrected reprint]*, IEEE Computational Intelligence Magazine, 2(2), 20-29.
- Mendel, Jerry M.; John, Robert I. ve Liu, Feilong (2006), *Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 14(6), 808-821.
- Momeni, Ehsan; Azadi, Majid ve Saen, Reza Farzipoor (2015), *Measuring the efficiency of third party reverse logistics provider in supply chain by multi objective additive network DEA model*, International Journal of Shipping and Transport Logistics, 7(1), 21-41.
- Karnik, Nilesh N. ve Mendel, Jerry M. (2001), *Operations on type-2 fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, 122(2), 327-348.
- Oztaysi, Başar (2015), *A Group Decision Making Approach Using Interval Type-2 Fuzzy AHP for Enterprise Information Systems Project Selection*, J. of Mult.-Valued Logic & Soft Computing, 24, 475-500.
- Özbek, Aşır ve Eren, Tamer (2013), *Analitik Ağ Süreci Yaklaşımıyla Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firma Seçimi*, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 27(1), 95-113.

- Özkan, Betül; Kaya, İhsan; Cebeci, Ufuk ve Başlıgil, Hüseyin (2015), *A Hybrid Multicriteria Decision Making Methodology Based on Type-2 Fuzzy Sets For Selection Among Energy Storage Alternatives* International Journal of Computational Intelligence Systems, 8(5), 914-927.
- Sasikumar, P. ve Haq, A. Noorul (2011), *Integration of closed loop distribution supply chain network and 3PRLP selection for the case of battery recycling*, International Journal of Production Research, 49(11), 3363-3385.
- Senthil, S., Srirangacharyulu, B. ve Ramesh, A. (2014), *A robust hybrid multi-criteria decision making methodology for contractor evaluation and selection in third-party reverse logistics*, Expert Systems with Applications, 41(1), 50-58.
- Tavana, Madjid; Zareinejad, Mohsen; Di Caprio, Debora ve Kaviani, Mohamad Amin (2016), *An integrated intuitionistic fuzzy AHP and SWOT method for outsourcing reverse logistics*, Applied Soft Computing Journal, 40, 544-557.
- Van Laarhoven, P. J. M. ve Pedrycz, W. (1983), *A fuzzy extension of Saaty's priority theory*, Fuzzy Sets and Systems, 11(1), 229-241.
- Zadeh, L. A. (1975), *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I*, Information Sciences, 8(3), 199-249.
- Zarandi, Mohammad Hossein Fazel; Sisakht, Ali Haddad ve Davari, Soheil (2011), *Design of a closed-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 56(5), 809-821.