

---

## TEDARİKÇİ DEĞERLENDİRME VE SİPARİŞ MİKTARI BELİRLEME PROBLEMİ İÇİN BULANIK BİR YAKLAŞIM

---

Fatma DEMİRCAN KESKİN<sup>1</sup> Yunus KAYMAZ<sup>2</sup> İnanç KABASAKAL<sup>3</sup> Haluk SOYUER<sup>4</sup>

### Öz

Tedarikçi seçme ve değerlendirme süreci uzun yıllardır literatürde yoğun ilgi gören, işletmelerin rekabet gücü üzerinde önemli etkileri olan bir süreçtir. Tedarikçi seçimi, bir dizi potansiyel tedarikçi arasından, belirlenen kriterleri en iyi şekilde karşılayan bir ya da belirli sayıdaki tedarikçinin belirlenmesi problemidir. Tedarikçilerin seçilmesinin ardından işletmelerin amaçlarını eniyileyecek şekilde hangi tedarikçiden hangi dönemde hangi ürün ya da ürün grubu için ne miktarda sipariş verilmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tedarikçi değerlendirme ve sipariş atama problemi bütünlük bir yaklaşımla ele alınmıştır. Karar verme sürecinin içerdiği belirsizliği yansıtabilmek için problem bulanık ortamda değerlendirilmiştir. Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında, tedarikçi değerlendirmede kullanılan kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesinde Bulanık AHP'nin bulanık ikili karşılaştırma yaklaşımı, tedarikçilerin kriterler altında değerlendirilmesi ve puanlanmasında ise Bulanık TOPSIS kullanılmıştır. Tedarikçilere siparişlerin atamasının yapıldığı ikinci aşamada ise bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmada önerilen yaklaşımın uygulaması Türkiye'de otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın problemi üzerinde yapılmış, belirlenmiş olan amaçlar ve elde bulunan kısıtlar doğrultusunda alternatif tedarikçiler değerlendirilerek sipariş atamaları gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Tedarikçi Seçimi, Sipariş Miktarı Belirleme, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama*

**JEL Sınıflandırması:** M10, M11, M19

---

## A FUZZY APPROACH FOR SUPPLIER EVALUATION AND ORDER ALLOCATION PROBLEM

---

### Abstract

The supplier selection and evaluation is a problem that has received a great deal of attention in the literature. Both have significant effects on companies' competitiveness. The supplier selection problem relates to the selection of a particular number of suppliers that best satisfy the constraints among a number of candidates. After selecting the qualified suppliers, it is necessary to determine the order quantities for each supplier for each product in each considered period in a way to optimize the objectives of companies. In this study, an integrated approach is proposed for supplier evaluation and order allocation problem with multiple products and multiple periods. We handle this problem under fuzzy environment to reflect the uncertainty of the decision-making process. In the first phase of the proposed approach, the fuzzy pair-wise comparison step of fuzzy AHP is used to determine the importance weights of the considered supplier evaluation criteria and fuzzy TOPSIS is used to evaluate and score the suppliers under these criteria. In the second phase, fuzzy multi-objective linear programming is used to assign order quantities to the evaluated suppliers. The proposed approach is applied to the problem of a company operating in the automotive industry in Turkey.

**Keywords:** *Supplier Selection, Order Allocation, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy Multi-Objective Linear Programming*

**JEL Classification:** M10, M11, M19

---

<sup>1</sup> Araş. Gör. Dr., Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, fatma.demircan.keskin@ege.edu.tr

<sup>2</sup> Araş. Gör., Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, yunus.kaymaz@ege.edu.tr

<sup>3</sup> Araş. Gör., Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, inanç.kabasakal@ege.edu.tr

<sup>4</sup> Prof. Dr., Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, haluk.soyuer@ege.edu.tr

## 1. Giriş

Tedarikçi seçimi, tedarik zincirlerinin başarısında büyük bir öneme sahiptir. Tedarikçi seçimi çok sayıda kriterin göz önünde bulundurulduğu bir süreçtir (Ng, 2008: 1059). Tedarikçi seçimi problemi en temel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. İlk kategoride tüm alternatif tedarikçiler bireysel olarak satın alıcı firmanın tüm ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Bu durumda verilmesi gereken karar, sadece hangi tedarikçi ile çalışılması gerektiğinin belirlenmesi kararıdır. İkinci kategoride ise, alternatif tedarikçilerin hiçbiri satın alıcı firmanın talebini bireysel olarak karşılayamamaktadır. Bu durumda verilmesi gereken karar hem tedarikçilerin seçilmesi hem de bu tedarikçilere atanması gereken siparişlerin belirlenmesi kararıdır (Ghodsypour ve O'Brien, 1998: 200). Bu çalışmada ele alınan problem tedarikçi seçimi ve sipariş miktarı belirleme problemlerinin bütünlük olarak ele alındığı, ikinci kategoriye giren bir problemdir. Tedarikçi seçimi ve değerlendirmesi sürecinin içerdiği belirsizliği yansıtabilme için problem bulanık ortamda ele alınmış ve problemin çözümü için iki aşamalı bir yaklaşım ortaya konmuştur. Çalışmada tedarikçileri değerlendirmede kullanılan kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesinde literatürde sıklıkla başvurulan Bulanık AHP'nin bulanık ikili karşılaştırma yaklaşımı, tedarikçilerin değerlendirilmesinde ise literatürde başarılı uygulamaları bulunan Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. İkinci aşamada ise tedarikçilere siparişlerin atanması bulanık çok amaçlı doğrusal programlama ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde tedarikçi seçimi ve sipariş atama problemini ele alan çalışmalardan ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemlerden bahsedilmektedir. Bir sonraki bölümde çalışmada uygulanan iki aşamalı yaklaşıma, bu yaklaşımın tüm aşamalarında kullanılan yöntemlerin uygulama basamaklarına değinilmektedir. Dördüncü bölümde çalışmada ele alınan problemin özellikleri, oluşturulan çok amaçlı doğrusal programlama modeli, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli ve eşdeğer doğrusal programlama modeli sunulmaktadır. Beşinci bölümde bulgular, son bölümde ise sonuç ve öneriler ifade edilmektedir.

## 2. Literatür Analizi

Tedarik zinciri yönetiminin temel amaçlarından birisi pazardaki talebin karşılanması olduğu için, etkin bir tedarik zinciri oluşturmak üzere tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Chen, 2011:1651). Tedarikçi seçiminde mevcut tedarikçiler arasında seçim yapılabileceği gibi kimi zaman yeni tedarikçi seçimi gereksinimi ortaya çıkmakta, her iki durumda da tedarikçi seçimi organizasyonun ve tüm tedarik zincirinin performansına ilişkin önem taşımaktadır (Junior vd., 2014:194).

Ho vd. (2010:16), tedarik zinciri bağlamında tedarikçi seçimine ilişkin son yıllarda ortaya konulan çalışmalarda birden çok maliyet faktörünün bir arada değerlendirilmeye katıldığı ve tedarikçi seçimi için aralarında AHP, ANP, veri zarflama analizi, genetik algoritmalar, matematiksel programlama gibi yöntemlerin de bulunduğu çeşitli sayıda çok kriterli seçim yönteminin kullanıldığını belirtmiştir. Aynı çalışmada (Ho vd., 2010:22) 2000-2008 yılları arası tedarikçi seçimi problemiyle ilgili çalışmalarda en sık başvurulan yöntemin veri zarflama analizi olduğu saptanmış, bütünlük yöntemler arasında ise en sık karşılaşılanın AHP ve Genetik Programlama olduğu ifade edilmiştir. Boran vd. (2009:11363), çok kriterli bir grup karar verme problemi olarak tedarikçi seçiminin birbiriyle çatışan kriterler içermesi ve kesin olmayan bilgiye dayalı bir karar süreci gerektirmesi nedeniyle zor bir problem olduğunu belirtmiştir. Wang vd. (2009:377), TOPSIS yönteminde ideal çözüme yakınlığın yanı sıra negatif ideal çözümden uzaklığın da gözetildiğinin altını çizmiş; lityum-iyon bataryaların bütünlük devrelerinde tedarikçi seçimi için bulanık hiyerarşik TOPSIS yöntemine dayalı bir model öne sürmüştür.

Chai vd. (2013) 2008-2012 yılları arası tedarik seçimi problemlerine ilişkin çalışmaları sistematik bir biçimde irdemiş ve tedarik seçiminde ele alınan karar verme yöntemlerini sınıflandırmıştır. Buna göre tedarikçi seçiminde öne çıkan karar verme yöntemleri çok kriterli karar verme teknikleri, matematiksel programlama teknikleri ve yapay zeka teknikleri olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma

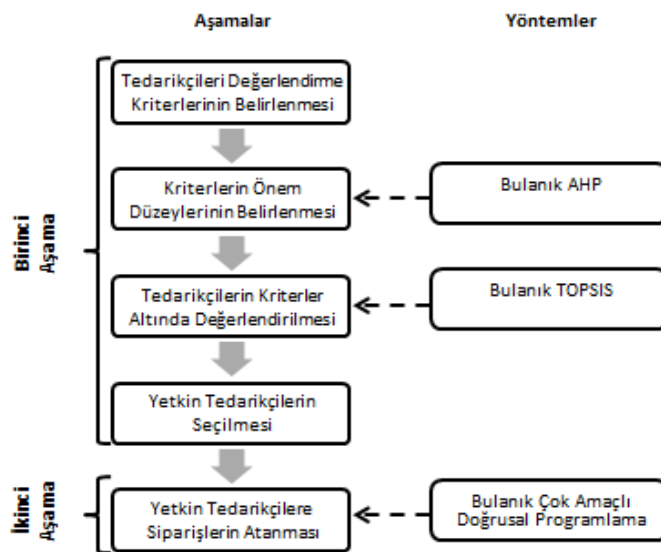
sonucunda çok kriterli karar verme teknikleri arasında en sık kullanılanların AHP, TOPSIS ve ANP olduğu; matematiksel programlama teknikleri arasında en sık kullanılanların doğrusal programlama, çok amaçlı programlama ve veri zarflama analizi olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte çalışmada yapay zeka teknikleri arasında en sık kullanılanların da genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Jadidi vd. (2008), sevkiyat konumları ve en iyi tedarikçilerin belirlenmesi adına iki aşamalı bütünlük bir yaklaşım uygulamışlardır. Yazarlar, çalışmalarında ilk aşamada TOPSIS yöntemi kullanılarak nitel ve nicel kriterler belirlenmiştir. İkinci aşamada ise ağırlıklar amaç fonksiyonunda yer alan toplam satın alım değerinin katsayısı olarak kullanılmıştır. Tedarikçi seçimi ve sipariş miktarının aynı anda bütünlük olarak belirlenmesi yönelik yapılan bir diğer çalışmada ise Alyanak ve Armaneri (2009), analitik hiyerarşi süreci ile akü üreticisi bir işletmenin tedarikçi seçimi ve talep atama problemini ele almışlardır. Çalışmalarının sonucunda önerilen modelin avantajlarını belirten yazarlar, sayılamayan ve sayılabilen faktörlerin sürece dahil edilebildiğini ifade etmiştir. Ayrıca önerilen modelde ikili karşılaştırmalar ile insan kararlarına olan bağlılığın azaltıldığı, kriter ağırlıkları ve tedarikçilerin sıralamasının sistematik bir şekilde yapılabildiği, kurumsal stratejilerin satın alım faaliyetlerine yansıtılabildiği ve “eğer” senaryolarının oluşturulabileceği tartışılmıştır. Jolai vd. (2011), Bulanık TOPSIS ve çok amaçlı hedef programlaması ile çok ürün ve çok tedarikçili bir problem üzerinde çalışmışlardır. Fazlollahtabar vd. (2011), iki aşamalı olarak bir elektronik firması için çok amaçlı karar verme süreci kapsamında tedarikçilerin seçimi konusunu incelemişlerdir. Yazarlar çalışmalarında AHP ve TOPSIS yöntemlerini birleştirmişlerdir.

Son yıllarda tedarikçi seçimine ilişkin çalışmalarda çevresel etkinin göz önünde tutulması için emisyon kriterine yer veren çalışmalara da rastlanmaktadır. Böylebir çalışmada Shaw vd. (2012), Bulanık AHP ve bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yöntemlerini bütünlük olarak kullanmışlar ve kısıt olarak karbon emisyonu düşük tedarikçilerin seçimini ele almışlardır. Bununla birlikte Kumar vd. (2014) emisyon kriterine yer verilen veri zarflamaya dayalı bir tedarikçi seçim modeli öne sürmüşlerdir.

### 3. Tasarım ve Yöntem

Çalışmada tedarikçi değerlendirme ve sipariş miktarı belirleme problemi bütünlük olarak iki aşamalı bir yaklaşım ile ele alınmıştır. Gerçek hayatta karşılaşılan tedarikçi seçimi problemleri, karar ortamını belirsizleştiren çok sayıda faktörü içermektedir. Bu belirsizliğin deterministik modellerle açıklanması mümkün olmamaktadır (Kumar, Vrat ve Shankar, 2006). Bu noktadan hareketle bu çalışmada ele alınan problem bulanık ortamda değerlendirilmiştir.

Şekil 1: Uygulanan İki Aşamalı Yaklaşım



Çalışmada Jolai vd. (2011)'in yaklaşımına benzer olacak şekilde iki aşamalı bir yaklaşım sunulmaktadır. Yaklaşımın ilk aşamasında, tedarikçilerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesi için Bulanık AHP'nin bulanık ikili karşılaştırma yaklaşımından yararlanılmaktadır. Tedarikçilerin göz önünde bulundurulmuş kriterlere göre performans olarak sıralanmasında ise Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmaktadır. Yaklaşımın ikinci aşamasında, ilk aşamada değerlendirilmiş olan tedarikçilere hangi dönemlerde hangi ürünlerden ne kadar sipariş verilmesi gerektiği bulanık çok amaçlı doğrusal programlama ile belirlenmektedir. Çalışmada kullanılan iki aşamalı yaklaşım Şekil 1'de sunulmuştur.

### 3.1. Birinci Aşama: Tedarikçilerin Değerlendirilmesi

#### 3.1.1. Tedarikçilerin Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Tedarikçi değerlendirme ve sipariş miktarı belirleme kararları, işletmeler için büyük önem taşıyan ve çeşitli kriterler altında verilmesi gereken kararlardır. Bu kararlar verilirken, ele alınan işletmenin faaliyette bulunduğu sektörün ve tedarik edilecek birimlerin özellikleri gibi birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Yetkin tedarikçileri seçebilmek ve bu tedarikçilere atanacak sipariş miktarlarını doğru belirleyebilmek, değerlendirme kriterlerinin doğru belirlenmesi ile mümkün olabilecektir. Bu çalışmada, tedarikçi değerlendirmede kullanılan kriterler uygulamanın gerçekleştirildiği firmada oluşturulan karar verme grubunun görüşleri ve yapılan literatür incelemesi sonucunda (Amid vd., 2006; Jolai vd., 2011) belirlenmiştir. Çalışmanın uygulama bölümünde, karar verici grup ve kriterler hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

#### 3.1.2. Kriterlerin Önem Düzeylerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada alternatif tedarikçileri değerlendirmede kullanılacak olan kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesinde Bulanık AHP'nin bulanık ikili karşılaştırma yaklaşımı kullanılmıştır. Literatürde en sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP'nin niteliksel niceliksel veriyi etkin bir şekilde ele alabilmesi, uygulamasının ve anlaşılabilirliğinin görece olarak kolay olması en önemli avantajlarından biridir (Kahraman vd., 2004: 173). Bu çalışmada karar vericilerin kriterlerin ikili karşılaştırmalarında üçgensel bulanık sayı yapısı kullanılmıştır. Üçgensel bulanık sayılar, kolay anlaşılır olmaları ve hesaplama kolaylığı sunmaları nedeniyle en çok tercih edilen bulanık sayıların başında gelmektedir (Shaw vd., 2012: 8184; Taylan vd., 2014: 106; Çebi ve Otay, 2016: 156). Tablo 1'de kriterlerin ikili karşılaştırmalarında kullanılan dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonları sunulmuştur.

Tablo 1: Kriterlerin Önem Düzeyleri İçin Dilsel Değişkenler ve Üyelik Fonksiyonları

| Önem derecesi | Bulanık Sayı | Dilsel terim            | Üyelik Fonksiyonu |
|---------------|--------------|-------------------------|-------------------|
| 9             | $\tilde{9}$  | Son derece önemli (SDÖ) | (8,9,10)          |
| 7             | $\tilde{7}$  | Çok önemli (ÇÖ)         | (6,7,8)           |
| 5             | $\tilde{5}$  | Önemli (Ö)              | (4,5,6)           |
| 3             | $\tilde{3}$  | Orta önemli (OÖ)        | (2,3,4)           |
| 1             | $\tilde{1}$  | Eşit önemli (EÖ)        | (1,1,1)           |

Kaynak: Rebiasz ve Maciof 2015: 553; Büyüközkan ve Güleriyüz, 2016: 894

Karar vericilerin oluşturduğu ikili karşılaştırma matrislerinin bütünleştirilmesinde literatürde farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bütünleştirme işlemi bu çalışmada Buckley (1985)'in uyguladığı geometrik ortalama tekniği ile gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1.3. Tedarikçilerin Kriterler Altında Değerlendirilmesi

Alternatif tedarikçileri değerlendirmede kullanılan kriterlerin önem düzeyinin belirlenmesinin ardından, bu alternatiflerin göz önünde bulundurulmuş kriterler altında değerlendirilerek puanlanması ve sıralanması aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada, pozitif ve negatif ideal çözümün birlikte göz önünde bulundurulduğu, çok kriterli karar verme yöntemlerinin en çok tercih edilen yöntemlerinden biri olan (Boran vd. 2009: 11364) Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada uygulanan, Chen vd.(2006) tarafından geliştirilen Bulanık TOPSIS yönteminin, kriter ağırlıklarının belirlenmesinden sonraki aşamaları şu şekildedir:

**Adım 1:** Karar vericiler, alternatifleri Tablo 1’de ifade edilen dilsel değişkenleri kullanarak kriter bazında değerlendirmektedir. Bunun ardından değerlendirmeler bütünleştirilmektedir

**Adım 2:** Elde edilen bu değerler normalizasyon işlemine tabii tutulmaktadır. Normalize bulanık karar matrisi  $\tilde{R}$  ile gösterilmektedir. Aşağıda edilmiş bulanık karar matrisinin ifade edilişi ve normalizasyon işlemine ait olan eşitlikler verilmiştir. Bu eşitliklerden ilki fayda, ikincisi ise maliyet durumunda kullanılmaktadır.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

Eşitlik (1)’de,

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), j \in B$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), j \in C$$

$$c_j^* = \max_{ij} c_{ij} \quad j \in B,$$

$$a_j^- = \min_{ij} a_{ij} \quad j \in C$$

**Adım 3:** Normalize bulanık karar matrisi , kriterlerin ağırlık vektörü ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi  $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$   $i=1,2,\dots,m$  ,  $j=1,2,\dots,n$  elde edilmektedir. Bu matrisin elemanları aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. Bu matriste yer alan her bir eleman  $\tilde{v}_{ij}$  [0,1] aralığında yer almaktadır.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{w}_j$$

(2)

**Adım 4:** Bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS,  $\tilde{A}^+$ ) ile bulanık negatif ideal çözüm (FNIS,  $\tilde{A}^-$ ) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmektedir.

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+)$$

(3)

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$$

(4)

Eşitlik (3) ve (4)’te,

$$\tilde{v}_j^+ = \max_i \{v_{j3}\}, \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{j1}\}$$

**Adım 5:** Bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlerin elde edilmesinden sonra her bir alternatifin FPIS ve FNIS’ten uzaklığı belirlenmektedir.

$$d_{i+} = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_j, \tilde{v}_j^+)$$

(5)

$$d_{i-} = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_j, \tilde{v}_j^-)$$

(6)

Burada  $d_v(.,.)$  iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir. Ayırma mesafeleri sonucu elde edilen değerler bulanık sayılar olmayıp gerçek sayıları ifade etmektedir.

**Adım 6:** Son adımda ideal çözüme göreli yakınlık ( $CC_i$ ) hesaplanmaktadır.  $CC_i$  bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüme uzaklığı aynı anda dikkate almaktadır.

$$CC_i = \frac{d_{i-}}{d_{i+} + d_{i-}}, \quad i=1,2,\dots,m \quad (7)$$

### 3.1.4. Yetkin Tedarikçilerin Seçilmesi

Yetkin tedarikçilerin seçilme aşaması, sipariş miktarı belirleme aşamasına geçecek tedarikçilerin belirlendiği aşamadır. Bu aşamada, Jolai vd. (2011)'in çalışmalarında uyguladığı, Bulanık TOPSIS ile elde edilen  $CC_i$  değerlerinin normalize edilmesi ve belirlenmiş olan eşik değerin altında normalize  $CC_i$  değerine sahip olan alternatiflerin sipariş atama aşaması öncesi elenmesi yaklaşımı kullanılmıştır. Alternatiflerin  $CC_i$  değerlerinin normalizasyon formülü aşağıda sunulmuştur.

$$Rank_i = \frac{CC_i - CC_i^{min}}{CC_i^{max} - CC_i^{min}}, \quad i=1,2,\dots,m \quad (8)$$

Rank<sub>i</sub> değeri, belirlenmiş olan eşik değere eşit ya da eşik değerden yüksek olan alternatif tedarikçiler yetkin tedarikçiler olarak belirlenmekte ve ikinci aşama olan sipariş miktarı belirleme aşamasına geçmektedir.

## 3.2. İkinci Aşama: Sipariş Miktarı Belirleme

### 3.2.1. Yetkin Tedarikçilere Siparişlerin Atanması

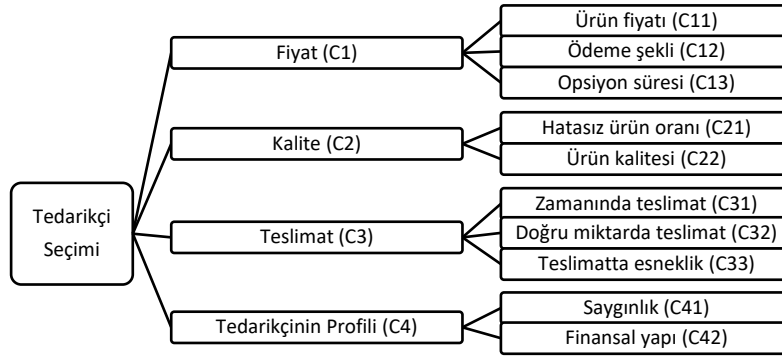
Alternatif tedarikçilerin değerlendirildiği ilk aşamanın ardından, ikinci aşamaya geçebilen tedarikçilere hangi dönemlerde hangi ürünlerden ne kadar sipariş verilmesi gerektiğinin belirlenmesi aşamasına geçilmektedir. Çalışmada tedarikçilere siparişlerin atanması aşamasında birden çok bulanık amaç göz önünde bulundurulmaktadır ve tüm amaç fonksiyonları ve kısıtlar doğrusal olarak ifade edilebilmektedir. Bu nedenle bu aşamada bulanık çok amaçlı doğrusal programlama yaklaşımı uygulanmıştır. Çalışmanın uygulama bölümünde geliştirilen modele ilişkin detaylar sunulmuştur.

## 4. Örnek Uygulama

Bu çalışmada önerilen tedarikçi değerlendirme ve sipariş miktarı belirleme yaklaşımı Türkiye'de otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın gerçek problemi üzerinde uygulanmıştır. Problem, firmanın yılın ikinci yarısında devreye almayı planladığı yeni ticari araç modelinin altında yer alan, bu modele özgü üç farklı ölçüde elektrik kablosunun altı aylık dönem için hangi tedarikçilerden hangi ay hangi miktarda sağlanması gerektiğinin belirlenmesi problemidir. Tedarikçi değerlendirmede kullanılan kriterler, firmanın satın alma direktörü (D1), satın alma müdürü (D2) ve lojistik müdürünü (D3) içeren karar verici grubunun görüşleri ve yapılan literatür incelemesi sonucunda (Amid vd., 2006; Jolai vd., 2011) belirlenmiştir. Kriterlerin hiyerarşik yapısı Şekil 2'de sunulmuştur. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve alternatiflerin kriterler altında değerlendirilmeleri bu karar verici grubu tarafından yapılmıştır.

Karar vericilerin yaptıkları değerlendirmelerin bütünleştirilmesi sonucu elde edilen ana ve alt kriterlerin önem düzeyleri Tablo 2'de sunulmuştur. Karar vericilerin değerlendirmelerinin bütünleştirilmesinde Buckley (1985)'in uyguladığı geometrik ortalama tekniği kullanılmıştır. Karar verme grubunun K karar vericiyi içerdiği durumda karar vericinin bulanık ikili karşılaştırma matrisi  $\tilde{A}^k = [\tilde{a}_{jl}^k]$  şeklinde ifade edilmektedir. Bu durumda,  $C_j$  kriterinin  $C_l$  kriterine göre bulanık karşılaştırma değeri olan  $\tilde{a}_{jl}$ , j kriterinin diğer kriterlere göre bulanık karşılaştırma değerinin geometrik ortalamasını gösteren  $\tilde{e}_j$  ve j. kriterin bulanık ağırlığını ifade eden  $\tilde{w}_j$ 'nin hesaplanışları Eşitlik (9) –(11)'de sunulmuştur (Jolai vd., 2011: 44).

Şekil 2: Tedarikçi Değerlendirmede Kullanılan Kriterlerin Hiyerarşik Yapısı



$$\tilde{a}_{jl} = (\prod_{k=1}^k \tilde{a}_{jl}^k)^{1/k} \quad j=1,2,\dots,n, \quad l=1,2,\dots,n \quad (9)$$

$$\tilde{e}_j = (\tilde{a}_{j1} \otimes \tilde{a}_{j2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{jn})^{1/n} \quad j=1,2,\dots,n \quad (10)$$

$$\tilde{w}_j = \tilde{e}_j \otimes (\tilde{e}_1 \oplus \tilde{e}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{e}_n)^{-1} \quad j=1,2,\dots,n \quad (11)$$

Önem düzeylerinin elde edilmesine kadar gerçekleştirilen tüm Bulanık AHP yönteminin işlem basamaklarına ilişkin tablolar ek bölümünde gösterilmiştir.

Tablo 2: Ana Kriter ve Alt Kriterlerin Bulanık Önem Düzeyleri

| Ana Kriterler | Önem Değeri      | Alt Kriterler | Yerel Önem Düzeyleri | Global Önem Düzeyleri |
|---------------|------------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| C1            | (0.27,0.38,0.51) | C11           | (0.39,0.56,0.78)     | (0.11,0.21,0.40)      |
|               |                  | C12           | (0.21,0.29,0.40)     | (0.06,0.11,0.20)      |
|               |                  | C13           | (0.11,0.15,0.22)     | (0.03,0.06,0.11)      |
| C2            | (0.17,0.24,0.34) | C21           | (0.40,0.50,0.63)     | (0.07,0.12,0.21)      |
|               |                  | C22           | (0.40,0.50,0.63)     | (0.07,0.12,0.21)      |
| C3            | (0.14,0.20,0.28) | C31           | (0.30,0.42,0.56)     | (0.04,0.08,0.16)      |
|               |                  | C32           | (0.22,0.29,0.38)     | (0.03,0.06,0.11)      |
|               |                  | C33           | (0.21,0.29,0.41)     | (0.03,0.06,0.12)      |
| C4            | (0.13,0.18,0.27) | C41           | (0.40,0.50,0.63)     | (0.05,0.09,0.17)      |
|               |                  | C42           | (0.40,0.50,0.63)     | (0.05,0.09,0.17)      |

Bulanık TOPSIS yönteminin uygulanması ile elde edilen alternatif tedarikçilerin ideal çözüme görece yakınlık ve sıralama değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bulanık TOPSIS yönteminin uygulama basamaklarına ilişkin tüm tablolar ek bölümünde sunulmuştur.

Tablo 3: Alternatif Tedarikçilerin Sıralama Değeri

|    | d <sup>+</sup> | d <sup>-</sup> | CC <sub>i</sub> | Rank <sub>i</sub> | Sıralama |
|----|----------------|----------------|-----------------|-------------------|----------|
| A1 | 1,200          | 0,805          | 0,401           | 0,700             | 2        |
| A2 | 1,314          | 0,614          | 0,319           | 0                 | 6        |
| A3 | 1,266          | 0,725          | 0,364           | 0,384             | 4        |
| A4 | 1,141          | 0,885          | 0,437           | 1                 | 1        |
| A5 | 1,196          | 0,799          | 0,400           | 0,692             | 3        |
| A6 | 1,290          | 0,674          | 0,343           | 0,207             | 5        |

Alternatiflerin Rank<sub>i</sub> eşik değeri olarak 0,3 değeri kullanılmıştır. Buna göre 0,3'ten daha düşük Rank<sub>i</sub> değerine sahip olan A2 ve A6 tedarikçileri bu aşamada elenmiştir. Çalışmada önerilen

yaklaşımın ikinci aşamasında kullanılacak olan bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modelini geliştirebilmek için öncelikle, çok amaçlı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model, modelin varsayımları ve verileri, bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli, eşdeğer doğrusal programlama modeliaşağıda sunulmuştur.

#### 4.1. Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli

Bu çalışmada, çok amaçlı doğrusal programlama modeli oluşturulurken Jolia vd. (2011) ve Shaw vd. (2012)'nin çalışmalarında yer alan modellerden yararlanılmıştır. Oluşturulan matematiksel modelin varsayımları, modelde kullanılan indis, parametre, karar değişkeni, amaç ve kısıtlar aşağıda sunulmuştur.

##### Varsayımlar

- Tüm amaç fonksiyonları doğrusaldır.
- Tüm kısıtlar doğrusaldır.
- Ürünlerin başlangıç stoğu bulunmamaktadır.
- Birim stoklama maliyeti dönemler arası farklılık göstermemektedir.
- Siparişi karşılayamama durumuna izin verilmemektedir.
- Amaç fonksiyonlarının erişim düzeyleri ve ürünlerin tüm dönemler için talepleri bulanıktır.
- Bulanık talebin ifade edilmesinde üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.
- Bulanık hedeflerin temsil edilmesinde doğrusal üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.
- Tedarikçilerin saygınlık ve finansal yapısına ilişkin puanının ele alınan dönemler boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir.
- Miktar indirimleri göz önünde bulundurulmamıştır.

##### İndisler

$i = 1, 2, \dots, m$  İlk aşamada belirlenen nitelikli tedarikçiler

$j = 1, 2, \dots, n$  Ürünler

$t = 1, 2, \dots, T$  Dönemler

$k = 1, 2, \dots, K$  Amaçlar

##### Parametreler

$P_{ijt}$   $i$  tedarikçisinin  $j$  ürününü  $t$  periyodunda satış fiyatı (TL)

$Q_{ijt}$   $i$  tedarikçisinin  $j$  ürünü için  $t$  periyodunda beklenen kusur oranı

$L_{ijt}$   $i$  tedarikçisinden  $t$  periyodunda geç teslim alınan  $j$  ürünü oranı

$R_i$   $i$  tedarikçisinin saygınlık ve finansal yapısına ilişkin puanı

$\tilde{D}_{jt}$   $j$  ürününün  $t$  periyodundaki talebi (adet)

$I_{j0}$   $j$  ürününün başlangıç stok miktarı (adet)

$h_{jt}$   $j$  ürününün  $t$  periyodundaki birim stok elde bulundurma maliyeti(TL/adet)

$O_{it}$   $t$  periyodunda  $i$  tedarikçisine bir sipariş vermenin maliyeti (TL/sipariş)

$B_t$   $t$  periyodunda satın alıcı firmanın bütçesi (TL)

$Cap_{ijt}$  periyodunda  $i$  tedarikçisinin  $j$  ürünü üretim kapasitesi (adet)



$ML_j$  t periyodunda i tedarikçisinden j ürününün sipariş edilmesi durumunda sipariş edilebilecek minimum miktar(adet)

$W_{it}$  t periyodunda i tedarikçisinin puanı

$S_t$  t periyodu için toplam satın alma eşik değeri

### Değişkenler

$X_{ijt}$  t periyodunda i tedarikçisinden sipariş verilen j ürünü miktarı

$$y_{ijt} = \begin{cases} 1 & X_{ijt} > 0 \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$z_{it} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } \sum_{j=1}^n X_{ijt} > 0 \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad i = 1, \dots, m \quad t = 1, \dots, T$$

$I_{jt}$ :j ürününün t periyodundaki stok miktarı

### Amaçlar

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T P_{ijt} X_{ijt} \quad (12)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T Q_{ijt} X_{ijt} \quad (13)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T L_{ijt} X_{ijt} \quad (14)$$

$$\text{Max } Z_4 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T R_i X_{ijt} \quad (15)$$

### Kısıtlar

$$I_{j,t-1} + \sum_{i=1}^n (1 - Q_{ijt}) X_{ijt} \geq \tilde{D}_{jt} \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (16)$$

$$I_{j,t} = I_{j,t-1} + \sum_{i=1}^n (1 - Q_{ijt}) X_{ijt} - \tilde{D}_{jt} \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (17)$$

$$X_{ijt} \leq \text{Cap}_{ijt} y_{ijt} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (18)$$

$$X_{ijt} \geq ML_j y_{ijt} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ijt} X_{ijt} + \sum_{i=1}^n O_{it} z_{it} + \sum_{j=1}^m h_{jt} I_{jt} \leq B_t \quad t=1,2,\dots,T \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^n W_{it} \sum_{j=1}^m X_{ijt} \geq S_t \quad t=1,2,\dots,T \quad (21)$$

$$X_{ijt} \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (22)$$

$$I_{ijt} \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (23)$$

$$y_{ijt} \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (24)$$

$$z_{it} \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,m \quad t=1,2,\dots,T \quad (25)$$

$$X_{ijt}, I_{ijt} \text{ tamsayı} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (26)$$

Modelde (12),(13) ve (14) numaralı amaç fonksiyonları sırasıyla satın alma, ürün redleri ve geç teslim alınan ürün miktarını minimize etmeyi; (15) numaralı amaç fonksiyonu ise toplam tedarikçi puanını maksimize etmeyi ifade etmektedir. (16) numaralı kısıt, tüm ürün tipleri ve dönemler için, j ürününün t periyodundaki bulanık talebinin karşılanmasını garanti etmektedir. (17) numaralı kısıt, tüm ürün tipleri ve dönemler için talep stok dengesini ifade etmektedir. (18) numaralı kısıt, tedarikçilerden her ürün ve dönem için sağlanabilecek miktarın, tedarikçinin kapasitesini aşamayacağını; (19) numaralı kısıt ürünlerin minimum sipariş miktarı kısıtına uygun olarak sipariş

edilebileceklerini belirtmektedir. (20) numaralı kısıt bütçeyi, (21) numaralı kısıt ise tüm dönemler için toplam satın alma değerinin belirlenen eşik değerinin altında olamayacağını ifade etmektedir. (22)-(26) numaralı kısıtlar, karar değişkenlerinin negatif olamama durumunu, 0-1 ve tamsayı olması gereken değişkenleri göstermektedir. Modelin parametrelerine ilişkin tüm veriler Tablo 4- 12'de gösterilmiştir.

Tablo 4: Tedarikçilerin Ürün Satış Fiyatı ( $P_{ijt}$ )

|    | Ürün 1 |     |     |     |     |     | Ürün 2 |     |     |     |     |     | Ürün3 |    |    |    |    |    |
|----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----|----|----|----|----|
|    | t1     | t2  | t3  | t4  | t5  | t6  | t1     | t2  | t3  | t4  | t5  | t6  | t1    | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
| A1 | 120    | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 100    | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 70    | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| A3 | 90     | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 75     | 75  | 75  | 75  | 75  | 75  | 80    | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| A4 | 95     | 95  | 95  | 95  | 95  | 95  | 75     | 75  | 75  | 75  | 75  | 75  | 75    | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| A5 | 110    | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 95     | 95  | 95  | 95  | 95  | 95  | 80    | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |

Tablo 5: Ürün Bazında Beklenen Kusur Oranı ( $Q_{ijt}$ )

|    | Ürün 1 |      |      |      |      |      | Ürün 2 |      |      |      |      |      | Ürün3 |      |      |      |      |      |
|----|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
|    | t1     | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   | t1     | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   | t1    | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   |
| A1 | 0,06   | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,06   | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,06  | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,02 |
| A3 | 0,12   | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,12   | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,12  | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,08 |
| A4 | 0,08   | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,08   | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,08  | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 |
| A5 | 0,09   | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,09   | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,09  | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,05 |

Tablo 6: Tedarikçilerden Geç Teslim Alınan Ürün Oranı ( $L_{ijt}$ )

|    | Ürün 1 |      |      |      |      |      | Ürün 2 |      |      |      |      |      | Ürün3 |      |      |      |      |      |
|----|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
|    | t1     | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   | t1     | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   | t1    | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   |
| A1 | 0,14   | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,13   | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,13  | 0,13 | 0,09 | 0,09 | 0,05 | 0,05 |
| A3 | 0,12   | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,04 | 0,04 | 0,12   | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,04 | 0,04 | 0,12  | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,04 | 0,04 |
| A4 | 0,15   | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,15   | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,15  | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 |
| A5 | 0,18   | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,06 | 0,06 | 0,18   | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,06 | 0,06 | 0,18  | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,06 | 0,06 |

Tablo 7: Tedarikçilerin Saygınlık ve Finansal Yapısına İlişkin Puanı ( $R_i$ )

| A1 | A3 | A4 | A5 |
|----|----|----|----|
| 70 | 50 | 80 | 80 |

Tablo 8: Minimum Sipariş Miktarları ( $ML_j$ )

| Ürün 1 | Ürün 2 | Ürün 3 |
|--------|--------|--------|
| 375    | 600    | 1050   |

Tablo 9: Firma Bütçesi ( $B_t$ )

| t1      | t2      | t3      | t4      | t5      | t6      |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 200.000 | 200.000 | 200.000 | 200.000 | 200.000 | 200.000 |

Tablo 10: Ürünlerin Birim Stok Elde Bulundurma Maliyetleri ( $h_{it}$ )

|        | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|--------|----|----|----|----|----|----|
| Ürün 1 | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| Ürün 2 | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| Ürün 3 | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |

Tablo 11: Sipariş Verme Maliyeti ( $O_{it}$ )

|    | t1   | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   |
|----|------|------|------|------|------|------|
| A1 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| A3 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| A4 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| A5 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |

Tablo 12: Tedarikçilerin Dönemlerdeki Puanları ( $W_{it}$ )

|    | t1    | t2    | t3    | t4    | t5    | t6    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A1 | 0,401 | 0,401 | 0,401 | 0,401 | 0,401 | 0,401 |
| A3 | 0,364 | 0,364 | 0,364 | 0,364 | 0,364 | 0,364 |
| A4 | 0,437 | 0,437 | 0,437 | 0,437 | 0,437 | 0,437 |
| A5 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 |

Firmanın satış departmanı, bayilikler ve diğer satış kanalları aracılığıyla yapılacak satışlara ilişkin kötümser, olası ve iyimser talep tahminleri oluşturmuştur. Bu tahminler Tablo 13'te, durulaştırılmış talep değerleri ise Tablo 14'te sunulmuştur.

Tablo 13: Kötümser ( $D_p$ ), Olası ( $D_m$ ) ve İyimser ( $D_o$ ) Talep Miktarları

| Ürünler | t1    |       |       | t2    |       |       | t3    |       |       | t4    |       |       | t5    |       |       | t6    |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | $D_p$ | $D_m$ | $D_o$ | $D_p$ | $D_m$ | $D_o$ | $D_p$ | $D_m$ | $D_o$ | $D_p$ | $D_m$ | $D_o$ | $D_p$ | $D_m$ | $D_o$ | $D_p$ | $D_m$ | $D_o$ |
| 1       | 40    | 50    | 60    | 250   | 300   | 350   | 300   | 375   | 450   | 300   | 375   | 450   | 400   | 450   | 500   | 400   | 450   | 500   |
| 2       | 60    | 80    | 100   | 400   | 480   | 560   | 500   | 600   | 700   | 500   | 600   | 700   | 650   | 720   | 790   | 650   | 720   | 790   |
| 3       | 100   | 140   | 180   | 800   | 840   | 880   | 900   | 1050  | 1200  | 900   | 1050  | 1200  | 1150  | 1260  | 1370  | 1150  | 1260  | 1370  |

Tablo 14:  $\beta=0.5$  için Durulaştırılmış Talep Miktarları

|        | t1  | t2  | t3   | t4   | t5   | t6   |
|--------|-----|-----|------|------|------|------|
| Ürün 1 | 50  | 300 | 375  | 375  | 450  | 450  |
| Ürün 2 | 80  | 480 | 600  | 600  | 720  | 720  |
| Ürün 3 | 140 | 840 | 1050 | 1050 | 1260 | 1260 |

#### 4.2. Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli

Bu çalışmada tedarikçilere siparişlerin atanması problemi bulanık ortamda ele alınmak istendiği için oluşturulan çok amaçlı doğrusal programlama modeli bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Amaç fonksiyonlarının bulanıklaştırılmasında Amid vd. (2006)'nın ortaya koymuş olduğu eşitlikler kullanılmıştır.

Minimizasyon ( $Z_k$ ) ve maksimizasyon amaç fonksiyonları ( $Z_l$ ) için kullanılan doğrusal üyelik fonksiyonları aşağıda ifade edilmiştir (Amid vd., 2006: 399):

**Minimizasyon Amaç Fonksiyonları İçin Üyelik Fonksiyonu:**

$$\mu_{z_k}(x) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } Z_k \leq Z_k^- \\ \frac{Z_k^+ - Z_k(x)}{Z_k^+ - Z_k^-} & \text{Eğer } Z_k^- \leq Z_k(x) \leq Z_k^+, \quad k = 1, 2, \dots, p \\ 0 & \text{Eğer } Z_k \geq Z_k^+ \end{cases} \quad (27)$$

**Maksimizasyon Amaç Fonksiyonları İçin Üyelik Fonksiyonu:**

$$\mu_{z_l}(x) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } Z_l \geq Z_l^+ \\ \frac{Z_l(x) - Z_l^-}{Z_l^+ - Z_l^-} & \text{Eğer } Z_l^- \leq Z_l(x) \leq Z_l^+, \quad l = p + 1, p + 2, \dots, q \\ 0 & \text{Eğer } Z_l \leq Z_l^- \end{cases} \quad (28)$$

Bulanık talebin durulaştırılmasında, literatürde sıklıkla kullanılan ağırlıklı ortalama yöntemi (Wang ve Liang, 2005; Liang, 2006; Torabi ve Hassini, 2008) uygulanmıştır. Kabul edilebilir minimum olabilirlik düzeyine ( $\beta$ ) göre (16) ve (17) numaralı kısıtların durulaştırılmış ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$I_{j,t-1} + \sum_{i=1}^n (1 - Q_{ijt})X_{ijt} \geq w_1 D_{jt,\beta}^p + w_2 D_{jt,\beta}^m + w_3 D_{jt,\beta}^o, j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (16')$$

$$I_{j,t} = I_{j,t-1} + \sum_{i=1}^n (1 - Q_{ijt})X_{ijt} - (w_1 D_{jt,\beta}^p + w_2 D_{jt,\beta}^m + w_3 D_{jt,\beta}^o), j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (17')$$

Burada  $w_1$ ,  $w_2$  ve  $w_3$  ile ifade edilen ağırlıklar sırasıyla bulanık talep miktarının sırasıyla en kötümser, en olası ve en iyimser değerinin ağırlıklarını belirtmektedir. Bu ağırlıkların değerleri, toplamları 1 olacak şekilde, karar vericilerin deneyimlerine dayalı olarak verilmektedir. Literatürde ağırlıklı ortalama yöntemini kullanan çalışmalarda sıklıkla kullanılan ağırlık değerleri  $w_1, w_3=1/6$  ve  $w_2= 4/6$  ve minimum olabilirlik düzeyi  $\beta=0.5$  şeklindedir (Torabi ve Hassini, 2008: 203). Bu çalışmada da bu değerler kullanılmıştır.

Oluşturulan modelin eşdeğer doğrusal programlama modeli formüle edilirken, tedarikçilere siparişlerin atanmasında göz önünde bulundurulan amaçların farklı önem düzeylerine sahip olması nedeniyle, Tiwari vd. (1987)'nin önermiş olduğu ağırlıklandırılmış toplamsal model kullanılmıştır. Bu modelde amaçlar önem düzeylerine göre ağırlıklandırılmaktadır. Eşdeğer doğrusal programlama modelinin genel formülasyonu (29) - (35) aşağıda ifade edilmiştir. Formülasyonda yer alan  $w_k$  ve  $\beta_r$  sırasıyla bulanık amaç fonksiyonlarının ve kısıtların önem düzeylerini gösteren katsayılardır.

$$\text{Max } \sum_{k=1}^K w_k \lambda_k + \sum_{r=1}^R \beta_r \gamma_r \quad (29)$$

$$\lambda_k \leq \mu_{z_{kj}}(x), \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (30)$$

$$\gamma_r \leq \mu_{g_r}(x), \quad r = 1, 2, \dots, R \quad (31)$$

$$g_p(x) \leq b_p, \quad p = 1, 2, \dots, M \quad (32)$$

$$\lambda_k, \gamma_r \in [0, 1], \quad k=1,2,\dots,K \text{ ve } r=1,2,\dots,R \quad (33)$$

$$\sum_{k=1}^K w_k + \sum_{r=1}^R \beta_r = 1, \quad w_k, \beta_r \geq 0 \quad (34)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (35)$$

**4.3. Eşdeğer Doğrusal Programlama Modeli**

Oluşturulan çok amaçlı doğrusal programlama modelinin eşdeğer doğrusal programlama modeli formüle edilirken Tiwari vd. (1987)'nin ağırlıklandırılmış toplamsal modeli kullanılmıştır. Modelde yer alan amaç fonksiyonlarının her biri aynı kısıtlar altında birbirinden bağımsız olarak maksimize ve minimize edilecek şekilde çözülmüştür. Bulanık amaçların doğrusal üyelik fonksiyonları eşitlik (27) ve (28) kullanılarak elde edilmiştir. Çözümde Lingo 9.0 yazılımı

kullanılmıştır. Amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonlarının limit değerleri Tablo 15'te sunulmuştur.

Tablo 15: Amaç Fonksiyonu Üyelik Fonksiyonlarının Limit Değerleri

| Amaç Fonksiyonu | $\mu=1$    | $\mu=0$      |
|-----------------|------------|--------------|
| $Z_1$           | 917.650,00 | 1.143.170,00 |
| $Z_2$           | 482,96     | 1.279,06     |
| $Z_3$           | 1.049,34   | 1.550,82     |
| $Z_4$           | 735.500,00 | 1.148.400,00 |

Eşdeğer doğrusal programlama model formülasyonu şu şekildedir:

$$\text{Max } 0,375 \lambda_1 + 0,240 \lambda_2 + 0,200 \lambda_3 + 0,184 \lambda_4 \quad (36)$$

$$\lambda_1 \leq \frac{1.143.170 - (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T P_{ijt} x_{ijt})}{225.520} \quad (37)$$

$$\lambda_2 \leq \frac{1.279,06 - (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T Q_{ijt} x_{ijt})}{796,1} \quad (38)$$

$$\lambda_3 \leq \frac{1.550,82 - (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T L_{ijt} x_{ijt})}{501,48} \quad (39)$$

$$\lambda_4 \leq \frac{(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T R_{ijt} x_{ijt}) - 735.500}{412.900} \quad (40)$$

$$I_{j,t-1} + \sum_{i=1}^n (1 - Q_{ijt}) X_{ijt} \geq w_1 D_{jt,\beta}^p + w_2 D_{jt,\beta}^m + w_3 D_{jt,\beta}^o, \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (41)$$

$$I_{j,t} = I_{j,t-1} + \sum_{i=1}^n (1 - Q_{ijt}) X_{ijt} - (w_1 D_{jt,\beta}^p + w_2 D_{jt,\beta}^m + w_3 D_{jt,\beta}^o), \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (42)$$

$$X_{ijt} \leq \text{Cap}_{ijt} y_{ijt} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (43)$$

$$X_{ijt} \geq ML_j y_{ijt} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ijt} X_{ijt} + \sum_{i=1}^n O_{it} z_{it} + \sum_{j=1}^m h_{jt} I_{jt} \leq B_t \quad t=1,2,\dots,T \quad (45)$$

$$\sum_{i=1}^n W_{it} \sum_{j=1}^m X_{ijt} \geq S_t \quad t=1,2,\dots,T \quad (46)$$

$$X_{ijt} \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (47)$$

$$I_{ijt} \geq 0 \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (48)$$

$$y_{ijt} \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (49)$$

$$z_{it} \in \{0,1\} \quad i=1,2,\dots,m \quad t=1,2,\dots,T \quad (50)$$

$$X_{ijt}, I_{ijt} \text{ tamsayı} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad t=1,2,\dots,T \quad (51)$$

Formülasyonda amaç fonksiyonunda yer alan ağırlıklar Bulanık AHP'nin bulanık ikili karşılaştırma yaklaşımı ile elde edilen kriter ağırlıklarıdır. (46) numaralı kısıt t periyodunda toplam satın alma değerinin belirlenen eşik değerinin altında olamayacağını ifade etmektedir. Eşik değer, sipariş atama aşamasında değerlendirilen A1,A3,A4 ve A5 tedarikçilerinin Bulanık TOPSIS ile elde edilen puanlarının ortalaması ile t döneminde her ürün için durulaştırılmış talebin çarpılıp toplanması ile elde edilmiştir.

## 5. Bulgular

Eşdeğer doğrusal programlama modelinin Lingo 9.0 ile çözülmesi sonucu elde edilen amaç fonksiyonu değeri 0,828 olarak bulunmuştur. Amaç fonksiyonlarının tatmin düzeyleri ve değerleri, dönem bazında tedarikçi ürün atamaları Tablo 16 ve Tablo 17'de sunulmuştur.

Tablo 16: Amaç Fonksiyonlarının Tatmin Düzeyleri ve Değerleri

|   | $\lambda$ | Z       |
|---|-----------|---------|
| 1 | 0,96      | 926.485 |
| 2 | 0,88      | 579     |
| 3 | 0,89      | 1.105   |
| 4 | 0,43      | 911.690 |

Tablo 17’de görüldüğü gibi incelenen altı ay boyunca ürün 1 ve 2 Bulanık TOPSIS ile en yüksek CC<sub>i</sub> değerine sahip A4’e; ürün 3 ise ikinci en yüksek CC<sub>i</sub> değerine sahip A1 tedarikçisine atanmıştır.

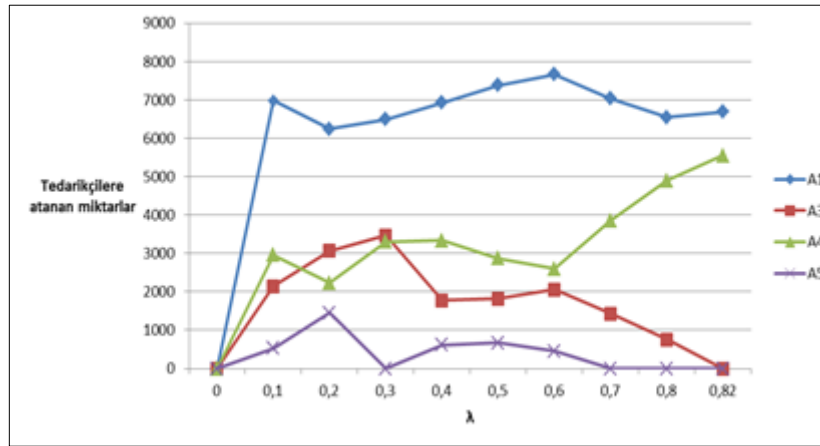
Tablo 17: Dönem Bazında Tedarikçi Ürün Atamaları

|    | Ürün 1 |     |    |     |     |     | Ürün 2 |    |     |     |     |     |
|----|--------|-----|----|-----|-----|-----|--------|----|-----|-----|-----|-----|
|    | t1     | t2  | t3 | t4  | t5  | t6  | t1     | t2 | t3  | t4  | t5  | t6  |
| A4 | 375    | 443 | 0  | 375 | 476 | 457 | 609    | 0  | 683 | 600 | 754 | 773 |

|    | Ürün 3 |      |      |      |      |      |
|----|--------|------|------|------|------|------|
|    | t1     | t2   | t3   | t4   | t5   | t6   |
| A1 | 1050   | 1135 | 1278 | 1050 | 1087 | 1087 |

Eşdeğer doğrusal programlama modelinin amaç fonksiyonu değeri ( $\lambda$ ) değiştiğinde tedarikçilere atanan miktarların nasıl değiştiği Şekil 3’te görülmektedir.

Şekil 3:  $\lambda$  – Tedarikçilere Atanan Miktar İlişkisi

A1 ve A4’e tüm  $\lambda$  değerlerinde atama yapıldığı, A3’e ise en iyi çözüm dışındaki tüm  $\lambda$  değerlerinde atama yapıldığı görülmektedir. A5’in Bulanık TOPSIS ile elde edilen CC<sub>i</sub> değerlerine göre performansı A3’ten daha iyi olmasına rağmen, özellikle A3’ün ürün satış fiyatlarının A5’ten daha düşük olması ve amaç fonksiyonunda en yüksek ağırlığa fiyat kriterinin sahip olmasının da etkisiyle A5 tüm  $\lambda$  değerlerinde en düşük atamanın yapıldığı tedarikçi olmuştur.

## 6. Sonuç ve Öneriler

Tedarikçi değerlendirme ve sipariş miktarı belirleme süreci işletmeler için büyük önem taşıyan karmaşık süreçlerdir. İşletmelerin çok sayıda alternatif tedarikçi arasından yapacakları seçimleri ve bu tedarikçilere en uygun sipariş miktarlarını atama kararlarını etkileyen çeşitli ve birbiri ile çelişebilen kriterler bulunmaktadır. Bu çalışmada çok ürünlü ve çok dönemli olarak incelenen bu iki önemli karar verme problemi bütünlük olarak ve karar verme sürecinin içerdiği belirsizliği yansıtabilmek için bulanık ortamda ele alınmıştır. Problemin çözümü için iki aşamalı bir yaklaşım ortaya konmuştur. İlk aşama tedarikçilerin değerlendirilmesi ve yetkin tedarikçilerin seçilmesi

süreçlerini içermektedir. Bu aşamada, alternatif tedarikçilerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin önem düzeyleri, literatürde sıklıkla kullanılan Bulanık AHP' nin bulanık ikili karşılaştırma yaklaşımı ile; tedarikçilerin alternatifler altında değerlendirilmesi ve puanlanması ise Bulanık TOPSIS ile gerçekleştirilmektedir. Belirlenen tedarikçi puanı eşik değerine eşit ya da daha yüksek puana sahip olan yetkin tedarikçilerin seçilmesiyle ilk aşama tamamlanmaktadır. İkinci aşamada ise sadece yetkin tedarikçilerden, göz önünde bulundurulmuş dönemler boyunca, belirlenmiş olan amaç fonksiyonlarına göre hangi ürünü ne miktarda sipariş vermesi gerektiği belirlenmektedir.

Çalışmada ortaya konan çözüm yaklaşımının uygulaması, Türkiye'de otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın gerçek problemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Firmanın satın alma direktörü, satın alma ve lojistik müdürünün oluşturduğu karar verme grubunun görüşleri ve literatür araştırması sonucunda, tedarikçi değerlendirme ana kriterleri olarak fiyat, kalite, teslimat ve tedarikçi profili ana kriterleri belirlenmiştir. Karar verme grubunun yaptığı değerlendirmelerin bütünlleştirilmesi sonucu elde edilen ana kriter önem düzeylerine incelendiğinde, en büyük önem düzeyine sahip ana kriterin fiyat, en düşük önem düzeyine sahip kriterin ise tedarikçi profili kriteri olduğu görülmektedir. Bulanık TOPSIS ile değerlendirilen altı alternatif tedarikçinin dördü (A1,A3,A4 ve A5) yetkin tedarikçi olarak belirlenmiştir. Bu dört alternatiften hangisi ya da hangilerine, hangi dönemlerde, hangi ürünlerden ne miktarda sipariş verilmesi gerektiğini belirlemek için geliştirilen çok amaçlı doğrusal programlama modelinde dört amaç fonksiyonu yer almaktadır. Bu amaç fonksiyonları; satın alma, ürün redleri, geç teslim alınan ürün miktarını minimize etmek ve toplam tedarikçi puanını maksimize etmek şeklinde ifade edilmiştir. Bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modelinin eşdeğer doğrusal programlama modeli formüle edilirken Tiwari vd. (1987)'nin ağırlıklandırılmış toplamsal modeli kullanılmıştır. Bu modelin amaç fonksiyonunda yer alan ağırlıkları, Bulanık AHP'nin bulanık ikili karşılaştırma yaklaşımı ile elde edilen kriter ağırlıkları oluşturmaktadır.

Eşdeğer doğrusal programlama modelinin çözülmesi sonucu elde edilen amaç fonksiyonu tatmin düzeylerine bakıldığında, en yüksek tatmin düzeyine 0,96  $\lambda$  değeri ile satın alma maliyeti minimizasyonu amacının sahip olduğu görülmektedir. Bu amacı 0,89  $\lambda$  değeri geç teslim alınan ürün miktarı minimizasyonu ve 0,88  $\lambda$  değeri ile ürün redleri minimizasyonu amaçları takip etmektedir. En düşük önem düzeyine sahip olan toplam tedarikçi puanını maksimize etme amacı ise 0,43'lük  $\lambda$  değeri ile en düşük tatmin düzeyine erişen amaç olmuştur. Elde edilen tedarikçi- sipariş atamaları incelendiğinde, ürün 1 ve 2'nin ele alınan altı ay boyunca tüm siparişlerinin Bulanık TOPSIS ile en yüksek CCI değerine sahip olan A4 tedarikçisine, ürün 3'ün tüm siparişlerinin ise ikinci en yüksek CCI değerine sahip A1 tedarikçisine atandığı görülmektedir. Bu atamalarda, toplam satın alma eşik değeri ile ilgili modelde yer alan kısıt da etkili olmuştur.

Bu çalışmada tedarikçi değerlendirme ve sipariş belirleme problemi, bulanık ortamda, bütünlşik ve sistematik bir yaklaşım ile ele alınmıştır. Çalışmada ortaya konan bu yaklaşımın, farklı tedarikçi değerlendirme ve sipariş miktarı belirleme problemlerinde, problemlerin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkabilecek farklı kriterler, kriter ağırlıkları ya da amaç fonksiyonları ile uygulanabileceği düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda, çok amaçlı doğrusal programlama modelinde miktar indirimlerinin de göz önünde bulundurulması hedeflenmektedir. Aynı zamanda bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modelinin eşdeğer doğrusal programlama modeline dönüştürülmesinde, Tiwari vd. (1987)'nin ağırlıklandırılmış toplamsal modeline ek olarak Chen ve Tsai (2001)'in toplamsal modeli gibi farklı yaklaşımların da uygulanması ve bu yaklaşımlar ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması planlanmaktadır.

#### Kaynakça

- Alyanak, G. ve Armaneri, O. (2009). An Integrated Supplier Selection and Order Allocation Approach in a Battery Company. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 19(4), 2-19.

- Amid, A., Ghodsypour, S. H., ve O'Brien, C. (2006). Fuzzy Multiobjective Linear Model for Supplier Selection in a Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 104(2), 394-407.
- Büyüközkan, G. ve Güleryüz, S. (2016). Lojistik Firma Web Sitelerinin Performanslarının Çok Kriterli Değerlendirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 31(4), 889-902.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M. ve Akay, D. (2009). A Multi-Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368.
- Buckley, J. J. (1985). Ranking alternatives using fuzzy numbers. *Fuzzy sets and systems*, 15(1), 21-31.
- Chai, J., Liu, J. N. ve Ngai, E. W. (2013). Application of Decision-Making Techniques in Supplier Selection: A Systematic Review of Literature. *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3872-3885.
- Chen, L. H. ve Tsai, F. C. (2001). Fuzzy goal programming with different importance and priorities. *European Journal of Operational Research*, 133(3), 548-556.
- Chen, C-T., Lin, C-T. ve Huang, S-F. (2006). A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics*, 102, 289-30.
- Chen, Y. J. (2011). Structured Methodology for Supplier Selection and Evaluation in a Supply Chain. *Information Sciences*, 181(9), 1651-1670.
- Çebi, F. ve Otay, İ. (2016). A two-stage fuzzy approach for supplier evaluation and order allocation problem with quantity discounts and lead time. *Information Sciences*, 339, 143-157.
- Fazlollahtabar, H., Mahdavi, I., Ashoori, M. T., Kaviani, S. ve Mahdavi-Amiri, N. (2011). A Multi-Objective Decision-Making Process of Supplier Selection and Order Allocation for Multi-Period Scheduling in an Electronic Market. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(9), 1039-1052.
- Ghodsypour, S.H. ve O'Brien, C. (1998). A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming, *International Journal of Production Economics*. 56, 199-212.
- Ho, W., Xu, X. ve Dey, P. K. (2010). Multi-Criteria Decision Making Approaches for Supplier Evaluation and Selection: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16-24.
- Jadidi, O., Hong, T.S., Firouzi, F., Yusuff, R.M. ve Zulkifli, N. (2008). TOPSIS and Fuzzy Multi-Objective Model Integration for Supplier Selection Problem. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 31(2), 762-769.
- Jolai, F., Yazdian, S.A., Shahanaghi, K. ve Khojasteh, M.A. (2011). Integrating Fuzzy TOPSIS and Multi-Period Goal Programming for Purchasing Multiple Products from Multiple Suppliers. *Journal of Purchasing & Supply Management*. 17, 42-53.
- Junior, F. R. L., Osiro, L., ve Carpinetti, L. C. R. (2014). A Comparison Between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods to Supplier Selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.
- Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D. (2004). Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey. *International Journal of Production Economics*, 87(2), 171-184.



- Kumar, M., Vrat, P. ve Shankar, R. (2006). A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 101(2), 273-285.
- Kumar, A., Jain, V. ve Kumar, S. (2014). A Comprehensive Environment Friendly Approach for Supplier Selection. *Omega*, 42(1), 109-123.
- Liang, T.F. (2006). Distribution Planning Decisions Using Interactive Fuzzy Multi-Objective Linear Programming. *Fuzzy Sets and Systems*, 157, 1303-1316.
- Ng, W. L. (2008). An Efficient and Simple Model for Multiple Criteria Supplier Selection Problem. *European Journal of Operational Research*. 186, 1059–1067.
- Rębiasz, B. ve Macioł, A. (2015). Comparison of Classical Multi-Criteria Decision Making Methods with Fuzzy Rule-Based Methods on the Example of Investment Projects Evaluation. In *Intelligent Decision Technologies*, 549-561, Springer, Cham.
- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S. ve Thakur, L. S. (2012). Supplier Selection Using Fuzzy AHP and Fuzzy Multi-Objective Linear Programming for Developing Low Carbon Supply Chain. *Expert Systems with Applications*, 39, 8182–8192.
- Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M. ve Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing*, 17, 105-116.
- Torabi, S.A. ve Hassini, E. (2008). An Interactive Possibilistic Programming Approach for Multiple Objective Supply Chain Master Planning. *Fuzzy Sets and Systems*, 159, 193 – 214.
- Tiwari, R. N., Dharmar, S., ve Rao, J. R. (1987). Fuzzy Goal Programming - An Additive Model. *Fuzzy Sets and Systems*, 24(1), 27-34.
- Wang, J. W., Cheng, C. H., ve Huang, K. C. (2009). Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection. *Applied Soft Computing*, 9(1), 377-386.
- Wang, R.C. ve Liang, T. (2005). Applying Possibilistic Linear Programming to Aggregate Production Planning, *Computer and Industrial Engineering*, 98(3), 328-341.

## Ekler

Tablo 18: Alt Kriterlerin Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri

| Kriterler | D1            |               |         | D2            |               |         | D3            |         |         |
|-----------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------|---------------|---------|---------|
|           | C11           | C12           | C13     | C11           | C12           | C13     | C11           | C12     | C13     |
| C11       | (1,1,1)       | (2,3,4)       | (4,5,6) | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (1,1,1)       | (2,3,4) | (2,3,4) |
| C12       | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1)       | (2,3,4) | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1,1,1) |
| C13       | (1/6,1/5,1/4) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1,1,1) |

| Kriterler | D1      |         | D2      |               | D3            |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------------|---------------|---------|
|           | C21     | C22     | C21     | C22           | C21           | C22     |
| C21       | (1,1,1) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1)       | (2,3,4) |
| C22       | (1,1,1) | (1,1,1) | (2,3,4) | (1,1,1)       | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) |

| Kriterler | D1            |         |         | D2      |         |               |
|-----------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------------|
|           | C31           | C32     | C33     | C31     | C32     | C33           |
| C31       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (2,3,4) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) |
| C32       | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) |
| C33       | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1,1,1) | (2,3,4) | (2,3,4) | (1,1,1)       |

| Kriterler | D1      |               | D2      |         | D3            |         |
|-----------|---------|---------------|---------|---------|---------------|---------|
|           | C41     | C42           | C41     | C42     | C41           | C42     |
| C41       | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1,1,1) | (1,1,1)       | (2,3,4) |
| C42       | (2,3,4) | (1,1,1)       | (1,1,1) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) |

Tablo 19:Alt Kriterlerin Bütünleştirilmiş Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri

| Kriterler | C11              | C12              | C13              |
|-----------|------------------|------------------|------------------|
| C11       | (1,1,1)          | (1.59,2.08,2.52) | (2.52,3.56,4.58) |
| C12       | (0.40,0.48,0.63) | (1,1,1)          | (1.59,2.08,2.52) |
| C13       | (0.22,0.28,0.40) | (0.40,0.48,0.63) | (1,1,1)          |

| Kriterler | C31              | C32              | C33           |
|-----------|------------------|------------------|---------------|
| C31       | (1,1,1)          | (1.26,1.44,1.59) | (1,1.44,2)    |
| C32       | (0.63,0.69,0.79) | (1,1,1)          | (0.79,1,1.26) |
| C33       | (0.5,0.69,1)     | (0.79,1,1.26)    | (1,1,1)       |

| Kriterler | C21           | C22           |
|-----------|---------------|---------------|
| C21       | (1,1,1)       | (0.79,1,1.26) |
| C22       | (0.79,1,1.26) | (1,1,1)       |

| Kriterler | C41           | C42           |
|-----------|---------------|---------------|
| C41       | (1,1,1)       | (0.79,1,1.26) |
| C42       | (0.79,1,1.26) | (1,1,1)       |

Tablo 20: Ana Kriterlerin Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri

| Kriterler | D1            |               |               |         | D2            |               |         |         |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------|---------|
|           | C1            | C2            | C3            | C4      | C1            | C2            | C3      | C4      |
| C1        | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (2,3,4) |
| C2        | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (2,3,4) |
| C3        | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (1,1,1)       | (2,3,4) | (1/4,1/3,1/2) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1,1,1) |
| C4        | (1/4,1/3,1/2) | (1/4,1/3,1/2) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1,1,1) |

| Kriterler | D3            |         |               |               |
|-----------|---------------|---------|---------------|---------------|
|           | C1            | C2      | C3            | C4            |
| C1        | (1,1,1)       | (2,3,4) | (2,3,4)       | (1,1,1)       |
| C2        | (1/4,1/3,1/2) | (1,1,1) | (1/4,1/3,1/2) | (1/4,1/3,1/2) |
| C3        | (1/4,1/3,1/2) | (2,3,4) | (1,1,1)       | (1/4,1/3,1/2) |
| C4        | (1,1,1)       | (2,3,4) | (2,3,4)       | (1,1,1)       |

Tablo 21: Ana Kriterlerin Bütünleştirilmiş Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi

| Kriterler | C1               | C2               | C3               | C4               |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| C1        | (1,1,1)          | (1.26,1.44,1.59) | (1.59,2.08,2.52) | (1.59,2.08,2.52) |
| C2        | (0.63,0.69,0.79) | (1,1,1)          | (0.79,1,1.26)    | (1,1.44,2)       |
| C3        | (0.40,0.48,0.63) | (0.79,1,1.26)    | (1,1,1)          | (0.79,1,1.26)    |
| C4        | (0.40,0.48,0.63) | (0.5,0.69,1)     | (0.79,1,1.26)    | (1,1,1)          |

Tablo 22: Alt Kriterlerin ej Değerleri ve Bulanık Ağırlıkları ( $\tilde{w}_j$ )

|    | C11              | C12              | C13              | C21             | C22             |
|----|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| ej | (1.59,1.95,2.26) | (0.86,1,1.17)    | (0.44,0.51,0.63) | (0.89,1,1.12)   | (0.89,1,1.12)   |
| wj | (0.39,0.56,0.78) | (0.21,0.29,0.40) | (0.11,0.15,0.22) | (0.40,0.5,0.63) | (0.40,0.5,0.63) |

|    | C31              | C32              | C33              | C41             | C42             |
|----|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| ej | (1.08,1.28,1.47) | (0.79,0.89,1)    | (0.73,0.89,1.08) | (0.89,1,1.12)   | (0.89,1,1.12)   |
| wj | (0.30,0.42,0.56) | (0.22,0.29,0.38) | (0.21,0.29,0.41) | (0.40,0.5,0.63) | (0.40,0.5,0.63) |

Tablo 23:Alternatiflerin Dilsel Değerlendirmeleri

|    | C11 | C12 | C13 | C21 | C22 | C31 | C32 | C33 | C41 | C42 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A1 | Ö   | OÖ  | ÇÖ  | SDÖ | SDÖ | Ö   | Ö   | EÖ  | Ö   | Ö   |
| A2 | ÇÖ  | Ö   | Ö   | Ö   | Ö   | EÖ  | EÖ  | EÖ  | Ö   | Ö   |
| A3 | ÇÖ  | ÇÖ  | ÇÖ  | OÖ  | OÖ  | Ö   | Ö   | SDÖ | OÖ  | EÖ  |
| A4 | ÇÖ  | ÇÖ  | ÇÖ  | ÇÖ  | ÇÖ  | OÖ  | OÖ  | OÖ  | ÇÖ  | ÇÖ  |

|    |     |    |    |    |    |    |    |     |    |    |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|
| A5 | Ö   | Ö  | ÇÖ | ÇÖ | ÇÖ | OÖ | OÖ | OÖ  | ÇÖ | ÇÖ |
| A6 | SDÖ | ÇÖ | Ö  | Ö  | Ö  | EÖ | EÖ | SDÖ | OÖ | EÖ |

Tablo 24: Bulanık Karar Matrisi

|    | C11      | C12     | C13     | C21      | C22      | C31     | C32     | C33      | C41     | C42     |
|----|----------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| A1 | (4,5,6)  | (2,3,4) | (6,7,8) | (8,9,10) | (8,9,10) | (4,5,6) | (4,5,6) | (1,1,1)  | (4,5,6) | (4,5,6) |
| A2 | (6,7,8)  | (4,5,6) | (4,5,6) | (4,5,6)  | (4,5,6)  | (1,1,1) | (1,1,1) | (1,1,1)  | (4,5,6) | (4,5,6) |
| A3 | (6,7,8)  | (6,7,8) | (6,7,8) | (2,3,4)  | (2,3,4)  | (4,5,6) | (4,5,6) | (8,9,10) | (2,3,4) | (1,1,1) |
| A4 | (6,7,8)  | (6,7,8) | (6,7,8) | (6,7,8)  | (6,7,8)  | (2,3,4) | (2,3,4) | (2,3,4)  | (6,7,8) | (6,7,8) |
| A5 | (4,5,6)  | (4,5,6) | (6,7,8) | (6,7,8)  | (6,7,8)  | (2,3,4) | (2,3,4) | (2,3,4)  | (6,7,8) | (6,7,8) |
| A6 | (8,9,10) | (6,7,8) | (4,5,6) | (4,5,6)  | (4,5,6)  | (1,1,1) | (1,1,1) | (8,9,10) | (2,3,4) | (1,1,1) |

Tablo 25: Normalize Bulanık Karar Matrisi

|    | C11           | C12             | C13             | C21           | C22           | C31              | C32              | C33           | C41             | C42                 |
|----|---------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| A1 | (0.4,0.5,0.6) | (0.25,0.38,0.5) | (0.75,0.88,1)   | (0.8,0.9,1)   | (0.8,0.9,1)   | (0.67,0.83,1)    | (0.67,0.83,1)    | (0.1,0.1,0.1) | (0.5,0.63,0.75) | (0.5,0.63,0.75)     |
| A2 | (0.6,0.7,0.8) | (0.5,0.63,0.75) | (0.5,0.63,0.75) | (0.4,0.5,0.6) | (0.4,0.5,0.6) | (0.17,0.17,0.17) | (0.17,0.17,0.17) | (0.1,0.1,0.1) | (0.5,0.63,0.75) | (0.5,0.63,0.75)     |
| A3 | (0.6,0.7,0.8) | (0.75,0.88,1)   | (0.75,0.88,1)   | (0.2,0.3,0.4) | (0.2,0.3,0.4) | (0.67,0.83,1)    | (0.67,0.83,1)    | (0.8,0.9,1)   | (0.25,0.38,0.5) | (0.125,0.13,3.0.13) |
| A4 | (0.6,0.7,0.8) | (0.75,0.88,1)   | (0.75,0.88,1)   | (0.6,0.7,0.8) | (0.6,0.7,0.8) | (0.33,0.5,0.67)  | (0.33,0.5,0.67)  | (0.2,0.3,0.4) | (0.75,0.88,1)   | (0.75,0.88,1)       |
| A5 | (0.4,0.5,0.6) | (0.5,0.63,0.75) | (0.75,0.88,1)   | (0.6,0.7,0.8) | (0.6,0.7,0.8) | (0.33,0.5,0.67)  | (0.33,0.5,0.67)  | (0.2,0.3,0.4) | (0.75,0.88,1)   | (0.75,0.88,1)       |
| A6 | (0.8,0.9,1)   | (0.75,0.88,1)   | (0.5,0.63,0.75) | (0.4,0.5,0.6) | (0.4,0.5,0.6) | (0.17,0.17,0.17) | (0.17,0.17,0.17) | (0.8,0.9,1)   | (0.25,0.38,0.5) | (0.125,0.13,3.0.13) |

Tablo 26: Ağırlıklandırılmış Normalize Bulanık Karar Matrisi

|    | C11               | C12              | C13              | C21              | C22              | C31              | C32              | C33              | C41              | C42              |
|----|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| A1 | (0.04,0.1,1,0.24) | (0.01,0.04,0.10) | (0.02,0.05,0.11) | (0.05,0.11,0.21) | (0.05,0.11,0.21) | (0.03,0.07,0.16) | (0.02,0.05,0.11) | (0.00,0.01,0.01) | (0.03,0.06,0.13) | (0.03,0.06,0.13) |
| A2 | (0.06,0.1,5,0.32) | (0.03,0.07,0.15) | (0.01,0.04,0.08) | (0.03,0.06,0.13) | (0.03,0.06,0.13) | (0.01,0.01,0.03) | (0.01,0.01,0.02) | (0.00,0.01,0.01) | (0.03,0.06,0.13) | (0.03,0.06,0.13) |
| A3 | (0.06,0.1,5,0.32) | (0.04,0.10,0.20) | (0.02,0.05,0.11) | (0.01,0.04,0.09) | (0.01,0.04,0.09) | (0.03,0.07,0.16) | (0.02,0.05,0.11) | (0.02,0.05,0.12) | (0.01,0.03,0.08) | (0.01,0.01,0.02) |
| A4 | (0.06,0.1,5,0.32) | (0.04,0.10,0.20) | (0.02,0.05,0.11) | (0.04,0.08,0.17) | (0.04,0.08,0.17) | (0.01,0.04,0.11) | (0.01,0.03,0.07) | (0.01,0.02,0.05) | (0.04,0.08,0.17) | (0.04,0.08,0.17) |
| A5 | (0.04,0.1,1,0.24) | (0.03,0.07,0.15) | (0.02,0.05,0.11) | (0.04,0.08,0.17) | (0.04,0.08,0.17) | (0.01,0.04,0.11) | (0.01,0.03,0.07) | (0.01,0.02,0.05) | (0.04,0.08,0.17) | (0.04,0.08,0.17) |
| A6 | (0.09,0.1,9,0.40) | (0.04,0.10,0.20) | (0.01,0.04,0.08) | (0.03,0.06,0.13) | (0.03,0.06,0.13) | (0.01,0.01,0.03) | (0.01,0.01,0.02) | (0.02,0.05,0.12) | (0.01,0.03,0.08) | (0.01,0.01,0.02) |

