

## En Uygun Tersine Lojistik Hizmet Sağlayıcısının Bulanık Grup Karar Verme Yaklaşımı Altında Belirlenmesi

### *Selection of the Appropriate Reverse Logistics Provider Under Fuzzy Group Decision Making Approach*

Tolga GEDİKLİ<sup>1</sup> , Beyzanur ÇAYIR ERVURAL<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Müh. Böl., Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Müh. Böl., Konya, Türkiye

#### Öz

Günümüz pazar koşullarında işletmeler lojistik operasyonlarını maliyet ve rekabet avantajı sağlayacak etkin bir stratejiyle sürdürmek zorundadır. Müşterilerden gelen fiyat baskıları ve özellikle politik, ekonomik ve çevresel hassasiyetler gereği, ürün geri dönüşüm süreçleri -yani ürünün geri kazanılarak yeniden değerlendirilmesi- tersine lojistik (TL) uygulamalarını gerektirmektedir. İşletmeler için, TL yönetiminde genellikle özel bilgi sistemlerine sahip bir altyapı ve iadelerin işlenmesi için özel ekipmanlar gereklidir. Bu nedenle çoğu işletme sınırlı kaynakları ve teknik yeterlilikleri nedeniyle TL faaliyetlerini üçüncü parti TL sağlayıcılarına (3PTLS) devretmektedir. Uygun 3PTLS seçim süreci işletmelerin ekonomik karlılığına ve uzun vadeli gelişimine katkı sunması nedeniyle stratejik olarak önemli bir karardır. 3PTLS seçim kararı, çok sayıda belirsizlik içermesi ve karmaşık doğası gereği çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada, en iyi 3PTLS seçimi için insan düşüncelerindeki belirsizlik ve karmaşıklığı daha iyi yansıtmak amacıyla Pisagor bulanık kümelerle dayalı bir grup karar verme modeli olarak Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Modelin uygulanabilirliği, bir pil üretim şirketinden alınan verilere dayanan deneysel bir çalışma ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer karar verme yöntemleriyle (bulanık TOPSIS, bulanık COPRAS ve klasik TOPSIS) karşılaştırılmış ve çözüm üstünlükleri sunulmuştur. Ayrıca önerilen modelin kararlılığını ve uygulanabilirliğini değerlendirmek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tersine Lojistik, Çok Kriterli Karar Verme, Grup Karar Verme, Pisagor Bulanık TOPSIS, Bulanık COPRAS

#### Abstract

In today's market conditions, companies have to maintain their logistics operations with an effective strategy that will provide cost and competitive advantage. Pricing pressures from customers, and specifically due to political, economic and environmental sensitivities, require reverse logistics (RL) applications in product recycling processes, that is, for recycling and re-evaluation of the product. Companies usually require an infrastructure with special information systems and particular equipment for processing returns in RL management. For this reason, most companies transfer their RL activities to third-party RL providers (3PRLP) due to their limited resources and technical capabilities. The appropriate 3PRLP selection process is a strategically important decision because of its contribution to the economic profitability and long-term development of businesses. 3PRLP selection decision is considered as a multi-criteria decision-making (MCDM) problem due to their high number of uncertainties and their complicated natures. In this study, a multi-criteria group decision-making model based on Pythagorean fuzzy sets was modeled using the Pythagorean fuzzy TOPSIS method to better reflect the uncertainty and complexity in human views/opinions for the best 3PRLP selection. The applicability of the model has been demonstrated and tested by an experimental study based on data from a battery manufacturing company. The obtained results were compared with other decision-making methods (fuzzy TOPSIS and fuzzy COPRAS and classical TOPSIS) and solution advantages were presented in the study. In addition, sensitivity analysis was applied to evaluate the stability and applicability of the proposed model.

**Keywords:** Reverse Logistic, Multi-Criteria Decision Making, Group Decision Making, Pythagorean Fuzzy TOPSIS, Fuzzy COPRAS

## I. GİRİŞ

Günümüz rekabet koşullarında, işletmelerin tedarik zinciri yönetimi ile lojistik faaliyetlerine daha fazla önem vermeleri gerektiği daha iyi anlaşılmaktadır [1]. Çoğu işletme, tedarik zinciri ağındaki karmaşık ve zor yapı ile tam olarak mücadele edemeyeceğini düşündüğünden lojistik faaliyetlerini dış kaynak desteğiyle üçüncü parti lojistik sağlayıcıları ile yürütmektedir. Bu sayede işletme kendi üretim ve yatırım politikalarına daha iyi odaklanabilmekte ve ürün-malzeme dağıtım sürecini yani lojistik faaliyetlerini farklı bir işletme desteğiyle sürdürerek karlılığını dengelemektedir. İşletmeler müşterilerin farklı beklentisine ve piyasadaki dinamiklere göre hareket etmektedir [2]. Örneğin, günümüzde ekolojik, ekonomik ve politik dengeler gereği ürün geri dönüşüm süreci tersine lojistik (TL) uygulamalarıyla ciddi önem taşımaktadır.

TL terimi ilk olarak Stock [3] tarafından kullanılmıştır. TL, iade edilen üründen elde edilen değer en üst seviyeye çıkartılması veya toplam TL maliyetinin en aza indirilmesi amacıyla, hammadde, yarı mamul, mamul ve ilgili bilginin tüketim noktasından başlangıç noktasına kadar verimli ve uygun maliyetli akışının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi sürecidir. TL faaliyetleri, kamera, cep telefonu, fotokopi makinesi gibi elektronik cihazlar, otomotiv sanayi, plastik malzeme, halı, kitap, kâğıt ve kimyasal/tıbbi ürün imalatı gibi birçok sektörde uygulanmaktadır [4].

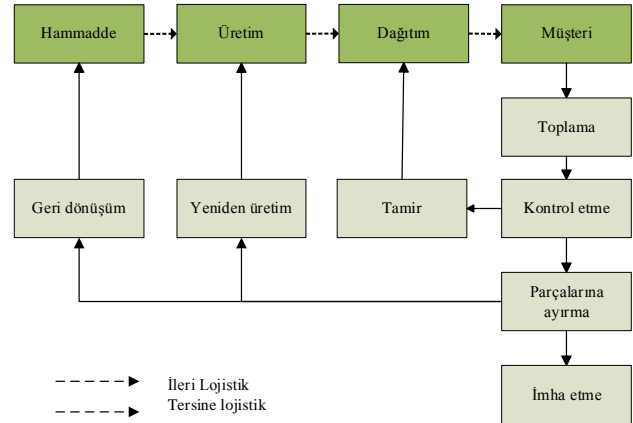
Doğal enerji kaynaklarının tükenmesi ve ömrünü tamamlamış ürünlerin imha edilmesinden kaynaklanan kirlilik çağımızın en önemli sorunlarından biridir. Etkin bir TL süreci, kuruluşların enerji kaynaklarını verimli kullanmasına ve ekonomik ve çevresel faktörler arasında sağlıklı bir denge kurulmasına yardımcı olmaktadır [4], [5]. Son yirmi yıl içinde, gelişmiş ülkelerde kullanım ömrü dolan/tamamlanan ürünlerin geri kazanımına yönelik yasalar artmış ve bu durum ürün ömrünün etkin bir şekilde değerlendirilerek yönetilmesini gerektirmiştir. Ürünlerin yeniden değerlendirilmesine yönelik ilginin artması, yalnızca çevre bilincinin artmasından değil, aynı zamanda yeniden kullanım faaliyetlerine katılımın birçok endüstride daha karlı olduğunun kanıtlanmış olmasıyla ilgilidir. TL'nin verimli bir şekilde uygulanması, toplama, inceleme, depolama, geri dönüşüm, yeniden üretim, yenileme, onarım ve imha etme gibi ters tedarik zinciri faaliyetlerini gerçekleştirmek için uygun lojistik ağının kurulmasını gerektirir [5]. İade edilen ürünler, çalışanların bilgisi dahilinde toplanır, incelenir ve sınıflandırılır. Ürünlerin geri kazanılmasının, ürünlerin imha edilmesinden daha ekonomik olup olmayacağını belirlemek için çalışanların iadenin kabul edilip edilmeyeceğini ve alınacak önlemleri düzenlemekle sorumludur [4].

İleri lojistik ve TL temelde iki farklı önemli özelliğe sahiptir. İlki, TL'nin kısmi onarım, yeniden üretim, geri dönüşüm ve imha etme gibi daha geniş bir operasyon yelpazesini kapsamasıdır [6]. İkincisi ise TL'de müşteri istekleri ve aktif katılımları önemli rol oynamasıdır. İleri lojistik ve TL'nin temel akış diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur [7].

Son zamanlarda TL, aşağıdaki ana nedenlerle hem işletmelerin hem de bu konuda çalışan araştırmacıların ilgisini çekmiştir [8].

- Lojistik yönetimi ve çevrenin korunmasına ilişkin yasalar, kuruluşların, sürdürülebilirlik gereksinimlerinin bir parçası olarak kullanım ömrü dolan ürünlerin toplanmasını zorunlu kılmıştır.
- Hızla gelişen e-ticaret sektöründeki yüksek iade oranları, TL'nin ortaya çıkışını da teşvik etmiştir. Örneğin, online alışveriş için ürün iade oranı % 8- % 12'dir [6].

- Tüketiciler arasında çevrenin korunması konusunda artan farkındalık, işletmelere çevreye zarar verecek atıkları imha etmeye zorlamaktadır.



Şekil 1. TL faaliyetlerinin temel akış diyagramı [7]

İşletmelerin TL faaliyetlerini yürütmek için üç seçeneği vardır:

- Süreci şirket içinde yönetmek;
- Bağlı bir şirket kurarak veya satın alarak yönetmek;
- Bu işlevi dışardan bir şirkete yaptırmak.

Birçok şirket, TL faaliyetlerini kendi içinde yönetmek için yeterli altyapıya ve kapasiteye sahip olmadığı için TL'yi şirket içinde uygulamakta zorlanmaktadır. Ayrıca bir lojistik şirketi kurmanın veya satın alma işleminin taşıdığı bazı sorumluluklar ve ciddi riskler mevcuttur ve başlıca bir faaliyet olan lojistik aktiviteleri işletmenin asıl işlerinin yürütmesini olumsuz olarak etkileyebilir. Dolayısıyla, işletmenin TL faaliyetlerini dışardan temin etme seçeneği, bir işletmenin hem ekonomik verimliliğini hem de sürdürülebilir uzun vadeli kalkınmasını sağlamak için gereklidir. TL eylemi için dış kaynak kullanımı kararları değerlendirilirken, dikkate alınması gereken temel faktör, gerekli TL ağı için uygun bir üçüncü parti/taf TL sağlayıcısının (3PTLS) varlığıdır. Üçüncü parti lojistiği, geri dönüş operasyonlarının uygulanması, verilerin izlenmesi/toplanması için özel bilgi sistemlerine, geri dönüşlerin işlenmesi için özel ekipmanlara ve standart üretim süreçleri konusunda eğitilmiş uzmanlara ihtiyaç duyan özel bir altyapı gerektirdiğinden, 3PTLS'ler TL faaliyetlerinin önemli oyuncularını olmuşturlar. 3PTLS dış kaynak hizmetlerinin temel avantajı, bu 3PTLS'lerin ileri akışları kesintiye uğratmadan şirketlerin yeni bir işe, yeni bir pazara girmesine olanak sağlaması ve lojistik maliyetleri büyük ölçüde azaltmasıdır. Şirketlerin TL faaliyetlerini dış kaynaklara yaptırmalarının bazı nedenleri şu şekilde sunulabilir [5]:

- 3PTLS'nin eksiksiz tersine tedarik zinciri çözümleri sunmak için gelişmiş bilgi sistemi yeteneklerine ve son teknoloji ürünü nakliye,

malzeme taşıma ekipmanlarına ve depolama tesislerine sahiptirler.

- TL, bir şirketin temel faaliyetleri olmayabilir. Dolayısıyla, ikincil bir faaliyet olarak görüldüğünde verimsiz olabilir. Şirketler, tersine lojistiği dış kaynak kullanarak, temel yetkinliklerine odaklanabilir.
- 3PTLS ölçek ekonomilerinin avantajını kullanabileceğinden dış kaynak kullanım maliyetlerini azaltabilir.
- TL, dış kaynak kullanım döngü süresini ve teslimat performansını iyileştirerek satış sonrası hizmette müşteri memnuniyetini artırır.

Uygun 3PTLS'yi seçmek, şirket ile sağlayıcı arasındaki başarılı işbirliği sağlarken, uygun olmayan bir 3PTLS seçmek kaynak verimliliğini azaltarak operasyonel riskleri artırmaktadır. Bu nedenle, 3PTLS etkin bir biçimde değerlendirilmesi ve seçilmesinde uygun araçlarının geliştirilmesi önemli bir konu haline gelmiştir [8]. TL sağlayıcısının seçimi, farklı tipte kriterleri ve alternatifleri, farklı karar modellerinin kombinasyonunu, grup karar verme sürecini ve çeşitli belirsizlik biçimlerini içerdiğinden bir 3PTLS'yi seçmenin en iyi yolunu bulmak zordur. Bu nedenle, seçim sürecindeki önemli konu, doğru TL sağlayıcısını seçmek için uygun bir yöntem geliştirmektir [5].

Literatürde 3PTLS konusunda yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu ve Türkiye'deki uygulamaların da yetersiz olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada, Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi en uygun 3PTLS değerlendirilmesinde ilk kez kullanılarak, belirsizlik altında çok boyutlu bir pil imalat şirketinin verilerine dayanan deneysel bir uygulama üzerinde gerçekleştirilmiştir [5]. Böylece bu alanda uygulanabilirliği ve yöntemin sağladığı çözüm üstünlüğü araştırılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çalışmada Pisagor bulanık TOPSIS, bulanık TOPSIS [5], bulanık COPRAS ve klasik TOPSIS yaklaşımları ayrı ayrı değerlendirilerek karşılaştırılmıştır. Daha sonra Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi için kriter ağırlıklarına dayalı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

## II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

TL ilk olarak 1990'larda ortaya çıksa da son yıllarda, imalat firmalarının talebi nedeniyle TL ve 3PTLS'ne yönelik endüstriyel uygulamaların ve akademik araştırmaların sayısı giderek artmaktadır [9]. Bir çok bilinçli işletme tersine tedarik zinciri uygulamalarını rekabet avantajı sağlayacak bir yönetim stratejisi olarak kabul etmiştir [6]. Literatür araştırmalarına göre, Agrawal vd. [10] bu konuda 1986-2015 yılları arasında yayınlanan 240'tan fazla makaleyi ele almıştır. Govindan vd. [11] ise TL'de sadece 2007 ve 2013 yılları arasında yayınlanan 150'den fazla makaleyi incelemiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, hukuki, çevresel, sosyal ve ekonomik

nedenlerle TL'ye olan ilginin sürekli arttığı yönünde olmuştur. Ayrıca, yapılan araştırmalara göre TL faaliyetleri bir işletmenin ekonomik ve ekolojik performansı üzerinde olumlu etki sağladığı anlaşılmıştır [10], [11].

Tedarikçi seçim problemi karmaşık bir karar problemi olduğu için sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Tedarikçilerin kapsamlı değerlendirilmesi için değerlendirme kriterlerinin hem nicel hem de nitel yönleri içermesi beklenmektedir. Bu nedenle nicel ve nitel kriterleri birlikte entegre edebilen Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri yaygın biçimde kullanılmaktadır [8]. Son yıllarda tedarikçi seçimi ve dış kaynak kararları alanlarında araştırmalar yapılmış ve probleme yönelik farklı çözüm metodolojileri sunulmuştur. Literatür incelendiğinde, 3PTLS seçimi için birçok ÇKKV yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, 3PTLS seçim problemi için en sık kullanılan yaklaşımlar Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) [4], [12], Analitik Ağ Süreci (ANP) [9], [13], Veri Zarflama Analizi (DEA) [14], TOPSIS [12] ve bazı matematiksel modeller olduğu gözlenmiştir [15], [16].

3PTLS seçim problemi literatürde elektronik (örneğin, cep telefonları veya bilgisayarlar) endüstrisi, plastik, kâğıt ve halı geri dönüşümü, pil ve tıbbi cihaz üretimi, çelik işletmesi gibi birçok alanda uygulanmıştır. Li vd. [9] ve Prakash ve Barua [12] elektronik endüstrisinde, Tavana vd. [13] plastik geri dönüşüm endüstrisinde, Senthil vd. [4] boru imalat fabrikasında, Govindan vd. [17] lastik üretim fabrikasında, Ravi [18] bilgisayar şirketinde, Govindan ve Murugesan [19] ve Kannan vd. [5] pil geri dönüşüm endüstrisinde işletmeler için en uygun 3PTLS'yi seçmişlerdir. Yapılan çalışmalarda küçük boyutlu modeller klasik dilsel hesaplamalar kullanılarak değerlendirilmiş, dolayısıyla kısıtlı arama uzayından çözümler sağlanmaya çalışılmıştır. TL sürecinin karmaşık yapısı, içeriğinde hem niteliksel ve/veya niceliksel veri kümesi barındırması ve karar verici mekanizmasındaki belirsizlik problemin etkin biçimde değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Bu durum temelde 3PTLS seçim modellerinin güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir [8]. Bu nedenle, diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada Pisagor bulanık kümeler kullanılarak insan düşüncesindeki karmaşıklık ve belirsiz yapının daha iyi yansıtılarak daha iyi modellenmesi amaçlanmıştır.

## III. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. Pisagor Bulanık Kümeler (Pythagorean fuzzy sets)

Yager [20] tarafından önerilen Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler üzerinden geliştirilmiş bir bulanık kümedir. Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümelerin belirsizliği ele

alamayacağı durumlarda kullanılabilmesi nedeni ile belirsizlik içeren problemleri çözmek için sezgisel bulanık kümelerden daha güçlü ve esnekler [21], [22]. Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler gibi üyelik derecesi ve üye olmama derecesi ile karakterize edilir ve üyelik derecesi ile üye olmama derecesinin karelerinin toplamının bir veya birin altında olması şartına dayanmaktadır.

Bu bölümde, aşağıdaki bölümlerde kullanılacak olan Pisagor bulanık kümeler ve Pisagor bulanık sayılar ile ilgili bazı temel kavramlar açıklanmaktadır.

**Tanım 3.1:** Sezgisel bulanık küme  $A$ , sonlu küme  $X$  olarak şöyle yazılabilir [23]:

$$A = \{ \langle x, A(\mu_A(x), v_A(x)) \rangle \mid x \in X \}$$

burada  $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$  üyelik derecesini ve  $v_A(x): X \rightarrow [0,1]$  üye olmama derecesini tanımlamaktadır. Her  $x \in X$  için  $\mu_A(x)$  ve  $v_A(x)$ ,  $0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1$  olarak ifade edilir. Tereddüt derecesi  $\pi_A(x)$  ise  $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - v_A(x)$  olarak ifade edilir.

**Tanım 3.2:** Pisagor bulanık küme  $P$ , sonlu küme  $X$  olarak şöyle yazılabilir [23]:

$$P = \{ \langle x, P(\mu_P(x), v_P(x)) \rangle \mid x \in X \}$$

burada  $\mu_P(x): X \rightarrow [0,1]$ , üyelik derecesini ve  $v_P(x): X \rightarrow [0,1]$  üye olmama derecesini göstermektedir. Her  $x \in X$  için  $\mu_P(x)$  ve  $v_P(x)$ ,  $(\mu_P(x))^2 + (v_P(x))^2 \leq 1$  olarak ifade edilir. Tereddüt derecesi  $\pi_P(x)$ ,  $\pi_P(x) = \sqrt{1 - \mu_P^2(x) - v_P^2(x)}$  olarak ifade edilir.

**Tanım 3.3:**  $P_i = (\mu_{P_i}, v_{P_i}) (i = 1, 2, \dots, n)$  Pisagor bulanık sayılarının  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  ve  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  ağırlık vektörü ile Pisagor bulanık ağırlıklı ortalama (PFWA) operatörü yardımıyla aşağıdaki gibi birleştirilir [24], [25].

$$\begin{aligned} PFWA(P_1, P_2, \dots, P_n) &= w_1 P_1 \oplus w_2 P_2 \oplus \dots \oplus w_n P_n \\ &= P \left( \sqrt{1 - \prod_{j=1}^n (1 - (\mu_{P_j})^2)^{w_j}}, \sqrt{\prod_{j=1}^n (v_{P_j})^{w_j}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

**Tanım 3.4:**  $P_1 = P(\mu_{P_1}, v_{P_1})$  ve  $P_2 = P(\mu_{P_2}, v_{P_2})$  Pisagor bulanık sayılar ve  $\lambda > 0$  olsun. Bu iki bulanık sayı arasındaki işlemler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [22], [23].

$$P_1 \oplus P_2 = P \left( \sqrt{\mu_{P_1}^2 + \mu_{P_2}^2 - \mu_{P_1}^2 \mu_{P_2}^2}, \sqrt{v_{P_1} v_{P_2}} \right) \quad (2)$$

$$P_1 \otimes P_2 = P \left( \mu_{P_1} \mu_{P_2}, \sqrt{v_{P_1}^2 + v_{P_2}^2 - v_{P_1}^2 v_{P_2}^2} \right) \quad (3)$$

$$\lambda P_1 = P \left( \sqrt{1 - (1 - \mu_{P_1}^2)^\lambda}, (v_{P_1})^\lambda \right), \quad \lambda > 0 \quad (4)$$

$$P_1^\lambda = P \left( (\mu_{P_1})^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{P_1}^2)^\lambda} \right), \quad \lambda > 0 \quad (5)$$

**Tanım 3.5:** İki Pisagor bulanık küme arasındaki uzaklık aşağıdaki gibi tanımlanır [26].

$$\begin{aligned} d(P_1, P_2) &= \sqrt{(\mu_{P_1}^2 - \mu_{P_2}^2)^2 + (v_{P_1}^2 - v_{P_2}^2)^2 + (\pi_{P_1}^2 - \pi_{P_2}^2)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

### 3.2. Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi

Grup karar verme probleminin Pisagor bulanık sayılarla etkin bir şekilde ele alınması için, en uygun alternatifin pozitif ideal çözümden en kısa mesafede ve negatif ideal çözümden en uzak mesafede olması ilkesine dayanan bir Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [26].

Pisagor bulanık verilerden oluşan bir grup karar verme problemi için, uygun alternatifler kümesi  $A_i = \{A_1, A_2, \dots, A_l\}$ , kriterler kümesi  $C_j = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$  ve uzmanlar kümesi  $U_k = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$  olarak tanımlanır.  $n$  tane uzman  $l$  tane alternatifi  $m$  tane kriter açısından değerlendirir ve  $x_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, v_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$  olarak temsil edilen  $X^{(k)} = (x_{ij}^{(k)})_{l \times m}$  Pisagor bulanık karar matrisi oluşturulur.

Adım 1. Uzman ağırlıklarının hesaplanması.  
 $P_k = [\mu_k, v_k, \pi_k]$   $k$ . uzman değerlendirmesi için Pisagor bulanık sayılar olsun.  $k$ . uzman için ağırlık aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_k = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^n \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)} \quad (7)$$

burada  $\sum_{k=1}^n \sigma_k = 1$  ve  $\pi_k = \sqrt{1 - \mu_k^2 - v_k^2}$  olarak tanımlanır.

Adım 2. Pisagor bulanık ağırlıklı ortalama (PFWA) kullanılarak uzman görüşleri birleştirilir.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= PFWA_\sigma(X_{ij}^{(1)}, X_{ij}^{(2)}, \dots, X_{ij}^{(n)}) \\ &= \sigma_1 X_{ij}^{(1)} \oplus \sigma_2 X_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus \sigma_n X_{ij}^{(n)} \\ &= \left( \sqrt{1 - \prod_{k=1}^n (1 - (\mu_{ij}^{(k)})^2)^{\sigma_k}}, \sqrt{\prod_{j=1}^n (v_{ij}^{(k)})^{\sigma_k}} \right) \\ &= \left( \sqrt{\prod_{k=1}^n (1 - (\mu_{ij}^{(k)})^2)^{\sigma_k} - \left( \prod_{k=1}^n (v_{ij}^{(k)})^{\sigma_k} \right)^2} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Adım 3.  $w_j^{(k)} = [\mu_j^{(k)}, v_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}]$   $k$ . uzmanın  $C_j$  kriteri için Pisagor bulanık sayılar değerlendirmesi olsun. Uzmanların kriterler hakkındaki görüşleri, her bir kriterin ağırlığını belirlemek için PFWA operatörü kullanılarak birleştirilir.

$$w_j = PFWA_{\sigma} (w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(n)})$$

$$= \sigma_1 w_j^{(1)} \oplus \sigma_2 w_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \sigma_n w_j^{(n)}$$

$$= \left( \sqrt{\frac{1 - \prod_{k=1}^n (1 - (\mu_j^{(k)})^2)^{\sigma_k}}{\prod_{k=1}^n (1 - (\mu_j^{(k)})^2)^{\sigma_k}}}, \sqrt{\frac{\prod_{k=1}^n (v_j^{(k)})^{\sigma_k}}{\prod_{k=1}^n (v_j^{(k)})^{\sigma_k}}}, \sqrt{\frac{\prod_{k=1}^n (\pi_j^{(k)})^{\sigma_k}}{\prod_{k=1}^n (\pi_j^{(k)})^{\sigma_k}}} \right) \quad (9)$$

Adım 4. Birleştirilmiş ağırlıklı Pisagor bulanık karar matrisi Tanım 3.4'te verilen çarpma operatörü kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$x'_{ij} = x_{ij} \otimes w_j \quad (10)$$

Adım 5.  $J_1$  fayda tipi kriter,  $J_2$  maliyet tipi kriter olsun. Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüm aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A^+ = \{ \langle C_j, \mu_{A^+ w}, v_{A^+ w} \rangle | C_j \in C, j = 1, 2, \dots, m \} \quad (11)$$

$$A^- = \{ \langle C_j, \mu_{A^- w}, v_{A^- w} \rangle | C_j \in C, j = 1, 2, \dots, m \} \quad (12)$$

Adım 6. Her bir alternatifin Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklığı belirlemek için Öklid mesafesi kullanılır. İki Pisagor bulanık sayı arasında normalize edilmiş Öklid mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D(A_i, A^+) = \sqrt{\frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m \left[ \left( \mu_{A_i w}^2(C_j) - \mu_{A^+ w}^2(C_j) \right)^2 + \left( v_{A_i w}^2(C_j) - v_{A^+ w}^2(C_j) \right)^2 + \left( \pi_{A_i w}^2(C_j) - \pi_{A^+ w}^2(C_j) \right)^2 \right]} \quad (13)$$

$$D(A_i, A^-) = \sqrt{\frac{1}{2m} \sum_{j=1}^m \left[ \left( \mu_{A_i w}^2(C_j) - \mu_{A^- w}^2(C_j) \right)^2 + \left( v_{A_i w}^2(C_j) - v_{A^- w}^2(C_j) \right)^2 + \left( \pi_{A_i w}^2(C_j) - \pi_{A^- w}^2(C_j) \right)^2 \right]} \quad (14)$$

$i = 1, 2, \dots, l.$

Adım 7. Görelî yakınlık katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\zeta(A_i) = \frac{D(A_i, A^-)}{D_{max}(A_i, A^-)} - \frac{D(A_i, A^+)}{D_{min}(A_i, A^+)}, i = 1, 2, \dots, l. \quad (15)$$

Görelî yakınlık katsayısı bir alternatifin Pisagor bulanık pozitif ideal çözüme ne kadar yakın olduğunu ve Pisagor bulanık negatif ideal çözümden ne kadar

uzak olduğunu ölçer.  $\zeta(A_i) \leq 0 (i = 1, 2, \dots, l)$  gösterimine sahip  $\zeta(A_i)$  değeri ne kadar büyükse  $A_i$  alternatifi tercih edilebilir olur.

Adım 8. Alternatifler azalan sırada sıralanır ve en büyük görelî yakınlık katsayısına sahip olan alternatif en uygun alternatif olarak seçilir.

### 3.3. Bulanık COPRAS Yöntemi

COPRAS (COMplex PROportional ASsesment – Karmaşık Nisbi Değerlendirme) yöntemi, kriterlerin fayda ve maliyet yönlü oluşlarını dikkate alarak seçenekleri değerlendiren ve sıralayan bir çok kriterli karar verme yöntemidir.

Bulanık COPRAS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [27], [28].

Adım 1. Karar vericiler tarafından kullanılan dilsel ifadeler tanımlanır.

Adım 2. Bulanık karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & \dots & K_n \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n$$

$$\tilde{x}_{ij} = (\tilde{x}_{ij1}, \tilde{x}_{ij2}, \tilde{x}_{ij3}),$$

Adım 3. Kriter ağırlıkları belirlenir.

Adım 4. Grup karar verme için  $K$  adet karar vericiden oluşan uzman görüşleri Eşitlik (16) kullanılarak birleştirilir.

$$\tilde{x}_{ij1} = \min\{\tilde{x}_{ijk1}\}; \tilde{x}_{ij2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \tilde{x}_{ijk2}; \tilde{x}_{ij3} = \max\{\tilde{x}_{ijk3}\} \quad (16)$$

burada  $\tilde{x}_{ijk} = (\tilde{x}_{ijk1}, \tilde{x}_{ijk2}, \tilde{x}_{ijk3})$  olarak tanımlanır.

Adım 5. Bulanık karar matrisi Eşitlik (17) kullanılarak durulaştırılır ve durulaştırılmış bulanık karar matrisi oluşturulur.

$$x_{ij} = \frac{[(\tilde{x}_{ij3} - \tilde{x}_{ij1}) + (\tilde{x}_{ij2} - \tilde{x}_{ij1})]}{3} + \tilde{x}_{ij1} \quad (17)$$

Adım 6. Normalize karar matrisi Eşitlik (18) kullanılarak oluşturulur.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (18)$$

Adım 7. Ağırlıklı normalize karar matrisi Eşitlik (19) ile oluşturulur.

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot w_j \quad (19)$$

Adım 8. Fayda ve maliyet ölçütlerini baz alan toplam ağırlıklı normalize değerler Eşitlik (20) kullanılarak hesaplanır.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k \hat{x}_{+ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, k$$

$$S_{-i} = \sum_{j=k+1}^n \hat{x}_{-ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (20)$$

Adım 9. Göreli önem değerleri Eşitlik (21) kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{i=1}^n S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_{-i}}} \quad (21)$$

Adım 10. Performans indeksi değeri Eşitlik (22) ile hesaplanır.

$$P_i = \left[ \frac{Q_i}{Q_{max}} \right] \cdot 100\% \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

burada  $Q_{max} = \max\{Q_i\}, i = 1, 2, \dots, n$  olarak tanımlanır.

Adım 11. Alternatifler performans indeksine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır ve en iyi alternatif seçilir.

### 3.4. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, Hwang ve Yoon [29] tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemin temel mantığı, seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en kısa mesafeye ve negatif ideal çözümden en uzak mesafeye sahip olması gerektiğidir [30], [31].

TOPSIS yöntemi adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Uzman görüşleri birleştirme operatörleri kullanılarak birleştirilir.

Adım 2. Ağırlıklı normleştirilmiş  $v_{ij}$  değeri, Eşitlik (23) kullanılarak hesaplanır.

$$v_{ij} = w_i \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J f_{ij}^2}}, j = 1, \dots, J; i = 1, \dots, n \quad (23)$$

burada  $w_i$  i. kriterin ağırlığıdır ve  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  denklemi sağlanır.

Adım 3. Pozitif ideal çözüm  $A^*$  ve negatif ideal çözüm  $A^-$  Eşitlik (24) ve (25) kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} = \{(max_j v_{ij} | i \in I'), (min_j v_{ij} | i \in I'')\} \quad (24)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(min_j v_{ij} | i \in I'), (max_j v_{ij} | i \in I'')\} \quad (25)$$

burada  $I'$  fayda kriterlerini,  $I''$  ise maliyet kriterlerini belirtir.

Adım 4. Her bir alternatifin pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklığı Öklid mesafesi ile Eşitlik (26) ve (27) kullanılarak hesaplanır.

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2}, j = 1, \dots, J. \quad (26)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, j = 1, \dots, J. \quad (27)$$

Adım 5. Göreli yakınlık katsayısı ( $C_j^*$ ) Eşitlik (28) kullanılarak hesaplanır.

$$C_j^* = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-}, j = 1, \dots, J \quad (28)$$

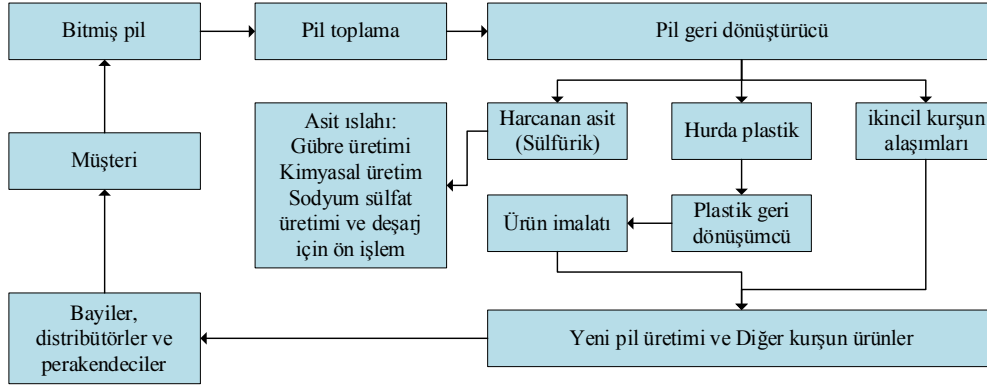
Adım 6. Alternatifler göreli yakınlık katsayısına göre büyükten küçüğe doğru sıralanır ve ilk sıradaki alternatif en iyi alternatif olarak seçilir.

## IV. UYGULAMA

Bu çalışmada, bir pil üretim şirketinden alınan verilere dayanan deneysel bir uygulama yapılmıştır [5]. Kannan vd. [5] çalışmalarında IMS (Interpretive Structural Modeling) ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kapsayan karar verme modelini, Hindistan'da pil ile ilgili tüm parçaların üretim şirketleri tarafından geri dönüştürüldüğü ve yeniden kullanıldığı bir pil geri dönüşüm endüstrisine uygulamıştır. Pil üretiminde oluşan toplam maliyeti azaltmak için, kullanım ömrünü tamamlamış piller 3PTLS tarafından toplanır ve geri dönüşüm işlemine başlamak için bileşenlerine ayrılır. Daha sonra ikincil kurşun alaşımları, hurda plastik ve harcanan sülfürik asit daha fazla geri dönüşüm işlemi için ayrıştırılır. Son olarak, eski pillerden geri dönüştürülen plastik, pil kapakları ve kılıfları üretmek için kullanılır; ikincil kurşun alaşımları yeni pil ızgaraları ve bileşenleri üretmek için kullanılır; Sülfürik asit kristalleri gübre üretimi, kimyasal üretim ve deşarj için ön işlem gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Şekil 2, detaylı olarak süreç hakkında bilgi vermektedir.

### 4.1. Kriterlerin Belirlenmesi

3PTLS seçim problemi için yedi değerlendirme kriteri Tablo 1'deki gibi tanımlanmıştır [4], [5]:



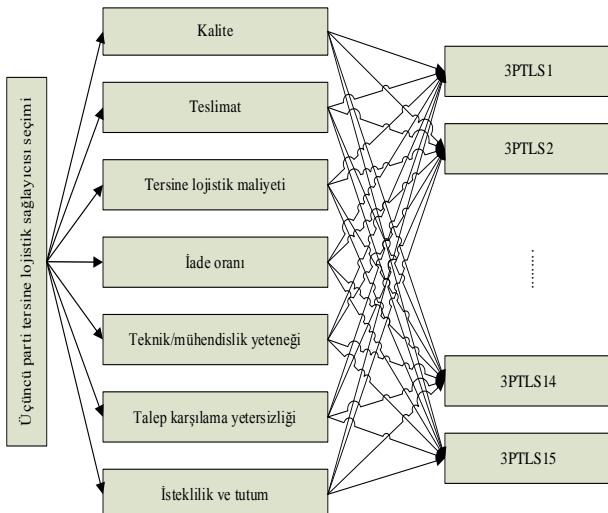
Şekil 2. Kurşun-asit pil geri dönüşüm süreci

Tablo 1. Kriterler ve açıklamaları

Kriterler	Açıklama	Referans
Kalite	Ürün performansını, kalitesini ve 3PTLS'nin kalite farkındalığını, hizmetin zamanında yapılmasını, denetim yöntemlerini ve sorunlarla başa çıkma becerisini içerir.	Chen vd. [8], Govindan vd. [6]
Teslimat	3PTLS'nin teslimat programlarını karşılama yeteneğini ifade eder. Teslimatın esnekliğini ve güvenilirliğini, teslim süresini vb. kapsar.	Senthil vd. [4], Kannan vd. [5]
TL maliyeti	3PTLS'nin seçilmesi sonucunda ortaya çıkabilecek maliyetleri ifade eder. Örneğin, envanter maliyeti, nakliye maliyeti, malzeme maliyeti, muayene maliyeti, paketleme maliyeti, stok maliyeti vb.	Chen vd. [8], Govindan vd. [6]
İade oranı	Geri dönüşüm işlemi için iade edilen ürünün kalite spesifikasyonlarını tutarlı bir şekilde karşılayamaması anlamına gelir.	Kannan vd. [5]
Teknik/Mühendislik Yeteneği	İş için gerekli teknik ve mühendislik altyapısını içerir. Örneğin, gelişmiş ekipman seviyesi, işleme yeteneği, teknik işgücünün kullanılabilirliği, TL işlevini gerçekleştirme yeteneği vb.	Govindan vd. [6], Kannan vd. [5]
Talep karşılama yetersizliği	Beklenen talebin karşılanamaması, yani, geri dönüş koordinasyonunu iyi yönetememek anlamına gelir.	Guarnieri vd. [32], Kannan vd. [5]
İsteklilik ve Tutum	3PTLS'nin alıcıya karşı tutumunu ve işi yapma istekliliğini ifade eder.	Chen vd. [8], Kannan vd. [5]

#### 4.2. Pisagor Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Geri dönüşüm sürecine dahil olan bir pil üretim işletmesi, TL faaliyetleri için uygun bir TL sağlayıcısını belirlemek istemektedir. Ele alınan vaka çalışmasında en uygun 3PTLS'yi seçmek için beş karar vericiden oluşan bir komite kurulmuştur. Bu 3PTLS seçim karar problemi yedi kriter ve on beş alternatiften oluşmaktadır. Problemin hiyerarşik yapısı Şekil 3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Karar probleminin hiyerarşik yapısı.

Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin hesaplama prosedürü aşağıdaki gibidir.

Karar vericiler, Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilen kriterlerin ve alternatiflerin önemini değerlendirmek için dilsel ifadeleri kullanır. Ele alınan problem için beş karar vericinin belirlediği kriterlerin ağırlıkları Tablo 4'te gösterilmiştir. Adım 1'de beş karar vericinin ağırlıkları eşit alınmıştır.

Tablo 2. Kriterlerin ve uzmanların değerlendirilmesi için dilsel ifadeler [26]

Dilsel ifadeler	Pisagor bulanık sayılar ( $\mu, v$ )
Çok Yüksek (ÇY)	[0.90, 0.20]
Yüksek (Y)	[0.80, 0.45]
Orta (O)	[0.65, 0.50]
Düşük (D)	[0.40, 0.60]
Çok Düşük (ÇD)	[0.20, 0.90]

Tablo 3. Alternatiflerin değerlendirilmesi için dilsel ifadeler [33]

Dilsel ifadeler	Pisagor bulanık sayılar ( $\mu, v$ )
Çok İyi (Çİ)	[0.85, 0.15]
İyi (İ)	[0.75, 0.25]

Biraz İyi (BI)	[0.65, 0.35]
Orta (O)	[0.55, 0.45]
Biraz Kötü (BK)	[0.35, 0.65]
Kötü (K)	[0.25, 0.75]
Çok Kötü (ÇK)	[0.15, 0.85]

**Tablo 4.** Beş karar vericiden alınan kriterlerin önem dereceleri

Kriterler	KV <sub>1</sub>	KV <sub>2</sub>	KV <sub>3</sub>	KV <sub>4</sub>	KV <sub>5</sub>
Kalite (C1)	ÇY	Y	O	Y	Y
Teslimat (C2)	Y	Y	ÇY	Y	Y
TL maliyeti (C3)	ÇY	Y	ÇY	ÇY	Y
İade oranı (C4)	ÇY	D	Y	O	O
Teknik/Mühendislik yeteneği (C5)	O	O	Y	Y	D
Talep karşılama yetersizliği (C6)	D	O	ÇD	D	O
İsteklilik ve tutum (C7)	Y	ÇD	Y	O	ÇY

Adım 2’de Eşitlik (8)’de gösterildiği gibi PFWA birleştirme operatörü kullanılarak uzman görüşleri birleştirilmiş ve birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi Tablo 5’te verilmiştir.

Adım 3’te Eşitlik (9)’da verilen PFWA operatörü kullanılarak aşağıdaki kriter ağırlık matrisi oluşturulmuştur:

$$W_{\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7\}} = \begin{bmatrix} 0.81 & 0.39 & 0.44 \\ 0.83 & 0.38 & 0.41 \\ 0.87 & 0.28 & 0.41 \\ 0.74 & 0.42 & 0.52 \\ 0.70 & 0.50 & 0.52 \\ 0.51 & 0.60 & 0.61 \\ 0.76 & 0.45 & 0.47 \end{bmatrix}^T$$

Ağırlıklı birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi Eşitlik (10) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 6’da sunulmuştur.

**Tablo 5.** Birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3PTLS1	(0.57, 0.44, 0.7)	(0.73, 0.28, 0.63)	(0.73, 0.28, 0.63)	(0.71, 0.29, 0.64)	(0.26, 0.75, 0.61)	(0.76, 0.24, 0.6)	(0.59, 0.41, 0.69)
3PTLS2	(0.23, 0.79, 0.58)	(0.23, 0.79, 0.58)	(0.66, 0.34, 0.66)	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.73, 0.28, 0.63)	(0.74, 0.26, 0.62)	(0.39, 0.62, 0.68)
3PTLS3	(0.39, 0.62, 0.68)	(0.73, 0.28, 0.63)	(0.74, 0.26, 0.62)	(0.28, 0.73, 0.63)	(0.74, 0.26, 0.62)	(0.51, 0.5, 0.7)	(0.59, 0.41, 0.69)
3PTLS4	(0.74, 0.26, 0.62)	(0.51, 0.5, 0.7)	(0.26, 0.75, 0.61)	(0.81, 0.2, 0.56)	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.76, 0.24, 0.6)	(0.27, 0.74, 0.61)
3PTLS5	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.49, 0.52, 0.7)	(0.51, 0.5, 0.7)	(0.61, 0.39, 0.69)	(0.71, 0.29, 0.64)	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.26, 0.75, 0.61)
3PTLS6	(0.28, 0.73, 0.63)	(0.42, 0.59, 0.68)	(0.59, 0.41, 0.69)	(0.22, 0.79, 0.58)	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.26, 0.75, 0.61)	(0.37, 0.64, 0.67)
3PTLS7	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.68, 0.32, 0.66)	(0.29, 0.72, 0.63)	(0.26, 0.75, 0.61)	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.61, 0.39, 0.69)	(0.42, 0.59, 0.68)
3PTLS8	(0.62, 0.38, 0.68)	(0.3, 0.71, 0.64)	(0.71, 0.29, 0.64)	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.71, 0.29, 0.64)	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.74, 0.26, 0.62)
3PTLS9	(0.61, 0.39, 0.69)	(0.68, 0.33, 0.66)	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.47, 0.54, 0.7)	(0.43, 0.58, 0.69)	(0.61, 0.39, 0.69)	(0.59, 0.41, 0.69)
3PTLS10	(0.71, 0.29, 0.64)	(0.68, 0.32, 0.66)	(0.71, 0.3, 0.64)	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.45, 0.56, 0.7)	(0.67, 0.34, 0.67)
3PTLS11	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.27, 0.74, 0.61)	(0.76, 0.25, 0.6)	(0.41, 0.62, 0.67)	(0.68, 0.32, 0.66)	(0.78, 0.22, 0.58)	(0.67, 0.33, 0.66)
3PTLS12	(0.61, 0.39, 0.69)	(0.57, 0.43, 0.7)	(0.74, 0.26, 0.62)	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.29, 0.72, 0.63)	(0.71, 0.29, 0.64)	(0.73, 0.28, 0.63)
3PTLS13	(0.24, 0.77, 0.59)	(0.28, 0.73, 0.63)	(0.74, 0.26, 0.62)	(0.26, 0.75, 0.61)	(0.67, 0.34, 0.67)	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.73, 0.28, 0.63)
3PTLS14	(0.77, 0.23, 0.59)	(0.73, 0.28, 0.63)	(0.49, 0.52, 0.7)	(0.59, 0.41, 0.69)	(0.74, 0.26, 0.62)	(0.67, 0.34, 0.67)	(0.81, 0.2, 0.56)
3PTLS15	(0.62, 0.38, 0.68)	(0.68, 0.32, 0.66)	(0.45, 0.56, 0.7)	(0.64, 0.36, 0.68)	(0.7, 0.31, 0.65)	(0.28, 0.73, 0.63)	(0.39, 0.62, 0.68)

**Tablo 6.** Ağırlıklı birleştirilmiş Pisagor bulanık karar matrisi

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3PTLS1	(0.46, 0.56, 0.69)	(0.6, 0.46, 0.65)	(0.63, 0.38, 0.67)	(0.53, 0.5, 0.69)	(0.18, 0.82, 0.55)	(0.39, 0.63, 0.67)	(0.45, 0.58, 0.68)
3PTLS2	(0.18, 0.82, 0.54)	(0.19, 0.82, 0.54)	(0.58, 0.43, 0.69)	(0.47, 0.54, 0.7)	(0.51, 0.55, 0.66)	(0.38, 0.64, 0.67)	(0.29, 0.71, 0.64)
3PTLS3	(0.31, 0.69, 0.65)	(0.6, 0.46, 0.65)	(0.65, 0.37, 0.67)	(0.21, 0.78, 0.59)	(0.52, 0.55, 0.66)	(0.26, 0.72, 0.64)	(0.45, 0.58, 0.68)
3PTLS4	(0.6, 0.46, 0.66)	(0.42, 0.6, 0.68)	(0.22, 0.77, 0.6)	(0.6, 0.46, 0.66)	(0.54, 0.54, 0.65)	(0.39, 0.63, 0.67)	(0.2, 0.8, 0.56)
3PTLS5	(0.63, 0.44, 0.64)	(0.4, 0.62, 0.68)	(0.45, 0.55, 0.71)	(0.45, 0.55, 0.7)	(0.5, 0.56, 0.67)	(0.39, 0.63, 0.67)	(0.2, 0.8, 0.56)
3PTLS6	(0.23, 0.77, 0.59)	(0.35, 0.67, 0.66)	(0.52, 0.48, 0.71)	(0.16, 0.83, 0.53)	(0.45, 0.59, 0.67)	(0.13, 0.85, 0.51)	(0.28, 0.73, 0.63)
3PTLS7	(0.62, 0.45, 0.64)	(0.56, 0.48, 0.67)	(0.25, 0.75, 0.61)	(0.19, 0.8, 0.57)	(0.54, 0.54, 0.65)	(0.31, 0.68, 0.66)	(0.32, 0.7, 0.64)
3PTLS8	(0.5, 0.52, 0.69)	(0.25, 0.76, 0.6)	(0.62, 0.39, 0.68)	(0.47, 0.54, 0.7)	(0.5, 0.56, 0.67)	(0.39, 0.63, 0.67)	(0.56, 0.51, 0.65)
3PTLS9	(0.5, 0.53, 0.69)	(0.56, 0.49, 0.67)	(0.67, 0.36, 0.65)	(0.35, 0.64, 0.68)	(0.3, 0.71, 0.64)	(0.31, 0.68, 0.66)	(0.45, 0.58, 0.68)
3PTLS10	(0.58, 0.47, 0.67)	(0.56, 0.48, 0.67)	(0.62, 0.4, 0.68)	(0.57, 0.47, 0.67)	(0.45, 0.59, 0.67)	(0.23, 0.75, 0.62)	(0.51, 0.54, 0.67)
3PTLS11	(0.52, 0.51, 0.68)	(0.22, 0.79, 0.58)	(0.66, 0.36, 0.66)	(0.3, 0.71, 0.64)	(0.47, 0.57, 0.67)	(0.4, 0.63, 0.67)	(0.51, 0.54, 0.67)
3PTLS12	(0.5, 0.53, 0.69)	(0.47, 0.55, 0.69)	(0.65, 0.37, 0.67)	(0.47, 0.54, 0.7)	(0.2, 0.8, 0.56)	(0.36, 0.65, 0.67)	(0.55, 0.51, 0.66)
3PTLS13	(0.2, 0.81, 0.56)	(0.23, 0.77, 0.59)	(0.65, 0.37, 0.67)	(0.19, 0.8, 0.57)	(0.46, 0.58, 0.67)	(0.33, 0.67, 0.67)	(0.55, 0.51, 0.66)
3PTLS14	(0.62, 0.45, 0.64)	(0.6, 0.46, 0.65)	(0.42, 0.57, 0.7)	(0.44, 0.56, 0.7)	(0.52, 0.55, 0.66)	(0.34, 0.66, 0.67)	(0.61, 0.48, 0.63)
3PTLS15	(0.5, 0.52, 0.69)	(0.56, 0.48, 0.67)	(0.39, 0.61, 0.69)	(0.47, 0.54, 0.7)	(0.48, 0.56, 0.67)	(0.14, 0.84, 0.53)	(0.29, 0.71, 0.64)



Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüm sırasıyla Eşitlik (11) ve (12) formülleri kullanılarak bulunmuştur. Bulunan Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri aşağıdaki gibidir.

$$A^+ = \left\{ \begin{array}{l} (0.63, 0.44, 0.64), (0.6, 0.46, 0.65), (0.67, 0.36, 0.65), \\ (0.60, 0.46, 0.66), (0.54, 0.54, 0.65), \\ (0.40, 0.63, 0.67), (0.61, 0.48, 0.63) \end{array} \right\}$$

$$A^- = \left\{ \begin{array}{l} (0.18, 0.82, 0.54), (0.19, 0.82, 0.54), (0.22, 0.77, 0.60), \\ (0.16, 0.83, 0.53), (0.18, 0.82, 0.55), \\ (0.13, 0.85, 0.51), (0.20, 0.80, 0.56) \end{array} \right\}$$

Her bir alternatifin Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıkları Eşitlik (13) ve (14)'te gösterildiği gibi Öklid uzaklığı kullanılarak ve görelî yakınlık katsayısı Eşitlik (15) kullanılarak

hesaplanmıştır. Pisagor bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıklar, alternatiflerin görelî yakınlık katsayıları Tablo 7'de verilmiştir.

Alternatiflerin  $3PTLS_i = (i = 1, 2, \dots, 15)$  görelî ağırlıklarına göre sıralandığında aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$3PTLS_{10} > 3PTLS_{14} > 3PTLS_9 > 3PTLS_8 > 3PTLS_{12} > 3PTLS_1 > 3PTLS_{11} > 3PTLS_5 > 3PTLS_3 > 3PTLS_{15} > 3PTLS_4 > 3PTLS_7 > 3PTLS_{13} > 3PTLS_2 > 3PTLS_6$$

Bu sonuçlara göre,  $3PTLS_{10}$  alternatifi şirket için en uygun TL sağlayıcısı olarak seçilmiştir.

**Tablo 7.** Pisagor bulanık TOPSIS analiz sonuçları

Alternatifler	$D(A_i, A^+)$	$D(A_i, A^-)$	$\zeta(A_i)$	Pisagor Bulanık TOPSIS
3PTLS1	0.154	0.322	-0.939	6
3PTLS2	0.256	0.251	-2.395	14
3PTLS3	0.190	0.290	-1.471	9
3PTLS4	0.227	0.297	-1.908	11
3PTLS5	0.188	0.293	-1.438	8
3PTLS6	0.286	0.182	-2.967	15
3PTLS7	0.236	0.273	-2.089	12
3PTLS8	0.144	0.317	-0.832	4
3PTLS9	0.138	0.307	-0.786	3
3PTLS10	0.082	0.342	-0.001	1
3PTLS11	0.184	0.295	-1.391	7
3PTLS12	0.145	0.317	-0.844	5
3PTLS13	0.255	0.251	-2.378	13
3PTLS14	0.108	0.343	-0.314	2
3PTLS15	0.191	0.277	-1.522	10

**4.3. Bulanık COPRAS Yönteminin Uygulanması**

Bulanık COPRAS yönteminin hesaplama adımları aşağıdaki gibidir.

Karar verici görüşleri Tablo 8'deki dilsel ifadeler yardımıyla dönüştürülmüş ve bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra uzman görüşleri Eşitlik (16) kullanılarak birleştirilmiş ve Tablo 9'da sunulmuştur.

Ardından, bulanık karar matrisi Eşitlik (17) kullanılarak durulaştırılan karar matrisi Tablo 10'da verilmiştir.

Eşitlik (18) kullanılarak karar matrisi normalize edilmiştir. Elde edilen normalize karar matrisi ile Eşitlik (19) kullanılarak ağırlıklı karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 11'de sunulmuştur.

Fayda ve maliyet ölçütleri Eşitlik (20), görelî önem değerleri Eşitlik (21) ve her bir alternatifin performans indeksleri Eşitlik (22) kullanılarak hesaplanmış ve hesaplama sonuçları Tablo 12'de sunulmuştur.

**Tablo 8.** Alternatiflerin değerlendirilmesi için dilsel ifadeler

Dilsel ifadeler	Üçgensel bulanık sayılar
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz Kötü (BK)	(1, 3, 5)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)

Alternatifler performans indekslerine göre büyükten küçüğe doğru sıralandığında elde edilen sonuç aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
3PTLS_{10} &> 3PTLS_1 > 3PTLS_{12} > 3PTLS_{14} > 3PTLS_8 \\
&> 3PTLS_9 > 3PTLS_3 > 3PTLS_{11} \\
&> 3PTLS_5 > 3PTLS_7 > 3PTLS_4 \\
&> 3PTLS_{15} > 3PTLS_{13} > 3PTLS_2 \\
&> 3PTLS_6
\end{aligned}$$

Bu sonuçlara göre,  $3PTLS_{10}$  alternatifi şirket için en uygun TL sağlayıcısı olarak seçilmiştir.

**Tablo 9.** Birleştirilmiş bulanık karar matrisi

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3PTLS1	(1, 4.5, 9)	(5, 6.67, 10)	(0, 1.67, 5)	(0, 2, 7)	(0, 1, 5)	(5, 7.33, 10)	(3, 4.83, 9)
3PTLS2	(0, 0.67, 5)	(0, 0.67, 5)	(0, 3, 7)	(0, 2.83, 7)	(5, 6.67, 10)	(5, 7, 10)	(0, 2.5, 7)
3PTLS3	(0, 2.5, 7)	(5, 6.67, 10)	(0, 1.33, 5)	(5, 7, 10)	(5, 7, 10)	(1, 3.83, 9)	(3, 4.83, 9)
3PTLS4	(5, 7, 10)	(1, 3.83, 9)	(5, 7.33, 10)	(0, 0.67, 5)	(5, 7.17, 10)	(5, 7.33, 10)	(0, 1.17, 5)
3PTLS5	(7, 7.67, 10)	(1, 3.5, 7)	(1, 4.5, 9)	(1, 3.17, 7)	(5, 6.83, 10)	(5, 7.17, 10)	(0, 1, 5)
3PTLS6	(0, 1.33, 5)	(0, 2.5, 7)	(1, 3.5, 7)	(7, 7.83, 10)	(3, 5.5, 10)	(0, 1, 5)	(0, 2.17, 7)
3PTLS7	(5, 7.17, 10)	(3, 6.17, 10)	(5, 6.83, 10)	(5, 7.33, 10)	(5, 7.17, 10)	(3, 5.17, 9)	(0, 2.5, 7)
3PTLS8	(3, 5.17, 10)	(0, 1.67, 5)	(0, 2, 7)	(0, 2.83, 7)	(5, 6.83, 10)	(5, 7.17, 10)	(3, 6.5, 10)
3PTLS9	(3, 5.17, 9)	(3, 5.67, 10)	(0, 1.17, 5)	(3, 5.17, 10)	(0, 2.83, 7)	(3, 5.17, 9)	(3, 4.83, 9)
3PTLS10	(3, 6.33, 10)	(3, 6.17, 10)	(0, 2, 5)	(0, 1.17, 5)	(3, 5.5, 10)	(1, 3.17, 7)	(3, 5.83, 10)
3PTLS11	(3, 5.5, 10)	(0, 1.17, 5)	(0, 1.5, 7)	(3, 6.17, 10)	(3, 6.17, 10)	(5, 7.5, 10)	(5, 6.17, 10)
3PTLS12	(3, 5.17, 9)	(3, 4.5, 9)	(0, 1.33, 5)	(0, 2.83, 7)	(0, 1.5, 5)	(3, 6.33, 10)	(5, 6.67, 10)
3PTLS13	(0, 0.83, 5)	(0, 1.33, 5)	(0, 1.33, 5)	(5, 7.33, 10)	(3, 5.83, 10)	(3, 5.5, 10)	(5, 6.67, 10)
3PTLS14	(5, 7.17, 10)	(5, 6.67, 10)	(3, 4.83, 9)	(1, 3.5, 7)	(5, 7, 10)	(3, 5.83, 10)	(5, 7.67, 10)
3PTLS15	(3, 5.17, 10)	(3, 6.17, 10)	(3, 5.17, 9)	(0, 2.83, 7)	(5, 6.5, 10)	(0, 1.33, 5)	(0, 2.5, 7)
Ağırlıklar	0.16	0.168	0.184	0.136	0.128	0.088	0.136

**Tablo 10.** Durulaştırılmış karar matrisi

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3PTLS1	4.833	7.222	2.222	3.000	2.000	7.444	5.611
3PTLS2	1.889	1.889	3.333	3.278	7.222	7.333	3.167
3PTLS3	3.167	7.222	2.111	7.333	7.333	4.611	5.611
3PTLS4	7.333	4.611	7.444	1.889	7.389	7.444	2.056
3PTLS5	8.222	3.833	4.833	3.722	7.278	7.389	2.000
3PTLS6	2.111	3.167	3.833	8.278	6.167	2.000	3.056
3PTLS7	7.389	6.389	7.278	7.444	7.389	5.722	3.167
3PTLS8	6.056	2.222	3.000	3.278	7.278	7.389	6.500
3PTLS9	5.722	6.222	2.056	6.056	3.278	5.722	5.611
3PTLS10	6.444	6.389	2.333	2.056	6.167	3.722	6.278
3PTLS11	6.167	2.056	2.833	6.389	6.389	7.500	7.056
3PTLS12	5.722	5.500	2.111	3.278	2.167	6.444	7.222
3PTLS13	1.944	2.111	2.111	7.444	6.278	6.167	7.222
3PTLS14	7.389	7.222	5.611	3.833	7.333	6.278	7.556
3PTLS15	6.056	6.389	5.722	3.278	7.167	2.111	3.167

**Tablo 11.** Ağırlıklı normalize karar matrisi

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3PTLS1	0.010	0.017	0.007	0.006	0.003	0.008	0.010
3PTLS2	0.004	0.004	0.011	0.006	0.010	0.007	0.006
3PTLS3	0.006	0.017	0.007	0.014	0.010	0.005	0.010
3PTLS4	0.015	0.011	0.024	0.004	0.010	0.008	0.004
3PTLS5	0.016	0.009	0.016	0.007	0.010	0.007	0.004
3PTLS6	0.004	0.007	0.012	0.016	0.009	0.002	0.006
3PTLS7	0.015	0.015	0.024	0.014	0.010	0.006	0.006
3PTLS8	0.012	0.005	0.010	0.006	0.010	0.007	0.012
3PTLS9	0.011	0.014	0.007	0.012	0.005	0.006	0.010
3PTLS10	0.013	0.015	0.008	0.004	0.009	0.004	0.011
3PTLS11	0.012	0.005	0.009	0.012	0.009	0.008	0.013
3PTLS12	0.011	0.013	0.007	0.006	0.003	0.006	0.013

3PTLS13	0.004	0.005	0.007	0.014	0.009	0.006	0.013
3PTLS14	0.015	0.017	0.018	0.007	0.010	0.006	0.014
3PTLS15	0.012	0.015	0.019	0.006	0.010	0.002	0.006

**Tablo 12.** Bulanık COPRAS analiz sonuçları

Alternatifler	$S_{+i}$	$S_{-i}$	$Q_i$	$P_i$	Bulanık COPRAS
3PTLS1	0.047	0.013	0.082	90.053	2
3PTLS2	0.031	0.017	0.058	63.818	14
3PTLS3	0.048	0.021	0.070	76.799	7
3PTLS4	0.047	0.028	0.063	69.581	11
3PTLS5	0.047	0.023	0.067	73.095	9
3PTLS6	0.028	0.028	0.044	48.168	15
3PTLS7	0.051	0.038	0.063	69.678	10
3PTLS8	0.047	0.016	0.075	82.498	5
3PTLS9	0.046	0.018	0.071	78.237	6
3PTLS10	0.051	0.012	0.091	100.000	1
3PTLS11	0.046	0.021	0.068	74.221	8
3PTLS12	0.047	0.013	0.081	89.440	3
3PTLS13	0.037	0.021	0.058	64.159	13
3PTLS14	0.062	0.026	0.080	87.430	4
3PTLS15	0.045	0.025	0.063	69.383	12

**4.4. TOPSIS Yönteminin Uygulanması**

TOPSIS yönteminin hesaplama adımları aşağıdaki gibidir. Birleştirilmiş karar verici görüşleri Tablo 13'te sunulmuştur.

Daha sonra, ağırlıklı normalize değerler ( $v_{ij}$ ) Eşitlik (23) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 14'te sunulmuştur.

Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerleri sırasıyla Eşitlik (24) ve (25) kullanılarak bulunmuştur ve aşağıdaki gibi sunulmuştur.

$$A^+ = \{0.056, 0.057, 0.059, 0.053, 0.039, 0.028, 0.051\}$$

$$A^- = \{0.014, 0.016, 0.020, 0.013, 0.013, 0.009, 0.016\}$$

Her bir alternatifin pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıkları Eşitlik (26) ve (27)'de

gösterildiği gibi Öklid uzaklığı kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra görelî yakınlık katsayısı ( $C_j^*$ ) Eşitlik (28) kullanılarak hesaplanmıştır. Pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıklar ve alternatiflerin görelî yakınlık katsayıları Tablo 15'te verilmiştir.

Alternatifler görelî ağırlıklarına göre büyükten küçüğe doğru sıralandığında çıkan sonuç aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} 3PTLS_{10} &> 3PTLS_{14} > 3PTLS_1 > 3PTLS_{12} > 3PTLS_9 \\ &> 3PTLS_8 > 3PTLS_3 > 3PTLS_5 \\ &> 3PTLS_{15} > 3PTLS_{11} > 3PTLS_4 \\ &> 3PTLS_7 > 3PTLS_{13} > 3PTLS_2 \\ &> 3PTLS_6 \end{aligned}$$

Bu sonuçlara göre,  $3PTLS_{10}$  alternatifi şirket için en uygun TL sağlayıcısı olarak seçilmiştir.

**Tablo 13.** Birleştirilmiş karar matrisi

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3PTLS1	4.200	5.600	5.600	5.400	2.000	6.000	4.400
3PTLS2	1.600	1.600	4.800	4.800	5.600	5.800	3.000
3PTLS3	3.000	5.600	5.800	2.200	5.800	3.800	4.400
3PTLS4	5.800	3.800	2.000	6.400	6.000	6.000	2.000
3PTLS5	6.200	3.600	3.800	4.600	5.600	6.000	2.000
3PTLS6	2.200	3.000	4.400	1.600	4.800	2.000	2.800
3PTLS7	6.000	5.200	2.200	2.000	6.000	4.600	3.000
3PTLS8	4.600	2.400	5.400	4.800	5.600	6.000	5.600
3PTLS9	4.600	5.000	6.000	3.400	3.200	4.600	4.400
3PTLS10	5.400	5.200	5.400	6.000	4.800	3.400	5.000
3PTLS11	4.800	2.000	5.800	2.600	5.200	6.200	5.200
3PTLS12	4.600	4.200	5.800	4.800	2.200	5.400	5.600
3PTLS13	1.800	2.200	5.800	2.000	5.000	4.800	5.600
3PTLS14	6.000	5.600	3.600	4.400	5.800	5.000	6.400
3PTLS15	4.600	5.200	3.400	4.800	5.400	2.200	3.000
Ağırlıklar	0.160	0.168	0.184	0.136	0.128	0.088	0.136

**Tablo 14.** Ağırlıklı normalize matris

Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
3PTLS1	0.038	0.057	0.055	0.044	0.013	0.027	0.035
3PTLS2	0.014	0.016	0.047	0.040	0.037	0.027	0.024
3PTLS3	0.027	0.057	0.057	0.018	0.038	0.017	0.035
3PTLS4	0.052	0.039	0.020	0.053	0.039	0.027	0.016
3PTLS5	0.056	0.037	0.037	0.038	0.037	0.027	0.016
3PTLS6	0.020	0.031	0.043	0.013	0.032	0.009	0.022
3PTLS7	0.054	0.053	0.022	0.016	0.039	0.021	0.024
3PTLS8	0.041	0.024	0.053	0.040	0.037	0.027	0.045
3PTLS9	0.041	0.051	0.059	0.028	0.021	0.021	0.035
3PTLS10	0.048	0.053	0.053	0.049	0.032	0.016	0.040
3PTLS11	0.043	0.020	0.057	0.021	0.034	0.028	0.042
3PTLS12	0.041	0.043	0.057	0.040	0.014	0.025	0.045
3PTLS13	0.016	0.022	0.057	0.016	0.033	0.022	0.045
3PTLS14	0.054	0.057	0.035	0.036	0.038	0.023	0.051
3PTLS15	0.041	0.053	0.033	0.040	0.035	0.010	0.024

**Tablo 15.** Klasik TOPSIS analiz sonuçları

Alternatifler	$D_j^*$	$D_j^-$	$C_j^*$	TOPSIS
3PTLS1	0.037	0.072	0.661	3
3PTLS2	0.067	0.049	0.423	14
3PTLS3	0.049	0.066	0.572	7
3PTLS4	0.056	0.067	0.545	11
3PTLS5	0.049	0.063	0.564	8
3PTLS6	0.071	0.034	0.324	15
3PTLS7	0.059	0.062	0.510	12
3PTLS8	0.039	0.066	0.627	6
3PTLS9	0.039	0.065	0.628	5
3PTLS10	0.022	0.077	0.781	1
3PTLS11	0.051	0.061	0.546	10
3PTLS12	0.036	0.068	0.656	4
3PTLS13	0.065	0.053	0.451	13
3PTLS14	0.029	0.078	0.726	2
3PTLS15	0.046	0.059	0.562	9

#### 4.5. Sonuçların Karşılaştırılması

Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi, klasik TOPSIS yöntemi, bulanık COPRAS yöntemi ve literatürde daha önce uygulanmış bulanık TOPSIS yöntemi [5] karşılaştırmalı olarak Tablo 16'da sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Pisagor bulanık TOPSIS, klasik TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemlerinde alternatif 3PTLS<sub>10</sub>, bulanık TOPSIS yönteminde ise alternatif 3PTLS<sub>14</sub> en uygun alternatif olarak seçildiği görülmektedir. Ele alınan dört yöntemde de son sıradaki alternatif 3PTLS<sub>6</sub> olmuştur. Geri kalan alternatifler değerlendirildiğinde küçük farklılıklar

olmasına rağmen genel olarak benzer sıralamalar ortaya çıkmaktadır.

Belirsizlikle başa çıkabilmek için bulanık mantık ile entegre edilen ÇKKV problemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Pisagor bulanık kümeler insan düşüncelerindeki belirsizliklerle daha iyi başa çıkabilmek için ortaya atılmıştır [20]. Çalışma sonuçlarına bakıldığında sıralamada küçük değişiklikler olduğu görülmektedir. Bu değişikliklerin nedeni her yöntemin kendi içindeki çalışma prensibi ile alakalıdır.

**Tablo 16.** Farklı ÇKKV yöntemleri ile elde edilen alternatif sıralaması

Alternatif Sırası	Bulanık yaklaşımlar			Klasik yaklaşım
	Pisagor bulanık TOPSIS (Mevcut çalışma)	Bulanık TOPSIS [5]	Bulanık COPRAS (Mevcut Çalışma)	TOPSIS (Mevcut Çalışma)
1	3PTLS10	3PTLS14	3PTLS10	3PTLS10
2	3PTLS14	3PTLS10	3PTLS1	3PTLS14
3	3PTLS9	3PTLS8	3PTLS12	3PTLS1
4	3PTLS8	3PTLS12	3PTLS14	3PTLS12
5	3PTLS12	3PTLS1	3PTLS8	3PTLS9
6	3PTLS1	3PTLS9	3PTLS9	3PTLS8
7	3PTLS11	3PTLS4	3PTLS3	3PTLS3
8	3PTLS5	3PTLS5	3PTLS11	3PTLS5
9	3PTLS3	3PTLS11	3PTLS5	3PTLS15
10	3PTLS15	3PTLS3	3PTLS7	3PTLS11
11	3PTLS4	3PTLS15	3PTLS4	3PTLS4
12	3PTLS7	3PTLS7	3PTLS15	3PTLS7
13	3PTLS13	3PTLS2	3PTLS13	3PTLS13
14	3PTLS2	3PTLS13	3PTLS2	3PTLS2
15	3PTLS6	3PTLS6	3PTLS6	3PTLS6

#### 4.6. Duyarlılık Analizi

Kriter ağırlıklarına bağlı olarak alternatiflerin nihai sıralaması değişebilir. Karar vericilerin görüşleri kriter ağırlıklarını önemli ölçüde etkilediği için, kriter ağırlıkları değiştirilerek nihai sıralamanın sağlamlığı kontrol edilmelidir. Alternatif sıralamasının kriter ağırlığındaki küçük değişikliklere karşı çok duyarlı olması durumunda, modelin gözden geçirilmesi gerekmektedir [34].

Bu bölümde Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak elde edilen sonuç üzerinden alternatiflerin

sırasının, kriter ağırlıklarındaki değişikliklere tepkisini ölçmek için yedi durumdan oluşan duyarlılık analizi yapılmıştır. Oluşturulan yedi farklı duyarlılık analizi Tablo 17’de verilmiştir.

Kriter ağırlıkları için yapılan duyarlılık analizi sonuçları Tablo 18’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, alternatif sıralamasında küçük değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum modelin kriter ağırlıklarındaki küçük değişikliklere karşı sağlam (robust) olduğunu göstermektedir.

**Tablo 17.** Duyarlılık analizi için oluşturulan durumlar

Kriterler	Durum 1			Durum 2			Durum 3			Durum 4			Durum 5			Durum 6			Durum 7		
	$\mu$	$\nu$	$\pi$	$\mu$	$\nu$	$\pi$	$\mu$	$\nu$	$\pi$	$\mu$	$\nu$	$\pi$	$\mu$	$\nu$	$\pi$	$\mu$	$\nu$	$\pi$	$\mu$	$\nu$	$\pi$
C1	0.70	0.56	0.44	0.80	0.41	0.44	0.90	0.39	0.20	0.80	0.45	0.40	0.65	0.50	0.57	0.75	0.25	0.61	0.65	0.35	0.67
C2	0.70	0.58	0.41	0.80	0.44	0.41	0.90	0.38	0.20	0.80	0.45	0.40	0.65	0.50	0.57	0.75	0.25	0.61	0.65	0.35	0.67
C3	0.70	0.58	0.41	0.70	0.58	0.41	0.94	0.28	0.20	0.90	0.20	0.39	0.80	0.45	0.40	0.75	0.25	0.61	0.65	0.35	0.67
C4	0.70	0.49	0.52	0.70	0.49	0.52	0.88	0.42	0.20	0.65	0.50	0.57	0.80	0.45	0.40	0.85	0.15	0.50	0.85	0.15	0.50
C5	0.70	0.49	0.52	0.70	0.49	0.52	0.84	0.50	0.20	0.65	0.50	0.57	0.80	0.45	0.40	0.85	0.15	0.50	0.85	0.15	0.50
C6	0.70	0.37	0.61	0.50	0.61	0.61	0.77	0.60	0.20	0.40	0.60	0.69	0.65	0.50	0.57	0.65	0.35	0.67	0.75	0.25	0.61
C7	0.70	0.54	0.47	0.70	0.54	0.47	0.87	0.45	0.20	0.80	0.45	0.40	0.65	0.50	0.57	0.85	0.15	0.50	0.85	0.15	0.50

**Tablo 18.** Duyarlılık analizi sonuçları

Alternatif Sırası	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6	Durum 7
1	3PTLS14	3PTLS10	3PTLS10	3PTLS10	3PTLS10	3PTLS14	3PTLS14
2	3PTLS10	3PTLS14	3PTLS14	3PTLS14	3PTLS14	3PTLS10	3PTLS10
3	3PTLS8	3PTLS8	3PTLS8	3PTLS8	3PTLS8	3PTLS8	3PTLS8
4	3PTLS12	3PTLS9	3PTLS12	3PTLS9	3PTLS12	3PTLS12	3PTLS12
5	3PTLS9	3PTLS12	3PTLS1	3PTLS12	3PTLS9	3PTLS9	3PTLS9
6	3PTLS1	3PTLS1	3PTLS9	3PTLS1	3PTLS1	3PTLS1	3PTLS1
7	3PTLS11	3PTLS5	3PTLS11	3PTLS11	3PTLS5	3PTLS11	3PTLS11
8	3PTLS5	3PTLS15	3PTLS5	3PTLS3	3PTLS11	3PTLS5	3PTLS5
9	3PTLS4	3PTLS11	3PTLS3	3PTLS5	3PTLS3	3PTLS3	3PTLS3
10	3PTLS3	3PTLS4	3PTLS15	3PTLS15	3PTLS4	3PTLS15	3PTLS4
11	3PTLS15	3PTLS3	3PTLS4	3PTLS4	3PTLS15	3PTLS4	3PTLS15
12	3PTLS7	3PTLS7	3PTLS7	3PTLS7	3PTLS7	3PTLS7	3PTLS7
13	3PTLS2	3PTLS2	3PTLS13	3PTLS13	3PTLS2	3PTLS2	3PTLS2

14	3PTLS13	3PTLS13	3PTLS2	3PTLS2	3PTLS13	3PTLS13	3PTLS13
15	3PTLS6	3PTLS6	3PTLS6	3PTLS6	3PTLS6	3PTLS6	3PTLS6

## V. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal kaynakların hızlı tüketimi ve çevreye duyarlılık konusunda farkındalığın artması, işletmeleri tersine lojistiğin sürdürülebilir tedarik zinciri faaliyetleri gelişiminde önemli bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır. TL süreci etkin ve anlamlı biçimde tasarlanarak yönetilirse, karlılığı ve müşteri memnuniyetini artıracaktır. İşletmeler, kendi temel iş operasyonlarına odaklanmak ve maliyet verimliliği sağlamak için TL faaliyetlerini dış kaynaklara yaptırmaktadır. Bu nedenle, en iyi TL sağlayıcısının seçimi, genel olarak tedarik zinciri ağ mekanizmasının en önemli konularından biri haline gelmektedir.

Bir karar verme sürecinde, dilsel ifadelerin karar problemlerinde kullanılması, performans değerlerinin kesin değerlerle ifade edilemediği durumlarda oldukça yararlıdır. Bu çalışmada, literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak yeni geliştirilen son dönem bulanık yaklaşımlardan biri olan ve insan düşüncelerindeki belirsizliği diğer bulanık kümelerden daha iyi ele alabilen Pisagor bulanık küme temelli TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, dört farklı ÇKKV yöntemi kullanılarak en uygun 3PTLS seçimindeki etkisi araştırılmıştır. Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi ile üçgen sayılara dayalı bulanık TOPSIS ve bulanık COPRAS yöntemleri ve klasik TOPSIS yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca duyarlılık analizi uygulanarak modelin güvenilirliği test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, alternatiflerin sıralamasında küçük farklılıklar olmasına rağmen genel olarak yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu farklılıklar yöntemlerin çalışma prensiplerindeki hassasiyetten, kullanılan bulanık kümelerin olağan yapısından kaynaklanmaktadır. İşletmeler için 3PTLS'nin etkin bir biçimde değerlendirilmesi konusunda farklı bulanık yaklaşımların kullanılması, doğru karar vermelerine yardımcı olarak daha faydalı tercih yapmalarını sağlayacaktır.

Gelecek araştırmalar için, problem yapısı yeni değişkenler eklenerek geliştirilebilir ve yeni önerilen küresel bulanık kümeler (spherical fuzzy sets) ve nötrosofik bulanık kümeler (neutrosophic fuzzy sets) yardımıyla değerlendirilerek, elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Şirketlerin, TL seçimi için çeşitli ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir karar destek sistemi tasarlanabilir. Ayrıca içinde bulunduğumuz pandemi süreciyle ilişkili olarak COVID-19 etkisinin TL tedarik zinciri faaliyetlerine etkisi araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Koh, S. C. L., Demirbag, M., Bayraktar, E., Tatoglu, E. & Zaim, S. (2007). The impact of supply chain management practices on performance of SMEs. *Industrial*

*Management and Data Systems*, 107(1), 103–124.

- [2] Zaim, S., Sevkli, M. & Tarim, M. (2013). Fuzzy analytic hierarchy based approach for supplier selection. *Euromarketing and the Future* içinde (ss. 147–176).
- [3] James Stock. (1992). Reverse logistics: White paper. *Council of Logistics Management*.
- [4] Senthil, S., Srirangacharyulu, B. & 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.
- [5] Kannan, G., Pokharel, S. & Kumar, P. S. (2009). A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(1), 28–36.
- [6] Govindan, K., Kadziński, M., Ehling, R. & Miebs, G. (2019). Selection of a sustainable third-party reverse logistics provider based on the robustness analysis of an outranking graph kernel conducted with ELECTRE I and SMAA, 85, 1–15.
- [7] Srivastava, S. K. (2008). Network design for reverse logistics. *Omega*, 36(4), 535–548.
- [8] Chen, Z.-S., Zhang, X., Govindan, K., Wang, X.-J. & Chin, K.-S. (2021). Third-party reverse logistics provider selection: A computational semantic analysis-based multi-perspective multi-attribute decision-making approach. *Expert Systems with Applications*, 166, 114051.
- [9] Li, Y., Kannan, D., Garg, K., Gupta, S., Gandhi, K. & Jha, P. C. (2018). Business orientation policy and process analysis evaluation for establishing third party providers of reverse logistics services. *Journal of Cleaner Production*, 182, 1033–1047.
- [10] Agrawal, S., Singh, R. K. & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92.
- [11] Govindan, K., Soleimani, H. & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626.
- [12] Prakash, C. & Barua, M. K. (2016). An analysis of integrated robust hybrid model for third-party reverse logistics partner selection under fuzzy environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 63–81.

- [13] Tavana, M., Zareinejad, M., Santos-Arteaga, F. J. & Kaviani, M. A. (2016). A conceptual analytic network model for evaluating and selecting third-party reverse logistics providers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(5–8), 1705–1721.
- [14] Azadi, M. & Saen, R. F. (2011). A new chance-constrained data envelopment analysis for selecting third-party reverse logistics providers in the existence of dual-role factors. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12231–12236.
- [15] Suyabatmaz, A. Ç., Altekin, F. T. & Şahin, G. (2014). Hybrid simulation-analytical modeling approaches for the reverse logistics network design of a third-party logistics provider. *Computers & Industrial Engineering*, 70, 74–89.
- [16] Min, H. & Ko, H.-J. (2008). The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 176–192.
- [17] Govindan, K., Palaniappan, M., Zhu, Q. & Kannan, D. (2012). Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural modeling. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 204–211.
- [18] Ravi, V. (2012). Selection of third-party reverse logistics providers for End-of-Life computers using TOPSIS-AHP based approach. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 11(1), 24.
- [19] Govindan, K. & Murugesan, P. (2011). Selection of third-party reverse logistics provider using fuzzy extent analysis. *Benchmarking: An International Journal*, 18(1), 149–167.
- [20] Yager, R. R. (2013). Pythagorean fuzzy subsets. *2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)* içinde (ss. 57–61). IEEE.
- [21] Ilbahar, E., Kardeş, A., Cebi, S. & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124–136.
- [22] Onar, S. C., Oztaysi, B. & Kahraman, C. (2018). Multicriteria Evaluation of Cloud Service Providers Using Pythagorean Fuzzy TOPSIS. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 30(2–3), 263–283.
- [23] Zhang, X. & Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to Multiple Criteria Decision Making with Pythagorean Fuzzy Sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12), 1061–1078.
- [24] Zhang, X. (2016). A Novel Approach Based on Similarity Measure for Pythagorean Fuzzy Multiple Criteria Group Decision Making. *International Journal of Intelligent Systems*, 31(6), 593–611.
- [25] Gedikli, T., Ervural, B. C. & Sen, D. T. (2021). Evaluation of Maintenance Strategies Using Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method. *Advances in Intelligent Systems and Computing* içinde (C. 1197 AISC, ss. 512–521). Springer.
- [26] Akram, M., Dudek, W. A. & Ilyas, F. (2019). Group decision-making based on pythagorean fuzzy TOPSIS method. *International Journal of Intelligent Systems*, 34(7), 1455–1475.
- [27] Nguyen, H. T., Md Dawal, S. Z., Nukman, Y., Aoyama, H. & Case, K. (2015). An integrated approach of fuzzy linguistic preference based AHP and fuzzy COPRAS for machine tool evaluation. *PLoS ONE*, 10(9).
- [28] Khorasani, S. T. (2018). Green Supplier Evaluation by Using the Integrated Fuzzy AHP Model and Fuzzy Copras. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 2, 17–25.
- [29] Hwang, C. C.-L. & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* (C. 186). New York: Springer.
- [30] Opricovic, S. & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455.
- [31] Gedikli, T. & Cayir Ervural, B. (2019). Selection Optimum Maintenance Strategy Using Multi-Criteria Decision Making Approaches. F. Calısır & O. Korhan (Ed.), *Industrial Engineering in the Digital Disruption Era* içinde (ss. 156–170). Springer.
- [32] Guarnieri, P., Sobreiro, V. A., Nagano, M. S. & Marques Serrano, A. L. (2015). The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, 96, 209–219.
- [33] Chen, T. Y. (2018). Remoteness index-based Pythagorean fuzzy VIKOR methods with a generalized distance measure for multiple criteria decision analysis. *Information Fusion*, 41, 129–150.
- [34] Chang, C.-W., Wu, C.-R., Lin, C.-T. & Chen, H.-C. (2007). An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine. *Computers & Industrial Engineering*, 52(2), 296–307.