

Küresel Bulanık Ortamda Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Demir Çelik Sektöründe Tedarikçi Seçimi

Supplier Selection in the Iron and Steel Industry with Multi-Criteria Decision Making Methods in a Spherical Fuzzy Environment

Zeynep Simge BAYSAL¹, Berk AYVAZ², Muhammet CEYLAN³

¹*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,*

²*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,*

³*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

Öz

Şirketler tedarikçi seçimini gerçekleştirirken genel olarak satın alma ve rekabet stratejilerine uygun olarak belirlenmiş kriterlere dikkat etmektedirler. Fakat bu seçimi yaparken birçok zorlukla karşılaşıldığı, bu sebeple dikkat edilmesi gereken pek çok hususun bulunduğu bilinmektedir. Piyasada çok sayıda tedarikçi bulunmakta ve bu tedarikçiler içinden şirkete en uygun olanın seçilmesi amaçlanmaktadır. Tedarikçi seçim problemlerinin çözümünde genellikle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri uygulanmaktadır. Bahis konusu çalışmada, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında oluşturulan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'na tabi olan demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren bir şirket için tedarikçi seçim problemi ele alınmıştır. Üç tedarikçinin performans değerlendirilmesi yapılarak söz konusu tedarikçiler 6 ana, 23 alt kriterde incelenmiştir. Çalışmada, Küresel Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve CODAS (Communication Disorders, Audiology and Swallowing) yöntemlerini içeren bir karar verme yaklaşımı yer almaktadır. Tedarikçilerin değerlendirilmesi sürecinde uzmanlar tarafından belirlenen kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için Küresel Bulanık AHP yöntemi kullanılmış olup, demir-çelik sektöründe tedarikçi seçimi aşamasında en önemli kriterin fiyat olduğu tespit edilmiştir. Küresel Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak Tedarikçi 3; Küresel Bulanık CODAS yöntemiyle ise Tedarikçi 1'in en iyi alternatif olduğu belirlenerek tedarikçiler sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV); Küresel Bulanık Sayılar; AHP; TOPSIS; CODAS; Tedarikçi Seçimi

Abstract

When selecting suppliers, companies generally pay attention to criteria determined in accordance with their purchasing and competition strategies. However, it is known that many difficulties are encountered when making this choice, and therefore there are many issues that need to be taken into consideration. There are many suppliers in the market and the aim is to choose the one that is most suitable for the company among these suppliers. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods are generally applied to solve supplier selection problems. In the study in question, the supplier selection problem for a company operating in the iron and steel industry that is subject to the Border Carbon Regulation Mechanism established within the scope of the European Green Deal is discussed. The performance evaluation of three suppliers was made and the suppliers in question were examined in 6 main and 23 sub-criteria. The study includes a decision-making approach that includes Spherical Fuzzy Analytical Hierarchy Process, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) and CODAS (Communication Disorders, Audiology and Swallowing) methods. During the evaluation of suppliers, the Spherical Fuzzy AHP method was used to calculate the weights of the criteria determined by the experts, and it was determined that the most important criterion was price in the supplier selection phase in the iron and steel industry. Supplier 3 selected with the Spherical Fuzzy TOPSIS method, and spherical fuzzy CODAS method, Supplier 1 was determined to be the best alternative and the suppliers were ranked.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making (MCDM); Spherical Fuzzy Numbers; AHP; TOPSIS; CODAS; Supplier Selection

I. GİRİŞ

Günümüzde tedarikçi seçimi işletmelerin ticari faaliyetlerinin sürdürülmesi aşamasında büyük önem taşımaktadır. Tedarikçi seçimi, birbirine zıt sayısal veri içeren veya içermeyen birçok kriteri bulunan çok kriterli bir karar verme problemi olarak tanımlanmaktadır. Bu problemlerde ilgili firmaların isteklerine göre en uygun tedarikçilerin seçilmesi hedeflenmektedir. Hangi ürün veya hizmetin, hangi firmadan ne kadar alınacağını doğru bir şekilde belirlenmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması ve firmaların rekabet yeteneğinin geliştirilmesini sağlamaktadır. Aynı sektörlerde yer alan firmalar arasında rekabet oluşmakta ve bu firmaların çetrefilli rekabet ortamında doğru bir tedarik zinciri yönetimi sağlayarak fark oluşturmaları gerekmektedir.

sıralanabilmesi aşamasında ise Küresel Bulanık TOPSIS ve Küresel Bulanık CODAS yöntemleri uygulanmıştır. Bu çalışma, beş bölümden oluşmuştur. İlk bölümde giriş yapılarak çalışma hakkında genel bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde, literatür taramasına yer verilmektedir. Sonraki bölümde ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden çalışmada uygulanan Küresel Bulanık AHP, TOPSIS ve CODAS yöntemlerinin metodolojisi sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, bahsedilen yöntemler uygulanmakta ve tedarikçiler sıralanmaktadır. Beşinci bölümde ise sonuçlar ve bulgular yorumlanmaktadır. Yapılan değerlendirme sonucunda SKDM'ye tabi olan demir-çelik sektöründe tedarikçi seçimi aşamasında çevre ana kriteri başlığı altında bulunan karbon emisyonunun azaltılmasına yönelik belirlenen yeşil kriterlere pek önem verilmediği, en önemli kriterin fiyat unsuru olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılacak kriterlerin ve yöntemin belirlenmesine yönelik literatür taramasında 2003-2023 yılları arasında yapılan çalışmalar ve araştırmalar ele alınmıştır. Özellikle tedarikçi seçimi, yeşil tedarikçi seçimi, çok kriterli karar verme yöntemleri anahtar kelimeleri taranarak inceleme yapılmıştır.

Kahraman vd. (2003), yaptığı çalışmada Türkiye'de beyaz eşya üreticisi firma için tedarikçi seçimi problemini ele almıştır. Firmanın satın alma yöneticilerine görüşülmüş, anket uygulanmış ve kriterler belirlenmiştir. Uygulamada 3 ana kriter, 11 alt kriter belirlenerek 3 tedarikçi değerlendirilmiştir. Tedarikçilerin değerlendirilmesinde Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Soner ve Önüt, (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, havalandırma ve klima cihazları üreten bir işletmenin tedarikçi seçim problemini ele alınmıştır. Çalışmada AHP yöntemi ile 7 kriterleri değerlendirip, ELECTRE yöntemi kullanarak 5 tedarikçiyi sıralamışlardır. Tahriri vd. (2008) çalışmasında, Malezya'da bir çelik imalat şirketi için tedarikçi seçim problemini ele almış ve problemin çözümü için AHP yöntemini kullanmıştır. Çalışmada 6 ana kriter, 16 alt kriter belirlenmiş ve 4 tedarikçi değerlendirilmiştir. Büyüközkan & Çiftçi (2012) yapmış oldukları çalışmada, yeşil tedarikçi değerlendirmesi için hibrit Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada, bulanık ortamda DEMATEL, ANP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmış, 19 kriter baz alınarak 5 tedarikçi değerlendirilmiştir. Çalışma, Türkiye'de öncü firmalardan biri olan Ford Otosan'da uygulanmıştır.

Arıkan ve Küçükçe (2013) çalışmalarında, satın alma faaliyetlerini sürdüren bir kamu kuruluşuna en uygun tedarikçinin seçilmesini hedeflemişlerdir. Kurumun tedarikçi seçiminde etkisi olacağı değerlendirilen kriterler anket çalışması sonucunda tespit edilen 6 ana kriter ve alt kriterler AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Yapılan çalışmada PROMETHEE II yöntemi kullanılarak 32 tedarikçi firma değerlendirilmiştir. Junior vd. (2014) yaptığı çalışmada, otomotiv üretim zincirinde yer alan bir firmanın tedarikçi seçim problemini ele alarak, problemin çözüm aşamasında Bulanık AHP-TOPSIS yöntemlerini uygulayarak 5 tedarikçiyi değerlendirmiştir. Yapılan çalışmada her iki yöntem karşılaştırılmıştır. Bronja (2015) çalışmasında, araba egzoz sisteminde kullanılacak alüminize edilmiş levha için tedarikçi seçimi gerçekleştirmiştir.

Kriterlerin ağırlıklandırılmasında Bulanık AHP yöntemi, tedarikçilerin sıralanmasında ise Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak, 10 kriter baz alınarak 6 tedarikçi değerlendirilmiştir. Yılmaz (2015) çalışmasında, bir firma için tedarikçi seçim problemini odaklanmıştır. Çalışmada Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR bütünleşik yöntemi uygulanmıştır. Uygulamada fiyat, kalite, teslimat ve hizmet kalitesi kriterleri baz alınarak 3 tedarikçi değerlendirilmiştir. Kara ve Ecer (2016) çalışmasında, AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak tedarikçi seçim problemini çözme amaçlamıştır. Yapılan çalışmada belirlenen ana kriterler; kalite, maliyet, profil, teslimat ve esneklik olarak verilmiştir. Bu kriterlerin 12 adet alt kriteri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda tüm kriterler içinde "teslimat" kriterinin en önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tekez ve Bark (2016) çalışmasında, bir mobilya fabrikasının tedarikçi seçimi problemini çözmek için Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada 6 kriter baz alınarak 6 tedarikçi değerlendirilmiştir. Denizhan vd., (2017) yapmış olduğu çalışmada, makine imalatı sektöründe yeşil tedarikçi seçim problemini ele alarak 6 ana kriter altında 3 firmayı değerlendirmiştir. Bu değerlendirmeler esnasında AHP ve Bulanık AHP yöntemlerini uygulamıştır. Arslan ve Uysal (2017) tarafından yapılan çalışmada ağaç işleme sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak tedarikçi seçim probleminin çözümlenmesi amaçlanmıştır. Üç ham ağaç tedarikçisinin performanslarının değerlendirilmesi aşamasında ELECTRE yöntemi uygulanmıştır. Daldır ve Tosun (2018) yılında yapmış oldukları çalışmada bir işletme için yeşil tedarikçi seçimi için 3 ana kriter 12 alt kriter kullanarak, 2 uzman görüşüne başvurmuşlardır. Problemin çözümü için Bulanık WASPAS ve AHS yöntemlerini kullanmışlardır. Narayanan ve Jinesh (2018) senesinde yaptıkları çalışmada, bir döküm ünitesi için tedarikçi seçimi gerçekleştirmiştir. Problemin çözümü için SWARA ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak 4 alternatif tedarikçi içinden en uygun olan seçilmiştir. Onat ve Kaçtıoğlu (2019) çalışmalarında, perakende sektöründe Tuzla'da depo faaliyetlerini sürdüren bir işletmenin tedarikçi seçim problemi ele alınmış olup; Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS bütünleşik kullanılmıştır. Problemin çözümünde 5 ana kriter, 15 alt kriter belirlenmiş ve tedarikçileri 4 karar verici değerlendirmiştir. Madenoğlu (2019) yaptığı çalışma ile mobilya üretimi yapan bir firmanın yeşil tedarikçi seçim problemini ele almıştır. Çalışmadaki kriterlerin ağırlıklandırılması aşamasında Bulanık SWARA, yeşil tedarikçilerin sıralanması ve seçimi aşamasında Bulanık ARAS, Bulanık Gri İlişkisel Analiz, Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, yöntemleri kullanılmıştır. Doğan ve Akbal (2019), yaptıkları çalışmada bir üniversite hastanesinin tedarikçileri satın alma birim yöneticilerinin görüşleri alınarak 5 kriter kapsamında AHP yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Polat ve Kaçmaz (2019), çalışmalarında imalat sektöründe faaliyet gösteren Kocaeli'de yer alan bir endüstriyel makine imalat firmasının elektrik malzemelerini temin ettiği tedarikçiyi seçmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 5 ana kriter, 17 alt kriter baz alınarak Bulanık AHP yöntemi kullanılarak tedarikçiler değerlendirilmiştir. Şekerci ve Yazıcıoğlu (2019), çalışmalarında gıda sektörüne yönelik pet şişe platformu adına yapılan tedarikçi seçim problemini ele almışlardır. Yapılan çalışmada literatür incelenerek en

çok tercih edilen kriterler belirlenerek tedarikçiler AHP yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Cezlan (2021) çok kriterli karar yöntemlerini kullanarak sağlık sektöründe yeşil tedarikçi seçimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada 7 yeşil kriter ele alınmış ve söz konusu kriterler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Ardından 3 tedarikçi TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralanmış en uygun tedarikçi seçilmiştir. Unal ve Temur (2021) yeşil tedarikçi seçimi problemini ele alarak bir şirketin tedarikçilerini SF-AHP ile çözümlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarında en önemli kriterin maliyet olduğu belirlenmiştir. Erbyık vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, otomotiv sektöründe yeşil tedarikçi seçimi problemi ele alınmış olup, 5 kriter altında 3 farklı tedarikçi anket yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması aşamasında SWARA yöntemi, tedarikçilerin sıralanması aşamasında ise ELECTRE yöntemi kullanılmıştır. Nebati vd. (2021) çalışmada, otobüs tedarikçisi seçimi problemini ele almış olup, ilk aşamada çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanarak kriter ağırlıklarını tespit etmiştir. Ardından Promethee yöntemi kullanılarak da en uygun tedarikçinin seçimi sağlanmıştır. Çalışmada 3 ana kriter, 9 alt kriter kullanılarak 3 tedarikçi değerlendirilmiştir. Afzali vd. (2022) çalışmalarında bir çelik firması için tedarikçi seçim problemini çözmeye odaklanmıştır.

Çalışmada, çok kriterli sürdürülebilir tedarikçi seçimi için Aralık Değerli Sezgisel Bulanık (IVIF) AHP ile genişletilmiş bulanık Kombinatif Mesafeye Dayalı Değerlendirmeye (CODAS) yöntemi kullanılmıştır. 3 ana kriter, 9 alt kriter belirlenerek 4 tedarikçi değerlendirilmiştir. Türkmen ve Demirel (2022) yapmış oldukları çalışmada, enerji sektöründe rol oynayan bir firma için tedarikçi seçimine odaklanmıştır. Çalışmada ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemleri uygulanarak 2 karar verici, 4 alternatif tedarikçiyi 7 kriter altında incelemiştir. Kriterlerin önemini hesaplama aşamasında SWARA ve tedarikçilerin değerlendirilmesi aşamasında ise Bulanık COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Zaralı (2022) yapmış olduğu çalışmada, alüminyum sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın 3. parti tersine lojistik hizmet sağlayıcısının değerlendirmesi ve seçilmesi amacıyla küresel bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Nebati, Ayvaz ve Kuşakçı (2023), yapmış oldukları çalışmada savunma sanayiye yönelik en iyi ERP yazılım sağlayıcısına öncelik vermek amacıyla hibritleştirilmiş küresel bulanık AHP ve küresel bulanık CODAS yöntemlerini kullanmıştır.

Çalışmada kullanılacak yöntemin ve kriterlerin belirlenmesi aşamasında yukarıda belirtilen çalışmalar incelenmiş olup, Tablo 1’de özetlenmektedir

Tablo 1. Literatür Araştırması Özet Tablo

Referans	Araştırma Amacı	Yöntem	Araştırma Alanı
Erbıyık vd. [4]	Yeşil tedarikçi seçimi	SWARA - ELECTRE	Otomotiv sektörü
Onat ve Kaçtıoğlu [5]	Tedarikçi seçimi	Bulanık AHP - Bulanık TOPSIS	Perakende sektörü
Kahraman vd. [8]	Tedarikçi seçimi	Bulanık AHP	Beyaz eşya sektörü
Soner ve Öğüt [9]	Tedarikçi seçimi	AHP-ELECTRE	Havalandırma ve klima cihazları
Tahriri vd. [10]	Tedarikçi seçimi	AHP	Çelik sektörü
Büyüközkan ve Çiftçi [11]	Yeşil tedarikçi seçimi	Bulanık DEMATEL-ANP-TOPSIS	Otomotiv sektörü
Arıkan ve Küçükçe [12]	Tedarikçi seçimi	AHP – PROMETHEE II	Satın alma
Junior vd. [13]	Tedarikçi seçimi	Bulanık AHP – Bulanık TOPSIS	Otomotiv sektörü
Bronja [14]	Tedarikçi seçimi	Bulanık AHP – Bulanık TOPSIS	Araba egzozu için alüminize edilmiş levha
Yılmaz [15]	Tedarikçi seçimi	Bulanık AHP – Bulanık VIKOR	Endüstriyel fırın
Kara ve Ecer [16]	Tedarikçi seçimi	AHP – VIKOR	Tekstil sektörü
Tekez ve Bark [17]	Tedarikçi seçimi	Bulanık TOPSIS	Mobilya sektörü
Denizhan vd. [18]	Yeşil tedarikçi seçimi	AHP – Bulanık AHP	Makine imalatı sektörü
Arslan ve Uysal [19]	Tedarikçi seçimi	ELECTRE	Ahşap sektörü
Daldır ve Tosun [20]	Yeşil tedarikçi seçimi	Bulanık WASPAS – Bulanık AHS	Üretim

Tablo 1. Literatür Araştırması Özet Tablo (devamı)

Narayanan ve Jinesh [21]	Tedarikçi seçimi	SWARA - TOPSIS	Döküm sektörü
Madenoglu [22]	Yeşil tedarikçi seçimi	Bulanık TOPSIS – VIKOR- ARAS- Bulanık Gri İlişkisel Analiz	Mobilya sektörü
Doğan ve Akbal [23]	Tedarikçi seçimi	AHP	Sağlık sektörü
Polat ve Kaçmaz [24]	Tedarikçi seçimi	Bulanık AHP	Endüstriyel makine imalat sektörü
Şekerci ve Yazıcıoğlu [25]	Tedarikçi seçimi	AHP	Gıda sektörü
Cezlan [26]	Yeşil tedarikçi seçimi	AHP - TOPSIS	Sağlık sektörü
Unal ve Temur [27]	Yeşil tedarikçi seçimi	SF AHP	İşletme
Nebati vd. [28]	Tedarikçi seçimi	AHP - PROMETHEE	Ulaşım sektörü
Afzali vd. [29]	Tedarikçi seçimi	IVIF AHP - CODAS	Çelik sektörü
Türkmen ve Demirel [30]	Tedarikçi seçimi	SWARA – Bulanık COPRAS	Enerji sektörü
Zaralı [31]	Tedarikçi seçimi	SF TOPSIS	Alüminyum sektörü
Nebati vd. [32]	ERP seçimi	SF AHP-CODAS	Bilişim sektörü

Kaynak taramasında demir çelik sektöründe tedarikçi seçimine ilişkin olarak küresel bulanık AHP, TOPSIS ve CODAS yaklaşımlarının bir arada bulunduğu bir çalışma tespit edilmemiş olmakla birlikte, demir-çelik sektöründe tedarikçi seçim problemine ilişkin hibrit çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak yapılan bir çalışmaya da rastlanılmamıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde kriterlerin ağırlıklandırılması ve tedarikçilerin sıralanması problemleri için kullanılacak üç yöntemin aşamalarına yer verilmektedir. İlk olarak Küresel Bulanık AHP yöntemi ardından TOPSIS ve CODAS yöntemi açıklanmaktadır.

2.1 Küresel Bulanık AHP Yöntemi

Küresel bulanık kümelerle birlikte kullanımı yaygın ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi problem çözerken kriterler arasındaki ilişkiyi ikili karşılaştırma yöntemi kullanarak önem derecelerinin tespit edilmesini sağlamaktadır. Küresel AHP yönteminin uygulanması için gerekli aşamalar aşağıda sunulmaktadır.

Aşama 1: Problemin çözümlenmesine ilişkin olarak literatür ve alternatiflere göre kriterler belirlenerek hiyerarşik yapı oluşturulur.

Aşama 2: Kriterlerin birbirleriyle etkileşimlerinin analiz edilmesine yönelik oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri, karar verici uzmanlardan alınan bilgiler doğrultusunda Tablo 2’de gösterilen sözel terimler kullanılarak tanımlanır.

Tablo 2. Dilsel Ölçek, Puan İndeksleri ve Karşılık Gelen Küresel Bulanık Sayılar [33]

Sözel terimler	Score İndeksi (SI)	(u, v, π)
Kesinlikle daha fazla önemli (KFÖ)	9	(0.9,0.1,0.1)
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	7	(0.8,0.2,0.2)
Yüksek önemli (YÖ)	5	(0.7,0.3,0.3)
Biraz fazla önemli (BFÖ)	3	(0.6,0.4,0.4)
Eşit önemli (EÖ)	1	(0.5,0.5,0.5)
Biraz düşük önemli (BDÖ)	1/3	(0.4,0.6,0.4)
Düşük önemli (DÖ)	1/5	(0.3,0.7,0.3)
Çok düşük önemli (ÇDÖ)	1/7	(0.2,0.8,0.2)
Kesinlikle daha düşük önemli (KDÖ)	1/9	(0.1,0.9,0.1)

Aşama 3: Tüm kriterler sözel terimlere dönüştürülür ve küresel bulanık ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

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

Aşama 4. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı puan endeksleri kullanarak incelenir. λ_{max} ikili karşılaştırma karar matrisinin maksimum veya temel özdeğeridir. Yapılan hesaplama göre CR değerinin 0,1 değerinden küçük olması matrisin tutarlılığı olduğu anlamına gelmektedir. 0,1 değerinde büyük olması durumunda ise verilerin tutarsız olduğu ve uzmanların yeniden değerlendirilmesi gerektiği değerlendirilir.

Aşama 5. Küresel ağırlıklı aritmetik ortalama operatörü (SWAM) kullanılarak her bir kritere göre küresel bulanık AHP ağırlıkları hesaplanır.

$$SWAM_w = (w_1 \tilde{B}_{S1} + w_2 \tilde{B}_{S2} + \dots + w_n \tilde{B}_{Sn}) \\ = \left(\left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \prod_{i=1}^n v_{\tilde{A}_{Si}}^{w_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right) \quad (2)$$

Aşama 6. Aşağıdaki denklemi kullanarak kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesi için küresel bulanık sayılardan net sayı değerlerinin elde edilmesi amacıyla berraklaştırma yapılır.

$$S(\tilde{w}_j^s) = \sqrt{100 * \left[\left(3\mu_{\tilde{A}_s} - \frac{\pi_{\tilde{A}_s}}{2} \right)^2 - \left(\frac{v_{\tilde{A}_s}}{2} - \pi_{\tilde{A}_s} \right)^2 \right]} \quad (3)$$

Aşama 7. AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu için her öğenin kendi sütun toplamına bölünmesi gerekmektedir. Eşitlik 4 kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

$$W_j = \frac{s(\tilde{w}_j^s)}{\sum_{i=1}^n s(\tilde{w}_i^s)} \quad (4)$$

Aşama 8. Ana ve alt kriterlerin global ağırlıkları hesaplanır. Bu aşamada alt kriterlerin normalize yerel ağırlıkları ile ana kriterlerin yerel ağırlıkları çarpılır. Yapılan işlemlerin sonunda tüm kriterlerin hesaplanan ağırlıkları toplamının 1 olması gerekmektedir.

2.2 Küresel Bulanık TOPSIS Metodu

TOPSIS yöntemi ÇKKV yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Kullanım alanının kapsamlı ve uygulama aşamalarının diğer yöntemlere kıyasla daha anlaşılır olmasıyla birlikte karar verilirken pozitif ideal çözüme en yakınlık sağlaması sebebiyle bulanık setlerde oldukça fazla kullanılan ÇKKV yöntemidir [34]. Bahis konusu yöntemin aşamaları aşağıda sıralanmaktadır.

Aşama 1. Karar verici uzmanlardan gelen cevaplar kullanılarak karar matrisinin Tablo 1’de yer alan dilsel değerlere göre oluşturulur.

Aşama 2. Karar verici uzmanların ilettiği cevaplar Eşitlik 2’de belirtilen SWAM operatörü ile birleştirilir.

Aşama 2.a. Karar verici uzman kişilerin değerlendirmeleri baz alınarak kriter ağırlıkları birleştirilir ve kriterlerin ağırlıkları toplamının 1’e eşit olması sağlanır.

Aşama 2.b. Karar vericilerin değerlendirmeleri sonucunda elde edilen birleştirilmiş küresel bulanık karar matrisi Eşitlik 5’te belirtildiği üzere oluşturulur.

$$D = (C_j(X_i))_{m \times n} = \begin{pmatrix} (\mu_{11}, v_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, v_{12}, \pi_{12}) & \dots & \dots & \dots & (\mu_{1n}, v_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, v_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, v_{22}, \pi_{22}) & \dots & \dots & \dots & (\mu_{2n}, v_{2n}, \pi_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (\mu_{m1}, v_{m1}, \pi_{m1}) & (\mu_{m2}, v_{m2}, \pi_{m2}) & \dots & \dots & \dots & (\mu_{mn}, v_{mn}, \pi_{mn}) \end{pmatrix} \quad (5)$$

Aşama 3. Kriterlerin ağırlıkları ve alternatif derecelerinin belirlenmesinin ardından kümelenmiş ağırlıklı küresel bulanık karar matrisi oluşturulur.

Aşama 4. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak toplu ağırlıklı karar matrisi bulanıklaştırılır.

$$\text{Score}((C_j(X_{iw}))) \\ = (\mu_{ijw} - \pi_{ijw})^2 - (v_{ijw} - \pi_{ijw})^2 \quad (6)$$

Aşama 5. Eşitlik 6 ile elde edilen puan değerlerine göre Eşitlik 7 ve Eşitlik 8 kullanılarak Küresel Bulanık Pozitif İdeal Çözüm (SF-PIS) belirlenmektedir. Aynı şekilde Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 uygulanarak Küresel Bulanık Negatif İdeal Çözüm (SF-NIS) elde edilmektedir.

SF-PIS için:

$$X^* = \{C_j, \max_i < \text{Score}((C_j(X_{iw}))) > j \\ = 1, 2, \dots, n\} \quad (7)$$

$$X^* = \{ \langle C_1, (\mu_1^*, v_1^*, \pi_1^*) \rangle, \langle C_2, (\mu_2^*, v_2^*, \pi_2^*) \rangle \dots \} \\ \langle C_n, (\mu_n^*, v_n^*, \pi_n^*) \rangle \quad (8)$$

SF-NIS için:

$$X^- = \{C_j, \min_i < \text{Score}((C_j(X_{iw}))) > j \\ = 1, 2, \dots, n\} \quad (9)$$

$$X^- = \{ \langle C_1, (\mu_1^-, v_1^-, \pi_1^-) \rangle, \langle C_2, (\mu_2^-, v_2^-, \pi_2^-) \rangle \dots \} \\ \langle C_n, (\mu_n^-, v_n^-, \pi_n^-) \rangle \quad (10)$$

Aşama 6. Tedarikçi X_i ile SF-NIS ve SF-PIS arasındaki mesafelerin sırasıyla hesaplanması gerekmektedir. Bu adım için normalleştirilmiş Öklid mesafesi kullanılır.

SF-PIS için:

$$D(X_i, X^*) \\ = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\mu_{X_i} - \mu_{X^*})^2 + (v_{X_i} - v_{X^*})^2 + (\pi_{X_i} - \pi_{X^*})^2} \quad (11)$$

SF-NIS için:

$$D(X_i, X^-) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\mu_{X_i} - \mu_{X^-})^2 + (v_{X_i} - v_{X^-})^2 + (\pi_{X_i} - \pi_{X^-})^2} \quad (12)$$

Aşama 7. SF-NIS'e olan maksimum mesafenin ve SF-PIS'e olan minimum mesafenin belirlenmesi gerekmektedir.

SF-PIS için:

$$D_{\min}(X_i, X^*) = \min_{1 \leq i \leq m} D(X_i, X^*) \quad (13)$$

SF-NIS için:

$$D_{\max}(X_i, X^-) = \max_{1 \leq i \leq m} D(X_i, X^-) \quad (14)$$

Aşama 8. Eşitlik 13 ve Etkinlik 14'te yer alan denklemlerden faydalanılmaktadır. Yakınlık oranının hesaplanması için Eşitlik 15 kullanılmaktadır.

$$\xi(X_i) = \frac{D(X_i, X^*)}{D_{\min}(X_i, X^*)} - \frac{D(X_i, X^-)}{D_{\max}(X_i, X^-)} \quad (15)$$

Adım 9: Alternatiflerin/tedarikçilerin optimal sıralama sırasının ve optimal alternatifin belirlenmesi gerekmektedir. Yukarıdaki denklem kullanılarak yakınlık oranının artan değerlerine göre alternatifler sıralanmaktadır.

2.3 Küresel Bulanık CODAS

Aşama 1. Karar matrisinin her bir karar verici için oluşturulması gerekir. Sözel terimleri kullanarak karar matrisleri oluşturulur.

Aşama 2. Karar vericilerden alınan cevaplar Eşitlik 2'de belirtilen SWAM operatörü ile birleştirilir.

Aşama 3. Bireysel karar matrislerine dayalı olarak toplu küresel bulanık karar matrisi Eşitlik 4'teki şekilde oluşturulur.

Aşama 4. Kümelenmiş ağırlıklı küresel bulanık karar matrisi hesaplanır. Kriter ağırlıkları ve alternatiflerin derecelendirmeleri belirlendikten sonra, çarpma operatörü ile birleştirilmiş ağırlıklı küresel bulanık karar matrisi oluşturulur.

Aşama 5. Eşitlik 16'da belirtildiği üzere puan fonksiyonunu (SCF) kullanarak toplu ağırlıklı karar matrisinin bulanıklaştırılması gerekir.

$$\begin{aligned} SCF(E_j(Y_{iw})) \\ = \left(\mu_{ij}^w - \frac{\pi_{ij}^w}{2} \right)^2 - \left(v_{ij}^w - \frac{\pi_{ij}^w}{2} \right)^2 \end{aligned} \quad (16)$$

Aşama 6. Beşinci adımdaki puanlara göre Küresel Bulanık Negatif İdeal Çözümün (SF-NIS) bulunması gereklidir. Karşılık gelen SF sayıları, net minimum puanlara göre belirlenmektedir.

$$\tilde{X}^- = \{C_j, \min_i \langle SCF(E_j(Y_{iw})) \rangle \mid j = 1, 2, 3, \dots, n\} \quad (17)$$

$$\left\{ \langle C_1, (\mu_1^-, v_1^-, \pi_1^-) \rangle, \langle C_2, (\mu_2^-, v_2^-, \pi_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, (\mu_n^-, v_n^-, \pi_n^-) \rangle \right\} \quad (18)$$

Aşama 7. \tilde{X}_i ve \tilde{X}^- alternatifleri arasındaki mesafeler hesaplanmalıdır. Bu adım için Eşitlik 19 ve Eşitlik 20'de yer alan normalleştirilmiş Öklid mesafesi ve küresel mesafe denklemleri kullanılır.

$$\begin{aligned} Dis_{Euc}(\tilde{X}_i, \tilde{X}^-) \\ = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\mu_{X_i} - \mu_{X^-})^2 + (v_{X_i} - v_{X^-})^2 + (\pi_{X_i} - \pi_{X^-})^2} \end{aligned} \quad (19)$$

$$Dis_{Sph}(\tilde{X}_i, \tilde{X}^-) = \frac{1}{\pi n} \sum_{i=1}^n \arccos(\mu_{X_i} \times \mu_{X^-} + v_{X_i} \times v_{X^-} + \pi_{X_i} \times \pi_{X^-}) \quad (20)$$

Aşama 8. Eşitlik 22 aracılığıyla herhangi iki alternatif arasında göreceli değerlendirme matrisi (RA) oluşturulur.

$$RA = [h_{ip}]_{m \times m} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} h_{ip} = & (Dis_{Euc_i} - Dis_{Euc_p}) \\ & + \left(\delta (Dis_{Euc_i} - Dis_{Euc_p}) \right. \\ & \left. \times (Dis_{Sph_i} - Dis_{Sph_p}) \right) \end{aligned} \quad (22)$$

Aşama 9. Her alternatifin değerlendirme puanlarının (H_i) azalan değerlerine göre sıralanması gerekmektedir. En yüksek (H_i)'ye sahip alternatif, alternatifler arasındaki en iyi seçimdir.

$$H_i = \sum_{p=1}^m h_{ip} \quad (23)$$

III. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde demir çelik sektöründe faaliyet gösteren, ihracat yapan bir şirket için tedarikçi seçim problemi ele alınmaktadır. Söz konusu şirketin, Paris İklim Anlaşması'nın imzalanmasının ardından, AB tarafından oluşturulan Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında AB'ye ihraç edilen ürünlerin karbon emisyonlarının hesaplanması gerekmekte, ithalatçılardan karbon vergisi talep edilmektedir. Bu çerçevede, ithalatçının düşük karbon vergisi ödemesi veya ödememesi rekabet avantajı sağlamaktadır. Dolayısıyla ihraç edilen ürünleri oluşturan, üretim süreçlerine dahil edilen ürünlerin talep edildiği tedarikçilerin seçimi önemlidir.

Çalışmada firma için uygun tedarikçinin seçilmesi hedeflenmektedir. Bu problem için demir-çelik firmalarında çalışan belirlenmiş farklı kişilere, tedarikçi seçiminde dikkat edilen kriterler sorulmaktadır. Buradaki kriter belirleme işlemi 5 kişilik uzman bir ekip tarafından yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonunda 6 ana kriter ve 23 alt kriter belirlenmiş ve puanlanmıştır. Belirlenen kriterler Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Demir Çelik Sektöründe Tedarikçi Seçimi Kapsamında Belirlenen Ana ve Alt Kriterler

		Ana Kriterler	Alt Kriterler
Tedarikçi Seçim Kararı	Kalite (Ka)		Kusur oranı (Ka ₁) Fire oranı (Ka ₂) Kalite güvence sistemleri (Ka ₃) İş güvenliği (Ka ₄)
	Fiyat (Fi)		Taşıma maliyeti (Fi ₁) Fiyat opsiyonu (Fi ₂) Maliyet (Fi ₃) Paketleme (Fi ₄) Vadeli satış (Fi ₅)
	Teslimat (Te)		Teslimat süresi (Te ₁) Teslimat güvenilirliği (Te ₂)
	Çevre (Ce)		Eko tasarım (Ce ₁) Kaynak kullanımı (Ce ₂) Kirlilik kontrolü (Ce ₃) Çevre yönetim sistemleri (Ce ₄) Yeşil imaj (Ce ₅) Yeşil üretim (Ce ₆) Yeşil lojistik (Ce ₇) Geri dönüşüm oranı (Ce ₈)
	İletişim (İİ)		Ulaşılabilirlik (İİ ₁) Şeffaflık (İİ ₂)
	Kurumsal İtibar (Ki)		Tecrübe (Ki ₁) Referans (Ki ₂)

Beş uzmanın görüşlerinden oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri SWAM operatörü ile birleştirilerek, KVortak'a (ortak karar verici) ait karar matrisi oluşturulmuştur. Önce ana kriterlerin ardından alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılmış olup, ağırlıkları hesaplanmıştır.

Son olarak global ağırlıklar hesaplanmıştır. Ana ve alt kriterlere ilişkin birleştirilmiş karar matrisleri Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9, Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 4. Ana Kriterlere Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi

	Ka	Fi	Te
Ka	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.40, 0.49, 0.31)	(0.49, 0.41, 0.31)
Fi	(0.49, 0.40, 0.31)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.64, 0.30, 0.30)
Te	(0.41, 0.49, 0.31)	(0.30, 0.64, 0.30)	(0.50, 0.50, 0.50)
Ce	(0.34, 0.58, 0.31)	(0.36, 0.56, 0.33)	(0.37, 0.53, 0.31)
İİ	(0.41, 0.55, 0.41)	(0.34, 0.60, 0.32)	(0.43, 0.41, 0.28)
Ki	(0.28, 0.48, 0.18)	(0.35, 0.58, 0.35)	(0.41, 0.55, 0.41)

Tablo 4. Ana Kriterlere Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi (devamı)

	Ce	İİ	Ki
Ka	(0.58, 0.34, 0.31)	(0.58, 0.41, 0.41)	(0.48, 0.28, 0.18)
Fi	(0.56, 0.36, 0.33)	(0.60, 0.34, 0.32)	(0.58, 0.35, 0.35)
Te	(0.53, 0.37, 0.31)	(0.45, 0.37, 0.24)	(0.58, 0.41, 0.41)
Ce	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.57, 0.32, 0.28)	(0.40, 0.40, 0.24)
İİ	(0.32, 0.57, 0.28)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.40, 0.49, 0.31)
Ki	(0.36, 0.56, 0.32)	(0.46, 0.40, 0.30)	(0.50, 0.50, 0.50)

Tablo 5. Kalite Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi

	Ka₁	Ka₂	Ka₃	Ka₄
Ka₁	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.49, 0.40, 0.32)	(0.36, 0.56, 0.33)	(0.37, 0.61, 0.34)
Ka₂	(0.40, 0.49, 0.32)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.36, 0.55, 0.30)	(0.36, 0.61, 0.36)
Ka₃	(0.54, 0.38, 0.35)	(0.53, 0.37, 0.32)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.34, 0.60, 0.32)
Ka₄	(0.61, 0.37, 0.34)	(0.61, 0.36, 0.36)	(0.60, 0.34, 0.32)	(0.50, 0.50, 0.50)

Tablo 6. Fiyat Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi

	F_{i1}	F_{i2}	F_{i3}
F_{i1}	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.60, 0.27, 0.23)	(0.36, 0.56, 0.36)
F_{i2}	(0.27, 0.60, 0.23)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.55, 0.42, 0.42)
F_{i3}	(0.56, 0.36, 0.36)	(0.42, 0.55, 0.42)	(0.50, 0.50, 0.50)
F_{i4}	(0.39, 0.59, 0.39)	(0.36, 0.61, 0.36)	(0.37, 0.61, 0.37)
F_{i5}	(0.37, 0.58, 0.34)	(0.43, 0.55, 0.40)	(0.33, 0.61, 0.28)

Tablo 6. Fiyat Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi (devamı)

	F_{i4}	F_{i5}
F_{i1}	(0.59, 0.39, 0.39)	(0.58, 0.37, 0.34)
F_{i2}	(0.61, 0.36, 0.36)	(0.55, 0.43, 0.40)
F_{i3}	(0.61, 0.37, 0.37)	(0.61, 0.33, 0.28)
F_{i4}	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.41, 0.46, 0.30)
F_{i5}	(0.46, 0.51, 0.30)	(0.50, 0.50, 0.50)

Tablo 7. Teslimat Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi

	Te_1	Te_2
Te_1	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.55, 0.39, 0.33)
Te_2	(0.39, 0.55, 0.33)	(0.50, 0.50, 0.50)

Tablo 8. Çevre Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi

	Ce_1	Ce_2	Ce_3	Ce_4
Ce_1	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.45, 0.53, 0.45)	(0.30, 0.62, 0.30)	(0.40, 0.49, 0.31)
Ce_2	(0.53, 0.45, 0.45)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.47, 0.44, 0.33)	(0.53, 0.45, 0.41)
Ce_3	(0.62, 0.30, 0.30)	(0.44, 0.47, 0.33)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.56, 0.39, 0.36)
Ce_4	(0.49, 0.40, 0.31)	(0.45, 0.53, 0.41)	(0.39, 0.56, 0.36)	(0.50, 0.50, 0.50)

Tablo 8. Çevre Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi (devamı)

	Ce_5	Ce_6	Ce_7	Ce_8
Ce_5	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.49, 0.41, 0.31)	(0.43, 0.55, 0.43)	(0.41, 0.45, 0.26)
Ce_6	(0.41, 0.49, 0.31)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.35, 0.60, 0.35)	(0.45, 0.53, 0.45)
Ce_7	(0.55, 0.43, 0.43)	(0.60, 0.35, 0.35)	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.65, 0.32, 0.32)
Ce_8	(0.45, 0.41, 0.26)	(0.53, 0.45, 0.45)	(0.32, 0.65, 0.32)	(0.50, 0.50, 0.50)

Tablo 9. İletişim Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi

	$İl_1$	$İl_2$
$İl_1$	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.55, 0.43, 0.33)
$İl_2$	(0.43, 0.50, 0.33)	(0.50, 0.50, 0.50)

Tablo 10. Kurumsal İtibar Ana Kriterinin Alt Kriterlerine Ait Birleştirilmiş Karar Matrisi

	Ki_1	Ki_2
Ki_1	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.46, 0.34, 0.20)
Ki_2	(0.34, 0.46, 0.20)	(0.50, 0.50, 0.50)

Birleştirilmiş matrislerin oluşturulmasının ardından kriterlere ilişkin küresel bulanık ağırlıklar SWAM operatörü kullanılarak hesaplanmış olup, skor fonksiyonu ile durulaştırılmıştır. Sütun toplamı sütun değerlerine bölünerek normalize edilmiş ve yerel ağırlıklar bulunmuştur. Bununla

birlikte, ana kriterler için hesaplanan ve Tablo 11’de yer alan normalize yerel ağırlıklar ve alt kriterlere ait normalize yerel ağırlıklar çarpılarak global ağırlıklar hesaplanmış, Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Ana Kriterlere Ait Ağırlıklar

	<i>Küresel Bulanık Ağırlıklar</i>	<i>Berraklaştırılmış Ağırlıklar</i>	<i>Normalize Yerel Ağırlıklar</i>
Ka	(0.55, 0.45, 0.39)	14.45	0.184
Fi	(0.61, 0.42, 0.39)	16.23	0.206
Te	(0.51, 0.52, 0.39)	13.35	0.170
Ce	(0.47, 0.53, 0.37)	12.24	0.156
İl	(0.44, 0.57, 0.39)	11.26	0.143
Ki	(0.44, 0.56, 0.39)	11.12	0.141

Tablo 12. Alt Kriterlere Ait Ağırlıklar

	<i>Küresel Bulanık Ağırlıklar</i>	<i>Berraklaştırılmış Ağırlıklar</i>	<i>Normalize Yerel Ağırlıklar</i>	<i>Global Ağırlıklar</i>
<i>Kalite Ana Kriterinin Alt Kriterleri</i>				
Ka₁	(0.08, 0.12, 0.06)	2.13	0.193	0.036
Ka₂	(0.07, 0.13, 0.06)	1.84	0.167	0.031
Ka₃	(0.10, 0.10, 0.06)	2.79	0.254	0.047
Ka₄	(0.15, 0.07, 0.06)	4.25	0.386	0.031
<i>Fiyat Ana Kriterinin Alt Kriterleri</i>				
Fi₁	(0.54, 0.44, 0.38)	14.22	0.225	0.046
Fi₂	(0.52, 0.47, 0.40)	13.46	0.213	0.044
Fi₃	(0.55, 0.43, 0.39)	14.36	0.227	0.047
Fi₄	(0.41, 0.56, 0.39)	10.34	0.164	0.034
Fi₅	(0.42, 0.54, 0.38)	10.82	0.171	0.035
<i>Teslimat Ana Kriterinin Alt Kriterleri</i>				
Te₁	(0.35, 0.30, 0.28)	9.00	0.549	0.093
Te₂	(0.30, 0.35, 0.28)	7.39	0.451	0.077
<i>Çevre Ana Kriterinin Alt Kriterleri</i>				
Ce₁	(0.58, 0.60, 0.50)	14.84	0.123	0.019
Ce₂	(0.66, 0.53, 0.51)	16.95	0.140	0.022
Ce₃	(0.66, 0.50, 0.46)	17.24	0.142	0.022
Ce₄	(0.59, 0.58, 0.49)	15.00	0.124	0.019
Ce₅	(0.55, 0.62, 0.49)	13.85	0.114	0.018
Ce₆	(0.52, 0.65, 0.50)	13.13	0.108	0.017
Ce₇	(0.63, 0.58, 0.49)	16.28	0.134	0.021
Ce₈	(0.54, 0.63, 0.48)	13.81	0.114	0.018
<i>İletişim Ana Kriterinin Alt Kriterleri</i>				
İl₁	(0.33, 0.31, 0.28)	8.37	0.519	0.074
İl₂	(0.31, 0.33, 0.28)	7.75	0.481	0.069
<i>Kurumsal İletişim Ana Kriterinin Alt Kriterleri</i>				
Ki₁	(0.32, 0.28, 0.25)	8.13	0.535	0.076
Ki₂	(0.28, 0.32, 0.25)	7.07	0.465	0.066

3.1 Küresel Bulanık TOPSIS Uygulaması

Kriterlere ait ağırlıkların belirlenmesinin ardından, SF-TOPSIS yöntemi kullanılarak demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren şirketin 3 tedarikçisi karar vericiler

tarafından değerlendirilmiştir. Karar vericilerden gelen cevaplara ilişkin küresel bulanık matrisler Tablo 13, Tablo 14 ve Tablo 15 ile belirtilmiştir.

Tablo 13. Uzman 1-Tedarikçilerin Değerlendirmesinin Küresel Bulanık Küme Karşılıkları

Tedarikçiler	Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄
Ted-1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-2	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)
Ted-3	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)
	Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃	Fi ₄
Ted-1	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.3)
Ted-2	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-3	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)
	Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁
Ted-1	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-2	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)
Ted-3	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)
	Ce ₂	Ce ₃	Ce ₄	Ce ₅
Ted-1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-2	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-3	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)
	Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İl ₁
Ted-1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-2	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-3	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
	İl ₂	Ki ₁	Ki ₂	
Ted-1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	
Ted-2	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	
Ted-3	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	

Tablo 14. Uzman 2-Tedarikçilerin Değerlendirmesinin Küresel Bulanık Küme Karşılıkları

Tedarikçiler	Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄
Ted-1	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-2	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-3	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
	Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃	Fi ₄
Ted-1	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.1, 0.9, 0.1)
Ted-2	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-3	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)
	Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁
Ted-1	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-2	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-3	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)
	Ce ₂	Ce ₃	Ce ₄	Ce ₅
Ted-1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-2	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-3	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
	Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İl ₁
Ted-1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-2	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-3	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)
	İl ₂	Ki ₁	Ki ₂	
Ted-1	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	
Ted-2	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	
Ted-3	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	

Tablo 15. Uzman 3-Tedarikçilerin Değerlendirmesinin Küresel Bulanık Küme Karşılıkları

Tedarikçiler	Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄
Ted-1	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)
Ted-2	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-3	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.3)
	Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃	Fi ₄
Ted-1	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.3)
Ted-2	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-3	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
	Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁
Ted-1	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-2	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-3	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.3, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)
	Ce ₂	Ce ₃	Ce ₄	Ce ₅
Ted-1	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-2	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)
Ted-3	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)
	Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İ ₁
Ted-1	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.3, 0.7, 0.3)
Ted-2	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.7, 0.3, 0.3)
Ted-3	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)
	İ ₂	Ki ₁	Ki ₂	
Ted-1	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	
Ted-2	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.7, 0.3, 0.3)	
Ted-3	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.9, 0.1, 0.1)	

Uzmanlar tarafından verilmiş olan cevaplara ilişkin oluşturulan karar matrisi Tablo 16 ile gösterilmiştir.

Tablo 16. Cevaplara İlişkin Oluşturulan Karar Matrisi

Tedarikçiler	Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄
Ted-1	(0.65, 0.38, 0.38)	(0.76, 0.35, 0.35)	(0.72, 0.42, 0.42)	(0.72, 0.42, 0.42)
Ted-2	(0.54, 0.54, 0.38)	(0.56, 0.49, 0.41)	(0.76, 0.35, 0.35)	(0.79, 0.25, 0.25)
Ted-3	(0.65, 0.38, 0.38)	(0.65, 0.38, 0.38)	(0.70, 0.30, 0.30)	(0.74, 0.48, 0.25)
	Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃	Fi ₄
Ted-1	(0.45, 0.58, 0.45)	(0.45, 0.58, 0.45)	(0.50, 0.62, 0.30)	(0.25, 0.79, 0.25)
Ted-2	(0.58, 0.45, 0.45)	(0.58, 0.45, 0.45)	(0.65, 0.38, 0.38)	(0.50, 0.50, 0.50)
Ted-3	(0.50, 0.50, 0.50)	(0.58, 0.45, 0.45)	(0.58, 0.45, 0.45)	(0.54, 0.54, 0.38)
	Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁
Ted-1	(0.38, 0.65, 0.38)	(0.54, 0.54, 0.38)	(0.62, 0.50, 0.30)	(0.70, 0.30, 0.30)
Ted-2	(0.54, 0.54, 0.38)	(0.58, 0.45, 0.45)	(0.62, 0.50, 0.30)	(0.79, 0.25, 0.25)
Ted-3	(0.50, 0.62, 0.30)	(0.86, 0.19, 0.19)	(0.83, 0.31, 0.31)	(0.65, 0.38, 0.38)
	Ce ₂	Ce ₃	Ce ₄	Ce ₅
Ted-1	(0.79, 0.25, 0.25)	(0.79, 0.25, 0.25)	(0.79, 0.25, 0.25)	(0.65, 0.38, 0.38)
Ted-2	(0.86, 0.19, 0.19)	(0.86, 0.19, 0.19)	(0.86, 0.19, 0.19)	(0.65, 0.38, 0.38)
Ted-3	(0.90, 0.10, 0.10)	(0.76, 0.35, 0.35)	(0.76, 0.35, 0.35)	(0.58, 0.45, 0.45)
	Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İ ₁
Ted-1	(0.79, 0.25, 0.25)	(0.38, 0.65, 0.38)	(0.86, 0.19, 0.19)	(0.62, 0.50, 0.30)
Ted-2	(0.86, 0.19, 0.19)	(0.38, 0.65, 0.38)	(0.86, 0.19, 0.19)	(0.58, 0.45, 0.45)
Ted-3	(0.79, 0.25, 0.25)	(0.54, 0.54, 0.38)	(0.79, 0.25, 0.25)	(0.76, 0.35, 0.35)
	İ ₂	Ki ₁	Ki ₂	
Ted-1	(0.76, 0.35, 0.35)	(0.65, 0.38, 0.38)	(0.65, 0.38, 0.38)	
Ted-2	(0.72, 0.42, 0.42)	(0.76, 0.35, 0.35)	(0.79, 0.25, 0.25)	
Ted-3	(0.54, 0.54, 0.38)	(0.58, 0.45, 0.45)	(0.79, 0.25, 0.25)	

Karar matrisindeki değerleri kriterlere ilişkin elde edilen global ağırlıklar ve SWAM operatörü kullanılarak cevaplar

birleştirilmekte olup, Tablo 17’de gösterilmektedir.

Tablo 17. Ağırlıklı Birleştirilmiş Matris

Tedarikçiler	Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄
Ted-1	(0.14, 0.97, 0.10)	(0.16, 0.97, 0.10)	(0.18, 0.96, 0.14)	(0.23, 0.94, 0.17)
Ted-2	(0.11, 0.98, 0.09)	(0.11, 0.98, 0.09)	(0.20, 0.95, 0.12)	(0.26, 0.91, 0.11)
Ted-3	(0.14, 0.97, 0.10)	(0.13, 0.97, 0.09)	(0.17, 0.95, 0.09)	(0.24, 0.95, 0.10)
	Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃	Fi ₄
Ted-1	(0.10, 0.98, 0.11)	(0.10, 0.98, 0.11)	(0.12, 0.98, 0.08)	(0.05, 0.99, 0.07)
Ted-2	(0.14, 0.96, 0.13)	(0.13, 0.97, 0.12)	(0.16, 0.96, 0.11)	(0.10, 0.98, 0.12)
Ted-3	(0.11, 0.97, 0.13)	(0.13, 0.97, 0.12)	(0.14, 0.96, 0.13)	(0.11, 0.98, 0.09)
	Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁
Ted-1	(0.07, 0.98, 0.08)	(0.18, 0.94, 0.14)	(0.19, 0.95, 0.11)	(0.11, 0.98, 0.06)
Ted-2	(0.11, 0.98, 0.09)	(0.19, 0.93, 0.18)	(0.19, 0.95, 0.11)	(0.14, 0.97, 0.06)
Ted-3	(0.10, 0.98, 0.07)	(0.34, 0.86, 0.11)	(0.30, 0.91, 0.16)	(0.10, 0.98, 0.08)
	Ce ₂	Ce ₃	Ce ₄	Ce ₅
Ted-1	(0.15, 0.97, 0.06)	(0.15, 0.97, 0.06)	(0.14, 0.97, 0.06)	(0.10, 0.98, 0.07)
Ted-2	(0.17, 0.96, 0.06)	(0.17, 0.96, 0.06)	(0.16, 0.97, 0.05)	(0.10, 0.98, 0.07)
Ted-3	(0.19, 0.95, 0.03)	(0.14, 0.98, 0.09)	(0.13, 0.98, 0.08)	(0.09, 0.99, 0.08)
	Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İ ₁
Ted-1	(0.13, 0.98, 0.06)	(0.06, 0.99, 0.06)	(0.15, 0.97, 0.05)	(0.19, 0.95, 0.11)
Ted-2	(0.15, 0.97, 0.05)	(0.06, 0.99, 0.06)	(0.15, 0.97, 0.05)	(0.17, 0.94, 0.16)
Ted-3	(0.13, 0.98, 0.06)	(0.09, 0.99, 0.07)	(0.13, 0.98, 0.06)	(0.25, 0.92, 0.15)
	İ ₂	Ki ₁	Ki ₂	
Ted-1	(0.24, 0.93, 0.10)	(0.20, 0.93, 0.14)	(0.19, 0.94, 0.13)	
Ted-2	(0.22, 0.94, 0.15)	(0.25, 0.92, 0.15)	(0.25, 0.91, 0.11)	
Ted-3	(0.15, 0.96, 0.15)	(0.18, 0.94, 0.16)	(0.25, 0.91, 0.11)	

Ağırlıklı Birleştirilmiş Matrisin durulaştırma işlemi, Eşitlik 5’te belirtilen skor fonksiyonu sayesinde gerçekleştirilmiştir. Ardından negatif ideal çözüm (NIS) ve pozitif ideal çözüm (PIS) noktaları hesaplanmıştır. Tablo 18’de belirtilen durulaştırılmış matrisler incelendiğinde mavi değerler PIS

noktalarını, pembe değerler NIS noktalarını tanımlamaktadır. SWAM operatörüne bağlı skor fonksiyonu ile durulaştırma işlemi ve SF-PIS ile SF-NIS noktaları Tablo 19’da yer almaktadır.

Tablo 18. Skor fonksiyonu Kullanılarak Durulaştırma

Tedarikçiler	Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄	Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃
Ted-1	-0,749	-0,749	-0,667	-0,667	-0,742	-0,749	-0,811
Ted-2	-0,789	-0,786	-0,682	-0,682	-0,699	-0,708	-0,706
Ted-3	-0,749	-0,770	-0,720	-0,720	-0,694	-0,708	-0,698
	Fi ₄	Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁	Ce ₂	Ce ₃
Ted-1	-0,890	-0,817	-0,640	-0,701	-0,832	-0,816	-0,814
Ted-2	-0,742	-0,790	-0,563	-0,701	-0,824	-0,813	-0,811
Ted-3	-0,795	-0,839	-0,506	-0,548	-0,815	-0,818	-0,791
	Ce ₄	Ce ₅	Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İ ₁	İ ₂
Ted-1	-0,833	-0,831	-0,843	-0,862	-0,837	-0,706	-0,668
Ted-2	-0,831	-0,831	-0,842	-0,862	-0,837	-0,612	-0,617
Ted-3	-0,812	-0,822	-0,843	-0,843	-0,838	-0,586	-0,658
	Ki ₁	Ki ₂					
Ted-1	-0,615	-0,644					
Ted-2	-0,582	-0,629					
Ted-3	-0,609	-0,629					

Tablo 19. SF-PIS ve SF-NIS Noktaları

	Ka₁	Ka₂	Ka₃	Ka₄
SF-PIS	(0.11, 0.98, 0.09)	(0.11, 0.98, 0.09)	(0.17, 0.95, 0.09)	(0.24, 0.95, 0.10)
SF-NIS	(0.14, 0.97, 0.10)	(0.16, 0.97, 0.10)	(0.18, 0.96, 0.14)	(0.23, 0.94, 0.17)
	Fi₁	Fi₂	Fi₃	Fi₄
SF-PIS	(0.10, 0.98, 0.11)	(0.10, 0.98, 0.11)	(0.12, 0.98, 0.08)	(0.05, 0.98, 0.09)
SF-NIS	(0.11, 0.97, 0.13)	(0.13, 0.97, 0.12)	(0.14, 0.96, 0.13)	(0.10, 0.98, 0.12)
	Fi₅	Te₁	Te₂	Ce₁
SF-PIS	(0.10, 0.98, 0.07)	(0.18, 0.94, 0.14)	(0.19, 0.95, 0.11)	(0.11, 0.98, 0.06)
SF-NIS	(0.11, 0.98, 0.09)	(0.34, 0.86, 0.11)	(0.30, 0.91, 0.16)	(0.10, 0.98, 0.08)
	Ce₂	Ce₃	Ce₄	Ce₅
SF-PIS	(0.19, 0.95, 0.03)	(0.15, 0.97, 0.06)	(0.14, 0.97, 0.06)	(0.10, 0.98, 0.07)
SF-NIS	(0.17, 0.96, 0.06)	(0.14, 0.98, 0.09)	(0.16, 0.97, 0.05)	(0.09, 0.99, 0.08)
	Ce₆	Ce₇	Ce₈	İl₁
SF-PIS	(0.13, 0.98, 0.06)	(0.06, 0.99, 0.06)	(0.13, 0.98, 0.06)	(0.19, 0.95, 0.11)
SF-NIS	(0.15, 0.97, 0.05)	(0.09, 0.99, 0.07)	(0.15, 0.97, 0.05)	(0.25, 0.92, 0.15)
	İl₂	Ki₁	Ki₂	
SF-PIS	(0.24, 0.93, 0.10)	(0.20, 0.93, 0.14)	(0.19, 0.94, 0.13)	
SF-NIS	(0.22, 0.94, 0.15)	(0.25, 0.92, 0.15)	(0.25, 0.91, 0.11)	

Eşitlik 7 kullanılarak SF-PIS mesafesi, Eşitlik 8 uygulanarak ise SF-NIS mesafesi hesaplanmıştır. Hesaplanan SF-PIS mesafe değerlerinden minimum SF-PIS ile olan en kısa mesafe ($D_{min}(X_i, X^*)$) Eşitlik 9 kullanılarak elde edilmiştir.

Bununla birlikte, SF-NIS mesafelerinin maksimumunu tanımlayan SF-NIS ile olan en uzun mesafe ($D_{max}(X_i, X^-)$) Eşitlik 10 ile tespit edilmiştir.

Tablo 20. SF-PIS ve SF-NIS Uzaklıkları

	$D(X_i, X^*)$	$D(X_i, X^-)$	$D(X_i, X^*)$	$D(X_i, X^-)$
Ted-1	0,020	0,043	0,006	0,020
Ted-2	0,028	0,039	0,014	0,017
Ted-3	0,044	0,023	0,020	0,007

Son aşamada demir çelik sektöründe faaliyet gösteren 3 tedarikçi arasında sıralama gerçekleştirmek için Eşitlik 11 kullanılarak alternatiflerin göreceli yakınlıkları ölçülmektedir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde en yüksek değere sahip tedarikçi seçilir.

Tablo 21. Tedarikçilerin Yakınlık Katsayıları ve Sıralaması

	Yakınlık Oranları	Sıralama
Ted-1	0,684	3
Ted-2	0,587	2
Ted-3	0,345	1

Tablo 21’de görüldüğü üzere, küresel bulanık TOPSIS yöntemi sonucunda alternatifler Tedarikçi 3 > Tedarikçi 2 > Tedarikçi 1 olacak şekilde sıralanmıştır.

3.2 Küresel Bulanık CODAS Uygulaması

Çalışmanın devamında diğer çok kriterli karar verme yöntem olarak Küresel Bulanık CODAS yöntemi uygulanmıştır.

Tablo 13, Tablo 14 ve Tablo 15’te verilen değerlendirme sonuçları baz alınarak, Tablo 16’da oluşturulan karar matrisi ve Tablo 17’de yer alan SWAM operatörü ile meydana gelen birleştirilmiş matrisi verileri kullanılarak oluşturulan ağırlıklı matrisler Eşitlik 16’da belirtilen skor fonksiyonu kullanılarak Tablo 22’de görüldüğü üzere durulaştırma gerçekleştirilmiştir.

Tablo 22. Skor Fonksiyonu ile Durulaştırma

Tedarikçiler	Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄	Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃
Ted-1	-0,832	-0,830	-0,777	-0,708	-0,841	-0,846	-0,876
Ted-2	-0,867	-0,866	-0,774	-0,683	-0,804	-0,811	-0,798
Ted-3	-0,832	-0,848	-0,792	-0,773	-0,809	-0,811	-0,803
	Fi ₄	Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁	Ce ₂	Ce ₃
Ted-1	0,717	0,047	-0,708	0,776	-0,051	-0,841	0,853
Ted-2	0,675	0,072	-0,683	0,700	0,019	-0,804	0,800
Ted-3	0,684	0,088	-0,773	0,793	0,010	-0,809	0,808
	Ce ₄	Ce ₅	Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İ ₁	İ ₂
Ted-1	-0,012	-0,846	0,841	0,003	-0,876	0,907	-0,025
Ted-2	0,005	-0,811	0,783	0,023	-0,798	0,818	-0,013
Ted-3	-0,001	-0,811	0,800	0,010	-0,803	0,820	-0,014
	Ki ₁	Ki ₂					
Ted-1	-0,936	0,912					
Ted-2	-0,843	0,845					
Ted-3	-0,872	0,863					

Tablo 22’de yer alan değerlere göre Küresel Bulanık Negatif İdeal Çözüme (SF-NIS) karşılık gelen SF sayıları, net minimum puanlara göre belirlenmektedir. SF-NIS değerleri Tablo 23’te yer almaktadır.

Tablo 23. Küresel Bulanık Negatif İdeal Çözüm Değerleri (SF-NIS)

Ka ₁	Ka ₂	Ka ₃	Ka ₄
(0.11, 0.98, 0.09)	(0.11, 0.98, 0.09)	(0.17, 0.95, 0.09)	(0.24, 0.95, 0.10)
Fi ₁	Fi ₂	Fi ₃	Fi ₄
(0.10, 0.98, 0.11)	(0.10, 0.98, 0.11)	(0.12, 0.98, 0.08)	(0.10, 0.98, 0.12)
Fi ₅	Te ₁	Te ₂	Ce ₁
(0.07, 0.98, 0.08)	(0.34, 0.86, 0.11)	(0.19, 0.95, 0.11)	(0.11, 0.98, 0.06)
Ce ₂	Ce ₃	Ce ₄	Ce ₅
(0.15, 0.97, 0.06)	(0.17, 0.96, 0.06)	(0.14, 0.97, 0.06)	(0.10, 0.98, 0.07)
Ce ₆	Ce ₇	Ce ₈	İ ₁
(0.15, 0.97, 0.05)	(0.06, 0.99, 0.06)	(0.15, 0.97, 0.05)	(0.17, 0.94, 0.16)
İ ₂	Ki ₁	Ki ₂	
(0.24, 0.93, 0.10)	(0.20, 0.93, 0.14)	(0.25, 0.91, 0.11)	

Ağırlıklı Öklid uzaklık değerleri (ÖÜD) Eşitlik 19 bulunmuş ve Tablo 24’te belirtilmiştir. yardımcıyla, küresel uzaklık (KU) ise Eşitlik 20 yardımcı ile

Tablo 24. Ağırlıklı Küresel ve Öklid Uzaklık Değerleri

	Küresel Uzaklık	Öklid Uzaklığı
Ted-1	5.892	0.037
Ted-2	6.093	0.033
Ted-3	6.041	0.033

Eşitlik 21 kullanılarak Tablo 25’te belirtilen görelî önem matrisi elde edilmiştir.

Tablo 25. Görelî Önem Değerleri Matrisi

	Ted-1	Ted-2	Ted-3
Ted-1	0.000	0.004	0.004
Ted-2	-0.004	0.000	0.000
Ted-3	-0.004	0.000	0.000

Eşitlik 23’ün yardımcıyla tedarikçilerin skor değerleri hesaplanmış Tablo 26’da gösterilmiştir.

Tablo 26. Tedarikçilerin skor değerleri

	Skor değerleri	Sıralama
Ted-1	0.0086	1
Ted-2	-0.0038	2
Ted-3	-0.0048	3

Tablo 26'da küresel bulanık CODAS yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamayla alternatiflerin skor değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen skor değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır. Uygulamada, küresel bulanık CODAS yöntemi kullanılarak yapılan Tedarikçi sıralaması ise; Tedarikçi 1 > Tedarikçi 2 > Tedarikçi 3 olacak şekilde gerçekleşmiştir.

3.2.1 Duyarlılık Analizi

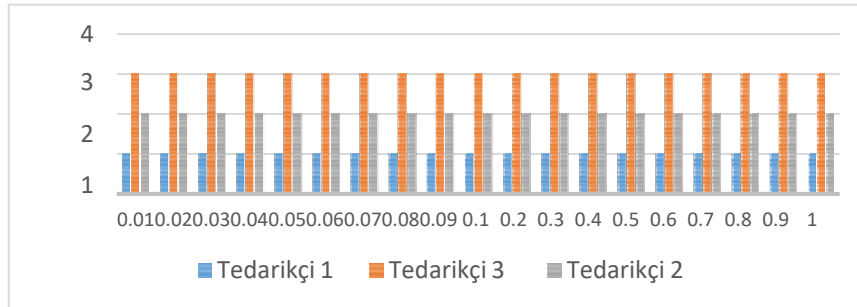
Elde edilen sonuçların sağlamlığının test edilmesi amacıyla duyarlılık analizi yapılmaktadır. CODAS'ın ince ayar gerektiren en hayati parametresi eşik parametresi τ 'dir [35]. Yukarıdaki hesaplamalar $\tau=0,02$ kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için alternatiflerin değerlendirme puanlarını ve sıralamalarını 0,01 ile 1,00 arasında değişen 14 farklı τ değeri için hesaplanmıştır. Tablo 27'de değişen değerlerine sahip sıralama sonuçları gösterilmektedir

Tablo 27. Her Tedarikçi İçin Farklı τ Değerlerine Sahip Değerlendirme Puanları

Tedarikçiler	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	
Ted-1	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	
Ted-2	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	
Ted-3	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	
Tedarikçiler	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
Ted-1	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	
Ted-2	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	
Ted-3	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	
Tedarikçiler	0.8	0.9	01						
Ted-1	0.009	0.009	0.009						
Ted-2	-0.004	-0.004	-0.004						
Ted-3	-0.005	-0.005	-0.005						

Tablo 27'de görüldüğü gibi tedarikçi sıralamaları değişen τ değerlerine göre değişmemiştir. Duyarlılık analizi sonuçları Şekil 2'de görselleştirilmiştir. Üç alternatifin tümünün sıralaması sabittir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçlarının, önerilen SF-CODAS'ın tedarikçi seçim problemi için yüksek

sağlamlığını gösterdiği söylenebilir. Üç alternatif Tedarikçi 1 > Tedarikçi 2 > Tedarikçi 3 şeklinde sıralanmıştır. Böylece Tedarikçi 1 demir çelik sektöründe faaliyet gösteren firma için en iyi tedarikçi olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. τ Değerlerinin Sıralamaya Etkisi

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren çelik sacdan malzeme üreten bir şirket için tedarikçi seçim problemi ele alınmıştır. Buradaki kriter belirleme ve kriterlerin değerlendirilmesi aşamasında demir çelik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde görev alan 5 kişilik uzman bir kadronun değerlendirmesinden faydalanılmıştır. Bahis konusu ekipte 2 mühendis ve 3 satın alma personeli yer almıştır. Literatürde yer alan bilgiler incelenmiş ve demir çelik sektöründe çalışan farklı uzmanlardan alınan bilgiler ışığında kriterler belirlenmiştir. Belirlenen 6 ana, 23 alt kriter kriter kapsamında 3 farklı tedarikçi değerlendirilmiştir. Her bir kriter uzmanların değerlendirmeleri ışığında detaylı incelenmiştir. Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması aşamasında Küresel Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Ardından tedarikçilerden demir-çelik sac temin eden bir şirketin iş yürüttüğü 3 tedarikçi değerlendirilerek

sıralanmıştır. Paris İklim Anlaşması'nın 2015 yılında imzalanması neticesinde AB tarafından oluşturulan Avrupa Yeşil Mutabakatı imzalanmıştır. Bu doğrultuda, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında çıkarılan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması, AB tarafından ithal edilen öncelikli 6 sektör için (demir-çelik, alüminyum, gübre, çimento, elektrik ve hidrojen) karbon emisyonlarının hesaplanarak raporlanması gerekmektedir. Bu kapsamda AB'de ithalatçı konumunda bulunan firmaların demir-çelik ürünü tedarik ettiğinde, ihracatçıların ürünlerinin emisyon miktarlarının düşük olması önem arz etmektedir. Dolayısıyla, çalışmada tedarikçi seçim kriterlerinde çevre ana kriteri kapsamında yeşil kriterlere de yer verilmiştir.

Yapılan çalışmada ana kriterler baz alındığında demir-çelik sektöründe tedarikçi seçimi aşamasında en önemli kriterin fiyat olduğu görülmüştür. Daha sonra sırasıyla kalite, teslimat

çevre ve iletişim kriterlerinin önem teşkil ettiği, en etkisiz kriterin ise kurumsal itibar olduğu tespit edilmiştir. Hali hazırda çevre kriterine gerekli önem verilmediği görülmüş olup, SKDM'nin uygulanması ile Türkiye ihracatına yaklaşık %16 oranında katkı sağlayan demir-çelik sektöründe çevre kriterlerine gerekli önemin gösterilmesinin fayda sağlayacağı değerlendirilmiştir. Yapılan kriter ağırlıklandırılması sonrasında bir firma özelinde tedarikçiler SF-TOPSIS ve SF-CODAS yöntemleri kullanılarak kıyaslanmıştır. CODAS yöntemi ile gerçekleştirilen hesaplama neticesinde alternatiflerin skor değerleri belirtilmektedir. Buna göre, küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile tedarikçiler Tedarikçi 3 > Tedarikçi 2 > Tedarikçi 1 olarak; küresel bulanık CODAS yöntemi sonucunda ise alternatifler Tedarikçi 1 > Tedarikçi 2 > Tedarikçi 3 olacak şekilde sıralanmıştır.

Gelecek çalışmalarda daha farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılabilir ve diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlarla bir kıyaslama yapılabilir. Buna ek olarak ilerleyen çalışmalarda daha fazla uzmandan görüş alınarak kriterler çeşitlendirilebilir. Çalışmamızın sonucu olarak demir-çelik sektöründe tedarikçi seçimi yapan karar vericilerin çevre ana kriteri altında incelemiş olduğu yeşil kriterleri sağlayan tedarikçiler ile çalışmasının, SKDM'nin getirecek olduğu mali yükümlülüklerden kaçınmak bakımından da önemli olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ageron, B., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2012). Sustainable Supply Management: An Empirical Study. *International Journal of Production Economics*, 140, 168-182.
- [2] Ertunga, E. İ., & Seyhun, Ö. K., (2022). Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması ve Türkiye'nin İhracatına Olası Etkileri. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, 2022, ss. 1-13
- [3] T.C. Ticaret Bakanlığı (2023). Avrupa Yeşil Mutabakatı. <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/avrupa-yesil-mutabakatı>
- [4] Erbiyık, H., Kabakçı, G. A., & Erdil, A., (2021). Electre Yöntemi ile Otomotiv Sektöründe Tedarikçi Seçimi: Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 24*, S. 421-429, Nisan 2021.
- [5] Onat, A., & Kaçtıoğlu, S. (2020). Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(37), 65-79.
- [6] Ho, W., Xu, X. & Dey, P. K. (2010). Tedarikçi Değerlendirmesi ve Seçimi için Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları: Bir Literatür Taraması. *Avrupa Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 202, 16-24.
- [7] Mendoza, A., (2007). Effective methodologies for supplier selection and order quantity allocation, *The Pennsylvania State University The Graduate School, Doctor of Philosophy*, 174 p.
- [8] Kahraman, C., Cebeci, U. and Ulukan Z., (2003). Multi-criteria supplier selection using Fuzzy AHP, *Logistics Information Management*, volume 16, p. 382-394.
- [9] S. Soner & S. Önüt. (2006) Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Bir ELECTRE-AHP Uygulaması. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 24:4, 110-120.
- [10] Tahriri, F., Osman, M. R., Ali, A., Yusuff, R., Esfandiary, A. (2008). AHP approach for supplier evaluation and selection in a steel manufacturing company. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, ISSN 2013-0953, OmniaScience, Barcelona, Vol. 1, Iss. 2, pp. 54-76, <https://doi.org/10.3926/jiem.v1n2.p54-76>
- [11] Büyüközkan, G., & Çiftçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy Dematel, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39, 3000-3011.
- [12] Arıkan, F., & Küçükçe, Y. (2013). Satın Alma Faaliyeti İçin Bir Tedarikçi Seçimi- Değerlendirme Problemi ve Çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2).
- [13] Junior, F. R. L., Osiro, L. & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.
- [14] Bronja, H. (2015). Two-phase selection procedure of aluminized sheet supplier by applying fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodology, *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette* 22(4):821-828. <https://doi.org/10.17559/TV-20140203122653>
- [15] Yılmaz, E. (2015). Bulanık AHP-VIKOR Bütünleşik Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33(2), 331-354.
- [16] Kara, İ., & Ecer, F. (2016). Ahp-VIKOR Entegre Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Tekstil Sektörü Uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 255-272.
- [17] Tekez, E., & Bark, N. (2016). Mobilya Sektöründe Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. *Sakarya University Journal of Science*, 20(1), 55-63
- [18] Denizhan, B., Yalçın, A. Y., Berber, Ş. (2017). Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), ss. 63-78.
- [19] Arslan, H. M., (2017). Electre I Yöntemi ile En Uygun Tedarikçinin Belirlenmesi: Ahşap Sektörü Uygulaması, *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Yıl: 7, Sayı: 1.
- [20] Daldır, İ., & Tosun, Ö. (2018). Bulanık WASPAS İle Yeşil Tedarikçi Seçimi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), ss. 193-208.
- [21] Narayanan, Arun K. & Jinesh, N. (2018) Application of SWARA and TOPSIS Methods for Supplier Selection in a Casting Unit, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 7 Issue 05, May-2018, 2278-0181
- [22] Madenoğlu, F., S. (2019). Green Supplier Selection In Fuzzy Multi Criteria Decision Making Environment, *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(4), ss. 1850-1869.
- [23] Doğan, N. Ö., & Akbal, H. (2019). Sağlık Sektöründe Tedarikçi Seçim Kararının AHP Yöntemi ile İncelenmesi: Bir Üniversite Hastanesi Örneği. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(4),440-456. <https://doi.org/10.18026/cbayarsos.664380>
- [24] Korkusuz Polat, T. & Kaçmaz, Ö. (2019). Supplier Selection Application with Fuzzy AHP in Machine Manufacturing Factory. Presented at the 4th International Symposium on Innovative Approaches in

- Engineering and Natural Sciences (ISAS WINTER-2019 (ENS)), Samsun, Turkey, Nov 22, 2019. SETSCI Conference Proceedings, 2019, 9, Page (s): 37-41, <https://doi.org/10.36287/setsoci.4.6.017>
- [25] Şekerçi, A. Z., & Yazıcıoğlu, O. (2019). Ahp Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama. *Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(2), 23-41.
- [26] Cezlan, E. Ç. (2022). Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile yeşil tedarikçi seçimi: Sağlık sektöründe bir uygulama. *Lojistik Dergisi*, 55, 39-52.
- [27] Unal, Y., & Temur, G. T. (2022). Sustainable supplier selection by using spherical fuzzy AHP. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42 (1), 593-603. <https://doi.org/10.3233/JIFS-219214>
- [28] Nebati, E., Yürük, H., & Kenar, Z. (2021). Bir Otobüs İşletmesi İçin Tedarikçi Seçimi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-14.
- [29] Afzali, M., Afzali, A. & Pourmohammadi, H. (2022). An interval-valued intuitionistic fuzzy-based CODAS for sustainable supplier selection. *Soft Computing*, 1-22
- [30] Ay Türkmen, M. & Demirel, A. (2022). SWARA Ağırlıklı Bulanık COPRAS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi, *Alanya Akademik Bakış*, 6(1), Sayfa No. 1739-1756.
- [31] Zaralı, F. (2022). Third Part Reverse Logistics Service Provider Selection Using the Spherical Fuzzy TOPSIS Method. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(2), 268-279.
- [32] Nebati, E. E., Ayvaz, B., Kuşakcı A. O. (2023). ERP System Evaluation in the Defense Industry: A Hybridized Spherical Fuzzy AHP-Codas Approach, *International Journal Of Information Technology & Decision Making*, cilt.19, sa.2, ss.1-42, 2023
- [33] Gündoğdu, F. K., & Kahraman, C. (2019). A novel fuzzy TOPSIS method using emerging interval-valued spherical fuzzy sets. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 85, 307–323.
- [34] Kocakaya, K.; Engin, T.; Tektaş, M. ve Aydın, U. (2021). Türkiye’de Bölgesel Havayolları için Uçak Tipi Seçimi: Küresel Bulanık AHP-TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi*, 4(1), 27-58.
- [35] Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 50(3), 25-44.