



**SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİKÇİ SEÇİMİ: FUCOM SÜBJEKTİF AĞIRLIKLANDIRMA
YÖNTEMİ TEMELLİ MAIRCA YAKLAŞIMI**
**SUSTAINABLE SUPPLIER SELECTION: FUCOM SUBJECTIVE WEIGHTING METHOD
BASED MAIRCA APPROACH**

Fatih ECER¹



1. Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler ABD, fecer@aku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6174-3241>

Makale Türü	Article Type
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi	Application Date
20.02.2020	02.20.2020
Yayına Kabul Tarihi	Admission Date
02.03.2021	03.02.2021

DOI

<https://doi.org/10.30798/makuiibf.691693>

Öz

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, ekonomik performans, ekolojik koruma ve sosyal meseleler gibi yönlerden dolayı hem araştırmacılardan hem de firmalardan büyük ilgi görmektedir. Bir tedarik zincirinin sürdürülebilirlik performansını artırmak için zincirin üyeleri, tedarikçilerini kendi stratejilerine göre dikkatle seçmelidir. Bu nedenle sürdürülebilirliğin üç boyutu (ekonomik, çevresel ve sosyal) bağlamında sürdürülebilir tedarikçi seçimini gerçekleştirmek için etkili bir karar aracına ihtiyaç duyulur. Bu çalışma, tedarikçilerin sürdürülebilirlik performansını değerlendirmek için çok kriterli bütünlük bir karar aracı önermektedir. Önerilen model, FUCOM (Full Consistency Method) ve MAIRCA (Multi Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) yöntemlerini 3 sürdürülebilirlik boyutu, 12 alt kriter ve 5 sürdürülebilir tedarikçiyi göz önünde bulunduracak şekilde entegre etmektedir. Ayrıca, önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermek için bir otomobil yedek parça firmasında bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Her bir boyut için en önemli alt kriterler ürün fiyatı, bilgilendirme ve çevre yönetim sistemi olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, önerilen modelin karar vericilerin uygun sürdürülebilir tedarikçileri seçmelerine yardımcı olmak için etkili ve verimli bir model olduğu söylenebilir. FUCOM-MAIRCA modeli sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde uygun tedarikçileri değerlendirmek ve seçmek için uygulanabilir.

Anahtar Kelimeler: *Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi, FUCOM, MAIRCA, ÇKKV.*

Abstract

Sustainable supply chain management receives much attention from both researchers and firms due to some aspects such as economic performance, ecological protection, and social issues. In order to improve the sustainability performance of a supply chain, its members should carefully select their suppliers according to their own strategies. Therefore, an effective decision tool is needed to realize sustainable supplier selection within the context of three dimensions of sustainability (economic, environmental and social). This paper proposes an integrated multi-criteria decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers. The proposed model integrates FUCOM and MAIRCA to consider 3 sustainability dimensions, 12 sub-criteria and 5 sustainable suppliers. Moreover, a case study in an automobile spare parts firm is realized to show the applicability of the proposed model. The most crucial sub-criteria in each dimension found to be as price of product, information disclosure, and environmental management system. It can be said that, as a result, the proposed model is effective and efficient to help decision-makers to select suitable sustainable suppliers. The FUCOM-MAIRCA model can be applied to evaluate and select proper suppliers in sustainable supply chain management.

Keywords: *Sustainable Supplier Selection, FUCOM, MAIRCA, MCDM.*

EXTENDED SUMMARY

Research Problem

In order to improve the sustainability performance of a supply chain, its members need to carefully select their suppliers according to their own strategies. Accordingly, an effective decision tool is needed to conduct sustainable supplier selection within the context of sustainability. This paper aims a hybrid multi-criteria decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers. That is, the proposed model integrates FUCOM and MAIRCA methods to consider sustainability dimensions, their sub-criteria and alternative sustainable suppliers.

Research Questions

How are the criteria used in the selection of sustainable suppliers weighted with the FUCOM method? How are the sustainable suppliers prioritized using the MAIRCA method? How to use the proposed integrated FUCOM-MAIRCA approach to select sustainable suppliers?

Literature Review

Recently, many papers have presented on evaluating the sustainable suppliers and determining the best sustainable supplier. To achieve this aim, various approaches can be selected to quantitatively make assessments of them. For instance, Cheraghalipour and Farsad (2018) used BWM and MILP methods together to choose sustainable suppliers. Luthra et al. (2017) proposed a methodology consisting of AHP and VIKOR methods. An approach consisting of DEA and type-2 fuzzy VIKOR methods was suggested by Alikhani et al. (2019). Memari et al. (2019) evaluated sustainable suppliers with the intuitionistic fuzzy TOPSIS and selected the most efficient one. Pishchulov et al. (2019) used revised AHP and DEA methods together in their study for this aim. Rashidi and Cullinane (2019) indicated that fuzzy TOPSIS gives better results comparing with fuzzy TOPSIS to select the best sustainable supplier in their study. Gören (2018) evaluated suppliers from the perspective of sustainability with the fuzzy DEMATEL method and selected the best sustainable supplier. Liu et al. (2019) utilized the fuzzy AHP based fuzzy TOPSIS approach to identify the best sustainable supplier. Furthermore, Mohammed et al. (2019), Arabsheybani et al. (2018), Mohammed et al. (2019), Abdel-Baset et al. (2019), and Ecer and Pamucar (2020) used various integrated MCDM methodologies to evaluate and select the most suitable sustainable suppliers among others. However, as far as the author's knowledge, there is no study integrating FUCOM and MAIRCA methods for selecting suppliers in the context of sustainability. Thus, it can be stated that this study will fill a gap in the literature.

Methodology

In this paper, a FUCOM based MAIRCA methodology is conducted to select the most proper sustainable supplier in an automotive spare parts firm in Turkey. FUCOM is one of the newest MCDM methods to assign the criteria weights subjectively and proposed by Pamucar et al. (2018). It is based on the pairwise criteria comparisons, in which solely the $n - 1$ comparison in the algorithm is enough. FUCOM has also the ability to calculate the deviation from full consistency of pairwise comparisons. Moreover, the MAIRCA method proposed by Pamucar et al. (2014) is an effective and simple MCDM ranking technique with a perfect degree of stability according to changes in the criteria. By combining these two methods, therefore, it is aimed to reach the results with a more effective and strong approach in this study.

Results and Conclusions

In this paper, we used the FUCOM technique based MAIRCA approach to examine sustainable suppliers by considering 12 criteria based on 3 dimensions like economic, environmental, and social in light of sustainability. Whilst FUCOM was utilized to determine the criteria weights, MAIRCA was conducted to rank the available alternatives. Besides, flexibility, quality, capability, price, transport cost, rights of stakeholders, information disclosure, occupational health and safety systems, environmental management systems (EMS), green manufacturing, green packaging, and waste management are the evaluation criteria considered to achieve this aim. The most important sustainability dimension was found to be the economic dimension. The findings also revealed that information disclosure, price and EMS were the most important criteria for sustainable supplier selection. Finally, the FUCOM-MAIRCA integrated model can be applied to select suitable suppliers in sustainable supply chain management.

1. GİRİŞ

İşletmelerin faaliyetlerini yürütürken topluma ve çevreye karşı olan sorumlulukları da yerine getirmesi günümüzde karlılıklarını ve sürdürülebilir büyümelerini doğrudan etkilemektedir. Tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirliği sağlamak için tedarikçi seçimi en önemli kararlardan biri haline gelmiştir. Küreselleşme ve dış kaynak kullanımında sürdürülebilir bir yaklaşıma sahip olmak isteği, sürdürülebilir tedarikçi seçimi konusunun örgütsel stratejileri belirlemede ve rekabetçi bir ortamda hayatta kalmaya çalışmaktaki önemini büyük ölçüde artırmaktadır (Cheraghalipour ve Farsad, 2018).

Geçmişte yalnızca ekonomik kriterler üzerine kurulan tedarikçi seçimi (Kara ve Ecer, 2016), zamanla çevre unsurunun dikkate alınmaya başlanmasıyla yeşil tedarikçi seçimi haline dönüşmüş (Ecer, 2020a) ve nihayet ekonomik ve çevre boyutlarına sosyal boyutun da eklenmesiyle birlikte sürdürülebilir tedarikçi seçimi ortaya çıkmıştır (Martins ve Pato, 2019; Ecer ve Pamucar, 2020). Günümüzde sürdürülebilirlik uygulamaları, tedarik zinciri performansını artırmak için şirketlerin planlama sürecinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş bulunmaktadır (Luthra vd., 2017; Ecer, vd., 2021).

Tedarikçiler, sürdürülebilir tedarik zinciri girişimlerinin uygulanmasında ve sosyal, çevresel ve ekonomik kazanımların sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadırlar (Memari vd, 2019). Özellikle tedarikçilerin tedarik zinciri yönetimleri, onları sosyal ve çevresel konular bakımından odak noktası haline getirmiştir. Pek çok şirket çevreyi yoğun olarak kirlettiği için bu endişe onları faaliyetlerindeki çevresel sorunları dikkate almaya zorlamıştır. Ayrıca, dünya nüfusu arttığı ve mevcut kaynaklar azaldığı için şirketler, tedarikçilerinin günümüz şartlarına uyum sağlamaları gerektiğine inanmaktadırlar. Günümüz şirketleri, hayatta kalabilmeleri için ürünlerinin, süreçlerinin ve üretim sistemlerinin çevresel açıdan tatmin edici bir performans sergilemesi gerektiğine inanmaktadır (Cheraghalipour ve Farsad, 2018). Çevre kirliliğine bağlı olarak ortaya çıkan sosyal sorunlar ise insanların sosyal yaşamlarını olumsuz etkilemektedir (Ecer, 2021a).

Çevre konusunda müşteri bilgi ve bilincinin artması, pazardan ve paydaşlardan kaynaklanan ekolojik baskılar ve hükümetlerin sıkı denetimleri sebebiyle şirketler tedarik zincirlerini tedarikçi seçimi yoluyla sürdürülebilir kılmak istemektedirler (Luthra vd., 2017). Dolayısıyla, sürdürülebilir tedarikçi seçimi, sürdürülebilirlik odaklı bir tedarik zinciri yönetiminde önemli bir stratejik karardır (Alikhani, Torabi ve Altay, 2019). Dolayısıyla tedarikçi seçimine yönelik sistematik ve sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Luthra vd., 2017). Bu bağlamda, çalışma şu amaçları gütmektedir:

- Sürdürülebilir tedarikçi seçimine yönelik çok kriterli bir model önermek.
- Sürdürülebilir tedarikçi seçiminde yararlanılan kriterleri ortaya koymak.
- Sürdürülebilir tedarikçi seçiminde yararlanılan kriterlerin önem ağırlıklarını yöntemiyle tespit etmek.
- Mevcut tedarikçiler arasından en iyi olanı belirlemek.

Bahsedilen amaçları gerçekleştirmek için bu çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden yararlanılmıştır. ÇKKV, birbiriyle çelişen birçok değerlendirme kriteri ile farklı niteliklere sahip olan alternatiflerin olduğu gerçek dünya problemlerinde karar vermeye yardımcı olan yöntemler topluluğu olarak nitelendirilebilir (Hashemkhani Zolfani vd., 2019; Ecer vd., 2018). Özellikle son yıllarda bu alanda pek çok yeni ve etkin yöntem geliştirilmiş olup (Ecer, 2020b) yöntemler, karar vericilerin doğru kararlar vermesinde etkin rol üstlenmektedirler (Ecer, vd., 2019). Her yöntemin kendine has bir yönünün olduğu düşünülürse birden fazla yöntemin bütünleşik olarak kullanılması ile daha güçlü modeller elde edilebilmektedir (Gören, 2018; Ecer, 2019). Bu çalışmada, tedarikçilerin sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirilmeleri amacıyla FUCOM (Full Consistency Method) temelli MAIRCA (Multi Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) yaklaşımı önerilmiştir. İkili karşılaştırmalara dayanan ve daha az ikili karşılaştırmalar yaparak karar problemlerinde yer alan değerlendirme kriterlerinin önem ağırlığını sübjektif olarak belirlemekte kullanılan FUCOM (Ecer, 2021b) vasıtasıyla sürdürülebilir tedarikçi seçimi problemindeki kriterlerin önem ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra belirlenen kriter önem ağırlıkları, yeni bir ÇKKV yöntemi olan ve sıralama yapmak amacıyla geliştirilen MAIRCA yönteminin algoritmasında kullanılarak mevcut alternatiflerin sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermek için bir otomotiv yedek parça şirketinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Şirket, sürdürülebilir tedarikçi seçim kriterlerini kullanmanın faydalı olduğu bilincine sahip olup tedarik zincirindeki alternatifler arasından en verimli sürdürülebilir tedarikçileri seçmek için yapısal bir çerçeveye ihtiyaç duymaktadır.

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2 sürdürülebilir tedarikçi seçimine yönelik literatüre ayrılmıştır. Bölüm 3 sürdürülebilir tedarikçi seçiminde kullanılan FUCOM ile MAIRCA yöntemlerini içermektedir. Bölüm 4'te uygulama anlatılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Son bölüm ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sürdürülebilir tedarikçi seçim problemi üzerine yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Son yıllarda seçim amacıyla tek bir yöntem uygulayan önceki çalışmaların çoğundan farklı olarak bütünleşik yöntemler popülerlik kazanmaktadır. Bu bölümde kısaca sürdürülebilir tedarikçi seçiminde kullanılan karar verme tekniklerine ve değerlendirme kriterlerine odaklanılmıştır.

Cheraghalipour ve Farsad (2018) sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapmak amacıyla BWM (Best Worst Method) ve MILP (Mixed Integer Linear Programming) yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Luthra vd. (2017) AHP (Analytical Hierarchy Process) ile VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerinden oluşan bir metodoloji önermişlerdir. DEA (Data Envelopment Analysis) ile tip-2 bulanık VIKOR yöntemlerinden oluşan bir yaklaşım Alikhani vd. (2019) tarafından önerilmiştir. Çalışmada, kriter ağırlıkları DEA ile hesaplanırken alternatifler ise VIKOR yöntemi ile sıralanmışlardır. Memari vd. (2019) sezgisel bulanık TOPSIS (Technique for Order Performance by

Similarity to Ideal Solution) ile sürdürülebilir tedarikçileri değerlendirmiş ve en verimli olanı seçmişlerdir. Pishchulov vd. (2019) yaptıkları çalışmada revise edilmiş AHP ile DEA yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Rashidi ve Cullinane (2019) bulanık DEA ile bulanık TOPSIS'in sürdürülebilir tedarikçi seçimi bağlamında performanslarını karşılaştırdıkları çalışmada bulanık TOPSIS'in daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Gören (2018) bulanık kümelerle DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemini bir arada kullanarak tedarikçileri sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirmiş ve en iyi olan sürdürülebilir tedarikçiyi seçmiştir. Liu vd. (2019), en iyi olan sürdürülebilir tedarikçiyi belirlemek için bulanık AHP temelli bulanık TOPSIS yaklaşımından yararlanmışlardır. Benzer bir çalışmada Mohammed vd. (2019) bulanık AHP temelli bulanık TOPSIS yaklaşımı ile en iyi sürdürülebilir tedarikçiyi seçmişlerdir. Ayrıca, bulanık MOORA (Multi-Objective Optimization Model based on the Ratio Analysis) modeli ile Arabsheybani, Paydar ve Safaei (2018) sürdürülebilir tedarikçileri değerlendirmişlerdir. Bulanık AHP temelli bulanık TOPSIS yaklaşımı kullanılan başka bir çalışmada Mohammed vd. (2018) en uygun sürdürülebilir tedarikçiyi tespit etmek amacıyla alternatifleri değerlendirmişlerdir. Abdel-Baset vd. (2019), ANP (Analytical Network Process) tabanlı VIKOR yönteminden oluşan bir modelle sürdürülebilir tedarikçileri değerlendirmiş ve en iyi olanı belirlemişlerdir.

Son yıllarda yabancı literatürde sürdürülebilir tedarikçi seçiminde kullanılan kriterler ise Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Sürdürülebilir Tedarikçi Seçiminde Yararlanılan Kriterler

Yazar/lar	Ekonomik kriterler	Çevre kriterleri	Sosyal kriterler
Cheraghalipour ve Farsad (2018)	Maliyet, kalite, teslimat, sadakat, teknoloji, finansal yapı, hizmet	Çevresel duyarlılık, çevre yönetim sistemi (ÇYS), kirlilik, sera gazı	İş sağlığı ve güvenliği, işçi güvenliği ve sağlığı, sosyal sorumluluk, sosyal yönetim, sendikal özgürlük, ücretler ve çalışma saatleri
Luthra vd. (2017)	Fiyat, kar, kalite, teknoloji, kapasite, teslimat ve hizmet, teslim süresi, taşıma maliyeti	ÇYS, yeşil tasarım, yeşil üretim, yeşil yönetim, yeşil paketleme, atık yönetimi ve kirliliğin önlenmesi, çevresel maliyetler, çevresel yeterlilikler, yeşil Ar-Ge	İş sağlığı ve güvenliği, çalışanların hakları, bilgilendirme
Memari vd. (2019)	Maliyet, kalite, hizmet,	Çevre verimliliği, yeşil imaj, kirliliği azaltma, yeşil yetkinlikler	Güvenlik ve sağlık, iş pratikleri
Pishchulov vd. (2019)	Kalite, teslimat, hevesli olma, teknik yetenek, disiplin, yönetim, finans, üretim, tesis, algı	Çevre taahhüdü, ÇYS, çevresel yetenekler, malzeme tüketimi, enerji tüketimi, emisyonlar, su tüketimi, atık, çevresel ürün performansı	Sosyal taahhütler, sosyal yönetim, çocuk yaşta çalıştırma, iş sağlığı ve güvenliği, ücretler ve çalışma saatleri, eğitim, iş ilişkileri, ayrımcılık, paydaş katılımı, toplum

Rashidi ve Cullinane (2019)	Maliyet, kültür, teslimat, finansal kapasite, esneklik, yenilikçilik, kalite, ilgi, servis kapasitesi, teslimat süresi	ÇYS, yeşil imaj, sera gazı, kirlilik kontrolü, yeniden kullanma ve geri dönüşüm, enerji ve kaynak tüketimi	Refah ve büyüme, sosyal sorumluluk, yerel topluluklar, çalışanların hakları, iş sağlığı ve güvenliği, paydaş katılımı, iş fırsatları
Gören (2018)	Fiyat, verimlilik, kapasite, uzun dönemli ilişki, teslim süresi, kalite, teknoloji, duyarlılık	ÇYS, yeşil tasarım, kaynak tüketimi	İş sağlığı ve güvenliği, destekleyici faaliyetler
Liu vd. (2019)	Yatırım, üretim maliyeti, yem sistemi maliyeti, atık, işgücü maliyeti	Su kirliliği, toprak asitlenmesi, insan toksisitesi, fosil kaynak tüketimi, su tüketimi, iklim değişikliği, arazi kullanımı,	İş saatleri, biyoçeşitlilik, yerellik, biyoçeşitlilik türleri
Mohammed vd. (2019)	Maliyet, kalite, teknoloji, teslimat	ÇYS, atık yönetimi, kirlilik	Çalışanların güvenlik, sağlık ve hakları, personel geliştirme, bilgilendirme
Arabsheybani vd. (2018)	Maliyet, kalite, teslimat	ÇYS, yeşil tedarik zinciri	İşçi güvenliği ve iş sağlığı, çalışanların hakları, güvenlik, işten çıkarılma
Mohammed vd. (2018)	Teknoloji, tazelik, teslimat	ÇYS, atık yönetimi, kirlilik	İşçi güvenliği ve iş sağlığı, çalışanların hakları, personel geliştirme, bilgilendirme
Abdel-Baset vd. (2019)	Maliyet, ürün geliri, taşıma maliyeti	Atık yönetimi, yeşil üretim, yeşil paketleme	İş sağlığı ve güvenliği, bilgilendirme, etik konular ve yasal uyum
Ecer ve Pamucar (2020)	Teslimat, taşıma maliyeti, hizmet, ürün kalitesi	Kirlilik kontrolü, çevre yönetim sistemi, çevresel yeterlilikler, yeşil yönetim, çevresel maliyet	Çalışanların eğitimi, sağlık ve güvenlik, bilgilendirme, ortakların hakları, çalışanların hakları

Literatür taraması sonucunda sürdürülebilir tedarikçi seçimine yönelik FUCOM-MAIRCA bütünleşik modelinin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. FUCOM yönteminin oldukça tutarlı şekilde ağırlıkları belirliyor olması ve MAIRCA yönteminin tüm alternatiflere karşı eşit mesafede davranarak analizleri gerçekleştirmesi sayesinde önerilen modelin oldukça sağlam, etkin ve kullanışlı bir model olarak literatürdeki yerini alacağı düşünülmektedir.

3. METODOLOJİ

Sürdürülebilir tedarikçilerin değerlendirilmesi ve seçilmesi amacıyla bu çalışmada FUCOM yöntemi ile MAIRCA yöntemi bütünleşik olarak kullanılmış ve böylece daha etkin ve doğru kararlar verebilmek amaçlanmıştır. Bu bölümde FUCOM ve MAIRCA yöntemlerine kısaca değinilmiştir.

3.1. FUCOM Yöntemi

Oldukça yeni bir ÇKKV yöntemi olan ve subjektif ağırlıklandırma amacıyla önerilen FUCOM (Full Consistency Method-Tam Tutarlılık Yöntemi), Pamucar vd. (2018) tarafından literatüre

kazandırılmış olan bir ÇKKV yöntemidir. Doğrusal programlama (DP) temelli model, kriterlerin önem ağırlıklarının elde edilmesi için iki koşulun sağlanmasını gerektirir: Birinci koşul, kriterlerin ağırlık katsayıları arasındaki ilişkilerin kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olmasıdır. İkinci koşul ise matematiksel geçişliliğin sağlanmasıdır (Pamucar ve Ecer, 2020). Kısıtlamaları belirledikten ve modeli çözdükten sonra, optimal ağırlık değerlerine ek olarak, tam tutarlılıktan sapma (TTS) elde edilir. TTS derecesi, elde edilen ağırlık katsayılarının kriterlerin tahmini karşılaştırmalı önceliklerinden sapma değeridir. TTS ayrıca elde edilen kriter ağırlıklarının güvenilir olduğunun göstergesidir. Bu değer 0'a yaklaştıkça elde edilen kriter ağırlıklarına olan güven daha da artar.

FUCOM'un diğer ağırlıklandırma yöntemlerine (AHP, ANP, SAW, BWM vb.) göre temel avantajları şunlardır:

- Daha az sayıda ikili karşılaştırma ile sonuca ulaşır (n kriter sayısını göstermek üzere sadece $n-1$ tane ikili karşılaştırma).
- Kriterlerin tutarlı bir şekilde ikili karşılaştırmasına izin verir.
- Kriter ağırlıklarının daha güvenilir şekilde hesaplanmasına olanak sağlar.

FUCOM'un ağırlık belirleme kullandığı adımlar ise şunlardır:

Adım 1. Karar vericiler kriterlerin sıralaması yaparlar. Sıralama, kriterlerin önemine göre yani en fazla önemli görülen kriterden en az önemli görülen kritere doğru yapılır. Böylece Eşitlik (1)'de görüldüğü gibi ağırlık katsayılarının beklenen değerlerine göre sıralanmış kriterler elde edilir. Eşitlik (1)'de k , dikkate alınan kriterin derecesini temsil eder.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)} \quad (1)$$

Aynı öneme sahip iki veya daha fazla kriterin varlığına dair bir yargı varsa, Eşitlik (1)'deki ">" yerine "=" işareti yazılır.

Adım 2. Karar vericinin tercihlerine dayanarak, sıralanan kriterlerin karşılaştırmalı öncelikleri ($\varphi_{k/(k+1)}$) belirlenir ve değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı öncelik vektörü elde edilir.

$\varphi_{k/(k+1)}$, $C_j(k)$ kriterinin sıralamasının $C_j(k+1)$ kriterinin sıralamasına göre avantajını temsil eder. Böylece, Eşitlik (2)'deki değerlendirme kriterlerinin karşılaştırmalı önceliklerinin vektörleri elde edilir:

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \varphi_{3/4}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (2)$$

FUCOM yöntemi kriterlerin ikili karşılaştırması için tamsayı, ondalık değerler veya önceden tanımlanmış bir ölçeğin değerleri kullanılarak kriterlerin ikili karşılaştırmasına izin verir.

Adım 3. Son adımda, değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerleri yani $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ hesaplanır. Ağırlık katsayılarının nihai değerleri aşağıdaki 2 koşulu sağlamak zorundadır:

Koşul 1. Ağırlık katsayılarının oranı, Adım 2'de tanımlanan gözlemlenen kriterler arasındaki karşılaştırmalı önceliğe ($\varphi_{k/(k+1)}$) eşittir.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

Koşul 2. Ağırlık katsayılarının son değerleri, matematiksel geçişlilik koşulunu sağlamalıdır, yani $\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}$. Ayrıca $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}}$ ve $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}}$ olduğundan dolayı $\frac{w_k}{w_{k+1}} \otimes \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}$ elde edilir. Böylece, değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin yerine getirmesi gereken başka bir koşul Eşitlik (4)'teki gibi elde edilmiş olur.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (4)$$

Tam tutarlılık, yani minimum TTS (χ), yalnızca geçişliliğe tam olarak uyulduğunda gerçekleşir. Bir başka ifadeyle $\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}$ ve $\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}$ koşulları sağlanırsa minimum TTS elde edilir. Bu şekilde maksimum tutarlılık (0.000) sağlanır, yani ağırlık katsayılarının elde edilen değerleri için TTS değeri $\chi = 0$ 'dır. Koşulların sağlanabilmesi için, ağırlık katsayılarının $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ değerlerinin, χ değerinin minimizasyonu $\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi$ ve $\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi$ koşulunun gerçekleşmesi gerekir.

Sonuç olarak, değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerlerini belirlemek için DP modeli Eşitlik (5)'teki gibi tanımlanabilir.

min χ

Öyle ki,

$$\begin{cases} \left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+1)}} - \varphi_{\frac{k}{k+1}} \right| \leq \chi, \forall j \\ \left| \frac{w_{j(k)}}{w_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \forall j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'teki modelin çözülmesi ile değerlendirme kriterlerinin $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ nihai değerleri ve TTS (χ) derecesi elde edilir.

3.2. MAIRCA Yöntemi

Çok ölçütlü ideal-gerçek karşılaştırma analizi olarak Türkçe'ye çevrilebilecek olan MAIRCA yöntemi, tıpkı FUCOM gibi yakın bir geçmişte Pamucar, Vasin ve Lukovac (2014) tarafından geliştirilmiş olan bir ÇKKV yöntemidir. Yöntem, teorik (ideal) çözüm ile elde edilen (gerçek) sonuç arasındaki farkın belirlenmesi prensibine dayanmaktadır ve bu farkın en az olduğu alternatifin ideal

duruma en yakın olduğu gerçeğiyle en fazla tercih edilen seçenek olması düşüncesi üzerine kurulmaktadır (Günay ve Ecer, 2020). MAIRCA yöntemi kolay anlaşılır bir matematiksel algoritmaya sahiptir, sonuçları güvenilirdir ve diğer ÇKKV yöntemleriyle bir arada kullanılmaya izin verebilecek özelliklere sahiptir. Son olarak, başlangıçta tüm alternatiflere karşı tarafsız yaklaşarak onlara eşit şans tanınması yöntemin en dikkat çekici yönlerinden birisidir.

MAIRCA yöntemi, aşağıdaki adımları izleyerek alternatif sıralamalarını tespit eder (Pamucar vd., 2014):

Adım 1. *Başlangıç karar matrisinin oluşturulması.* Kriter önem ağırlıkları, alternatiflerin kriterlere göre aldığı sayısal değerler vb. başlangıç karar matrisi X 'te yer alır (Eşitlik (1)).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2. *Alternatiflerin tercih değerlerinin belirlenmesi.* MAIRCA, Karar vericinin başlangıçta alternatiflere karşı tarafsız olduğu varsayımıyla hareket eder. Yani karar verici, alternatif seçim sürecinde hiçbir alternatife karşı daha yakın değildir. Dolayısıyla, m toplam alternatif sayısı olmak üzere mevcut alternatiflerden herhangi birinin tercihi Eşitlik (2) kullanılarak belirlenir.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m}; \quad \sum_{i=1}^m P_{A_i} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Adım 3. *Teorik değerlendirme matrisinin elde edilmesi.* n kriter sayısı ve m alternatif sayısı iken teorik değerlendirme matrisi T_p , kriter ağırlıkları ile alternatif tercih değerlerinin çarpımı neticesinde bulunur.

$$T_p = \begin{matrix} & w_1 & w_2 & \cdots & w_n & & w_1 & w_2 & \cdots & w_n \\ \begin{matrix} P_{A_1} \\ P_{A_2} \\ \vdots \\ P_{A_m} \end{matrix} & \begin{bmatrix} t_{p11} & t_{p12} & \cdots & t_{p1n} \\ t_{p21} & t_{p22} & \cdots & t_{p2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{pm1} & t_{pm2} & \cdots & t_{pmn} \end{bmatrix} & = & \begin{matrix} P_{A_1} \\ P_{A_2} \\ \vdots \\ P_{A_m} \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1 \cdot t_{p11} & w_2 \cdot t_{p12} & \cdots & w_n \cdot t_{p1n} \\ w_1 \cdot t_{p21} & w_2 \cdot t_{p22} & \cdots & w_n \cdot t_{p2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 \cdot t_{pm1} & w_2 \cdot t_{pm2} & \cdots & w_n \cdot t_{pmn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Adım 4. *Gerçek değerlendirme matrisinin elde edilmesi.* Gerçek değerlendirme matrisinin bulunması için öncelikle başlangıç karar matrisinin standartlaştırılması (normalizasyonu) gerekir. Bu işlemin ardından ise bir önceki adımda bulunan teorik değerlendirme matrisi ile standartlaştırılmış matris çarpılır.

Standartlaştırmada fayda temelli kriterler için Eşitlik (6), maliyet temelli kriterler için ise Eşitlik (7) kullanılır.

$$t_{rij} = t_{pij} \cdot \left(\frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \right) \quad (6)$$

$$t_{rij} = t_{pij} \cdot \left(\frac{x_i^+ - x_{ij}}{x_i^+ - x_i^-} \right) \quad (7)$$

Eşitlik (6) ve (7)'de x_i^+ ilgili kriterin maksimum değeri iken x_i^- ise ilgili kriterin minimum değerini gösterir. Böylece Eşitlik (8)'de görülen gerçek değerlendirme matrisi bulunur.

$$T_r = \begin{bmatrix} t_{r11} & t_{r12} & \cdots & t_{r1n} \\ t_{r21} & t_{r22} & \cdots & t_{r2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{rm1} & t_{rm2} & \cdots & t_{rmn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Adım 5. *Fark (boşluk) matrisinin elde edilmesi.* Teorik değerlendirme matrisi T_p ile gerçek değerlendirme matrisi T_r birbirinden çıkartılarak toplam fark matrisine ulaşılır (Eşitlik 9).

$$G = T_p - T_r = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \cdots & g_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & g_{m2} & \cdots & g_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Adım 6. *Kriter fonksiyonu değerlerinin (Q_i) hesaplanarak sıralamaların belirlenmesi.* Her alternatifin Q_i değeri, fark matrisinin satır toplamları alınarak bulunur (Eşitlik 10).

$$Q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij} \quad (10)$$

Son olarak alternatifler, hesaplanan Q_i değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. Başka bir deyişle, Q_i değeri en küçük olan alternatif ideal alternatife en yakın olandır ve karar probleminde en iyi (tercih edilebilir) alternatiftir.

4. UYGULAMA

Önerilen modelin uygulamasını göstermek için, bu çalışmada İstanbul'daki bir otomotiv yedek parça şirketi belirlenmiştir. Şirket 1991 yılında kurulmuştur ve kendi pazarında en önemli şirketlerden

birisidir. Şirket fren, ateşleme, debriyaj, filtre ve aydınlatma gibi pek çok otomotiv parçasının üretimini gerçekleştirmektedir.

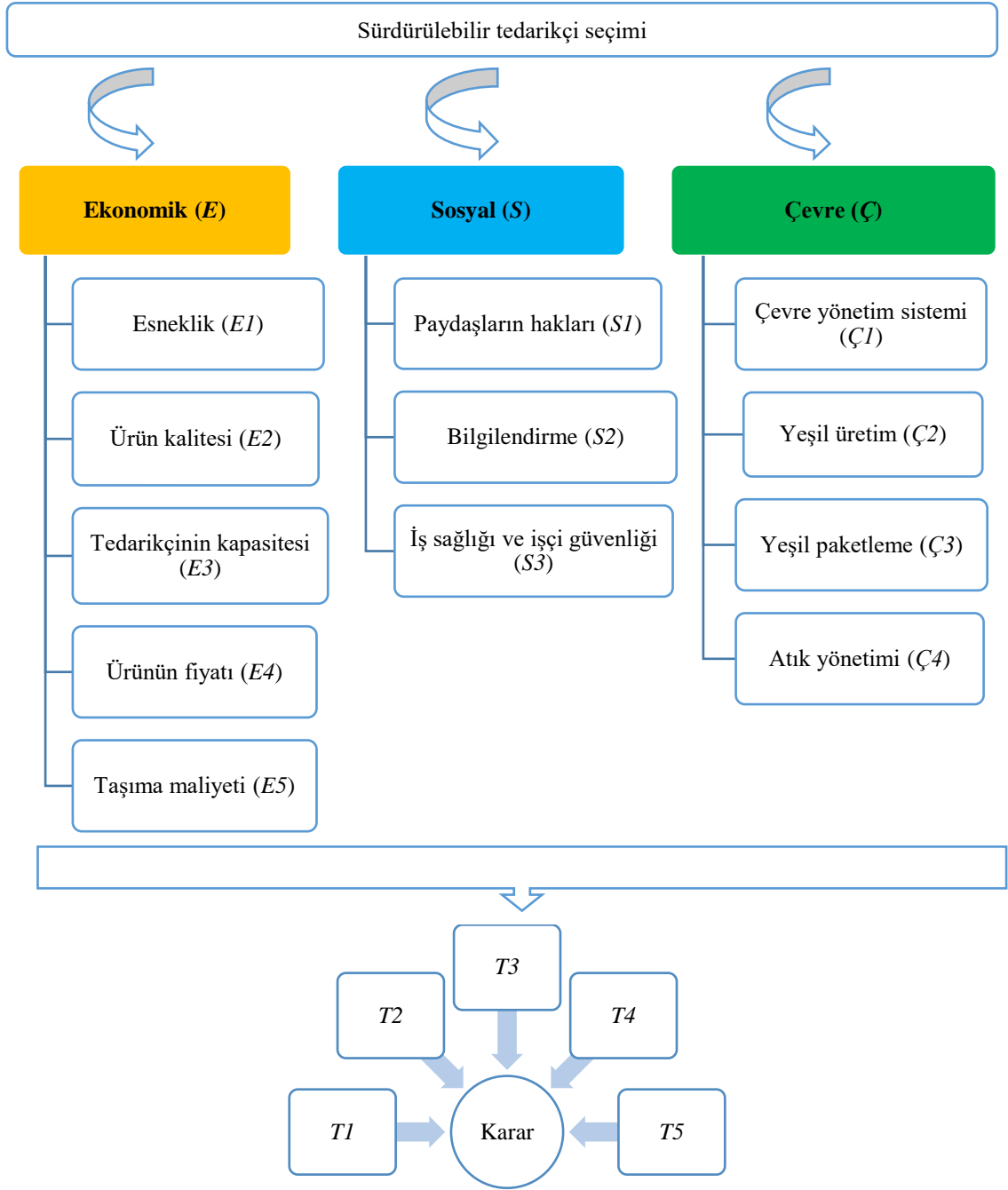
Şirket sürdürülebilir tedarikçi seçimi vasıtasıyla sürdürülebilirlik odaklı bir kimlik kazanmak istemektedir. Bunu başarmak için şirket kendi tedarik zincirinde yer alan tedarikçilerin sürdürülebilirliklerini değerlendirmek ve seçmek istemektedir. Ayrıca çevresel ve sosyal faaliyetlerinden kaynaklanan etkileri azaltma çabasıdadır. Şirket yöneticileri, sürdürülebilir tedarikçileri seçme ve tedarik zincirindeki ilgili uygulamaları yönetme konusunda birtakım zorluklarla karşılaşmışlardır.

Bu nedenle şirket, faaliyetlerinde sürdürülebilirliğin uygulanmasında yardımcı olacak sürdürülebilir tedarikçi seçimi değerlendirme kriterlerini anlamak için kapsamlı bir yaklaşım belirlemeye çalışmaktadır. Yöneticiler ayrıca sürdürülebilir tedarikçi seçimi kriterlerinin önem düzeylerini belirlemek ve alternatifleri arasından en uygun olan sürdürülebilir tedarikçiyi seçmek istemektedir. Dolayısıyla yöneticilere yardımcı olmak için FUCOM-MAIRCA bütünleşik yaklaşımı uygulanmasına karar verilmiştir. Diğer detaylar aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

3.1. Aşama 1. Amaca yönelik sürdürülebilir değerlendirme kriterlerini, alt kriterlerini ve alternatifini tanımlama.

İlk aşamada 4 uzmandan oluşan (bir akademisyen ile şirketin üretim, pazarlama ve satın alma departmanlarının üç yöneticisi) bir karar vericiler komitesi oluşturulmuştur. Uzmanların her biri en az 15 yıl iş deneyimine sahip, üçü erkek bir bayan ve 35-52 yaş aralığında olan kişilerdir. Ayrıca ikisi lisans, biri yüksek lisans biri de doktora derecesine sahiptir. Uzmanlar kapsamlı bir literatür taraması ile kendi bilgi ve tecrübeleri ışığında 3 ana, 12 alt kriter belirlemişlerdir. Ayrıca şirketin debriyaj tedarikini sağlayan mevcut 5 tedarikçi ($T1, \dots, T5$) alternatif sürdürülebilir tedarikçiler olarak ele alınmıştır. Böylece Şekil 1’de sunulan bir yapısal hiyerarşi kurulmuştur.

Şekil 1. Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi İçin Hiyerarşik Yapı



Şekil 1 şu dört düzeyden oluşmaktadır: Amaç, ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler. Amaç, en iyi olan sürdürülebilir tedarikçiyi seçmektir. İkinci düzeyde ana kriterler olarak belirtilen ve sürdürülebilirliğin üç temel ögesi olan (ekonomik, sosyal ve çevre) boyutları yer almaktadır. Üçüncü düzeyde her bir ana kritere ait alt kriterler görülmektedir. Bu düzeyde ekonomik boyut beş, sosyal boyut üç ve çevre boyutu ise dört kriter ile temsil edilmektedir. Son düzeyde ise değerlendirilen beş alternatif yer almaktadır.

3.2. Aşama 2. FUCOM uygulaması. Ana ve alt kriterlerin önem ağırlıklarının tespiti.

Bu aşamada karar vericiler hem ana kriterleri hem de alt kriterleri bir konsensüs sağlayarak sıralar. Sıralamaların ardından karar vericiler bu kez kriterlerin ikili karşılaştırmalar vasıtasıyla 1-9 ölçeğini kullanarak önceliklerini belirler. Yöntem daha önce de vurgulandığı gibi 3 adımda çözüme ulaşır.

Adım 1. İlk adımda karar vericiler bir araya gelerek bir konsensüs çerçevesinde ana kriterleri ve alt kriterleri önem düzeylerine göre Tablo 2'deki gibi sıralamışlardır.

Tablo 2. Ana ve Alt Kriterlerin Sıralanması

	Sıralama
Ana kriterler	$E > \Ç > S$
Ekonomi alt kriterleri	$E4 > E2 > E5 > E1 > E3$
Sosyal alt kriterleri	$S2 > S3 > S1$
Çevre alt kriterleri	$\Ç1 > \Ç4 > \Ç2 > \Ç3$

Adım 2. Ana ve alt kriterler Adım 1'deki sıralamalara göre öncelik puanlandırmasına tabi tutulur. Örneğin ana kriterler için ekonomi çevre ile çevre ise sosyal boyut ile karşılaştırılır. Karşılaştırmalarda 1 en yüksek, 9 en düşük olmak üzere 1-9 ölçeğinden yararlanılır. Tablo 3'te uzman ekibin öncelik değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Ana/Alt Kriterlerin Öncelik Değerleri

	Sıralama
Ana kriterler	1-1.2-1.4
Ekonomi alt kriterleri	1-1.3-1.5-1.8-2
Sosyal alt kriterleri	1-1.4-1.6
Çevre alt kriterleri	1-1.1-1.5-1.9

Örneğin Tablo 3'te ekonomi boyutu çevre boyutuna göre 1.2, çevre boyutu ise sosyal boyuta göre 1.4 öncelik değerine sahiptir.

Adım 3. Kriter önem ağırlıklarının hesaplanması. Son adımda, Adım 2'deki öncelik değerleri yardımıyla elde edilen minimizasyon modelleri çözülür ve önem ağırlıklarına ulaşılır (Tablo 4).

Tablo 4. Local ve Global Ağırlıklar

Ana kriter	Önem ağırlığı	Alt kriterler	Lokal ağırlık	Global ağırlık	Global sıralama
Ekonomi	0.393	$E1$	0.159	0.0625	10.
		$E2$	0.220	0.0865	5.
		$E3$	0.143	0.0562	11.
		$E4$	0.286	0.1124	2.
		$E5$	0.191	0.0749	7.
Sosyal	0.280	$S1$	0.267	0.0749	8.
		$S2$	0.427	0.1199	1.
		$S3$	0.305	0.0856	6.
Çevre	0.327	$\Ç1$	0.322	0.1054	3.
		$\Ç2$	0.215	0.0703	9.

Ç3	0.170	0.0555	12.
Ç4	0.293	0.0959	4.

Tablo 4'teki kriter ağırlıklarının FUCOM çok kriterli ağırlıklandırma yöntemiyle hesaplanmasına açıklık kazandırmak için ana kriterlerin ağırlıklarının nasıl elde edildiğinin açıklanmasının araştırmacılara faydalı olacağı düşünülmektedir. Hatırlanacağı üzere ana kriterler en önemliden başlamak üzere ekonomi, çevre ve sosyal boyut şeklinde sıralanmış ve karar vericilerin değerlendirmeleri neticesinde bunlara 1-1.2-1.4 öncelik değerleri atanmıştı. FUCOM yönteminin ikinci adımına göre kriterlerin karşılaştırmalı öncelikleri şöyle hesaplanır:

$$\varphi_{E/\zeta} = 1.2/1 = 1.2, \varphi_{\zeta/S} = 1.4/1.2 = 1.166$$

Üçüncü adımda iki koşul yerine getirilmelidir. İlk koşula göre ağırlık katsayılarının oranı, kriterlerin karşılaştırmalı önceliğine eşittir. Yani,

$$\frac{w_E}{w_\zeta} = 1.2, \frac{w_\zeta}{w_S} = 1.166$$

yazılır. İkinci koşula göre ise ağırlık katsayılarının nihai değerleri, matematiksel geçişlilik koşulunu karşılamalıdır. Böylece,

$$\frac{w_E}{w_S} = \frac{w_E}{w_\zeta} \otimes \frac{w_\zeta}{w_S} = 1.2 \otimes 1.166 = 1.399$$

elde edilir. Eşitlik (5) kullanılarak DP modeli şöyle yazılır:

$$\min \chi$$

Öyle ki,

$$\begin{cases} \left| \frac{w_E}{w_\zeta} - 1.2 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_\zeta}{w_S} - 1.166 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_E}{w_S} - 1.399 \right| \leq \chi, \\ \sum_{j=1}^4 w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \end{cases}$$

Modelin çözülmesi sonrasında ana kriterlerin nihai ağırlıkları,

$$w_E = 0.393; w_S = 0.280; w_\zeta = 0.327$$

olarak bulunur.

Benzer işlemler yapılarak elde edilen önem ağırlıklarının yer aldığı Tablo 4'e göre sürdürülebilir tedarikçi seçiminde en önemli ana kriter 0.393 ile ekonomi boyutudur. Ekonomiyi sırasıyla 0.327 ile çevre ve 0.280 ile sosyal boyutlar takip etmektedir. "Ürünün fiyatı" 0.286 lokal ağırlık ile ekonomi boyutunda en önemli görülen alt kriterdir. Onu sırasıyla "kalite", "taşıma maliyeti", "esneklik" ve "tedarikçinin kapasitesi" alt kriterleri izlemiştir. Benzer şekilde 0.427 lokal ağırlığa sahip olan "bilgilendirme", sosyal boyut içerisinde en önemli alt kriter olarak belirlenmiştir. Onu sırasıyla "iş sağlığı ve işçi güvenliği" ile "paydaşların hakları" izlemiştir. Son olarak çevre boyutunda ise "çevre yönetim sistemi" 0.322 ile en önemli alt kriter iken "yeşil paketleme" ise 0.170 ile en az önemli alt kriter olarak tespit edilmiştir. Global ağırlıklar, sonraki adımda alternatif tedarikçilerin sürdürülebilirlik

performanslarının belirlenmesinde kullanılacak olan ağırlık değerleridir. Tablo 4’de hesaplanan global ağırlıklara göre sürdürülebilirlik performansı belirlemede yararlanılan en önemli alt kriterler sırasıyla 0.1199 önem ağırlığı ile “bilgilendirme”, 0.1124 ile “ürünün fiyatı” ve 0.1054 ile “çevre yönetim sistemi” olmuştur. En az önemli görülen alt kriterler ise sırasıyla “esneklik”, “tedarikçinin kapasitesi” ve “yeşil paketleme” olmuştur.

Elde edilen tüm sonuçlara ilişkin tam tutarlılıktan sapma değerleri ise TTS=0.000’dır. Dolayısıyla tüm karşılaştırmalar tam tutarlılığa sahiptir ve sonuçlara güven duyma noktasında bir problem yoktur.

3.3. *Aşama 3. MAIRCA uygulaması. Alternatifler arasında en iyi olan sürdürülebilir tedarikçinin belirlenmesi.*

Bu çalışmada, mevcut tedarikçiler arasında en iyi olan sürdürülebilir tedarikçi MAIRCA yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Tablo 5’te verilen değerlendirme matrisi, 1-5 ölçeği ile (1: Çok kötü/düşük, 5: Çok iyi/yüksek) karar vericiler komitesinin ortak görüşleri sonucunda belirlenmiştir. MAIRCA yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar adım adım şu şekildedir:

Tablo 5. Alternatif Tedarikçilerin Kriterlere Göre Değerlendirmeleri

Tedarikçiler	Değerlendirme kriterleri											
	E1	E2	E3	E4	E5	S1	S2	S3	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
T1	2	3	1	2	3	4	1	3	2	1	3	2
T2	1	3	2	3	4	2	3	3	2	3	3	3
T3	3	4	2	2	2	3	4	2	4	2	3	2
T4	4	2	3	4	5	3	3	4	3	3	2	4
T5	2	5	3	2	3	2	5	4	4	3	4	5

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması. Öncelikle Tablo 5’te yer alan değerlendirmeler, kriter ağırlıkları ve kriter tipine ilişkin bilgilerin de yer aldığı bir başlangıç karar matrisi oluşturulur (Tablo 6). Ürünün fiyatı (E4) ve taşıma maliyeti (E5), düşük olması daha iyi olan kriterler olduğu için maliyet temelli kriterler grubunda, geriye kalan 10 kriter ise yüksek olması daha iyi olan kriterler olduğundan fayda temelli kriterler grubunda yer alır. Böylece E4 ile E5 kriterinde amaç minimizasyon, diğerlerinde ise maksimizasyondur.

Tablo 6. Başlangıç Karar Matrisi

	Değerlendirme kriterleri											
	E1	E2	E3	E4	E5	S1	S2	S3	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4
Amaç	Maks.	Maks.	Maks.	Min.	Min.	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.
Kriter ağırlığı	0.0625	0.0865	0.0562	0.1124	0.0749	0.0749	0.1199	0.0856	0.1054	0.0703	0.0555	0.0959
T1	2	3	1	2	3	4	1	3	2	1	3	2
T2	1	3	2	3	4	2	3	3	2	3	3	3
T3	3	4	2	2	2	3	4	2	4	2	3	2

<i>T4</i>	4	2	3	4	5	3	3	4	3	3	2	4
<i>T5</i>	2	5	3	2	3	2	5	4	4	3	4	5
<i>Maksimum</i>	4	5	3	4	5	4	5	4	4	3	4	5
<i>Minimum</i>	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2

Adım 2. Alternatiflerin tercih değerlerinin belirlenmesi. MAIRCA yöntemi başlangıçta her alternatifin eşit şansa sahip olduğunu kabul eder. Dolayısıyla alternatif sayısı 1'e bölünerek bu adım gerçekleştirilir.

$$P_{A_i} = \frac{1}{m} = \frac{1}{5} = 0.2$$

Adım 3. Üçüncü adımda teorik değerlendirme matrisinin bulunur. Bu matris elde edilirken önceki adımda hesaplanan 0.2 değeri ile kriter ağırlıkları çarpılır. Teorik değerlendirme matrisi Tablo 7'de görülebilir.

Tablo 7. Teorik Değerlendirme Matrisi

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>Ç1</i>	<i>Ç2</i>	<i>Ç3</i>	<i>Ç4</i>
<i>T1</i>	0.013	0.017	0.011	0.022	0.015	0.015	0.024	0.017	0.021	0.014	0.011	0.019
<i>T2</i>	0.013	0.017	0.011	0.022	0.015	0.015	0.024	0.017	0.021	0.014	0.011	0.019
<i>T3</i>	0.013	0.017	0.011	0.022	0.015	0.015	0.024	0.017	0.021	0.014	0.011	0.019
<i>T4</i>	0.013	0.017	0.011	0.022	0.015	0.015	0.024	0.017	0.021	0.014	0.011	0.019
<i>T5</i>	0.013	0.017	0.011	0.022	0.015	0.015	0.024	0.017	0.021	0.014	0.011	0.019

Örneğin *E1* sütunundaki değerler şu şekilde bulunur:

$$t_{p11} = t_{p21} = t_{p31} = t_{p41} = t_{p51} = 0.2 \times 0.0625 = 0.013$$

Adım 4. Bu adımda gerçek değerlendirme matrisi oluşturulur. Bunu başarabilmek için önce standartlaştırılmış matrisin bulunması, ardından da bu matrisin teorik değerlendirme matrisi ile çarpılması gerekir.

Standartlaştırma yaparken daha önce de vurgulandığı gibi fayda temelli kriterler için Eşitlik (6), maliyet temelli kriterler için ise Eşitlik (7)'den yararlanır. Sonuçta elde edilen standartlaştırılmış matris Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Standartlaştırılmış Matris

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>Ç1</i>	<i>Ç2</i>	<i>Ç3</i>	<i>Ç4</i>
<i>T1</i>	0.333	0.333	0.000	1.000	0.667	1.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.500	0.000
<i>T2</i>	0.000	0.333	0.500	0.500	0.333	0.000	0.500	0.500	0.000	1.000	0.500	0.333
<i>T3</i>	0.667	0.667	0.500	1.000	1.000	0.500	0.750	0.000	1.000	0.500	0.500	0.000
<i>T4</i>	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.500	0.500	1.000	0.500	1.000	0.000	0.667
<i>T5</i>	0.333	1.000	1.000	1.000	0.667	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Örneğin *T1* alternatifinin fayda temelli bir kriter olan *E1* ile maliyet temelli bir kriter olan *E4*'e göre standartlaştırılmış değerleri şöyle bulunur:

$$t_{r11} = \frac{2-1}{4-1} = 0.333$$

$$t_{r14} = \frac{4-2}{4-2} = 1$$

Standartlaştırılmış matris ile teorik değerlendirme matrisinin çarpılması neticesinde Tablo 9'da görülen gerçek değerlendirme matrisine ulaşılır.

Tablo 9. Gerçek Değerlendirme Matrisi

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>Ç1</i>	<i>Ç2</i>	<i>Ç3</i>	<i>Ç4</i>
<i>T1</i>	0.004	0.006	0.000	0.022	0.010	0.015	0.000	0.009	0.000	0.000	0.006	0.000
<i>T2</i>	0.000	0.006	0.006	0.011	0.005	0.000	0.012	0.009	0.000	0.014	0.006	0.006
<i>T3</i>	0.008	0.012	0.006	0.022	0.015	0.007	0.018	0.000	0.021	0.007	0.006	0.000
<i>T4</i>	0.013	0.000	0.011	0.000	0.000	0.007	0.012	0.017	0.011	0.014	0.000	0.013
<i>T5</i>	0.004	0.017	0.011	0.022	0.010	0.000	0.024	0.017	0.021	0.014	0.011	0.019

Örneğin *T1* alternatifinin *E1* kriterine göre gerçek değerlendirme sonucu şöyle hesaplanır:

$$t_{r11} = 0.333 \times 0.013 = 0.004$$

Adım 5. Teorik değerlendirme matrisinden, gerçek değerlendirme matrisinin çıkartılmasıyla fark ya da boşluk matrisi elde edilir. (Tablo 10).

Tablo 10. Fark Matrisi

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>Ç1</i>	<i>Ç2</i>	<i>Ç3</i>	<i>Ç4</i>
<i>T1</i>	0.009	0.012	0.011	0.000	0.005	0.000	0.024	0.009	0.021	0.014	0.006	0.019
<i>T2</i>	0.013	0.012	0.006	0.011	0.010	0.015	0.012	0.009	0.021	0.000	0.006	0.013
<i>T3</i>	0.004	0.006	0.006	0.000	0.000	0.007	0.006	0.017	0.000	0.007	0.006	0.019
<i>T4</i>	0.000	0.017	0.000	0.022	0.015	0.007	0.012	0.000	0.011	0.000	0.011	0.006
<i>T5</i>	0.008	0.000	0.000	0.000	0.005	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Örneğin *T1*'in *E1* kriterine göre fark matrisi değeri şöyle elde edilir:

$$g_{11} = 0.013 - 0.004 = 0.009$$

Adım 6. MAIRCA yönteminin son adımında sıralamaların elde edilmesi için alternatiflerin kriter değerleri (Q_i) bulunur. Fark matrisinin her bir satırının toplamı, her bir alternatifin Q_i değeridir. Bulunan Q_i değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla alternatiflerin sıralamadaki yerleri tespit edilir. Tablo 11'de elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 11. Tedarikçilere İlişkin Q_i Değerleri ve Sıralamalar

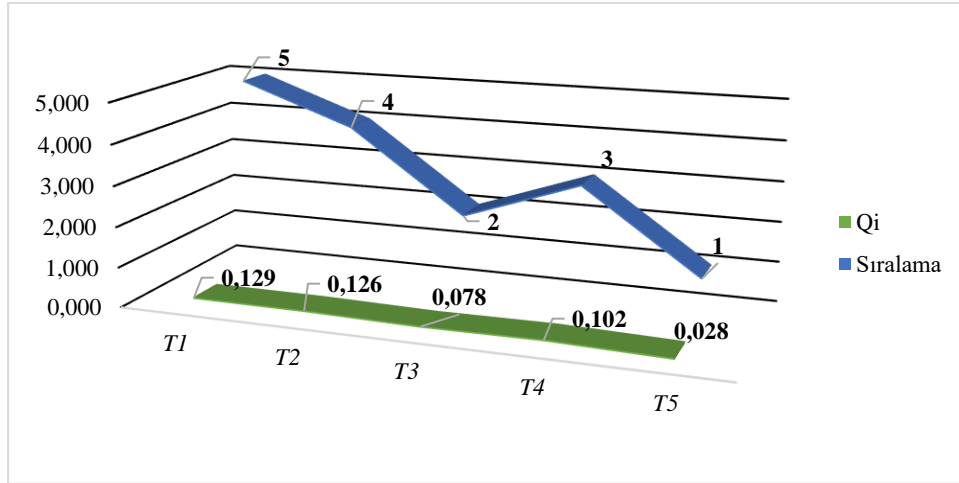
Tedarikçi	Q_i	Sıralama
<i>T1</i>	0.129	5
<i>T2</i>	0.126	4
<i>T3</i>	0.078	2
<i>T4</i>	0.102	3
<i>T5</i>	0.028	1

Örneğin ilk tedarikçinin Q_i değeri şu şekilde bulunur:

$$Q_1 = 0,008 + 0,012 + 0,011 + 0 + 0,005 + 0 + 0,024 + 0,009 + 0,021 + 0,014 + 0,006 + 0,019 \\ = 0,129$$

Şekil 2’de de görüldüğü üzere alternatifler Q_i değerine göre artan şekilde sıralandığında $T5 > T3 > T4 > T2 > T1$ sıralamasına ulaşılır. Sonuç olarak, sürdürülebilirlik bağlamında en etkili ve en iyi performansa sahip olan alternatif $T5$ tedarikçisidir.

Şekil 2. Tedarikçilerin Sıralamaları



5. SONUÇ

Son yıllarda tedarikçi seçiminde sürdürülebilirlik unsurlarının kullanılmasının önemine vurgu yapılması nedeniyle bu çalışmada, sürdürülebilir tedarikçi seçimi amacıyla FUCOM ile MAIRCA yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanılmasından oluşan bir ÇKKV modeli önerilmiştir. Çalışmada ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere her üç sürdürülebilirlik boyutu ile bunlara ilişkin alt kriterler uzmanların görüşleri alınarak ve ilgili literatür taraması sonucunda belirlenmiştir. Böylece ekonomi boyutuna ilişkin 5, sosyal boyuta ilişkin 3 ve çevre boyutuna ilişkin ise 4 olmak üzere 12 alt kriter, alternatif tedarikçileri sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirmek için kullanılmıştır. Gerek sürdürülebilirlik boyutlarının gerekse de onlara ilişkin kriterlerin önem ağırlıklarını belirlemek için oldukça yeni bir ÇKKV yöntemi olan FUCOM yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin avantajı AHP, DEMATEL, BWM gibi diğer ağırlık belirleme yöntemlerine göre çok daha az sayıda ikili karşılaştırmaya gereksinim duymasıdır. Alternatif sürdürülebilir tedarikçilerin performansını değerlendirmek ve sıralamaları tespit etmek için ise yeni bir ÇKKV yöntemi olan MAIRCA yönteminden faydalanılmıştır. İşlem kolaylığı ve hesaplama hızı bu yöntemin en önemli avantajlarıdır. Sürdürülebilir tedarikçi seçimi için önerilen uygulaması ise bir otomobil yedek parça üreticisinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en önemli sürdürülebilirlik boyutunun ekonomik boyut olduğu, onu sırasıyla çevre ve sosyal boyutun izlediği bulunmuştur. Sürdürülebilirlik boyutları itibarıyla

en önemli kriterler ekonomi boyutunda ürün fiyatı, sosyal boyutta bilgilendirme ve çevre boyutunda ise çevre yönetim sistemi olmuştur. Tüm kriterler birlikte değerlendirildiğinde ise sırasıyla bilgilendirme, ürünün fiyatı ve çevre yönetim sistemi sürdürülebilir tedarikçi seçimindeki en önemli kriterlerdir. Önerilen modelde, FUCOM yöntemi ile elde edilen kriter önem ağırlıkları MAIRCA yönteminde kullanılarak mevcut alternatifler değerlendirilmiş ve sıralamalar belirlenerek en verimli alternatif seçilmiştir.

Diğer sübjektif ağırlıklandırma temelli ÇKKV yaklaşımlarında olduğu gibi burada da karar ekibinin farklı karar vericilerden oluşması, sayılarının artması/azalması kriter ağırlıklarını etkileyeceğinden, alternatif sıralamaları üzerinde de etkide bulunabilir. Çalışma böyle bir kısıta sahiptir.

Son olarak, gelecekteki araştırmalar için bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

- Yakın geçmişte geliştirilen diğer ÇKKV yöntemleri kullanılabilir.
- Farklı kriterler eklenerek sonuçlar karşılaştırılabilir.
- İnsan düşünce sistemine oldukça uygun olan bulanık mantık ve uzantılarından yararlanılabilir.
- Önerilen model farklı sektörlerde ve alanlarda karşılaşılan karar verme problemlerine uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., ve Smarandache, F. (2019). An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Computers in Industry*, 106, 94-110.
- Alikhani, R., Torabi, S. A., ve Altay, N. (2019). Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria. *International Journal of Production Economics*, 208, 69-82.
- Arabsheybani, A., Paydar, M. M., ve Safaei, A. S. (2018). An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. *Journal of cleaner production*, 190, 577-591.
- Cheraghalipour, A., ve Farsad, S. (2018). A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: A case study in plastic industry. *Computers ve Industrial Engineering*, 118, 237-250.
- Ecer, F. (2019). Özel sermayeli bankaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesine yönelik çok kriterli bir yaklaşım: Entropi-ARAS bütünleşik modeli. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 14(2), 365-390.

- Ecer, F. (2020a). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: a case study of a home appliance manufacturer. *Operational Research*.
<https://doi.org/10.1007/s12351-020-00552-y>
- Ecer, F. (2020b). *Çok Kriterli Karar Verme, Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir Yaklaşım*. Ankara: Seçkin Yayınevi.
- Ecer, F. (2021a). Sustainability assessment of existing onshore wind plants in the context of triple bottom line: a best-worst method (BWM) based MCDM framework. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.
- Ecer, F. (2021b). An analysis of the factors affecting wind farm site selection through FUCOM subjective weighting method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 27(1), 24-34.
- Ecer, F., ve Pamucar, D. (2020). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121981.
- Ecer, F., Kınay, A. Ö., ve Nasiboğlu, E. (2018). Determination of the Financial Support Required by the Families with Disabilities to Achieve Standard Life Conditions with the AHP Method. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İİBF Dergisi*, 5(3), 687-704.
- Ecer, F., Pamucar, D., Hashemkhani Zolfani, S., ve Eshkalag, M. K. (2019). Sustainability assessment of OPEC countries: Application of a multiple attribute decision making tool. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118324.
- Ecer, F., Pamucar, D., Mardani, A., ve Alrasheedi, M. (2021). Assessment of renewable energy resources using new interval rough number extension of the level based weight assessment and combinative distance-based assessment. *Renewable Energy*.
- Gören, H. G. (2018). A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1156-1169.
- Günay, F., ve Ecer, F. (2020). Cash flow based financial performance of Borsa İstanbul tourism companies by Entropy-MAIRCA integrated model. *Journal of Multidisciplinary Academic Tourism*, 5(1), 29-37.
- Hashemkhani Zolfani, S., Ecer, F., Pamucar, D., ve Raslanas, S. (2020). Neighborhood selection for a newcomer via a novel BWM-based revised MAIRCA integrated model: a case from the Coquimbo-La Serena conurbation, Chile. *International Journal of Strategic Property Management*, 24(2), 102-118.

- Kara, İ., Ecer, F. (2016). AHP-VIKOR entegre yöntemi ile tedarikçi seçimi: tekstil sektörü uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi SBE Dergisi*, 18(2), 255-272.
- Liu, Y., Eckert, C., Yannou-Le Bris, G., ve Petit, G. (2019). A fuzzy decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers in an agrifood value chain. *Computers ve Industrial Engineering*, 127, 196-212.
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., ve Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1686-1698.
- Martins, C. L., ve Pato, M. V. (2019). Supply chain sustainability: A tertiary literature review. *Journal of Cleaner Production*, 225, 995-106.
- Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., ve Rahim, A. R. A. (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 9-24.
- Mohammed, A., Harris, I., ve Govindan, K. (2019). A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation. *International Journal of Production Economics*, 217, 171-184.
- Mohammed, A., Setchi, R., Filip, M., Harris, I., ve Li, X. (2018). An integrated methodology for a sustainable two-stage supplier selection and order allocation problem. *Journal of Cleaner Production*, 192, 99-114.
- Pamucar, D., ve Ecer, F. (2020). Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: The fuzzy full consistency method–FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3), 419-437.
- Pamucar, D., Stevic, Z., ve Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10 (393), 1-22.
- Pamucar, D., Vasin, L., ve Lukovac, L. (2014, October). Selection of railway level crossings for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MARICA model. In *XVI International Scientific-expert Conference on Railway, Railcon* (pp. 89-92).
- Pishchulov, G., Trautrimis, A., Chesney, T., Gold, S., ve Schwab, L. (2019). The Voting Analytic Hierarchy Process revisited: A revised method with application to sustainable supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 211, 166-179.

Rashidi, K., ve Cullinane, K. (2019). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with Applications*, 121, 266-281.