

ELECTRE III VE TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE ÜLKELERİN İŞ YAPMA KOLAYLIĞINA GÖRE SIRALANMASI***

SEQUENCE OF COUNTRIES ACCORDING TO EASE OF DOING BUSINESS WITH ELECTRE III AND TOPSIS METHODS

РАНЖИРОВАНИЕ ГОСУДАРСТВ С УПРОЩЕННЫМИ РЕГУЛЯЦИЯМИ ПО ВЕДЕНИЮ БИЗНЕСА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРЕ III И ТОПСИСНЫХ МЕТОДОВ

Sibel ŞENER*
Hüdaverdi BİRCAN**

ÖZ

Karar verme sürecinde, Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, Karar Verici'nin birden fazla kriter kullanmasına izin vererek en iyi alternatiflerin belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Çok kriterli bir yapıya sahip olan İş Yapma Kolaylığı Endeksi, ekonomilerin rekabet gücünü artırmak için küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin kuruluşlarını ve faaliyetlerini kolaylaştıracak bir iş ortamını sağlayan düzenleyici ve yasal sistemleri incelemek amacıyla oluşturulmuş bir endekstir. Bu çalışmada, ELECTRE III ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak iş yapma kolaylığına göre ülke ekonomilerinin en iyiden en kötüye doğru sıralanması amaçlanmıştır. Her iki yöntemin elde ettiği sonuçlar İş Yapma Kolaylığı Endeksi'nin sıralaması ile karşılaştırıldığında, ELECTRE III yönteminin TOPSIS yöntemine göre daha iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir. ELECTRE III yöntemin değişik parametrelerine (farksızlık, tercih ve veto eşikleri) yapılan duyarlılık analizi sonucunda, sıralamanın özellikle farksızlık ve tercih eşğine duyarlı olduğu, veto eşğine fazla duyarlı olmadığı gözlemlenmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen sıralamalarda en iyi ve en kötü ülke sıralaması doğru tahmin edilmiştir. Bu sonuçlara göre, Yeni Zelanda en iyi iş düzenleme ortamına sahip ülke, Güney Sudan, Kongo, Libya ve Eritre ise en kötü iş düzenleme ortamına sahip son dört ülke olarak bulunmuştur. Ayrıca TOPSIS, ELECTRE III yönteminin başlangıç

*** Bu çalışma birinci yazarın Prof. Dr. Hüdaverdi BİRCAN'nın danışmanlığında Hazırladığı "ELECTRE III, ELECTRE TRI ve TOPSIS Yöntemleri İle İş Yapma Kolaylığı Endeksi Verileri Üzerine Bir Uygulama" adlı doktora tez çalışmasından yararlanılarak hazırlanmıştır.

* ORCID: [0000-0001-6299-3712](https://orcid.org/0000-0001-6299-3712), Dr. Öğr. Gör, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Sivas, ssener@cumhuriyet.edu.tr

** ORCID: [0000-0002-1868-1161](https://orcid.org/0000-0002-1868-1161), Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, Sivas, hbircan@cumhuriyet.edu.tr

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

parametreleri ile elde edilen sıralamasıyla karşılaştırıldığında, her iki yöntemin 17 ülkeyi aynı sırada sıraladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, ELECTRE III, TOPSIS, İş Yapma Kolaylığı Endeksi, Eşik Değer.

ABSTRACT

In the decision-making process, Multi-Criteria Decision Making methods allow the Decision Maker to use more than one criterion, making it easier to identify the best alternatives. The Ease of Doing Business Index, which has a multi-criteria structure, is an index designed to examine the regulatory and legal systems that provide a business environment that will facilitate the creation and operation of small and medium-sized enterprises in order to increase the competitiveness of economies. In this study, it is aimed to rank the economies of the countries from the best to the worst according to the ease of doing business using ELECTRE III and TOPSIS methods. When the results obtained by both methods were compared with the ranking of the Ease of Doing Business Index, it was determined that the ELECTRE III method performed better than the TOPSIS method. As a result of the sensitivity analysis performed on various parameters of the ELECTRE III method (thresholds of indifference, preference and veto), it was noticed that the rating is especially sensitive to the thresholds of indifference and preference, but not too sensitive to the threshold of veto. In the rankings obtained by both methods, the best and worst country rankings were estimated correctly. According to these results, New Zealand was found to be the country with the best business regulatory environment, while South Sudan, Congo, Libya and Eritrea were the last four countries with the worst business regulatory environment. In addition, when the TOPSIS, ELECTRE III methods were compared with the rankings obtained using the initial parameters, it was determined that both methods ranked 17 countries in the same order.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, ELECTRE III, TOPSIS, Ease of Doing Business Index, Threshold.

АННОТАЦИЯ

Упрощённые и разнообразные критерии позволяют выбрать более одного метода в процессе принятия решения. Индекс упрощения для ведения бизнеса, имеющий многокритериальную структуру, вводится с целью изучения нормативных и правовых систем, которые обеспечивают бизнес-среду, способствующее созданию и деятельности малых и средних предприятий для повышения конкурентоспособности экономики. Целью данного исследования является ранжирование экономики стран от лучшей к худшему в соответствии с легкостью ведения бизнеса с использованием методов ELECTRE III и TOPSIS. По результатам исследования из обоих методов и сравнения их с рейтингом индекса легкости ведения бизнеса, было установлено, что метод ELECTRE III работает лучше, чем метод TOPSIS. В результате анализа чувствительности, выполненного по различным параметрам метода ELECTRE III (пороги безразличия, зоны предпочтения и veto), было замечено, что ранжирование особенно чувствительно к порогам безразличия и зоне предпочтения, но не слишком чувствительно к зоне veto. В рейтингах, полученных обоими методами, точно оценивались лучшие и худшие страны. Согласно этим результатам, Новая Зеландия была признана страной с наилучшей нормативно-правовой средой для ведения бизнеса, в то время как Южный Судан, Конго, Ливия и Эритрея были последними четырьмя странами с наихудшей нормативно-правовой средой для ведения бизнеса. При сравнении методов TOPSIS, ELECTRE III с рейтингом из исходных параметров,

стало очевидно, с обеими методами в одинаковом порядке было одинаково ранжировано все 17 государств.

Ключевые слова: принятие решений по нескольким критериям, ELECTRE III, TOPSIS, индекс упрощения по ведению бизнеса, порог.

1. Giriş

Birden fazla kriteri göz önünde bulundurularak en iyi alternatifin seçilmesini sağlayan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, bir veya bir grup Karar Verici (KV), çoğu zaman birbiriyle çelişen, birden fazla amaç için belirlenen alternatifler arasında seçim yapması gerektiği durumlarda kullanılan bir matematiksel modelleme aracıdır (Özbey, 2012). ÇKKV problemlerini çözmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Çok fazla çeşidi bulunan ÇKKV yöntemlerinden biri de ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) yöntemi ailesidir (ELECTRE I, II, III, IV, IS ve TRI). Bu yöntem diğer karar verme yöntemlerindeki eksiklerden dolayı, ilk kez Bernard Roy (1968) tarafından sorunların belirlenmesi ve kategorize edilmesi için ortaya atılmıştır. Bu yöntem üstünlük ilişkisini kullanarak, alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapmaktadır. Aynı temel kavramlara dayanan ve aralarında çok küçük farklar bulunan ELECTRE ailesinden ELECTRE I ve IS seçme problemlerinde, ELECTRE II, III, ve IV sıralama problemlerinde ve ELECTRE TRI sınıflama problemlerinde kullanılmaktadır (Figueira, Mousseau ve Roy, 2003: 8-17). ELECTRE ailesi, kriterlerin türüne bağlı olarak gerçek kriterlere ve sözde kriterlere göre sınıflandırılabilen yöntemlerdir. Bu yöntemlerden ELECTRE I ve II'de gerçek kriterler kullanılırken, ELECTRE III, IV, TRI ve IS'de ise sözde kriterler kullanılmaktadır (Tam, Tong ve Lau, 2003:49). Ayrıca, ELECTRE III yönteminde kriter ağırlıkları kullanılırken, ELECTRE IV yönteminde kriter ağırlıkları kullanılmamaktadır (Figueira vd., 2003: 3).

Bu çalışmada kullanılan ELECTRE III yöntemi, ELECTRE ailesinde en çok bilinen ve yaygın şekilde kullanılan iyi gelişmiş bir sıralama yöntemidir. Bu yöntem, birçok ÇKKV yönteminin güçlü yönlerini bir araya getirdiğinden bu çalışmada kullanılmıştır. Yönteme sözde kriter kavramı getirilerek, kriterlerin değerlendirmesinden doğan belirsizliklerin karar sürecine dahil edilmesine izin verilmiştir (Tam vd., 2003:46). Telafi edici olmaması, çok fazla sayıda alternatifi karşılaştırılabilir olması, iki alternatifin benzersizliğini ifade eden karşılaştırılmazlık kavramına izin vermesi (Buchanan, Sheppard ve Lamsade, 1999:8), verilerdeki herhangi bir değişikliğe karşı daha az duyarlı olması (Cavallaro, 2010:467), KV'nin karar sürecine doğrudan katılımı, hem nitel hem de nicel kriterleri analiz etme imkanı sağlaması, farklı kriterlerin entegrasyonunda ölçeklerin normalleştirilmesine gerek duymadan, yani farklı kriterleri tek bir ölçeğe dönüştürmeden orijinal verileri doğrudan değerlendirmesine izin vermesi (Chavira, Lopez, Noriega, Valenzuela ve Carrillo, 2017:194) gibi özelliklere sahip olması yöntemi avantajlı hale getirmiş ve bu özellikler yöntemi birçok gerçek hayat problemine uygulanmasını kolaylaştırmıştır. Bu yöntemin dezavantajı kullanılan eşik değerlerin ve kriter ağırlıkların keyfi seçilmiş olması ve karşılaştırılmazlıktan dolayı kısmi bir sıralamanın elde edilmesidir. Roy ve Bouyssou vd. (1986) bu dezavantajları

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

gidermek ve final sıralamayı güvenilir hale getirmek için duyarlılık analizini önermiştir (Roy ve Bouyssou, 1986:201-210).

Çalışmada ELECTRE III yöntemi, klasik bir ÇKKV yöntemi olan ve literatürde çok fazla kullanılan TOPSIS yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Hwang ve Yoon (1981) tarafından ortaya atılmış olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, ELECTRE yönteminin temel yaklaşımlarını kullanan ve çözüm süreci ELECTRE yöntemine göre daha kısa olan bir yöntemdir. Bu yöntem, karar alma sürecinde belirlenen alternatifler arasında en iyi olan alternatifi seçerek, alternatifleri en iyiden en kötüye doğru sıralamaktadır (Yürekli, 2008:35). Bu yöntem, çok sayıda kriter ve alternatifi olan ve özellikle objektif veya nicel verilerin verildiği durumlar için uygun olan bir yöntemdir. Yöntemde tek sübjektif girdiler ağırlıklardır. Yöntemin basit, akılcı, anlaşılabilir konsepti, insan seçiminin akılcılığını temsil eden sezgisel ve net mantık, hesaplama kolaylığı, hem en iyi hem de en kötü alternatifleri açıklayan skaler bir değerin olması, her bir alternatif için göreceli performansı basit bir matematiksel biçimde ölçme yeteneği, görselleştirme imkanı (Roszkowska, 2011:201-203) gibi avantajlara sahip olması diğer ilgili yöntemlerle karşılaştırıldığında (AHP, ELECTRE vb.) TOPSIS'i önemli bir ÇKKV yöntemi haline getirmektedir (Eraslan, 2015:58). Bu yöntemin zayıf yönü ise, ağırlıkları ortaya çıkaramaması ve kararlarda tutarlılık kontrolü sağlayamamasıdır (Roszkowska, 2011:202). Ayrıca karar problemlerine yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında alternatiflerin tercih sıralamasını değiştirmesidir. Yani sürece yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında en iyi olduğu düşünülen alternatif en kötü olabilmektedir. García-Cascales ve Lamata (2012) bunu, temel algoritmada kullanılan normla ve pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin tanımıyla ilgili nedenlerden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu yöntem telafi edici olduğu için sırayı tersine çevirebilmektedir (García-Cascales ve Lamata, 2012).

Çok kriterli bir yapıya sahip olan İş Yapma Kolaylığı Endeksi (İŞYKE), kolaylaştırıcı bir iş ortamını sağlayacak düzenleyici ve yasal sistemleri incelemek amacıyla Dünya Bankası Grubu ve Uluslararası Finans Kurumu tarafından oluşturulmuş bir endekstir. Bu endeks, 10 temel kriter ve 41 alt kriteri göz önünde bulundurup, bu kriterlerin her birinin sınıra uzaklık puanını basit bir ortalamasını alarak, 189 ülke ekonomisini iş yapma kolaylığı açısından en iyiden en kötüye doğru sıralamaktadır (Doing Business 2017:164-167).

Bu çalışmanın amacı, İŞYKE'de yer alan 10 temel kriter göz önünde bulundurularak ülkeleri iş yapma kolaylığına göre ÇKKV yöntemlerinden ELECTRE III ve TOPSIS yöntemleriyle sıralamak ve yöntemlerin uygulanabilirliğini göstermektir. Ayrıca, telafi edici olmayan, sözde kriterler kullanan ve kısmi sıralama yapan ELECTRE III yöntemi ile telafi edici olan gerçek kriterler kullanan ve tam sıralama yapan TOPSIS yöntemi birlikte kullanılarak farklı bir bakış açısından ülkelerin iş yapma ortamlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, iş yapma kolaylığının değerlendirilmesinde ELECTRE III ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak, kriterlerin basit bir ortalamasına göre sıralama yapan İŞYKE'ne alternatif bir yöntem sunmuş olması, farklı alanlarda başarıyla kullanılan

bu yöntemlerin ülkelerin iş yapma kolaylığının değerlendirilmesinde daha önce kullanılmamış olması nedenleriyle bu çalışmanın uygulamaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yöntemlere yönelik literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde uygulama verileri ve uygulama için kullanılan ELECTRE III ve TOPSIS yöntemleri tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde yöntemlerin uygulama adımları anlatılmış ve elde edilen bulgular tablolarla gösterilmiştir. Sonuç bölümünde ise genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Literatür Taraması

Literatürde çok kullanılan ELECTRE III yöntemi, gerçek dünya problemlerin birçok alanına uygulanmıştır. ELECTRE III yöntemi, en çok çevresel (Roy vd., 1992; Hokkanen ve Salminen, 1997; Rogers ve Bruen, 1998b; Raju ve Duckstein, 2004; Tervonen, Figueira, Lahdelma ve Salminen, 2005; Vasto-Terrientes, Kumar, Chao ve Valls, 2016) ve enerji (Roy ve Bouyssou, 1986; Papadopoulos ve Karagiannidis, 2008; Xu ve Ouenniche, 2012; Saracoglu, 2015; Peng, Shen, He, Zhang ve Wang, 2019) problemlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Rogers ve Bruen (1998a), Buchanan vd., (1999) proje seçim uygulamalarında, Boer, Wegen ve Telgen (1998), Montazer, Saremi, ve Ramezani (2009), bir tedarikçi seçim probleminde, Tam vd., (2003), uygun bir inşaat tesisinin seçiminde, Tomasz (2010), ofis binasına yönelik ısıtma-soğutma sistemi seçim probleminde kullanmıştır. Giannoulis ve Ishizaka (2010), ELECTRE III yöntemini ilk kez üniversitelerin sıralanması için kullanmıştır. Oktem ve Ergül (2012), Türkiye İMKB-Hisse Senedi Piyasasında en yüksek performans stoklarını seçmek için kullanmışlardır. Liu, Shao, Yu, ve Yu (2020), sezgisel bulanık ortamda entropi ağırlığı ve GRA (Gri İlişkisel Analizi)-ELECTRE III kullanarak yeni bir bulut hizmeti seçim yaklaşımını geliştirmişlerdir. Dortaj, Maghsoudy, Ardejani ve Eskandari (2020), İran'da yeraltı barajlarının inşasına uygun yerlerin seçiminde bir modifiye ELECTRE III yöntemini kullanmışlardır. Chen, Zhang, Rodríguez, Pedrycz ve Martínez (2021), bir inşaat projesinde en iyi müteahhit seçimi-teklif değerlendirme problemini çözmek için ELECTRE III ile olasılık dağılımına dayalı HFLTS'leri (hesitant fuzzy linguistic-term sets) birleştiren bir karar verme yöntemini önermişlerdir. Mahmoudi, Aydi ve Ibrahim (2021), artıtılmış atık su ile uygun bir yapay yeniden yükleme yeri belirlemek için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), AHP ve ELECTRE III yöntemlerini kullanmışlardır.

Türkçe literatürde çok fazla rastlanılmayan ELECTRE III yöntemini, Yürekli (2008), Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ihtiyacını karşılayacak en uygun taarruz helikopterini seçmek için, Ulubeyli ve Manisalı (2015), inşaat makinesi seçimi için kullanmışlardır. Eray (2015), inşaat sektöründe tedarikçi seçimi için AHP, ELECTRE III, PROMETHEE, TOPSİS, Fuzzy AHP, Fuzzy ELECTRE ve Fuzzy TOPSİS yöntemlerini kullanmış ve karşılaştırmıştır. Tedarikçilerin sıralamaları yöntemden yönteme farklılık göstermiş ve bunun sebebini her yöntemde farklı veri türlerinin işleme sokulmuş olması ve yöntemlerin çözüm şekillerinin birbirinden farklı olmasına bağlanmıştır. Özbek (2016), BİM Birleşik Mağazalar Zinciri'nin

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

2008-2015 yılları arasındaki performansını değerlendirmesinde, Keleş ve Tunca (2019a), inovatif ve girişimci işletmelerin Ar-Ge projeleri için teknokent seçim problemi için ve Keleş (2019b), B segmenti otomobil seçimi için bu yöntemi kullanmışlardır.

Hem yabancı literatürde hem de Türkçe literatürde çok fazla kullanım alanı olan TOPSIS yöntemi de birçok farklı alana uygulanmıştır. Demireli (2010) kamu bankalarının performanslarının, Bilbao-Terol, Arenas-Parra, Cañal-Fernández, ve Antomil-Ibias (2014), devlet tahvili fonlarının sürdürülebilirliğinin değerlendirmesinde kullanmışlardır. Tavana ve Hatami-Marbini (2011) insan uzay uçuşu görev simülatörlerinin önceliğinin, Barros ve Wanke (2015) havayollarının verimliliğinin, Hsieh vd. (2018) acil servislerde insan hata faktörlerinin öneminin değerlendirmesinde kullanmışlardır. Supçiller ve Çapraz (2011), Şimşek, Çatır ve Ömürbek (2015), Kumar, Padhi, ve Sarkar (2019) tedarikçi seçim probleminde kullanmışlardır. Ranjbar ve Nekooie (2018) deprem sırasında herhangi bir risk teşkil edecek binaları belirlemek, Akgün ve Erdal (2019) bir askeri mühimmat dağıtım ağı tasarım problemini çözmek ve Konstantinos, Georgios ve Garyfalos (2019), rüzgar santrali kurulum yerlerinin seçiminde bu yöntemi kullanmışlardır. Albahria, Hamid, Albahri ve Zaidan (2021), Covid-19'lu hastalarının sağlık durumlarının laboratuvar kriterlerine göre önceliklendirilip ve tespit edilmesi için Entropi tabanlı TOPSIS yöntemini, Kabadayı ve Çakır Esen (2021), bir depo yeri seçimi için Gri temelli TOPSIS yöntemini, Gül ve Fırat (2021), içme suyu dağıtım sistemlerinde şebeke rehabilitasyonunda öncelikli bölgelerin belirlenmesi amacıyla Entropi tabanlı TOPSIS ve MAUT yöntemlerini kullanmışlardır.

Yıllar içinde çok fazla geliştirilen ÇKKV yöntemleri, çok çeşitli gerçek hayat problemlerinde başarıyla uygulanmıştır. Bu yöntemlerden her biri problemleri farklı yönlerden değerlendirdiğinden aynı problem için farklı sonuçlar oluşturabilirler. Karar problemlerinde doğru ÇKKV yönteminin seçimi başlı başına çok kriterli bir karar sorunu olarak görülmüştür. Bu nedenle, birçok araştırmacı birden fazla yöntemi beraber kullanmış ve elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Çeşitli ÇKKV yöntemlerinin aynı probleme uygulandıklarında farklı sonuçların elde edilmesi eleştirilse (Selmi, Kormi, ve Bel Hadj Ali, 2016:3-4), Salminen, Hokkanen ve Lahdelma (1998), mümkün olduğunda aynı problem için birden fazla yöntemin kullanılması gerektiği, farklı ÇKKV yöntemiyle elde edilen sonuçların, tek bir ÇKKV yöntemiyle elde edilmesinden daha güvenilir olduğunu savunmuştur. Ayrıca birçok araştırmacı, en uygun olarak tanımlanabilecek tek bir yöntemin olmadığını, bir yöntemin diğerine tercih edilmesinin sağlam bir teorik mantığa dayandırılması ya da gerçek karar vericilerle çok sayıda vaka üzerinde karşılaştırılması gerektiğini savunmuşlardır (Mela, Tiainen T. ve Heinisuo, 2012:717).

Zhang ve Shi (2010), ELECTRE III ve TOPSIS yöntemlerinin bir karışımı olarak bir karar modeli oluşturmuşlardır. Yazarlar, ELECTRE III yönteminin kısmi sıralama oluşturması, TOPSIS yönteminin ise tam sıralama oluşturmasına rağmen bir veto eşiği kullanmaması sınırlamaların üstesinden gelmek için bu iki yöntemi birleştirmeyi amaçlamışlardır. Kou, Lu, Peng ve Shi (2012), sınıflandırma

algoritması seçimi için beş farklı ÇKKV (TOPSIS, GRA, VIKOR, PROMETHEE II ve ELECTRE III) yöntemini kullanmışlardır. Yazarlar, bu yöntemler arasındaki farklılıkları Spearman'ın sıra korelasyon katsayısına dayalı olarak çözmek için bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, ÇKKV yöntemleri ile elde edilen sıralamalar arasındaki benzerliklere göre her bir ÇKKV yöntemine bir ağırlık atayarak yeni bir sıralama elde etmiştir. Amaç ÇKKV sıralamaları arasındaki farkları azaltıp, elde edilen sıralamalar arasında bir anlaşmaya varılabileceğini kanıtlamaktır. Bayyurt (2013), Türkiye'deki yabancı ve yerli bankaların performansları arasındaki farklılıkları ele almak amacıyla TOPSIS, ELECTRE III ve Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemlerini beraber kullanmıştır. Bankaların performanslarını test etmek için TOPSIS skorlarının ve ELECTRE III sonuçlarının ortalama sıralamasını karşılaştırmıştır. ELECTRE III sonuçlarına göre yabancı bankaların performansı Türk bankalarının performansından üstün olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, TOPSIS sonuçlarına göre ise grupların ortalama performansları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermediği sonucuna varılmıştır. VZA etkinlik skorları, yabancı bankaların etkinliğinin ortalama olarak yerli bankalara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Selmi vd. (2016), literatürde en çok kullanılan ÇKKV yöntemleri arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları belirlemek için karşılaştırmalı bir çalışma önermiştir. Bunlar, ELECTRE III, PROMETHEE I ve II, TOPSIS, AHP ve PEG yöntemlerini bir betonarme binanın sismik yapısal güçlendirme ile ilgili bir vaka çalışmasına uygulamışlardır. Bu yöntemlerden ELECTRE III, PROMETHEE ve AHP yöntemleri aynı en iyi uzlaşma tasarımını elde ederken, TOPSIS ve PEG yöntemleri için bazı farklılıklar belirlenmiştir. ÇKKV yöntemlerinin alternatif sıralamasının ne kadar saptığını bulmak için kullanılan Gini indeksine göre AHP ve PEG yöntemleri arasında en yüksek sapma gözlemlenmiştir. Tscheikner-Gratl, Egger, Rauch ve Kleidorfer (2017), PROMETHEE III, ELECTRE III, TOPSIS, AHP ve WSM yöntemlerini karşılaştırmış ve bu yöntemlerin belediyelerin entegre rehabilitasyon yönetimine uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bunlar, basit yöntemleri daha karmaşık yöntemlerle karşılaştırmayı amaçlamışlardır. TOPSIS yöntemi, uygulanması kolay olduğu için önerilmiş ve bu yöntem literatürde en yaygın uygulanan yöntem olduğundan karşılaştırma için referans olarak kullanılmıştır. Kokaraki, Hopfe, Robinson ve Nikolaidou (2019), en iyi bilinen ve yaygın olarak uygulanan ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS, ELECTRE III ve PROMETHEE II yöntemlerini gerçek hayattaki bir vaka çalışmasına (bir bina tasarımına) uygulamış ve karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, yöntemler ilk 10 alternatifte benzer sonuçlar elde etmişlerdir. TOPSIS hariç, diğer yöntemlerin hepsi aynı optimal sonucu elde etmiş ve bu sonuç karara güven veren bir durum olarak değerlendirilmiştir. Vasegaard, Picard, Hennart, Nielsen ve Saha (2020), çoklu uydu görüntü elde etme programlama problemi için ELECTRE III, TOPSIS ve ikili lineer programlama modelini kullanmıştır. Sonuç olarak, ELECTRE III yönteminde veto eşiklerinin kullanılması sebebiyle diğer yöntemlere (diğer iki yönteme) göre daha şeffaf bir çerçeve sağladığını savunmuşlardır. Díaz ve Soares (2021), yüzen açık deniz rüzgar santrallerini değerlendirmek için CBS ile birlikte ÇKKV yöntemlerinden AHP, PROMETHEE, ELECTRE III ve TOPSIS

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

yöntemlerini kullanmışlardır. Ebrahimi, Moradi ve Chezgi (2021), ÇKKV yöntemlerinden AHP, ANP, VIKOR, TOPSIS ve ELECTRE III yöntemlerini kullanarak yeraltı baraj alanlarının önceliği tespit etmeye çalışmışlardır.

3. Materyal ve Yöntemler

3.1. Ülkelerin İş Yapma Kolaylığı

Gelişen ülke ekonomileri, rekabet gücünü arttırmak için ekonominin gelişmesine büyük katkı sağlayan küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin kuruluşlarını ve faaliyetlerini kolaylaştırmak amacıyla ciddi düzenlemeler yapmışlardır. Gerekli olan bu düzenlemeler ile yerel işletmelerin uygun iş ortamları oluşmuş, verimliliği artmış ve ülke ekonomisine büyük katkı sağlamışlardır. Kolaylaştırıcı bir iş ortamını sağlayacak düzenleyici ve yasal sistemleri incelemek amacıyla Dünya Bankası Grubu, İş Yapma Kolaylığı Endeksi'ni (İŞYKE) oluşturmuştur. Endeks, bir ekonominin en büyük iş şehrinde faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli limited şirketleri ele alarak, bu şirketleri açmanın ve çalıştırmanın ne kadar kolay ve ne kadar zor olduğuna ışık tutmakta ve böylece ülkelerin yatırım ortamının kalitesini belirlemeye çalışmaktadır. Bu endeks ekonomileri, küçük ve orta büyüklükteki yerel işletmelerin uygun iş yapma ortamlarına sahip olma durumlarına göre çeşitli iş yapma kolaylığı kriterleri açısından sıralamaktadır (Doing Business 2015:20-22, 120).

İŞYKE'de, 10 temel kriter ve 41 alt kriter, sınır değere uzaklık puanı ve ekonomilerin İş Yapma Kolaylığı sıralaması yer almaktadır. Bu temel kriter ve alt kritere göre ekonomiler 1'den 189'a doğru sıralanmaktadır. Sıralama bu 10 temel kriter ve alt kriterlerinin her birinin sınıra uzaklık puanının basit bir ortalaması alınarak yapılmaktadır (Doing Business 2017: 164-167). İŞYKE'nin 10 temel kriteri ve kısaltmaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İŞYKE'nin 10 Temel Kriteri ve Kısaltmaları

| 10 Temel Kriter | Kısaltma |
|----------------------------------|----------|
| Bir İşe Başlama | BirİşBş |
| İnşaat Ruhsatı İşlemleri | İnRhİş |
| Elektrik Bağlatma | EltrBağ |
| Tapu Sicili | TapSicl |
| Kredi Erişimi | KrdErş |
| Azınlık Yatırımcıların Korunması | AzYatKr |
| Vergilerin Ödenmesi | VrgÖd |
| Dış Ticaret | DşTic |
| Sözleşmelerin Uygulanması | SözUyg |
| İflas Durumların Çözümü | İfDrÇz |

3.2. ELECTRE III Yöntemi

ELECTRE III yöntemi, sözde kriter (pseudo-criteria) ve onun iki eşik değerini kullanarak, kriterlerin yapısından veya KV'lerin değerlendirmelerinden kaynaklanan eksik, belirsiz, tutarsız ve kötü belirlenmiş bilgiler ile başa çıkmak için

tasarlanmış çok kriterli bir karar verme yöntemidir (Roy, 1991). İki aşamalı eşik yaklaşımına dayanan sözde kriterlerde alternatifler karşılaştırılırken, farksızlığın ve kesin tercihin olmadığı durumlarda zayıf tercih olarak adlandırılan bir ara bölgenin varlığından bahsedilebilir. Zayıf tercih, farksızlıktan güçlü tercihe ani bir değişimi önlemek için farksızlık ile güçlü tercih arasında karar vermenin belli bir tereddütünü göstermektedir. Sözde kriterlerde performans değerlendirmesinde bir dereceye kadar tutarsızlığa ve belirsizliğe izin verilmektedir (Tam vd., 2003:48-49).

ELECTRE III yönteminde ilk olarak kriterlerin bir $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ kümesi ve bu kriterlere göre değerlendirilen alternatiflerin bir $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ kümesi belirlenir. Her bir a alternatifinin bir g_j kriterine göre performans değeri $g_j(a)$ ifadesi ile gösterilir. Daha sonra her bir kriterin göreceli ağırlıkları ve eşik değerleri tespit edilir. Eşik değerler ve kriter ağırlıkları KV tarafından belirlenen subjektif değerlerdir (Hokkanen ve Salminen, 1997: 27-28).

ELECTRE III yönteminde ikili karşılaştırma, alternatiflerin performans farklarına göre yapılır. Performans farklarının doğru bir şekilde ölçebilmesi için farksızlık ve tercih eşiklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Roy, 1991). q_j farksızlık eşiği, KV'nin bir kriterde iki alternatiften birinin diğerine ayırt edilebilir olduğunu düşündüğü en küçük fark olarak tanımlanmaktadır. p_j tercih eşiği, KV'nin bir kriterde iki alternatiften birini diğerine açıkça tercih edebileceğini algıladığı en küçük fark olarak tanımlanmaktadır (Rogers ve Bruen, 1998a).

Bazı alternatifler birbirlerinden oldukça farklı olduğundan KV bu alternatifleri karşılaştıramaz. ELECTRE III yöntemi böyle bir olasılığı göz önünde bulundurarak, iki alternatifin karşılaştırılmaz oluşunu ifade eden karşılaştırılmazlık ilişkisine de izin vermektedir. Bir tereddütü gösteren bu karşılaştırılmazlık ilişkisi aPb ve bPa olması durumlarında meydana gelmekte ve aRb şeklinde gösterilmektedir (Roy, 1991:50-51; Roy vd., 1992:16).

KV tarafından belirlenen v_j veto eşiği ve w_j önem katsayıları, her bir g_j kriterinin önem derecesini göstermektedir. Veto eşiği, bir kriterde iki alternatifin performans değerleri arasındaki farkın çok büyük olmasını engellemek amacıyla modele dahil edilmiş bir sınır değerdir. Bu sınır değer, bir alternatifin diğerinden üstünlüğünü engelleyen, iki alternatifin performans değerleri arasında kabul edilemeyecek kadar büyük olan farkı temsil etmektedir. Bir a alternatifinin bir g_j kriterine göre farksızlık, tercih ve veto eşikleri arasındaki ilişki $v_j > p_j > q_j$ şeklinde ifade edilmektedir (Rogers ve Bruen, 1998a:548-549). Roy (1991: 60-61), her bir kriterin göreceli önemini gösteren w_j önem katsayısını, bir oylama prosedüründe g_j kriterini destekleyen temsilcilerin sayısı (oylama gücü) olarak değerlendirmiştir.

Roy eşik değerlerin doğru bir şekilde tespit edebilmesi için kriterlerin ana kaynaklarının analizini önermiştir. Ayrıca ilk olarak, her bir eşik için, aralığın ortasına karşılık gelen değeri benimsemeyi ve daha sonra eşik değerlerin bu aralıktaki farklı kombinasyonlarını ele alarak bir duyarlılık analizini önermiştir (Roy, 1991:66-70; Roy vd., 1992:16).

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

a. Üstünlük İlişkisinin Kurulması ve Güvenirliğin Ölçülmesi

ELECTRE III yönteminde üstünlük ilişkisi, farksızlık ve tercih eşikleri göz önünde bulundurularak bir bulanık (fuzzy) ikili üstünlük ilişkisine dayanmaktadır. Her bir kriter için alternatiflerin bir ikili üstünlük ilişkisi S ile tanımlanmaktadır. (a, b) alternatif ikilileri için bir aSb üstünlük ilişkisi, “ a , en az b kadar iyidir” veya “ a , b ’den üstündür” iddiasının güvenirliliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Roy ve Bouyssou, 1986).

a ve b gibi iki alternatif değerlendirildiğinde aSb veya bSa iddialarından birinin kabulü veya reddi diğerinin kabulü veya reddi ile ilgili herhangi bir bilgi vermez. Ayrıca S üstünlük ilişki telafi edici değildir, yani kriterlerden birinin çok kötü bir puanı diğer kriterler üzerinde iyi puanları ile telafi edilemezdir (Roy ve Bouyssou, 1986:201).

Roy (1991), ELECTRE III yönteminde, iki alternatifin bir S üstünlük ilişkisini uyumluluk ve uyumsuzluk adında iki farklı indeks yardımıyla hesaplamıştır. Ayrıca bu S üstünlük ilişkisinin güvenirlilik derecesini tespit etmek için, uyumluluk ve uyumsuzluk indekslerini birleştirerek bir güvenirlilik indeksi elde etmiştir.

Uyumluluk İndeksi: Roy (1991:60) tarafından önerilen uyumluluk indeksi, kriterlerin göreceli ağırlıkları göz önünde bulundurularak bu kriterlerin büyük bir çoğunluğun “ a , en az b kadar iyidir (aSb)” iddiası ile uyumluluğunu incelemektedir. Her bir g_j kriteri için bir kısmi uyumluluk indeksi eşitlik (1) yardımıyla hesaplanır (Buchanan vd., 1999:11).

$$c_j(a, b) = \begin{cases} 1, & g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \\ 0, & g_j(a) + p_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \\ \frac{g_j(a) - g_j(b) + p_j(g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))}, & \text{diğer} \end{cases}$$

(1)

Genel uyumluluğun hesaplanabilmesi için her bir g_j kriterine bir w_j göreceli önem ağırlığı atanmalıdır. Bu durumda eşitlik (1)’den faydalanarak genel uyumluluk indeksi eşitlik (2) yardımıyla hesaplanır (Roy, 1991:60).

$$C(a, b) = \frac{1}{w} \sum_{j=1}^n w_j c_j(a, b), \quad w = \sum_{j=1}^n w_j, \quad 0 \leq C(a, b) \leq 1$$

(2)

Uyumluluk indeksi, 0 ve 1 arasında değişen bulanık bir değerdir ($0 \leq C(a, b) \leq 1$). $C(a, b) = 1$ olması, tüm kriterler içinde a alternatifinin b alternatifinden daha iyi olduğunu veya farksız olduğunu göstermektedir. $C(a, b) = 0$ olması, tüm kriterler içinde a alternatifinin b alternatifinden daha kötü olduğunu göstermektedir. Bir başka ifadeyle b ’nin a ’ya tercih edileceğini veya kıyaslanamayacağını göstermektedir.

Uyumsuzluk İndeksi: Roy (1991:61) tarafından önerilen uyumsuzluk indeksi, a alternatifinin b alternatifinden üstün olma hipotezine karşı kurulmuştur. Bu indeks “ a , en az b kadar iyidir” iddiası ile uyumlu olmayan azınlık kriterlerini, bir v_j veto eşliğini işleme katarak incelemektedir. Diğer kriterlerdeki

değerlendirmeler dikkate alınmadan, herhangi bir g_j kriteri için a ve b gibi iki alternatifin performans farkları, yani $g_j(b) - g_j(a)$ değeri, v_j veto eşiğinden büyük çıkarsa aSb iddiası reddedilmektedir. aSb iddiasına karşı muhalefetin gücü 0'dan 1'e doğru değişmektedir. Her bir kriter için bir $d_j(a, b)$ uyumsuzluk indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır (Buchanan vd., 1999:13).

$$d_j(a, b) = \begin{cases} 0, & g_j(a) + p_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \text{ ise,} \\ 1, & g_j(a) + v_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \text{ ise} \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j(g_j(a))}{v_j(g_j(a)) - p_j(g_j(a))}, & \text{diğer} \end{cases}$$

(3)

$d_j(a, b) = 0$ olması, b alternatifinin tercih edilmeyeceğini ve $d_j(a, b) = 1$ olması b alternatifinin tercih edileceğini göstermektedir.

Güvenirlilik İndeksi: Güvenirlilik indeksi, aSb iddiasının gücünün bir güvenirlilik derecesini tespit etmek için, uyum ve uyumsuzluk indekslerini birleştirerek bir güvenirlilik matrisi oluşturmaktadır. Güvenirlilik indeksi $[0, 1]$ aralığında değişen bir bulanık reel sayı değeridir (Roy vd., 1992:17-18). Güvenirlilik indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır (Buchanan vd., 1999:14).

$$\sigma(a, b) = \begin{cases} C(a, b), & \forall j \text{ için } d_j(a, b) \leq C(a, b) \\ C(a, b) \cdot \prod_{j \in J(a, b)} \frac{1 - d_j(a, b)}{1 - C(a, b)}, & \exists j \text{ için } d_j(a, b) > C(a, b) \end{cases}$$

(4)

Tüm kriterlerde, uyumsuzluk değerinin uyumluluk değerine eşit veya küçük olması, uyumsuz kriterlerin olmadığını ve aSb iddiasının iyi kurulduğunu ifade etmektedir. Bu durumda güvenirlilik değeri uyumluluk değerine eşit olmaktadır; $\sigma(a, b) = C(a, b)$ (Roy, 1991:63).

b. Distilasyon Yöntemiyle Alternatiflerin Sıralanması

ELECTRE III yöntemi, farksız ve karşılaştırılmayan alternatifleri de içerdiğinden tam bir sıralama oluşturamaz. Bu yöntem, tüm alternatiflerin tam sıralanmaması anlamında, bulanık üstünlük ilişkisinden türetilen bir kısmi ön sıralama oluşturmaktadır. ELECTRE III yönteminde sıralama, $\sigma(a, b)$ güvenirlilik matrisinin değerlerinden faydalanılarak, distilasyon süreci adı verilen bir tekniğin kullanılmasıyla iki kısmi ön sıralamadan elde edilmektedir. Üstünlük ilişkisinin iki kısmi ön sıralamasından biri, alternatifleri en iyiden en kötüye doğru sıralayan azalan distilasyon süreciyle, diğeri ise alternatifleri en kötüden en iyiye doğru sıralayan artan distilasyon süreciyle elde edilmektedir. Elde edilen bu iki ön sıralamanın kesişimi ile bir kısmi final sıralaması elde edilmiştir (Roy vd., 1992:18). İki farklı distilasyon süreciyle elde edilen alternatiflerin sıralama algoritması, aşağıdaki prosedürler kullanılarak hesaplanmıştır (Marzouk, 2011:598):

Sıralama Algoritması

1. $\sigma(a, b)$ güvenirlilik matrisinin maksimum değeri belirlenir; $\lambda_0 = \max\{\sigma(a, b)\}$.

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

2. Bir distilasyon matrisini oluşturmak için gerekli olan λ_1 ayırıştırma düzeyi bir $s(\lambda_0)$ ayırıştırma eşliğinden faydalanılarak belirlenir.

3. Ayırıştırma eşliği; $s(\lambda_0) = \alpha + \beta\lambda_0$ ($\alpha = 0.3, \beta = -0.15$ ampirik değerlerdir)

4. Ayırıştırma düzeyi üst sınırı; $\lambda_0 - s(\lambda_0)$

5. λ_1 ayırıştırma düzeyine; $\max_{\sigma(a,b) < \lambda_0 - s(\lambda_0)} \sigma(a, b)$.

6. $T(a, b) = \begin{cases} 1, & \sigma(a, b) > \lambda_1 \text{ ve } \sigma(a, b) - \sigma(b, a) > s(\lambda_0) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$

(5)

T distilasyon matrisindeki durumlar sağlanırsa “ a, b ’den üstündür” denir.

Damıtma (ayıklama) anlamına gelen distilasyon işlemi, λ_0 değerinden 0’a doğru λ_1 ayırıştırma düzeyinin aşamalı olarak azaltılması temeline dayanmaktadır (Tam vd., 2003:53). Azalan ve artan distilasyona göre sıralama işlemi aşağıdaki adımlara göre yapılmaktadır.

Azalan Distilasyon

Azalan distilasyona göre sıralama, en büyük yeterliliğe sahip alternatiften en küçük yeterliliğe sahip alternatife doğru yapılır. Nihai yeterlilik puanı, eşitlik (5) yardımıyla hesaplanan distilasyon matrisinden yararlanarak her bir alternatifin bireysel güçlülük puanlarının toplamından zayıflık puanlarının toplamının çıkarılmasıyla elde edilir. Her bir aSb iddiası için güçlü olan a ’ya +1, zayıf olan b ’ye -1 puanı verilir. λ_1 ayırıştırma düzeyine göre her bir alternatifin güçlülük puanları, distilasyon matrisinin satırlarının toplamı ve zayıflık puanları distilasyon matrisinin sütunlarının toplamı ile elde edilir (Tam vd., 2003:53).

λ_1 ayırıştırma düzeyine göre en büyük yeterliliğe sahip alternatiflerin alt kümesi D_1 ilk distilasyon olarak elde edilir. Eğer D_1 en büyük yeterliliğe sahip bir tek alternatif içeriyorsa o alternatifin bulunduğu satır ve sütun silinerek alternatif birinci sıraya yerleştirilir. Geriye kalan $A - D_1$ kümesinin elemanları ile önceki işlemler tekrar edilir. İlk distilasyonda aynı maksimum yeterlilik değerlerine sahip birden fazla alternatif varsa, bu durumda λ_1 ayırıştırma düzeyi biraz daha azaltılarak, aynı yeterlilik değerlerine sahip alternatiflerin kümesi ile ikinci bir D_2 distilasyonu elde edilir. λ_2 ayırıştırma düzeyine göre elde edilen D_2 distilasyonu, sadece bir alternatif içeriyorsa alternatif distilasyondan çıkarılarak sıraya yerleştirilir. Geriye kalan $D_1 - D_2$ kümesinin elemanlarıyla işlemler tekrarlanır. İkinci distilasyonda, aynı maksimum yeterlilik değerlerine sahip birden fazla alternatif varsa λ_2 biraz daha azaltılarak yeni bir D_3 distilasyonu elde edilir ve böylece D_1 ’de sadece bir alternatif kalana kadar veya ayırıştırma düzeyi sıfır olana kadar süreç devam eder. Böylece, en büyük yeterlikten en küçüğüne doğru sıralanacak başka alternatif kalmayacak şekilde algoritma devam eder. Sonuç olarak azalan distilasyon olarak adlandırılan Z_1 ilk ön sıralaması elde edilir (Tam vd., 2003:53-54).

Artan Distilasyon

Artan distilasyona göre sıralama, en küçük yeterliliğe sahip alternatiften en büyük yeterliliğe sahip alternatife doğru yapılır. Artan distilasyonun, azalan

distilasyondan tek farkı en küçük yeterliliğe sahip alternatifler ilk olarak seçilir. Sürecin diğer tüm işlemleri artan distilasyonla aynıdır. Süreç sonunda artan distilasyon adı verilen ikinci bir Z_2 ön sıralaması elde edilir (Tam vd., 2003:54).

Azalan ve artan distilasyona göre elde edilen Z_1 ve Z_2 iki ön sıralamanın keşitirilmesi ile bir final sıralaması elde edilmektedir (Borajee ve Haji, 2011:71).

1. Eğer her iki distilasyonda aSb ise veya bir distilasyonda aSb ve diğerinde alb ise bu durumda a alternatifi b 'ye tercih edilir (aP^+b).

2. Eğer bir distilasyonda aSb , fakat diğer distilasyonda da bSa ise bu durumda a ve b alternatifleri karşılaştırılmazdır (aRb).

3. Eğer her iki distilasyonda da alb ise bu durumda a ve b alternatifleri farksızdır (alb).

4. Eğer her iki distilasyonda bSa ise veya bir distilasyonda aSb ve diğer distilasyonda alb ise bu durumda a alternatifi b 'ye tercih edilmezdir (aP^-b).

5.

3.3. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından ortaya atılmış ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi, pozitif ideal çözüme yakınlığı ve negatif ideal çözümden uzaklığı birleştirerek pozitif ideal çözüme benzerlik ya da görelî yakınlık denen bir indeks tanımlamaktadır. Pozitif ideal çözüme görelî yakınlık ölçüsünü dikkate alarak alternatifleri büyükten küçüğe doğru sıralamaktadır. Yöntem, her niteliğin monoton olarak artan ya da monoton olarak azalan fayda sağladığını varsaymaktadır. ÇKKV yöntemleri arasında kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesi aşağıdaki ardışık adımlar göz önünde bulundurularak yapılmaktadır (García-Cascales ve Lamata, 2012:125; Eraslan, 2015: 61; Vasegaard vd., 2020:19)

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması: Bir alternatifi bir kritere göre x_{ij} performans değerlendirilmesi ve w_j kriter ağırlıkları belirlendikten sonra karar matrisi oluşturulmaktadır. KV tarafından belirlenen karar matrisinin sütunlarında kriterleri, satırlarında ise alternatifler bulunmaktadır.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

(6)

Adım 2: Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması: Her bir özellikteki alternatifleri karşılaştırmak için, normalleştirme işlemi sütun bazlı yapılmaktadır ve normalleştirilmiş değerler 0 ile 1 arasında değişmektedir. R normalleştirilmiş performans matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$r_{ij}(x) = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}, \quad R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

(7)

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

Adım 3: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması:

Bu adımda eşitlik (7)'deki R normalleştirilmiş matrisinin her bir sütunundaki elemanları w_j ağırlık vektörü ile çarpılarak v_{ij} ağırlıklandırılmış normalize değerleri hesaplanır.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_m r_{1m} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_m r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{n1} & w_2 r_{n2} & \cdots & w_m r_{nm} \end{bmatrix}, \quad \sum_{j=1}^m w_j = 1, \quad 0 \leq w_j \leq 1$$

(8)

Adım 4: Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi:

Bu adımda, eşitlik (8)'deki V matrisinden A^+ pozitif ve A^- negatif ideal çözümleri adından iki farklı çözüm kümesi üretilmiştir.

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_m^+\} = \{(\max_j v_{ij}: j \in J), (\min_j v_{ij}: j \in J')\}$$

(9)

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_m^-\} = \{(\min_j v_{ij}: j \in J), (\max_j v_{ij}: j \in J')\}$$

(10)

Adım 5: Ayrım Ölçülerinin Hesaplanması:

Her bir a_i alternatifinin pozitif ve negatif ideal çözümden sapmaları, Öklidiyen Uzaklık formülü yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$S^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, \dots, n$$

(11)

Eşitlik (11)'daki S_i^+ , i . alternatifinin ideal çözümden uzaklığını, eşitlik (12)'deki S_i^- , i . alternatifinin negatif ideal çözümden uzaklığını göstermektedir.

Adım 6: İdeal Çözüme Alternatiflerin Göreli Yakınlığının

Hesaplanması: Her bir a_i alternatifinin pozitif ideal çözüme göreli yakınlığı (eşitlik (12)'den faydalanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad 0 \leq C_i^+ \leq 1, \quad i = 1, \dots, n$$

(12)

Eşitlik (13)'de hesaplanan oran, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. En büyük C_i^+ değerine sahip alternatif birinci sırada yer almaktadır. Diğer alternatifler de C_i^+ değerlerinin büyüklüğüne göre büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadırlar.

4. Bulgular

Bu çalışmada, çok kriterli bir yapıya sahip olan İŞYKE verilerine göre ekonomileri sıralamak için ÇKKV yöntemlerinden ELECTRE III ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak, ülke ekonomileri iş yapma kolaylığına göre en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Bu yöntemler için İŞYKE'nin 2015 verilerini göz önünde bulundurarak 10 temel kritere göre 189 ülke ekonomisi, MATLAB (MATrix LABoratory) 2017 programlama dilinde kod yazılarak sıralanmıştır.

4.1. ELECTRE III İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre Sıralanması

ELECTRE III yönteminde, kriterlerin farksızlık, tercih ve veto eşikleri ile kriterlerin göreceli ağırlıkları KV tarafından belirlenen keyfi değerlerdir. Bu çalışmada eşik değerler, İŞYKE'nin 2015 verilerinin her bir kriterine göre alternatif performansları arasındaki farklar incelenerek q_j farksızlık, p_j tercih ve v_j veto eşik değerleri makul bir minimum ve maksimum değer arasına yerleştirilmiştir. Her bir kriterdeki alternatifler arasındaki en küçük farklar farksızlık eşiği, orta değerler tercih eşiği ve en büyük farklar veto eşiği olarak alınmıştır. Eşik değerler, her bir kriterdeki alternatif performansları büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra elde edilmiştir. Bu durumda, eşik değer aralıkları $q_j = [0, 5]$, $p_j = [43, 65]$ ve $v_j = [71, 100]$ şeklinde elde edilmiştir. Bu aralıkların ortasına karşılık gelen $q_j = 2.5$, $p_j = 54$ ve $v_j = 85.5$ değerleri başlangıç eşik değerleri olarak alınmıştır. Ayrıca eşik değer aralıkların farklı kombinasyonları (keyfi alt kümeleri) oluşturarak çok sayıda farklı senaryo incelenmiş ve elde edilen sıralamaların Hata Kareleri Ortalaması (HKO) hesaplanarak gerçek verilere yakınlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Farklı eşik değerler ile yapılan duyarlılık analizinin tüm sonuçları bu çalışmada verilmemiştir. İŞYKE her bir kriteri eşit ağırlıklandığı için verilere uygunluk açısından bu çalışmada da her bir kriter eşit ağırlıklandırılmıştır.

Başlangıç Parametreleri İle Elde Edilen Sıralama

İlk olarak, başlangıç eşik değerler göz önünde bulundurularak ilk sıralama elde edilmiştir. Tüm kriterler için eşit olarak alınan bu eşik değerler $q_j = 2.5$, $p_j = 54$ ve $v_j = 85.5$ şeklinde hesaplanmıştır.

İlk eşik değerlere göre yöntemin elde ettiği sıralamada 189 ülkeden 80 ülke sıralaması gerçek veriler ile aynı sırada çıkmıştır. Gerçek veriler ile yöntem arasındaki mutlak sıralama farkı 67 ülkede 1; 22 ülkede 2; 14 ülkede 3; 3 ülkede 4; 2 ülkede 5 ve 1 ülkede 6 çıkmıştır. Tablo 2'de İŞYKE'ne göre elde edilmiş en iyi ilk 10 ülke ve Türkiye, ELECTRE III yöntemi ile elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Başlangıç Değerlere Göre ELECTRE III ve İŞYKE'nin Karşılaştırılması

| Ülkelerin Sınıra uzaklık Puanına Göre En İyiden En Kötüye Doğru Sıralaması | | | | | HKO: 415 |
|--|------------------|---------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| DFT* Skor | Ülkeler | İŞYKE Sıralaması | ELECTRE III Sıralaması | Mutlak Fark | Hata Kareleri |
| 86.70 | Yeni Zelanda | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 85.08 | Singapur | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 84.69 | Danimarka | 3 | 3 | 0 | 0 |
| 83.69 | Kore, Temsilci | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 82.97 | Hong Kong, Çin | 5 | 5 | 0 | 0 |
| 82.80 | Norveç | 6 | 6 | 0 | 0 |
| 82.55 | Birleşik Krallık | 7 | 7 | 0 | 0 |
| 81.96 | ABD | 8 | 8 | 0 | 0 |

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

| | | | | | |
|-------|-------------|----|----|---|---|
| 81.11 | İsveç | 9 | 9 | 0 | 0 |
| 80.87 | Tayvan, Çin | 10 | 11 | 1 | 1 |
| 69.96 | Türkiye | 53 | 54 | 1 | 1 |

(DFT*: Ülkelerin İŞYKE’de sınıra uzaklık puanı)

HKO bulunarak yöntem ile İŞYKE sıralamaları arasındaki ilişkinin derecesine bakılmaktadır. Bu durumda başlangıç eşik değerleri ile yapılan sıralamada HKO= 415 olarak elde edilmiştir. Yöntem ile elde edilen sıralamadaki en iyi ilk 9 ülke sıralamasının, İŞYKE ile aynı sırada çıkması model parametrelerin iyi kurulduğu anlamına gelebilir. Bu sonucun doğruluğunu ve güvenilirliğini test etmek için, eşik değerlerin farklı kombinasyonları (keyfi alt kümeleri) denenerek bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

Duyarlılık analizi, sıralamanın eşik değerlerdeki değişikliklerden nasıl etkilendiğini belirlemek ve başlangıç eşik değerlerinin iyi kurulup kurulmadığını test etmek amacıyla yapılmıştır. Eşik değerlerin duyarlılık analizi, $q_j = [0, 5]$, $p_j = [43, 65]$ ve $v_j = [71, 100]$ aralığındaki tam sayı değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. İşlem karışıklığını engellemek ve karşılaştırmayı kolaylaştırmak için çalışmada sadece her bir eşik değer için HKO en düşük olan senaryolar verilmiştir. İlk senaryoda (S1), $q_j = [0, 5]$, aralığında yer alan q_j farksızlık eşliğinin duyarlılığı incelenirken, $p_j = 54$ ve $v_j = 85.5$ eşik değerleri sabit tutulmuştur. q_j farksızlık eşliği 5’den 1’e doğru azaldıkça HKO’da azalmaktadır. Aralıktaki dört alt senaryoya göre en yüksek HKO=962 iken, en düşük HKO, $q_j = 1$ için 299 olarak elde edilmiştir. Bu durum, q_j ’nun optimal çözümde etkili olduğu anlamına gelmektedir. İkinci senaryoda (S2), $p_j = [43, 65]$ aralığında yer alan p_j tercih eşliğinin duyarlılığı incelenirken, $q_j = 2.5$ ve $v_j = 85.5$ eşik değerleri sabit tutulmuştur. Aralıktaki on alt senaryoya göre ülke sıralamalarının p_j eşik değerine duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Artan ve azalan p_j eşik değerlerine göre HKO değişkenlik göstermiştir. En yüksek HKO=1121, $p_j = 44$ değerinde elde edilirken en düşük HKO, $p_j = 52$ ’de HKO= 432 olarak elde edilmiştir. Üçüncü senaryoda (S3), $v_j = [71, 100]$ aralığında yer alan v_j veto eşliğinin duyarlılığı incelenirken, $q_j = 2.5$ ve $p_j = 54$ eşik değerleri sabit tutulmuştur. Elde edilen sekiz farklı senaryoya göre en yüksek HKO=615, $v_j = 73$ değerinde elde edilirken en düşük HKO, $v_j = 84$ ’de HKO=415 olarak elde edilmiştir.

Duyarlılık analizi ile optimal çözümdeki değişiklikler yeniden analiz edilebilir. Bundan sonraki duyarlılık analizinde ilk olarak gerçek verilere en yakın sıralamayı sağlayan $q_j = 1$ ve $p_j = 52$ eşik değerleri sabit tutularak bu değerler ile birlikte veto eşliğinin sıralama üzerindeki etkisi ve daha sonra gerçek verilere en yakın sıralamayı sağlayan $q_j = 1$ ve $v_j = 84$ eşik değerleri sabit tutularak bu değerler ile birlikte tercih eşliğinin sıralama üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu durumda dördüncü senaryo (S4), $v_j = [71, 100]$ aralığında değişen veto eşliğinin alt senaryolardan oluşmaktadır. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda en düşük HKO,

$v_j = 81$ 'de HKO=324 olarak elde edilmiştir. Farklı veto eşik değerleriyle elde edilen sonuçlara göre sıralamalarda çok ciddi bir değişiklik olmamıştır. Değişen sıralamalardaki mutlak sıralama farkı ise genellikle 1 olarak çıkmıştır. Son olarak beşinci senaryo (S5), $p_j = [43, 65]$ aralığında değişen tercih eşığının alt senaryolardan oluşmaktadır. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda en düşük HKO, $p_j = 58$ 'de HKO=243 olarak çıkmıştır. Farklı veto eşik değerleriyle elde edilen sonuçlara göre sıralamalarda çok fazla bir değişiklik olmamıştır. Ülkelerin gerçek verilerdeki sıralaması ile yöntemin farklı senaryolarla elde ettiği sıralaması arasındaki mutlak sıralama farkları ve elde edilen HKO Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Gerçek Veriler İle Yöntem Arasındaki Sıralama Farkı ve HKO

| İŞYKE-Yöntem Sıralama Farkı | Mutlak | Başlan | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|-----------------------------|--------|--------|------|------|------|------|------|
| | | gıç | HKO= | HKO= | HKO= | HKO= | HKO= |
| | | 415 | 299 | 432 | 415 | 252 | 208 |
| 0 | | 83 | 100 | 78 | 85 | 89 | 109 |
| 1 | | 65 | 63 | 70 | 63 | 69 | 56 |
| 2 | | 27 | 20 | 29 | 27 | 22 | 17 |
| 3 | | 9 | 3 | 8 | 9 | 7 | 4 |
| 4 | | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 5 | | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |

Tablo 3'e göre yöntemin başlangıç parametreler ile elde ettiği sıralamada 83 ülke İŞYKE sıralaması ile aynı sırada yer alırken, senaryolardan S1'de 100, S2'de 78, S3'de 85, S4'de 89 ve S5'de 109 ülke İŞYKE sıralaması ile aynı sırada yer almıştır (mutlak(İŞYKE sırası-Yöntem sırası)=0). Benzer şekilde, yöntemin başlangıç parametreler ile elde ettiği sıralamada 65 ülke İŞYKE sıralamasına göre bir üst sırada veya bir alt sırada sıralanmıştır. Senaryolardan S1'de 63, S2'de 70, S3'de 63, S4'de 69 ve S5'de 56 ülke İŞYKE sıralamasına göre bir üst sırada veya bir alt sırada sıralanmıştır (mutlak(İŞYKE sırası-Yöntem sırası)=1). Diğerleri de benzer şekilde yorumlanabilir.

Duyarlılık analizi kullanılarak elde edilen sonuçlardan, genel olarak 189 ülkenin sıralaması göz önünde bulundurulduğunda, ülke sıralamasının verilen eşik değerlere duyarlı (özellikle q_j , p_j ve v_j 'ye göre daha duyarlı) olduğu, ancak çoğu durumda alternatiflerin yerlerini koruduğu sonucuna varılmıştır. Tüm senaryolar göz önünde bulundurulduğunda, 26 ülkenin gerçek veriler ile aynı sırada yer aldığı, diğer ülkelerin çoğunun ise bir alt sırada veya bir üst sırada salındığı gözlemlenmiştir. İŞYKE'nin en iyi ilk 3 ülkesi olan Yeni Zelanda, Singapur ve Danimarka, en kötü son dört ülkesi olan Güney Sudan, Kongo, Libya ve Eritre tüm senaryolarda aynı sırada kalmıştır. Bu durum, bu ülkelerin kullanılan eşik değerlere hiç duyarlı olmadığını göstermektedir.

Başlangıç eşik değerleri ile elde edilen ilk sıralamanın kararlılığını ortaya çıkarmak için, yöntemin başlangıç çözüm sonuçları ile beş senaryonun sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, 36 ülke sıralaması tüm

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

senaryolarda başlangıç çözüm sonuçları ile aynı sırada çıkmıştır. 32 ülkede ise sadece bir senaryoda değişiklik görülmüş ve diğer senaryolarda aynı sırada kalmıştır. Ayrıca sıralamadaki en yüksek sapmaların Barbados ülkesinin sıralamasında ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu ülke için S1’de sapma 6, S2 ve S5’de 4, S3’de sıfır ve S4’de 2 olarak çıkmıştır. Bunun sebebi, bu ülkenin kriter değerlerinden 4 tanesinin ortalamasının üstünde, 6 tanesinin ise ortalamasının altında olması gösterilebilir. Eşik değerler, her ne kadar sıralamalarda farklılıklar oluştursalar da, tam bir değişikliğe neden olmaması, değişen sıralamalardaki sapmaların az olması, bu eşik değerlerin iyi kurulduğu ve ilk sıralamanın sağlıklı olduğu anlamına gelebilir. Özellikle veto eşiği iyi kurulmuştur denilebilir. Yöntemin başlangıç parametreleri ile elde edilen sıralaması ile yöntemin beş farklı senaryosu ile elde edilen sıralaması arasındaki mutlak sıralama farkları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Başlangıç Çözüm ile Senaryolar Arasındaki Sıralama Farkı

| Başlangıç-Senaryo Mutlak Sıralama Farkı | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|---|----|----|-----|----|----|
| 0 | 87 | 86 | 187 | 67 | 94 |
| 1 | 64 | 76 | 2 | 76 | 54 |
| 2 | 27 | 16 | 0 | 30 | 32 |
| 3 | 8 | 8 | 0 | 8 | 8 |
| 4 | 1 | 2 | 0 | 8 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tablo 4’e göre, senaryolardan S1’de 87, S2’de 86, S3’de 187, S4’de 67 ve S5’de 94 ülke başlangıç çözüm ile aynı sırada yer almıştır. S3’de (veto eşiğinin duyarlılık analizi) sadece 2 ülke başlangıç çözüm ile farklı sırada yer almış ve bu ülkeler sadece birer basamak salınmıştır.

4.2. TOPSIS ile Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre Sıralanması

TOPSIS yöntemi, İŞYKE’nin verilerini kullanarak 189 ülke ekonomisini iş yapma kolaylığı göre en iyiden en kötüye doğru sıralamıştır. TOPSIS yöntemi ELECTRE III yöntemiyle aynı karar matrisini kullanmıştır. Fakat ELECTRE III yönteminden farklı olarak, karar matrisi normleştirilmiştir. Bu yöntemde tek subjektif girdiler ağırlıklardır ve her bir kriter için eşit alınmıştır. Normleştirilmiş matrisin her bir sütunundaki elemanlar $w_j = 0.1$ ağırlığı ile çarpılarak, ağırlıklandırılmış normalize matrisi elde edilmiştir. Bu matrise göre Pozitif İdeal vektörü $A^+ = \{0.009, 0.01, 0.011, 0.011, 0.014, 0.011, 0.01, 0.01, 0.011, 0.014\}$, Negatif İdeal vektörü $A^- = \{0.002, 0, 0.001, 0, 0, 0.002, 0.001, 0, 0.001, 0\}$ şeklinde elde edilmiştir. Bu ideal vektörlerden faydalanarak her bir ülkenin pozitif ve negatif ideal çözümden sapmaları hesaplanmış ve negatif idealden sapmanın toplam sapmaya oranı ile her bir ülkenin pozitif ideal çözüme görelî yakınlığı elde edilmiştir. Ülkelerin iş yapma ortamlarına göre sıralanması, pozitif ideal çözüme görelî yakınlığı en fazla olandan en az olana doğru yapılmıştır. Pozitif ideal çözüme görelî yakınlığı en fazla olan ülke Yeni Zelanda ($C_i^+ = 0.874101$) iken, en az olan ülke ise Eritre’dir ($C_i^+ = 0.25934$).

TOPSIS yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre 16 ülke sıralaması gerçek veriler ile aynı sırada çıkmıştır. Gerçek veriler ile yöntem arasındaki mutlak sıralama farkı 23 ülkede 1; 14 ülkede 2; 18 ülkede 3; 16 ülkede 4; 22 ülkede 5; 12 ülkede 6; 11 ülkede 7; 7 ülkede 8; 9 ülkede 9; 6 ülkede 10; 4 ülkede 11; 5 ülkede 12; 4 ülkede 13; 2 ülkede 14; 5 ülkede 15; 4 ülkede 16; 1 ülkede 17; 2 ülkede 18; 2 ülkede 20 ve 1'er ülkede 21, 22, 23, 24, 28, 29 olarak çıkmıştır.

TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralama ELECTRE III yöntemi ile karşılaştırıldığında, ELECTRE III yöntemi İŞYKE sıralamasına daha yakın sonuçlar elde etmiştir. İş Yapma Kolaylığı sıralamasında ilk sırada olan Yeni Zelanda her iki yöntemde de en iyi senaryo olarak ilk sırada yer almıştır. Ayrıca yöntem ile İŞYKE sıralaması arasındaki HKO en fazla TOPSIS yönteminde ortaya çıkmıştır. Bu durumda TOPSIS yönteminde HKO=13608 çıkarken, ELECTRE III yönteminin başlangıç eşik değerleri ile elde ettiği sıralamada HKO=415, yapılan duyarlılık analizi sonucunda en düşük hata kareler ortalamasını veren Senaryo 5'de ise HKO=243 olarak çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre TOPSIS yöntemi toplam 16 ülkeyi, ELECTRE III yöntemi HKO=415 değerine göre 80 ülkeyi, HKO=243 değerine göre ise toplam 95 ülkeyi İŞYKE sıralaması ile aynı sırada bulmuştur. Yöntem ile İŞYKE arasındaki en büyük sıralama farkı TOPSIS yönteminde 29 (Bhutan), ELECTRE III yönteminde HKO=352 olan sıralamada 6 (Kribati), HKO=243 olan sıralamasında ise fark 4 (Sejšeller ve Tongo) çıkmıştır.

TOPSIS yönteminin telafi edici olması, gerçek kriterler kullanması ve tam bir sıralama sağlaması, ELECTRE III yönteminin eşik değerler yardımıyla sözde kriterler kullanması, telafi edici olmaması ve karşılaştırılmazlığı işleme kattığı için kısmi bir sıralama sağlaması gibi özellikler her iki yöntem arasındaki sıralama farklarının bazı alternatiflerde yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Örneğin ABD, ELECTRE III yönteminde 8. sırada yer alırken TOPSIS yönteminde 2. sırada yer alır. Bir çok ülkeye göre ABD'nin kredi erişimi, dış ticaret ve iflas durumu kriterlerinin sırasıyla 95, 92.01 ve 91.22 gibi büyük değerler alması, TOPSIS yönteminde, küçük bir farkın tercihe yol açması, kriterlerin küçük değerlerinin bu büyük değerler tarafından telafi edilmesi ABD'yi üst sıralara taşımış, ELECTRE III yönteminde ise eşik değerler yardımıyla kurulan üstünlük yaklaşımından dolayı ABD 8. sırada sıralanmıştır. Yine benzer bir örnek verilecek olursa, karşılaştırılmazlığı işleme katarak zorunlu karşılaştırmalardan kaçınan ELECTRE III yönteminde, Butan ve Kırgızistan 70. sırada sıralanırken, TOPSIS yönteminde Butan 98. sırada, Kırgızistan 69. sırada sıralanmıştır. Basit bir ortalamaya göre sıralama yapan İŞYKE'de ise Butan 69. sırada, Kırgızistan 68. sırada sıralanmıştır. Kriter ortalamaları birbirine yakın olan bu ülkelerden Butan'nın "iflas durumlarının çözümü" kriterinin 0 değer alması bu farklara sebep olabileceği düşünülmüştür. ELECTRE III yönteminde, bu ülkelerin üstünlüğünü destekleyecek yeterli çoğunluk sağlanamadığından karşılaştırılmaz olarak bulunmuş ve aynı sırada sıralanmıştır. Ayrıca, Butan'nın "iflas durumlarının çözümü" kriterinin 0 değer alması (bilgi eksikliğinden dolayı 0 değerini almıştır), bir çok ülke tarafından veto eşiğiyle (85.5 değeri ile) bu ülkenin üstünlüğünün zayıflatılmasına neden olmuştur. TOPSIS yöntemi telafi edici olduğu için bir kriterin 0 değer alması puanın aşağı çekilmesine

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

sebebi olmuş ve Butan'ı alt sıralarda sıralamıştır. İŞYKE ortalamaya göre sıralama yaptığı için arka arkaya sıralamıştır.

Hobbs ve Horn (1997), farklı ÇKKV yöntemlerinin birbirini tamamlayan güçlü yönleri olduğunu ve bu nedenle en iyi yaklaşımın genellikle birbirini tamamlayan iki yöntemin bir kombinasyonu olduğunu belirtmiştir. Örneğin ELECTRE III'ün başlangıç parametreleri ve ilk 4 senaryosundan elde edilen sıralamalarında Finlandiya ve Tayvan her ikisi de 11. sırada, Senaryo 5'de ise Finlandiya 11. sırada, Tayvan 10. sırada sıralanmıştır. Bu iki ülkeden hangisinin 11. sırada olduğuna dair hiçbir bilginin olmamasından dolayı, TOPSIS yöntemiyle karşılaştırılarak nihai bir sonuca varılabileceği düşünülmüştür. TOPSIS yönteminde Finlandiya 11. sırada, Tayvan 14. sırada sıralandığı için ELECTRE III yönteminde de Finlandiya 11. sıraya, Tayvan'da senaryo 5'den dolayı 10. sıraya yerleştirilebilir. Benzer şekilde diğer ülkelerde değerlendirilebilir. Tablo 5'de İŞYKE'ne göre elde edilmiş en iyi 10 ülke ve Türkiye, ELECTRE III ve TOPSIS yöntemlerinin sıralama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre Yeni Zelanda, her iki yöntemde de en iyi senaryo olarak ilk sırada yer almıştır.

Tablo 5. ELECTRE III, TOPSIS ve İŞYKE'nin Karşılaştırılması

| Ülkelerin Sınıra uzaklık Puanına Göre En İyiden En Kötüye Doğru Sıralaması | | İŞYKE | ELECTRE III Başlangıç Çözüm Sıralaması | ELECTRE III S5 Sıralaması | TOPSIS Sıralaması |
|--|------------------|-------|--|---------------------------|-------------------|
| DFT* Skor | Ülkeler | Sıra | Sıra (HKO:415) | Sıra (HKO:243) | Sıra (HKO:13608) |
| 86.70 | Yeni Zelanda | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 85.08 | Singapur | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 84.69 | Danimarka | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 83.69 | Kore, Temsilci | 4 | 4 | 4 | 6 |
| 82.97 | Hong Kong, Çin | 5 | 5 | 6* | 7 |
| 82.80 | Norveç | 6 | 6 | 6* | 10 |
| 82.55 | Birleşik Krallık | 7 | 7 | 7 | 5 |
| 81.96 | ABD | 8 | 8 | 8 | 2 |
| 81.11 | İsveç | 9 | 9 | 10* | 16 |
| 80.87 | Tayvan, Çin | 10 | 11 | 10* | 14 |
| 69.96 | Türkiye | 53 | 54 | 54 | 57 |

(DFT*: Ülkelerin İŞYKE'de sınırı uzaklık puanı), (*Aynı sırada sıralanacak alternatiflerin kod yazımı bir alt sıraya atanacak şekilde yazılmıştır. Örneğin HKO=243 olan sıralamada Hong Kong ve Norveç 5'de değil de 6'da sıralanmıştır. Bunun tek nedeni diğer yöntemlerle karşılaştırırken sıra kaybını azaltmaktır.)

4. Sonuç

Bir ülkenin iş yapma kolaylığının değerlendirilmesi, çok fazla kriteri dikkate alması gerektiğinden bir ÇKKV yöntemi problemi olarak görülmüştür. Bu çalışmada, literatürde en çok kullanılan ELECTRE III ve TOPSIS yöntemleri, ülkelerin iş yapma kolaylığına göre değerlendirilmesi problemi için uygun birer karar verme modeli olarak seçilmiştir. Bu yöntemlerin seçilmesindeki amaç, telafi edici olmayan ve telafi edici olan iki yöntemi beraber kullanarak ülkeleri iş yapma kolaylığına göre farklı bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Ayrıca, bu yöntemlerin literatürde çok fazla kullanım alanları olmasına rağmen, ülkelerin iş yapma ortamlarını değerlendirme probleminde ilk kez kullanılmıştır. Bu yöntemler, İŞYKE’de yer alan 10 kriteri göz önünde bulundurarak, 189 ülkeyi en iyi iş yapma ortamına göre değerlendirmişlerdir.

ELECTRE III yönteminin başlangıç eşik değerleri ile elde edilen ilk sıralamasında, yöntem ile İŞYKE sıralaması arasında % 42 oranında benzerlik çıkmıştır. Başlangıç eşik değerleri ile elde edilen sonuçların sağlamlığını test etmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Her bir eşik değerin (farksızlık, tercih ve veto eşığı) farklı kombinasyonları ile yapılan duyarlılık analizi sonucunda toplam beş farklı senaryoya göre beş farklı iş yapma kolaylığı sıralaması elde edilmiştir. Duyarlılık analizinin sonuçlarına göre, sıralamanın özellikle farksızlık ve tercih eşik değerlerindeki değişimlere karşı duyarlı olduğu, veto eşığına ise o kadar duyarlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, ülke sıralamalarının çoğunun sıralamadaki yerlerini koruduğu ve diğerlerinde ise sıralama farkının az olduğu gözlemlenmiştir. İŞYKE’nin en iyi ilk 3 ülkesi (Yeni Zelanda, Singapur ve Danimarka) ve en kötü son 4 ülkesi (Güney Sudan, Kongo, Libya ve Eritre) tüm senaryolarda aynı sırada kalmıştır. Bu durum, bu ülkelerin kullanılan eşik değerlere duyarlı olmadığını göstermiştir. ELECTRE III yöntemin başlangıç eşik değerleri ile elde ettiği çözüm sonuçları, beş senaryonun sonuçları ile karşılaştırıldığında, eşik değerlerdeki değişimin sıralamalarda tam bir değişikliğe sebep olmadığı için, yani değişen sıralamalardaki sapmaların az olması, yapılan ilk sıralamanın sağlıklı olduğunu, yöntemin başlangıç eşik değerlerinin (özellikle veto eşığının) iyi kurulduğunu göstermektedir. Başlangıç çözüm sonuçları ve beş farklı senaryonun sonuçları karşılaştırıldığında 36 ülke sıralaması tüm senaryolarda başlangıç çözüm sonuçları ile aynı sırada çıkmış, 32 ülkede ise sadece bir senaryoda değişiklik görülmüş ve diğer senaryolarda aynı sırada kalmıştır. Bu sonuçlara göre ülkelerin %40’ı için kararlı bir sıralama elde edildiği söylenebilir.

Birden fazla yöntemin kullanılması sıralamanın güvenilirliğini artıracığından, ELECTRE III yöntemi, literatürde ÇKKV yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, yöntemler en iyi ilk ülkeyi ve en kötü son dört ülkeyi belirlemede başarılı olmuşlardır. Bu sonuçlara göre, Yeni Zelanda en iyi iş yapma ortamına sahip ülke, Güney Sudan, Kongo, Libya ve Eritre ise en kötü iş yapma ortamına sahip son dört ülke olarak bulunmuştur. Ayrıca TOPSIS, ELECTRE III yönteminin başlangıç parametreleri ile elde edilen sıralamasıyla karşılaştırıldığında, her iki yöntemin 17 ülkeyi aynı sırada sıraladığı tespit edilmiştir. Yöntemlerin elde

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

ettiği sonuçlar İŞYKE sıralamasıyla karşılaştırıldığında ise ELECTRE III yönteminin, TOPSIS yöntemine göre İŞYKE'ne daha yakın sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. Türkiye'nin iş yapma ortamı değerlendirildiğinde ise, ELECTRE III yönteminin tüm senaryolarda 54. sırada, TOPSIS yönteminde ise 57. sırada sıralandığı gözlemlenmiştir. Türkiye'nin iş yapma kriterleri incelendiğinde, en çok kredi almada ve iflas durumlarının çözümünde zorlandığı görülmüştür. Türkiye'nin iş yapma ortamlarını iyileştirmesi için ilk olarak bu iki kriterde düzenleme yapması gerektiği düşünülmüştür.

Telafi edici olan TOPSIS'e nazaran ELECTRE III yöntemi veto eşiği yardımıyla bazı kriterlerdeki kötü puanların diğer kriterlerdeki iyi puanlarla telafi edilmesini azaltmış, her kriterin kendi başına bir değerlendirme yapmasını sağlamıştır. Böylece, ELECTRE III yönteminin bir kriterin istenmeyen bir durumunu engellediği ve uygulamada daha gerçekçi sonuçlar elde ettiği söylenebilir. ELECTRE III yöntemiyle elde edilen sıralamalarda birçok alternatif farksız veya karşılaştırılmaz olarak bulunmuş ve bu da kısmi bir sıralamaya yol açmıştır. Ayrıca TOPSIS yöntemi de gerçek kriterler kullandığı için alternatifler arasındaki en ufak bir fark kesin tercihe yol açmıştır. Bu durumlar, kısmi sıralama yapan ELECTRE III ve tam sıralama yapan TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırmasını zorlaştırmıştır. Sonuç olarak, her iki yöntemin ayırt edici özellikleri, elde ettikleri sıralamalarının farklı çıkmasına sebep olmuş ve bu özellikler her iki yöntemin belirli alanlarda avantajlı olabileceği sonucuna varılmıştır. Yöntemler en iyi ve en kötü alternatifleri belirlemede birbirlerine destek sağlamışlardır. Ayrıca, ELECTRE III yönteminin aynı sırada sıraladığı alternatiflerin hangisinin en iyi olduğuna dair bir bilgi olmadığında, TOPSIS yönteminden faydalanılabileceği düşünülmüştür (Finlandiya ve Tayvan örneği).

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan yöntemlerin uygulanabilirliğini göstererek, İŞYKE'ne alternatif birer yöntem olabileceği, yöntemlerin iş yapma ortamı ile ilgili ülkelerin hükümetlerine yol gösterebileceği, hükümetlerin bu bilgiler ışığında yapacağı iş yapma ortamıyla ilgili düzenlemelerin dünyadaki diğer ülkeler ile daha iyi rekabet edebilecekleri ve o ülkeye yatırım yapacak iş adamlarının karar vermesini kolaylaştırabileceği söylenebilir.

Gelecek çalışmalar için, İŞYKE verilerine farklı sıralama yöntemleri (EDAS, CODAS, VIKOR vb.) ve farklı kriter ağırlığı belirleme yöntemleri (CRITIC, Entropi, AHP vb.) uygulanarak karşılaştırmalı analizler yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Akgün, İ. ve Erdal, H. (2019). Solving an ammunition distribution network design problem using multi-objective mathematical modeling, combined AHP-TOPSIS, and GIS. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 512-528.
- Albahria, A.S., Hamid, R. A., Albahri, O. S. ve Zaidan, A. A. (2021). Detection-based prioritisation: Framework of multi-laboratory characteristics for asymptomatic COVID-19 carriers based on integrated Entropy-TOPSIS methods. *Artificial Intelligence in Medicine* 111, 101983.

- Alp, S. ve Engin, T. (2011). Trafik kazalarının nedenleri ve sonuçları arasındaki ilişkinin TOPSIS ve AHP yöntemleri kullanılarak analizi ve değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (19), 65-87.
- Barros, C. P. ve Wanke, P. (2015). An analysis of African airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks. *Journal of Air Transport Management*, 44-45, 90-102.
- Bayyurt, N. (2013). Ownership Effect on Bank's Performance: Multi Criteria Decision Making Approaches on Foreign and Domestic Turkish Banks, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 99, 919 – 928.
- Bilbao-Terol, A., Arenas-Parra, M., Cañal-Fernández, V. ve Antomil-Ibias, J. (2014). Using TOPSIS for assessing the sustainability of government bond funds. *Omega*, 49, 1-17.
- Boer, L. B., Wegen, L. ve Telgen, J. (1998). Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 4(2-3), 109-118.
- Borajee, M. ve Haji, Y. S. (2011). Using the AHP-ELECTREIII integrated method in a competitive profile matrix. *2011 International Conference on Financial Management and Economics IPEDR*, 11, Singapore.
- Buchanan, J., Sheppard, P. ve Lamsade, D. V. (1999). Project ranking using ELECTRE III. *Department of Management Systems*, 24 January 1999.
- Cavallaro, F. (2010). A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the ELECTRE III method. *Energy Policy*, 38, 463-474.
- Chavira, D.A.G., Lopez, J.C.L., Noriega, J.J.S., Valenzuela, O.A. ve Carrillo, P.A.A. (2017). A credit ranking model for a parafinancial company based on the ELECTRE-III method and a multiobjective evolutionary algorithm. *Applied Soft Computing*, 60, 190-201.
- Chen, Z.-S., Zhang, X., Rodríguez, R. M., Pedrycz, W. ve Martínez, L. (2021). Expertise-based bid evaluation for construction-contractor selection with generalized comparative linguistic ELECTRE III. *Automation in Construction*, 125, 103578.
- Demireli, E. (2010). TOPSIS çok kriterli karar verme sistemi: Türkiye'deki kamu bankaları üzerine bir uygulama. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 5(1), 101-112.
- Díaz, H. ve Soares, C. G. (2021). A Multi-Criteria Approach to Evaluate Floating Offshore Wind Farms Siting in the Canary Islands (Spain). *Energies*, 14(4), 865, 1-18.
- Doing Business (2017). *A World Bank Group Flagship Report*. Equal Opportunity for All, 14. edition.
- Doing Business (2015). *A World Bank Group Flagship Report*. Going Beyond Efficiency, 12.edition.
- Dortaj, A., Maghsoudy, S., Ardejani, F. D. ve Eskandari, Z. (2020). Locating suitable sites for construction of subsurface dams in semiarid region of Iran: using

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

- modified ELECTRE III. *Sustainable Water Resources Management*, 6:7, <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00362-2>.
- Ebrahimi, J., Moradi, H. R. ve Chezgi, J. (2021). Prioritizing suitable locations for underground dam construction in south east of Bushehr Province. *Research Square*, 1, 1-26.
- Eraslan, S. (2015). A decision making method via TOPSIS on soft sets. *ISSN: 1304-7981, Journal of New Results in Science*, 4(8), 57-71.
- Eray, E. (2015). *İnşaat Sektöründe Tedarikçi Seçiminde Kullanılan Çok Amaçlı Karar Destek Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Figueira, J. R., Mousseau, V. ve Roy, B. (2003). *ELECTRE Methods. Chapter 1*. Erişim adresi <https://pdfs.semanticscholar.org/b4ac/6cfbd4878f652079900ed2b6dea4565cda5c.pdf>.
- García-Cascales, M.S. ve Lamata, M.T. (2012). On rank reversal and TOPSIS method. *Mathematical and Computer Modelling*, 56, 123–132.
- Giannoulis, C. ve Ishizaka, A. (2010). A Web-based decision support system with ELECTRE III for a personalised ranking of British universities. *Decision Support Systems*, 48(3), 488–497.
- Gül, Ş. ve Fırat, M. (2021). TOPSIS ve MAUT Yöntemleri ile İçmesuyu Dağıtım Sistemlerinde Rehabilitasyon Önceliğinin Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33(1), 27-38, 2021.
- Hobbs, B.F. ve Horn, G.T.F. (1997). Building public confidence in energy planning: a multimethod MCDM approach to demand-side planning at BC gas. *Energy Policy*, 25, 3, 357–375.
- Hokkanen, J. ve Salminen, P. (1997). Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 98(1), 19-36.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications. A State-of-the-Art Survey*. Springer-Verlag, Berlin. Erişim adresi <https://books.google.com.tr/books>.
- Kabadayı, N. ve Çakır Esen, T. E. (2021). Gri Temelli TOPSIS Yöntemi ile Depo Yeri Seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 169–184.
- Keleş, M. K. ve Tunca, M. Z. (2019a). ELECTRE Yöntemi İle Ankara Bölgesinde İnovatif ve Girişimci İşletmeler İçin Teknokent Seçimi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 648, 143-180.
- Keleş, M. K. (2019b). Entropi Temelli ELECTRE III Yöntemi İle B Segmenti Otomobil Markalarının Sıralanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 33, 29-50.
- Kokaraki, N., Hopfe, C. J., Robinson, E. ve Nikolaidou, E. (2019). Testing the reliability of deterministic multi-criteria decision-making methods using building performance simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 991–1007.

- Konstantinos, I., Georgios, T. ve Garyfalos, A. (2019). A Decision Support System methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: Case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece. *Energy Policy*, 132, 232-246.
- Kou, G., Lu, Y., Peng, Y. ve Shi, Y. (2012). Evaluation of Classification Algorithms Using MCDM and Rank Correlation. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11(1), 197-225.
- Kumar, R. Padhi, S. S. ve Sarkar, A. (2019). Supplier selection of an Indian heavy locomotive manufacturer: An integrated approach using Taguchi loss function, TOPSIS, and AHP. *IIMB Management Review*, 31(1), 78-90.
- Liu, M., Shao, Y., Yu, C. ve Yu, J. (2020). A Heterogeneous QoS-Based Cloud Service Selection Approach Using Entropy Weight and GRA-ELECTRE III. *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2020, 1-17, <https://doi.org/10.1155/2020/1536872>.
- Mahmoudi, M., Aydi, A. ve Ibrahim, H. (2021). Site selection for artificial recharge with treated wastewater with the integration of multi-criteria evaluation and ELECTRE III. *Environ Sci Pollut Res*, 11356-021-12354-6.
- Marzouk, M. M. (2011). ELECTRE III model for value engineering applications. *Automation in Construction*, 20(5), 596–600.
- Mela, K., Tiainen, T. ve Heinisuo, M. (2012). Comparative study of multiple criteria decision making methods for building design. *Advanced Engineering Informatics*, 26, 716–726.
- Montazer, G. A., Saremi, H. Q. ve Ramezani, M. (2009). Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 10837–10847.
- Oktem, R. ve Ergül, N. (2012). Testing ELECTRE-III Method in Stock Selection. *Journal of Money, Investment and Banking ISSN*, 1450-288X, 24.
- Özbek, A. (2016). BIM Mağazalar Zincirinin 2008-2015 Dönemi Finansal Performansının Electre III Yöntemi İle Ölçümü. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2), 273-290.
- Özbeý, Ö. (2012). Interactive Multi Kriteria Decision Making using a tchebycheff or Hybrid Utility Function and Predicted Strength of preferences. *Doctor of Philosophy, The State University of New York at Buffalo, Industrial and Systems Engineering*, 5-6.
- Papadopoulos, A. ve Karagiannidis, A. (2008). Application of the multi-criteria analysis method ELECTRE III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega*, 36(5), 766 – 776.
- Peng, H., Shen, K., He, S., Zhang, H. ve Wang, J. (2019). Investment risk evaluation for new energy resources: An integrated decision support model based on regret theory and ELECTRE III. *Energy Conversion and Management*, 183, 332–348.
- Ranjbar, H. R. ve Nekooie, M. A. (2018). An improved hierarchical fuzzy TOPSIS approach to identify endangered earthquake-induced buildings. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 76, 21-39.

Electre III ve Topsis Yöntemleri İle Ülkelerin İş Yapma Kolaylığına Göre...

- Raju, K. S. ve Duckstein, L. (2004). Integrated application of cluster and multicriterion analysis for ranking water resources planning strategies: a case study in Spain. *Journal of Hydroinformatics*, 6(4), 295-307.
- Rogers, M. ve Bruen, M. (1998a). Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 542-551.
- Rogers, M. ve Bruen, M. (1998b). A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 552-563.
- Roszkowska, E. (2011). Multi-criteria decision making models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data. *Mult. Criteria Decis. Mak. Univ. Econ. Katow.*, 6, 200–230.
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31, 49-73.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en presence de points de vue multiples (la methode ELECTRE). *Revue Francaise d'Automatique Information et Research Operationelle*, 57-75.
- Roy, B. ve Bouyssou, D. (1986). Comparison of two decision-aid models applied to a nuclear power plant siting example. *European Journal of Operational Research*, 25(2), 200-215.
- Salminen, P., Hokkanen, J. ve Lahdelma, R. (1998). Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. *European Journal of Operational Research*, 104, 485-496.
- Saracoglu, B. O. (2015). An experimental research study on the solution of a private small hydropower plant investments selection problem by ELECTRE III/IV, Shannon's Entropy, and Saaty's Subjective Criteria Weighting. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Decision Sciences*, ArticleID 548460, 20.
- Selmi, M., Kormi, T. ve Bel Hadj Ali, N. (2016). Comparison of multi-criteria decision methods through a ranking stability index. *Int. J. Operational Research*, 27, 1/2.
- Supçiller, A. A. ve Çapraz, O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. *Ekonometri ve İstatistik (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı)*, 13, 1–22.
- Şimşek, A., Çatır, O., ve Ömürbek, N. (2015). TOPSIS ve Moora yöntemleri ile tedarikçi seçimi: turizm sektöründe bir uygulama. *Balıkesir University The Journal of Social Sciences Institute*. 18(33), 133-161.
- Tam, C. M., Tong, T. K. L. ve Lau, C. T. (2003). ELECTRE III in evaluating performance of construction plants: case study on concrete vibrators. *Construction Innovation*; 3(1), 45-61.
- Tavana, M. ve Hatami-Marbini, A. (2011). A group AHP-TOPSIS framework for human spaceflight mission planning at NASA. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13588-13603.

- Tervonen, T., Figueira, J., Lahdelma, R. ve Salminen P. (2005). An inverse approach for ELECTRE III. *Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra INESC - Coimbra, Revised(2nd)*, 20, 1645-2631.
- Tomasz, M. M. (2010). Multicriteria aided design of integrated heating-cooling energy systems in buildings. *ISSN:1047-3289 Journal of the Air & Waste Management Association*. 60(8), 949–958.
- Tscheikner-Gratl F., Egger P., Rauch W. ve Kleidorfer M. (2017). Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization. *Water*, 9(2), 68.
- Ulubeyli, S. ve Manisalı, E. (2015). İnşaat Makineleri Alımında Çok Ölçütlü Karar Verme Modeli. 3. *Yapı İşletmesi Kongresi, Bildiriler Kitabı*, 172-182.
- Vasegaard, A. E., Picard, M., Hennart, F., Nielsen, P. ve Saha, S. (2020). Multi Criteria Decision Making for the Multi-Satellite Image Acquisition Scheduling Problem. *Sensors*, 20(5), 1242.
- Vasto-Terrientes, L. D., Kumar, V., Chao, T. C. ve Valls, A. (2016). A decision support system to find the best water allocation strategies in a Mediterranean river basin in future scenarios of global change. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 28(1–2), 331–350.
- Yürekli, H. (2008). *Taarruz Helikopterleri Seçiminde ELECTRE Yönteminin Kullanılması*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, K.ve Shi, Q. (2010). Safety Evaluation in Power Supply Enterprises Using the ELECTRE III and TOPSIS Methods. 2. *International Workshop on Intelligent Systems and Applications*.
- Xu, B. ve Ouenniche, J. (2012). Performance evaluation of competing forecasting models: A multidimensional framework based on MCDA. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 8312–8324.