

**Yayın Geliş Tarihi: 13.04.2021**  
**Yayına Kabul Tarihi: 24.02.2022**  
**Online Yayın Tarihi: 30.06.2023**  
**DOI: 10.18613/deudfd.915166**  
**Araştırma Makalesi (Research Article)**

**Dokuz Eylül Üniversitesi**  
**Denizcilik Fakültesi Dergisi**  
**Cilt:15 Sayı:1 Yıl: 2023**  
**Sayfa:1-34**  
**E-ISSN: 2458-9942**

## **LİMAN SEÇİM PROBLEMİ İÇİN ENTEGRE BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI ÖNERİSİ**

**Ömer Faruk GÖRÇÜN<sup>1</sup>**  
**Hande KÜÇÜKÖNDER<sup>2</sup>**

### **ÖZET**

*Liman seçimi denizcilik işletmelerinin yanı sıra, tedarik zincirlerinin performansı açısından son derece önemli kararlardan birisidir. Ancak liman alternatiflerinin değerlendirilebilmesi için her zaman net veri mevcut olmayabilir ve karar vericiler eksik bilgiler ile belirsizlik ortamında karar vermek zorunda kalabilir. Bu kapsamda mevcut çalışmada en uygun limanların seçilebilmesi için belirsizlikleri dikkate alabilen bulanık SWARA ve bulanık MARCOS yöntemlerinden oluşan entegre bir karar verme yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yaklaşım uygulandıktan sonra 70 farklı senaryo oluşturularak kapsamlı bir doğrulama testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bazı alternatiflerin sıralama skorlarında genel sonucu değiştirmeyen küçük farklılıklar görülmekle birlikte A1 alternatifi bütün senaryolar için en iyi alternatif olarak kalmıştır. Sonuç olarak, analizin sonuçları önerilen yaklaşımın karar verme problemlerini çözmek için uygulanabilir bir model olduğunu kanıtlamaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Liman Seçimi, Karar Verme, Bulanık SWARA, Bulanık MARCOS

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Kadir Has Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, İstanbul, dr.omerfarukgorcun@gmail.com, ORCID No: 0000-0003-3850-6755

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Bartın, hkucukonder@bartin.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-0853-8185

## **INTEGRATED FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION- MAKING APPROACH FOR SEAPORT SELECTION**

### **ABSTRACT**

*Seaport selection is one of the highly crucial decisions in aspects of supply chains' performances and maritime companies. However, crisp values may not be available at all times for evaluating the seaport alternatives, and decision-makers may have to decide with insufficient information and in an uncertain environment. In this context, in the current paper, an integrated fuzzy approach, which considers ambiguities, consisting of the fuzzy SWARA and fuzzy MARCOS techniques, is proposed to select the most appropriate seaports. After this model was applied, a comprehensive validation test was performed by forming different 70 scenarios. Although slight changes did not change the overall results in the ranking performances of some alternatives, A1 has remained the best option for all scenarios. As a result, the analysis results prove that the proposed integrated fuzzy approach is an applicable model for solving these kinds of decision-making problems.*

**Keywords:** *Port Selection, Decision-Making, Fuzzy SWARA, Fuzzy MARCOS*

### **1. GİRİŞ**

Liman ve terminal seçimi denizcilik ile ilgili literatürde en fazla tartışılan konulardan birisidir. Özellikle tedarik zincirlerinin giderek daha fazla küresel hale gelmesi beraberinde taşıma endüstrisinin de daha fazla uluslararası hale gelmesine yol açmıştır. Buna bağlı olarak toplam taşımacılık içerisinde en yüksek paya sahip olan denizyolu taşımacılığının önemi giderek daha fazla artmaktadır. Bununla birlikte, küresel tedarik zincirlerinin üzerindeki artan rekabet baskısı denizyolu işletmeleri üzerinde de daha düşük maliyet ile daha yüksek hizmet kalitesine ilişkin beklentileri artırmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak denizyolu işletmeleri sürekli olarak maliyetlerini azaltırken, aynı zamanda ürettikleri katma değeri artıracak çözümler aramaktadırlar.

Bu kapsamda uygun liman seçimi denizyolu işletmeleri için etkinlik ve verimliliğe etki eden önemli bir karar verme problemidir. Aynı zamanda liman seçimi probleminin dinamik yapısı denizyolu işletmelerini her seferinde daha iyi ve uygun seçimi yapmaya zorlamaktadır. Dolayısıyla, liman seçimi denizcilik endüstrisinde son derece karmaşık durumların ve belirsizliklerin mevcut olduğu aynı zamanda çelişkili kriter ve faktörlerin değerlendirme süreçlerini etkilediği bir karar verme problemidir. Bununla birlikte, seçim kriterleri belirli bir zaman dilimi içerisinde net ve sayısal değerlere sahip olsa da yukarıda belirtilen değişkenlik ve liman seçiminin

dinamik yapısı bu kriterlere ilişkin önemli ölçüde belirsiz durumlar yaratabilmektedir. Örnek olarak, liman otoriteleri zaman içerisinde kapasite ve alan kullanımını değiştirebilmekte, buna ilişkin hızlı kararlar alabilmektedir. Bu durum da denizcilik işletmeleri için belirsizlik yaratabilmektedir.

Öte yandan, uygulamada karar vericiler (KV) tek tek sayısal verileri toplayarak karar almak yerine, çoğunlukla alternatifleri kriterler çerçevesinde bir takım sözel değişkenler ile değerlendirmektedirler. Dolayısıyla belirlenen kriterler için net sayısal değerler mevcut olsa da bunlar gerçek hayatta karşılaşılan bir karar verme problemini simüle etmek için yeterli olamayabilmektedir. Bu bağlamda, literatürde liman seçimi üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan çok sayıda kriter vardır. İlgili literatürde kullanılan bu kriterler Tablo-1 de gösterilmektedir.

Tablo 1’de verilen bu kriterler dikkate alındığında literatürde üzerinde ortak bir uzlaşımın olduğu bir kriter setine rastlamak mümkün olmamıştır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi; yazarların temelde aynı kriterleri farklı şekilde isimlendirmelerinin yanı sıra, aynı kapsamda değerlendirilebilecek kriterleri ayrı ayrı kapsama dahil etmeleridir.

Öte yandan liman seçim problemini değerlendirmek üzere geleneksel ve popüler karar verme yaklaşımı ile yapılan çalışmalar mevcut olsa da bu çalışmalar literatürde görülen boşlukları doldurmak için yeterli düzeyde katkı sağlamamıştır. Bunun temel sebebi literatürde mevcut olan çalışmaların kullandıkları yöntemlerin yapısal problemlerinden ve dezavantajlarından kaynaklanmaktadır. Özellikle AHP, TOPSIS gibi yöntemler en fazla tercih edilen yöntemler olsa da bu yöntemler literatürde en fazla eleştirilen yöntemlerdir (Belton ve Gear 1983; Dyer, 1990; Barzilai ve Golany, 1994; Socorro ve Teresa, 2012). Bu yöntemler sıra çevirme problemlerinden en fazla etkilenen yöntemlerdir. Bunun anlamı indekste yer alan kriterlerin ya da alternatiflerin sayısında bir değişiklik yapıldığında ya da matris değerleri değiştirildiğinde sıralama sonuçlarında dramatik değişikliklerin görülebilmesidir (Socorro ve Teresa, 2012). Bu nedenle literatürde kullanılan bu yöntemler yeterli düzeyde güvenilirlik sağlayamamaktadır (Dyer, 1990; Barzilai ve Golany, 1994; Socorro ve Teresa, 2012). Ek olarak, özellikle AHP tutarlılığın belirlenmesi için ekstra bir hesaplama prosedürüne ihtiyaç duyar. Aynı zamanda yöntem tarafından önerilen algoritma son derece karışıktır ve kriter ve alternatif sayısına bağlı olarak bu karmaşıklık daha da artabilmektedir.

**Tablo 1:** Liman Seçimi ile İlgili Literatür ve Kullanılan Kriterler

<i>Kod</i>	<i>Kriter</i>	<i>Yazar</i>
i	Personel Sayısı	Manzano vd. (2009); Yeo vd. (2008); Chang vd. (2012); Tongzon (1995); Starr (1994); Görçün (2021); Stankovic vd. (2021)
ii	Ekipman Sayısı	Saeed (2009); Tongzon (1995); Chou (2007); Ding ve Chou (2011); Görçün ve Küçükönder (2021); Görçün (2021); Nur vd. (2021); Liu vd. (2020)
iii	Depolama Alanı	Saeed (2009); Grosso ve Monteiro (2008); Chang (2012); Ding ve Chou (2011); Gök-Kısa vd. (2021); Görçün ve Küçükönder (2021); Görçün (2021); Nur vd. (2021); Majidi vd. (2021)
iv	Liman Sahası	Saeed (2009); Yeo vd. (2008); Chang vd. (2012); Murphy vd. (1992); Chou (2007); Ding ve Chou (2011); Gök-Kısa vd. (2021); Tadi'c vd. (2020); Liu vd. (2020)
v	Kapasite	Tongzon (2009); Saeed (2009); Grosso ve Monteiro (2008); Tongzon (2002); Chang vd. (2012); McCalla (1994); Starr (1994); Murphy vd. (1992); Peters (1990); Willingale (1981); Foster (1979); Görçün (2021); Nur vd. (2021); Majidi vd. (2021)
vi	Hizmet Alan Gemi Sayısı	Saeed (2009); Tongzon (2009); Yeo vd. (2008); Malchow ve Kanafani (2004); Tiwari vd. (2003); Tongzon (2002); Tongzon (1995); Slack (1985); Brooks (1984); Pearson (1980); Chou (2007); Ding ve Chou (2011); Malchow ve Kanafani (2004); Sayareh ve Alizminia (2014); Görçün (2021); Nur vd. (2020)
vii	Elleçlenen Konteyner Sayısı	Saeed (2009); Tongzon (2009); Yeo vd. (2008); Branch (2008); Tongzon (1995); Slack (1985); Collison (1984); Foster (1979); Ding ve Chou (2011); Görçün (2021); Nur vd. (2021)
viii	Liman Güvenliği	Yeo vd. (2008); Chang vd. (2012); Rijsenbrij (1998); Bathrinath vd. (2021); Görçün ve Küçükönder (2021); Nur vd. (2021)
ix	Liman Ücretleri	Tongzon (2009); Saeed (2009); Manzano vd. (2009); Branch (2008); Grosso ve Monteiro (2008); Yeo vd. (2008); Malchow ve Kanafani (2004); Tongzon (2002); Chang vd. (2012); Murphy vd. (1992); Brooks (1984); Peters (1990); Nur vd. (2021)
x	Gümrük İşlemlerinin Kalitesi	Chou (2007); Grosso ve Monteiro (2008); Chang vd. (2012); Chiu (1996); Foster (1979); Liu vd. (2020)
xi	Boş Zaman	Chou (2007)
xii	Tıkanıklık	Chou (2007); Tadi'c vd. (2020)
xiii	Liman Yakınlığı	Ding ve Chou (2011); Malchow ve Kanafani (2004); Sayareh ve Alizminia (2014)
xiv	Modlar Arası Bağlantı Olasılığı	Chou (2007); Ding ve Chou (2011)
xv	İç Nakliye Maliyeti	Blonigen ve Wilson (2006)
xvi	Liman Hizmet Kalitesi	Chang vd. (2012); Murphy vd. (1992); Tongzon (2001)

Görüldüğü üzere literatürde liman seçiminde kullanılacak uygulanabilir, güçlü, etkin ve belirsizliklerle başa çıkabilecek matematiksel bir model gereksiniminin yanı sıra, henüz ortak kabul görmüş kriter setinin mevcut olmaması gibi iki önemli boşluk bulunmaktadır ve bu çalışma bu boşlukların doldurulmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda çalışma bazı araştırma problemlerine odaklanmaktadır. Öncelikle denizcilik işletmelerinin liman



seçiminde kullandıkları matematiksel bir model ya da metodolojik bir çerçevenin bulunup bulunmadığı, ek olarak KV'lerin karar verme sürecinde sadece kendi tecrübe ve kişisel yargılarını dikkate alarak karar verip vermedikleri belirlenen araştırma problemleri arasında yer almaktadır. Buna ilaveten bir karar verme sürecinde hangi seçim kriterlerinin ve faktörlerin dikkate alındığı da bir başka araştırma problemi olarak belirlenmiştir.

Bu kapsamda gerçekçi ve uygulanabilir sonuçlar elde etmek üzere araştırmacılar tarafından bir uzmanlar kurulu oluşturulmuştur. Bu doğrultuda denizcilik alanında en az on beş yıllık deneyime sahip ve işletmelerinde üst düzey yönetici olarak çalışan yedi KV uzmanlar kurulu üyeleri olarak seçilmiştir. Araştırma sürecinde yukarıda belirlenen araştırma soruları KV'lere yöneltilmiş ve aynı zamanda seçim kriterlerini belirlemek üzere kapsamlı bir literatür taramasının yanı sıra, her bir uzmandan liman seçimine etki eden kriterler için bir liste hazırlamaları istenmiştir.

Listeler toplandıktan sonra araştırmacılar tarafından tekrarlanan kriterler elenerek nihai bir liste oluşturulmuş ve KV'lerin hepsinin ortak görüşü alınarak bu çalışmada kullanılacak nihai seçim kriterleri belirlenmiştir (kriterleri belirlemek için izlenen prosedür detaylı olarak Bölüm 3 de verilmiştir). Araştırma sürecinde uzmanlara yöneltilen sorular dikkate alındığında KV'lerin tümü denizcilik endüstrisinde liman seçimi ile ilgili kullanılan matematiksel bir modelin mevcut olmadığını ve genellikle her bir seçimi bir özel durum olarak değerlendirdiklerini, buna bağlı olarak da karar verirken kendi kişisel değerlendirme ve tecrübelerini dikkate aldıklarını belirtmişlerdir. Dolayısıyla liman seçimi ile ilgili optimal bir karar alabilmek için matematiksel bir modele gereksinim duyulmaktadır. Aynı zamanda KV'ler her zaman kesin bilgi ile kararlar alamayabilmekte, net, kesin veri ve bilgilerin mevcut olmadığı ya da eksik olduğu durumlarda sıklıkla görülebilmektedir. Dolayısıyla denizcilik endüstrisi ve limanlar ile ilgili karar verme problemleri birtakım belirsizliklerinde mevcut olduğu süreçlerdir. Bu nedenle uygulanacak modelin sürece ilişkin birtakım belirsizlikleri de dikkate alacak ve buna yönelik uygun çözüm önerisinde bulunabilecek bir nitelikte olması önem arz etmektedir.

Bu perspektifte liman seçim problemi için bu çalışmada bulanık SWARA ve bulanık MARCOS yöntemlerinin entegrasyonun oluşan çok kriterli bir karar verme yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda bulanık SWARA tekniği seçim kriterlerinin ağırlıklandırılması için uygulanırken, bulanık MARCOS tekniği ise bu ağırlıklandırma temelinde karar alternatiflerinin sıralandırılması için kullanılmaktadır.

Diğer geleneksel ve popüler karar verme yaklaşımlarına göre önerilen yaklaşım birtakım avantajlara sahiptir. Öncelikle, SWARA tekniği KV'lere bir karar verme sürecinde kendileri için öncelikli olan durumları dikkate alma şansı verebilmektedir (Zolfani ve Saparuskas, 2013). Aynı zamanda, yönteminin ana avantajlarından birisi de KV'ler tarafından atanan ağırlıklarla ilgili kriterlerin doğruluğunu tahmin etme yeteneğidir (Rani vd. 2020). Ek olarak, SWARA tekniği son derece kolay uygulanabilir ve pratik bir algoritmaya sahiptir. AHP ve benzeri ikili karşılaştırma ile ağırlık belirleyen yöntemlere göre son derece az sayıda karşılaştırma ile sonuca ulaşmaktadır (Zarbakhshnia vd. 2018). Dolayısıyla,  $n-1$  sayıda karşılaştırma ağırlıkların hesaplanması için yeterli olmaktadır (Ecer, 2020). Bu çalışmada belirsizlik ortamı da dikkate alınarak, klasik SWARA yönteminin genişletilmiş versiyonu olan bulanık SWARA seçilerek, klasik yöntemin avantajlarına ek olarak belirsizliklerle etkin bir biçimde başa çıkabilen bir ağırlıklandırma yöntemi tercih edilmiştir.

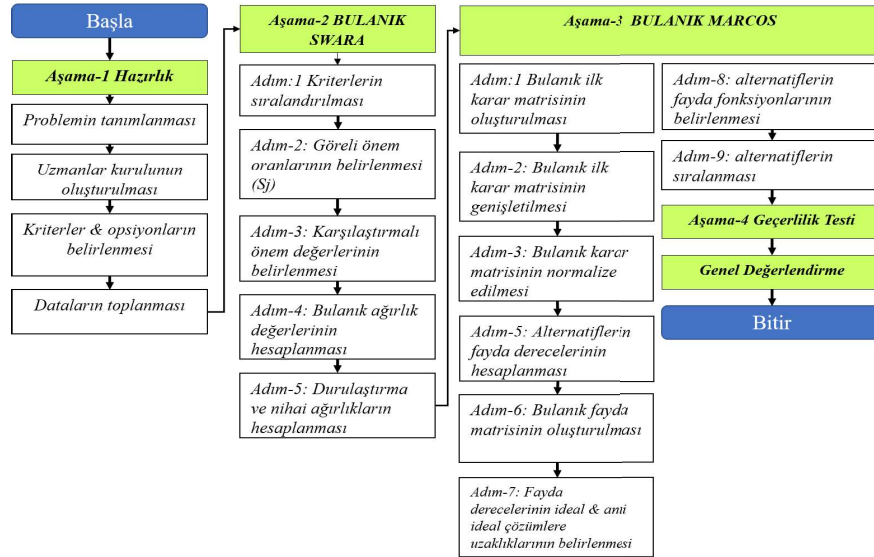
Önerilen yaklaşımın bir diğer parçası olan ve alternatiflerin tercih edilebilirliklerini belirlemek için kullanılan bulanık MARCOS tekniği etkin ve makul sonuçlar sağlayan güçlü bir karar verme tekniğidir. MARCOS tekniğinin en önemli avantajlarından birisi bir başlangıç matrisinin oluşumunun en başında ideal olmayan (anti ideal-AI) ve ideal (ID) bir çözümün dikkate alınması ve her iki çözüme göre fayda derecesini belirleyerek fayda fonksiyonu değerlerinin hesaplanması için yeni bir yol önermesidir. Ek olarak fayda fonksiyonlarının birleştirilmesi, yöntemin kararlılığını korurken geniş bir dizi kriter ve alternatifi göz önünde bulundurma imkanı vermektedir (Stević vd., 2020; Stanković vd. 2020). Dolayısıyla, bulanık kümeler yardımıyla genişletilmiş bulanık MARCOS yaklaşımı geleneksel karar verme yaklaşımlarına göre bazı avantajlar sunar. Öncelikle, bu yöntem belirsizliklerle baş edebilmesinin yanı sıra, diğer karar verme yaklaşımları ile kıyaslandığında sıra çevirme problemine karşı oldukça dirençlidir (Stanković vd. 2020) ve bu yüzden gerçek hayat karar verme problemlerinin çözümü için son derece güvenilir sonuçlar sağlayan bir karar verme çerçevesi sağlayabilmektedir.

Önerilen yaklaşımın bahsedilen bu avantajları akılda tutularak, bu çalışmada Marmara bölgesi liman seçim problemi için bu yaklaşım uygulanmaktadır. Çalışmada Marmara bölgesi, liman seçimine ilişkin kriter ve karar alternatiflerinin daha net olduğu bununla birlikte limanların yük hacmi, operasyon ve fiziksel olarak nispeten daha homojen bir görünüme sahip bir bölge olduğu için seçilmiştir. Aynı zamanda Akdeniz ve Karadeniz arasında alternatifsiz bir su yolu üzerinde yer alması bu tercihin bir başka nedeni olarak değerlendirilebilir.

Çalışmanın geri kalan kısmı üç bölüm olarak düzenlenmiştir. İkinci bölümde önerilen yaklaşım tanıtılırken, üçüncü bölümde Marmara limanları için bu yaklaşımın uygulaması gösterilmiş, ardından iki aşamalı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılarak, çalışmanın sınırlılıkları ile literatüre ve uygulama alanına katkıları değerlendirilmiştir.

## 2. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

Bu bölümde önerilen yaklaşım ve uygulama adımları tanıtılmaktadır. Üç ana aşamada uygulanmakta olan bu yaklaşımın birinci aşaması hazırlık sürecini, ikinci aşaması kriter ağırlıklarının hesaplanmasını, üçüncü aşaması ise bu ağırlıklar temelinde karar alternatiflerinin sıralandırılmasını içermektedir. Şekil 1’de önerilen yaklaşımın temel algoritması sunulmaktadır.



Şekil 1: Önerilen Yaklaşımın Temel Algoritması

### 2.1. Ön Bilgiler

Karar verme süreçlerinde belirsizlik durumlarına cevap verebilmek için yararlanılan bulanık küme (set) teorisi Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir. Bu teoriye göre;  $\tilde{A}$  bir üçgen bulanık sayı olmak üzere üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  eşitlik 1 ile gösterilmektedir (Petrovic vd. 2019; Deveci vd. 2020)

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{m-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (1)$$

Bulanık küme teorisi literatürde daha önce birçok yazar tarafından kullanılmıştır (Pak vd. 2015; Petrovic vd. 2019; Deveci vd. 2020; Pamucar ve Ecer, 2020; Ecer ve Pamucar, 2020).  $\tilde{A}_1 = \{l_1, m_1, u_1\}$  ve  $\tilde{A}_2 = \{l_2, m_2, u_2\}$  iki üçgen bulanık sayı olmak üzere bulanık sayılarda bazı matematiksel işlemler aşağıdaki gibi uygulanmaktadır (Mavi vd. 2017).

$$A_1 \oplus A_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2,) \quad (2)$$

$$A_1 \ominus A_2 = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2,) \quad (3)$$

$$A_1 \otimes A_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2,) \quad (4)$$

$$A_1 \oslash A_2 = \left( \frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad (5)$$

## 2.2. Bulanık SWARA Tekniği

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan SWARA tekniği Kersulienne vd. (2010) tarafından geliştirilen bir tekniktir. Yöntem KV'lerin tercihlerinin tahmin edilmesi ve bunların değerlendirme sürecine dahil edilmesi (Mardani vd. 2017) ile her bir kriterin önem oranını tahmin edebilmesi (Zolfani ve Sapauskas, 2013) gibi avantajları dikkate alındığında son derece kullanışlı bir yöntemdir. Aynı zamanda kriterlerin ikili karşılaştırma sayısının AHP ve ANP gibi yöntemlere kıyasla son derece az olması (Agarwal vd. 2020) yöntemin kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Klasik SWARA tekniği literatürde bulanık küme teorisi yardımıyla bulanık SWARA tekniği olarak genişletilmiş (Mavi vd. 2017; Gök ve Percin, 2017; Veskovc vd. 2018; Zarbakhshnia vd. 2018; Şengül ve Çağıl, 2020; Agarwal vd. 2020; Kaya ve Erginel, 2020; Tadic vd. 2018; Ulutaş vd. 2020; Sumrit, 2020) ve tekniğin beş farklı uygulama adımına ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir (Gök ve Percin, 2017; Zarbakhshnia vd. 2018; Mavi vd. 2017; Şengül ve Çağıl, 2020; Özdağoğlu vd. 2021):

*Adım 1. Kriterlerin sıralandırılması:* Bu adımda k sayıda KV seçim kriterlerini kendileri için önem derecelerine göre sıralandırmaktadır. En önemli kriter birinci sırada yer alırken, en önemsiz kriter son sırada yer almaktadır.

*Adım 2. Göreli önem oranlarının belirlenmesi ( $\tilde{s}_j$ ):* Bu aşamada her bir kriter için ikili karşılaştırma yapılmaktadır. Bunun için ikinci kriterden başlanarak kendisinden bir önce gelen diğer kriter ile ikili karşılaştırması yapılmaktadır. Bu karşılaştırmada, j. kriterin bir önceki sırada yer alan (j-1). sıradaki kritere göre sahip olduğu göreli önemi  $s_j$  sembolü ile gösterilmekte ve Keršulienne vd. (2010) tarafından bu değer “ortalama değer karşılaştırmalı önemi” olarak ifade edilmektedir (Keršulienne vd. 2010; Perçin 2019; Şengül ve Çağıl, 2020). Bu çalışmada yapılan karşılaştırmada KV’ler Tablo 2 de gösterilen dilsel değerlendirme skalasında (Chang, 1996; Mavi vd. 2017) verilen dilsel ölçütleri kullanmışlardır. Her bir KV dilsel değerlendirmesini tamamladıktan sonra, bu değerlendirmeler Tablo 2’de gösterilen üçgen bulanık sayılara dönüştürülmektedir.

**Tablo 2:** Kriterler için Dilsel Değerlendirme Skalası (Chang,1996; Mavi vd. 2017)

Dilsel değişken	Üçgen Bulanık sayı
Eşit önemli (EÖ)	(1,1,1)
Kısmen daha az önemli (KDAÖ)	(2/3,1,3/2)
Daha az önemli (DAÖ)	(2/5,1/2,2/3)
Çok daha az önemli (ÇDAÖ)	(2/7,1/3,2/5)
Oldukça az önemli (OAÖ)	(2/9,1/4,2/7)

*Adım 3. Karşılaştırmalı önem katsayısı değerinin belirlenmesi:* Kriterlerin karşılaştırmalı önem katsayıları ( $\tilde{k}_j$ ) eşitlik 6 yardımıyla hesaplanmaktadır (Mavi vd., 2017; Gök ve Percin, 2017).

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1} & ; j = 1 \\ \tilde{s}_j + 1 & ; j > 1 \end{cases} \quad (6)$$

Ardından eşitlik 7 kullanılarak her bir kriterin önem vektörü ( $\tilde{q}_j$ ) belirlenmektedir (Özdağoğlu vd. 2021).

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} 1 & ; j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j} & ; j > 1 \end{cases} \quad (7)$$

*Adım 4. Bulanık ağırlık değerlerinin hesaplanması ( $\tilde{w}_j$ ):* Eşitlik 8 yardımıyla her bir kriterin bulanık ağırlık değerleri hesaplanmaktadır (Gök ve Percin, 2017).

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^n \tilde{q}_k} \quad (8)$$

*Adım 5. Durulaştırma ve nihai ağırlıkların hesaplanması ( $w_j$ ):* Bulanık ağırlık değerleri hesaplandıktan sonra eşitlik 9 da verilen durulaştırma işlemi ile her bir kriterin bulanık ağırlık değeri durulaştırılmakta ve nihai ağırlık değeri hesaplanmaktadır (Mavi vd. 2017; Şengül ve Çağıl, 2020).

$$w_j = \frac{(w_j^u - w_j^l) + (w_j^m - w_j^l)}{3} + w_j^l \quad (9)$$

### **2.3. Bulanık MARCOS Tekniği**

Bu bölümde önerilen yaklaşımın üçüncü bölümü olan bulanık MARCOS yöntemi tanıtılmaktadır. MARCOS yöntemi, karar alternatiflerinin göreceli önem değerlerinin belirlenmesi ve alternatiflerin sıralandırılması için kullanılan çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinden birisidir (Ecer, 2020). Yöntemin temeli indekslerde söz konusu olabilecek en iyi (ideal) ve en kötü (anti ideal) çözümlere dayanmaktadır. Bu kapsamda her bir alternatifin en iyi ve en kötü çözümlere göre fayda dereceleri belirlenmekte ve buna göre karar tercihleri fayda fonksiyonu temelinde tanımlanmaktadır (Stevic vd. 2020; Stanković vd. 2020).

MARCOS tekniği daha sonraki çalışmalarda bulanık küme teorisi yardımıyla genişletilmiş ve pek çok araştırmacı tarafından çeşitli karar problemlerinin çözümünde kullanılmıştır (Stanković vd. 2020; Blagojević vd. 2021; Bakır ve Atalık 2021; Gong vd. 2021). Bulanık MARCOS tekniğinin temel algoritması aşağıda verilmektedir (Stanković vd. 2020; Blagojevic vd. 2021; Özdağoğlu vd. 2021; Puška vd. 2020):

*Adım 1. Bulanık başlangıç karar matrisinin oluşturulması:* Bu adımda  $k$  sayıda KV,  $n$  sayıda kriteri dikkate alarak  $m$  adet karar alternatifini dilsel ifadeler yardımıyla değerlendirmektedir. Ardından elde edilen bu matrisler dilsel değerlendirme ölçeğinde karşılık gelen üçgen bulanık sayılara dönüştürülmekte ve bu matrislerin birleştirilmesiyle bulanık başlangıç karar verme matrisi oluşturulmaktadır.

*Adım 2. Bulanık başlangıç karar matrisinin genişletilmesi:* İkinci adımda her bir indeks (kriter) için en iyi (ideal-ID) ve en kötü (anti ideal-AI) çözümler eklenerek eşitlik 10 da gösterildiği gibi başlangıç karar matrisi genişletilmektedir.

$$\tilde{X}^* = \begin{matrix} \mathbf{AI} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_1 \\ A_m \\ \mathbf{ID} \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{ai1} & \tilde{x}_{ai2} & \tilde{x}_{ai3} & \cdots & \tilde{x}_{ain} \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{13} & \ddots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \tilde{x}_{23} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{m3} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \\ \tilde{x}_{id1} & \tilde{x}_{id2} & \tilde{x}_{id3} & \cdots & \tilde{x}_{idn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Anti ideal çözüm (AI) her bir sütun için kriterin fayda ya da maliyet yönlü olmasına göre en kötü çözüm değerleridir. İdeal çözümler (ID) ise aynı şekilde indekslerin en iyi çözümlerini göstermektedir. Kriter bir fayda kriteri ise en yüksek değer ideal, en küçük değer ise anti ideal çözümleri temsil etmektedir. Aynı zamanda kriterin maliyet kriteri olması durumunda en küçük değer ideal, en büyük değer ise anti ideal çözümleri temsil etmektedir.

*Adım 3. Bulanık karar matrisinin normalize edilmesi:* Kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olmasına göre genişletilmiş bulanık karar matrisi normalize edilmektedir. Bunun için aşağıda verilen 11 ve 12 nolu eşitlikler kullanılmaktadır.

$$\tilde{\eta}_{ij} = (\eta_{ij}^l, \eta_{ij}^m, \eta_{ij}^u) = \left( \frac{x_{id}^l}{x_{ij}^u}, \frac{x_{id}^l}{x_{ij}^m}, \frac{x_{id}^l}{x_{ij}^l} \right) \quad j \in \text{maliyet} \quad (11)$$

$$\tilde{\eta}_{ij} = (\eta_{ij}^l, \eta_{ij}^m, \eta_{ij}^u) = \left( \frac{x_{ij}^l}{x_{id}^u}, \frac{x_{ij}^m}{x_{id}^u}, \frac{x_{ij}^u}{x_{id}^u} \right) \quad j \in \text{Fayda} \quad (12)$$

Eşitliklerde yer alan  $(x_{ij}^l, x_{ij}^m, x_{ij}^u)$  ve  $(x_{id}^l, x_{id}^m, x_{id}^u)$  ise sırasıyla genişletilmiş bulanık karar matrisinin elemanını ve bu matristen elde edilen bulanık ideal değerleri ifade etmektedir.

*Adım 4. Normalize karar matrisinin ağırlıklandırılması ( $\tilde{V}$ ):* Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında Bulanık SWARA uygulamasıyla elde edilen kriterlere ait ağırlık değerlerinin normalize matris elemanlarıyla çarpılması sonucunda ağırlıklı bulanık normalize karar matrisi elde edilmektedir. Bunun için aşağıda verilen eşitlik 13 kullanılmaktadır.

$$\tilde{\vartheta}_{ij} = (\vartheta_{ij}^l, \vartheta_{ij}^m, \vartheta_{ij}^u) = \tilde{\eta}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (13)$$

Eşitlikte verilen  $\tilde{\vartheta}_{ij} = (\tilde{\vartheta}_{ij}^l, \tilde{\vartheta}_{ij}^m, \tilde{\vartheta}_{ij}^u)$  ağırlıklı normalize matrisin  $[\tilde{V} = [\tilde{\vartheta}_{ij}]_{m \times n}]$  elemanını ifade etmektedir.

*Adım 5. Alternatiflerin fayda derecelerinin hesaplanması:* Bu aşamada, ilk olarak eşitlik 14'te gösterildiği üzere ağırlıklı normalize matris elemanlarının toplanması sonucunda  $(\tilde{U}_i)$  değerleri elde edilmektedir.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{\vartheta}_{ij} \quad (14)$$

Ardından her bir alternatifin fayda derecesi  $(K_i^-, K_i^+)$  eşitlikler 15 ve 16 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\tilde{K}_i^- = \frac{\tilde{U}_i}{\tilde{U}_{ai}} = \left( \frac{u_i^l}{u_{ai}^u}, \frac{u_i^m}{u_{ai}^m}, \frac{u_i^u}{u_{ai}^l} \right) \quad (15)$$

$$\tilde{K}_i^+ = \frac{\tilde{U}_i}{\tilde{U}_{id}} = \left( \frac{u_i^l}{u_{id}^u}, \frac{u_i^m}{u_{id}^m}, \frac{u_i^u}{u_{id}^l} \right) \quad (16)$$

*Adım 6. Fayda derecelerine dayalı  $(\tilde{T}_i)$  değerlerinin hesaplanması:* Eşitlik 17 kullanılarak bir önceki adımda belirlenen fayda derecelerine bağlı olarak her bir alternatif için  $(\tilde{T}_i)$  değerleri belirlenmektedir.

$$\tilde{T}_i = \tilde{t}_i = (\tilde{t}_i^l, \tilde{t}_i^m, \tilde{t}_i^u) = \tilde{K}_i^- \otimes \tilde{K}_i^+ \quad (17)$$

Ardından eşitlik 18'de gösterildiği üzere  $\max_i \tilde{t}_{ij}$  ve buna bağlı olarak  $\tilde{D}$  bulanık sayısı tanımlanmaktadır. Eşitlik 19 yardımıyla bulanık  $\tilde{D}$  sayısı durulaştırılarak net sayısal değere  $(d_{cr})$  dönüştürülmektedir.

$$\tilde{D} = (\tilde{d}^l, \tilde{d}^m, \tilde{d}^u) = \max_i \tilde{t}_{ij} \quad (18)$$

$$d_{cr} = \frac{l + 4m + u}{6} \quad (19)$$

*Adım 7. İdeal ve anti ideal çözümlere ilişkin fayda fonksiyonlarının belirlenmesi:* Eşitlik 20 ve 21 yardımıyla alternatiflerin ideal ve anti ideal çözümlere ilişkin fayda fonksiyonlarının değeri belirlenmektedir.

$$f(\tilde{K}_i^+) = \frac{\tilde{K}_i^-}{d_{cr}} = \left( \frac{k_i^{-l}}{d_{cr}}, \frac{k_i^{-m}}{d_{cr}}, \frac{k_i^{-u}}{d_{cr}} \right) \quad (20)$$



$$f(\tilde{K}_i^-) = \frac{\tilde{K}_i^+}{d_{cr}} = \left( \frac{k_i^{+l}}{d_{cr}}, \frac{k_i^{+m}}{d_{cr}}, \frac{k_i^{+u}}{d_{cr}} \right) \quad (21)$$

Bu adımın sonunda elde edilen  $\tilde{K}_i^-, \tilde{K}_i^+, f(\tilde{K}_i^+), f(\tilde{K}_i^-)$  değerleri durulaştırılarak, net değerler elde edilmektedir.

*Adım 8. Alternatiflerin nihai fayda fonksiyonlarının değerlerinin belirlenmesi:* Alternatiflerin fayda fonksiyonlarının değeri aynı zamanda opsiyonların tercih edilebilirliğini de göstermektedir. Aşağıda gösterilen eşitlik 22 yardımıyla her bir alternatifin nihai fayda fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır.

$$f(K_i) = \frac{\tilde{K}_i^+ + \tilde{K}_i^-}{1 + \frac{1 - f(\tilde{K}_i^+)}{f(\tilde{K}_i^+)} + \frac{1 - f(\tilde{K}_i^-)}{f(\tilde{K}_i^-)}} \quad (22)$$

*Adım 9. Alternatiflerin sıralanması:* Karar alternatifleri hesaplanan fayda fonksiyonu değerlerine göre azalan bir düzende sıralandırılmaktadır. En yüksek değere sahip olan alternatif en yüksek tercih edilebilirlik değerine sahip alternatifken, en küçük değere sahip alternatif en kötü opsiyon olarak belirlenmektedir.

### 3. MARMARA LİMANLARININ İNCELENMESİ

Bu bölümde önerilen yaklaşımın Marmara limanlarının seçim ve değerlendirilmesi için uygulamasına yer verilmiştir.

#### 3.1 Hazırlık Aşaması

İlk aşama olan hazırlık sürecinde öncelikle daha önceki bölümde belirtildiği gibi araştırma soruları belirlenmiş ve bu soruları yöneltmek üzere araştırma sürecinde bir uzmanlar kurulu olarak görev yapacak KV'ler belirlenmiştir. KV'lere ilişkin bilgiler aşağıdaki Tablo 3'te verilmektedir.

**Tablo 3: Karar Vericilere Ait Bilgiler**

NO	Mezuniyet	Görev	Tecrübe	Ülke
KV1	İşletme	Gemi Operasyon Müdürü	17	Türkiye
KV2	Taşımacılık	Genel müdür	13	Almanya
KV3	İşletme	Hat yöneticisi	24	Türkiye
KV4	Taşımacılık Yön.	Operasyon ve Liman Müdürü	21	Belçika
KV5	İşletme	Operasyon Başkanı	20	İtalya
KV6	Ekonomi	Operasyon Yöneticisi	10	Rusya
KV7	Endüstri Müh.	Konteyner Filo Koordinatörü	9	İsrail

KV'ler ile çok sayıda genel katılımlı toplantıya ek olarak, her biri ile yüz yüze mülakatlar yapılmış ve kendilerine araştırma soruları yöneltilmiştir. Görüşmelerin sonunda kendilerinden karar alternatifleri ve kriterler için bir liste hazırlamaları istenmiş, bu listeler toplandıktan sonra tekrar eden kriter ve alternatifler elenerek nihai listeler oluşturulmuştur. Ardından, bu sürecin ikinci alt aşamasında KV'lerden listede yer alan kriterler için 1 ile 9 arasında görelî önem skoru tanımlamaları istenmiş ve her bir kriter için bu skorların geometrik ortalaması alınarak kriterlerin önem skorları saptanmıştır. Tablo 4'te süreç boyunca belirlenmiş kriterler ve KV'ler tarafından verilen görelî önem skorları gösterilmektedir.

**Tablo 4: Seçim Kriterleri ve Karar Alternatifleri**

Kod	Kriter	KV 1	KV 2	KV 3	KV 4	KV 5	KV 6	KV 7	Önem Skoru
C1	Personel Sayısı	7	8	6	5	9	8	8	7.1632
C2	Ekipman Sayısı	7	6	8	7	9	6	8	7.2133
C3	Depolama Alanı	9	7	9	8	7	9	9	8.2367
C4	Limn Sahası	9	6	5	8	8	7	7	7.0278
C5	Kapasite	9	6	6	7	9	6	8	7.1759
C6	Hizmet Alan Gemi Sayısı	6	7	6	7	9	8	7	7.0770
C7	Elleçlenen Konteyner Sayısı	8	7	9	7	8	7	9	7.8136
	Limn Güvenliği	5	7	5	4	6	3	4	4.6965
	Limn Ücretleri	6	5	4	3	5	5	4	4.4761
	Gümrük İşlemlerinin Kalitesi	3	4	6	4	7	5	4	4.5492
	Boş Zaman	2	3	5	4	6	3	5	3.7688
	Tıkanıklık	3	2	3	6	4	5	4	3.6506
	Limn Yakınlığı	2	3	3	4	3	4	5	3.3064
	Modlar Arası Bağlantı Olasılığı	4	6	3	6	5	4	4	4.4501
	İç Nakliye Maliyeti	3	2	5	4	4	5	3	3.5567
	Limn Hizmet Kalitesi	4	3	5	6	3	5	4	4.1611

Nihai olarak, müzakerelerin son aşamasında KV'lere elenecek kriter olup olmadığı ve kaç puanın altında skora sahip kriterlerin elenebileceği sorulmuş, alınan ortak görüş ve yanıtlara göre 5 puanın altında skora sahip olan kriterler elenmiştir. Bu kriterlerin elenmesinde bir başka neden de seçilen ilk yedi kriterin elenen bazı kriterleri de kapsıyor olmasıdır. Sonuç olarak, KV'lerin mutabakatı sağlanarak kriterler ve alternatifler çalışma

kapsamına dahil edilmiştir. Belirlenen bu kriter ve alternatifler Tablo 5'te gösterilmektedir.

**Tablo 5:** Seçim Kriterleri ve Karar Alternatifleri

Seçim Kriterleri		Karar Alternatifleri			
Kod	Kriter	Kod	Alternatif	Kod	Alternatif
C1	Personel Sayısı	A1	Asyaport	A9	Limaş
C2	Ekipman Sayısı	A2	Çelebiport	A10	Borusan
C3	Depolama Alanı	A3	Marport	A11	Gemport
C4	Limana Sahası	A4	Kumport	A12	Çanakkale
C5	Kapasite	A5	Mardaş	A13	Autoport
C6	Hizmet Alan Gemi Sayısı	A6	Evyap	A14	Martaş
C7	Elleçlenen Konteyner Sayısı	A7	Yılport		
		A8	DP World		

Seçim kriterleri ve karar alternatifleri belirlendikten sonra önerilen yaklaşımın uygulama adımlarına geçilmiştir.

### 3.2 Bulanık SWARA Tekniğinin Uygulanması

Bu bölümde bulanık SWARA tekniğinin temel algoritması seçim kriterlerinin ağırlık değerlerinin belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır.

*Adım 1.* Bu adımda KV'ler seçim kriterlerini kendi yargı ve tecrübeleri çerçevesinde en önemliden en az önemliye doğru sıralandırmışlardır. Her bir KV tarafından yapılan sıralamalar Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6:** Seçim Kriterlerinin Karar Vericiler Tarafından Sıralandırılması

	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4	KV-5	KV-6	KV-7
C1	6	5	5	5	5	6	5
C2	1	3	3	4	2	3	2
C3	2	1	2	1	1	1	3
C4	7	7	7	7	6	7	7
C5	5	4	4	3	4	4	4
C6	4	6	6	6	7	5	6
C7	3	2	1	2	3	2	1

*Adım 2.* KV'lerin seçim kriterlerinin önem sıralamasını belirlemesinin ardından Tablo 2'de gösterilen dilsel değerlendirme skalasını dikkate alarak her bir kriteri kendinden bir önce gelen kriter ile ikili olarak karşılaştırmış ve göreceli önem düzeylerini dilsel ifadeler yardımıyla Tablo 7'de gösterildiği üzere belirlemiştir.

**Tablo 7:** Kriterlerin karar vericiler tarafından dilsel değerlendirmeleri

KV-1		KV-2		KV-3		KV-4	
Kriter Sıralaması	Dilsel değerlendirme	Kriter Sıralaması	Dilsel değerlendirme	Kriter Sıralaması	Dilsel değerlendirme	Kriter Sıralaması	Dilsel değerlendirme
C2	-	C3	-	C7	-	C3	-
C3	OAÖ	C7	DAÖ	C3	OAÖ	C7	ÇDAÖ
C7	KDAÖ	C2	EÖ	C2	DAÖ	C5	EÖ
C6	KDAÖ	C5	EÖ	C5	EÖ	C2	EÖ
C5	ÇDAÖ	C1	DAÖ	C1	OAÖ	C1	OAÖ
C1	OAÖ	C6	OAÖ	C6	OAÖ	C6	ÇDAÖ
C4	KDAÖ	C4	DAÖ	C4	DAÖ	C4	KDAÖ
KV-5		KV-6		KV-7			
Kriter Sıralaması	Dilsel değerlendirme	Kriter Sıralaması	Dilsel değerlendirme	Kriter Sıralaması	Dilsel değerlendirme		
C3	-	C3	-	C7	-		
C2	ÇDAÖ	C7	DAÖ	C2	ÇDAÖ		
C7	KDAÖ	C2	KDAÖ	C3	KDAÖ		
C5	EÖ	C5	EÖ	C5	EÖ		
C1	OAÖ	C6	OAÖ	C1	OAÖ		
C4	OAÖ	C1	DAÖ	C6	DAÖ		
C6	ÇDAÖ	C4	KDAÖ	C4	KDAÖ		

Adım 3-4-5: Tablo 7’de gösterilen her bir KV’nin bireysel değerlendirmelerindeki dilsel ifadeler üçgen bulanık sayı karşılıklarına çevrilmiş ardından eşitlik 6, 7 ve 8 uygulanması sonucunda sırasıyla her bir kritere ait  $\tilde{k}_j, \tilde{q}_j$  ve  $\tilde{w}_j$  değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik 9 yardımıyla elde edilen bulanık ağırlık değerleri durulaştırılmış ve net değerlere dönüştürülmüştür. Bulanık SWARA yöntemi her bir KV değerlendirmesi için ayrı ayrı uygulanmış ve elde edilen ağırlık değerlerinin geometrik ortalaması alınması sonucunda kriterler için nihai ağırlık değerleri (birleştirilmiş) elde edilmiştir. Buna göre KV1 için bulanık SWARA yönteminin uygulamasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir.

**Tablo 8:** KV-1 için Bulanık SWARA Sonuçları

Kriter	$\tilde{s}_j$			$\tilde{k}_j$		
C2	-	-	-	1,000	1,000	1,000
C3	2/9	1/4	2/7	1,222	1,250	1,286
C7	2/3	1	1 1/2	1,667	2,000	2,500
C6	2/3	1	1 1/2	1,667	2,000	2,500
C5	2/7	1/3	2/5	1,286	1,333	1,400
C1	2/9	1/4	2/7	1,222	1,250	1,286
C4	2/3	1	1 1/2	1,667	2,000	2,500
$\tilde{q}_j$			$\tilde{w}_j$		W	
1,000	1,000	1,000	0,319	0,366	0,417	
0,778	0,800	0,818	0,248	0,293	0,341	
0,311	0,400	0,491	0,099	0,147	0,150	
0,124	0,200	0,295	0,040	0,073	0,079	
0,089	0,150	0,229	0,028	0,055	0,060	
0,069	0,120	0,187	0,022	0,044	0,048	
0,028	0,060	0,112	0,009	0,022	0,047	

Diğer KV değerlendirmeleri içinde bulanık SWARA tekniğinin adımlarının aynı şekilde uygulanması sonucunda her bir kriterlere ilişkin belirlenen nihai ağırlık değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir.

**Tablo 9:** Kriterlere Ait Birleştirilmiş Ağırlık Değerleri

Kriter	Bulanık ağırlıklar			Durulaştırılmış ağırlıklar
C3	0,270	0,308	0,351	0,310
C7	0,202	0,246	0,294	0,248
C2	0,152	0,183	0,216	0,184
C5	0,056	0,077	0,102	0,078
C1	0,035	0,051	0,071	0,052
C6	0,031	0,046	0,064	0,047
C4	0,014	0,025	0,040	0,027

Tablo 9’a göre kriterler nihai ağırlık değerlerine göre *C3 (Depolama Alanı) > C7 (Elleçlenen Konteyner Sayısı) > C2 (Ekipman Sayısı) > C5 (Kapasite) > C1 (Personel Sayısı) > C6 (Hizmet Alan Gemi Sayısı) > C4 (Liman Sahası)* şeklinde sıralanmaktadır.

### 3.3 Bulanık MARCOS Tekniğinin Uygulanması

Seçim kriterlerinin bulanık SWARA tekniğine göre belirlenen ağırlık değerleri önerilen yaklaşımın üçüncü aşamasına aktarılmış ve bu aşamada karar alternatiflerini değerlendirmek ve sıralamak amacıyla Bulanık MARCOS tekniği uygulanmıştır. Uygulama adımlarının detayları aşağıda gösterilmektedir:

*Adım 1.* Bu adımda KV’ler karar alternatiflerini seçim kriterlerini dikkate alarak değerlendirmiş, bunun için Tablo 10 da verilen dilsel değerlendirme ölçeğini kullanmışlardır.

**Tablo 10:** Alternatifler için Dilsel Değerlendirme Skalası (Stanković vd. 2020)

Dilsel Terim	Kısaltma	Üçgen Bulanık Sayı		
		l	m	u
Son Derece Kötü	SDK	1	1	1
Çok Zayıf	ÇZ	1	1	3
Zayıf	Z	1	3	3
Orta Zayıf	OZ	3	3	5
Orta	O	3	5	5
Orta İyi	Oİ	5	5	7
İyi	İ	5	7	7
Çok iyi	Çİ	7	7	9
Son derece iyi	SDİ	7	9	9

Her KV tarafından dilsel değerlendirmeler yapıldıktan sonra bu değerlendirmeler üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Ardından geometrik ortalama alınarak matrisler birleştirilmiş ve tek bir matris haline dönüştürülmüştür. Elde edilen bulanık başlangıç karar matrisi Tablo 11’de gösterilmiştir.

**Tablo 11: Başlangıç Karar Matrisi**

	C1(Min)			C2(Min)			C3(Maks.)			C4(Maks.)		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	1,000	1,000	2,192	1,170	1,472	1,723	4,321	5,246	6,358	5,000	5,000	7,000
A2	3,192	3,693	5,369	1,873	3,000	4,017	7,000	7,521	9,000	4,877	5,438	6,915
A3	4,321	5,246	6,358	1,873	3,000	4,017	5,505	6,060	7,521	6,671	7,000	8,683
A4	3,192	4,321	5,369	1,873	3,227	4,017	1,170	3,000	3,227	5,052	6,202	7,421
A5	6,671	7,796	8,683	1,000	1,369	1,873	1,000	1,170	2,564	2,192	2,564	4,321
A6	6,358	7,000	8,376	7,000	8,683	9,000	5,000	5,505	7,000	4,648	5,246	6,671
A7	1,601	3,000	3,734	7,000	7,000	9,000	1,000	1,170	3,000	3,973	5,052	5,301
A8	5,246	6,358	7,256	6,358	7,000	8,376	3,000	3,227	5,000	5,911	6,202	7,983
A9	6,671	7,000	8,683	1,000	1,000	1,369	1,170	3,000	3,227	2,564	4,321	4,648
A10	6,671	7,000	8,683	3,227	4,648	5,246	5,000	5,505	7,000	5,246	6,671	7,256
A11	4,321	5,000	6,358	1,000	1,000	1,170	1,170	1,258	1,472	5,301	6,575	6,575
A12	6,202	7,983	8,275	1,000	1,000	1,170	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,192
A13	5,911	6,671	7,983	1,000	1,000	1,170	4,017	5,000	6,060	3,000	4,648	5,000
A14	6,202	8,275	8,275	1,000	1,000	1,170	1,000	1,000	1,170	2,192	2,564	3,693
	C5(Maks.)			C6(Maks.)			C7(Maks.)					
	l	m	u	l	m	u	l	m	u			
A1	7,000	7,521	9,000	5,246	7,000	7,256	7,000	9,000	9,000			
A2	1,000	3,000	3,000	2,192	3,000	4,321	1,000	1,000	1,000			
A3	5,000	5,505	7,000	3,227	5,000	5,246	7,000	9,000	9,000			
A4	5,776	7,256	7,796	7,000	9,000	9,000	6,671	7,000	8,683			
A5	1,000	1,170	1,369	1,000	3,000	3,000	1,000	1,000	1,170			
A6	3,471	5,246	5,505	7,000	7,256	9,000	7,000	7,000	9,000			
A7	5,000	5,505	7,000	5,505	7,000	7,521	7,000	7,000	9,000			
A8	5,505	7,000	7,521	5,505	7,256	7,521	5,000	5,000	7,000			
A9	1,000	1,369	3,000	1,000	1,170	3,000	1,000	1,873	3,000			
A10	1,170	3,000	3,227	1,000	3,000	3,000	1,000	3,000	3,000			
A11	3,000	3,227	5,000	1,170	3,000	3,227	1,170	3,000	3,227			
A12	1,000	1,000	2,564	1,000	1,000	1,170	1,000	1,873	3,000			
A13	2,564	3,000	4,648	1,000	3,000	3,000	1,000	3,000	3,000			
A14	1,000	3,000	3,000	1,000	1,000	1,170	1,000	1,873	3,000			

*Adım 2.* Her bir indeks(kriter) için en iyi (ID) ve en kötü (AI) çözümler eşitlik 10’da gösterildiği gibi başlangıç karar matrisine eklenerek genişletilmiştir.

*Adım 3.* Eşitlik 11 ve 12 kullanılarak genişletilmiş matris elemanları normalize edilmiştir. Oluşturulan normalize bulanık matris Tablo 12’de gösterilmektedir.

**Tablo 12: Normalize Karar Matrisi**

	C1			C2			C3			C4		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
<i>AI</i>	0,115	0,121	0,150	0,111	0,115	0,143	0,111	0,111	0,111	0,115	0,115	0,252
<b>A1</b>	0,456	1,000	1,000	0,581	0,679	0,855	0,480	0,583	0,706	0,576	0,576	0,806
<b>A2</b>	0,186	0,271	0,313	0,249	0,333	0,534	0,778	0,836	1,000	0,562	0,626	0,796
<b>A3</b>	0,157	0,191	0,231	0,249	0,333	0,534	0,612	0,673	0,836	0,768	0,806	1,000
<b>A4</b>	0,186	0,231	0,313	0,249	0,310	0,534	0,130	0,333	0,359	0,582	0,714	0,855
<b>A5</b>	0,115	0,128	0,150	0,534	0,731	1,000	0,111	0,130	0,285	0,252	0,295	0,498
<b>A6</b>	0,119	0,143	0,157	0,111	0,115	0,143	0,556	0,612	0,778	0,535	0,604	0,768
<b>A7</b>	0,268	0,333	0,624	0,111	0,143	0,143	0,111	0,130	0,333	0,458	0,582	0,611
<b>A8</b>	0,138	0,157	0,191	0,119	0,143	0,157	0,333	0,359	0,556	0,681	0,714	0,919
<b>A9</b>	0,115	0,143	0,150	0,731	1,000	1,000	0,130	0,333	0,359	0,295	0,498	0,535
<b>A10</b>	0,115	0,143	0,150	0,191	0,215	0,310	0,556	0,612	0,778	0,604	0,768	0,836
<b>A11</b>	0,157	0,200	0,231	0,855	1,000	1,000	0,130	0,140	0,164	0,611	0,757	0,757
<b>A12</b>	0,121	0,125	0,161	0,855	1,000	1,000	0,111	0,111	0,111	0,115	0,115	0,252
<b>A13</b>	0,125	0,150	0,169	0,855	1,000	1,000	0,446	0,556	0,673	0,346	0,535	0,576
<b>A14</b>	0,121	0,121	0,161	0,855	1,000	1,000	0,111	0,111	0,130	0,252	0,295	0,425
<b>ID</b>	0,456	1,000	1,000	0,855	1,000	1,000	0,778	0,836	1,000	0,768	0,806	1,000
	C5			C6			C7					
	l	m	u	l	m	u	l	m	u			
<i>AI</i>	0,111	0,111	0,152	0,111	0,111	0,130	0,111	0,111	0,111			
<b>A1</b>	0,778	0,836	1,000	0,583	0,778	0,806	0,778	1,000	1,000			
<b>A2</b>	0,111	0,333	0,333	0,244	0,333	0,480	0,111	0,111	0,111			
<b>A3</b>	0,556	0,612	0,778	0,359	0,556	0,583	0,778	1,000	1,000			
<b>A4</b>	0,642	0,806	0,866	0,778	1,000	1,000	0,741	0,778	0,965			
<b>A5</b>	0,111	0,130	0,152	0,111	0,333	0,333	0,111	0,111	0,130			
<b>A6</b>	0,386	0,583	0,612	0,778	0,806	1,000	0,778	0,778	1,000			
<b>A7</b>	0,556	0,612	0,778	0,612	0,778	0,836	0,778	0,778	1,000			
<b>A8</b>	0,612	0,778	0,836	0,612	0,806	0,836	0,556	0,556	0,778			
<b>A9</b>	0,111	0,152	0,333	0,111	0,130	0,333	0,111	0,208	0,333			
<b>A10</b>	0,130	0,333	0,359	0,111	0,333	0,333	0,111	0,333	0,333			
<b>A11</b>	0,333	0,359	0,556	0,130	0,333	0,359	0,130	0,333	0,359			
<b>A12</b>	0,111	0,111	0,285	0,111	0,111	0,130	0,111	0,208	0,333			
<b>A13</b>	0,285	0,333	0,516	0,111	0,333	0,333	0,111	0,333	0,333			
<b>A14</b>	0,111	0,333	0,333	0,111	0,111	0,130	0,111	0,208	0,333			
<b>ID</b>	0,778	0,836	1,000	0,778	1,000	1,000	0,778	1,000	1,000			

Adım 4-5. Eşitlik 13 yardımıyla normalize bulanık matris ağırlıklandırılmıştır. Bu aşamada bulanık SWARA yönteminden elde edilen ağırlık değerleri kullanılmıştır. Ardından Eşitlik 14’de gösterildiği üzere ağırlıklı normalize matrisin satır elemanlarının toplanması ile  $(\bar{U}_i)$  değerleri belirlenmiştir. Eşitlik 15 ve 16 uygulanması sonucunda ise her bir alternatif için fayda dereceleri  $(\bar{K}_i^-, \bar{K}_i^+)$  hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 13’te gösterilmiştir.

**Tablo 13: Her Bir Alternatif için  $\bar{U}_i, \bar{K}_i^-$  ve  $\bar{K}_i^+$  Değerleri**

	$\bar{U}_i$			$\bar{K}_i^-$			$\bar{K}_i^+$		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u
<i>AI</i>	0,085	0,105	0,147						
<b>A1</b>	0,461	0,716	0,985	3,127	6,791	11,632	0,404	0,824	1,665
<b>A2</b>	0,299	0,416	0,619	2,026	3,950	7,309	0,262	0,479	1,046
<b>A3</b>	0,419	0,617	0,877	2,842	5,856	10,362	0,367	0,711	1,483
<b>A4</b>	0,297	0,489	0,735	2,019	4,638	8,682	0,261	0,563	1,243
<b>A5</b>	0,151	0,240	0,422	1,023	2,281	4,990	0,132	0,277	0,714
<b>A6</b>	0,382	0,505	0,767	2,590	4,796	9,066	0,335	0,582	1,298
<b>A7</b>	0,270	0,372	0,644	1,833	3,533	7,612	0,237	0,429	1,090
<b>A8</b>	0,288	0,396	0,648	1,955	3,761	7,653	0,253	0,457	1,095
<b>A9</b>	0,186	0,374	0,528	1,265	3,551	6,240	0,164	0,431	0,893
<b>A10</b>	0,225	0,377	0,541	1,525	3,581	6,389	0,197	0,435	0,914
<b>A11</b>	0,228	0,380	0,506	1,547	3,608	5,979	0,200	0,438	0,856
<b>A12</b>	0,198	0,291	0,413	1,342	2,764	4,874	0,173	0,335	0,698
<b>A13</b>	0,301	0,498	0,660	2,045	4,727	7,802	0,264	0,574	1,117
<b>A14</b>	0,200	0,313	0,431	1,355	2,967	5,093	0,175	0,360	0,729
<b>ID</b>	0,591	0,868	1,139						

*Adım 6-7.* Bu adımda ilk olarak eşitlik 17 kullanılarak  $\tilde{T}_i$  değerleri belirlenmiş, sonrasında bu değerler temelinde eşitlik 18’de gösterildiği üzere  $\tilde{D}=(3.531,7.616,13.297)$  olarak tanımlanmıştır. Ardından bulanık D sayısı eşitlik 19 yardımıyla durulaştırılmış ve  $d_{cr}=7.882$  değeri elde edilmiştir. İzleyen bir sonraki adımda ise alternatiflerin her biri için ideal ve anti ideal çözümlere ilişkin fayda fonksiyonu değerlerinin belirlenmesine geçilmiş ve bunun içinde Eşitlik 20 ve 21 kullanılmıştır. Bu adımlara ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 14 ‘de gösterilmiştir.

**Tablo 14:  $\bar{T}_i, f(\bar{K}_i^-)$  ve  $f(\bar{K}_i^+)$  değerleri**

	$\bar{T}_i$			$f(\bar{K}_i^+)$			$f(\bar{K}_i^-)$		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u
A1	3,531	7,616	13,297	0,397	0,862	1,476	0,051	0,105	0,211
A2	2,288	4,430	8,355	0,257	0,501	0,927	0,033	0,061	0,133
A3	3,210	6,567	11,845	0,361	0,743	1,315	0,047	0,090	0,188
A4	2,281	5,201	9,924	0,256	0,588	1,102	0,033	0,071	0,158
A5	1,155	2,558	5,705	0,130	0,289	0,633	0,017	0,035	0,091
A6	2,925	5,378	10,364	0,329	0,608	1,150	0,042	0,074	0,165
A7	2,070	3,961	8,701	0,233	0,448	0,966	0,030	0,054	0,138
A8	2,208	4,218	8,749	0,248	0,477	0,971	0,032	0,058	0,139
A9	1,428	3,982	7,133	0,160	0,451	0,792	0,021	0,055	0,113
A10	1,723	4,016	7,303	0,194	0,454	0,811	0,025	0,055	0,116
A11	1,747	4,046	6,835	0,196	0,458	0,759	0,025	0,056	0,109
A12	1,515	3,099	5,572	0,170	0,351	0,618	0,022	0,043	0,089
A13	2,309	5,300	8,918	0,259	0,600	0,990	0,034	0,073	0,142
A14	1,530	3,327	5,823	0,172	0,376	0,646	0,022	0,046	0,092



*Adım 8-9.* Alternatiflerin nihai fayda fonksiyonları değerleri aynı zamanda opsiyonların tercih edilebilirliğini de göstermektedir. Eşitlik 22 yardımıyla her bir alternatifin nihai fayda fonksiyonu değeri hesaplanmış ve hesaplanan bu değerler ( $K_i$ ) dikkate alınarak karar alternatifleri sıralandırılmıştır. Sonuçlar Tablo 15’te gösterilmektedir.

**Tablo 15:**  $K_i^-$ ,  $K_i^+$ ,  $f(K_i^-)$ ,  $f(K_i^+)$ ,  $K_i$  ve Sıralama Değerleri

	$K_i^-$	$K_i^+$	$f(K_i^-)$	$f(K_i^+)$	$K_i$	Sıra
A1	6,987	0,894	0,113	0,887	0,8816	1
A2	4,189	0,538	0,068	0,532	0,3042	6
A3	6,105	0,782	0,099	0,775	0,6644	2
A4	4,875	0,626	0,079	0,619	0,4165	4
A5	2,523	0,326	0,041	0,320	0,1082	14
A6	5,140	0,660	0,084	0,652	0,4650	3
A7	3,929	0,507	0,064	0,499	0,2680	8
A8	4,109	0,529	0,067	0,521	0,2933	7
A9	3,618	0,463	0,059	0,459	0,2245	11
A10	3,707	0,475	0,060	0,470	0,2360	9
A11	3,660	0,468	0,059	0,464	0,2294	10
A12	2,878	0,369	0,047	0,365	0,1405	13
A13	4,792	0,613	0,078	0,608	0,4001	5
A14	3,053	0,391	0,050	0,387	0,1583	12

Tablo 15’te gösterilen sıralamaya göre seçim alternatifleri arasında A1 kodlu Asyaport limanı ilk sırada yer alırken, A5 kodlu Mardaş son sırada yer almıştır.

Sonuç olarak Bulanık MARCOS yönteminin uygulaması sonucunda karar alternatifleri A1(*Asyaport*) > A3(*Marport*) > A6 (*Evyap*) > A4 (*Kumport*) > A13(*Autoport*) > A2(*Çelebiport*) > A8(*DP World*) > A7 (*Yılport*) > A10(*Borusan*) > A11(*Gempport*) > A9 (*Limaş*) > A14 (*Martaş*) > A12(*Çanakkale*) > A5(*Mardaş*) olarak sıralanmıştır.

### 3.4 Modelin Uygunluğunun Test Edilmesi

Çalışmada ele alınan karar probleminin çözümü için alternatifler arasından en uygun olanının seçim sürecinde bulanık MARCOS tekniğinden yararlanılmıştır. Bu tekniğe göre elde edilen sonuçların geçerliliğinin sınanması amacıyla çalışmanın bu bölümünde duyarlılık analizine yer verilmiştir. Bu kapsamda, i) Kriter ağırlıklarındaki değişikliklerin alternatiflerin sıralama performansına etkisi ii) Farklı bulanık ÇKKV tekniklerinin kullanımının karar alternatiflerinin sıralamaları üzerindeki etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Duyarlılık analizinin ilk aşamasında kriter ağırlıkları her senaryoda %10 olacak şekilde kademli olarak azaltılmış, aradaki fark diğer kriterlere eşit olarak dağıtılarak, toplam kriter ağırlığının 1'e eşit olma koşulu sağlanmıştır. Kriter ağırlıklarının değişiminde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$w_{fv}^1 = w_{pv}^1 - (w_{pv}^1 \cdot m_v) \quad (23)$$

$$w_{nv}^2 = \frac{(1 - w_{fv}^1)}{n - 1} + w_{pv}^2 \quad (24)$$

$$w_{fv}^1 + \sum w_{nv}^2 = 1 \quad (25)$$

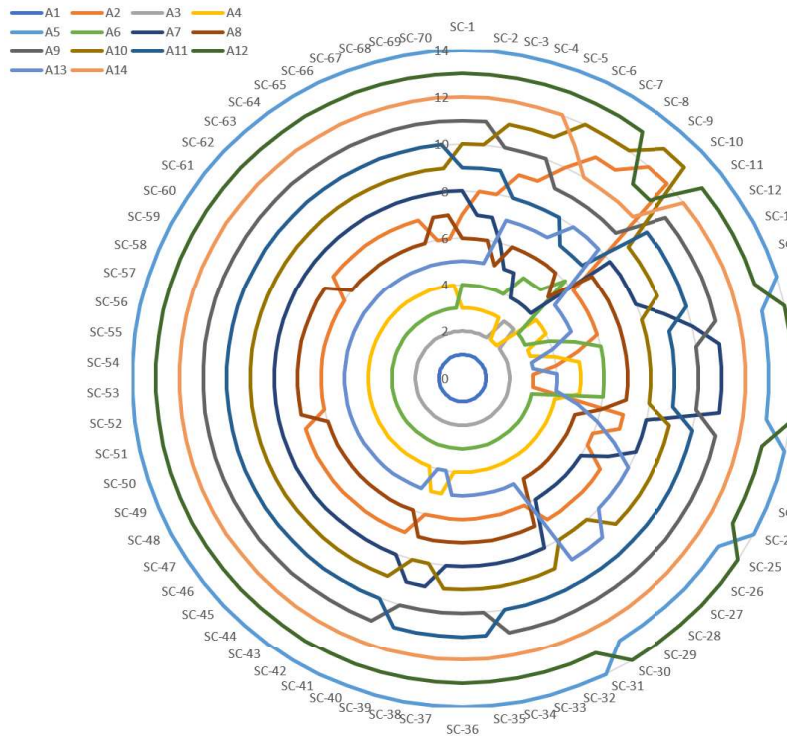
Burada,  $w_{fv}^1$  j-inci kriterin değiştirilmiş yeni ağırlığını gösterirken  $w_{pv}^1$ , kriterin önceki ağırlık değerini,  $m_v$  ise %10 dan %100 e kadar kriterin ağırlık değerinde azaltma oranını ifade etmektedir.  $w_{nv}^2$  diğer kriterlerin yeni değerini, n kriter sayısını,  $w_{pv}^2$  diğer kriterlerin önceki değerini göstermektedir.

Duyarlılık analizinin ilk aşamasında elde edilen sonuçlara bakıldığında A1 alternatifi bütün senaryolar için en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. İkinci en iyi alternatif olan A3 ise 67 senaryo için (%95,7) sıralamadaki yerini korumuştur. Üçüncü en iyi opsiyon olan A6 ise 53 senaryoda mevcut pozisyonunu korumuş, diğer alternatifler Tablo 16 de gösterildiği gibi önerilen yaklaşım ile belirlenen sıralama sonuçları senaryolara göre çok az farklılık göstermiştir.

Sonuç olarak, önerilen yaklaşım uygulanarak elde edilen sonuçlar ile kriter ağırlıkları değiştirilerek belirlenen 70 senaryoya göre elde edilen sonuçlar arasında ortalama %73,78 oranında benzerlik söz konusudur. Ayrıca, A14 alternatifi 65 senaryoda (%92,86), A5 alternatifi 59 senaryoda (%84,29), A12 ise 57 senaryoda (%81,43) sıralama değerleri değişmemiş, aynı sırada yer almıştır (Tablo 16).

**Tablo 16: Senaryolara Göre Sonuçların Benzerlikleri**

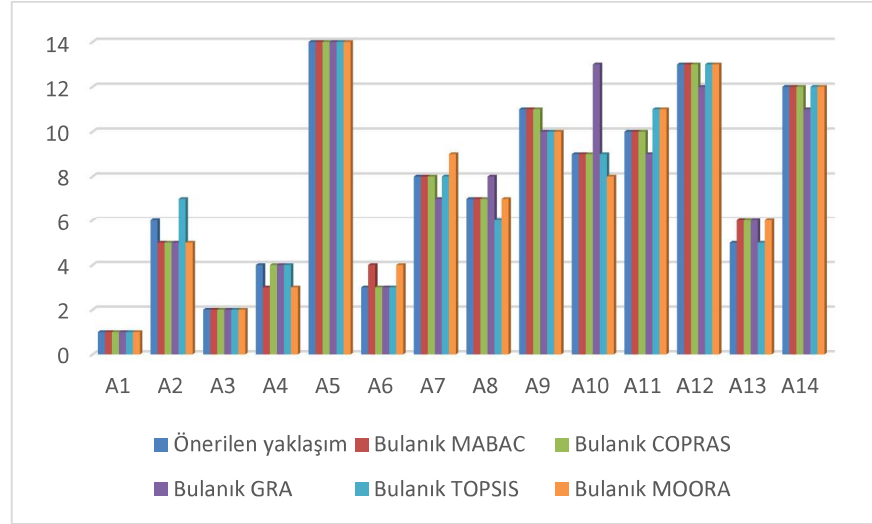
Sıra no	Senaryolara göre alternatiflerin sıralamaları														%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
A1	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,00
A2	0	0	3	1	1	28	28	2	2	1	2	2	0	0	40,00
A3	0	67	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95,71
A4	0	3	9	52	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74,29
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	59	84,29
A6	0	0	53	7	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	75,71
A7	0	0	0	4	2	7	3	46	3	1	4	0	0	0	65,71
A8	0	0	0	0	11	28	31	0	0	0	0	0	0	0	40,00
A9	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	53	0	0	0	75,71
A10	0	0	0	0	0	0	0	11	49	2	3	3	2	0	70,00
A11	0	0	0	0	0	0	3	4	8	50	5	0	0	0	71,43
A12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	57	11	81,43
A13	0	0	2	6	46	1	5	7	3	0	0	0	0	0	65,71
A14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	65	0	0	92,86
															73,78



**Şekil 2: Senaryolara Göre Değişim Grafiği**

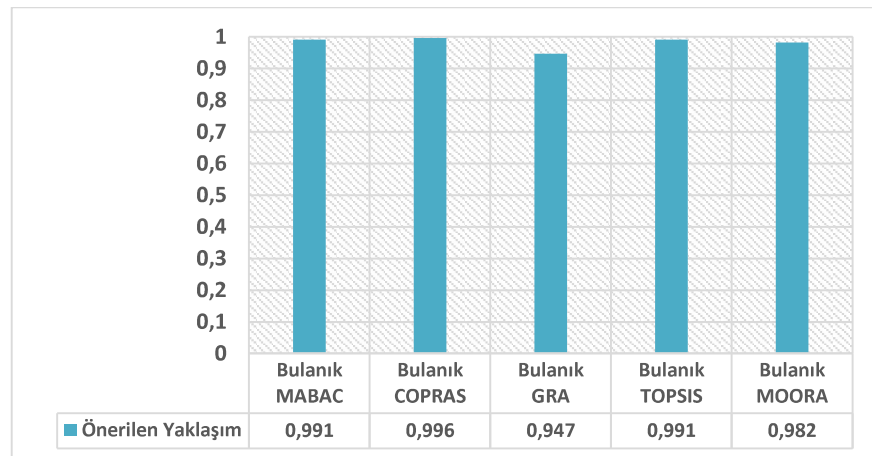
İkinci aşamada başlangıç karar matrisine bulanık küme tabanlı farklı ÇKVV teknikleri uygulanmıştır. Bu perspektifte, Bulanık MABAC (Bozanic vd. 2019), Bulanık COPRAS (Fouladgar vd. 2012), Bulanık GRA (Akyurt ve Kabadayı, 2020), Bulanık TOPSIS (Torfi vd. 2010) ve

Bulanık MOORA (Akkaya vd. 2015) olmak üzere beş farklı teknik uygulanmış ve yapılan analizler sonucunda elde edilen karar alternatiflerinin sıralamaları Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3:** Farklı Bulanık ÇKKV Tekniklerine Göre Alternatiflerin Sıralaması

Şekil 3'e göre tüm tekniklerin uygulama sonucunda, A1 karar alternatifinin ilk sırada önerildiği görülmektedir. Bunun dışında tüm tekniklerde aynı sıraya sahip olan diğer karar alternatiflerinin A3 ve A5 olduğu gözlemlenirken, diğer karar alternatiflerinin sıralama sonuçlarında ise bazı farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Sıralamalar arasındaki korelasyonlar ise Şekil 4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4:** Korelasyon değerleri

Şekil 4'e göre önerilen yaklaşımın uygulanması sonucunda karar alternatifleri için belirlenen sıralamalar ile en yüksek korelasyonun Bulanık COPRAS ( $r=0.996^{**}$ ) en düşük korelasyonun ise Bulanık GRA yöntemine göre ( $r=0,947^{**}$ ) elde edilen sıralamalar arasında olduğu belirlenmiştir.

#### **4. TARTIŞMA ve DEĞERLENDİRME**

Küresel ticaret ve tedarik zincirlerinin en önemli paydaşlarından biri denizyolu işletmeciliğidir. Buna bağlı olarak denizyolu taşımacılığın günümüzde dünya ticaretinin en önemli ulaşım yolu haline gelmiştir (Bathrinath vd. 2021). Öte yandan, limanlar denizyolu taşımacılığının en temel bileşenlerinden birisidir. Aynı zamanda limanların farklı özellik ve karakteristiklerinin yanı sıra giderek bu özelliklerin daha değişken ve dinamik bir nitelik kazanması denizyolu işletmeleri açısından liman tercihlerini karar verme problemi haline getirmektedir. Buna bağlı olarak son yıllarda liman seçimine ilişkin literatür giderek büyümektedir.

Buna karşılık, literatürde yer alan çalışmalarda kullanılacak kriterler ve kriterlerin görece önem değerleri hakkında ortak bir görüş yoktur. İlk bölümde bahsedildiği gibi yazarlar çalışmalarında bazı kriterleri ortak bir biçimde kullansa da kullanılan kriterlerin sayısı, çerçevesi ve tanımı konusunda ortak bir değerlendirme bulunmamaktadır. Bunun sonucunda literatürde yer alan çalışmalar farklı kriterleri en önemli kriter olarak gösterebilmektedir. Bunun yanı sıra, literatürdeki bazı çalışmalar seçim süreçlerine etki eden kriterler açısından ortak sayılabilecek değerlendirme ve analizler ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışmada en önemli kriter olarak C3 Depo sahası belirlenmiştir. Bu kriter liman sahasının sahip olduğu depolama alanını ve kapasitesini işaret etmektedir. Özellikle Marmara bölgesi özelinde limanların çok geniş bir hinterlandı besliyor olması bir liman tesisi için yüksek düzeyde depolama alanı, dolayısıyla kapasitesine sahip olması beklenen ve arzu edilen bir durumdur. Elde edilen bu bulgu Bathrinath vd. (2021) tarafından yapılan çalışmanın bulgularınca desteklenmektedir. Yazarlar söz konusu çalışmada daha iyi depolama ve benzeri lojistik alanlara sahip limanları daha tercih edilebilir olarak değerlendirmişlerdir. Benzer bir biçimde Görçün ve Küçükönder (2021) bir başka çalışmalarında Ro-Ro limanları için en önemli kriter olarak  $m^2$  cinsinden depolama alanını en belirleyici faktör olarak tespit etmişlerdir. İkinci en önemli kriter ise C7 Elleçlenen Konteyner Sayısı kriteridir. Özellikle marmara limanlarının karadeniz ve akdeniz arasında bir geçiş lokasyonu üzerinde olmaları bu limanların aynı zamanda transit liman olma özelliklerini öne çıkarmaktadır. Buna bağlı olarak limanların transit liman olarak da hizmet verebilmesi için en önemli

kriterlerin başında elleçleme kapasitesi gelmektedir. Doğal olarak, bu konuda en yüksek avantajı sağlayan alternatifin seçilmesi rasyonel bir karar olarak görülmektedir. Aynı şekilde C2 Ekipman Sayısı kriterinin üçüncü en önemli kriter olması bu argümanı desteklemektedir.

Bu kapsamda, bu çalışma bir takım önemli yönetimsel çıkarımlar ve metodolojik katkılara sunmaktadır. Öncelikle, literatür çalışmasına ek olarak gerçekleştirilen kapsamlı saha araştırması sonucunda güncel ve gerçek hayat karar verme problemlerine uyarlanabilecek bir kriter seti tanımlanmaktadır. Ayrıca, geniş hinterlanda sahip limanların gelişmiş depolama hizmeti verebilecek şekilde yeterli alan ve kapasiteye sahip olması çalışmanın bir başka önemli çıkarımıdır. Buna bağlı olarak liman işletmeleri denizcilik işletmelerine daha iyi ve kaliteli hizmet vermek, bu kapsamda tercih edilebilirliklerini artırabilmek için depolama kapasite ve yeteneklerini geliştirmek üzere çözümler arayabilirler. Aynı zamanda elleçleme kapasitesi ve buna paralel olarak ekipman sayı ve kapasitesi limanların rekabet edebilirliğinin diğer parametreleridir. Bu kapsamda liman işletmeleri bu yeteneklerini geliştirerek daha fazla tercih edilebilir hale gelebilirler.

Ek olarak, mevcut çalışma bulanık SWARA ve MARCOS yöntemlerinin entegre edilmesi ile oluşturulan hibrit bir yaklaşım önermekte, her iki yöntemde avantajlarının yanı sıra, bulanık versiyonlarının tercih edilmesi söz konusu yaklaşımın belirsizlikleri yakalama ve üstesinden gelebilme anlamında güç ve etkinliğini artırmaktadır. Buna bağlı olarak Tadi'c vd. (2020) çalışmalarında SWARA yöntemini kullanmış ve oldukça tutarlı ve rasyonel sonuçlar elde etmişlerdir. Gök-Kısa vd. (2020) farklı bir yöntem kullanmış olsa da avantajlarını ve katkılarını dikkate alarak gelecek çalışmalar için öneriler kısmında SWARA yönteminin kullanılmasını önermişlerdir.

Buna ek olarak, bulanık MARCOS yöntemi değerlendirme süreçleri ile ilgili birçok belirsizliğin üstesinden gelebildiği gibi, son derece tutarlı ve kararlı sonuçlar sağlayabilmektedir. Çalışmada elde edilen sıralama sonuçları değerlendirildiği zaman, A1 en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Bunun temel nedenlerinin başında A1 alternatifi personel sayısı dışında hemen hemen tüm kriterler açısından tatmin edici değerlere sahiptir. Türklim tarafından yayınlanan raporlar da bu sonucu doğrulamaktadır. Buna göre Türklim geçtiğimiz yıl en fazla büyüme kaydeden limanları Mersin (MIP), Asyaport, Marport ve Kumport olarak işaret etmiştir (Türklim, 2021)

Diğer popüler karar verme yöntemleri ile karşılaştırma şeklinde gerçekleştirilen duyarlılık analizinin ikinci aşaması da bunu

kanıtlamaktadır. Tüm tekniklerde sıralamada en yüksek önem derecesine sahip alternatif değişmediği gibi, önerilen yaklaşım ile diğer yöntemlerin sıralama sonuçları arasında 0,90'ın üzerinde oldukça yüksek kabul edilebilecek bir korelasyon bulunduğu görülmüştür. Bu durumda yöntemin tutarlılığını ve kararlılığını ispatlamaktadır. Nihai olarak elde edilen sonuçlar bir liman işletmesinin sürdürülebilirliği, tercih edilebilirliği ve performansı açısından önemli çıkarımlar ileri sürmekte ve liman işletmeleri tarafından dikkate alınabilecek bazı içgörüler sağlamaktadır.

Bununla birlikte çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. Çalışma kapsamında tanımlanan seçim kriterleri ileride ortaya çıkabilecek gelişmelere paralel olarak farklılaşabilir ve buna bağlı olarak da kriter sayısında bazı değişiklikler görülebilir. Ek olarak benzer durum karar alternatiflerinin sayısı içinde geçerlidir. Ayrıca çalışmada görüşüne başvurulmuş uzman grup üyelerinin değişmesine bağlı olarak önerilen yaklaşımın sonuçlarında bazı değişiklikler söz konusu olabilir. Gelecek çalışmalar için önerilen yaklaşım gri teori, sezgisel bulanık kümeler ve nötrosofik bulanık kümeler gibi farklı yaklaşımlar kullanılarak genişletilebilir.

## **TEŞEKKÜR**

Yazarlar çalışmaya uzman grup üyesi olarak katılım sağlayan tüm karar vericilere ve hakemlere değerli görüş ve katkılarından dolayı teşekkür etmektedir.

## **KAYNAKÇA**

Agarwal, S., Kant, R. ve Shankar, R. (2020). Evaluating solutions to overcome humanitarian supply chain management barriers: A hybrid fuzzy SWARA – fuzzy WASPAS approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101838.

Akkaya, G., Turanoglu, B. ve Oztas, S. (2015). An integrated fuzzy ahp and fuzzy MOORA approach to the problem of industrial engineering sector choosing. *Expert Systems with Applications*, 42, 9565-9573.

Akyurt, İ.Z. ve Kabadayi, N. (2020). Bulanık AHP ve bulanık gri ilişkiler analizi yöntemleri ile kargo uçak tipi seçimi bir Türk havayolu firmasında uygulama. *Journal of Yaşar University*, 15 (57), 38–55.

Bakır, M. ve Atalık, Ö. (2021). Application of fuzzy AHP and fuzzy MARCOS approach for the evaluation of e-service quality in the airline

industry. *Decision Making Applications in Management and Engineering*, 4 (1), 127-152.

Barzilai, J. ve Golany, B. (1994) Ahp rank reversal, normalization and aggregation rules. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 32, 2, 57-64.

Bathrinath, S., Saravana K.P., Venkadesh, S., Supriyan, S.S., Koppiahraj, K ve Bhalaji, R.K.A. (2021). A fuzzy COPRAS approach for analysing the factors affecting sustainability in ship ports. *Materials Today: Proceedings*, 50, 1017-1021.

Belton, V. ve Gear T. (1983). On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega*, 11 (3), 228-230.

Blagojević, A., Kasalica, S., Stević, Ž., Tričković, G. ve Pavelkić, V. (2021). Evaluation of safety degree at railway crossings in order to achieve sustainable traffic management: A novel integrated fuzzy MCDM model. *Sustainability*, 13 (2), 832.

Blonigen, B.A. ve Wilson, W.W. (2006). International Trade, Transportation Networks and Port Choice Manuscript. University of Oregon, Eugene.

Bozanic, D., Tesic, D. ve Kocic, J. (2019). Multi-criteria FUCOM-Fuzzy MABAC model for the selection of location for construction of singlespan bailey bridge. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2 (1), 132-146.

Branch, A.E. (2008). Elements of Shipping. London and New York: Routledge.

Brooks, M. (1984). An alternative theoretical approach to the evaluation of liner shipping: Part 1, Situation factors. *Maritime Policy and Management*, 11 (1), 35-43.

Chang D.Y. (1996) Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95 (3), 649–655.

Chang, Y.-T., Tongzon, J., Luo, M., Lee, P. (2012). Estimation of optimal handling capacity of a container port: An economic approach. *Transport Reviews*, 32, 241-258.

Chiu, R.-H. (1996). Logistics Performance of Liner Shipping in Taiwan.



Cardiff: University of Wales.

Chou, C.C. (2007). A fuzzy MCDM method for solving marine transshipment container port selection problems. *Applied Mathematics and Computation*, 186, 435-444.

Collison, F.M. (1984). North to Alaska: Marketing in the Pacific Northwest-Central Alaska linear trade. *Maritime Policy Management*, 11 (2), 99–112.

Deveci, M., Özcan, E., John, R., Covrig, C.-F. ve Pamucar, D. (2020). A study on offshore wind farm siting criteria using a novel interval-valued fuzzy-rough based Delphi method. *Journal of Environmental Management*, 270, 110916.

Ding, J.F. ve Chou, C.C. (2011). A fuzzy MCDM model of service performance for container ports, *Scientific Research and Essays*, 6 (3), 559-566.

Dyer, J.S. (1990). A clarification of remarks on the analytic hierarchy process. *Management Science*, 36, 274-275

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) multicriteria model. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121981.

Ecer, F. (2020). Çok Kriterli Karar Verme Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir Yaklaşım. İstanbul: Seçkin Yayıncılık.

Foster, T.A. (1979). What's important in a port. *Distribution World Wide*, 78 (1), 33-36.

Fouladgar, M.M., Yazdani, A. ve Zavadskas, E. (2012). Risk evaluation of tunneling projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12, 1-12.

Gong, X., Yang, M. ve Du, P. (2021). Renewable energy accommodation potential evaluation of distribution network: A hybrid decision-making framework under interval type-2 fuzzy environment. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124918.

Gök, A.C. ve Perçin, S. (2017). Bütünleşik bulanık DEMATEL – Bulanık VIKOR yaklaşımının makine seçimi problemine uygulanması. *Journal of*

*Yasar University*, 12 (48), 249-256.

Gök-Kısa, A.C., Çelik, P. ve Peker, İ. (2021). Performance evaluation of privatized ports by entropy based TOPSIS and ARAS approach. *Benchmarking: An International Journal*, 29 (1), 1463-5771.

Görçün, Ö.F. ve Küçükönder, H. (2021). An integrated MCDM approach for evaluating the Ro-Ro marine port selection process: A case study in Black Sea region. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 13 (3), 203-223.

Görçün, Ö.F. (2021). Efficiency analysis of Black Sea container seaports: application of an integrated MCDM approach. *Maritime Policy & Management*, 48 (5), 672-699.

Grosso, M. ve Monteiro, F. (2008). Relevant strategic criteria when choosing a container port: The case of the Port of Genoa. *Association for European Transport and Contributors*, 1-21.

Kaya, S.K. ve Erginel, N. (2020). Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123880.

Kersulienė, V., Zavadskas, E. ve Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11, 243-258.

Liu, D.C., Ding, J.F., Liang, G.S. ve Ye, K.D. (2020). Use of the fuzzy AHP-TOPSIS method to select the most attractive container port. *Journal of Marine Science and Technology*, 28 (2), 92-104.

Majidi, A., Mirzapour, A.S.M.J. ve Hashemkhani, Z.S. (2021). Sustainability ranking of the Iranian major ports by using MCDM methods. *Mathematics*, 9 (19), 2451.

Malchow, M.B. ve Kanafani, A. (2004). A disaggregate analysis of port selection. *Transportation Research Part E*, 40, 317-337.

Manzano, J.I.C., Castro, N.M., Laxe, F.G., López, V.L.M. ve Arévalo, Q.T. (2009). Low-cost port competitiveness index: Implementation in the Spanish port system. *Marine Policy*, 33 (4), 591-598.

Mardani, A., Zavadskas, E., Khalifah, Z., Zakuan, N., Jusoh, A., Nor, K. ve Khoshnoudi, M. (2017). A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-41.

Mavi, R.K., Goh, M. ve Zarbakhshnia, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 2401-2418.

McCalla R.J. (1994). Canadian container ports: How have they fared? How will they do? *Maritime Policy & Management*, 21 (3), 207-217.

Murphy, P., Daley, J. ve Dalenberg, D. (1992). Port selection criteria: An application of a transportation research framework. *Logistics and Transportation Review*, 28 (3), 237-255.

Nur, F., Marufuzzaman, M., Puryear, S.M., Wall, E.S. ve Burch, R. (2021). Inland waterway ports selection and evaluation using stochastic analytical hierarchy process. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 8 (3), 217-237.

Özdağoğlu A., Keleş M.K. ve Işıldak B. (2021). Bulanık SWARA ve bulanık MARCOS yöntemleriyle sivil havacılıkta kabin memuru seçimi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 12 (2), 284-302.

Pak, J.Y., Thai, V.H. ve Yeo, G.T. (2015). Fuzzy MCDM approach for evaluating intangible resources affecting port service quality. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31 (4), 459-468.

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.

Pearson, R. (1980). Container Line Performance and Service Quality, University of Liverpool, Marine Transport Center, Liverpool.

Perçin, S. (2019). An integrated fuzzy SWARA and fuzzy AD approach for outsourcing provider selection. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30 (2), 531-552.

Peters, H. (1990). Structural changes in international trade and transport markets: The importance of markets. In: *2nd KMI International Symposium*, 58-75. Seoul, South Korea.

Petrovic, G., Mihajlovic, J., Cojbasic, Z., Madic, M. ve Marinkovic, D. (2019). Comparison of three fuzzy MCDM methods for solving the supplier selection problem. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 17 (3), 455-469.

Puška, A., Stojanović, I., Maksimović, A. ve Osmanović, N. (2020). Evaluation software of project management used measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS) method. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3 (1), 89-102.

Rani, P., Mishra, A.R., Krishankumar, R., Mardani, A., Cavallaro, F., Soundarapandian, R.K. ve Balasubramanian, K. (2020). Hesitant fuzzy SWARA-Complex proportional assessment approach for sustainable supplier selection (HF-SWARA-COPRAS). *Symmetry*, 12 (7), 1152.

Rijsenbrij, J.C. (1998). Multi-trailer systems - A Contribution to cost effective transportation (Niet Eerder Opgenomen). *Port Technology International*, 7, 75-78.

Saeed, N. (2009). An analysis of carriers' selection criteria when choosing container terminals in Pakistan. *Maritime Economic and Logistics*, 11(3), 270-288.

Sayareh, J. ve Alizminia H.R. (2014). Hybrid decision-making model for selecting container seaport in the Persian Gulf. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 30 (1), 75-95.

Sengul, D. ve Cagil, G. (2020). Bulanık SWARA ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile iş değerlemesi, *DUJE*, 11 (3), 965-976.

Slack, B. (1985). Containerization, inter-port competition and port selection. *Maritime Policy & Management*, 12 (4), 293-303.

Socorro, G.C.M., Teresa, L.M. (2012). On rank reversal and TOPSIS method. *Mathematical and Computer Modelling*, 56 (5-6), 123-132.

Stanković, J.J., Marjanović, I., Papanthasiou, J. ve Drezgić, S. (2021). Social, economic and environmental sustainability of port regions: MCDM approach in composite index creation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (1), 74.

Stankovic, M., Stevic, Ž., Das, D.K., Subotic, M. ve Pamucar, D. (2020). A new fuzzy MARCOS method for road traffic risk analysis. *Mathematics*,

2020, 8, 457.

Starr, J. (1994), The Mid-Atlantic load centre: Baltimore or Hampton road? *Maritime Policy & Management*, 21 (3), 219-227.

Stević, Ž., Pamučar, D., Puškac, A. ve Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of Alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231.

Sumrit, D. (2020). Supplier selection for vendor-managed inventory in healthcare using fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Decision Science Letters*, 9, 233-256.

Tadić, S., Krstić, M., Roso, V. ve Brnjac, N. (2020). Nikolina dry port terminal location selection by applying the hybrid grey MCDM Model. *Sustainability*, 12 (17), 6983.

Tadić, S. Zečević, S. ve Krstić, M. (2018). Assessment of the political city logistics initiatives sustainability. *Transportation Research Procedia*, 30, 285-294.

Tiwari, P., Itoh, H. ve Doi, M. (2003). Containerized cargo shipper's behavior in China: A discrete choice analysis. *Journal of Transportation and Statistics*, 6 (1), 71-86.

Tongzon, J. (2001). Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A*, 35, 107-122.

Tongzon, J. (2002). Port choice determinants in a competitive environment. In: *Proceedings of Annual Conference and Meeting of the International Association of Maritime Economists – IAME*. Panama.

Tongzon, J. (2009). Port choice and freight forwarders. *Transportation Research Part E*, 45, 186-195.

Tongzon, J. (1995), Determinants of port performance and efficiency. *Transportation Research Part A*, 29 (3), 245-252.

Torfi, F., Zanjirani F. ve Rezapour, S. (2010). Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and fuzzy TOPSIS to rank the alternatives. *Applied Soft Computing*, 10, 520-528.

Türklüm (2021). *TÜRKLİM limancılık sektörü 2021 raporu*, İstanbul.

Ulutas, A., Karakus, C.B. ve Topal, A. (2020). Location selection for logistics center with fuzzy SWARA and CoCoSo methods. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38, 4693-4709.

Vesković, S., Stević, Ž., Stojić, G., Vasiljević, M. ve Milinković, S. (2018). Evaluation of the railway management model by using a new integrated model DELPHI-SWARA-MABAC. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 1 (2), 34-50.

Willingale, M.C. (1981). The port routing behavior of short-sea operators: Theory and practice. *Maritime Policy & Management*, 8 (2), 109-120.

Yeo, G.T., Roe, M. ve Dinwoodie J. (2008). Evaluating the competitiveness of container ports in Korea and China. *Transportation Research Part A*, 42, 910-921.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 (3), 338-353.

Zarbakshnia, N., Soleimani, H. ve Ghaderi, H. (2018). Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria. *Applied Soft Computing*, 65, 307-319.

Zolfani, S.H. ve Saparaukas, J. (2013). New application of SWARA method in prioritizing sustainability assessment indicators of energy system. *Engineering Economics*, 24 (5), 408-414.