

LNG TEDARİK ZİNCİRLERİNDE YENİ BİR KONSEPT: FSRU GEMİLERİ VE FSRU GEMİSİ SEÇİM KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Serdar ALNİPAK¹

ÖZET

Amaç: Son dönemde pek çok ülke LNG ihtiyaçlarını, FSRU gemilerinden faydalanarak sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, akademik literatürde rastlanmayan FSRU gemi seçimi probleminde göz önünde bulundurulması gereken kriterleri belirlemek, bu kriterlerin önem ağırlıklarını hesaplamak ve kriterler arası nedensel ilişkileri araştırmaktır.

Yöntem: İlgili konuda çok az sayıda bulunan uzman grubundan ulaşılabilen üç kişi ile grup odak çalışması yapılarak kriterler belirlenmiş, belirlenen bu kriterlerin önem ağırlıklarının hesaplanması ve kriterler arası nedensel ilişkilerin tespiti için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden (AHS, DEMATEL, SWARA ve FUCOM) yararlanılmıştır.

Bulgular: Yapılan analizde REGAS kapasitesi, depolama kapasitesi ve maliyetler en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Tüm kriterlerin neden sonuç ilişkileri incelendiğinde maliyetler, teslim zamanı, tank tipi ve gemi draftı kriterleri alıcı/etkilenen (receiver) diğerleri etkileyen (impact) kriterler olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra FSRU seçiminde; REGAS kapasitesi ve depolama kapasitesi kriterlerinin hem birbirlerini hem de maliyetleri etkilediği tespit edilmiştir.

Özgünlük: Akademik literatürde FSRU gemilerinin seçimine yönelik kriterlerin belirlendiği, önem ağırlıklarının hesaplandığı ve kriterler arasındaki ilişkilerin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: FSRU Gemi Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, LNG Taşımacılığı, Lojistik Yönetimi.

JEL Kodları: L91, C02, R40.

A NEW CONCEPT IN LNG SUPPLY CHAINS: FSRU VESSELS AND EVALUATION OF FSRU VESSEL SELECTION CRITERIA

ABSTRACT

Purpose: Recently, many countries supply their LNG needs by benefiting from FSRU ships. The aim of this study is to determine the criteria to be considered in the FSRU ship selection problem, which is not found in the academic literature, to calculate the importance weights of these criteria and to investigate the causal relationships between them.

Methodology: The criteria were determined by conducting a group focus study with three people who could be reached from a group of experts, who are very few on the subject, and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods (AHP, DEMATEL, SWARA and FUCOM) were used to calculate the importance weights of these criteria and to determine the causal relationships between them.

Findings: According to the analysis, REGAS capacity, storage capacity and costs were determined as the most important criteria. Furthermore costs, delivery time, tank type and vessel draft criteria were determined as receiver and impact criteria. In addition to these it has been found that REGAS capacity and storage capacity criteria affect both each other and costs in terms of FSRU selection.

Originality: There is no study found, in which the criteria for the selection of FSRU ships were determined, the importance weights were calculated and the relations between the criteria were examined, in the relevant literature.

Keywords: FSRU Vessel Selection, Multi Criteria Decision Making, LNG Transportation, Logistics Management.

JEL Codes: L91, C02, R40.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, İstanbul, Türkiye, serdar.alnipak@nisantasi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5722-9960.

1. GİRİŞ

Tüm Dünya'da temiz, güvenilir ve uygun maliyette enerjiye olan talep artmaktadır. Ülkelerin bu özelliklere sahip enerji türlerine erişimi ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda en temiz yanan hidrokarbon olan doğal gaz ve LNG (Liqified Natural Gas-Sıvılaştırılmış Doğal Gaz) dünyanın geleceği olarak görülmektedir (Lee ve diğerleri, 2014). Enerji sektörünün önemli bileşenlerinden biri olan LNG, çeşitli yöntemler ile güvenli ve emniyetli olarak taşınabilmektedir. -260 °F'de soğutulmuş sıvılaştırılan doğal gazın uzun mesafelere, büyük hacimlerde taşınmasında en sık kullanılan yöntemlerden birisi deniz yolu taşımacılığıdır (Nersesian, 2010). LNG terminallerine tanker gemileri ile yapılmakta olan bu yöntem halen kullanılmakla birlikte sektörde alternatif yöntemler de devreye alınmaktadır. Daha kısa sürede inşa, yüksek mobilite, görece düşük maliyet vb. özelliklere sahip FSRU (Floating Storage and Regasification Unit-Yüzer Depolama ve Tekrar Gazlaştırma Ünitesi)'lar bu yöntemlerden en popüler olanıdır. Kara LNG terminallerine alternatif olarak ortaya çıkan FSRU'lar özellikle LNG ithalatı yüksek ülkelerin bu ürünü depolama ve yeniden gazlaştırma aşamalarında büyük esneklik sağlamaktadır. Ülke ve kurumların LNG ihtiyaçlarını karşılamada rol alan FSRU'lar işlevsel olarak LNG gemileri ile LNG terminallerinin sahip olduğu özelliklere sahiptir (Menteş ve diğerleri, 2019). FSRU'lar ülkelerin ihtiyaç duydukları enerjiyi karşılamalarında, LNG tedarik zinciri alternatiflerini çeşitlendirmelerinde, yaşanabilecek fiyat ve talep dalgalanmalarında stratejik değerinde bir çözüm yoludur (Chung, Park ve Coimbra, 2014; Budiyo ve diğerleri, 2020).

Pek çok ülke için de yeni olan FSRU tesisleri ülkemizde de kullanılmaktadır. 2016 yılının sonu itibarıyla Aliğa (İzmir)'da devreye alınan FSRU terminali ve 2021 yılında Dörtöl (Hatay)'da devreye alınan 110 milyon m³ depolama ve 28 milyon m³ gazlaştırma kapasiteli FSRU gemisi (Ertuğrul Gazi) önem arz etmektedir. 295 metre uzunluk, 46 metre genişlik ve 43 metre yüksekliğe sahip 28 milyon m³ gazlaştırma kapasiteli bu gemi ile Türkiye'nin günlük gaz kapasitesinin %8,2'si karşılanabilmektedir.

Enerji tedarikine yönelik bir alternatif olarak FSRU gemilerine yapılacak yatırım kararları stratejik kararlardır. Bu bağlamda FSRU gemisi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterler, yapılacak yatırımın ve geminin kullanılacağı süreçlerin verimliliği, etkinliği ve performansı ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda doğru belirlenmiş kriterler çerçevesinde en uygun geminin seçilmesi işletmenin karlılığını arttırmada, daha rasyonel yatırım kararları almasında, daha yüksek operasyonel verimliliğe ulaşmasında stratejik avantajlar sağlayabilecektir. Elde edilecek bu avantajlar aynı zamanda LNG tedarik zincirlerinin diğer üyelerine ve ülke ekonomilerine de katkı sağlayabilecektir. Gerek güncel bir konu olması gerek ise akademik literatürde çok kısıtlı sayıda çalışma olması FSRU'yu konu alan çalışmaların artırılmasını zorunlu kılmaktadır.

Artan dünya nüfusu ve gelişen sanayi, enerji ihtiyacını fazlaştırmakta ve buna paralel olarak tüm dünyada doğal gaz arz ve kullanım miktarları yükselmektedir. Bu bağlamda son 5 yılda %45'lik artış gösteren küresel LNG ihracat alt yapısı Mayıs 2020'de yılda 442 milyon tona, ithalat altyapısı ise 844 milyon tona çıkmıştır (Brauers, Braunger ve Jewell, 2021). Ayrıca LNG, doğal gaz boru hattı altyapısının yetersiz ve eksik olduğu bölgelerde doğal gaz tedarikinin sağlanması ve tedarik yolları ile enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinde önemli bir seçenek oluşturmaktadır (Savickis ve diğerleri, 2021). LNG; sevkiyat, dağıtım ve depolama için yaklaşık -260 °F'de soğutulmuş sıvı hale getirilmiş doğal gazdır. Doğal gazın sıvı haldeki hacmi, gaz halindeki hacminden yaklaşık 600 kat daha azdır (Serrato ve diğerleri, 2021). Böylece sıvılaştırma işlemi, doğal gazın önemli mesafelere – farklı kıtalara ve dünyanın farklı bölgelerine veya sadece boru hattı altyapısının ulaşamadığı yerlere – taşınmasını mümkün kılmaktadır (Whitney ve Behrens, 2010: 6-10). LNG genellikle büyük hacimli taşımalarda hem güvenlik hem de izolasyon amaçlı kullanılan çift cidarlı taşıyıcı gemiler ile taşınmakta ve LNG terminallerinde boşaltılmaktadır. LNG, kara terminallerinde doğal gaza dönüştürülmekte ve boru hatları ile şebekelere veya küçük ölçekler halinde kara yolu taşıma araçlarına aktararak dağıtımı yapılabilmektedir (Swennen, 2017: 6-12). 2010'ların başında yalnızca 23 ülkenin LNG'ye erişimi var iken günümüzde doğal gaz piyasası; erişilebilirlik, hizmet çeşitliliği, tedarik sistemleri vb. açılardan farklılaşmış ve 2019 yılında LNG ithal eden ülke sayısı 43'e ulaşmıştır (Savickis ve diğerleri, 2021). Bu konvansiyonel yöntem alternatif olarak ortaya çıkan yüzer LNG tesisi konsepti; LNG'nin üretimi ve depolanması konusunda yaşanabilecek problemlere (inşa, coğrafi kısıtlamalar, jeopolitik riskler, talep ve fiyat dalgalanmaları, çevresel sürdürülebilirlik ve güvenlik) yönelik alternatif bir çözüm olarak kabul edilmektedir (Yoo, 2017; Chung, Park ve Coimbra, 2014). Yüzer LNG tesisleri; LNG FPSO (Floating Production Storage & Offloading Vessel) ve LNG FSRU olarak sınıflandırılmaktadır (Song, Woo ve Shin, 2011). Genel anlamda FSRU gemilerinin tasarımı düzenli kuru havuzlama, uluslararası deniz güvenliği standartları ve LNG'nin ticari operasyonel süreçleri temel alınarak yapılmaktadır (Songhurst, 2017).

Dünya çapında pek çok kamu ve özel kurum hızla yüzer LNG tesislerine -özellikle FSRU gemilerine- yatırım yapmaya başlamıştır (Lee ve diğerleri, 2014; Savickis ve diğerleri, 2021). FSRU gemileri; kıyı tabanlı LNG terminalleri ile LNG gemilerinin bir bileşimi olarak LNG sektörünün hızla gelişen bir parçasını

oluşturmaktadır. 21.yy'ın başlarında kullanımına başlanan FSRU'lar LNG'yi depolayabilen ve yeniden gazlaştırıp başka gemilere, terminallere, doğrudan boru hatlarına ve karayolu tankerlerine naklini sağlayabilen yüzer ve çok işlevli tesislerdir (Koska-Legieć, 2018). Terminaller ile karşılaştırıldığında doğal gazı son kullanıcıya daha az maliyet ve esneklik ile ulaştıran FSRU'lar pek çok ülkenin doğal gaz erişimini kolaylaştırmaktadır (Shabaneh ve Schenckery, 2020; Song, Woo ve Shin, 2011). FSRU'larda yeniden gazlaştırma işlemi için kara terminalleri ile aynı teknoloji kullanılmaktadır (Songhurst, 2017). FSRU'lar konvansiyonel LNG terminallerine göre pek çok (yüksek esneklik, hızlı dağıtım, düşük maliyet vb.) avantajlara sahiptir (Kulitsa ve Wood, 2018a; Budiyanto ve diğerleri, 2020). Bir FSRU, yeniden gazlaştırılmış LNG'yi son kullanıcıya 50 milyon m³ ile 750 milyon m³ arasında değişen akış hızlarında iletebilmektedir. Ayrıca FSRU'lar kolay kurulum ve hızlı teslimat avantajlarına da sahiptir (Kim ve diğerleri, 2021; Lee ve diğerleri, 2014; Savickis ve diğerleri, 2021). Bu bağlamda yeni bir FSRU'nun maliyeti, yeni bir LNG kara terminali maliyetinin %50-60'ı kadardır ve yarı süresinde inşası yapılabilmektedir. Ayrıca LNG kara terminali kurmak yerine bir FSRU gemisini kısa veya orta vadeli kiralamak âtil varlık riskini de azaltmaktadır (Shabaneh ve Schenckery, 2020). FSRU gemileri için temelde 2 ana tip maliyet söz konusudur. Bunlar; sermaye (inşa, altyapı ve diğer alt kalemlerinden oluşmaktadır) ve işletme maliyetleri (personel, ofis desteği, yakıt, kimyasallar, sigorta, liman ücretleri, römorkör, tarama, finansman maliyetleri vb. alt maliyetlerden oluşur)'dir (Songhurst, 2017).

Yüzer ve denizde yeniden gazlaştırma tesisleri 2005'te tek bir terminal iken Şubat 2021'de 27 adede çıkmıştır (IGU, 2021). Şu an Kore'de 3 tersanede inşa edilebilen FSRU gemileri 2020 yılı sonu itibariyle önceki yıllardaki istikrarlı artışların ardından 43 adede yükselmiş, 2021 yılı temmuz ayı itibariyle ise bu sayı 58 olmuştur (Sönnichsen, 2021). Bu filo, yeni inşa edilen ve LNG tankerlerinden dönüştürülen gemilerden oluşmaktadır. FSRU gemilerinin kullanımı arttıkça, aşırı yatırım miktarı gerektirdiğinden âtil durumda olan 2400 gaz sahası faal duruma geçebilecektir. Bu bağlamda FSRU yatırımları yakın gelecekte ülkelerin enerji güvenliği, arz talep dengesinin sağlanması ve yeni pazarlara erişimlerinde çok daha büyük önem kazanacaktır (Lee ve diğerleri, 2014; Shabaneh ve Schenckery, 2020; Budiyanto ve diğerleri, 2020). LNG; tedarikçi tankerinden hortumlar (kriyojenik hortumlar da kullanılmaktadır) vasıtasıyla FSRU tanklarına - ölçülerek- nakledilir. Bu noktada kriyojenik hortumların kullanımı maliyetleri arttırmak ile birlikte yükün hızlı boşaltılması ve daha az BOG üretilmesi açılarından avantajlıdır. Tank içindeki sıvılaştırılmış LNG'ye dışarıdan ısı geçişi olmaktadır. Bununla birlikte vibrasyon, yalpa vb. sebepler ile de bir miktar sıvı buharlaşarak gaz haline geçmektedir. Bu durumlarda oluşan gazı "Boil Off Gas (BOG)" denilmektedir (Menteş, Kara ve Mollaahmetoğlu, 2019). Bekleme modunda günlük BOG üretimi toplam ağırlığın %0,10-0,15'u kadardır. LNG yüklemesi esnasında bu oran yükselmektedir. Son dönem FSRU gemileri daha iyiyalıtıma sahiptir ve BOG üretimi yaşlı gemilere göre daha düşüktür (Songhurst,2017).

Depolama tanklarında bulunan düşük basınç pompaları, LNG'yi, depolama tanklarından gelen sıkıştırılmış kaynama gazı (BOG) ile temas ettiği için yüksek basınç pompalarına girmeden önce rekondansatöre göndermektedir. Yeniden gazlaştırmada rekondensatör kullanımı gaz kayıplarını azaltmaktadır. Yüksek basınç pompaları, LNG'nin basıncını yükseltmektedir. Bu bağlamda LNG buharlaştırılır, ölçümü yapılır ve yeniden gazlaştırılmış yük gaz ihracat kolları veya hortumları aracılığıyla ihracat boru hattına ve dolayısıyla müşteriye gönderilir (Songhurst, 2017; Kulitsa ve Wood, 2018b; Wood ve Kulitsa, 2017). Bu süreçte terminalden gemiye ve gemiden terminale yük transferleri yükleme kolları (loading arms) ile yapılır iken gemiden gemiye transferler hortumlar (hoses) vasıtası ile yapılmaktadır. Hortumların bağlanma ve çözülme işlemleri için gereken süre yükleme kollarına göre çok daha uzun sürmekte ve zaman kayıpları yaratmaktadır. Yükleme kolları hızlı ve kolay işlem avantajı sağlamak ve daha az BOG üretmekte iken hortumların avantajı ucuz olması ve daha az yer kaplamasıdır.

Yeniden gazlaştırma üniteleri temel olarak açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Açık çevrim sistemi, denizden aldığı suyu gazlaştırma ünitesinden geçirmekte, LNG buharlaştırılmakta ve deniz suyu tekrar denize geri gönderilmektedir. Kapalı çevrimde ise, genel olarak glikol-su karışımı gemi kazanlarından elde edilen buharlı ısıtıcıda (steam-heater) ısıtılarak yeniden buharlaştırma ünitesine (rekondensatör) gönderilmektedir. Burada glikol-su karışımından LNG'ye ısı geçişi sağlanmakta ve LNG sıvı halden gaz hale geçmektedir (Menteş, Kara ve Mollaahmetoğlu, 2019; Kulitsa ve Wood, 2018b). FSRU gemileri, bütünlük amacı ile çift çelik gövde kullanılarak inşa edilmektedir. Prizmatik veya küresel tipte tanklar kullanılabilir (Songhurst, 2017). Ayrıca güvenlik ve emniyet risklerini azaltmaya yönelik olarak FSRU'lara gelişmiş izleme ve yükleme ekipmanları kurulmaktadır. FSRU gemilerin LNG depolama kapasitesi m³, yeniden gazlaştırma (regazifikasyon) kapasitesi (regas capacity-send out rate) m³/h, mtpa (millions of tonnes per annum), mmscfd (millions of standard cubic feet per day), bcma (billion cubic metres per annum) vb. birimler ile ölçülmektedir.

Bu çalışmada; FSRU gemi seçimi kriterleri araştırılmış, belirlenen kriterler çerçevesinde AHS, DEMATEL, FUCOM ve SWARA yöntemleri birlikte kullanılarak kriterlerin önem ağırlıkları ve bu kriterler arasındaki neden sonuç ilişkileri değerlendirilmiştir. Akademik literatürde FSRU gemilerinin seçimine

yönelik kriterlerin belirlendiği, önem ağırlıklarının hesaplandığı ve kriterler arasındaki ilişkilerin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kriterlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde literatür araştırması ve konunun uzmanlarından (LNG piyasasını tanıyan, FSRU gemisi satın alma ve operasyon süreçlerinde görev almış) yararlanılmıştır.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sırası ile LNG ve FSRU kavramları, yük akış süreçleri ve ilgili literatür incelenmiş, kullanılan yöntemler ve FSRU gemi seçim kriterleri açıklanmıştır. Çalışmanın son bölümleri uygulama sonuçları, tartışma ve önerilerden oluşmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Denizcilik faaliyetlerinin yürütülmesinde uygun gemilerin seçimi ve seçim kriterlerinin belirlenmesi birçok denizcilik paydaşı için çok önemlidir. Bu bağlamda gemi seçimi karmaşık bir süreçtir ve ihtiyaçlar ile gemilerin özellikleri uyumlu olmalıdır. Literatürde farklı tür ve amaçlara yönelik olarak yapılmış gemi seçim problemi çalışmaları bulunmakla beraber FSRU gemi seçimine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu konu, esas olarak, farklı formlarda yer alan verilerden rasyonel kararlar üretmeye yönelik ÇKKV sürecidir ve araştırmacılar gemi seçimi çalışmalarında sıklıkla çok kriterli karar verme yöntemlerini tercih etmektedir. Bu çalışmalardan örnekler aşağıdaki paragrafta sunulmuştur.

Şener ve Öztürk (2015)'te deniz taşımacılığı endüstrisinde gemi seçimi için Kalite Fonksiyon Dağılımı (QFD- Quality Function Deployment) metodolojisine dayalı olarak SAW yöntemi kullanılmıştır. Yazarlar bu amaca yönelik olarak beş kriter ve altı gemi alternatifi belirlemişlerdir. Bunlar; geminin bayrağı, geminin yaşı, geminin denetim sonrası alıkonma süresi, taşıyıcı firmanın sektör deneyimi ve geminin genel durumudur. Çalışmanın analiz kısmına yönelik veriler üç uzmandan sağlanmıştır. İki Avrupa limanı arasında 3.000 ton yük taşıma kapasitesine sahip uygun bir dökme yük gemisi seçimine yönelik yapılan çalışmada; en önemli kriter taşıyıcı firmanın sektör deneyimi (0,373) ve en uygun gemi ise Bulgaristan bayraklı gemi olarak tespit edilmiştir. Yang ve diğerleri (2015) bir Avrupa limanından ABD'nin batı kıyasına gidecek 80.000 ton kargo teslim etme kapasitesine sahip en uygun petrol tankeri seçimi problemi bulanık TOPSIS yöntemi ile analiz etmiştir. Bu amaca yönelik olarak dört ana kriter ve beş alternatif belirlenmiştir. Belirlenen ana kriterler; geminin bütünlüğü, kirliliği önleme, geminin işletme maliyetleri ve gemi üzerindeki kısıtlamalardır. Önem seviyesi en yüksek kriter 0,31 değeri ile geminin işletme maliyetleri olarak belirlenmiştir. Şener (2016)'da yükün bir çıkış limanından varış limanına taşınması için en uygun geminin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterler DEMATEL yöntemi ile araştırılmıştır. Bu araştırmaya yönelik olarak 10 kriter belirlenmiş, iki uzmandan elde edilen veriler doğrultusunda analizi yapılmıştır. Belirlenen kriterler; maliyet, son ödeme tarihi, teslim süresi, nakliye şirketinin itibarı, geminin bayrağı, geminin yaşı, geminin denetim sonrası alıkonma süresi, geminin sınıfı, geminin kapasitesi ve geminin hızı'dır. Önem seviyesi en yüksek kriter 0,174 değeri ile nakliye şirketinin itibarı olarak belirlenmiştir. Görçün (2020)'de AHS yöntemi kullanılarak denizcilik işletmelerinin gemi türü tercihleri analiz edilmiştir. İlgili çalışmada yedi kriter ve dört alternatif belirlenmiştir. Belirlenen kriterler; geminin hızı, geminin taşıma kapasitesi, geminin güvenlik düzeyi, geminin çevreye duyarlılığı, geminin bakım onarım maliyeti, geminin satın alma maliyeti ve geminin taşıma maliyeti'dir. Önem seviyesi en yüksek kriter 0,197 değeri ile geminin çevreye duyarlılığı olarak belirlenmiş, en uygun gemi tanker gemileri seçilmiştir. Kovačić ve Mrvica (2017) Adriyatik denizindeki adalar arasında gerçekleştirilecek yolcu taşımacılığında kullanılacak en uygun geminin seçimine yönelik olarak PROMETHEE I-II ve Gri İlişkisel Analiz yöntemlerini kullanmıştır. Bu çalışmada dört alternatif, 5 ana kriter çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu kriterler; kurumsal, hidrometeorolojik, teknik, ekonomik ve sosyo-kültürel özelliklerdir. Analiz sonuçları en önemli kriterin hidrometeorolojik özellikler (0,37) ve anakara ile adaları birbirine bağlamak ve adalar arası bağlantılar için en uygun geminin kombine bir katamaran olduğunu göstermiştir. Yazır ve diğerleri (2021)'de yeni nesil LNG, LPG (Liquefied Petroleum Gas- Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) ve sıvılaştırılmış etilen taşıyıcısı gemi alternatiflerinin 11 farklı duruma (case) göre seçimine yönelik olarak EVAMIX (Evaluation Of Mixed Data) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada belirlenen dört ana kriter; finansal, teknik, çevresel ve operasyonel özelliklerdir. Çalışmanın analiz verileri altı uzmandan elde edilmiştir. İlgili çalışmada en önemli kriter finansal özellikler olarak belirlenmiştir. Xie ve diğerleri (2008)'de petrol tankeri seçimi problemi ele alınmıştır. Buna yönelik olarak ekonomi, performans, ekipman, görünüş ve otomasyon ana kriterleri ile 6 tanker alternatifi kanıtsal akıl yürütme yaklaşımı (Evidential Reasoning Approach) ile analiz edilmiştir. Ekonomik özellikler 0,60 değeri ile en önemli kriter olarak belirlenmiştir.

Güncel bir konu olması ve akademik literatürde çok kısıtlı sayıda çalışma olması FSRU'yu konu alan çalışmaların artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, akademik literatürde rastlanmayan FSRU gemilerinin seçimine yönelik kriterler belirlenmiş, önem ağırlıkları hesaplanmış ve kriterler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, FSRU gemi seçimi problemine yönelik olarak belirlenen kriterlerin ağırlıklarının ve kriterler arası neden-sonuç ilişkilerinin belirlenmesi için entegre olarak AHS-DEMATEL-FUCOM-SWARA yöntemleri kullanılmıştır. Her bir yöntem ile belirlenen ağırlıkların geometrik ortalamaları alınarak kriterlerin nihai ağırlıkları bulunmuştur. Nihai değerlerin tespitinde geometrik ortalamaların alınma sebebi; geometrik ortalamanın aritmetik ortalamaya göre veri setindeki olası uç değerlerden daha az etkilenmesidir. İlgili yöntemlerin metodolojisi aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

3.1. AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) Yöntemi

Thomas L. Saaty tarafından 1977'de geliştirilen AHS yöntemi, ana ve alt kriterlerin ağırlıklandırılması ve seçeneklerin sıralanmasında sıklıkla kullanılan hiyerarşik yapıdaki çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisidir (Korucuk, 2019). Bu yöntem, Saaty'nin (1-9) ölçeğinin kullanıldığı ve uzman görüşlerinin dikkate alındığı sübjektif bir yöntemdir. Kriterlerin ağırlıkları (w) ikili karşılaştırmalar ile hesaplanmaktadır. Yöntemin uygulanma süreci, problemin ve amacın tanımlanması ile başlamaktadır. Sonrasında kriterler ve alternatifler belirlenerek hiyerarşik yapı oluşturulmaktadır. Yöntemin bundan sonraki aşamasında, Tablo 1'de belirtilen ölçek ile ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır (Dinçer ve Görener, 2011).

Tablo 1. Saaty (1-9) ölçeği

Önem	Açıklama
1	Eş düzeyde tercih edilir
3	Birinci kriterin ikinci kriterden önemli olması durumu
5	Birinci kriterin ikinci kriterden çok önemli olması durumu
7	Birinci kriterin ikinci kriterde göre çok güçlü bir öneme sahip olması
9	Birinci kriterin ikinci kriterde göre mutlak üstün bir öneme sahip olması
2,4,6,8	Ara değerler (ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir)

Bu matrisin köşegen elemanları 1'dir ve ilgili matris karşılaştırmanın doğası gereği $a_{ji}=1/a_{ij}$ olmak üzere bir kare matristir. a_{ij} i . kriterin, j .kriterde göre önem değerini göstermektedir. İkili karşılaştırma matrisinin genel yapısı Eşitlik 1'de gösterilmiştir (Ayçin, 2019:5).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Birden fazla karar vericinin (KV) olması durumunda her bir kriterin karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları alınarak nihai karşılaştırma değerleri bulunmaktadır. Bu aşamada A matrisi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanabilmektedir. Kriterlerin ağırlıklarının toplamı 1 olmaktadır. Bu değerlerin bulunabilmesi için A matrisinin normalleştirilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işlemine yönelik olarak her bir sütundaki değerler bulunduğu sütunun toplamına bölünmektedir. Tüm kriterler için bu işlem tekrarlanmakta ve kriter sayısı (n) kadar Eşitlik 2'de gösterildiği üzere B_i sütun vektörü elde edilmektedir (Uygurtürk, 2014).

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \dots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Elde edilen vektörler tek bir matris formuna getirilerek Eşitlik 3'te gösterildiği üzere C matrisi oluşturulmaktadır.

$$C = [c_{ij}] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Ağırlıkların hesaplanmasında C matrisinden faydalanılmakta ve Eşitlik 4'ün kullanımı ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4)$$

AHS'de sübjektif değerlendirmeler ile çözüm yapıldığından tutarlılık sınaması çok önemlidir. Tutarlılık sınaması yapılırken ikili karşılaştırma matrislerinin öz değer ve öz vektörlerinden faydalanılmaktadır. Bu sınamada tutarlılık endeksi- (CI) ve tutarlılık oranı (uyum oranı- CR) kullanılmaktadır. Eşitlik 5'te belirtilen CI 'nin hesaplanmasında matrisin maksimum öz değeri (λ_{max}) kullanılmakta ve Eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır. CR 'nin hesaplanmasında Eşitlik 7 kullanılmaktadır. Bu eşitlikte kullanılan RI , Tablo 2'de belirtilen değerler ile tespit edilmektedir. CR 'nin 0,1'den küçük olması karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir (Alnıpak ve Yorulmaz, 2018: 500-501).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n-1} \quad (5)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} * w_j}{w_i} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Tablo 2. Rassel İndeks Değerleri Tablosu

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Kaynak: Dinçer ve Görener, 2011

3.2. DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) Yöntemi

70'li yıllarda Cenevre'de geliştirilen DEMATEL yöntemi; kriterler arasındaki neden-sonuç ilişkilerinin, bağımlılıkların ve bağımlılık yönlerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan sübjektif bir yöntemdir. Bunların yanı sıra kriterlerin önem ağırlıklarının tespitinde de bu yöntemden faydalanılmaktadır (Kobryń, 2017). Analizi yapılan kriterlerin hangilerinin diğerleri üzerinde etkisi olduğunun (dispatcher-göndericiler), hangilerinin diğerlerinden etkilendiğinin (alıcılar-receivers) değerlendirilmesinde etkili bir metottur (Karaođlan ve Şahin, 2016). DEMATEL yönteminin uygulanma süreci, kriterlerin ikili karşılaştırmaları ve bu karşılaştırmalar sonucu elde edilen doğrudan ilişki matrisi (A) ile başlamaktadır. Uzmanlar kriterlerin birbiri üzerindeki etkilerini değerlendirirken Tablo 3'te belirtilen ölçeği kullanılmaktadır. Uzman sayısı 1'den fazla ise ilgili değerlendirme skorlarının aritmetik ortalaması alınarak doğrudan ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris $n \times n$ boyutludur ve köşegen elemanları 0'dır (Asadi ve diğerleri, 2011).

Tablo 3. Kriter Karşılaştırma Ölçeği

Değer	Açıklama
0	Etkisiz
1	Düşük Etki
2	Orta Derecede Etki
3	Yüksek Derecede Etki
4	Çok Yüksek Derecede Etki

Doğrudan ilişki matrisinin oluşturulmasından sonra Eşitlik 8 ve Eşitlik 9 ile ilgili matrisin normalizasyonu sağlanmakta ve normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi (D) elde edilmektedir.

$$D = [A]x\lambda \quad (8)$$

$$\lambda = \min \left[\frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n a_{ij}} \right] \quad (9)$$

Sonraki aşamada toplam ilişki matrisi (T) Eşitlik 10 yardımıyla oluşturulmaktadır. Bu Eşitlikte ifade edilen I birim matristir.

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (10)$$

T matrisinin satırlar toplamı (D) ve sütunlar toplamı (R) Eşitlik 11-13'te belirtildiği üzere hesaplanarak etkileyen ve etkilenen kriterler belirlenerek Etki Diyagramı ve kriterler arası ilişkiler tespit edilmektedir (Manoharan, 2022; Amiri ve diğerleri, 2011).

$$T = [T_{ab}]_{n \times n} \quad (11)$$

$$D = [\sum_{b=1}^n T_{ab}]_{nx1} \quad (12)$$

$$R = [\sum_{a=1}^n T_{ab}]_{1xn} \quad (13)$$

Bu bağlamda (D - R) pozitif olduğunda ilgili kriter etkileyen grubunda, (D - R) negatif olduğunda ilgili kriter etkilenen grupta yer almaktadır. Etki Diyagramının x eksenini (D + R), y eksenini (D - R) veri seti oluşturmaktadır. Bu diyagram ile nedensel ve etkilenen kriterler kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Uygun bir etki diyagramını elde etmek için eşik değerine ihtiyaç bulunmaktadır (Aksakal ve Dağdeviren, 2010). Eşik değeri (α) uzmanlar tarafından belirlenebileceği gibi toplam ilişki matrisini (T) oluşturan değerlerin ortalaması alınarak da tespit edilebilmektedir (Çetin ve Erdem, 2019). Bu yöntem ile kriterlerin önem ağırlıklarının (w_i) tespitinde Eşitlik 14 ve Eşitlik 15 kullanılmaktadır.

$$\omega_i = \sqrt{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2} \quad (14)$$

$$w_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (15)$$

3.3. SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) Yöntemi

SWARA, 2010 yılında Keršulienė, Zavadskas ve Turskis tarafından literatüre kazandırılmış uzman odaklı ve ikili karşılaştırmalara dayalı bir ağırlıklandırma yöntemidir. Bu yöntem az sayıda ($n - 1$) ikili karşılaştırma gerektirdiğinden sıklıkla tercih edilmekte ve (1-9) önem ölçeği kullanılmasına gerek duyulmamaktadır (Yücenur ve İpekçi, 2021). Bunların yanı sıra, diğer bazı ağırlıklandırma yöntemlerine göre hesaplama kolaylığı ve tutarlılığı daha yüksek olan bir yöntemdir (Erturgut ve Ustalı, 2021). Yöntemin adımları öncelikle kriterlerin ve karar vericilerin belirlenmesi ile başlamaktadır. Bu aşamadan sonra kriterler KV'ler tarafından değerlendirilmekte ve en önemliden en önemsiz olacak şekilde sıralanmaktadır. Kriterlerin göreceli önem seviyelerini belirlemek için karar vericiye j . kriterin ($j + 1$). kritere göre ne kadar önemli olduğu sorulmaktadır. Bu değer " s_j " (karşılaştırmalı önem değerleri) olarak adlandırılmaktadır (Ayçin, 2019: 260). Bu değerlendirme 0 ile 1 arasında (%'sel olarak) 5'in katları olacak şekilde yapılmaktadır. Yöntemin bundan sonraki aşamasında k_j katsayıları hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada Eşitlik 16 kullanılmaktadır. Belirlenen en önemli kriter için k_j 'nin değeri 1 olmaktadır.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases}, j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmadan önce düzeltilmiş ağırlıkları (q_j) hesaplanmaktadır. Sıralamada birinci olan kriter için bu değer 1 iken diğerleri için Eşitlik 17 kullanılmaktadır.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{s_j}, & j > 1 \end{cases}, j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

SWARA yönteminde ağırlıklar hesaplanırken Eşitlik 18'den yararlanılmaktadır (Adalı ve Işık, 2017; Bircan, 2020: 4-6; Ayçin, 2019: 260; Demir ve diğerleri, 2021: 91-92).

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (18)$$

3.4. FUCOM (Full Consistency Method) Yöntemi

Henüz çok yeni bir yöntem olan FUCOM, sübjektif ağırlıklandırma yapılmasını sağlayan doğrusal programlama temelli ve ikili karşılaştırmaların yapıldığı bir yöntemdir. FUCOM yöntemi ile optimal ağırlık katsayılarının tespitinde 2 koşulun sağlanması gerekmektedir. İlki; kriterlerin ağırlık katsayıları arasındaki ilişkilerin kriterlerin karşılaştırmalı önceliklerine eşit olması, ikincisi; matematiksel geçişlilik koşullarının sağlanmasıdır. FUCOM yöntemi daha az sayıda ikili karşılaştırma gerektirmesi ve tutarlılığı sağlaması yönlerinden avantajlıdır. Bu yöntem, ilgili probleme yönelik belirlenen kriter kümesindeki elemanların ($C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$) önem derecelerine göre sıralanması ($C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)}$) ile başlamaktadır. Bu sıralamada aynı öneme sahip kriterlerin arasına "=" işareti konulmaktadır (Demir ve Bircan, 2020; Akbari ve diğerleri, 2021). İkinci adımda kriterlerin karşılaştırmalı öncelikleri ($\varphi_{k/(k+1)}$) belirlenmektedir. Karşılaştırmalı önem değerlerinin vektörleri Eşitlik 19'daki gibi ifade edilmektedir. İkili karşılaştırmalar, en önemli kritere ve (1-9) ölçeğine göre yapılmaktadır.

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (19)$$

Bundan sonraki aşamada ($(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$) olarak ifade edilen nihai değerlerin hesaplanması gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplamada iki koşulun sağlanması gerekmektedir. Birinci koşul; ağırlık

katsayılarının oranının, Eşitlik 19'da tanımlanan gözlemlenen kriterler arasındaki karşılaştırmalı önceliğe ($\varphi_{k/(k+1)}$) Eşitlik 20'de belirtildiği üzere eşit olmasıdır.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (20)$$

İkinci koşul ise ağırlık katsayılarının son değerlerinin, matematiksel geçişlilik koşulunu sağlamasıdır. Bu bağlamda $\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{(k)/(k+2)}$ olmalıdır. Ayrıca $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}}$ ve $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}}$ olduğu için $\frac{w_k}{w_{k+1}} \otimes \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}$ elde edilir. Böylece, değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin yerine getirmesi gereken başka bir koşul Eşitlik 21'deki gibi elde edilmiş olmaktadır.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{(k)/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (21)$$

Tam tutarlılık, yani minimum TTS (χ), yalnızca geçişliliğe tam olarak uyulduğunda gerçekleşmektedir. Bu bağlamda $\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)}$ ve $\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)}$ koşulları sağlanırsa minimum TTS elde edilmektedir. Bunun gereği olarak $\chi=0$ 'dır. Koşulların sağlanabilmesi için, ağırlık katsayılarının $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ değerlerinin χ değerinin minimizasyonu ile $\left| \frac{w_k}{w_{k+1}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi$ ve $\left| \frac{w_k}{w_{k+2}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi$ koşullarına uyması gerekmektedir. Sonuç değerlerinin tespiti için doğrusal programlama tabanlı model Eşitlik 22 ve Eşitlik 23'teki gibi tanımlanmaktadır.

$$\min \chi \quad (22)$$

$$\begin{cases} \left| \frac{w_j(k)}{w_j(k+1)} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \forall j \\ \left| \frac{w_j(k)}{w_j(k+2)} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \forall j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall j \\ w_j \geq 0, \forall j \end{cases} \quad (23)$$

Yukarıdaki modelin çözümü ile kriterlerin ağırlık değerleri ve TTS (χ) derecesi elde edilmektedir (Ecer, 2021; Ecer, 2020:124).

4. BULGULAR

Akademik literatürde üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmayan FSRU gemi seçimi problemine yönelik kriterlerin belirlenmesinde, Türkiye'de FSRU gemi satın alımı ve FSRU terminali yönetimi süreçlerinde görev alan 2 kaptan ve bu konuya yönelik akademik çalışmalar yapan 1 akademisyen ile odak grup çalışması yapılmıştır. Aynı şekilde analizlerde kullanılan veriler de ilgili yöntemlere ait anketlerin yüz yüze uygulanması ile elde edilmiştir. Ayrıca FSRU ve diğer gemi tiplerine (konteyner, tanker vb.) yönelik yapılmış akademik çalışmalardan da faydalanılmıştır. Uzmanların belirledikleri kriterlerden; REGAS Kapasitesi (RC), Çevrim Sistemi (HM) ve Tank Tipi (TS) kriterleri özellikle FSRU gemilerine özgü olan kriterlerdir. Bu çalışma kapsamında belirlenen kriterler ve açıklamaları Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 4. FSRU gemi seçimi kriterleri ve açıklamaları

Kriterler	Açıklama	Birim	Kriterin Yönü
Maliyetler (C)	FSRU'nun personel, inşa, bakım, sigorta, finansal vb. maliyetleri sahiplik ve işletme maliyetleri olarak 2 kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu maliyetlerin büyüklüğü geminin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yeni inşa edilenlerin maliyetleri 250-300 Milyon USD olmakla beraber LNG gemilerinden dönüştürülenler 80-100 milyon USD civarındadır. Kiralama ücretleri kapasiteye ve süreye bağlı olarak 110-160.000 \$/gün aralığındadır (Songhurst, 2017). Ayrıca FSRU gemilerde en büyük maliyet yaratan kalem REGAS üniteleridir. Örneğin 4 ünitenin maliyeti yaklaşık 80 Milyon USD'dir.	USD	Min.
Gemi Draftı (VD)	FSRU gemileri sadece açık denizlerde değil LNG limanlarına yanaşarak da boşaltma ve yükleme yapabilmesi açısından limanın ritim derinliğine yönelik uygunluk göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tip gemilerde alçak gemi draftı tercih edilmektedir.	mt.	Min.
LNG Depolama Kapasitesi (LSC)	FSRU gemisinde LNG formundaki gazın depolandığı tankların kapasitesini ifade etmektedir. Ülkelerin bu tipteki gemi alımlarında tercihleri -ihtiyaca da bağlı olarak- yüksek kapasite yönünde olmaktadır.	m ³	Max.
REGAS Kapasitesi (RC)	FSRU'nun, -mevcut vaporizatör ünitelerini kullanarak- tanklarında depolanan sıvıyı yeniden gazlaştırma kapasitesini ifade etmektedir. FSRU gemileri pazarın ihtiyaçlarına da paralel olarak 2-3 mtpa çıkış oranlı 130.000 m ³ kapasiteli yapıdan 6 mtpa çıkışlı 330.000 m ³ kapasiteli yapıya evrilmiştir. Ülkelerin bu tipteki gemi alımlarında tercihleri -ihtiyaca da bağlı olarak- yüksek kapasite yönünde olmaktadır (Songhurst, 2017).	mmscfd, mtpa	Max.
Çevrim Sistemi (HM)	FSRU gemilerde bu özellik kapalı (closed) ve açık (open) çevrim (loop) olarak iki şekildedir. Bu sistemler, LNG'nin ısı eşanjörlerinde buharlaştırılmalarını önceki bölümde açıklanan farklı süreçler ile sağlamaktadır. HM özellikle seyir yapılacak denizin sıcaklığına bağlı olarak önem kazanmaktadır. Örneğin soğuk denizlerde gaz deniz suyu ile ısıtılamamakta ve bu tip destinasyonlar için açık çevrimli gemiler tercih edilmemektedir. Kapalı çevrim sistemi -14 °C deniz suyu sıcaklığında bile çalışabilmektedir. Bu kriterin değeri karar verici tarafından geminin sefer yapacağı denizlerdeki suyun sıcaklığına göre sübjektif olarak değerlendirilmelidir (Ör. 1: Hiç Uygun Değil-5: Çok Uygun).	-	Max.
Tank Tipi (TS)	FSRU'ların tankları prizmatik (membrane) ve küresel (spherical) olarak 2 tiptedir. Daha yüksek bir depolama kapasitesi sağladığı için yeni inşa FSRU'larda tanklar arasında boşluk bulunmadığı için membran tanklar tercih edilmektedir. Kapasite olarak dezavantajlı olan küresel tanklar ise daha emniyetli ve dengeli olarak kabul edilmektedir. Bu kriterin değeri belirtilen avantaj ve dezavantajlar doğrultusunda karar vericilerin sübjektif değerlendirmeleri ile değerlendirilmelidir (Ör. 1: Hiç Uygun Değil-5: Çok Uygun).	-	Max.
Teslim Zamanı (DT)	FSRU gemisinin alıcıya teslim edilmesi için geçen süreyi ifade etmektedir. Bu süre genellikle 5 ay ila 3 yıl arasında değişmektedir (istenen özelliklere göre). Genellikle yıl ile tanımlanmaktadır.	Yıl	Min.

FSRU gemisi seçiminde kullanılacak kriterlerin belirlenmesini ve ağırlıklandırılmasını amaçlayan bu çalışmadaki tüm analizler, kullanılan yöntemlere özel olarak hazırlanan anketlerin uzman kişilerce doldurulması ile elde edilen veriler ile yapılmıştır. FSRU gemisi seçimi konusunda az sayıda uzman bulunması ve kullanılan yöntemlerin uygulanabilirliği açısından problem teşkil etmemesi nedenleriyle 3 uzmandan oluşan katılımcı sayısı yeterli bulunmaktadır. Ayrıca AHS, DEMATEL, FUCOM ve SWARA dahil

olmak üzere ÇKKV yöntemlerinde karar verici (KV) sayısına yönelik bir kısıt bulunmamaktadır (Dehdasht ve diğerleri, 2017). Aşağıdaki bölümlerde çalışma kapsamında uygulanan yöntemlere göre elde edilen bulgular sunulmuştur.

4.1. AHS Uygulaması

Yöntemin uygulanma prensiplerinin gereği olarak uzmanların AHS yöntemine yönelik anketlere verdiği cevaplar doğrultusunda her bir ikili karşılaştırmadaki puanların, grubun ortak görüşünü yansıtacak şekilde geometrik ortalaması alınmış ve Tablo 5'te belirtilmiştir. Analizler bu ortalamalar ile gerçekleştirilmiştir (Hummel ve diğerleri, 2014). Uzmanlardan; belirlenen kriterleri Tablo 1'de sunulan ikili karşılaştırmalar ölçeğini kullanarak karşılaştırmaları istenmiştir. Tüm hesaplamalar Excel 2016 ve içeriğindeki fonksiyonlar kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 5. İkili karşılaştırmalar matrisi

Kriterler	RC	LSC	C	DT	TS	VD	HM
RC	1,00	1,00	2,45	3,46	3,46	5,00	4,00
LSC	1,00	1,00	2,00	2,45	3,46	5,00	3,46
C	0,41	0,79	1,00	2,00	3,46	4,47	3,46
DT	0,30	0,38	0,41	1,00	4,00	5,00	2,45
TS	0,30	0,30	0,28	0,25	1,00	2,45	0,50
VD	0,20	0,20	0,23	0,20	0,41	1,00	0,25
HM	0,25	0,30	0,30	0,44	2,00	4,00	1,00

Tablo 5'te belirtilen ikili karşılaştırmalar matrisi değerleri bulunduğu sütunun toplamına bölünerek normalize edilmektedir. Yöntemin uygulanma prensiplerinin gereği olarak normalize edilen matrisin satırlarının aritmetik ortalamaları alınarak her bir kriterin ağırlıkları bulunmaktadır. Bu ağırlıklar Tablo 6'da gösterilmiştir. Buna göre en önemli ilk 3 kriterler sırası ile RC, LSC ve C'dir.

Tablo 6. AHS yöntemine göre kriterlerin önem ağırlıkları

Kriterler	RC	LSC	C	DT	TS	VD	HM
w_i	0,27	0,24	0,18	0,13	0,06	0,03	0,08
Sıralama	1	2	3	4	6	7	5

Elde edilen ağırlıkların Eşitlik 5-7 ve Tablo 2 yardımıyla tutarlılıkları analiz edilmiştir. CR değeri 0,1'den küçük olduğundan analizlerin tutarlı olduğu görülmüştür.

$$\lambda_{max} = 7,5846$$

$$CI = \frac{(7,5846-7)}{7-1} = 0,0974$$

$$CR = \frac{0,0974}{1,32} = 0,074$$

4.2. DEMATEL Uygulaması

Uzmanların DEMATEL yöntemine yönelik anketlere verdiği skorların ortalamaları alınarak elde edilen değerler Tablo 7'de belirtilmiştir. Tablo 8 ve 9'da 3.2 no'lu bölümde belirtilen adımlar doğrultusunda yapılan analizler bulunmaktadır. Bu uygulamada uzmanlardan; ilgili kriterleri Tablo 3'te sunulan ikili karşılaştırmalar ölçeğini kullanarak karşılaştırmaları istenmiştir. Tüm hesaplamalar Excel 2016 ve içeriğindeki fonksiyonlar kullanılarak yapılmıştır. Tablo 7'de belirtilen değerler, ilgili uzmanlarca yapılan değerlendirmelerin ortalamasıdır. Bu değerler Eşitlik 8 ve 9 kullanılarak normalize edilmiştir. Elde edilen normalize matris Eşitlik 10'da belirtildiği üzere birim matrisle işleme alınarak Tablo 8'de belirtilen Toplam İlişki Matrisine ulaşılmıştır. Tablo 8'deki değerlere Eşitlik 11-15 uygulanarak Tablo 9 elde edilmiştir.

Tablo 7. Doğrudan ilişki matrisi

Kriterler	RC	LSC	C	HM	DT	TS	VD
RC	-	3,33	3,33	2,00	0,67	-	2,00
LSC	3,33	-	3,00	1,33	2,00	1,00	0,33
C	1,67	1,67	-	1,00	1,00	-	0,67
HM	1,33	1,33	1,67	-	2,00	-	1,33
DT	-	1,67	2,00	1,67	-	-	0,67
TS	-	-	0,33	0,33	-	-	-
VD	2,00	0,33	1,00	-	0,33	-	-

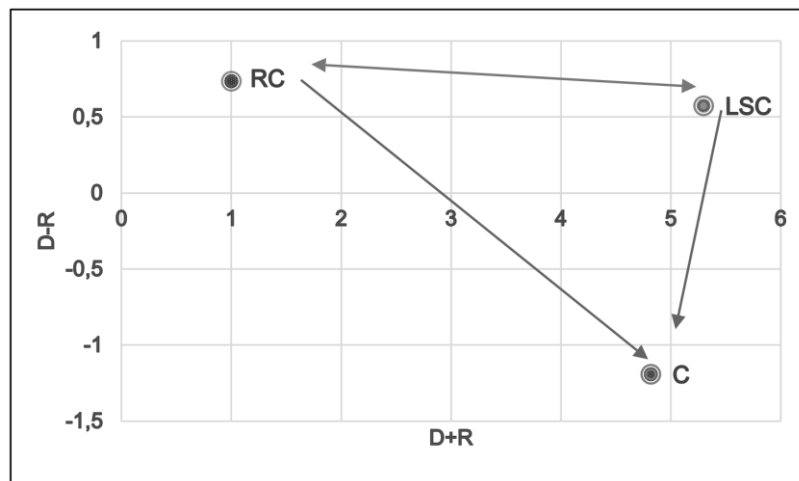
Tablo 8. Toplam ilişki matrisi

Kriterler	RC	LSC	C	HM	DT	TS	VD
RC	0,42	0,64	0,75	0,45	0,35	0,06	0,39
LSC	0,61	0,40	0,71	0,40	0,42	0,12	0,26
C	0,37	0,38	0,31	0,26	0,26	0,03	0,20
HM	0,37	0,38	0,47	0,20	0,35	0,03	0,27
DT	0,23	0,34	0,42	0,29	0,17	0,03	0,18
TS	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02	0,00	0,01
VD	0,31	0,20	0,28	0,12	0,13	0,02	0,10

Tablo 9. DEMATEL yöntemine göre kriterlerin önem ağırlıkları

KRİTERLER	D	R	D+R	D-R	ω_i	w_i	SIRASI
RC	3,06	2,33	5,39	0,74	7,41	0,256	1
LSC	2,94	2,36	5,30	0,57	7,10	0,245	2
C	1,81	3,00	4,82	-1,19	6,16	0,213	3
HM	2,08	1,77	3,85	0,30	3,73	0,129	4
DT	1,66	1,70	3,36	-0,05	2,82	0,098	5
TS	0,17	0,30	0,47	-0,13	0,06	0,002	7
VD	1,16	1,41	2,57	-0,25	1,66	0,057	6

DEMATEL analizine göre C, DT, TS ve VD kriterleri negatif (D-R) değerlerine sahiptir ve diğer kriterlerden etkilenmektedir. Bu 4 kriter alıcı (receiver) kapsamında düşünülmelidir. RC, LSC ve HM kriterleri pozitif (D-R) değerlerine sahiptir ve etkileyen/gönderici (sender) gruptadır. Bu bağlamda RC, LSC ve HM kriterleri sebep; C, DT, TS ve VD kriterleri sonuç kriterleri olarak nitelendirilmektedir. RC, diğer kriterleri en doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen kriter olarak tanımlanmıştır. C ise diğer kriterlerden doğrudan veya dolaylı olarak en çok etkilenen kriterdir. Bununla birlikte RC, uzmanların bakış açısından FSRU seçimi için en önemli kriterdir. Önem açısından RC'den sonraki kriterler sırası ile LSC ve C'dir. TS, DEMATEL yöntemine göre en az önemli kriterdir. Son aşamada Şekil 1'de belirtilen Etki-İlişki Diyagramı çizilmiştir. Bu diyagramın çiziminde kriterler arasındaki net yapısal ilişkiyi göstermek için bazı kriterlerin toplam ilişki matrisinden çıkarılması gerekmektedir. Bu bağlamda eşik değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değer için normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisinin ortalama değeri bulunmuştur. Bu değer 0,53'tür. Bu değere göre ilgili diyagramda RC, LSC ve C kriterleri gösterilmelidir. Diyagramın çizimde (D-R) y eksenini, (D+R) x eksenini oluşturmaktadır. Etki Yönlü Grafik Diyagramına göre RC ve LSC kriterleri birbirlerini ve C'yi etkilemektedir. Bu sonuçlar sektörel gerçekler ile uyumludur. FSRU gemilerinin inşa maliyetlerini oluşturan bileşenlerden en büyüklerinden ikisi sırası ile REGAS üniteleri ve depolama tanklarıdır. Bunun yanı sıra FSRU gemilerinde LNG depolama kapasiteleri arttıkça -verimlilik açısından- REGAS kapasitelerini arttırma eğilimi vardır. Bu da doğal olarak maliyetleri arttırmaktadır.

**Şekil 1. Etki yönlü grafik diyagramı**

4.3. SWARA Uygulaması

Uzmanların SWARA yöntemine yönelik anketlere verdiği değerler ve o değerlere yönelik karar verici bazında hesaplanan ağırlık değerleri Tablo 10'da görülmektedir. Bu aşamada uzmanlardan kriterleri en önemliden en az önemliye doğru sıralaması ve sırasıyla bu kriterlerin birbirinden ne kadar daha önemli olduğunu (5'in katları olacak şekilde %'sel olarak) belirtmesi istenmiştir. Örneğin KV₁'e göre C kriteri DT kriterine göre %25 daha önemlidir. Tablodan da görüldüğü üzere ilk iki KV birinci önemdeki kriteri RC olarak belirlerken diğer KV, C'yi birinci önemde değerlendirmiştir. Tüm hesaplamalar Excel 2016 ve içeriğindeki fonksiyonlar kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 10. Uzmanlar bazında SWARA değerlendirmeleri

Kriterler	KV ₁					KV ₂					KV ₃				
	Sıra	S _j	k _j	q _j	w _{KV1}	Sıra	S _j	k _j	q _j	w _{KV2}	Sıra	S _j	k _j	q _j	w _{KV3}
RC	1		1,00	1,00	0,22	1		1,00	1,00	0,23	2	0,1	1,10	0,91	0,19
LSC	2	0,15	1,15	0,87	0,19	2	0,15	1,15	0,87	0,20	3	0,15	1,15	0,79	0,17
C	3	0,15	1,15	0,76	0,17	3	0,15	1,15	0,76	0,17	1		1,00	1,00	0,21
DT	4	0,25	1,25	0,60	0,13	4	0,25	1,25	0,60	0,14	4	0,2	1,20	0,66	0,14
HM	5	0,25	1,25	0,48	0,11	5	0,35	1,35	0,45	0,10	5	0,3	1,30	0,51	0,11
TS	6	0,10	1,10	0,44	0,10	6	0,2	1,20	0,37	0,09	6	0,15	1,15	0,44	0,09
VD	7	0,20	1,20	0,37	0,08	7	0,25	1,25	0,30	0,07	7	0,2	1,20	0,37	0,08

Tablo 10'da hesaplanan ağırlık değerleri KV bazında olduğu için kriterlerin SWARA'ya göre nihai ağırlık değerleri üçünün geometrik ortalamaları alınarak bulunmuş ve Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. SWARA yöntemine göre kriterlerin önem ağırlıkları

Kriterler	w _{KV1}	w _{KV2}	w _{KV3}	w _{Nihai}	Sıra
RC	0,22	0,23	0,19	0,21	1
LSC	0,19	0,20	0,17	0,19	2
C	0,17	0,17	0,21	0,18	3
DT	0,13	0,14	0,14	0,14	4
HM	0,11	0,10	0,11	0,11	5
TS	0,10	0,09	0,09	0,09	6
VD	0,08	0,07	0,08	0,08	7

Tablo 11'e göre en önemli ilk 3 kriter sırası ile RC, LSC ve C'dir. Karar vericiler bazında kriterler incelendiğinde ilk 2 karar verici en önemli kriteri RC olarak belirlerken üçüncü KV küçük bir farkla C olarak belirlemiştir.

4.4. FUCOM Uygulaması

FUCOM yöntemine yönelik olarak öncelikle uzmanlardan ilgili kriterleri önemlerine göre sıralamaları istenmiştir (yöntemin uygulanma şartları gereği olarak en önemli buldukları kriterlere 1 değeri atanmaktadır). Sonraki aşamada en önemli buldukları kriter ile diğer kriterleri sırası ile ikili olarak karşılaştırması istenmiştir. Bu karşılaştırma 1-9 ölçeğine (1: en düşük, 9: en yüksek) göre yapılmaktadır. İkili karşılaştırmalarda tamsayı veya ondalık değerler kullanılabilir (Fazlollahtabar ve diğerleri, 2019). Örneğin KV₁'e göre RC kriteri LSC'ye göre 1,5 kat önemli bulunmuştur. Tüm hesaplamalar Excel 2016'daki Solver (Çözücü) ile yapılmıştır. Bu değerlendirmeler Tablo 12'de belirtilmiştir.

Tablo 12. FUCOM yöntemine göre uzman değerlendirmeleri

Kriterler	KV ₁	Sıra	KV ₂	Sıra	KV ₃	Sıra
RC	1	1	1	1	1,3	2
LSC	1,5	2	1,1	2	1,6	3
C	2	3	1,5	3	1	1
DT	2,5	4	2,5	4	2,5	4
HM	3	5	3,5	5	3,5	5
TS	3,5	6	4	6	4	6
VD	4,5	7	5	7	5	7

İkili karşılaştırmalardan elde edilen değerlere Eşitlik 20 ve 21 uygulanarak ağırlık katsayılarının oranlarının gözlemlenen kriterler arasındaki karşılaştırmalı önceliğe eşitliği ve matematiksel geçişlilik koşulunu sağlayıp sağlamadığı test edilir. Buna göre her bir karar verici için ilgili koşulların kontrolü sağlanır. Bu işlemler sonucunda Eşitlik 23'teki tam tutarlılığın (minimum TTS (χ)) geçişliliğe uyduğu görülmüş ve yöntemin uygulanma prensipleri gereği her bir karar verici için ayrı ayrı bulunan kriter ağırlıkları Tablo 13'teki gibi hesaplanmış ve bu değerlerin geometrik ortalamaları alınarak nihai ağırlıklar tespit edilmiştir.

Tablo 13. FUCOM yöntemine göre belirlenen ağırlıklar

Kriterler	w_{KV_1}	w_{KV_2}	w_{KV_3}	w_{Nihai}	Sıra
RC	0,29	0,27	0,22	0,26	1
LSC	0,20	0,24	0,18	0,21	2
C	0,15	0,18	0,28	0,20	3
DT	0,12	0,11	0,11	0,11	4
HM	0,10	0,08	0,08	0,09	5
TS	0,08	0,07	0,07	0,07	6
VD	0,07	0,05	0,06	0,06	7
TTS (χ)	0,000	0,000	0,000		

Tablo 13'e göre en önemli ilk 3 kriterler sırası ile RC, LSC ve C'dir. Karar vericiler bazında kriterler incelendiğinde ilk 2 karar verici en önemli kriteri RC olarak belirlerken diğer karar verici C olarak belirlemiştir.

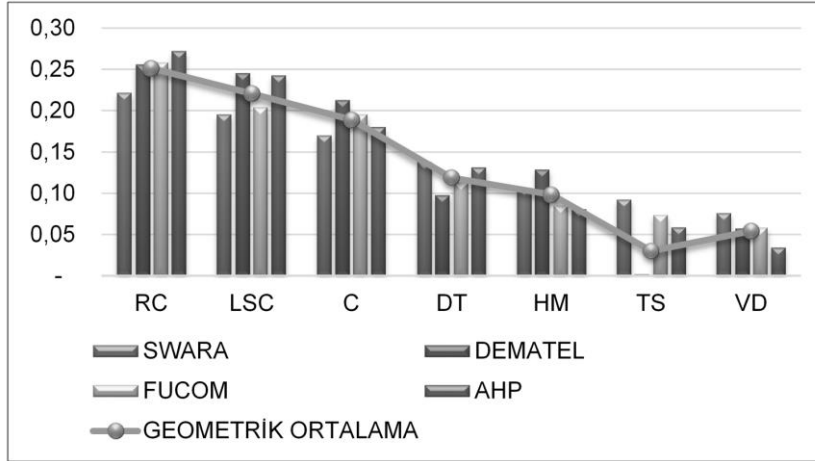
4.5. Kriterlerin Nihai Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde FSRU gemi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterlerin 4 farklı ağırlıklandırma yöntemi ile hesaplanan ağırlık değerlerinin geometrik ortalamaları alınarak, her bir kriterle ait nihai ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Kriterlerin her bir yöntemle göre bulunan ağırlık değerleri, sıralamaları ve nihai ağırlık değerleri Tablo 14'te belirtilmiştir.

Tablo 14. FSRU seçim kriterlerinin nihai ağırlıkları ve sıralamaları

Kriterler	AHS		DEMATEL		SWARA		FUCOM		Ortalama	
	w_{Nihai}	Sıra	w_{Nihai}	Sıra	w_{Nihai}	Sıra	w_{Nihai}	Sıra	w_i	Sıra
RC	0,27	1	0,26	1	0,21	1	0,26	1	0,25	1
LSC	0,24	2	0,25	2	0,19	2	0,21	2	0,22	2
C	0,18	3	0,21	3	0,18	3	0,20	3	0,19	3
DT	0,13	4	0,10	5	0,14	4	0,11	4	0,12	4
HM	0,08	5	0,13	4	0,11	5	0,09	5	0,10	5
VD	0,03	7	0,06	6	0,08	7	0,06	7	0,05	6
TS	0,06	6	0,00	7	0,09	6	0,07	6	0,03	7

Bu çalışma kapsamında uygulanan dört ağırlıklandırma metoduna göre sıralamalarda ve ağırlık değerlerinde küçük farklar olsa da birbirlerine yakın sonuçlar çıktığı görülmüştür. Elde edilen nihai ağırlık değerlerine göre en önemli 3 kriter sırası ile RC (0,25), LSC (0,22) ve C (0,19)'dir. En az önem değerine sahip kriter ise TS (0,03) olarak belirlenmiştir. Şekil 2'de tüm yöntemlere göre kriterlerin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 2. Kullanılan yöntemlere göre ağırlıkların karşılaştırılması

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Gerek denize kıyısı olan gerek ise de olmayan pek çok ülke LNG'ye ulaşmak, yeniden gazlaştırma için tesis kurmak, arz ve talepteki belirsizlikler ile yüzleşmek vb. pek çok konudaki risklerle karşı karşıyadır. Bu bağlamda FSRU gemileri; LNG'ye kısa ve uzun vadeli ulaşımda, yükün okyanus kanallarından geçişi ve aktarımında, politik ilişkiler ve piyasa şartlarına bağlı belirsizliklerde ve kara terminallerine alternatif yaratmada yenilikçi bir çözüm olarak düşünülmektedir. LNG ithalatı yapan ülkelerin depolama ve regazifikasyon süreçlerinde büyük avantajlar sağlayan bu tip gemilere yönelik yatırım kararları stratejik önemdedir. Tüm dünyada 2016'da 24 gemiden oluşan FSRU filosu, 2020 yılında 43 adede ulaşmıştır (Sönnichsen, 2021). Bu gemiler zaman içerisinde 2-3 mtpa çıkış oranlarına sahip 130.000 m³ kapasiteli yapıdan 6 mtpa çıkış oranlı 173.000 m³ kapasiteli yapıya evrilmiştir.

FSRU gemilerinin satın alım kararı ve seçim kriterleri kritiktir. Akademik literatürde bu gemilerin seçimine yönelik kriterlerin belirlendiği, önem ağırlıklarının hesaplandığı ve kriterler arasındaki ilişkilerin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada; FSRU gemisi seçimine yönelik olarak uzmanlarca belirlenen 7 kriter (Maliyetler, Gemi Draftı, LNG Depolama Kapasitesi, REGAS Kapasitesi, Çevrim Sistemi, Tank Tipi, Teslim Zamanı) farklı ağırlıklandırma yöntemleri (AHS, DEMATEL, SWARA ve FUCOM) kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen değerlerin geometrik ortalamaları alınarak her bir kriterin nihai önem ağırlıkları belirlenmiştir. Bu bağlamda farklı yöntemler bir arada kullanılarak bulguların geçerliliği ve güvenilirliği artırılmıştır. Bulgulara göre; REGAS kapasitesi (RC), LNG depolama kapasitesi (LSC) ve maliyetler (C) Türkiye bağlamında FSRU gemi seçimini etkileyen en önemli ilk üç kriterdir. Tüm kriterlerin neden sonuç ilişkileri incelendiğinde REGAS kapasitesi, LNG depolama kapasitesi ve çevrim sistemi kriterleri neden; maliyetler, teslim zamanı, tank sistemi ve gemi draftı sonuç kriterleri olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra RC ve LSC kriterleri birbirlerini ve C'yi etkilemektedir. Bu sonuçlar sektörel gerçekler ile uyumludur çünkü FSRU gemilerinin inşa maliyetlerini oluşturan en önemli ilk 2 bileşen sırası ile REGAS üniteleri ve depolama tanklarıdır. Ayrıca FSRU gemilerinde LNG depolama kapasiteleri arttıkça -verimlilik açısından- REGAS kapasitelerini artırma eğilimi vardır. İlgili kapasite değerleri girdi ve çıktı miktarlarını direkt etkilemektedir. Bu etkileşim doğal olarak maliyetleri arttırmakta ve finansal performansı da etkilemektedir. Bu çalışmada belirlenen tüm kriterler, önem dereceleri ve aralarındaki neden sonuç ilişkileri; yapılacak yatırımın ve geminin kullanılacağı süreçlerin verimliliği, etkinliği ve performansı ile yakından ilişkilidir. Özellikle önem derecesi daha yüksek olan kriterlerin, FSRU gemilerinin ve kullandıkları operasyonların verimlilik ve performans ölçümlerinde öncelikli olarak göz önünde bulundurulması gereken parametreler olduğu düşünülmektedir.

Gün geçtikçe büyüyen FSRU gemi endüstrisinin yakın bir gelecekte BOG üretimini daha da azaltacak yapıda yatırımlarını geliştirebileceği beklenmektedir. Ayrıca bu çalışmada en önemli kriterler olarak belirlenen REGAS ve LNG depolama kapasiteleri artırılırken, maliyetlerin düşürülmesi pazarın büyümesi açısından fayda sağlayacaktır. Bu bağlamda maliyetlerin büyük bir kalemini oluşturan REGAS ünitelerinin maliyetlerini düşüren inovasyonların yaratılması önem arz etmektedir. Pahalı ve stratejik önemde bir yatırım olan FSRU gemisine yönelik yapılan bu çalışmanın; politika yapıcılar, sektör üreticileri ve konuyu araştıran akademisyenler için fayda sağlayacağı umulmaktadır. Gelecekteki araştırmalarda, bu çalışmada tanımlanan kriterlerin diğer ülkelerdeki uzmanlar tarafından da değerlendirilmesi faydalı olacaktır. Bu çalışmanın en önemli kısıtları, ilgili konudaki akademik çalışma ve uzman kişi sayılarının sınırlı olmasıdır. Bu bağlamda konuya yönelik uzman sayısı arttıkça ve teknolojik gelişmeler yaşandıkça kriterlerin sayısı ve içeriğinde değişiklikler olabilecektir.

Çatışma Beyanı / *Conflict of Interest*

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Fon Desteği / *Funding*

Bu çalışma herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği almamıştır.

Etik Standartlara Uygunluk / *Compliance with Ethical Standards*

Bu çalışma için İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Etik Kurulu'nun 25.02.2022 tarihli ve 2022/8 numaralı kararı ile onay alınmıştır.

KAYNAKÇA

- Adalı, E.A. ve Işık, U.T. (2017). "Bir Tedarikçi Seçim Problemi İçin SWARA ve WASPAS Yöntemlerine Dayanan Karar Verme Yaklaşımı", *International Review of Economics and Management*, 5(4), 56-77.
- Akbari, M., Meshram, S.G., Krishna, R.S., Pradhan, B., Shadeed, S., Khedher, K.M., Sepehri, M., Ildoromi, A.R., Alimerzaei, F. ve Darabi, F. (2021). "Identification of the Groundwater Potential Recharge Zones Using MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM), Best Worst Method (BWM) and Analytic Hierarchy Process (AHP)", *Water Resources Management*, 35, 4727-4745.
- Aksakal, E. ve Dağdeviren, M. (2010). "ANP ve DEMATEL Yöntemleri İle Personel Seçimi Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905-913.
- Alnıpak, S. ve Yorulmaz, M. (2018). "Lojistik Merkez Yer Seçimi Probleminde Bir Model Önerisi", *Yıldız Teknik Üniversitesi, 5. ASOS Congress Uluslararası Sosyal Beşerî ve İdari Bilimler Sempozyumu*, 25-27 Ekim 2018, İstanbul, 499-505.
- Amiri, M., Sadaghiania, J.S., Payanib, N. and Shafieezadeh, M. (2011). "Developing a DEMATEL Method To Prioritize Distribution Centers In Supply Chain", *Management Science Letters*, 1, 279-288.
- Asadi R. ve Daryaei M. (2011). "Strategies for Development of Iran Health Tourism", *European Journal of Social Sciences*, 23(3), 329-344.
- Ayçin, E. (2019). "Çok Kriterli Karar Verme: Bilgisayar Uygulamalı Çözümler", Nobel Akademik Yayıncılık, 1.Baskı, Ankara.
- Bircan, H. (2020). "ÇKKV Problemlerinde Kriter Ağırlıklandırma Yöntemleri", Nobel Akademik Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara.
- Brauers, H., Braunger, I. and Jewell, J., (2021). "Liquefied Natural Gas Expansion Plans in Germany: The Risk of Gas Lock-In Under Energy Transitions", *Energy Research & Social Science*, 76, 102059.
- Budiyanto M.A., Riadi, A., Buana, I.G.N.S. and Kurnia, G. (2020). "Study on The LNG Distribution to Mobile Power Plants Utilizing Small-Scale LNG Carriers", *Heliyon*, 6(7), e04538.
- Chung, M., Park, H.-C. and Coimbra, C.F.M. (2014). "Estimation of the Building Energy Loads And LNG Demand for A Cogeneration-Based Community Energy System: A Case Study in Korea", *Energy Conversion and Management*, 87, 1010-1026.
- Çetin, M.S. ve Erdem, D. (2019). "İletken İplik Alımında Etkili Kriterler Arasındaki İlişkilerin DEMATEL Yöntemi ile Belirlenmesi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 152-160.
- Dehdasht, G., Mohamad Zin, R., Ferwati, M.S., Mohammed Abdullahi, M., Keyvanfar, A. and McCaffer, R. (2017). "DEMATEL-ANP Risk Assessment in Oil and Gas Construction Projects", *Sustainability*, 9(8), 1420.
- Demir, G. ve Bircan, H. (2020). "Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinden BWM ve FUCOM Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama", *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170-185.
- Demir, G., Özyalçın, A.T. ve Bircan, H. (2021). "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve ÇKKV Yazılımı ile Problem Çözümü", Nobel Akademik Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara.
- Diñçer, H. ve Görener A. (2011). "Performans Değerlendirmesinde AHP-VIKOR ve AHP-TOPSIS Yaklaşımları: Hizmet Sektöründe Bir Uygulama", *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma*, 29,244-260.
- Ecer, F. (2020). "Çok Kriterli Karar Verme Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir Yaklaşım", Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, 1. Baskı, Ankara.
- Ecer, F. (2021). "FUCOM Sübjektif Ağırlıklandırma Yöntemi ile Rüzgâr Çiftliği Yer Seçimini Etkileyen Faktörlerin Analizi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 24-34.
- Erturgut, R. ve Ustalı, N.K. (2021). "Kent İçi Raylı Ulaşım Performansını Değerlendirmede SWARA ve ARAS Yöntemleri ile Bir Model Önerisi", *Verimlilik Dergisi*, 3, 35-53.
- Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A. and Stević, Z. (2019). "FUCOM Method In Group Decision-Making: Selection of Forklift in a Warehouse", *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65.
- Görçün, Ö.F. (2020). "Gemi Türü Seçimini Etkileyen Faktörlerin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi", *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 36-50.
- Hummel, J.M., Bridges, J.F.P. and Ijzerman, M.J. (2014). "Group Decision Making with the Analytic Hierarchy Process in Benefit-Risk Assessment: A Tutorial", *The Patient- Patient-Centered Outcomes Research*, 7, 129-140.
- IGU (2021). "World LNG Report 2021", <https://www.igu.org/resources/world-lng-report-2021>, (Erişim Tarihi: 10.01.2022).
- Karaoğlan, S. ve Şahin, S. (2016). "DEMATEL ve AHP Yöntemleri ile İşletmelerin Satın Alma Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım, DSLR Kamera Örneği", *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 359-375.

- Kim, Y., Kim, S.H., Nam, H.J. Bae, W.H., Lee, I-B ve Lee, S-Y (2021). "Layout Optimization of Process Module on Floating Storage and Re-gasification Unit Using QRA", *Journal Of Chemical Engineering Of Japan*, 54(4), 162-171.
- Kobryń, A. (2017). "DEMATEL as a Weighting Method in Multi-Criteria Decision Analysis", *Multiple Criteria Decision Making*, 12, 153-167.
- Korucuk, S. (2019). "Üretim İşletmelerinde Verimliliğin Önündeki Engellerin ve Verim Artırıcı Tekniklerin Bütünleşik AHP-TOPSIS ile Sıralanması: Erzurum İli Örneği", *Verimlilik Dergisi*, 1, 219-241.
- Koska-Legieć, A. (2018). "What is the Real Issue with Floating Storage and Regasification Units? Regulations Related to the FSRU Implementation Process in the Baltic Sea", *The International Journal On Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(3), 499- 503.
- Kovačić, M. ve Mrvica, A. (2017). "Selecting the Size and Type of a Vessel for the Purpose of Maritime Connection of Mainland and Islands and between the Islands in Croatia", *XLIV Symposium on Operational Research*, Zlatibor, 25-28 Eylül.
- Kulitsa, M. ve Wood, D.A. (2018a). "Floating Storage and Regasification Units Face Specific LNG Rollover Challenges: Consideration of Saturated Vapor Pressure Provides Insight and Mitigation Options", *Natural Gas Industry B*, 5, 391-414.
- Kulitsa, M. ve Wood, D.A. (2018b). "Enhanced Application for FSRU Recondensing Equipment During Periods of Low or No Gas Send Out to Minimize LNG Cargo Losses", *Petroleum*, 4, 365-374.
- Lee, D-H, Ha, M-K, Kim, S-Y ve Shin, S-C (2014). "Research of Design Challenges and New Technologies for Floating LNG", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(2), 307-322.
- Manoharan, S., Pulimi, V.S.K., Kabir, G. ve Ali, S.M. (2022). "Contextual Relationships among Drivers and Barriers to Circular Economy: An Integrated ISM and DEMATEL Approach", *Sustainable Operations and Computers*, 3, 43-53.
- Menteş, A., Kara, Ş. ve Mollaahmetoğlu, E. (2019). "Yüzer Depolama ve Yeniden Gazlaştırma Üniteleri Kargo Operasyonları Üzerine Bir Araştırma", *GiDB Dergi*, 15, 35-47.
- Nersesian, R. (2010). "Energy For The 21st Century: A Comprehensive Guide to Conventional and Alternative Sources", Routledge, U.K.
- Savickis, J., Zemite, L., Jansons, L., Zeltins, N., Bode, I., Anson, A., Selickis, A., Broks, A. ve Kuposovs, A. (2021). "Liquefied Natural Gas Infrastructure and Prospects for the Use of LNG in the Baltic States and Finland", *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2, 45-63.
- Serrato, D., Zapata-Mina, J., Restrepo, A. ve Torres, J. (2021). "Assessment of Liquefied Natural Gas (LNG) Regasified Through Gas Interchangeability in Energy Consumption Sectors", *Energy Reports*, 7, 2526-2533.
- Shabaneh, R. and Schenckery, M. (2020). "Assessing Energy Policy Instruments: LNG Imports into Saudi Arabia", *Energy Policy*, 137, 111101.
- Song Y-J., Woo, J-H. ve Shin, J-G (2011). "Research on Systematization and Advancement of Shipbuilding Production Management for Flexible and Agile Response for High Value Offshore Platform", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 3, 181-192.
- Songhurst, B. (2017). "The Outlook for Floating Storage and Regasification Units (FSRUs)", The Oxford Institute For Energy Studies, July 2017.
- Sönnichsen, N. (2021). "Number of Floating Storage Regasification Units (Fsrus) Worldwide from 2016 to 2020", <https://www.statista.com/statistics/1112630/global-fsru-fleet>, (Erişim Tarihi: 10.01.2022).
- Swennen, R. (2017). "China's Gas Development Strategies", Shell International B.V., Development Research Center DRC, Springer, NY.
- Şener, Z. (2016). "Evaluating Ship Selection Criteria for Maritime Transportation", *Journal of Advanced Management Science*, 4(4), 325-328.
- Şener, Z. ve Öztürk, E. (2015). "A QFD-Based Decision Model for Ship Selection in Maritime Transportation", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 6(3), 202-205.
- Uygurtürk, H. (2014). "Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Taş Kömürü Madenciliği Alanlarının Değerlendirilmesi", *TİSK Akademi*, 9(17), 230-244.
- Whitney, G. ve Behrens, C.E. (2010). "Energy: Natural Gas: The Production and Use of Natural Gas, Natural Gas Imports and Exports, Epect Project, Liquefied Natural", TheCapitol.Net, Inc., Alexandria, VA.
- Wood, D.A. ve Kulitsa, M. (2017). "A Review: Optimizing Performance of Floating Storage and Regasification Units (FSRU) by Applying Advanced LNG Tank Pressure Management Strategies", *International Journal of Energy Research*, 42(6), 1391-1418.

- Xie, X., Xu, D-L, Yang, J-B., Wang, J., Ren, J. ve Yu, S. (2008). "Ship Selection Using a Multiple-Criteria Synthesis Approach", *Journal of Marine Science and Technology*, 13, 50-62.
- Yang, Z.L., Bonsall, S. ve Wang, J. (2015). "Approximate TOPSIS for Vessel Selection under Uncertain Environment", *Expert Systems with Applications*, 38, 14523-14534.
- Yazır, D., Şahin, B. ve Yip, T.L. (2021). "Selection of New Design Gas Carriers by Using Fuzzy EVAMIX Method", *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 37, 91-104.
- Yoo, B-Y. (2017). "Economic Assessment of Liquefied Natural Gas (LNG) as a Marine Fuel For CO₂ Carriers Compared to Marine Gas Oil (MGO)", *Energy*, 121, 772-780.
- Yücenur, G.N. ve İpekçi, A. (2021). "SWARA/WASPAS Methods for a Marine Current Energy Plant Location Selection Problem", *Renewable Energy*, 63, 1287-1298.