

Yük taşımacılığı için bulanık EDAS yöntemi ile taşıma modu seçimi

Umut Aydın^{1,*}, Üstün Atak¹

¹ Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

*Correspondence: uaydin@bandirma.edu.tr

Özet: Gittikçe daha çok karmaşık hale gelen süreçler içerisinde karar vermek insana ait hayati becerilerden biridir. Karar verme süreçlerini daha az hatalı hale getirebilmek için başvurulabilecek yollardan biri Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleridir. Bu yöntemler bulanık mantık yaklaşımı sayesinde insanın karar verme sürecine benzer şekilde işleyen karar destek sistemleri oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada İstanbul çıkış ve Hollanda varış noktası olacak şekilde yük taşımacılığı için demiryolu, denizyolu, karayolu ve havayolu taşıma modları arasında karar vermek amacıyla PFN (Picture Fuzzy Numbers) bulanık formunda, ortalama çözüme uzaklığına göre değerlendirme kısaca EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada taşıma modları arasında karar vermek için uzmanlar tarafından kullanılacak değerlendirme matrislerinin oluşturulmasında literatürdeki çalışmalar ve uzmanların görüşleri göz önünde bulundurularak maliyet, zaman, güvenilirlik ve haftalık sefer frekansı kriterleri kullanılmıştır. Sonuç olarak İstanbul'dan Hollanda'ya gönderilecek yük için en uygun taşıma modunun denizyolu olduğuna karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşıma Modu Seçimi, Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme

Freight transport mode selection with evaluation based on distance from average solution (EDAS) under picture fuzzy environment

Abstract: Decision making is one of the crucial human skills in any processes that are becoming more complex. One of the ways that can be used to make the decision making processes precise is multi-criteria decision making methods (MCDM). These methods help to create decision support systems that operate similarly to the decision-making process of the human, by the fuzzy logic approach. In this study, to decide between railroad, seaway, roadway and airline transportation modes for freight transportation, which will be the export point as Istanbul and import point as the Netherlands, EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) by the form PFN (Picture Fuzzy Numbers fuzzy logic form is used. In this scope; cost, time, reliability and frequency criteria are used to create evaluation matrices that will be used by experts to decide between modes of transport, taking into account the studies in the literature and the opinions of experts. As a result, the most suitable mode of transportation for the cargo from Istanbul to the Netherlands is seaway.

Key words: Transportation mode selection, Fuzzy Logic, Multi Criteria Decision Making

* Corresponding author.

E-mail address: uaydin@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0003-4802-8793, 0000-0002-1513-7371 (in hierarchical order)

Received 8 Feb 2020; Accepted 26 Mar 2020

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Ulaşım üretilen maddelerin, insanların, canlıların bir noktadan diğer bir noktaya nakledilmesidir. Tekerleğin bulunması ile insan yaşamında büyük önem kazanan ulaşım ya da diğer bir tanımıyla ulaştırma birden fazla seçenek ile karşımıza çıkmaktadır. Neredeyse her gün kullandığımız karayolu ulaşımı, yine seyahat için sıkça kullanılan havayolu ulaşımı, yük ve yolcu taşımada kara üzerindeki bir diğer seçenek olan demiryolu ulaşımı ve denizyolu ulaşımı dört temel ulaşım seçeneğidir.

İlk olarak karayolu seçeneği değerlendirildiğinde hem yük hem de yolcu taşımacılığının büyük bir kısmı bu ulaşım seçeneği ile tamamlanmaktadır. Ülkemizde ve dünyada en ücra köşelere ulaşımı sağlayan karayolları ile ulaşım seçeneği son kullanıcının isteğine göre şekillenebilmektedir. Hem kişisel kullanım amaçlı araçların varlığı hem de ticari taşımacılık amacıyla kullanılan araçlar sayesinde bu ulaşım seçeneği genelde en yaygın kullanılan seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaygın kullanımı ve ayrıca akıllı ulaşım teknolojileri uygulamalarının kolaylıkla entegre edilebilmesi sayesinde diğer taşıma seçeneklerine göre daha fazla sorunları olmasına rağmen karayolu ulaşımında bu sorunların kolaylıkla üstesinden gelinebilmektedir (Byon ve diğ, 2009).

Daha az ulaşım payı olan havayolu ulaşımı ise değerli yüklerin ve yolcuların bir noktadan diğer noktaya en kısa sürede gidebilmelerine olanak sağlamaktadır. Sahip olunan yüksek teknoloji ve üst düzey güvenlik önlemleri sayesinde kaza istatistikleri incelendiğinde en güvenli ulaşım seçeneklerinden birisi olduğu görülmektedir. Ancak işletme maliyetleri ve ilk yatırım sermayesi yüzünden karayolu taşımacılığı seçeneği kadar yaygın olmayan bir ulaşım türüdür. Buna rağmen taşınan yüklerin değeri göz önüne alındığında taşıdığı yüksek değerdeki yükler sayesinde dünya ticaretinin yüzde 40'ı havayolu ile taşınmaktadır (Barnhart ve diğ, 2003).

Milattan önce 2600 yıllarında Mısır piramitlerinin yanında bulunan bronz ray kalıntılarının ilk demiryolu ulaşımı olduğu kabul edilmektedir. Japonya, Rusya ve bazı dünya ülkeleri hariç raylar arası açıklığın sabit olduğu hatlarda büyük miktarda yük ve insan taşınabilen vagonlar bir diğer ulaşım seçeneğidir. Ülkemizde ise 1860 yılında İzmir-

Aydın hattında kullanıma açılan hat sayesinde demiryolu ulaşım imkanı sağlanmıştır. Karayolu seçeneğine göre daha çevreci olan bu taşımacılık seçeneğinde hızlı trenlerin yolcu taşınması karayolu ile karşılaştırıldığında daha hızlı seçenek olduğu karşımıza çıkmaktadır (Rietveld, 2000).

Diğer üç seçeneğe göre daha ucuz ulaşım imkanı sağlayan denizyolunda çok büyük miktardaki yükler kıtalar arasında taşınabilmektedir. Uluslararası yük taşımacılığında ve dünya ticaretinde önemli yere sahip olan denizyolu gerek doğal limanlar ile gerekse de ihtiyaçlar doğrultusunda yapılan limanlar ile sektöre hizmet vermektedir. Büyüyen dünya ticareti ile birlikte daha fazla taşımacılık seçeneğine ihtiyaç duyulması deniz yolu taşımacılığının giderek daha fazla önem kazanmasını sağlamıştır (Berle ve diğ, 2011).

Öte yandan taşıma eylemi ise genel olarak tüketici taleplerinin, mal ve hizmetlerin, hammaddelerin taşıyıcı araçlara yüklenip alıcıya ulaştırma işlemidir. En güvenli, ekonomik, hızlı ve sağlam taşıma hem taşıyan hem de taşıtan tarafından istenen özelliklerdir. Örneğin güvenli taşımacılığın sağlanabilmesi için yüklerin herhangi bir hırsızlık olayı olmadan, yüke zarar verilmeden taşıma işleminin tamamlanması beklenmektedir. Bu kapsamda ekonomik taşıma sürecinde en önemli kriter olarak yakıt masrafları karşımıza çıkmaktadır. Taşınan yük ve harcanan yakıt oranı ile karşılaştırma yapılabilecek seçenekte en az birim yakıtla en çok yükün taşınması hedeflenmektedir. Çoğu zaman en önemli kriter olan hız konusunda ise taşıma aracının kabiliyetleri doğrultusunda değerlendirme yapılabilmektedir. Taşınan yük miktarına bakılmaksızın seferin en kısa sürede tamamlanması ilgili seçeneği bu değerlendirme kapsamında ön plana çıkarmaktadır.

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde PFN (Picture Fuzzy Numbers) bulanık formunda ortalama çözüm uzaklığına göre değerlendirme kısaca EDAS yöntemi ile taşıma modu seçiminde çalışma yapılmadığı görülmüştür. Tüm bu kriterler kapsamında çalışma maliyet, zaman, güvenilirlik ve sefer sıklığı başlıklarında ele alınacaktır. İstanbul'dan taşıma işlemine başlanan kargo için Hollanda varış noktasına gönderilecek şekilde EDAS yöntemi kullanılarak karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Çalışmanın devamında öncelikler literatürde taşıma modu seçimi alanında yapılan ve bu çalışmada motivasyonu olan çalışmalardan genel olarak bahsedilecektir. 3. bölümün ilk alt bölümünde öncelikle EDAS yöntemi aşama aşama anlatılacak, ikinci alt bölümde PFN özelliklerinden bahsedilecektir. 3. bölümün son bölümünde ise PFN ile bulanık EDAS yönteminin nasıl uygulandığı aşama aşama anlatılacaktır. Çalışmanın 4. bölümünde ise PFN ile hibrit şekilde kullanılan EDAS yöntemi ile Türkiye’den Hollanda’ya gönderilecek bir yük için hangi taşıma modunun seçilmesi gerektiğini açıklayan bir örnek çözülmüştür.

2. Literatür

“Taşımacılık, mal ve taşıma seçimi” anahtar kelimeleri ile yapılan literatür taramasında taşıma modu seçimi konusunda çok sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Tarama sonucunda çalışma ile en alakalı olan yirminin üzerinde makale seçilmiştir. Bu çalışmalar 1990 yılından 2017 yılına kadar süreyi kapsamaktadır.

1990 yılında karar verme süreci üzerine yapılan çalışmada model seçimini altı farklı kriter etrafında şekillendirerek sadece sığ süreç analizi olarak yapılmaması gerektiğini, aksine tamamen ve kapsamlı bir endüstriyel süreç olarak değerlendirmesi gerektiğini yazarlar vurgulamıştır (Jeffer ve Hills, 1990).

1993 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise hem taşıyan firma hem de taşıtan tüketicilerin taşıma modu seçimi karar verme süreçleri analiz edilmiştir. Çalışmada hava ve denizyolu modları taşıma modu seçenekleri olarak belirlenmiştir. İrlanda Deniz taşımacılığında kullanılan karar verme kriterleri baz alınarak yapılan çalışmada taşıyan özellikleri, zaman ve maliyet kriterleri analiz edilmiş ve bu üçü arasında herhangi bir istatistiksel farklılık bulunmamıştır (Matear ve Richard, 1993).

Belçika taşımacılık endüstrisinde yapılan çalışmada taşıma modu seçiminin lojistik alanında karar verenlerin tahminleri ile nasıl şekillendiği araştırılmıştır. Değişik karar verme seçenekleri belirlenmiş ve ağırlıklandırılmıştır. İnteraktif web tabanlı yazılım oluşturularak kullanıma açılmıştır. Çalışmanın otoritelere lojistik sektörüne bakış açısı kazandırmakla beraber taşımacılık seçimi konusunda karar veren kişilere kolaylık sağlayan araç olduğu açıklanmıştır (Vannieuwenhuysse ve diğ., 2003).

Delhi için yapılan çalışmada üç farklı karayolu taşımacılık seçeneği incelenmiştir. Bu kapsamda motosiklet, doğal gaz ile çalışan otobüs ve arabalar altı farklı kriterlere göre incelenmiştir. Bu kriterler enerji, çevre, maliyet, teknoloji, seçeneğin uygulanabilirliği ve uygulama engelleridir. Çalışma sonucunda her kriterlere göre taşıma seçeneklerinin diğer araçlar üzerindeki üstünlüğü belirlenmiştir (Yedla ve Shrestha, 2003).

Taşımacılık model seçimi konusunda yapılan başka bir çalışmada ise maliyet, zaman ve sıklığın taşıma yöntemi seçimi konusundaki etkileri çalışılmıştır. Ulaşım seçenekleri olarak karayolu ve denizyolu birbiri arasında analiz edilmiş ve denizyolunun taşıma maliyetleri konusunda karayoluna göre daha duyarlı olduğu açıklanmıştır (García-Menéndez ve diğ., 2004).

ÇKKV teknikleri ile geri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak yapılan çalışmada aynı zamanda analitik hiyerarşi süreci kullanılarak başlangıç giriş ağırlıkları belirlenmiştir. Taşıma zamanı, masrafı, kalitesi, araçları, servis zamanı ve sosyal etkiler temel alınarak yapılan çalışmada önerilen yapay sinir ağları metodunun iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Qu ve diğ., 2008).

Yapılan bir diğer deneysel çalışmada ise etkili mal taşıma kuralları tasarımı tamamlanması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamı kapıdan kapıya mantığı temel alınarak güney batı Avrupa Denizi (İspanya) olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucunda bir noktadan diğer noktaya tamamen karayolu ile taşıma sağlamak yerine hem karayolu hem de denizyolu taşıma seçeneğinin daha verimli olduğunu kanıtlamıştır (Feo ve diğ., 2011).

Yapılan bir diğer deneysel çalışma ise teorik kanıtlar da kullanılarak taşımacılık firmaları ve müşteriler arasındaki ilişkinin çıktıları incelenmiştir. Çalışma sonucunda bu etkileşimin daha çok gönderi boyutuna göre değiştiği belirtilmiştir (Holguín-Veras ve diğ., 2011).

Birleşik Devletler’de yapılan karayolu ve demiryolu taşımacılığı seçimi konulu çalışmada kriter olarak uzaklık, ağırlık, masraf, mal değeri ve nakliye zamanı değerlendirilmiştir. Bunların dışında kalan diğer kriterler ise makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Demiryolu taşımacılığı için taşıma maliyeti en

önemli kriter olarak bulunurken karayolu için ise nakliye zamanı olduğu vurgulanmıştır (Samimi ve diğ., 2011).

Kısa ve uzun mesafe birden fazla taşıma seçeneği olan taşımacılık üzerine yapılan başka bir çalışmada karayolu dört temel kritere göre analiz edilmiştir. Maliyet, zaman, güvenilirlik ve esneklik kriterleri kullanılarak yeni ajan temelli modelleme ile çalışma tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda farklı durumlar için hem sadece karayolu hem de çok seçenekli taşımacılık durumlarının performansının analiz edilmesi sağlanmıştır (Reis, 2014).

3. Metodoloji

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde farklı ÇKKV yöntemlerinden taşıma modu seçimi konusunda bir karar mekanizması oluşturmak için faylanıldığı görülmektedir. EDAS yöntemi, VIKOR (Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği) gibi ortalama çözümden uzaklıkların hesaplanmasına dayanan yeni nesil ÇKKV yöntemlerindedir ve Keshavarz Ghorabae ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada VIKOR, TOPSIS, SAW (Basit Toplamı Ağırlıklandırma) ve COPRAS (Karmaşık Oransal Değerlendirme) gibi ÇKKV yöntemleriyle kıyaslandığında en az bu yöntemler kadar güvenilir ve geçerli sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

İnsanın karar verme sürecine yakın bir karar verme mekanizması geliştirmek için de ÇKKV yöntemleri bulanık mantık ortamında kullanılarak, karar verme sürecinin karmaşık yapısı modellenmeye çalışılmaktadır. Zadeh (1965) tarafından literatüre kazandırılan bulanık mantık yaklaşımı, Zadeh'in genişletme prensibi (Extension Principle) ve bu alandaki araştırmacıların katkısıyla daha karmaşık modellemelere imkan tanıyan bulanık mantık yaklaşımlarının bulunmasına sebep olmuştur.

Tüm bu gelişmeler sonucunda da literatürde karmaşık karar verme sürecinin özünü daha fazla kavramayı amaçlayan bulanık mantık ortamında ÇKKV yöntemleri yer edinmeye başlamıştır.

3.1. EDAS yöntemi

Geleneksel EDAS yöntemi Keshavarz Ghorabae ve diğ. (2015) tarafından literatüre kazandırılan bir yöntemdir ve ÇKKV amaçlı bir çok çalışmada kullanılmıştır. Yöntem aşağıdaki gibi 6 adımda özetlenebilir:

Adım 1: İlk adımda KVM (Karar Verme Matrisi (Y)) oluşturulur.

$$Y = [Y_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1m} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de Y_{ij} j 'nci kriter altında i 'nci alternatifin performansını göstermektedir.

Adım 2: Kriterler bazında alternatiflere ait performans değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama değerler matrisi (AV) oluşturulur.

$$AV = [AV_j]_{1 \times m} \quad (2)$$

Adım 3: Bu adımda kriterlerin faydalı (Benefit) veya faydasız (Cost) olmalarına göre ortalama pozitif uzaklık ($PDA = [PDA_{ij}]_{n \times m}$) ve ortalama negatif uzaklık ($NDA = [NDA_{ij}]_{n \times m}$) matrisleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilir.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (Y_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (3)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - Y_{ij}))}{AV_j} \quad (4)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - Y_{ij}))}{AV_j} \quad (5)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (Y_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (6)$$

Burada j 'nci kriter altındaki i 'nci alternatifin j 'nci kriterin ortalamasından farkı elde edilmektedir ve bu adımda Eşitlik (3) ve (4) faydalı (Benefit) kriterler için kullanılırken, Eşitlik (5) ve (6) faydasız (Cost) kriterler için kullanılmaktadır.

Adım 4: Bu adımda her alternatifin PDA ve NDA değerleri kriterlere ait ağırlıklar λ_j ile çarpılıp toplanarak ağırlıklı toplam pozitif değer (SP_i) ve ağırlıklı toplam negatif değer (SN_i) elde Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) kullanılarak elde edilir.

$$SP_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j \times PDA_{ij} \quad (7)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j \times NDA_{ij} \quad (8)$$

Adım 5: Bütün alternatifler için hesaplanan SP_i ve SN_i değerleri Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) kullanılarak normalize edilir.

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (9)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)} \quad (10)$$

NSP_i ve NSN_i değerleri i 'nci alternatife ait en büyük değer ile normalize edilerek elde edilmiş ağırlıklı toplam pozitif ve negatif değerlerdir.

Adım 6: Son adımda ise her bir alternatif için değerlendirme skorları (Appraisal Scores) (AS_i) aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilir.

$$AS_i = \frac{1}{2} \times (NSP_i + NSN_i) \quad (11)$$

Burada $0 \leq AS_i \leq 1$ şartı sağlanmalıdır ve her alternatif için elde edilen değerlendirme skorları büyükten küçüğe doğru alternatiflerin sıralanması için kullanılır. En yüksek skora sahip olan alternatif en iyi alternatiftir.

3.2. PFS

PFS (Picture Fuzzy Sets) Cuong ve diğ. (2013) tarafından Zadeh (1965) genişleme prensibi ve Atanassov (1983) IFS (Sezgisel Bulanık Kümeler) motivasyonu ile literatüre kazandırılmıştır. Zadeh'in (1965) tanımladığı bulanık mantık, üyelik derecesi (Membership Degree) olarak kümenin her elemanı için sadece o kümeye üyeliğinin derecesinin belirtildiği bir yaklaşımdır. Daha sonra Atanassov 1983 yılında üyelik derecesinin yanında bir de o kümeye üye olmama derecesinin (Non-membership Degree) tanımlanması gerektiğini savunmuştur. 2013 yılında gelindiğinde ise Cuong ve diğ. (2013) tarafından bu iki yaklaşımdan motivasyonla 3 farklı üyelik derecesi içeren PFS yaklaşımı literatüre kazandırılmıştır. A bulanık küme evreninde bir nesne olan X aşağıdaki eşitlikte görüldüğü şekilde tanımlanmaktadır:

$$A = \{(x, \mu_A(x), \eta_A(x), \nu_A(x) | x \in X)\} \quad (12)$$

Burada $\mu_A(x) \in [0,1]$ x 'in A kümesindeki pozitif üyelik derecesini, $\eta_A(x) \in [0,1]$ x 'in A kümesindeki nötr (neutral) üyelik derecesini ve

$\nu_A(x) \in [0,1]$ x 'in A kümesindeki negatif üyelik derecesini temsil etmektedir. Görüldüğü üzere tüm üyelik değerleri kendi başlarına 0 ve 1 arasında olma şartını sağlamalarına ek olarak

$0 \leq \mu_A(x) + \eta_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ bu şartı da sağlamaları gerekmektedir. Ayrıca $(1 - (\mu_A(x) + \eta_A(x) + \nu_A(x)))$ değeri de reddetme (refusal) üyelik derecesidir. Bu yaklaşımın klasik örneği oylama örneğidir. Bir oylama faaliyeti olduğunda bir kişinin bu oylamaya olumlu oy kullanması pozitif üyelik derecesi, olumsuz oy kullanması negatif üyelik derecesi, çekimsiz oy kullanması nötr üyelik derecesi ve oy kullanmayı reddetmesi ise reddetme üyelik derecesi için örnek gösterilebilir.

PFS için tanımlanan operatörler ve yaklaşım hakkında daha fazla bilgi edinmek için Cuong ve diğ. (2013) makalesi incelenebilir. Bu çalışmada birleştirme operasyonu (Aggregation Operation) \ Skor fonksiyonu (Score Function) ve ortalama almak amacıyla geometrik birleştirme (Geometric Aggregation) kullanıldığı için bu bölümde sadece bu üç operasyon tanımlanacaktır.

Farklı karar vericilerden gelen değerlendirme matrislerini birleştirmek için PFWA (Picture Fuzzy Weighted Aggregation) birleştirme operasyonu kullanılabilir.

$$PFWA_w = (a_1, a_2, \dots, a_n) = \bigotimes_{j=1}^n (w_j a_j) \quad (13)$$

$$= \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_{a_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n (\eta_{a_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n (\nu_{a_j})^{w_j} \right)$$

Burada $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ a_j ($j=1, 2, \dots, n$)'e

ait olan ve $w_j > 0, \sum_{j=1}^n w_j = 1$ şartını sağlayan ağırlık vektörüdür.

Ayrıca aşağıdaki eşitlik kullanılarak da skor matrisi elde edilir.

$$S(\alpha) = \mu_\alpha - \nu_\alpha \quad (14)$$

3.3. PFN-EDAS Yöntemi

Geleneksel EDAS yöntemini PFN ile hibrit bir şekilde kullanabilmek için aşağıda belirtilen adımlar takip edilmelidir.

Adım 1: k karar verici tarafından j 'inci kriter göz önünde bulundurularak i 'nci alternatif için yapılan değerlendirme matrisi olan $R^k = (r_{ij}^k), k = (1, 2, \dots, t)$ matrisi elde edilmelidir.

Adım 2: Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi ve $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ vektörünün elde edilmesi. Ağırlık vektörünün uzmanların subjektif yorumlarına göre elde edilebilmesinin yanı sıra, Li ve diğ. (2019) çalışmasında belirtildiği gibi de elde edilebilir.

Adım 3: Eğer kriterler arasında faydasız kriterler mevcutsa bütünleştirilmiş matris oluşturulmadan önce negatif üyelik derecesi ile pozitif üyelik derecesinin değiştirildiği aşağıda belirtilen normalizasyon işlemi yapılmalıdır.

$$A = \langle \mu_A(x), \eta_A(x), \nu_A(x) \rangle$$

$$A = \langle \nu_A(x), \eta_A(x), \mu_A(x) \rangle$$

Adım 4: Eşitlik (13) kullanılarak bütünleştirilmiş değerlendirme matrislerinin elde edilir.

Adım 5: Değerlendirme matrisinin oluşumunda kullanılan kriterlere ait ağırlıklar belirlenir. Bu ağırlıkları da karar vericilerin subjektif şekilde belirleyebilmesinin yanı sıra yine Li ve diğ. (2019) çalışmasında olduğu gibi bütünleştirilmiş R matrisindeki değerler yardımıyla kurulan bir doğrusal programlama sonucu da elde edilebilir.

Adım 6: Bu adımda geleneksel EDAS yönteminde olduğu gibi elde edilen bütünleştirilmiş matriste j 'inci kritere ait ortalamalar AV matrisi aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmektedir.

$$AV = [AV_j]_{1 \times n} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m Y_{ij}}{m} \right]_{1 \times n} \quad (15)$$

$$= \left\{ 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_{ij})^{\frac{1}{m}}, \prod_{i=1}^m (\eta_{ij})^{\frac{1}{m}}, \prod_{i=1}^m (\nu_{ij})^{\frac{1}{m}} \right\}_{1 \times n}$$

Adım 7: 5. adımda skor matrisi elde edildikten sonra bulanık mantık formundan tam sayı

formuna dönülür ve aşağıdaki eşitlikler ve 6. adımda elde edilen ortalamalar kullanılarak PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerleri elde edilir.

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (S(Y_{ij}) - AV(Y_j)))}{AV(Y_j)} \quad (16)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV(Y_j) - S(Y_{ij})))}{AV(Y_j)} \quad (17)$$

Adım 8: PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerleri elde edildikten sonra eşitlik (7) ve eşitlik (8) ve ayrıca 4. adımda elde edilen kriter değerleri kullanılarak SP_i ve SN_i vektörleri elde edilir. Bu PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerlerinin ağırlıklarla çarpılıp toplanarak elde edilen ağırlıklandırılmış uzaklık değerleridir.

Adım 9: SP_i ve SN_i değerleri eşitlik (9) ve eşitlik (10) kullanılarak normalize edilir ve her kriter için normalize edilmiş ağırlıklandırılmış uzaklık değerleri olan NSP_i ve NSN_i elde edilir.

Adım 10: Eşitlik (11) kullanılarak her alternatife ait olan AS_i değerlendirme skorları elde edilir. Elde edilen bu değerler

$$0 \leq AS_i \leq 1 \text{ şartını sağlamalıdır.}$$

Adım 11: AS_i değerlerine göre alternatifler sıralanır. En büyük AS_i değerine sahip olan alternatif, alternatifler arasında en iyi olanıdır.

4. Bulgular ve Değerlendirme

Yük taşımacılığında taşıma modu seçimi seçilebilecek alternatifler arasından çok sayıda kriteri göz önünde bulundurularak en iyi alternatifi seçmeyi amaçlayan bir konudur. Bu çalışmada İstanbul'dan Hollanda'ya yük göndermek için hangi taşıma modunun seçilebilecek en iyi alternatif olduğunu araştırmak amacıyla EDAS yöntemi bulanık formda uygulanmıştır. Demiryolu, denizyolu, karayolu ve havayolu alternatifleri arasında seçim yapabilmek için göz önünde bulundurulmuş taşıma maliyeti, teslimat süresi, güvenilirlik ve haftalık sefer frekansı (sıklık) kriterli literatürde taşıma modu seçimi üzerine gerçekleştirilen çalışmalardan seçilmiştir.

Bu çalışmada farklı şirketlerde aynı pozisyonda çalışan 3 farklı karar verici belirlenen kriterlerde taşıma modu alternatiflerini PFN formunda değerlendirmişlerdir ve PFN bulanık mantık formunda EDAS yönteminin adım adım uygulanışı aşağıdaki gibidir:

Adım 1: 3 farklı karar verici tarafından 4 farklı kriter göz önünde bulundurularak 4 farklı taşıma modu için oluşturulan değerlendirme matrisleri aşağıda belirtildiği gibi elde edilmiştir:

Tablo 1. Karar verici 1'e ait değerlendirme tablosu

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.2, 0.3, 0.5>	<0.6, 0.3, 0.1>	<0.5, 0.3, 0.2>
Denizyolu	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.1, 0.2, 0.7>	<0.4, 0.4, 0.2>	<0.3, 0.3, 0.4>
Karayolu	<0.1, 0.4, 0.5>	<0.4, 0.3, 0.3>	<0.3, 0.4, 0.3>	<0.8, 0.1, 0.1>
Havayolu	<0.1, 0.2, 0.6>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.7, 0.2, 0.1>	<0.8, 0.1, 0.1>

Tablo 2. Karar verici 2'e ait değerlendirme tablosu

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.6, 0.2, 0.2>	<0.1, 0.3, 0.5>	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.4, 0.3, 0.2>
Denizyolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.1, 0.1, 0.8>	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.2, 0.1, 0.6>
Karayolu	<0.3, 0.3, 0.4>	<0.4, 0.3, 0.3>	<0.4, 0.3, 0.3>	<0.7, 0.1, 0.1>
Havayolu	<0.2, 0.1, 0.6>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.5, 0.3, 0.1>	<0.8, 0.1, 0.1>

Tablo 3. Karar verici 3'e ait değerlendirme tablosu

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.1, 0.1, 0.5>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.4, 0.2, 0.2>
Denizyolu	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.1, 0.1, 0.6>	<0.7, 0.1, 0.1>	<0.2, 0.1, 0.5>
Karayolu	<0.4, 0.2, 0.3>	<0.6, 0.2, 0.1>	<0.5, 0.1, 0.3>	<0.7, 0.1, 0.1>
Havayolu	<0.1, 0.1, 0.8>	<0.8, 0.1, 0.1>	<0.8, 0.1, 0.1>	<0.7, 0.1, 0.1>

Tablo 4. Karar vericilere ait değerlendirme tablolarının bütünleştirilmiş hali

	Maliyet	Zaman	Güvenilirlik	Sıklık
Demiryolu	<0.13, 0.13, 0.67>	<0.50, 0.21, 0.13>	<0.64, 0.18, 0.10>	<0.44, 0.26, 0.20>
Denizyolu	<0.10, 0.13, 0.66>	<0.71, 0.13, 0.10>	<0.58, 0.20, 0.13>	<0.24, 0.15, 0.49>
Karayolu	<0.41, 0.29, 0.18>	<0.24, 0.26, 0.46>	<0.40, 0.23, 0.30>	<0.74, 0.10, 0.10>
Havayolu	<0.68, 0.13, 0.13>	<0.10, 0.10, 0.73>	<0.69, 0.18, 0.10>	<0.77, 0.10, 0.10>

Adım 2: Karar vericilere air ağırlık vektörü bu çalışmada subjektif olarak $w = (0.34, 0.33, 0.33)$ olarak belirlenmiştir. Karar vericilerin buldukları departmanlar ve çalıştıkları pozisyonlar açısından birbirlerine üstünlükleri

bulunmadığından ağırlıkları eşit olacak şekilde oluşturulmuştur.

Adım 3: Maliyet ve Zaman kriterleri faydasız kriterler oldukları için aşağıda belirtildiği gibi pozitif ve negatif üyelik derecelerinin yerleri

değiştirilerek normalizasyon işlemi yapılmıştır:

$$A = \langle \mu_A(x), \eta_A(x), \nu_A(x) \rangle$$

$$A = \langle \nu_A(x), \eta_A(x), \mu_A(x) \rangle$$

Adım 4: Eşitlik (13) kullanılarak Tablo 4'te yer alan bütünleştirilmiş değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Örneğin ilk taşıma modu olan demiryoluna ait pozitif üyelik derecesinin birleştirilmiş hali olan 0.13 değerinin elde edilmesi aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$(1 - ((1 - 0.7)^{0.34} \times (1 - 0.6)^{0.33} \times (1 - 0.7)^{0.33}))$$

$$= 0.13$$

Ayrıca negatif üyelik derecesinin bileştirilmiş hali de aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$0.1^{0.34} \times 0.2^{0.33} \times 0.1^{0.33} = 0.67$$

Bütünleştirilmiş matrisi elde etmek için her alternatif altında yer alan her taşıma modunun pozitif, nötr ve negatif üyelik dereceleri Eşitlik (13) kullanılarak yukarıda gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Adım 5: Kriterlere ait ağırlıklar eşit kabul edilmiştir ve ağırlık vektörü $\lambda = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$ şeklinde elde edilmiştir.

Adım 6: Eşitlik (14) kullanılarak aşağıda görülen skor matrisi elde edilmiştir.

$$S = \begin{bmatrix} -0.53 & 0.37 & 0.54 & 0.24 \\ -0.56 & 0.61 & 0.46 & -0.26 \\ 0.23 & -0.22 & 0.10 & 0.46 \\ 0.56 & -0.63 & 0.59 & 0.67 \end{bmatrix}$$

Ayrıca eşitlik (15) kullanılarak aşağıdaki ortalama PFN değerleri elde edilmiştir.

$$AV = \begin{bmatrix} 0.38 & 0.16 & 0.32 \\ 0.29 & 0.16 & 0.26 \\ 0.27 & 0.20 & 0.14 \\ 0.25 & 0.14 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Birleştirilmiş matrisine ait ortalamalar vektörü de $AV(Y_j) = (0.06, 0.04, 0.13, 0.25)$ şeklinde elde edilen ortalamaların skor değerleridir. Örneğin 0.06 değeri 0.38 ve 0.32 değerinin arasındaki farktır.

Adım 7: PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerleri elde edilirken Eşitlik (16) ve (17) ve ayrıca 6. adımda elde edilen ortalama değerler kullanılmıştır. Elde edilen matrisler aşağıdaki gibidir:

$$PDA_{ij} = \begin{bmatrix} 0.00 & 8.51 & 3.16 & 0.00 \\ 0.00 & 14.57 & 2.54 & 0.00 \\ 2.52 & 0.00 & 0.00 & 1.57 \\ 7.66 & 0.00 & 3.57 & 1.70 \end{bmatrix}$$

$$NDA_{ij} = \begin{bmatrix} 9.27 & 0.00 & 0.00 & 0.05 \\ 9.79 & 0.00 & 0.00 & 2.03 \\ 0.00 & 6.55 & 0.19 & 0.00 \\ 0.00 & 17.08 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Adım 8: 5. adımda elde edilen $\lambda = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$ vektörü ile PDA_{ij} ve NDA_{ij} değerlerinin çarpımı sonucu $SP_i = (2.92, 4.28, 1.02, 3.23)$ ve $SN_i = (2.33, 2.95, 1.68, 4.26)$ vektörleri elde edilmiştir.

Adım 9: SP_i ve SN_i değerleri eşitlik (9) ve eşitlik (10) kullanılarak normalize edilmiştir ve her kriter için normalize edilmiş ağırlıklandırılmış uzaklık değerleri olan $NSP_i = (0.68, 1, 0.24, 0.75)$ ve $NSN_i = (0.45, 0.30, 0.60, 0)$ vektörleri elde edilmiştir.

Adım 10: Eşitlik (11) kullanılarak her alternatife ait olan $AS_i = (0.57, 0.65, 0.42, 0.37)$ değerlendirme skorları elde edilmiştir.

Adım 11: AS_i değerlerine göre alternatifler Denizyolu > Demiryolu > Karayolu > Havayolu şeklinde sıralanmıştır.

5. Sonuç

Üç farklı uzman tarafından oluşturulan karar verme matrisleri yardımıyla PFN ortamında EDAS yöntemi kullanılarak İstanbul çıkış ve Hollanda varış noktası olacak şekilde yük göndermek amacıyla bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Maliyet, zaman, güvenilirlik ve sıklık kriterleri göz önünde bulundurularak uzmanların oluşturduğu karar matrisleri ve toplam 11 adımdan oluşan yöntemin uygulanması sonucunda İstanbul çıkış Hollanda varış noktası olacak şekilde bir yük gönderimi yapmak için en iyi taşıma modunun denizyolu olduğu sonucunda varılmıştır. Denizyolundan sonra ikinci en iyi alternatif ise demiryolu olmuştur. Bu alternatifleri üçüncü olarak karayolu ve sonuncu olarak ise havayolu takip etmiştir. Kullanılan yöntemde karar vericilerin ve kriterlerin ağırlıkları direkt olarak sonuca etki etmektedir. Bu çalışmada hem karar vericiler hem de kriterlerin ağırlıkları eşit kabul edilerek denizyolunun en iyi alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalarda

öncelikli olarak bu ağırlıkların literatürde yer alan çalışmalar ile belirlenmesi yoluyla ya da subjektif şekilde belirlenmesi yoluyla değiştirilerek alternatiflerin nasıl sıralandığı gözlemlenebilir. Ayrıca diğer bulanık mantık setleri veya ÇKKV yöntemleri kullanılarak da alternatifler arasında yapılan seçimlerin nasıl farklılaştığı gözlemlenebilir.

Kaynakça

Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3).

Barnhart, C., Belobaba, P., & Odoni, A. R. (2003). Applications of operations research in the air transport industry. *Transportation Science*, 37(4), 368–391. <https://doi.org/10.1287/trsc.37.4.368.23276>

Berle, Ø., Asbjørnslett, B. E., & Rice, J. B. (2011). Formal Vulnerability Assessment of a maritime transportation system. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(6), 696–705. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.12.011>

Byon, Y.-J., Abdulhai, B., & Shalaby, A. (2009). Real-Time Transportation Mode Detection via Tracking Global Positioning System Mobile Devices. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 13(4), 161–170. <https://doi.org/10.1080/15472450903287781>

Cuong, Bui Cong, and Vladik Kreinovich. "Picture Fuzzy Sets-a new concept for computational intelligence problems." *2013 Third World Congress on Information and Communication Technologies (WICT 2013)*. IEEE, 2013.

Feo, M., Espino, R., & García, L. (2011). An stated preference analysis of Spanish freight forwarders modal choice on the south-west Europe Motorway of the Sea. *Transport Policy*, 18(1), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.05.009>

García-Menéndez, L., Martínez-Zarzoso, I., & Pinero De Miguel, D. (2004). Determinants of mode choice between road and shipping for freight transport: Evidence for four Spanish exporting sectors. *Journal of Transport Economics and Policy*, 38(3), 447–466.

Holguín-Veras, J., Xu, N., de Jong, G., & Maurer, H. (2011). An Experimental Economics Investigation of Shipper-carrier Interactions in the Choice of Mode and

Shipment Size in Freight Transport. *Networks and Spatial Economics*, 11(3), 509–532. <https://doi.org/10.1007/s11067-009-9107-x>

Jeffs, V. P., & Hills, P. J. (1990). Determinants of modal choice in freight transport - A case study. *Transportation*, 17(1), 29–47. <https://doi.org/10.1007/BF02125502>

Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435–451.

Li, X., Ju, Y., Ju, D., Zhang, W., Dong, P., & Wang, A. (2019). Multi-Attribute Group Decision Making Method Based on EDAS Under Picture Fuzzy Environment. *IEEE Access*, 7, 141179-141192.

Matear, S., & Richard, G. (1993). Factors Influencing Freight Service Choice for Shippers and Freight Suppliers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 23(2), 25–35. <https://doi.org/10.1108/09600039310038198>

Qu, L., Chen, Y., & Mu, X. (2008). A transport mode selection method for multimodal transportation based on an adaptive ANN system. *Proceedings - 4th International Conference on Natural Computation, ICNC 2008*, 3, 436–440. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2008.165>

Reis, V. (2014). Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 100–120. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.002>

Rietveld, P. (2000). The accessibility of railway stations: The role of the bicycle in The Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(1), 71–75. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(99\)00019-X](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(99)00019-X)

Samimi, A., Kawamura, K., & Mohammadian, A. (2011). A behavioral analysis of freight mode choice decisions. *Transportation Planning and Technology*, 34(8), 857–869. <https://doi.org/10.1080/03081060.2011.600092>

Vannieuwenhuysse, B., Gelders, L., & Pintelon, L. (2003). An online decision support system for transportation mode choice, 16(2),

125–133.

<https://doi.org/10.1108/09576050310467269>

Yedla, S., & Shrestha, R. M. (2003). Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), 717–729. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(03\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(03)00027-2)

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353. Zhang, Siqi, et al. "EDAS method for multiple criteria group decision making with picture fuzzy information and its application to green suppliers selections." *Technological and Economic Development of Economy*, 25, 6, 2019, 1123-1138.