



Demir İpek Yolu Güzergahında Kuruluş Yeri Seçimi: Kapıkule-Kars Örneği

Mehmet Taha YIKIN¹ , Evrencan ÖZCAN²

¹ TCDD Taşımacılık Genel Müdürlüğü, Yük Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

² Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

*tahayikin@gmail.com

(Alınış/Received: 29.06.2023, Kabul/Accepted: 15.01.2024, Yayımlama/Published: 31.01.2024)

Öz: İpek Yolu, tarihi boyunca birçok medeniyet arasında ticaretin yapıldığı en önemli yollarından biri olmuştur. Coğrafi keşiflerden sonra yeni ticaret yollarının bulunması sonucunda önemini kaybeden İpekyolu, güzergâh ülkeleri tarafından demir İpek Yolu olarak yeniden canlandırılmış, Trans Hazar Uluslararası Taşıma Koridoru olarak taşımalara açılmıştır. Özellikle Marmaray tüp geçidinin yapılması ile Çin'den gelen yüklerin bu geçidi kullanarak Avrupa'ya gitmesi, Türkiye'nin özellikle Jeopolitik konumu itibari ile Avrupa ve Uzak Doğu arasında önemli bir transit ülke olması ile Kars ve Kapıkule sınır kapılarının yoğun olarak kullanılması, ülkemizi önemli bir cazibe merkezi haline getirmiştir. Kuruluş yeri seçiminde ön önemli etkenler dikkate alındığında, gerek dopolama gerek bakım, gerekse diğer lojistik süreçlerin etkin ve verimli performansı için seçilecek yerin özellikle diğer taşıma modlarına kolay erişim sağlayan bir lokasyonda olması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Kapıkule-Kars arasında Türkiye'deki demiryolu ağının karayolu kavşak noktaları ile kesiştiği noktalar seçilerek 27 dal 31 düğümünden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Yer ve güzergâh seçimini etkileyen 6 tane kriterler belirlenmiş pisagor bulanık analitik hiyerarşik prosesi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, COPRAS yöntemi ile alternatifler önem derecelerine göre sıralanmıştır. Bulunan değerler Dijkstra Algoritması kullanılarak Python programlama dilinde kodlanarak çözülmüştür. Kapıkule-Kars arasındaki hat kesiminde demiryolu güzergahının karayolu kavşak noktaları ile kesiştiği noktalarda en uygun yer ve rota seçimi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Şebeke optimizasyonu, Dijkstra algoritması, Demir ipekyol

Establishment Site Selection on the Iron Silk Road Route: Kapıkule-Kars Example

Abstract: The Silk Road has been one of the most important routes for trade between many civilizations throughout history. The Silk Road, which lost its importance as a result of the discovery of new trade routes after geographical discoveries, was revived as the Iron Silk Road by the route countries and opened to transportation as the Trans-Caspian International Transport Corridor. Particularly with the construction of the Marmaray tube passage, cargo coming from China goes to Europe using this passage, Turkey being an important transit country between Europe and the Far East, especially due to its geopolitical position, and the intense use of Kars and Kapıkule border gates, making our country an important one. has become a center of attraction. Considering the important factors in the selection of the establishment location, it is of great importance that the location to be chosen is in a location that provides easy access to other transportation modes, especially for the effective and efficient performance of both storage, maintenance and other logistics processes. In this study, a network consisting of 27 branches and 31 nodes was created by selecting the points where the railway network in Turkey intersects with the highway junctions between Kapıkule and Kars. Six criteria affecting location and route selection were determined, the weights of the criteria were determined with the Pythagorean fuzzy analytical hierarchical process, and the alternatives were ranked according to their importance with the COPRAS method. The found values were coded and solved in Python programming language using the Dijkstra Algorithm. In the line section between Kapıkule and Kars, the most suitable location and route selection was made at the points where the railway route intersects with the highway junctions.

Keywords: Network optimization, Dijkstra's algorithm, Iron silk road

Atıf için/Cite as: M.T. Yıkın, E. Özcan, "Demir İpek Yolu güzergahında kuruluş yeri seçimi: Kapıkule-Kars örneği," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 19, pp. 225-240, Jan. 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1320992

1. Giriş

Tarihi İpek Yolu, Çin'den başlayarak Anadolu ve Akdeniz aracılığıyla Avrupa'ya kadar uzanan dünyaca ünlü bir ticaret yoludur[1]. İpek Yolu sadece tüccarların değil, aynı zamanda doğu ile batı arasında bilgelerin, orduların, fikirlerin, dinlerin ve kültürlerin de yolu olmuştur. 1980'lerden sonra ekonomik serbestleşme politikaların yaygınlaşması, mal ve sermaye hareketleri üzerindeki kısıtların kalkması ile teknolojik gelişmeler dünya ekonomisinde dengeleri değiştiren bir süreç başlatmıştır. Çin ve Hindistan'ın başını çektiği Asya ekonomilerinin dünya ekonomileri içerisinde oldukça büyük ticaret hacmine ulaşması, bu ekonomilerin çevresindeki Türk dünyasının da içerisinde olduğu ülkelerin de önemli bir konuma yükselmesine neden olmuştur.

Çin, 2013 yılında tarihi bir adım atarak Pekin'den Londra'ya ulaşan dünyanın bu kadim ve en eski ticaret yollarından biri olan İpek Yolu projesini güzergâh ülkeleri ile iş birliği içerisinde "Tek Kuşak Tek Yol" sloganı ile yeniden canlandırmıştır [2]. Tarihi İpek Yolundan ilham alınarak geliştirilen bu girişimin temel amacı, Asya'yı karadan ve denizden Avrupa'ya bağlayacak ticaret ve altyapı ağı oluşturarak ekonomik faaliyetlerin küreselleşmesini sağlamak, kazan-kazan anlayışı ile küresel iş birliğini arttırmak ve güzergâh ülkelerinde toplumsal refah yaratarak bölgesel ekonomik kalkınmayı ve işbirliğini teşvik etmektir [3]. Türkiye coğrafi ve jeopolitik konumu sayesinde en önemli güzergâh ülkelerinden birisi olarak bu iş birliğinden en fazla beklentisi olan ülke durumundadır. Dolayısıyla Türkiye; demiryolu, karayolu, tüp geçitler ve boğaz köprüleri başta olmak üzere birçok önemli yatırıma imza atmıştır [4].

2. Literatürde Yapılan Çalışmalar

İnan vd. Ege denizi üzerinde bulunan 61 liman ve bu limanlar arasında 604 adet düğümünden oluşan bir şebeke oluşturarak en kısa yol probleminin genetik algoritma yardımıyla belirlemişlerdir [5]. Boyacı vd. akaryakıt taşımacılığının karayolu, demiryolu ve denizyolunu kombinasyonundan oluşan arz ve talep noktaları arasındaki toplam ulaştırma maliyeti ve riskinin minimizasyonunu hedefleyen çok modlu çok ürünlü iki matematiksel model önerilmişlerdir [6]. Özdemir vd. İpekyolu Koridorlarında Pekin'den Londra'ya ulaşan demiryolu ağı için toplam 26 düğümünden oluşan bir graf oluşturulmuş ve modern İpekyolu veya orta koridor olarak adlandırılan güzergâhın Pekin-Londra arası en kısa demiryolu güzergâhı olduğu sonucuna ulaşmışlardır [7]. Yavuz vd. trafik kazalarına müdahale öncesi ve sonrasında ambulans hizmetlerinin olay yerine, hastanın da en yakın sağlık merkezine ulaştırılmasında yaşanan gecikmelerin ve aksaklıkları giderecek önlemlere ilişkin karar destek önerisi sunmuşlardır [8]. Prasetyo, havayolu uçuş süresini en aza indirebilmek için Welch-Powell ve Dijkstra algoritmalarını kullanılarak maliyetlerden tasarruf sağlayacak bir öneri geliştirmişlerdir [9]. Arman vd. bir lojistik firması için Düzce-Artvin arasındaki toplam mesafeyi ve süreyi en aza indiren bir rota önermişlerdir [10]. Ardana vd. metropoldeki bir tesisin başlangıç noktasından varış noktasına Dijkstra algoritması ile geçiş koridorlarının yerini veya aktarma noktasını belirlemişlerdir [11]. Suryani vd. çöp toplama araçlarının belirlenen noktalardan çöp toplama deposuna olan en kısa rotayı belirlemeyi amaçlayan bir uygulama geliştirmişlerdir [12]. Wibowo vd. Purbalingga'da hastaların şehrin meydanından toplu taşıma araçları ile en yakın hastaneye en kısa sürede ulaşmasını sağlayacak rotayı Dijkstra algoritması ile belirlemişlerdir [13]. Marni vd. Dijkstra algoritması ile android tabanlı bir online seyahat rezervasyon uygulama önerisi geliştirerek, kullanıcıların seyahat rezervasyonu yapmasını kolaylaştıran bir seyahat uygulaması önermişlerdir [14]. Li, karayolu yolcu taşıma merkezlerinin şehir içi trafik operasyonları üzerindeki etkisini azaltmak için kentsel karayolu ağında seyahat eden yolcular için en kısa yol bulmuştur [15]. Sangaiah vd. Çin'de ulaşım ağının depolama yapısını kurmak ve iki şehir arasındaki en kısa yolu Dijkstra ve Floyd algoritmaları ile bularak sonuçları zaman ve maliyet parametreleri açısından karşılaştırmışlardır[16]. Akpofure vd. ürünlerin üretim tesislerinden satış mağazalarına taşınması için en kısa mesafeyi bularak zaman ve maliyeti en aza indirecek bir öneri geliştirmişlerdir [17]. Behún vd. hammaddelerin çıkarıldığı yerden tüketim ya da işlenme noktasına Dijkstra

algoritmasını kullanarak en kısa yol ve sürede ulaştırılmasını sağlayacak bir öneri geliştirmişlerdir [18]. Patır, bir ilaç deposu için en kısa yol problemini dinamik programlama ile ele alarak, gelen siparişlerin en kısa zamanda karşılanması için alternatif bir yol belirlemişlerdir [19]. Fitriansyah vd. Endonezya'daki çeşitli turizm destinasyonlarının birbirlerine olan en kısa mesafesi bulunarak turistlerin seyahat sürelerinden tasarruf etmelerini amaçlamışlardır [20]. Makariye, şehir trafiğinde meydana gelen hızlı artışa çözüm bulmak için Dijkstra algoritması ile optimal güzergâh belirlenerek büyük şehirlerin trafik sorununa çözüm getirmek istemişlerdir [21]. Zulfiqar vd. lojistik firmalarının zaman ve maliyet tasarrufu yapmaları açısından Dijkstra ve Sweep algoritması kombinasyonu ile dağıtım planlaması yaparak nakliye den % 9,3 iyileşme ile yolculuk süresinden %50 oranında azalma sağlamışlardır [22]. Beker vd. lojistik süreçlerin en önemli unsurlarından biri olan depolama sürecinde kullanılan forkliftler için rota optimizasyonu yaparak depolardaki iş süreçlerinin kısaltılmasını amaçlamışlardır [23]. Khaing vd. modern bir kentsel bölgede coğrafi bilgi sistemi ve dijkstra algoritmasını kullanarak yaygın şehir içi otobüs güzergahlarındaki en kısa güzergahları temel alan bir prototip tasarlanmışlardır [24]. Li vd. yük taşımacılığı talebine dayalı ulaşım rotasının belirlenmesi için Dijkstra algoritması ile en kısa yolu bulmak için römorkla taşıma modeli üzerinden bir öneri sunmuşlardır [25]. Liu vd. Çin'de yemek teslimatındaki gecikmeleri önlemek ve en kısa sürede teslimini sağlamak için en kısa yol problemine çözüm getirilmişlerdir [26]. Dib vd. demiryolu ve karayolu yolcu ağlarında, seyahat süresi, maliyet gibi kriterleri dikkate alarak, genetik Algoritma yaklaşımı ile çok modlu bir ortamda bir en kısa yol önerisi sunmuşlardır. [27]. Şahin, bulanık analitik hiyerarşi süreci ile genişletilmiş Dijkstra algoritması kullanılarak insanlı ya da insansız gemilere yakıt tüketimi, zaman ve emniyet bakımından fayda sağlayacak bir öneri sunmuşlardır [28]. Bozyer vd. kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin çözümüne yönelik bir yöntem geliştirerek veri kümelerine uygulanmış ve elde edilen sonuçları tartışmışlardır [29]. Pamučar vd. şehir içi ulaşım ağında tehlikeli maddeler için taşıma rotasının belirlenmesine yönelik bir model önerisi geliştirerek çeşitli risk kriterlerinin yanı sıra maliyeti en aza indirecek yeni bir yaklaşım önermişlerdir [30]. Gökcan, en kısa yol problemi ile ilgili bazı algoritmalar incelenmiş ve bunlardan Dijkstra Algoritması ile Manisa İline ait bir katı atık toplama araçları için en uygun yol güzergâh belirlemişlerdir [31].

Kapıkule-Kars arasında Türkiye'deki demiryolu ağının karayolu kavşak noktaları ile kesiştiği noktalar seçilerek 27 dal 31 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Yer ve güzergâh seçimini etkileyen 6 tane kriterler belirlenmiş pisagor bulanık analitik hiyerarşik prosesi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, COPRAS yöntemi ile alternatifler önem derecelerine göre sıralanmıştır. Bulunan değerler Dijkstra Algoritması kullanılarak Python programlama dilinde kodlanarak çözülmüştür. Kapıkule-Kars arasındaki hat kesiminde demiryolu güzergahının karayolu kavşak noktaları ile kesiştiği noktalarda en uygun yer ve rota seçimi yapılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında benzer problemlerin, Floyd Warshall, Dijkstra, Prim, Ford Fulkerson, Bellman Ford gibi en kısa yol algoritmalarının farklı çok kriterli karar verme yöntemleri ile harmanlanarak çözüldüğü görülmektedir. Çalışmada optimal sonuç vermesi, yönlü graf içermesi, bütün düğümlere uğrama zorunluluğu olmaması, negatif değerler içermemesi, literatürde çok kullanılan bir algoritma olması nedeni ile Dijkstra Algoritması tercih edilmiştir. Çalışmada belirlenen kriterler birbirine yakın önem derecelerine sahip kriterlerdir. Bu nedenle belirlenen bütün kriterleri kendi içerisinde karşılaştırma olanağı verdiğinden klasik analitik hiyerarşik prosesi (AHP) yöntemi yerine pisagor bulanık AHP yöntemi tercih edilmiştir. AHP yöntemine göre elde edilen kriter ağırlıkları alternatiflerin önem derecelerine sıralanması için yönteminin güvenilirliği ve doğruluğu birçok bilim insanı tarafından kabul edilen ve günümüzde karar vericiye özellikle mühendislik ve farklı yönetim alanları olmak üzere birçok alanda kullanılabilir esneklik sağlaması açısından COPRAS yöntemi tercih edilmiştir.

Özellikle Çin Halk Cumhuriyeti'nin girişimi ile canlandırılan tarihi İpek Yolunun barındırdığı fırsatların yanında ülkemizin coğrafi konumunun barındırdığı avantajlar ile son yıllarda başta

Marmaray tüp geçidi ve köprü projeleri olmak üzere; yapılan entegre altyapı yatırımları sektör paydaşlarının cazibesini orta koridora yöneltmiştir. Bu çalışmada sektör paydaşlarının beklentilerinin karşılanması ve koridorun avantajlarından daha fazla yararlanmalarının sağlanması amacıyla Kapıkule-Kars güzergahı üzerinde özellikle kara yolu bağlantılı kavşak noktaları üzerinde kuruluş yeri seçimi yapılmış, belirlenen kriterler çerçevesinde rekabet üstünlüğü sağlayacak bir öneri sunulmuştur.

3. Kullanılan Yöntemler

3.1. Pisagor bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

Analitik hiyerarşi prosesi (AHP); Saaty tarafından geliştirilmiş olan çok kriterli karar verme yöntemidir. En doğru karara ulaşılabilmesi için gerekli olan somut veya soyut faktörleri inceleyen, karmaşık yapıları içine dâhil edebilen ve bu etmenler ile hesaplama yapabilen bir çözüm yöntemidir [32].

AHP yönteminin sezgisel bulanık kümelerin belirsizliğini tam olarak karşılayamamasından dolayı Yager tarafından pisagor bulanık kümeler ortaya atılmış ve sezgisel bulanık kümelere genelleme olarak geliştirilmiştir [33].

Geleneksel AHP yönteminde alternatiflerin ikili karşılaştırılması sırasında öznel ve nesnel kriterlerin karşılaştırılması yapılabilir. Yöntem, hem karar vericilerin tutarlı olmasını sağlamakta hem de ikili karşılaştırmalarla karar vericilerin işini kolaylaştırmaktadır. Uzman görüşlerinden faydalansa bile, insanın değer yargılarını tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle, geleneksel AHP ile bulanık mantık kombinlenerek Bulanık AHP geliştirilmiştir. Geleneksel AHP yönteminden farklı olarak kesin rakamlar değil de bir dizi değerler bütünü kullanılarak kriterler karşılaştırılmaktadır. [34]. Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [35].

Adım 1: Dilsel değişkenlere dayalı ikili karşılaştırma matrisi $A = (a_{ij})_{m \times m}$ oluşturulur.

Adım 2: Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak farklar matrisi $D = (d_{ij})_{m \times m}$ oluşturulur.

$$d_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - v_{ijL}^2 \quad (1)$$

$$d_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - v_{ijU}^2 \quad (2)$$

Adım 3: Çarpımsal matris $S = (s_{ij})_{m \times m}$ Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak hesaplanır.

$$s_{ijL} = \sqrt{1000^{d_{ijL}}} \quad (3)$$

$$s_{ijU} = \sqrt{1000^{d_{ijU}}} \quad (4)$$

Adım 4: Tereddüt dereceleri $H = (h_{ij})_{m \times m}$ Eşitlik 5 kullanılarak belirlenir.

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (v_{ijU}^2 - v_{ijL}^2) \quad (5)$$

Adım 5: Normalize edilmemiş ağırlıklar $T = (t_{ij})_{m \times m}$ Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanır.

$$t_{ij} = \left(\frac{s_{ijL} + s_{ijU}}{2} \right) h_{ij} \quad (6)$$

Adım 6: Kriter ağırlıkları w_i Eşitlik 7 kullanılarak belirlenir.

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{ij}} \quad (7)$$

3.2. COPRAS yöntemi

COPRAS yöntemi ise Zavadskas ve Kaklauskas tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir[36]. Genellikle yönetim, mühendislik ve çevre bilimi gibi alanlarda kullanılır. COPRAS, çeşitli kriterlerin dikkate alınması gereken karmaşık karar problemlerin çözümünde ağırlıklı olarak kullanılır. Bu yöntemin diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farkı ise, seçeneklerin birbirleriyle kıyaslanması ve birbirlerine olan üstünlüklerinin yüzdesel olarak gösterilebilmesidir. Yöntemin aşamaları aşağıdaki gibidir [37].

Adım 1- Karar matrisinin oluşturulur.

$$X = \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{nm} \end{matrix} \quad (8)$$

Adım 2- Adım 1' de oluşturulan karar matrisi Eşitlik 8 kullanılarak normalleştirilir. Buradaki q_i kriter ağırlıklarını göstermektedir. COPRAS yönteminde kriter ağırlıklarını belirleme aşaması olmayıp, ağırlıklar bir puanlama yöntemi kullanılarak belirlenir. Her bir kriterin x_i 'ye göre ağırlıklandırılmış d_{ij} değerlerinin toplamı ilgili kriterin ağırlık değeri olan q_i 'ye eşit olup bu hesaplama eşitlik 9'da gösterilmektedir.

$$d_{ij} = \frac{x_{ij}q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i=1,m; \quad j=1,n \quad (9)$$

Adım 3- Ağırlıklı indeksler toplanır. Faydasız kriterlere göre hesaplanan $S-j$ değerinin küçük, aynı şekilde faydalı kriterlere göre hesaplanan $S+j$ değerinin ise büyük olmasının amaca ulaşmada daha olumlu etkisi olmaktadır.

Adım 4- Seçeneklerin göreceli önem değerinin hesaplanır. Karşılaştırması yapılan her bir seçeneğin göreceli önem değeri olan Q_j , Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanır. Elde edilen Q_j değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Q_j değerinin büyük olması göreceli önem değerinin de o derece büyük olduğu anlamına gelir.

$$q_{ij} = \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad i=1,m; \quad j=1,2 \quad (10)$$

Adım 5- Seçeneklerin fayda derecesini belirlenir. Her bir seçeneğin fayda derecesi Eşitlik 11 kullanılarak belirlenir. En iyi seçeneğin fayda derecesi 100 puan olur ve diğer seçenekler bu puana göre oranlanır.

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{\max}} * 100 \% \quad (11)$$

3.3. Dijkstra algoritması

Dijkstra Algoritması, bir graf üzerinde belirlenen başlangıç ve hedef düğümleri arasındaki en kısa güzergâhın bulunmasını sağlayan bir algoritmadır. Hollandalı bilgisayar bilimci Edsger Dijkstra tarafından 1959 yılında yayınlanan en kısa yol algoritmasıdır[38]. Algoritma, ağırlıklı ve yönlü graflar için geliştirilmiştir. En kısa yolun belirlenmesinde, bir düğümden diğer bir düğüme geçerken olası en iyi yerel çözümü göz önüne alan Greedy yaklaşımı kullanılır ve iterasyonun her adımında bir sonraki düğüme ilerleme Greedy yaklaşımına göre yapılır [39].

Dijkstra algoritmasının avantajı diğer algoritmalara göre daha doğru ve kesin sonuçlar vermesi, bütün düğümlere uğrama zorunluluğu olmaması, döngülü veya döngüsüz tüm şebekelere uygulanabilmesi, dezavantajı ise yalnızca pozitif ağırlık bulunduran şebekelere uygulanabilmesidir. Algoritmanın çalışma adımları aşağıda gösterilmiştir. [40]

İlk olarak Başlangıç düğümü seçilir ve “sıfır” değeri atanır. Bu düğümden gidilebilen diğer tüm düğümlerin ağırlığı “geçici puan” olarak hesaplanır.

$$\bar{S} = \{s\}, S = N - \{s\}, \quad \begin{array}{ll} 0 & j = s \text{ ise} \\ Lj = \{Lsj\} & j \in \Gamma \text{ ise} \\ \infty & j \notin \Gamma \text{ ise} \end{array}$$

Başlangıç düğümünden direkt olarak gidilen düğümlerden en az puana sahip olan düğüm işaretlenir, diğerleri ise aynı puanla devam eder. Direkt olarak ulaşılamayan diğer düğümlerin puanı “sonsuz değer” olarak varsayılır. En az puana sahip olan düğüm kalıcı olarak belirlenir.

$$\begin{array}{l} \text{Eğer } \Gamma k \in S \text{ ise } Lk = \min_{(j \in S)} \{Lj\} \\ \text{Değilse } S = S \cup \{k\}, \bar{S} = \bar{S} - \{k\} \end{array}$$

Kalıcı düğümden yola çıkarak henüz işaretlenmemiş diğer düğümlerin puanı hesaplanır. Daha az puanlı bir yol bulunduğunda düğüm puanı güncellenir. Başlangıç ve ulaşılması istenilen düğümler sabitlene kadar iterasyon devam eder, tüm düğümler sabitlendiğinde ise işlem biter.

$$\begin{array}{l} j \in \Gamma k \cap \bar{S} \text{ olmak üzere tüm } j \text{ düğümleri için;} \\ Lj = \min\{Lj \cdot Lk + Lkj\} \end{array}$$

- N : Şebekedeki tüm düğümlerin kümesi
- s : Kalıcı etikete sahip olan düğümlerin kümesi
- \bar{S} : Geçici etikete sahip olan düğümlerin kümesi
- Γk : k düğümüne direkt bağlı olan düğümlerin kümesi
- Lj : j düğümünün başlangıç düğümüne olan uzaklığı
- Lkj : Komşu düğümler olan k ve j düğümleri arasındaki uzaklık

4. Uygulama

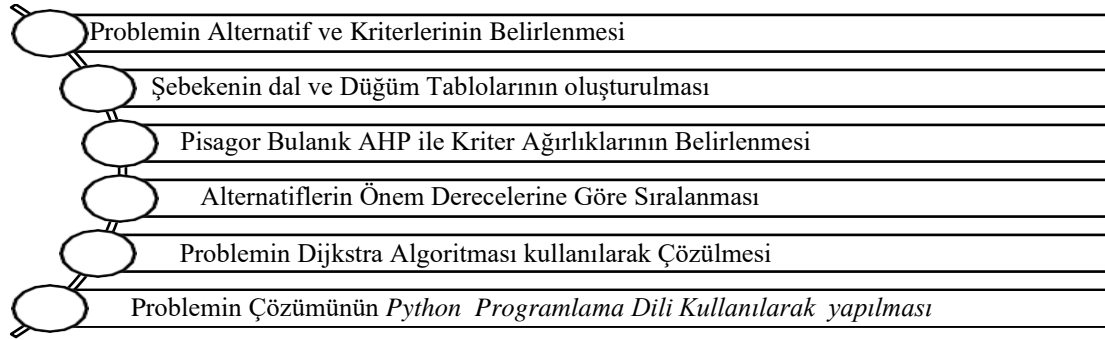
Sektör paydaşlarının görüş ve beklentileri, günlük hayat verileri ve demiryolu devlet politikaları çerçevesinde 6 adet kriter belirlenmiştir. Bu kapsamda sektör paydaşları tarafından en çok dikkate alınan bakım atölye (A1), mesafe (A2), tren hat kapasitesi (A3), turnist süresi (A4), tesis ve elleçleme (A5), taşıma maliyeti (A6) gibi kriterler ele alınmıştır. Çalışmada ele alınan kriterlere ait veriler, dünya bankası tarafından yıllık olarak yayınlanan lojistik performans indeksi raporları, TCDD Taşımacılık AŞ yıllık taşıma verileri, Trans-Hazar Uluslararası Taşımacılık Rotasının Geliştirilmesi Koordinasyon Komitesi (TITR) tarafından yayınlanan orta koridor taşıma verileri ve Birleşmiş Milletler Asya Pasifik Ekonomik ve Sosyal Komisyonu (ESCAP) çalışmalarından elde edilmiştir.

Turnist süresi bir vagonun yükleme istasyonundan çıktıktan sonra varış istasyonuna gidip tekrar çıkış istasyonu veya herhangi bir istasyona yükleme için geldiği zaman dilimi içerisinde arada geçen süreyi ifade etmektedir. Güzergahın hat tren kapasitesi açısından yetersiz blok tren ağına sahip olması diğer kriterler açısından uygun olsa bile süreci olumsuz etkileyecektir. Önemli kriterlerden biri de sınır garlarına olan mesafedir. Nitekim yakınlık hem seyir sürelerini hem de vagonların turnist süresini kısaltmaktadır.

Demir İpek Yolu hattında yapılan taşımaların konteyner ile yapılması, seçilecek noktaların konteyner aktarımına uygun tesis ve ekipmana sahip olmasını gerektirmektedir. TCDD taşımacılık ve diğer 3. şahıs çeken çekilen araçlarının periyodik revizyon ve tamir bakımlarının zamanında yapılması için tren güzergahında bakım atölyelerinin olması ve bakımların zamanında yapılması büyük önem arz etmektedir. Uluslararası taşımalarda başta navlun olmak üzere; taşımayı etkileyen diğer maliyet kalemleri yer ve güzergâh seçiminde önemli bir kriter oluşturmaktadır. Diğer kriterler açısından uygun olan bir alternatifin maliyet açısından dezavantajlı olması seçimi olumsuz yönden etkileyecektir.

Türkiye'deki demiryolu ağının karayolu kavşak noktaları ile kesiştiği noktalar seçilerek Kapıkule-Kars arasında yer ve güzergâh seçimini etkileyen 27 dal 31 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuştur. Yer ve güzergâh seçimini etkileyen 6 tane kriterler belirlenmiş, kriterlerin ağırlıkları pisagor bulanık analitik hiyerarşik prosesi ile belirlenmiş, kriterlere ait dal ağırlıkları COPRAS ile sıralanmıştır. Bulunan değerler literatürde Dijkstra Algoritması kullanılarak Python programlama dilinde kodlanarak çözülmüştür. Kapıkule-Kars arasındaki hat kesiminde demiryolu güzergahının karayolu kavşak noktaları ile kesiştiği noktalarda yer ve rota seçimi yapılmıştır.

Türkiye gerek jeopolitik konumu, gerek Marmaray ve orta koridor yatırımları ile bütün dünya ülkelerinin dikkatini çekmiştir. Konumu itibari ile trans hazar uluslararası taşıma koridorunun kalbi konumunda bulunan ülkemiz koridorun sağladığı avantajlardan payına düşeni artırmak ve diğer taşıma koridorlarından da yük çekmek için hem altyapı yatırımlarını artırmakta, hem de güzergâh ülkeleri ile işbirliğini geliştirmek için yoğun çabalar göstermektedir. Bu kapsamda demir İpekyolu taşıma koridoruna yatırım yapmak isteyen sektör paydaşları için en belirleyici konu doğru yer seçimidir. Bu çalışmada, tüm paydaşları memnun edecek bir taşıma operasyonu için belirlenen kriterler ve alternatifler çerçevesinde kuruluş yeri ve rota seçimi yapılarak literatüre katkı sunulmuştur. Problemin çözümüne ilişkin akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Problemin akış şeması

Başlangıç noktası Kapıkule sınır kapısı bitiş noktası Kars Gürcistan sınır kapısı Ahılkelek istasyonu olan ve 27 adet daldan oluşan şebeke dal tablosu Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Şebekenin dalları

Dal Adı	İstasyon Adı	Dal Adı	İstasyon Adı
A	Kapıkule	O	Konya
B	Derince	P	Karaman
C	Arifiye	R	Ulukışla
D	Hasanbey	S	Kayseri
E	Ankara	T	Mersin
F	Zonguldak	U	Toprakkale
G	Çankırı	V	Gölbaşı
H	Yahşihan	Y	Malatya

I	Alsancak	Z	Sivas
J	Manisa	X	Divriği
K	Uşak	W	Erzurum
L	Afyon	Q	Kars
M	Denizli	AA	Ahalkelek
N	Dinar		

Başlangıç noktası Kapıkule sınır kapısı bitiş noktası Kars Gürcistan sınır kapısı Ahalkelek istasyonu olan ve 31 adet düğümden oluşan şebeke düğüm tablosu Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Şebekenin düğümleri

Düğüm No	Düğüm Adı	Düğüm No	Düğüm Adı
1	Kapıkule-Derince	17	Afyon-Hasanbey
2	Derince-Arifiye	18	Afyon-Konya
3	Arifiye-Hasanbey	19	Konya-Ankara
4	Hasanbey-Afyon	20	Konya-Karaman
5	Hasanbey-Ankara	21	Karaman-Ulukışla
6	Ankara-Yahşihan	22	Mersin-Ulukışla
7	Yahşihan-Kayseri	23	Ulukışla-Kayseri
8	Kayseri-Sivas	24	Mersin-Toprakkale
9	Zonguldak-Çankırı	25	Toprakkale-Gölbaşı
10	Çankırı-Yahşihan	26	Gölbaşı-Malatya
11	İzmir-Manisa	27	Malatya-Divriği
12	Manisa-Uşak	28	Sivas-Divriği
13	Uşak-Afyon	29	Divriği-Palandöken
14	İzmir-Denizli	30	Palandöken-Kars
15	Denizli-Dinar	31	Kars-Ahalkelek
16	Dinar-Afyon		

4.1. Dal büyüklüğünü belirleyecek kriterlerin ağırlıklandırılması

Problemin çözümü için belirlenen kriterler çok kriterli karar verme algoritmalarından Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış, bulunan değerler COPRAS yöntemi ile önem derecelerine göre sıralanmıştır.

Tablo 3. Dilsel değişkenler ve aralıklı pisagor bulanık sayılar

Dilsel Değişken		Aralıklı Pisagor Bulanık Sayılar			
		mü(L)	mü(U)	v(L)	v(U)
Kesinlikle Düşük Önemli	KD	0,00	0,00	0,90	1,00
Çok Düşük Önemli	ÇD	0,10	0,20	0,80	0,90
Düşük Önemli	D	0,20	0,35	0,65	0,80
Ortalamanın Altında Önemli	OA	0,35	0,45	0,55	0,65
Eşit	E	0,20	0,20	0,20	0,20
Ortalama Önemli	O	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalamanın Üstünde Önemli	OÜ	0,55	0,65	0,35	0,45
Yüksek Önemli	Y	0,65	0,80	0,20	0,35
Çok Yüksek Önemli	ÇY	0,80	0,90	0,10	0,20
Kesinlikle Yüksek Önemli	KY	0,90	1,00	0,00	0,00

Pisagor bulanık AHP yönteminde belirlenen kriterlerin kendi aralarında ikili karşılaştırılması tablo 3'te verilen dilsel değişken ve aralıklı Pisagor bulanık sayılar tablosundaki değerlere göre yapılmaktadır. Tablo 3'te verilen değerlere göre belirlenen kriterler karşılaştırılarak Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Dilsel değişkenlere dayalı ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	(A1)	(A2)	(A3)	(A4)	(A5)	(A6)
(A1)	E	O	Y	OA	E	O
(A2)	Y	E	OA	OA	OÜ	OA
(A3)	ÇY	Y	E	O	ÇY	O
(A4)	ÇY	ÇY	O	E	Y	O
(A5)	O	OA	OA	OA	E	OA
(A6)	Y	O	O	O	ÇY	E

Kriterlerin ikili karşılaştırılma matrisi olan $A = (a_{ij})_{m \times m}$ Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda karşılıklı kıyaslamaları yapılan kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri dilsel değişken cinsinden gösterilmiştir.

Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıkları belirlenen kriterler uzman görüşleri, literatür araştırmaları ve TCDD taşımacılık istatistik verileri ve gözlemci raporları kapsamında belirlenen kriterler, bulanık pisagor sayılara göre kendi aralarında iki karşılaştırılmış ve Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

A1		A2				A3					
mü(L)	mü(U)	v(L)	v(U)	mü(L)	mü(U)	v(L)	v(U)	mü(L)	mü(U)	v(L)	v(U)
0,20		0,20		0,50		0,50		0,50		0,50	
0,73		0,28		0,20		0,20		0,40		0,40	
0,85		0,15		0,73		0,28		0,20		0,20	
0,85		0,15		0,85		0,15		0,50		0,50	
0,50		0,50		0,40		0,60		0,40		0,60	
0,73		0,28		0,50		0,50		0,50		0,50	

Tablo 6. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

A1		A2				A3					
mü(L)	mü(U)	v(L)	v(U)	mü(L)	mü(U)	v(L)	v(U)	mü(L)	mü(U)	v(L)	v(U)
0,50		0,50		0,20		0,20		0,50		0,50	
0,40		0,60		0,60		0,40		0,40		0,60	
0,50		0,50		0,85		0,15		0,50		0,50	
0,20		0,60		0,73		0,28		0,50		0,50	
0,40		0,60		0,50		0,20		0,40		0,60	
0,50		0,50		0,55		0,85		0,20		0,20	

Tereddüt dereceleri $H = (h_{ij})_{m \times m}$ Eşitlik 5 kullanılarak belirlenmiştir. Normalize edilmemiş ağırlıklar $T = (t_{ij})_{m \times m}$ Eşitlik 6 yardımıyla hesaplandıktan sonra kriter ağırlıkları Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar	Sıralama	
A1	Bakım Atölye	0,05	5

A2	Mesafe	0,09	4
A3	Hat Tren kapasitesi	0,29	2
A4	Turnist Süresi	0,32	1
A5	Tesis ve Elleçleme	0,03	6
A6	Taşıma Maliyeti	0,21	3

Kriterlerin birbirlerine karşı ağırlıkları Pisagor Bulanık AHP ile hesaplanmış ve nihai sonuçlar Tablo 7’ de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde en önemli 3 kriterin turnist süresi, tren hat kapasitesi ve taşıma maliyeti olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2. Alternatiflerin dal büyüklüklerinin belirlenmesi

Kapıkule-Kars arasında yer ve güzergâh seçimini etkileyen 27 dal 31 düğümden oluşan bir şebeke oluşturulmuş, rota seçimine etki eden kriter ağırlıkları pisagor bulanık analitik hiyerarşik prosesi ile hesaplandıktan sonra şebekeni dal ağırlıkları COPRAS yöntemi ile sıralanmış ve Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Karar matrisi

Alternatifler	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	121	391	3	5	5	1
2	15	48	3	5	5	1
3	58	187	3	5	5	1
4	53	172	3	5	5	1
5	73	237	3	4	5	1
6	29	94	5	4	5	1
7	91	294	5	4	5	1
8	69	223	3	4	3	1
9	97	313	5	4	4	1
10	37	119	5	4	4	1
11	21	67	2	5	3	1
12	69	221	2	5	3	0
13	42	135	2	5	3	0
14	83	267	1	5	4	1
15	41	133	1	5	4	1
16	40	130	1	5	4	1
17	53	172	3	5	4	1
18	82	266	3	5	4	1
19	209	675	3	4	4	1
20	32	103	3	4	4	1
21	42	136	3	4	3	1
22	47	150	5	4	5	1
23	58	187	5	4	4	0
24	45	146	5	4	5	1
25	62	201	5	4	3	0
26	35	113	5	3	3	0
27	63	204	5	3	4	1
28	54	173	3	3	4	1
29	112	361	3	2	3	0
30	70	226	3	2	3	1
31	33	108	1	1	3	0

Karar matrisi Eşitlik 8 kullanılarak normleştirilmiştir. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi eşitlik 9’da ile bulunduktan sonra faydasız kriterlere göre $S-j$ değeri, aynı faydalı kriterlere göre $S+j$ değeri ise hesaplanır. Karşılaştırması yapılan her bir seçeneğin göreceli önem

değeri olan Q_j , Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanıp büyükten küçüğe doğru sıralanır. Q_j değerinin büyük olması göreceli önem değerinin de o derece büyük olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 9. Alternatiflerin tercih sırası

Alternatif	N _j
1	37
2	26
3	31
4	31
5	29
6	9
7	18
8	29
9	19
10	11
11	34
12	60
13	57
14	47
15	43
16	43
17	31
18	34
19	40
20	23
21	25
22	12
23	34
24	12
25	35
26	22
27	9
28	19
29	44
30	14
31	100

Her bir seçeneğin fayda derecesi Eşitlik 11 kullanılarak belirlenmiştir ve Tablo 9'da gösterilmiştir.

4.3. En kısa yol probleminin çözümü

Yer ve güzergâh seçimini etkileyen 6 tane kriterin pisagor bulanık analitik hiyerarşik prosesi ile ağırlıklarının belirlenmiş, çok kriterli karar verme yöntemlerinden COPRAS ile alternatifler önem derecelerine göre sıralanmıştır. Bulunan değerler literatürde en sık kullanılan en kısa yol algoritmalarından biri olan Dijkstra Algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın yazımı aşağıda gösterilmiştir.

```
from collections import defaultdict
```

```
# düğümlerden oluşan grafın oluşturulması
```

```
def build_graph(edge_list):
```

```
    graph = defaultdict(list)
```

```
    seen_edges = defaultdict(int)
```

```
    for src, dst, weight in edge_list:
```

```
        seen_edges[(src, dst, weight)] += 1
```

```

# düğüm ağırlıklarının kontrolü
if seen_edges[(src, dst, weight)] > 1:
    continue

# düğüm ağırlıklarının güncellenmesi
graph[src].append((dst, weight))
graph[dst].append((src, weight))
return graph

# dijkstra algoritmasının oluşturulması
def dijkstra(graph, src, dst=None):
    nodes = []
    for n in graph:
        nodes.append(n)
        nodes += [x[0] for x in graph[n]]

    q = set(nodes)
    nodes = list(q)
    dist = dict()
    prev = dict()
    for n in nodes:
        dist[n] = float('inf')
        prev[n] = None

    dist[src] = 0

    while q:
        u = min(q, key=dist.get)
        q.remove(u)

        if dst is not None and u == dst:
            return dist[dst], prev

        for v, w in graph.get(u, ()):
            alt = dist[u] + w
            if alt < dist[v]:
                dist[v] = alt
                prev[v] = u

    return dist, prev

# düğüm ağırlıklarına göre güzergahın oluşturulması
def find_path(pr, node):
    p = []
    while node is not None:
        p.append(node)
        node = pr[node]
    return p[::-1]

# bağlantılı düğümlerin birbirlerine olan uzaklıkları
if __name__ == "__main__":
    edges = [
        ("A", "B", 37),

```

```

("B", "C", 26),
("C", "D", 31),
("D", "L", 31),
("D", "E", 29),
("E", "H", 9),
("H", "S", 19),
("S", "Z", 29),
("F", "G", 19),
("G", "H", 11),
("I", "J", 34),
("J", "K", 60),
("K", "L", 57),
("I", "M", 47),
("M", "N", 43),
("N", "L", 43),
("L", "D", 31),
("L", "O", 34),
("O", "E", 40),
("O", "P", 23),
("P", "R", 25),
("T", "R", 22),
("R", "S", 34),
("T", "U", 22),
("U", "V", 35),
("V", "Y", 22),
("Y", "X", 9),
("Z", "X", 19),
("X", "W", 44),
("W", "Q", 14),
("Q", "AA", 100),
]
g = build_graph(edges)

```

```

# sonucun yazdırılması
print("Dijkstra Çözümü ")
d, prev = dijkstra(g, "A", "AA")
path = find_path(prev, "AA")
print("A düğümünden AA düğümüne olan en kosa yolun toplam uzunluğu: {} km,\n"
      " güzergah ise = {}".format(d, path))

```

Dijkstra Algoritması kullanılarak problemin kod ekranı oluşturulmuş, Python programlama dili ile kodlanarak çözülmüş ve sonuç Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 10. Problemin python programlama dili sonuç ekranı

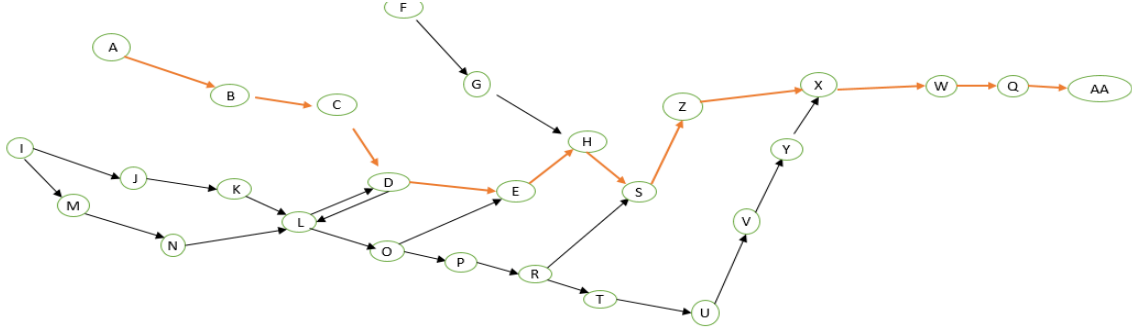
```

C:\Users\01000495\PycharmProjects\pythonProject17\venv\Scripts\python.exe C:/
Dijkstra Çözümü
A düğümünden AA düğümüne olan optimal rotanın toplam skoru : 257 puan,
güzergah ise = ['A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'H', 'S', 'Z', 'X', 'W', 'Q', 'AA']
Process finished with exit code 0

```

Kapıkule-Kars arasındaki hat kesiminde demiryolu güzergahının karayolu kavşak noktaları ile kesiştiği noktalarda en uygun rotanın toplam skoru 257 puan olarak bulunmuştur.

Rotanın düğüm adlarına göre; [A → B → C → D → E → H → S → Z → X → W → Q → AA], İstasyon adlarına göre [Kapıkule, Derince, Arifiye, Hasanbey, Ankaraya, Kayseri, Sivas, Divriği, Erzurum, Kars, Ahılkelek] olduğu sonucuna varılmıştır. Sonucun graf gösterimi Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sonucun graf gösterimi

5. Sonuç ve Öneriler

Türkiye'nin modern İpek Yolunda orta koridorun merkezinde yer alması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Demiryolu ile gelen yüklerin ülkemizi transit geçerek Avrupa ve Asya kıtalarına dağılması büyük bir lojistik potansiyeli beraberinde getirmektedir. Orta koridor üzerinde efektif verim, kombine taşımacılık uygulamaları ile sağlanacaktır. Bu çalışmada orta koridor üzerinden Türkiye'ye gelen ve diğer ülkelere devam edecek bir yük taşıması için ideal güzergah yer seçimi problemine çözüm getirilmiştir. Lojistik sektörü paydaşlarınca önem arz eden kriterler öncelikle bulanık pisagor bulanık analitik hiyerarşik prosesi ile ağırlıklandırılmış en önemli 3 kriterin turnist süresi, tren hat kapasitesi ve taşıma maliyeti olduğu sonucuna varılmıştır.

Turnist süresi bir vagonun yükleme istasyonundan çıktıktan sonra varış istasyonuna gidip tekrar çıkış istasyonu veya herhangi bir istasyona yükleme için geldiği zaman dilimi içerisinde arada geçen süreyi ifade etmektedir. Turnist süresinin uzun olması sürecin, operasyonun ve yatırımın başarısız olmasına veya yerince başarılı olmamasına neden olacaktır.

Kuruluş yeri seçiminde en önemli kriterlerden biri de seçilecek güzergahın hat tren kapasitesinin yeterli olmasıdır. Diğer kriterler açısından uygun olsa bile tren hat kapasitesinin yetersiz olması süreci olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle güzergah seçiminde dikkat edilecek en önemli konulardan biri de güzergahta başka önemli taşımaların da yapılıyor olması, buna bağlı olarak güçlü ve sık blok tren ağına sahip olmasıdır.

Uluslararası taşımalarda en önemli kriterlerden biri de taşıma maliyetidir. Başta navlun olmak üzere taşımayı etkileyen diğer maliyet kalemleri yer ve güzergah seçiminde önemli bir kriter oluşturmaktadır. Diğer kriterler açısından uygun olan bir alternatifin maliyet açısından dezavantajlı olması seçimi olumsuz yönden etkileyecektir.

Bakım Atölye, Tren hat kapasitesi, Mesafe gibi kriterler turnist süresinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu nedenle seçilecek diğer kriterler turnist süresinin kısa olmasına yardımcı olması bakımından son derece önemlidir.

Kriterler COPRAS yöntemi kullanılarak önem derecelerine göre sıralanmıştır. Dijkstra algoritması kullanılarak optimal güzergah ve yer seçimi yapılmıştır. Problemin Python

programlara dili ile yapılan çözümü sonucunda ükleme depolama ağı için optimal sonuç Kapıkule, Derince, Arifiye, Eskişehir-Hasabey, Ankara, Yahşihan, Kayseri, Sivas, ve Ahalkelek şeklinde oluşmuştur. Bugün ki uygulamalara baktığımızda sonucun gerçek hayat uygulamaları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Son yıllarda özellikle Trans Hazar Uluslararası Taşıma Koridoru ile ilgili benzer çalışmalar çok fazla yapılmıştır. Özellikle Demir İpek Yolunun açıldığı günden bu yana rota optimizasyonu ve en kısa yol seçimi ile ilgili yapılan çalışmalar sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak Çin ve Avrupa arasında rota seçimi çalışmalarını kapsamakta olup, ülkemizden sadece Kars ve Kapıkule sınır kapıları seçilmiştir. Bu nedenle ilkemiz içerisinde yer ve rota seçimi konusunda sektör paydaşlarına yol gösterecek bir çalışma yapılması ihtiyacı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada benzer çalışmaların desteklenmesinin yanında kuruluş yeri seçiminde belirgin rol oynayan kriterler seçilerek özellikle Türkiye içerisinde en önemli iki sınır kapısı olan Kars ve Kapıkule arasında hem kuruluş yeri seçimi hem de rota optimizasyonu yapılmıştır.

Kaynakça

- [1] D. Spetha, V. Sauter, P. Plötz and Tim Signer, “Synthetic European road freight transport flow data” *Elsevier*, vol. 40 pp. 107786, 2022.
- [2] D. Kirchler, L. Liberti, T. Pajor and R. W. Calvo, “UniALT for regular language constrained shortest paths on a multi-modal transportation network”, *Karlsruhe Institute of Technology*, vol 11, pp. 64–75, 2011.
- [3] H. Ihsan, E. Yudaningtyas and M. Muslim, “Solusi optimal pencarian jalur tercepat dengan algoritma hybrid fuzzy-dijkstra”, *Jurnal EECCIS*, vol. 6, No. 2, pp. 155-160, 2012.
- [4] Nurwan, W, Pranata, Muhammad R. Payu and N. Yahya,” Implementation of dijkstra algorithm and welch-powell algorithm for optimal solution of campus bus transportation” *Matematika Mantik*, Vol. 7, No. 1, pp. 31-40,2021.
- [5] C. Sevinç, “Karma Taşımacılık Modeli Seçimi: Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi,2015.
- [6] Hale Gonca Köçken, “Şebeke Analizlerine Bulanık Yaklaşımlar, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2011.
- [7] Min L., X. Hou, and J. Yang,” surface optimal path planning using an extended dijkstra algorithm” *IEEE Access*, vol 8, pp.147.827-837, 2020.
- [8] H. Al-Tameemi,” Using Dijkstra Algorithm In Calculating Alternative Shortest Paths For Public Transportation with Transfers and Walking” Master’s Thesis, Çankaya University, 2014.
- [9] L. Yu, H. Jiang and L. Hua, “Anti-Congestion Route Planning Scheme Based on Dijkstra Algorithm for Automatic Valet Parking System”, *applied sciences*, vol. 9, 5016, 2019.
- [10] [S. S. Biswas, B. Alam and M.N. Doja, “A Refinement of dijkstra’s algorithm for extraction of shortest paths in generalized real time-multigraphs”, *Journal of Computer Science* vol. 10 (4), pp.593-603,2014.
- [11]L. X. Yan and C. Y. Li, “Application of Dijkstra Algorithm in Logistics Distribution Lines” *Proceedings of the Third International Symposium on Computer Science and Computational Technology*,vol 10, pp. pp. 048-050,2010.
- [12]I. R. Karas and S. Demir, “Dijkstra algorithm interactive training software development for network analysis applications in GIS”, *Energy Education Science and Technology* vol.28(1), pp. 445-452, 2011.
- [13]M. Z. Erkaya, “Türkiye’de Demiryolu Yük Taşımacılığının Analiz Edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 2019.
- [14]D. Fan and P. Shi,” Improvement of Dijkstra’s Algorithm and Its Application in Route Planning” *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, Shandong, China, 2010.
- [15]B. He,” Application of Dijkstra algorithm in finding the shortest path”, *Journal of Physics, Conference Series*, Haining, ZheJiang, China,2021
- [16]Z. Zhang, W. Jigang and X. Duan, “Practical Algorithm for Shortest Path on Transportation Network”, *International Conference on Computer and Information Application*, Tianjin, China,2010.
- [17]C. Yin” A Developed Dijkstra Algorithm and Simulation of Urban Path Search”, *The 5th International Conference on Computer Science & Education* Hefei, China, 2010.

- [18] S. Sun, Z. Duan, S. Sun and D. Yang, "How to Find the Optimal Paths in Stochastic Time-Dependent Transportation Networks, 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Qingdao, China, 2014.
- [19] Y. Denga, Y. Chenb, Y. Zhanga and S. Mahadevanc, "Fuzzy dijkstra algorithm for shortest path problem under uncertain environment", *Elsevier, Applied Soft Computing*, vol.12 pp. 1231–1237, 2012.
- [20] P. Tirastittam and P. Waiyawuththanapoom, "Public transport planning system by dijkstra algorithm: case study bangkok metropolitan area" *World Academy of Science*, vol:8, No:1, pp. 54-59, 2014.
- [21] Y. Sun, M. Fang and Y. Su, "AGV Path Planning based on Improved Dijkstra Algorithm", *Journal of Physics: Conference Series*, Jiaxing, China, 2021.
- [22] Ş. Bayzan, "Araç Rotalarının En Kısa Yol Algoritmaları Kullanılarak Belirlenmesi ve .Net Ortamında Simülasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2005.
- [23] M. F. Altan, M. Ç. Kızıldaş ve S. C. Divrik, "Toplu taşımada çok amaçlı karar verme ve metropoliten bir alanda servis araçlarının modellenmesi", *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 8(1) pp. 99-105, 2018.
- [24] G. K. Kyzy, "Akıllı Ulaşım Sistemine Yönelik En Kısa Yol Bulma Algoritmalarının Performans Analizi", Yüksek Lisans Tazi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2019.
- [25] M. Dener, M. A. Akcayol, S. Toklu ve Ö. F. Bay, "Zamana bağlı dinamik en kısa yol problemi için genetik algoritma tabanlı yeni bir algoritma", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*" vol. 26, No 4, pp. 915-928, 2011.
- [26] B. Malkoç, "Temel bilimler ve mühendislik eğitiminde programlama dili olarak python," Akademik Bilişim'12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Uşak, Türkiye, 2012.
- [27] TCDD [Online]. Available: [https://www.port.tcddtasimacilik.gov.tr/kky/YBS Analiz Raporlari](https://www.port.tcddtasimacilik.gov.tr/kky/YBS_Analiz_Raporlari), [Accessed March 4], 2023.

Özgeçmiş



Mehmet Taha YIKIN

1987 yılında Muşun Kızılağaç Nahiyesinde doğdu. İlköğrenimini burada tamamladıktan sonra orta ve lise öğrenimine Muş merkezde devam etti. 2012 yılında İstanbul Üniversitesi Ulaştırma ve Lojistik Fakültesi, 2020 yılında Ahmet Yesevi Uluslararası Türk Kazak Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında TCDD Genel Müdürlüğünde Lojistik Memuru olarak göreve başladı. Ocak 2023 ayında bu yana TCDD Taşımacılık AŞ'de Endüstri Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

E-Posta: tahayikin@gmail.com



Evrencan ÖZCAN

Aslen Kırşehirli olan Özcan 1980 Ankara doğumludur. Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini sırasıyla 2003, 2007 ve 2013 yıllarında Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden almıştır. Özel sektörde 7 yıl devam eden mühendislik tecrübesinin ardından, 2010 yılında Elektrik Üretim A.Ş.'ye atanan Özcan, Ocak 2018'den bu yana Kırıkkale Üniversitesi'nde Doç. Dr. Öğretim Üyesi unvanı ile meslek hayatına devam etmektedir.

E-Posta: evrencan.ozcan@kku.edu.tr

Beyanlar

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Yazarların katkıları: Yazar katkıları belirtilmemiştir.