



En Kısa Yol Optimizasyonlarında Floyd-Warshall Algoritması: Lojistik Merkezler Örneği

Bekir KESKİN^{*1}, Evrencan ÖZCAN²

¹ TCDD Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi Başk., İç Kontrol ve Organizasyon Şube Müd., Ankara, Türkiye

² Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

*bekirkeskin55@gmail.com

(Alınış/Received: 12.10.2022, Kabul/Accepted: 03.11.2022, Yayınlanma/Published: 31.01.2023)

Öz: Lojistik merkezler taşımacılık, depolama, elleçleme, dağıtım, gümrükleme, ayrıştırma, ithalat, ihracat ve transit işlemler, sigorta ve bankacılık, altyapı hizmetleri, danışmanlık ve üretim vb. faaliyetlerin birbiriyle uyumlu bir şekilde yürütülmesine ve olası taşıma yöntemlerinin bir arada sunulmasına hizmet eden önemli tesislerdir. Yük talebinin sürekli olması nedeniyle yük taşımacılığının da kesintisiz, en kısa yoldan, yakıt tüketimi ve taşıma süresi açısından da optimal bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yük trenlerinin lojistik merkezler en kısa yoldan ulaşması problemi ele alınmıştır. Literatürde lojistik köylerle ilgili yazın taraması yapıldığında; lojistik merkezlerin, lojistik sektöre yapmış olduğu katkılar incelenmiş, güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmaya çalışılmış, etkin ve verimli çalışması hakkında önerilerle ilgili çalışmalar gözlemlenmiştir. Fakat bu çalışmada; konuya mühendislik uygulamaları yaklaşımıyla, ülke genelinde faaliyet gösteren on iki lojistik merkezin yanı sıra yapım ve ihale aşamasında yer alan yedi adet lojistik merkez de çalışma kapsamına dâhil edilerek, lojistik merkezler arasında güzergâh seçimi için en uygun sonuç elde etme amacı güdülmüştür. En kısa yol problemlerinin uygulama alanı genellikle bir şebekede/ağda yer alan noktalar arasında en kısa mesafenin belirlenmesi olup, çalışmada şebekedeki herhangi iki düğüm arasındaki en kısa yolun belirlenmesi açısından Floyd-Warshall Algoritması tercih edilmiştir. Bu amaçla ulusal demiryolu ağı için toplam 33 düğümden oluşan bir çizge oluşturulmuş ve en kısa yolun hesaplanması için Floyd-Warshall algoritması Python programlama dilinde kodlanarak çözülmüştür ve toplam on dokuz adet lojistik merkez arasında en kısa yol/yollar tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Demiryolu taşımacılığı, En kısa yol, Lojistik merkez, Floyd-Warshall

Floyd-Warshall Algorithm in Shortest Path Optimizations: Example of Logistics Centers

Abstract: Logistics centers are important facilities which served possible transportation methods together and carried out activities in harmony with each other such as transportation, storage, handling, distribution, consolidation, customs clearance, sorting, import, export and transit transactions, insurance and banking, infrastructure services, consultancy and production, etc. Due to the continuous demand for freight, freight transportation must be realized uninterrupted, in the shortest way, and optimal in terms of fuel consumption and transportation time. In this study, the problem of transportation of freight trains to logistics centers by the shortest route is discussed. When the literature on logistics villages is scanned; The contributions of logistics centers to the logistics sector have been examined, their strengths and weaknesses have been tried to be revealed, and studies on suggestions for effective and efficient operation have been observed. But in this study; with an engineering applications approach to the subject, it is aimed to obtain the most appropriate result for the route selection among the logistics centers by including twelve logistics centers operating throughout the country as well as seven logistics centers that are in the construction and tender stages, in the scope of the study. In generally the application area of the shortest path problems is to determine the shortest distance between the points in a network, the Floyd-Warshall Algorithm is preferred in this study in terms of determining the shortest path between any two nodes in the network. For this purpose, a graph consisting of a total of 33 nodes was created for the national railway network and the Floyd-Warshall algorithm was coded in the Python programming language to calculate the shortest route and the shortest route were determined between a total of nineteen logistics centers.

Atıf için/Cite as: B. Keskin, E. Özcan, "En kısa yol optimizasyonlarında Floyd-Warshall algoritması: lojistik merkezler örneği," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 17, pp. 82-92, Jan. 2023. doi: 10.47072/demiryolu.1187884

Keywords: Railway transportation, Shortest path, Logistics center, Floyd-Warshall

1. Giriş

Türkiye, coğrafi konumunun avantajı sayesinde lojistik üs haline gelme potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca, Türkiye'den uluslararası taşıma koridorlarının geçmesi de bu potansiyeli güçlendirmektedir. Avrupa'da ve Türkiye'de örnekleri bulunan bu merkezlerinde katkısıyla lojistik faaliyetler tek merkezden, bütünleşmiş bir şekilde düzenli olarak yapılmaktadır. Lojistik merkezler (köy ya da üsler), bir bölgedeki taşımacılık, depolama, elleçleme, dağıtım, gümrükleme, ayrıştırma, ithalat, ihracat ve transit işlemler, sigorta ve bankacılık, altyapı hizmetleri, danışmanlık ve üretim vb. faaliyetlerin birbiriyle uyumlu bir şekilde olası taşıma yöntemlerinin bir arada kullanılarak gerçekleştirildiği özel alanlardır. Lojistik merkez kavramının başlangıç aşamasında karşımıza ilk olarak deniz ve havalimanları çıkmaktadır. Dünya'daki ilk lojistik merkez kavramı endüstrileşme hareketlerinin etkisiyle birlikte Intermodal Logistics Center (ILC) adı altında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de ortaya çıkmıştır. Avrupa'da ise ilk olarak Fransa'da kurulmuştur [1].

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü (TCDD) tarafından 2005 yılında çalışmalarına başlanan lojistik merkezlerin faaliyete geçmesiyle Türk lojistik sektörüne yıllık yaklaşık 35.596 bin ton ilave taşıma imkânı 12.799 bin metrekarelik, açık alan, stok alanı, konteyner stok ve elleçleme sahası kazandırılması düşünülmüştür [2]. Ülkemizde faaliyet gösteren on iki adet lojistik merkezle toplam 5,1 milyon m² alan ve 13,6 milyon ton kapasite oluşturulmuştur. Ayrıca yapım ve ihale aşamasında yer alan yedi adet lojistik merkezle toplam 7,8 milyon m² alan ve 14,3 milyon ton kapasite oluşturulmuştur. Bu kapsamda batıda Avrupa üzerinden gelen ve giden yükler için Çerkezköy ve Halkalı'ya, kuzeyde Rusya üzerinden gelen ve giden yükler için Samsun'a, doğuda yine Rusya, Gürcistan, Kazakistan, Çin üzerinden gelen ve giden yükler için Kars'a, İran üzerinden gelen ve giden yükler için Tatvan'a, Suriye üzerinden gelen ve giden yükler için Kahramanmaraş'a, güneyde denizyolu üzerinden gelen ve giden yükler için Mersin'e, batıda denizyolu üzerinden gelen ve giden yükler için İzmir'e lojistik merkez yapılmıştır. Yapılan bu çalışma ile trenlerin bir lojistik merkezinden diğer lojistik merkezine ulaşımının nasıl olacağına cevap verilmesi, bu problem için de algoritma yapısına herhangi iki merkez arasında en kısa mesafeyi vermesi uygunluğu nedeni ile Floyd Warshall algoritmasının kullanılması, Floyd-Warshall Algoritmasının lojistik merkezler arası şebeke çalışması kapsamında Python programlama dilinde yazılarak uygulama kolaylığı sağlaması yönlerinden bir ilk gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın devamında ikinci bölümde en kısa yol problemine dair incelenen literatüre, üçüncü bölümde yöntem metot bilgisine, dördüncü bölümde bulgulara ve beşinci bölümde ise sonuç kısmına yer verilmiştir.

2. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Yapılan çalışmada on dokuz lojistik merkez arasında işletilecek trenlerin en kısa yoldan lojistik merkezlere ulaşımının sağlanması amaçlanmıştır. Bilimsel yazın taraması yapıldığında bu problem literatürde en kısa yol problemleri olarak yer almaktadır. Bu problemlerde Floyd-Warshall, Dijkstra, Prim algoritması gibi birçok yöntem ile çözümler bulunmuştur. En kısa yol problemlerinin uygulama alanı genellikle bir şebekede/ağda yer alan noktalar arasında en kısa mesafenin kat edilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada şebekedeki herhangi iki düğüm arasındaki en kısa yolun belirlemesi açısından Floyd-Warshall Algoritması tercih edilmiştir. En kısa yol problemlerinin çözümünde kullanılan Floyd-Warshall Algoritması literatürde ulaştırma, telekomünikasyon, enerji hatları, bilgisayar ağları ve sağlık başta olmak üzere birçok alanda karşımıza çıkmaktadır.

Demiryolu alanında; Wang ve Lu, Romanya - Polonya arasındaki demiryolu taşımacılığının optimize edilmesi için istasyonların teknik özelliklerini dikkate alarak doğrusal programlama

modelini kullanmışlardır [3]. Pandey ve Dixit ise yaptıkları çalışmada demiryollarında daha güvenilir, daha yeşil ve daha sürdürülebilir ulaşım sağlamak hedefiyle istasyonlar arası mesafenin optimize edilmesi uygulamasının çözümünde Dijkstra algoritmasını kullanmışlardır [4]. Liu ve Xia, üç boyutlu bilgisayar modelleme sistemlerini en kısa yol algoritmaları aracılığıyla kullanarak demiryolu ulaştırmasında rota seçimi yapmışlar ve görselleştirmişlerdir [5]. Wang ve diğ. ise yaptıkları çalışmada yüksek hızlı demiryolu hattı inşası için yol sayısını maksimum düzeyde tutma, seyahat süresini en aza indirme ve uygun duraklar belirleme amaçlarıyla doğrusal programlama ve genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır [6]. Zhang ve diğ. demiryolu ile tehlikeli madde taşımada en uygun güzergâhın belirlenmesi amacıyla inşaat maliyeti ve güvenlik faktörlerini göz önüne alarak sezgisel tabanlı bir rota algoritması olan A* algoritmasını kullanmışlardır [7]. Kosjier ve diğ., İndija ve Novi Sad şehirleri arası demiryolun güzergâhında rota planlaması için maliyet, kapasite, fiziksel etkiler, gelişim ve yaşam ortamı üzerindeki etki kriterleri altında dört adet alternatif için çok kriterli karar verme yöntemlerinden VIKOR yöntemini kullanmışlardır [8]. Kankavi çalışmasında, büyük projeleri de dikkate alarak Türkiye geçişinde maliyet, süre, yük potansiyeli, güvenlik riski kriterlerini ele almış ve AHP yöntemi kullanarak en uygun güzergâhı belirlemiştir [9]. Saat ve Serrano ise yine çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak Malezya’da yüksek hızlı trenlerin güzergâh seçim problemi için 3 kriter ve 11 alternatif ile yapmış oldukları çalışmada ELECTRE yönteminden faydalanmışlardır [10]. Özdemir çalışmasında en kısa yol algoritmalarını bir arada kullanarak Çin-Avrupa arasında yapılacak yük taşımada için demiryolunda şebeke optimizasyonu yapmış, çalışmasında en kısa yol algoritmalarını Python programlama dili ile kodlayarak optimal güzergâhı hesaplamıştır [11]. Dermawan ise çalışmasında bir tren yolculuğunda en iyi yolu bulmada en kısa yol algoritmalarından Dijkstra ve Floyd-Warshall algoritmalarının karşılaştırmasını yapmıştır [12]. Özdemir ve diğ. yine demiryolu alanında yapılan bu çalışmada ise ipek yolu koridorunda Pekin’den Londra’ya ulaşan demiryolu ağı için toplam 26 düğümden oluşan bir çizge üzerinde en kısa yolun hesaplanması için Dijkstra algoritması Python programlama dilinde kodlayarak çözmüşlerdir [13]. Karayolu alanında ise; Pradhan ve Mahinthakumar karayolunda yaptıkları çalışmada büyük ölçekli bir ulaşım ağında değişen trafik koşullarını dikkate alarak tüm çiftlerin en kısa yolunu bulmak için kullanılan ve iki önemli algoritma olan Floyd-Warshall ve Dijkstra yöntemlerinin performans analizini yapmışlardır [14]. Hamurcu ve Eren ise yine karayolunda yaptıkları çalışmada ÇKKV yöntemlerini kullanarak Ankara’da yeni bir ulaştırma seçeneği olan monoray sistemi için güzergâh seçimini yapmışlardır. Belirlenen sekiz alternatif monoray güzergâhı arasından en uygun güzergâhı ANP ve TOPSIS yöntemi kullanarak tespit etmişlerdir [15]. Hanzl vd. ise en kısa yol bulma yöntemlerini tercih etmişler ve Çek Cumhuriyeti’nin Güney Bohemian bölgesinde on altı düğümlü ulaşım ağının trafik modelinin belirlenmesi konulu çalışmada Floyd algoritmasını kullanmışlardır [16]. Yanwei vd. ise yine en kısa yol bulma yöntemlerini tercih etmişler ve yaşanan ulaşım sorunlarından dolayı optimal bir çözüm yolu bulmak için Floyd algoritmasını kullanarak probleme çözüm getirmişlerdir [17]. Pandika, vd. etkili seyahat planlaması için bir bölgedeki tıkanıklığın ulaşımda aksamalara neden olmasından dolayı karayolu üzerinde oluşan tıkanıklığı önlemek için en uygun rotayı oluşturabilen bir uygulama geliştirmişlerdir [18]. Risald vd. Dijkstra ve Floyd-Warshall algoritmasının kombine edilmesi ile trafik kazalarındaki kazazedelerin en yakın hastaneye en kısa sürede ulaştırılabilmesi için güzergâh optimizasyonu geliştirmişlerdir [19]. Triana ve Syahputri ihtiyaca göre gerekli en yakın garajı bulmak için medya bilgilerinden yararlanılan ve Floyd-Warshall yöntemini kullanan bir uygulama ile en yakın garaj konumunu bulmuşlardır [20]. Tang vd. yeniden üretime dayalı entegre (ileri ve tersine) lojistikte optimal yolun belirlenmesi için Floyd tabanlı bir çözüm sunarak lojistik alanında optimizasyon çalışması yapmışlardır [21]. Danışan vd. ise bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak Floyd-Warshall algoritmasını C tabanlı bir kod yardımıyla çözümlenerek, Türkiye’deki elektrik enerjisi talebinin yaklaşık %31,9’unu karşılayan on iki Hidroelektrik Santral (HES)’lerin bakımında görevlendirilen ekiplerin santrallara en kısa yoldan ulaşmaları için Floyd-Warshall algoritmasını kullanarak optimal sonuç veren en kısa yolları bulmuşlardır [22]. Ramadhan ve diğ. ise Floyd-Warshall ve Prim algoritmalarının kıyaslamasını sunarak en kısa yol problemini ele almışlardır [23]. Çakır vd. çalışmalarında katı atıkları toplama

sistemine ait yol ağları, çalışma alanının demografik yapısı ve bölgede ortaya çıkan atık toplama ve taşıma operasyonlarında, CBS tabanlı rota ve güzergâh optimizasyonu ile şebekeye (on mahalle) ait optimum güzergâh tespiti yapılmasında dijkstra algoritmasını kullanmışlardır [24]. Sungkwan vd. otomatik yönlendirmeli araçların enerji tüketiminin en aza indirilmesini ve en kısa yoldan çalışma süresinin iyileştirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada 12 düğümden oluşan şebekede dijkstra algoritmasını kullanmışlardır [25]. Ekmen, en kısa yol probleminde kullanılan algoritmalarından Dijkstra, Bellman-Ford, Johnson ve Floyd-Warshall algoritmalarının en kısa yolu bulma performansları için kıyaslama yapmıştır [26]. Magzhan ve Jani en kısa yolun hesaplanmasında en yaygın kullanılan algoritmalarından olan Dijkstra, Floyd-Warshall, Bellman-Ford ve Genetik algoritmasını değerlendirmiştir. Algoritmaları java yazılım diliyle kodlamış ve bu şekilde hesaplamıştır. Çalışmada en kısa yolun hesaplanmasında, daha iyi sonuca ulaşmak adına yapay zekâ, bulanık mantık ve sinir ağları gibi tekniklerin de kullanılabilmesi söylenmiştir [27]. Tamimi ve Abu-Ryash ise Dijkstra algoritması, Bellman-Ford algoritması, Floyd-Warshall algoritması ve Johnson algoritması gibi en kısa yol algoritmalarını incelemişlerdir [28]. Golden, yaptığı çalışmada Dijkstra ve Bellman-Ford algoritmalarını 50-1000 düğüm arası şebeke probleminde çalışma zamanları verilerine göre değerlendirmiştir [29]. Aydın ve Alkan, çalışmalarında 3 farklı güzergâh için yol bulma algoritması test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Dijkstra, Bellman-Ford, Floyd-Warshall, A* algoritmasında karşılaştırmışlardır [30]. Karyono ve Djojo çalışmalarında Dijkstra algoritması, A* algoritması ve Floyd-Warshall'ı süre, bellek ve hesaplama sonucu kriterleri altında karşılaştırmışlardır [31]. Wang, en kısa yol algoritmalarından Dijkstra, Bellman-Ford ve Floyd Warshall algoritmalarının temel uygulama alanlarını ile çalışma prensiplerini anlatmıştır [32]. Çam ve Sezen, Türkiye’de şehirlerarası yolcu taşıyan bir firmanın işlerinin daha iyi yönetilmesi amacıyla oluşturulan uygulamada, araçların bekleme sürelerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır [33]. Timor, taşıma modlarında hat uzunluğu ve erişilebilirlik hedefleri doğrultusunda maliyetlerin minimize edilmesini sağlayan bir model geliştirmişlerdir [34]. Söyler ve Fendoğlu, çalışmalarında ARP ve Çinli Postacı Problemi (ÇPP) tanıtılmış, Malatya Büyükşehir Belediyesi ilaçlama araçlarının optimal rotaları, Hierholzer & Floyd Warshall algoritmaları ve Excel-Solver ile hesaplanmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır [35]. Nuriyeva ve Kızılateş, gezgin satıcı problemi için n adet şehir ele alınmış “en kısa yol” ve “ekleme sezgiseli” algoritmaları kullanılarak bulunan devre tüm şehirlerden geçecek şekilde genişletilmiştir [36]. Saçar, çalışmasında Hicaz demiryolu ile Bağdat demiryolu hattını analiz etmiştir [37]. Özdemir ve diğ., lojistik merkez yatırım projesi önceliklendirme problemi için yatırım aşamasındaki 6 adet lojistik merkezi arasından seçim yapmışlar, uygulamada AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır [38].

3. Metot

Floyd-Warshall algoritması, ağırlıklı bir çizgede bulunan tüm düğüm çiftleri için en kısa yolun hesaplanmasında kullanılan bir algoritmadır. Algoritma, döngü içermeyen bir çizgede, negatif veya pozitif ağırlıklı olmasına bakılmaksızın optimal sonuç vermektedir. En kısa yolun bulunmasında problem daha küçük alt problemlere bölerek, dinamik programlama yaklaşımını kullanmaktadır [39]. En kısa yol problemlerinin çözümünde Floyd-Warshall Algoritmasının yanı sıra Bellman-Ford, Dijkstra ve Johnson Algoritmaları sıklıkla kullanılanlar arasındadır. Bu algoritmalar arasından da Floyd-Warshall Algoritması ile Dijkstra algoritması ön plana çıkmaktadır. Dijkstra Algoritması, bir çizge üzerinde başlangıç ve amaç düğümleri arasında en kısa mesafenin bulunmasını sağlamak üzere sadece pozitif ağırlıklı değerlerine sahip çizgelerde kullanılabilen Floyd-Warshall Algoritması döngü içermeyen bir çizgede, negatif veya pozitif ağırlıklı olmasına bakılmaksızın, çizgede bulunan tüm düğüm çiftleri için en kısa yolun hesaplanmasında kullanılan bir algoritma olmasından dolayı Floyd Warshall algoritması tercih edilmiştir. Yapılan bu çalışmada ise en kısa yol problemi çözümü için 33 düğümlü sabit bir yapı ele alınmış olup, çizgede bulunan tüm düğüm çiftleri için en kısa yolun hesaplanmasında optimal sonuçlar sunması nedeniyle sadece Floyd Warshall algoritması kullanılmıştır.

Floyd algoritması Dijkstra algoritmasından daha geneldir. Çünkü şebekedeki herhangi iki düğüm arasındaki en kısa yolu belirler. Algoritma, n düğümlü şebekeyi n satırlı ve n sütunlu karar matrisi olarak gösterir. Matrisin (i,j) elemanı, i .düğümden j .düğüme olan d_{ij} sonlu yoksa sonsuzdur.

0.Adım: Aşağıdaki gibi D^0 uzaklık matrisini hazırlanır. Bu matrisin çapraz elemanları sıfır olup, birbirine bağlantısı olmayan düğümler (sonsuz) işareti ile gösterilir.

$$D^0 = \begin{matrix} & - & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & & & & & \\ d_{31} & & & & & i \\ \dots & & & & & \\ d_{n1} & .. & .. & .. & .. & \end{matrix} \quad (1)$$

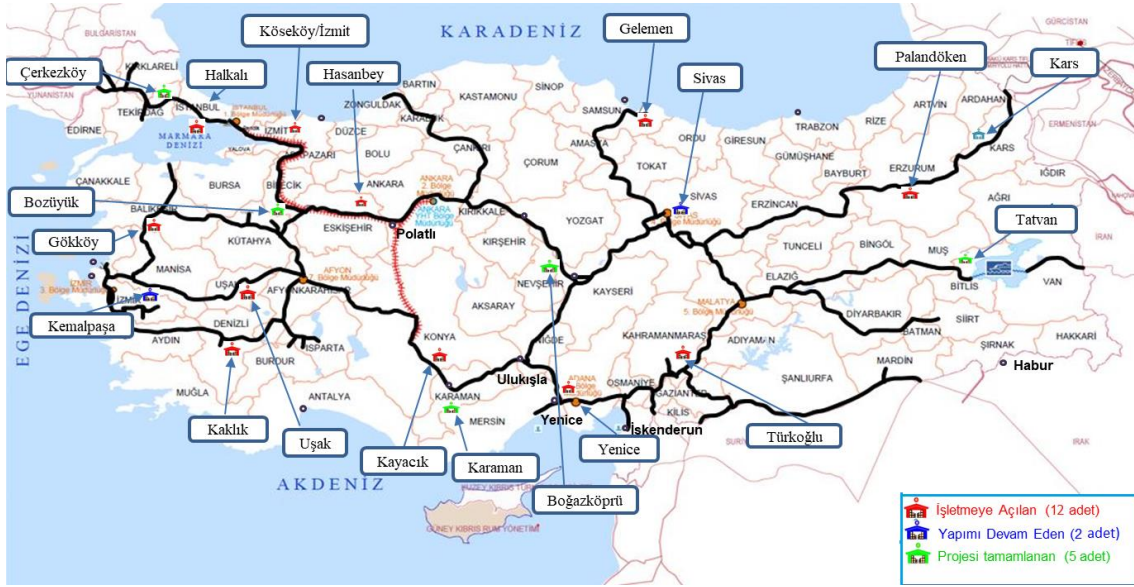
k .genel adım: k . satırı ve k . sütunu anahtar satır ve anahtar sütun olarak tanımlanır. D_k matrisine anahtar satır ve sütundaki değerleri yazılır. D_k matrisindeki diğer elemanları aşağıdaki bağıntıya göre belirlenir:

$$D_k(i, j) = \min\{D_{k-1}(i, j), D_{k-1}(i, k) + D_{k-1}(k, j)\} \quad (2)$$

Denklem 2 işlemleri tüm düğümler için tekrarlanır.

4. Bulgular

Ulaşım koridorlarının merkezinde olan ülkemizi, bölgesinin lojistik üssü haline getirmek ve sanayicilerimizin yükünü demiryolu ile taşıyarak rekabet gücünü artırmak amacıyla yirmi beş adet lojistik merkezde toplam 14,8 milyon m² alanda 60,6 milyon ton taşıma kapasitesi oluşturulması planlanmıştır. Hizmete alınan on iki adet lojistik merkezle toplam 5,1 milyon m² alan ve 13,6 milyon ton kapasite oluşturulmuştur. Uygulamada lojistik merkezlerin birbirleri arasında etkinliğini arttırmak için işletmecilik yapılan on iki adet lojistik merkezi ile yapım aşamasında olan yedi adet lojistik merkez de çalışmaya dahil edilmiş olup, söz konusu merkezler arasında yapılacak yük taşımaları için en kısa yollar belirlenmiştir. Güzergâhın belirlenmesinde ulusal demiryolu ağı haritasından faydalanılmıştır. Trenlerin/yüklerin bulunduğu yerden talep edilen yere kesintisiz ve güvenilir bir şekilde taşınması gerekliliği dikkate alındığında demiryolu hatlarında yaşanan kazalardan, arızalardan ya da zorunlu bakım uygulamalarından dolayı yolun kapanması ve ulaşımın durdurulması söz konusu olmaktadır. Bazen bir kazanın kaldırılması, donanım arızasının giderilmesi ya da bakımının yapılması o trenin/ekipmanın bulunduğu hattı da kapatmayı gerektirebildiği gibi demiryolunda aynı hat üzerinde çalışan diğer trenlerin de eş zamanda durdurulmasını gerektirebilmektedir. Bu nedenle demiryolu hatlarında yapılacak taşımaların daha fazla duruşa/gecikmeye neden olmadan en kısa yoldan gerçekleştirilmesi için alternatif rotaların oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada, birbirinden bağımsız on iki lojistik merkez ile yapım aşamasında olan yedi lojistik merkez entegre olarak ele alınmış olup, bir demiryolu tren işletmecisi için söz konusu on dokuz lojistik merkez ve bu merkezler arasında çalışacak yük treninin çıkış noktasından varış noktasına en kısa yoldan ulaşması için optimum çözüm sunulmuştur. Trenlerin buldukları merkezden diğer merkezlere en kısa yoldan ulaşımı için işletmecilerin hangi güzergâhı tercih etmesi gerektiği sorusuna çözüm getirilmiştir.



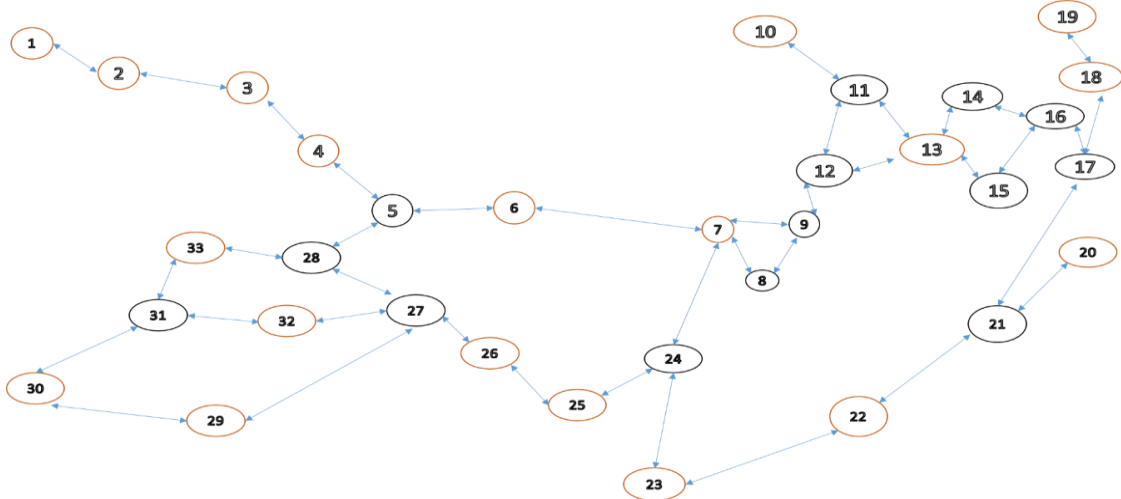
Şekil 1. Lojistik merkezlerin konumları

Uygulamada ele alınan demiryolu haritasının kavşak noktaları şebekenin düğümlerini göstermektedir. Kavşak noktaları önemli demiryolu istasyonlarından oluşan şebeke toplam 33 düğümden oluşmaktadır. Düğümlerin şebeke üzerinde gösterilmesi ve kodlamada kullanım kolaylığı sağlaması amacıyla Tablo 1’de gösterildiği gibi nümerik olarak numaralandırma yöntemi seçilmiştir.

Tablo 1. Şebekenin düğümleri

Düğüm	İstasyon	Düğüm	İstasyon	Düğüm	İstasyon
1	Çerkezköy	13	Sivas	25	Karaman
2	Halkalı	14	Karagöl	26	Kayaçık
3	Köseköy	15	Kandoğan	27	Afyon
4	Bozüyük	16	Kangal	28	Alayın
5	Eskişehir	17	Çetinkaya	29	Kalklık
6	Hasanbey	18	Palandöken	30	Kemalpaşa
7	Boğazköprü	19	Kars	31	Manisa
8	Kayseri	20	Tatvan	32	Uşak
9	Gömeç	21	Malatya	33	Gökköy
10	Gelemem	22	Türkoğlu		
11	Kalın	23	Yenice		
12	Hanlı	24	Ulukışla		

Düğümler arası ilişkiler Şekil 1’de verilen ulusal demiryolu haritası dikkate alınarak oluşturulmuştur. Her bir düğümü ifade eden geçiş düğümlerinin istasyonlar arasındaki mesafe ise kilometre cinsinden hesaplanmıştır. Mesafe hesaplamada kaynak olarak küresel seyahat planlama hizmeti sunan bir firmanın demiryolu mesafe hesaplama aracı kullanılmıştır [40].



Şekil 2. Problem kapsamında düğümler arasındaki şebeke ağı

Temelini Şekil 1'deki demiryolu haritasının oluşturduğu şebeke düğümlerinin birbirleriyle olan bağlantıları çizge üzerinde gösterilmiş ve Şekil 2'de verilmiştir.

4.2. Floyd-Warshall algoritması pseudo (sözde) kod

Python, ilk sürümü Guido Van Rossum tarafından 1991'de ortaya konulmuş genel amaçlı bir programlama dili olarak bilinmekte olup, yorumlanan ve dinamik bir dil olan Python, esas olarak prosedürel ve nesne tabanlı programlama yaklaşımlarını ve belli bir oranda da fonksiyonel programlamayı desteklemektedir. Kullanıcılar python kodlama dilini özgün, kolay kullanılabilir, etkileşimli, nesne yönelimli, popüler ve kütüphanesinin geniş olması ön plana çıkarmıştır [41]. Floyd-Warshall algoritması problemin karakteristik özelliklerine uygun olmasından dolayı elde edilen gerçek verilere göre Python programlama dili 3.8.5 sürümünde kodlanmıştır.

Pseudo (sözde) kod:

```

for i = 1 to N
  for j = 1 to N
    if there is an edge from i to j
      dist[0][i][j] = the length of the edge from i to j
    else
      dist[0][i][j] = INFINITY
  for k = 1 to N
    for i = 1 to N
      for j = 1 to N
        dist[k][i][j] = min(dist[k-1][i][j], dist[k-1][i][k] + dist[k-1][k][j])

```

Python programlama dilinde Floyd-Marshall algoritması kodları yazılmış olup problemin çözümü aşağıda verilmiştir.

Şebekede bazı lojistik merkezlere direkt olarak ulaşım sağlanabilirken bazılarında bir veya birkaç ara istasyondan geçerek ulaşım sağlanabilmektedir. Mesafelerin belirlenmesinden sonra Python programlama dili ile oluşturulan kod yardımıyla problem çözülmüştür. Yapılan çözüm sonunda ulaşılan D ve S matrislerinin büyüklüğü nedeniyle çalışmaya sadece matrislerin başlangıç bölümlerine Tablo 2 ve Tablo 3'de yer verilmiştir.

Elde edilen bu sonuca göre on dokuz numaralı kaynak düğümden çıkan bir yük treninin otuz numaralı merkeze hangi düğümlerden geçerek en kısa yoldan nasıl ulaşacağı gösterilmiştir. Burada gerek Tablo 2 ve Tablo 3'te gerekse Şekil 3'te gözlemleneceği gibi orta koridor üzerinden gelen yük trenleri 19,18,17,16,15,13,12,9,7,24,25,26,27,32,31,30 numaralı düğümlerden geçerek en kısa yoldan varış noktası olan İzmir'e ulaşmış olacaktır. Yine aynı şekilde İzmir'den Kars'a ve oradan da Gürcistan, Türkmenistan, Kazakistan ve Çin yönlü yükler için de; 30,31,32,27,26,25,24,7,9,12,13,15,16,17,18,19 numaralı düğümler aracılığı ile en kısa yoldan trenler yüklerini taşımış olacaktır. Yani Kars Lojistik Merkezi ve İzmir Lojistik Merkezleri arasında taşıma durumunda trenler Kars-Erzurum-Çetinkaya-Kangal-Candoğan-Sivas-Hanlı-Gömeç-Boğazköprü-Ulukışla-Karaman-Kayacık-Afyon-Uşak-Manisa-İzmir hattını takip etmelidir. Buradan yola çıkarak İzmir-Kars arası çalışacak bir tren ile İzmir, Uşak, Kayacık, Karaman, Sivas, Erzurum ve Kars lojistik merkezinin yükleri konsolide edilerek tren ve hat kapasitesi dahilinde güzergah üzerindeki merkezlerin yükleri de aynı tren ile en kısa yoldan taşınabilmesine olanak sağlanmış olacaktır.

5. Sonuç

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı 11. Kalkınma Planı Lojistik ve Enerji bölümünde, Türkiye'nin ihracat, büyüme ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında, son yıllarda hızlı bir gelişme gösteren lojistiğin büyüme potansiyelimize katkısının artırılması ve 2018 yılında yayımlanan lojistik performans endeksinde 160 ülke arasında 47. sırada yer alan ülkemizin 2023 yılı hedeflerine göre ilk 25 ülke arasına girmesi amaçlanmaktadır [42]. Lojistik merkezler ülke genelindeki ithalat, ihracat ve yurtiçi yük taşımacılığı için önemli kapasiteye sahip önde gelen alanlardır. Bu itibarla çalışmada; ülkemizin ihracat, büyüme ve kalkınma hedeflerine ulaşmasında lojistik faaliyetlerin katkısının artırılması amacıyla, ülke genelinde demiryolu bağlantılı faaliyet gösteren 13,6 milyon ton kapasiteye sahip on iki adet lojistik merkezle, proje aşamasında yer alan 14,3 milyon ton kapasiteye sahip diğer yedi adet lojistik merkez üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmada taşıma için yola çıkan trenlerin en kısa sürede en kısa yoldan lojistik merkezlere ulaşımını sağlamak amaçlanmıştır. Problem Floyd-Warshall algoritması kullanılarak Python programlama dilinde yazılarak çözülmüştür. Elde edilen çözümler sonucunda trenlerin lojistik merkezlere ulaşımında optimal sonuç veren en kısa yollar bulunmuştur.

Özellikle Türkiye'nin lojistikteki uluslararası konumunun güçlendirilmesi, sanayi ürünlerinin toplam maliyeti içindeki lojistik maliyetin yükünün azaltılması, nihai ürünlerin tüketim pazarlarına ulaşım süresinin kısaltılması, lojistik maliyetlerin düşürülmesi ve işlem sürelerinin kısaltılması için trenlerin buldukları merkezden diğer merkezlere ulaşımında hangi güzergahın tercih edilmesi gerektiği sorusuna çözüm getirilmiştir. İlerleyen çalışmalarda oluşan ihtiyaçlara göre kurulan şebeke ağı genişletilebilir.

Kaynakça

- [1] Ş. Demiroğlu, "Küresel lojistik köyleri ve bu kapsamda Türkiye'de lojistik köyleri üzerine bölgesel bir inceleme," Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya, 2013.
- [2] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, *Ulaşan ve Erişen Türkiye*, Türkiye, 2017.
- [3] Y. Wang and C. Lu, "Railway route optimisation from Romania to Poland based on an analysis of China's 'one belt and one road' initiative," *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, vol. 6, no. 1, pp. 1–18, 2019.
- [4] S.D. Pandey, "Railway route optimization system using dijkstra method," *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.*, vol. 2, no.3, pp. 435–440, 2014.
- [5] L.Liu, Y. Xia and Y. Han, "Research on three-dimensional modelling of railway route in railway route selection," *Int. Conf. Mech. Autom. Control Eng.* no. 1, pp. 2907–2911, 2010.
- [6] L. Wang *et al.*, "A two-layer optimization model for high-speed railway line planning," *J. Zhejiang Univ. Sci. A*, vol. 12, no. 12, pp. 902–912, 2011.

- [7] H. Zhang et al., "A risk assessment based optimization method for route selection of hazardous liquid railway network," *Railway safety*, vol. 110, pp. 217–229, 2018.
- [8] M. Kosijer et al., "Multicriteria decision-making in railway route planning and design," *Građevinar*, vol. 64, pp. 195–205, 2012.
- [9] M.Y. Kankavi, "Demir ipekyolunda Türkiye geçişi için en uygun güzergâh seçimi," Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, 2019.
- [10] M.R Saat and J.A. Serrano, "Multicriteria high-speed rail route selection: application to Malaysia's high-speed rail corridor prioritization," *Transp. Plan. Technol.*, vol. 38, no. 2, pp. 200–213, 2015.
- [11] S. Özdemir, "Modern ipek yolu koridorlarında rota optimizasyonu için hibrit model önerisi," Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2021.
- [12] T.S. Dermawan, "Comparison of dijkstra dan floyd-warshall algorithm to determine the best route of train," *IJID (International Journal on Informatics for Development)*, vol. 7, no. 2, pp.54-58, 2019.
- [13] S. Özdemir, Ö. Sacar and E. Özcan, "Dijkstra algoritması kullanılarak ipek yolu koridorları arasında en kısa ulaştırma güzergâhının belirlenmesi" *Demiryolu Mühendisliği*, vol. 13, pp. 97-105, 2021.
- [14] A. Pradhan and G. Mahinthakumar, "Finding all-pairs shortest path for a large-scale transportation network using parallel Floyd-Warshall and parallel Dijkstra algorithms," *Journal of computing in civil engineering*, vol. 27, no. 3, pp. 263-273, 2013.
- [15] M. Hamurcu and T. Eren, "An Application of multicriteria decision-making for the evaluation of alternative monorail routes," *Mathematics*, vol. 7 no.1, pp. 16, 2019.
- [16] J. Hanzl et al., "Application of floyd's algorithm on transport network of south bohemian region," *Komunikacie: Communications (Scientific Letters of the University of Žilina)*, vol. 18, no. 2, 2016.
- [17] Z. Yanwei et al., "Optimal coordination path selecting method for conduction transformation based on floyd algorithm," *Procedia Computer Science*, vol.162, pp.227-234, 2019.
- [18] D. Pandika, B. Irawan and C. Setianingsih, "Application of optimization heavy traffic path with floyd-warshall algorithm," *In 2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, pp. 57-62, 2018.
- [19] A.S. Risald, "Best routes selection using dijkstra and floyd-warshall algorithm," *11th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS)*, Indonesia, 2017.
- [20] Y.S. Triana and I. Syahputri, "Implementation floyd-warshall algorithm for the shortest path of garage," *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, vol.3, no. 2, 871-878, 2018.
- [21] K. Tang, C. Pan and M. Qian, "Manufacturing/remanufacturing logistics network optimization based on floyd algorithm," *In Journal Of Physics: Conference Series*, 2019.
- [22] T. Danışan, E.Özcan and T. Eren, "Bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımı: hidroelektrik santral örneği," *Journal of Turkish Operations Management*,. pp. 576-587, 2021.
- [23] Z. Ramadhan, A.P.U. Siahaan and M. Mesran, "Prim and floyd-warshall comparative algorithms in shortest path problem," *In Proceedings Of The Joint Workshop Ko2pi And The 1st International Conference On Advance & Scientific Innovation*, pp. 47-58, 2018.
- [24] M.E. Çakır et al., "Katı atıklar için optimum güzergâh tespiti ve alansal dağılım haritalarının cbs ortamında oluşturulması: Suruç (Şanlıurfa) örneği," *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU Journal of Science*, vol. 8, no. 2, pp. 595-603, 2019.
- [25] K. Sungkwan et al., "Optimal path planning of automated guided vehicle using dijkstra algorithm under dynamic conditions," *1th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RiTA) Robot Intelligence Technology and Applications Robot Intelligence Technology and Applications*, Daejeon, Korea, 2019.
- [26] E .D. Ekmen, "A Study on performance evaluation of optimization algorithms in the shortest path problem," Yüksek Lisans Tezi, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, 2020.
- [27] K. Magzhan and H. Jani, "A review and evaluations of shortest path algorithms," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 99–104, 2013.
- [28] A. A. Tamimi, "Comparison studies for different shortest path algorithms," *Int. J. Comput. Technol.*, vol. 14, no. 8, pp. 5979–5986, 2015.
- [29] B. Golden, "Shortest-path algorithms: a comparison," *Operations Research*, vol. 24, no. 6, 1976.
- [30] M. Alkan and M. Aydin, "Simulation and comparison of pathfinding algorithms using real Turkey data." *Int. Conf. Artif. Intell. Data Process*, 2019.
- [31] M. A. Djojo and A. Karyono, "Computational load analysis of dijkstra, A*, and floyd-warshall algorithms in mesh network," *Proc. 2013 Int. Conf. Robot. Biomimetics, Intell. Comput. Syst*, 2013.
- [32] X. Z. Wang, "The comparison of three algorithms in shortest path issue," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1087, no. 2, 2018.

- [33] Ö. N. Çam and H. K. Sezen, "Toplam bekleme süresini enküçükleme amaçlı bir araç rotalama problemi," *International Journal of Social Inquiry*, vol. 11, no. 2, pp. 47–60, 2018.
- [34] M. Timör, "Medyan en kısa yol problemi: maliyet erişilebilirlik hedeflerine yönelik bir çok amaçlı taşımacılık problemi uygulaması," *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, Cilt: 34, no: 2, pp. 31–56, 2005.
- [35] E. Fendoğlu and H. Söyler, "Route optimization of Malatya metropolitan municipality pesticide vehicles," *Alphanumeric J.*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [36] F. Nuriyeva and G. Kizilates, "Gezgin satıcı problemi için merkezden kenarlara hipersezgisel yöntem," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 20, no. 2, pp. 319–323, 2016.
- [37] Ö. Saçar. "İpek yolu güzergahında yapılan lojistik etkinliklerin günümüz lojistik faaliyetleri ile Karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2018.
- [38] S. Özdemir et al., "Türkiye'deki lojistik merkezleri yatırım önceliklerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar modeli önerisi," *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, no. 12, pp. 83–94, 2020.
- [39] E.R. Zieyel, "Operations research: applications and algorithms." *Technometrics*, vol. 30, no. 3, pp. 361–362, 1988.
- [40] TCDD "2016-2020 İstatistik Yıllığı" pp.18-19, 2021. [Online]. Available: <https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/istrapor/20162020ist.pdf> [Accessed Oct 21, 2022].
- [41] Rome2Rio, "Railway Map", [Online]. Available: <https://www.rome2rio.com/map/>. [Accessed Sep 13, 2022].
- [42] Türkiye Cumhuriyeti Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). "On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)". Available: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf> [Accessed Sep 21, 2021].

Özgeçmiş



Bekir KESKİN

1986 yılında Samsun'da doğmuştur. 2010 yılında İstanbul Üniversitesi "Ulaştırma ve Lojistik" ve ayrıca 2018 yılında Hoca Ahmet Yesevi Üniversitesi "Endüstri Mühendisliği" bölümlerinde lisans eğitimlerini tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimine Kırıkkale Üniversitesi "Endüstri Mühendisliği" bölümünde devam etmektedir. 2011 yılından beri TCDD Genel Müdürlüğü "Lojistik Dairesi Başkanlığı" (2011-2016) ve "Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı"nda (2016-) iş hayatına devam etmektedir.

E-Posta: bekirkeskkin55@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.