



# Journal of Turkish Operations Management

## Bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımı: hidroelektrik santral örneği

Tuğba Danışan<sup>1</sup>, Evrencan Özcan<sup>2</sup>, Tamer Eren<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale  
e-mail: tugbadanisan@gmail.com, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1998-6810>

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale  
e-mail: evrencan.ozcan@kku.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3662-6190>

<sup>3</sup>Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale  
e-mail: teren@kku.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçmişi:

Geliş: 19.12.2020  
Revize: 06.02.2021  
Kabul: 25.02.2021

#### Anahtar Kelimeler:

Bakım,  
En kısa yol,  
Hidroelektrik santral,  
Floyd-Warshall

### Özet

Elektrik santralleri bir ülkenin enerji arzının karşılanmasına hizmet eden önemli tesislerdir. Elektrik enerji talebinin sürekli olması nedeniyle elektrik üretiminin de kesintisiz olması gerekmektedir. Bu durum santrallerin uzun yıllar çalışmasından kaynaklı yıpranmasına yol açmaktadır. Üretim sürdürülebilirliğinin sağlanması için santrallara bazı bakımların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle santrallerdeki arızaların giderilmesi ve bakımların yapılması için zaman önemli bir kısıttır. En kısa zamanda bakımlara başlanması sürdürülebilirlik noktasında önem arz etmektedir. Santraldeki mekanik, elektriksel ve elektronik tüm ekipmanların bakımı, uzman bakım ekipleri tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'deki elektrik enerjisi talebinin yaklaşık %31,9'unu karşılayan Hidroelektrik Santraller (HES) için uygulama yapılmıştır. Çalışmada bakım için görevlendirilen üç ekibin santrallara en kısa yoldan ulaşması problemi ele alınmıştır. Türkiye'deki HES'ler arasında yıllık üretim miktarı yüksek olan on iki HES için çalışma yapılmıştır. Santrallerdeki bakımlarda görev alabilecek ekipler her santralde bulunmamaktadır. Çalışmaya dahil edilen on iki HES için bakımları yapabilecek sadece üç ekip bulunmaktadır. Bu nedenle bu üç ekibin santrallara en kısa yoldan ulaşmaları amaçlanmıştır. Problem çözümünde Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. C tabanlı bir kod yardımı ile elde edilen çözümler sonucunda bakım ekiplerinin santrallara ulaşımında optimal sonuç veren en kısa yollar bulunmuştur.

## Transportation of maintenance teams to power plants from the shortest path: a case for the hydroelectric power plant

### Article Info

#### Article History:

Received: 19.12.2020  
Revised: 06.02.2021  
Accepted: 25.02.2021

#### Keywords:

Maintenance,  
Shortest path,  
Hydroelectric power plant,  
Floyd-Warshall

### Abstract

Power plants are important facilities that serve to meet the energy supply of a country. Since the demand for electrical energy is continuous, electricity generation must also be uninterrupted. This situation causes the power plants to wear out due to long years of operation. In order to ensure the sustainability of production, some maintenance should be done to the power plants. For this reason, time is an important constraint for repairing breakdowns and performing maintenance in power plants. Starting maintenance as soon as possible is important in terms of sustainability. The maintenance of all mechanical, electrical and electronic equipment in the plant is carried out by expert maintenance teams. In this study, applications were made for Hydroelectric Power Plant (HPP), which meet approximately 31.9% of the electricity demand in Turkey. In this study, the problem of three teams assigned for maintenance reaching the plants in the shortest path was discussed. This study was made for twelve HPPs with high

annual production amount were carried out among HPPs in Turkey. The teams that can take part in the maintenance of the plants is not available in every power plant. There are only three teams that can do maintenance for the twelve HPPs included in the study. These three teams were aimed to reach the power plants from the shortest path to do the necessary maintenance.

## 1. Giriş

Endüstriyel anlamda bakım, bir makine ya da ekipmanın işlevini yerine getirememesinin nedenlerinin ortadan kaldırılması için yapılan uygulamaların bütünüdür. Bakım, üretim tesislerinin güvenilir, kalite düzeyi yüksek, ekonomik, verimli, kesintisiz ve çevreye duyarlı üretim yapması olarak tanımlanan sürdürülebilirlik hedefine üst düzeyde katkı sağlayan bir prosestir (Özcan, Danışan ve Eren, 2019). Sürekli üretim tesisleri arasında yer alan santrallerin uzun yıllar işletilmesi sonucu maruz kaldıkları metal yorgunluğu, yüksek basınç, yüksek sıcaklık gibi koşullar altında çalıştırılması, özellikle yaşlı denilebilecek santrallerde bakım uygulamalarının gerçekleştirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Özcan, Danışan ve Eren, 2020a). Yapılan bu çalışmanın uygulama alanı olan Hidroelektrik Santraller (HES) için genel olarak arıza (düzeltici), kestirimci, periyodik (önleyici) ve revizyon bakım olmak üzere dört bakım stratejisi uygulanmaktadır. Arıza bakım, yaşanan bir arıza sonucu uygulanan ve bakım süresi arızanın büyüklüğüne göre değişen bir bakım stratejisidir. Periyodik bakım, santralin arızaya düşmesini önlemek amacıyla yapılan haftalık, aylık, yılda iki kez ve yılda bir gibi farklı periyotlarda gerçekleştirilen planlı uygulamalardan oluşan bakımlardan oluşmaktadır. Kestirimci bakım, ekipman arızasının ne zaman ortaya çıkacağını tahmin edebilmek amacıyla ekipmanın çalışma durumunun izlenerek arıza süresini ve bakım maliyetini azaltmanın amaçlandığı uygulamalardan oluşmaktadır. Revizyon bakım ise santrallerde uygulanan ve diğer bakım stratejilerine göre daha uzun sürede tamamlanan uygulamalardan oluşan bakım stratejisidir (Danışan, 2019; Yumuşak, 2020).

Santrallerdeki bakım uygulamaları santral çalışırken yapılabileceği gibi revizyon bakım gibi büyük çaplı bakımlarda santral ünite ya da bloğunun durdurulması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle bölge ya da ülke genelinde elektrik kesintileri de yaşanmaktadır. İstenmeyen röle işlemleri ve arızaları, iletişim ve bilgi hataları, donanım ve teçhizat arızaları gibi operasyonel hatalardan kaynaklı olarak oluşan elektrik kesintileri ise maliyeti büyük sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle Türkiye’de elektrik kesintisi olması durumunda üretim kaybının saatte 100 milyon dolar gibi büyük bir maliyete (Polat ve Şekerci, 2015) neden olması elektrik üretim santrallerinde kesintisiz üretimin sağlanmasının önemini ve kesinti olması durumunda ülke genelinde oluşacak zararı gözlemlemek adına önemlidir. Tüm bu nedenlerden dolayı santrallerde uygulanacak bakımların kısa sürede elektrik üretim sistemini etkilemeyecek şekilde tamamlanması gerekmektedir. Bu nedenle santrallerde yaşanan bazı arızaların giderilmesi ve çeşitli bakım uygulamalarının yapılabilmesi için zaman önemli bir kısıttır ve santrallerde bakımların en kısa sürede tamamlanması üretimin sürdürülebilirliği noktasında önem arz etmektedir.

HES’ler Türkiye’deki elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında önde gelen yenilenebilir enerji kaynaklarından (EMO, 2020). Bu çalışmada HES’lerin bakımı için görevlendirilen ekiplerin santrallara en kısa yoldan ulaşması problemi ele alınmıştır. Problem kapsamında Türkiye’deki on iki HES üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmada bakım için görevlendirilen ekiplerin en kısa sürede en kısa yoldan santrallara ulaşımını sağlamak amaçlanmıştır. Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. C tabanlı bir kod yardımı ile elde edilen çözümler sonucunda bakım ekiplerinin santrallara ulaşımında optimal sonuç veren en kısa yollar bulunmuştur.

Yapılan bu çalışma ile bilindiği kadarıyla;

- Uygulama alanının enerji sektörü olması nedeniyle bu sektörde ele alınan en kısa yol problemlerinde bir ilk olması,
- Sürdürülebilirliğin önemli olduğu büyük alt yapı yatırımlarından olan santraller için bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımının dikkate alınması ile kısa sürede bakıma başlama olanağını sağlaması ve santral üretiminde sürdürülebilirliği sağlama noktasında katkı sağlaması,
- Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarından önde gelen HES’ler için problemin ele alınarak elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında santral arıza giderimi ve bakım uygulamalarına hizmet etmesi,
- Bakım ekiplerinin farklı noktalardan ulaşımının dikkate alınarak herhangi bir acil durumda santrallara en kısa hangi yoldan ulaşılması gerektiğine çözüm getirmesi,
- Ekiplerin başlangıç santrallerden diğer santrallara ulaşımının nasıl olacağına cevap verilmesi, bu problem için de algoritma yapısına uygunluğu nedeni ile Floyd Warshall algoritmasının kullanılması,
- Bir C program kodu ile çok kısa sürede problem için çözümlerin alınması ve uygulama kolaylığı sağlaması yönlerinden bir ilk gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın devamında ikinci bölümde en kısa yol problemine dair incelenen literatüre, üçüncü bölümde yöntem

bilgisine, dördüncü bölümde problem uygulamasına ve beşinci bölümde ise sonuç kısmına yer verilmiştir.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Yapılan çalışmada on iki HES' te planlanan bakımların yapılması için görevlendirilen ekiplerin en kısa yoldan santrallara ulaşımının sağlanması amaçlanmıştır. Bu problem literatürde en kısa yol problemleri olarak yer almaktadır. Bu problemlerde Dijkstra, Floyd-Warshall, Prim algoritması gibi birçok yöntem ile çözümler bulunmuştur. En kısa yol problemlerinin uygulama alanı genellikle bir bölge ya da birimdeki noktalar arasında en kısa mesafenin kat edilmesi amacıyla yapılmıştır.

Djojo ve Karyono (2013) gerçekleştirdikleri çalışma ile gerçek bir ağ koşullarını temsil eden yapıyı ele almış ve yöntem kıyaslamaları ile problemi sunmuşlardır. Pradhan ve Mahinthakumar (2013) ise büyük ölçekli bir ulaşım ağı için tüm çiftlerin en kısa yolunu bulmak için kullanılan Floyd-Warshall ve Dijkstra yöntemlerinin performans analizini yapmışlardır. Hanzl, Bartuška, Rozhanskaya ve Průša (2016) South Bohemian bölgesinde on altı düğümlü ulaşım ağının belirlenmesi için Floyd yöntemini kullanmışlardır. Zuo ve Shen (2017) ulaşım ağında optimal kısa yolun belirlenmesini Floyd tabanlı bir algoritma ile çözüm sunarlar. Esuabana, Ikpong, ve Okon (2018), Nijerya'daki yirmi bir şehrin dikkate alındığı ve bu şehirler arasında ulaşımın en kısa yoldan nasıl sağlanabileceğine dair çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Dermawan (2019) bir tren yolculuğunda en iyi yolu bulmada en iyi rotanın tren yolculuğunun minimum fiyata olmasını sağlayan yolun olduğu dikkate alınarak Dijkstra ve Floyd-Warshall algoritmalarının karşılaştırmasını yapmıştır. Yanwei, Gengyu, Fangzhi, Chen, Shedong, ve Zhiwei (2019) ise ulaşım koordinasyonunun sağlanmasında optimal yolun seçilmesinde Floyd tabanlı bir algoritma ile bu probleme çözüm getirmişlerdir.

Bu çalışmalarla birlikte özellikle depolama, turizm, araç seyahati, sağlık, lojistik, park yeri gibi farklı alanlarda da bu problem için çalışmalar yapılmıştır. Qing, Zheng ve Yue (2017) otomatik depolama sistemlerinde en kısa yolun hesaplanmasında Dijkstra yöntemini kullanmışlardır. Turizm sektöründe çalışmalarını gerçekleştiren Xu, Miao, Liu ve Panneerselva (2017) etkili seyahat planlaması için en kısa yolun belirlenmesinde Floyd tabanlı bir uygulama yaparlarken Pandika, Irawan ve Setianingsih (2018) de yine turizm sektöründe bu problemi ele almış ve bir bölgedeki tıkanıklığın özellikle bir turizm alanına ulaşımında aksamalara neden olması dolayısıyla karayolu üzerinde oluşan tıkanıklığı önlemek için en uygun rotayı oluşturabilen bir uygulama geliştirmişlerdir. Araç seyahatinde en kısa yol problemini dikkate alan Huang, Wu ve Zhan (2007) kullanıcıların seyahat ederken iki düğüm arasındaki en uygun en kısa yolu tekrar tekrar hesaplamak zorunda kalabileceği navigasyon hizmetlerindeki dinamik en kısa yol problemini dikkate alırken Tang, Qian ve Duan (2017) araç seyahat sürelerine dayanarak en hızlı araç rotalarının belirlenmesi için çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Mirino ve diğ. (2017) ambulans çağırma raporu sunan ve en yakın hastaneye en iyi rotayı belirleyerek mağdura veya acil hastaya ilk müdahale sürecine destek sağlamak amacıyla bu problemi dikkate almışlardır. Triana ve Syahputri (2018) gerekli en yakın garajı bulmak için medya bilgilerinden yararlanılan ve Floyd-Warshall yöntemini kullanan bir uygulama ile en yakın garaj konumunu bulmuşlardır. Tang, Pan ve Qian (2019) üretime dayalı ileri ve tersine lojistikte optimal yolun belirlenmesi Floyd tabanlı bir çözüm sunarak lojistik alanında çalışma yapmışlardır. Bu alanlar dışında Khan, Konar ve Chakraborty (2014) Floyd-Warshall temelli kablosuz sensör ağlarında yönlendirme için yeni bir algoritma önermiş, Swathika ve Hemamalini (2016) mikrogrid ağların izlenmesinde Prim ve Dijkstra temelli bir çözüm sunmuşlardır. Ramadhan ve diğ. (2018) ise Floyd-Warshall ve Prim algoritmalarının kıyaslamasını sunarak en kısa yol problemini ele almışlardır. Alani, Baseel, Hamdi ve Rashid (2020) ise tek kaynaklı en kısa yol problemini ele almış ve bu problem için A\* ve karınca kolonisi algoritmasından faydalanmışlardır. Chen, Chen, Chen ve Lam (2020) A\* tekniğine dayalı verimli bir en kısa yol problemini ele almış ve bir çözüm önerisinde bulunurlarken, Ferone, Festa ve Guerriero (2020) en kısa yol problemini için matematiksel bir modelle dal sınır yöntemini kullanarak çözüm sunmuşlardır. Çözümlerinde ILOG CPLEX çözücüsünden faydalanmışlardır. Jia ve Zhang (2020) ise bakım planlaması için gerçekleştirdikleri çalışmada iki aşamalı bir çözüm sunmuş ve matematiksel modelle birlikte benzetimli tavlama yöntemini kullanmışlardır. Pugliese, Ferone, Festa ve Guerriero (2020) zaman penceresi kısıtlamalarının hesaba katıldığı en kısa yol tur problemini ele almışlardır. Bu alandaki zaman pencereleriyle en kısa yol turu problemini ele alan ilk çalışma olduğu vurgusunu da yapmışlardır. Sepehrifar, Fanian ve Sepehrifar (2020) çok hedefli en kısa yol problemini çözmek için çok hedefli Dijkstra algoritmasını kullanarak problemlerine çözüm getirmişlerdir. Thanh, Binh ve Trung (2020) kümelenmiş en kısa yol problemi için evrimsel bir algoritma yaklaşımı önermişlerdir. Kümelenmiş gezgin satıcı probleminde önerilen bu algoritma denemiş ve sonuçları açıklamışlardır. Tu, Cheng, Yuan, Cheng ve Li (2020) kentsel ulaşımında elektrikli araçlar için kısıtlı güvenilir en kısa yol problemini ele almışlardır. Bu problem için karma tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Wang, You, Song ve Zhang (2020) en kısa yol problemi için Wasserstein metriğini 0-1 karışık doğrusal olmayan bir modelle birlikte kullanmışlardır. İnan ve Baba (2021) yapmış oldukları çalışma ile limanlar arasında en kısa yolları hava ve deniz şartlarını göz ardı ederek Dijkstra algoritması ile hesaplamışlardır.

En kısa yol problemi üzerine yapılan son çalışmalarda özellikle dinamik yapıli problemlere odaklanılmış ve gerek matematiksel modeller gerekse en kısa yol probleminde kullanılan temel algoritmalarından olan Floyd, Dijkstra, Prim algoritmalarının yanı sıra birkaç yöntemle entegre edilen çalışmalar kullanılmış ve ayrıca sezgisel yaklaşımlarla dinamik yapıdaki bu sistemler için çözümler sunulmuştur. Örneğin Huang ve diğ. (2007)'nin yapmış oldukları çalışmada ulaşım ağlarında en uygun rotanın bulunması problemini ele almış, dinamik yapıli bir en kısa yol problemine çözüm getirmiş olup navigasyonların en uygun rotayı bulması için çalışmışlardır. Dinamik yapıli problemlerin karmaşıklığı ve kısa sürede çözümlenmesi gerekliliği optimal yöntemlerin yetersiz kalmasına ve problem karmaşık olduğu için sezgisel yöntemlerle desteklenmesini gerektirmiştir. Yapılan bu çalışmada ise sabit konumlu en kısa yol problemi ele alınmış olup sadece 12 düğümlü olan sabit bir yapı ele alınmıştır. Kullanılan Floyd Warshall algoritması karmaşıklığı Madkour ve diğ. (2017)'nin gerçekleştirmiş oldukları inceleme çalışmasında "The complexity of Floyd-Warshall algorithm is  $O(n^3)$ , where n is the number of vertices." ifadesi ile belirtildiği üzere polinom zamanda çözülen bir yapıya sahiptir. Gerek bu incelemenin gerekse Hanzl ve diğ. (2016)'nin yapmış oldukları çalışmanın baz alınması ve optimal sonuçlar sunması nedeniyle sadece Floyd Warshall algoritması kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada tüm bu alanlar dışında enerji sektöründe çalışılmıştır. Elektrik üretiminin kesintisiz ve güvenilir olması gerekliliği dikkate alındığında santral işletmecilerinin santrallarda yaşanan arızalardan ya da zorunlu bakım uygulamalarından dolayı santrallarda üretimi durdurması söz konusu olmaktadır. Bazen bir ekipmanın arızasının giderilmesi ya da bakımının yapılması o ekipmanın bulunduğu üniteyi de durdurmayı gerektirebildiği gibi santralin diğer birimlerinin de eş zamanda durdurulmasını gerektirebilmektedir. Bu nedenle elektrik üretim santrallarında yapılacak bakımların santrallarda daha fazla duruşa neden olmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, on iki HES'i bünyesinde bulunduran bir işletmede mevcut bakım ekiplerinin herhangi bir arıza ya da zorunlu bakım durumunda santrallara en kısa yoldan ulaşması için optimum bir çözüm sunulmuştur. Özellikle santrallarda yaşanılacak beklenmedik bir arıza durumunda ekiplerin buldukları santrallardan diğer santrallara ulaşımının hangi yollardan yapılması gerektiği sorusu cevaplanarak bu soruna çözüm getirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise elektrik üretim santralları arasında yer alan HES'ler dikkate alınmış olup bu santrallarda planlanan bakımların yapılması için görevli bakım ekiplerinin ulaşımının en kısa yoldan sağlanması amaçlanmıştır.

### 3. Yöntem

Floyd-Warshall algoritması, Floyd algoritması, Roy-Warshall algoritması, Roy-Floyd algoritması veya WFI algoritmaları olarak da bilinmektedir. Bu algoritma 1962'de Robert Floyd tarafından yayınlanmıştır. Ancak, bu algoritma esasen 1959'da Bernard Roy tarafından ve ayrıca 1962'de Stephen Warshall tarafından grafiğin geçişli kapanışını bulmak için yayınlanan önceki algoritmayla aynıdır. İç içe geçmiş üç döngü olarak Warshall algoritmasının modern formülasyonu ilk kez Peter Ingerman tarafından yine 1962'de tanımlanmıştır (Floyd, 1962; Weissstein, 2009). Floyd-Warshall algoritması, tüm köşe çiftlerini ağırlıklı bir grafik halinde hesaplayarak en kısa yolu araştırmaktadır. Bu algoritma, ara düğümlerden geçmeden düğüm çiftleri arasındaki tüm minimum mesafeyi bularak başlamakta ve bu değerler, minimum mesafe tablosuna kaydedilmektedir. Düğüm çiftleri arasındaki minimum mesafe, önceki değerle karşılaştırılarak belirlenmektedir. Herhangi bir değişiklik, minimum mesafe tablosunun değerini güncelleyecektir. Bu ilk düğümden son düğüme kadar, karşılaştırma için önceki sonuçlar kullanılarak işlem tekrarlanmaktadır. Floyd-Warshall algoritması ile sadece iki belirli düğüm arasındaki en kısa yolu aramakla kalmaz, aynı zamanda düğümler arasındaki en kısa yol tablosu da oluşturulmaktadır (Djojo ve Karyono, 2013; Madkour ve diğ. (2017); Ramadhan e diğ., 2018).

Yapılan bu çalışmada en kısa yolun bulunması için etkin ve optimal sonuçlar sunması ve tüm düğümler arasında en kısa yoldan ulaşımı sağlaması nedeniyle (Madkour ve diğ. 2017; Ramadhan ve diğ. 2018) Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır. Ulaşım ağları en kısa yol probleminin en çok çalışıldığı alanlardandır. Bu alanlarla birlikte depolama, turizm, araç seyahati, sağlık, lojistik, park yerleri gibi farklı alanlarda da bu problem için çözüm getirilmiş olup gerek Floyd algoritması gerekse diğer algoritmalar ayrı ayrı ya da entegre edilerek kullanılmıştır. Özellikle Madkour ve diğ. (2017)'nin bu alanda yapmış oldukları literatür incelemesi en kısa yol problemlerinde kullanılan yöntemler hakkında daha fazla bilgi sağlamak için önemli bir kaynaktır.

### 4. Bulgular

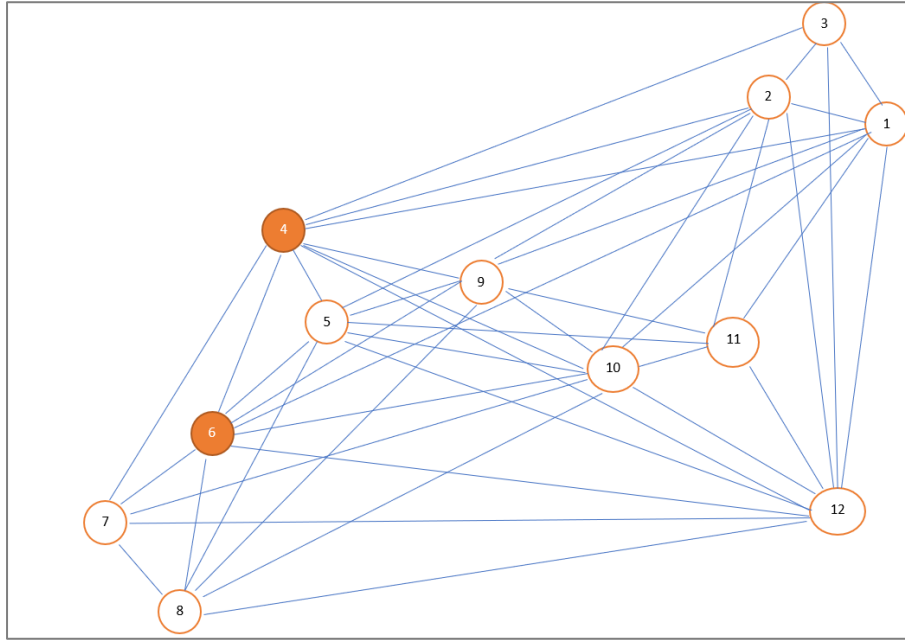
Bu çalışmada Türkiye'deki elektrik enerjisi talebinin büyük bir kısmını karşılayan ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında önde gelen HES'lerin (EMO, 2020) bakımı için görevlendirilen üç ekibin santrallara en kısa yoldan ulaşması problemi ele alınmıştır. Problem kapsamında Türkiye'de halihazırda işletilen HES'ler arasından on iki HES üzerinde çalışma yapılmıştır. Elektrik üretim santrallarında yer alan ekipmanlar elektriksel, mekanik

ve elektronik ekipmanlar olarak gruplandırılmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan elektriksel, mekanik ve elektronik bu ekipmanların bakımları farklı ihtivalara sahiptir (Başışme, 2003; Özcan ve diğ., 2019). Bu nedenle santrallardaki ekipmanlara yapılan bakımlarda ya da arızaların giderilmesinde görev alacak ekipler her santralda bulunmamaktadır. Çalışmaya dahil edilen on iki HES arasından bu kapsamdaki bakımları yapacak üç ekip mevcut olup bu ekipler sadece iki HES'te bulunmaktadır. Bu ekiplerden birincisi mekanik, ikincisi elektronik ve üçüncüsü ise elektronik ekipmanların bakımında uzman kişilerden oluşmaktadır. Birinci ve ikinci ekip aynı santralda görev almakta olup altı numaralı santralin personelleridir. Üçüncü ekip ise dört numaralı santralda görev almaktadır. Ekiplerin bulunduğu santrallar haricinde geriye kalan santrallarda yaşanan büyük arızaların giderilmesinde veya periyodik ve revizyon bakım gibi büyük çaplı bakım uygulamalarında bu ekipler görev aldıkları santrallardan diğer santrallara bakım için görevlendirilmektedir. Santrallarda yaşanan büyük çaplı arızalarda ya da revizyon bakım uygulamalarında santralların en kısa sürede bakımının yapıp çalışır hale getirilmesi gerek santral işletmecileri gerekse elektrik piyasası için oluşturduğu kayıplar ve maliyetler açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada bakım için görevlendirilen ekiplerin en kısa sürede en kısa yoldan santrallara ulaşımını sağlamak amaçlanmıştır. En kısa yolun bulunması için optimal sonuçlar sunan Floyd-Warshall algoritması kullanılmıştır.



Şekil 1. Santralların Türkiye haritasındaki konumları

Santrallardaki bakım uygulamaları santral çalışırken yapılabileceği gibi revizyon bakım gibi büyük çaplı bakımlarda santral ünite ya da bloğunun durdurulması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle bölge ya da ülke genelinde elektrik kesintileri de yaşanmaktadır. Bu elektrik kesintileri ise maliyeti büyük sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle Türkiye'de elektrik kesintisi olması durumunda üretim kaybının saatte 100 milyon dolar gibi büyük bir maliyete (Polat ve Şekerci, 2015) neden olması santrallarda yaşanan büyük çaplı arızalarda ya da revizyon bakım uygulamalarında santralların en kısa sürede bakımının yapıp çalışır hale getirilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada bakım için görevlendirilen ekibin en kısa sürede en kısa yoldan santrallara ulaşımını sağlamak amaçlanmıştır. Problem kapsamında ele alınan on iki santralin bulunduğu konum Şekil 1'deki haritada yer almaktadır. Santral konumları ve mesafeleri Google Haritalar yardımı ile bulunmuş olup öncelikle Şekil 2'de yer alan şebeke ağı oluşturulmuştur. Her bir düğüm santralları temsil etmektedir.



Şekil 2. Problem kapsamında kurulan şebeke ağı

Her biri bir düğüm olarak ele alınan santraller arası mesafeler belirlenmiş ve bu mesafelere ait D ve S matrislerine Tablo 1 ve Tablo 2’de yer verilmiştir.

**Tablo 1.** Düğümler arası mesafelerin yer aldığı matrisi

Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	26	35	375	-	512	-	-	351	357	322	404
2		-	13	376	409	-	-	-	362	370	340	424
3			-	388	-	-	-	-	-	-	-	439
4				-	70	150	209	-	122	135	-	306
5					-	109	-	184	78	91	164	250
6						-	61	76	177	183	-	312
7							-	23	-	240	-	354
8								-	240	245	-	346
9									-	17	88	-
10										-	75	168
11											-	114
12												-

**Tablo 2.** Düğümleri ifade eden matrisi

Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	2	3	4	-	6	-	-	9	10	11	12
2	1	-	3	4	5	-	-	-	9	10	11	12
3	1	2	-	4	-	-	-	-	-	-	-	12
4	1	2	3	-	5	6	7	-	9	10	-	12
5	-	2	-	4	-	6	-	8	9	10	11	12
6	1	-	-	4	5	-	7	8	9	10	-	12
7	-	-	-	4	-	6	-	8	-	10	-	12
8	-	-	-	-	5	6	7	-	9	10	-	12
9	1	2	-	4	5	6	-	8	-	10	11	-
10	1	2	-	4	5	6	7	8	9	-	11	12
11	1	2	$\infty$	$\infty$	5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	9	10	-	12
12	1	2	3	4	5	6	7	8	$\infty$	10	11	-

Şebekede bazı santrallara direkt olarak ulaşım sağlanabilirken bazılarında bir santral üzerinden ulaşım sağlanabilmektedir. Mesafelerin belirlenmesinden sonra C programlama dili ile oluşturulan kod yardımıyla problem çözümü yapılmıştır.

Yapılan çözüm sonucunda ulaşılan D ve S matrisleri Tablo 3 ve Tablo 4'te yer almaktadır.

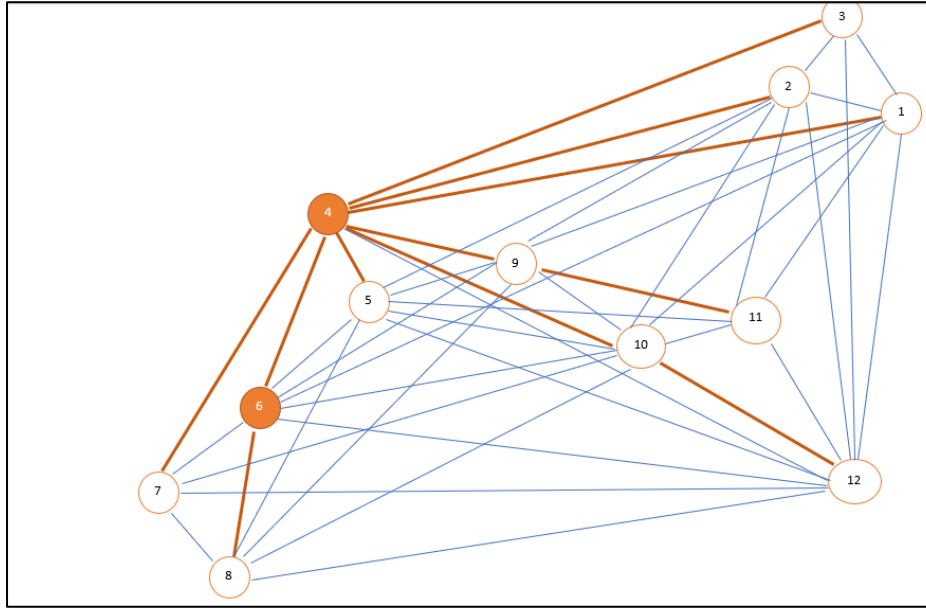
**Tablo 3.** Çözüm sonucu elde edilen uzaklık matrisi

Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	26	35	375	429	512	573	588	351	357	322	404
2	26	0	13	376	409	518	579	593	362	370	340	424
3	35	13	0	388	422	531	592	606	375	383	353	437
4	375	376	388	0	70	150	209	226	122	135	210	303
5	429	409	422	70	0	109	170	184	78	91	164	250
6	512	518	531	150	109	0	61	76	177	183	258	312
7	573	579	592	209	170	61	0	23	238	240	315	354
8	588	593	606	226	184	76	23	0	240	245	320	346
9	351	362	375	122	78	177	238	240	0	17	88	185
10	357	370	383	135	91	183	240	245	17	0	75	168
11	322	340	353	210	164	258	315	320	88	75	0	114
12	404	424	437	303	250	312	354	346	185	168	114	0

**Tablo 4.** Çözüm sonucu elde edilen S matrisi

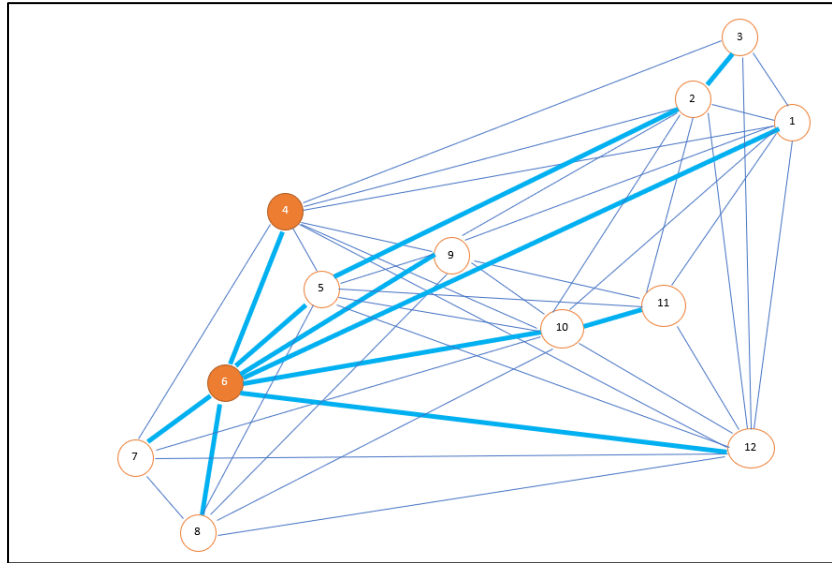
Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	2	3	4	9	6	6	6	9	10	11	12
2	1	0	3	4	5	5	6	5	9	10	11	12
3	1	2	0	4	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	2	3	0	5	6	7	6	9	10	9	10
5	9	2	2	4	0	6	6	8	9	10	11	12
6	1	5	2	4	5	0	7	8	9	10	10	12
7	6	6	2	4	6	6	0	8	6	10	10	12
8	6	5	2	6	5	6	7	0	9	10	10	12
9	1	2	2	4	5	6	6	8	0	10	11	10
10	1	2	2	4	5	6	7	8	9	0	11	12
11	1	2	2	9	5	10	10	10	9	10	0	12
12	1	2	2	10	5	6	7	8	10	10	11	0

Yapılan çözüme göre kaynak düğüm alınan dört ve altı numaralı santrallar için sonuçlar incelenmiştir. On iki HES için yapılacak elektriksel bakımlar için kaynak düğümü dört olarak alınmış olup şebeke ağındaki ulaşım yollarına Şekil 3'te yer verilmiştir.



Şekil 3. Elektriksel bakım ekibinin santrallara ulaşım yolları

Elde edilen bu sonuca göre dört numaralı kaynak düğümden çıkan elektriksel bakım ekibi diğer santrallara en kısa yoldan nasıl ulaşacağı gösterilmiştir. Burada gerek Tablo 4'te gerekse Şekil 3'te gözlemlenebileceği gibi sekiz numaralı santrale altı numaralı santraldan, on bir numaralı santrale dokuz numaralı santraldan, on iki numaralı santrale on numaralı santraldan gidilmesi, diğer santrallara ise direkt olarak dört numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Eğer gerçekleştirilecek bakım mekanik veya elektronik bakım ekibinin göreviyle ilgili ise bu durumda kaynak düğüm altı numaralı santral olarak alınmaktadır. Çözüm sonucunda şebeke ağındaki ulaşım yollarına Şekil 4'te yer verilmiştir.



Şekil 4. Mekanik ve elektronik bakım ekiplerinin santrallara ulaşım yolları

Bu sonuçlarla birlikte bakım ekiplerinin aynı anda birden fazla santralin bakımı ile görevlendirilmesi durumunda izlenecek bakım sırasına göre Tablo 4 yardımı ile hangi santraldan hangi santrale hangi yolu kullanarak ulaşımın gerektiği de gözlemlenebilmektedir. Burada Şekil 4'te gözlemlenebileceği gibi on bir numaralı santrale on numaralı santraldan, üç numaralı santrale önce beş sonra iki numaralı santraldan, diğer santrallara ise direkt olarak altı numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda on iki HES' e sahip olunan bir portföyde kısıtlı sayıda olan bakım ekiplerinin buldukları santrallardan diğer santrallara ulaşımı en kısa yoldan optimal olarak sağlanmıştır. Mekanik, elektronik bakım ekipleri diğer santrallarda yaşanılacak bir arızanın giderilmesi için ya da santralların periyodik bakımlarının başladığı zamanlarda santrallara ulaşımı en kısa yollardan sağlayacaktır. Altı numaralı santralde yer



alan bu ekipler için özellikle bakım planlamaları yapılırken santrallara ulaşımında önceliklendirme yapılması örneğin bakımlar başladığında ekiplerin üç numaralı santrala beş ve iki numaralı santral bakımını gerçekleştirdikten sonra gitmesinin diğer yolları kullanarak gitmesine göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yine ulaşılan sonuçlarda elektriksel bakım ekibinin ise bakım uygulamaları başladığında bulunduğu dört numaralı santraldan on iki numaralı santrala ulaşımında öncelikle on numaralı santrala uğramasının daha avantajlı olduğu da ulaşılan sonuçlardandır. Ulaşılan tüm sonuçlar sayesinde ekiplerin santrallara en kısa yoldan ulaşımı sağlanarak santrallardaki bakıma daha erken başlanması avantajı elde edilmiştir. Ayrıca bu ekipler için yapılacak planlamalarda özellikle santral bakımlarının başladığı zamanda santrallara ulaşımında önceliklendirme yaparak bu süreci tamamlamanın daha etkin olduğu ve saniyelik duruşların dahi büyük maliyetlere neden olduğu bu tesislerde bakımlardan kaynaklı duruşların daha az sürede olması sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte bakımların da daha erken başlayıp bitirilmesi ile daha kısa sürede bakım uygulamaları tamamlanmış olacaktır.

## 5. Sonuçlar

Bakım, üretim tesislerinin güvenilir, kalite düzeyi yüksek, ekonomik, verimli, kesintisiz ve çevreye duyarlı üretim yapması olarak tanımlanan sürdürülebilirlik hedefine üst düzeyde katkı sağlayan bir prosestir (Özcan ve diğ. 2019). Üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması noktasında yıpranan santrallara çeşitli bakımların yapılması gerekmektedir. Bu nedenle santrallarda yaşanan bazı arızaların giderilmesi ve bakımların yapılabilmesi için zaman önemli bir kısıttır ve en kısa zamanda bakımlara başlanması sürdürülebilirlik noktasında önem arz etmektedir (Özcan ve diğ.,2020b). Özellikle Türkiye’de elektrik kesintisi olması durumunda üretim kaybının saatte 100 milyon dolar gibi büyük bir maliyete (Polat ve Şekerci, 2015) neden olması santrallarda yaşanan büyük çaplı arızalarda ya da revizyon bakım uygulamalarında santralların en kısa sürede bakımının yapılmasının ne denli önemli olduğunu da gözler önüne sermektedir. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye’de elektrik enerjisi talebini karşılamak için halihazırda çalışan on iki HES bakımı için görevlendirilen bakım ekiplerinin buldukları santrallardan diğer santrallara ulaşımını en kısa yoldan sağlamaları amaçlanmıştır. Bakım için üç farklı ekip bulunmakta olup bu ekipler buldukları santrallar haricinde diğer santrallardaki bakımları da yerine getirmekle görevlidir. Bu nedenle bu üç ekibin elektrik üretim santrallarının kesintisiz üretimi sağlaması gerekliliği ve herhangi bir elektrik kesintisinin ülke genelinde büyük maliyetlere yol açması nedeniyle en kısa sürede santrallara ulaşımının sağlanması istenmektedir.

Çalışmada en kısa yol problemlerin çözümünde tüm düğümler arasındaki en kısa yolların bulunmasını sağlayan ve etkin sonuçların alınmasını sağlayan Floyd-Warshall algoritması kullanılmış olup bu algoritma bir C programında kodlanarak problem sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre üç ekibin ulaşımı optimal olarak bulunmuştur. Örneğin elde edilen sonuçlara göre dört numaralı kaynak düğümden çıkan elektriksel bakım ekibi diğer santrallara en kısa yoldan nasıl ulaşacağı bulunmuştur. Sekiz numaralı santrala altı numaralı santraldan, on bir numaralı santrala dokuz numaralı santraldan, on iki numaralı santrala on numaralı santraldan gidilmesi, diğer santrallara ise direkt olarak dört numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Eğer gerçekleştirilecek bakım mekanik veya elektronik bakım ekibinin göreviyle ilgili ise on bir numaralı santrala on numaralı santraldan, üç numaralı santrala önce beş sonra iki numaralı santraldan, diğer santrallara ise direkt olarak altı numaralı santraldan ulaşımın sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışma ile bilindiği kadarıyla uygulama alanının enerji sektörü olması nedeniyle bu sektörde ele alınan en kısa yol problemlerinde bir ilk olması, sürdürülebilirliğin önemli olduğu büyük alt yapı yatırımlarından olan santrallar için bakım ekiplerinin en kısa yoldan santrallara ulaşımının dikkate alınması ile kısa sürede bakıma başlama olanağını sağlaması ve santral üretiminde sürdürülebilirliği sağlama noktasında katkı sağlaması, Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarından önde gelen HES’ler için problemin ele alınarak elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında santral arıza ve bakım uygulamalarına hizmet etmesi, bakım ekiplerinin farklı noktalardan ulaşımının dikkate alınarak herhangi bir acil durumda santrallara en kısa hangi yoldan ulaşılması gerektiğine çözüm getirmesi, ekiplerin başlangıç santrallardan diğer santrallara ulaşımının nasıl olacağına cevap vermesi, bu problem için de algoritma yapısına uygunluğu nedeni ile Floyd Warshall algoritmasının kullanılması, ve bir C program kodu ile çok kısa sürede problem için çözümlerin alınması ve uygulama kolaylığı sağlaması yönlerinden bir ilk gerçekleştirilmiştir. Ekiplerin santrallara en kısa yoldan ulaşımı sağlanarak santrallardaki bakıma daha erken başlanması avantajı elde edilmiştir. Yapılacak planlamalarda özellikle santral bakımlarının başladığı zamanda santrallara ulaşımında önceliklendirme yapılarak bu süreci tamamlamanın daha etkin olduğu gözlemlenmiştir. Bulunan çözümler sayesinde saniyelik duruşların dahi büyük maliyetlere neden olduğu bu tesislerde bakımlardan kaynaklı duruşların daha az sürede olması sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte bakımların da daha erken başlayıp bitirilmesi ile daha kısa sürede bakım uygulamaları tamamlanmış olacaktır.

İlerleyen çalışmalarda oluşan ihtiyaçlara göre kurulan şebeke ağı genişletilerek halihazırda elektrik talebini karşılayan diğer santrallarla birlikte problem kapsamı değiştirilebileceği gibi yol uzunluğu yerine maliyeti ya da

kritikliği gibi farklı amaçlar doğrultusunda da en kısa yol problemi dikkate alınabilir. Ayrıca bu çalışmanın devamında ulaşılan bu sonuçlar kullanılabilir ve bakım ekiplerinin özellikle periyodik bakım uygulamaların başladığı zamanlarda santrallara ulaşımında önceliklendirme yapılarak bir bakım planlama çalışması yapılabilir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Tuğba Danışan, problem verilerinin elde edilerek problemin çözülmesi, bilimsel yayın araştırması ve makalenin oluşturulması; Evrencan Özcan, problem çözüm sürecinin takibi, kontrolü ve makalenin hazırlanması; Tamer Eren, makalenin hazırlanması ve kontrolü konularında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

Alani, S., Baseel, A., Hamdi, M. M., & Rashid, S. A. (2020). A hybrid technique for single-source shortest path-based on A\* algorithm and ant colony optimization. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 9(2), 356. Doi: <http://doi.org/10.11591/ijai.v9.i2.pp356-363>

Başeşme, H. (2003). Hidroelektrik santraller ve hidroelektrik santral tesisleri. *EÜAŞ genel müdürlüğü hidrolik santraller dairesi başkanlığı*.

Chen, B. Y., Chen, X. W., Chen, H. P., & Lam, W. H. (2020). Efficient algorithm for finding k shortest paths based on re-optimization technique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 133, 101819. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.11.013>

Danışan, T. (2019). Hidroelektrik santrallarda bakım çizelgeleme. Yüksek lisans tezi, *Kırıkkale üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*.

Dermawan, T. S. (2019). Comparison of dijkstra dan floyd-warshall algorithm to determine the best route of train. *IJID (International Journal on Informatics for Development)*, 7(2), 54-58. Doi: <https://doi.org/10.14421/ijid.2018.07202>

Djojo, M. A. & Karyono, K. (2013, November). Computational load analysis of dijkstra, a\*, and floyd-warshall algorithms in mesh network. *In 2013 International Conference on Robotics, Biomimetics, Intelligent Computational Systems*, 104-108. Doi: <https://doi.org/10.1109/ROBIONETICS.2013.6743587>

Ferone, D., Festa, P., & Guerriero, F. (2020). An efficient exact approach for the constrained shortest path tour problem. *Optimization Methods and Software*, 35(1), 1-20. Doi: <https://doi.org/10.1080/10556788.2018.1548015>

EMO, (2020). Türkiye elektrik enerjisi istatistikleri. [https://www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=88369](https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369)

Esuabana, I., Ikpang, I. N., & Okon, E. O. J. (2018). Shortest transportation route network in nigeria using floyd-warshall's algorithm. *Mathematical theory and modeling*, 5, 145-160. Doi: <https://doi.org/10.7176/MTM>

Floyd, R. W. (1962). Algorithm 97: shortest path. *Communications of the ACM*, 5(6), 345. Doi: <https://doi.org/10.1145/367766.368168>

Hanzl, J., Bartuška, L., Rozhanskaya, E., & Průša, P. (2016). Application of floyd's algorithm on transport network of south bohemian region. *Komunikácie: Communications (Scientific Letters of the University of Žilina)*, 18(2).

Huang, B., Wu, Q., & Zhan, F. B. (2007). A shortest path algorithm with novel heuristics for dynamic transportation networks. *International journal of geographical information science*, 21(6), 625-644. Doi: <https://doi.org/10.1080/13658810601079759>

İnan, T., & Baba, A. F. (2021). Ticari Gemiler İçin Seyir Süresi ve Yakıt Tüketiminin Azaltılması Amaçlı, Hava ve Deniz Şartlarına Göre Rota Optimizasyonu Sistemi (Ege Denizi Örneği). *Politeknik Dergisi*. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.643333>

Jia, C., & Zhang, C., (2020). Joint optimization of maintenance planning and workforce routing for a geographically distributed networked infrastructure. *IIE Transactions*, 52(7), 732-750. Doi: <https://doi.org/10.1080/24725854.2019.1647478>

- Khan, P., Konar, G., & Chakraborty, N. (2014, December). Modification of floyd-warshall's algorithm for shortest path routing in wireless sensor networks. In *2014 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, 1-6. Doi: <https://doi.org/10.1109/INDICON.2014.7030504>
- Madkour, A., Aref, W. G., Rehman, F. U., Rahman, M. A., & Basalamah, S. (2017). A survey of shortest-path algorithms. <https://arxiv.org/abs/1705.02044>
- Mirino, A. E. et al. (2017, October). Best routes selection using dijkstra and floyd-warshall algorithm. In *2017 11th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS)*, 155-158. doi: <https://doi.org/10.1109/ICTS.2017.8265662>
- Özcan, E.C., Danışan, T., & Eren, T. (2019). Hidroelektrik santralların en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için matematiksel bir model önerisi. *Pamukkale university journal of engineering sciences*, 25(4). Doi: <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.38455>
- Özcan, E., Danışan, T., & Eren, T. (2020a). A hybrid model proposal for maintenance scheduling in hydropower plants. *Journal of the faculty of engineering and architecture of gazi university*, 35(4), 1815-1827. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.602774>
- Özcan E.C., Danışan T., Yumuşak R., Eren T. (2020b). An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants, *Maintenance and reliability*, 22 (3), 400-418. Doi: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2020.3.3>
- Pandika, I.K.L.D., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2018, December). Application of optimization heavy traffic path with floyd-warshall algorithm. In *2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, 57-62. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2018.8712110>
- Polat, Sezai, Hacer Şekerci. (2015). Dünyada ve ülkemizde önemli elektrik çöküntüleri." IV. *Elektrik tesisat ulusal kongre ve sergisi bildirileri*.
- Pradhan, A., & Mahinthakumar, G. (2013). 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*, 27(3), 263-273. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000220](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000220)
- Pugliese, L. D. P., Ferone, D., Festa, P., & Guerriero, F. (2020). Shortest path tour problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 282(1), 334-344. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.08.052>
- Qing, G., Zheng, Z., & Yue, X. (2017, May). Path-planning of automated guided vehicle based on improved Dijkstra algorithm. In *2017 29th Chinese control and decision conference (CCDC)* ,7138-7143. Doi: <https://doi.org/10.1109/CCDC.2017.7978471>
- Ramadhan, Z., Siahaan, A.P.U., & Mesran, M. (2018, July). 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*, 47-58. Doi: <https://doi.org/10.4108/eai.23-4-2018.2277598>
- Sepehrifar, M. K., Fanian, A., & Sepehrifar, M. B. (2020). Shortest path computation in a network with multiple destinations. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(4), 3223-3231. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04340-w>
- Swathika, O.G., & Hemamalini, S. (2016). Prims-aided dijkstra algorithm for adaptive protection in microgrids. *IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics*, 4(4), 1279-1286. Doi: <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2016.2581986>
- Tang, K., Qian, M., & Duan, L. (2017, June). Choosing the fastest route for urban distribution based on big data of vehicle travel time. In *2017 international conference on service systems and service management*, 1-4. Doi: <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996286>.
- Tang, K., Pan, C., & Qian, M. (2019, August). Manufacturing/remanufacturing logistics network optimization based on floyd algorithm. In *journal of physics: conference series*, 1288(1), 012026. Doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1288/1/012026>
- Thanh, P. D., Binh, H. T. T., & Trung, T. B. (2020). An efficient strategy for using multifactorial optimization to solve the clustered shortest path tree problem. *Applied Intelligence*, 50(4), 1233-1258. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01599-x>
- Triana, Y. S., & Syahputri, I. (2018). Implementation floyd-warshall algorithm for the shortest path of garage. *International journal of innovative science and research technology*, 3(2), 871-878. <https://goo.gl/DF9R4u>

- Tu, Q., Cheng, L., Yuan, T., Cheng, Y., & Li, M. (2020). The constrained reliable shortest path problem for electric vehicles in the urban transportation network. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121130. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121130>
- Wang, Z., You, K., Song, S., & Zhang, Y. (2020). Wasserstein distributionally robust shortest path problem. *European Journal of Operational Research*, 284(1), 31-43. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.009>
- Weisstein, Eric. (2009). Floyd-warshall algorithm, *Wolfram MathWorld*.
- Xu, R., Miao, D., Liu, L., & Panneerselva, J. (2017, June). An optimal travel route plan for yangzhou based on the improved floyd algorithm. In 2017 IEEE international conference on internet of things (things) and IEEE green computing and communications (greencom) and IEEE cyber, physical and social computing (cpscom) and IEEE smart data (smartdata), 168-177. Doi: <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCo-SmartData.2017.30>
- Yanwei, Z., Gengyu, W., Fangzhi, G., Chen, X., Shedong, R., & Zhiwei, X. (2019). Optimal coordination path selecting method for conduction transformation based on floyd algorithm. *Procedia computer science*, 162, 227-234. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.279>
- Yumuşak, R., (2020). Hidroelektrik santrallarda bakım strateji seçimi. Yüksek lisans tezi, *Kırıkkale üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*.
- Zuo, X. F., & Shen, W. (2017). Improved algorithm about multi-shortest path problem based on floyd algorithm. *Computer science*, 44(5), 120-124. Doi: <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2017.05.041>