



Journal of Turkish Operations Management

Toplu ulaşım sistemlerinde çok amaçlı şoför çizelgeleme problemi: Kırşehir ili örneği

Emre Yazıcı¹, Koray Akkaş², Sefa Mergen³, Ahmet Burak Koç⁴, Hacı Mehmet Alakaş^{5*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: emreyazici92@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-3661-2119>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: kry_1228@hotmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8941-467X>

³Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: smergen95@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-1238-8319>

⁴Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: ahmetburakkoc0695@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9515-7382>

^{5*}Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

e-mail: hmalagas@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-9874-7588>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 10.06.2021
Revize: 27.08.2021
Kabul: 09.10.2021

Anahtar Kelimeler:

Ulaşım Planlama,
Personel Çizelgeleme,
Şoför Çizelgeleme,
Hedef Programlama

Özet

Son zamanlarda hızla artan nüfus ile şehir içi seyahat eden yolcu sayısı her geçen gün artmaktadır. Şehir içi seyahatte en çok kullanılan ulaşım araçları ise genellikle otobüslerdir. Şehir içi ulaşımında yolcuların memnuniyetinin sağlanması ve verimliliğinin optimal olması için yöneticiler tarafından planlamaların etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, Kırşehir toplu taşıma operasyonlarının araç ve sürücü çizelgeleme aşamaları ele alınmıştır. İşletme verimliliğinin artması ve personellerin adil bir şekilde çalışma ortamına sahip olmaları için hedef programlama yöntemi kullanılarak çizelgeleme yapılmıştır. Önerilen model ile şoförlerin aylık sefer sayılarının dengelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen çözüm ile şoförlerin sefer sayıları belirlenerek bir aylık çalışma planı oluşturulmuştur. Bu plan doğrultusunda şoförlerin çalışacağı günler ve hatlar belirlenerek verimli bir çalışma düzeni sağlanmıştır.

Multi-objective driver scheduling problem in public transportation: a case study in Kırşehir

Article Info

Article History:

Received: 10.06.2021
Revised: 27.08.2021
Accepted: 09.10.2021

Keywords:

Transportation Planning,
Staff Scheduling,
Driver Scheduling,
Goal Programming

Abstract

The number of passengers traveling in the city is increasing day by day with the rapidly increasing population. The most used transportation type in the city is buses. To ensure the public's satisfaction in urban transportation and to ensure the efficiency of the enterprise to be optimal, it is necessary to make proper pre-planning by the management. In this article, the vehicle and driver scheduling stages of Kırşehir public transportation operations are discussed. In order to increase operational efficiency and ensure that the personnel have a fair working environment, scheduling has been made using the goal programming method. With the proposed model, it is aimed to balance the monthly trip numbers of the drivers. With the solution obtained, a monthly work plan was created by determining the number of trips of the drivers. In line with this plan, the days and lines for the drivers to work were determined an efficient working order was ensured.

1. Giriş

Nüfus artışı ve kırsal kesimden şehir içi bölgelere nüfusun kayması ulaşımda yaşanan problemlerin temel kaynağıdır. Şehir içinde nüfus artışı ile birlikte bireysel araç kullanımının artması, ulaşım sorunlarının da artmasına dolayısıyla ulaşım problemlerinin monoton bir şekilde artan bir grafik çizmesine neden olmuştur. Problemlerin başında trafik tıkanıklığı, ulaşımda geçen uzun süreler ve bu sürelerle dayalı zamanın verimsiz kullanımı gelmektedir. Ulaşımda yaşanan problemlerin çözüm noktalarından birisi de bireysel araç kullanımının azaltılarak toplu ulaşım araçlarına tercihinin artırılmasıdır.

Toplu ulaşım araçlarının tercihinde yaşanacak bir artış, ulaşımda planlamanın ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Toplu ulaşımı kullanan bireylerin ulaşım süreçlerinde herhangi bir problem yaşamadan bu hizmetten faydalanmaları gerekmektedir. Bu hizmetin sağlanabilmesi için ulaşım faaliyetlerinde görev alan bireylerin ve ulaşım ile ilişkili zamanlamaların etkin bir şekilde planlanması önem arz etmektedir. Literatürde ulaşım ile ilgili bu tarz planlamaları elen alan çalışmalar, ekip çizelgeleme bir diğer ifade ile şoför çizelgeleme olarak adlandırıldığı gibi ulaşımda personel çizelgeleme problemi olarak da bilinmektedir.

Ulaşım faaliyetinde görev yapan şoförlerin çizelgelenmesi, toplu taşımada en önemli operasyonel planlama süreçlerinden birisidir. Hizmet veren şoförlerin çalışma düzenlerinin etkin ve verimli planlanması, ulaşımın kesintisiz bir şekilde sürdürülmesi için önem arz etmektedir. Şoförler, her türlü iklim şartlarında ve coğrafi koşullar da ilgili üst yöneticiler tarafından hazırlanan hat planına uyarak çalışmaktadır. Bu plan doğrultusunda sabit saatlerde çalışılabileceği gibi vardiyalı bir sistemde de çalışma söz konusu olabilir. Uzun saatler araç kullanan ve kısıtlı bir çalışma alanında faaliyet gösteren şoförlerin performanslarının olumsuz yönde etkilenmemesi için uygun çalışma düzeni sağlanmalıdır. Çalışma planının verimli olmaması halinde olumsuz şartlar, toplu ulaşımda görev alan şoförlerin iş verimliliklerinde ve işe odaklanmalarında düşüş yaşamalarına ve buna bağlı olarak da kaza yapmalarına neden olabilir. Uzun çalışma saatlerine bağlı olarak artan stres, düzensiz çalışma ortamları ve uygun olmayan fiziki koşulların neden olduğu sağlık problemlerinin önlenmesi ve toplam iş yüklerinin eşit seviyelere getirilmesi için çizelgeleme yöntemi kullanılarak uygun bir çalışma düzeninin oluşturulması sağlanmalıdır. Bu bağlamda çizelgeleme yöntemi ile çalışan personelin ihtiyaç ve tercihlerini göz ardı etmeden bir model kurularak hem çalışan personelin hem de ilgili işletmenin planlı ve sistemli bir çalışma düzeni oluşturması sağlanmaktadır (Özder, Varlı ve Eren, 2017).

Bu çalışmada Orta Anadolu illerinden birisi olan ve 2013 yılından bu yana nüfusu her yıl artış gösteren Kırşehir ilinde şehir içi otobüs hatları ve bu hatlarda çalışan şoförler için çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Toplu ulaşımda çalışan şoförler için adil ve eşit çalışmalarını sağlamak amacıyla bir hedef programla modeli geliştirilmiştir. Bu model ILOG CPLEX kullanılarak oluşturulmuş ve şoförler için optimal çizelgeleme hazırlanmıştır. Çalışmamızın ilk bölümünde ulaşım planlama ve şoför çizelgelemenin öneminden bahsedilmiş, ikinci bölümünde ise literatürdeki toplu ulaşım sistemlerinin çizelgelenmesine yönelik çalışmalarına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde toplu taşımacılığın öneminden ve projeye konu olan şehirden kısaca bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntem hakkında bilgiler yer almaktadır. Beşinci bölümde uygulamaya yönelik olarak problemin tanımı ve problem çözümüne ilişkin önerilen matematiksel model ve sonuçlar yer almaktadır. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmaktadır.

2. Literatür Taraması

Literatürde çizelgeleme ve atama problemlerinin sağlık, eğitim ve üretim gibi birçok sektörde incelendiği görülmektedir. Ulaşım sektörü de çizelgeleme probleminin incelendiği sektörlerin başında yer almaktadır. Ulaşım problemlerinde çizelgeleme çalışmalarının araç çizelgeleme, şoför çizelgeleme ve araç ve şoför çizelgeleme gibi farklı amaçlar için gerçekleştirildiği incelenen literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır. Bu kapsamda incelenen literatür çalışmalarında problemin çözümünde tam sayılı programlama, hedef programlama, tabu arama ve genetik algoritma gibi kesin ve sezgisel yöntemleri barındıran farklı çözüm yöntemlerinin uygulandığı da görülmektedir. İncelenen bu çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

İncelenen literatür ışığında şoför çizelgeleme problemi için sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Lourenço, Paixao ve Portugal (2001), sezgisel yöntemlerden genetik algoritma ve tabu arama yöntemi ile Goel (2009) ise kamusal otoriteler tarafından önerilen düzenlemeleri dikkate alarak büyük şehir arama algoritması ile probleme çözüm önerisi sunmuştur. Perumal, Larsen, Lusby, Riis ve Christensen (2020) ise sütun oluşturma sezgisel yöntemini kullanmıştır. Alakaş ve Yazıcı (2021), bir üniversite kampüs hattında çalışan araçların çizelgelenmesi problemini hedef programlama yöntemi ile gerçekleştirmiştir. İncelenen çalışmaların bir kısmında araç ve şoför çizelgeleme probleminin birlikte optimize edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda Mesquita Pias ve Respicio (2009), araç ve şoför çizelgeleme probleminin çözümü için sezgisel yöntemler ve doğrusal programlama yöntemlerini kullanmıştır. Öztop (2016) toplu ulaşımda maliyetleri azaltmak için araç ve şoför sayılarını optimize etmeye yönelik olarak tam sayılı programlama yöntemi ile bir gerçek hayat problemine çözüm önerisi sunmuştur. Liu, Ceder ve Chewdhury (2017), tam sayılı programlama

yöntemi ile toplu taşıma araçlarının hareket ve varış zamanlarını optimize etmek için bir matematiksel model sunmuştur. Benzer bir problem için ise Fonseca, Hurk, Roberti ve Larsen (2018), karma tam sayılı bir model geliştirmiştir. Kıran (2012), şoför-hat-zaman çizelgeleme problemini gidiş ve dönüş güzergahlarını dikkate alarak çözmek için arı kolonisi yöntemini kullanmıştır. Zhao, Lu, Sun ve Hu (2020), şoför dinlenme sürelerini dikkate alarak araç ve şoför sayılarını optimize etmek için dinamik programlama algoritmalarını tabu arama yöntemi ile kombine ederek problemi çözmüştür. İncelenen literatür çalışmalarında toplu ulaşım faaliyetine yönelik olarak çeşitli amaçlar için sezgisel ve optimal çözüm yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir.

Ulaşım çizelgelemeye yönelik olarak incelenen çalışmaların yalnızca karayolu ulaşımı ile ilgili olmadığı aynı zamanda hava ve demiryolunda da benzer çalışmaların yer aldığı görülmektedir. Havayolu ulaşımına ilişkin olarak Orhan, Kapanoğlu ve Karakoç (2010), uçuş planlanması ve çizelgelenmesini incelemiştir. Orhan, Kapanoğlu ve Karakoç (2012), diğer bir çalışmada ise rotalama ve bakım çizelgeleme problemi için bir hedef programlama modeli geliştirmiştir. Demiryolunda Gültekin ve Eren (2014), tam sayılı programlama ile trenlerin hareket saatlerinin gecikmesini minimize etmeyi, Gencer ve Eren (2016) metro hatlarında çizelgeleme problemini talep tahminleri yaparak incelemeyi amaçlayan bir çalışma ortaya çıkarmıştır. Gencer, Alakaş, Eren ve Hamurcu (2018), bir diğer çalışmada hareket saatlerinin çizelgeleme problemi için uzman sistemler ile bir karar destek sistemi önerisinde bulunmuştur. Erpik (2019) ise metrobüs hatlarında araç sayılarını ve bekleme optimizasyonu için genetik algoritma yöntemini kullanmıştır. Ayrıca özellikle son zamanlarda çevreci ulaşım politikalarını dikkate alarak elektrikli araçların kullanımını dikkate alan çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Elektrikli otobüslerin çizelgeleme problemi için Wen, Linde, Ropka, Mirchandani ve Larsen (2016), sezgisel ve kesin çözüm yöntemi, Ji, Bie ve Shen (2020), genetik algoritma yöntemi ve Yao, Liu, Lu ve Yang (2020) ise geliştirdiği bir sezgisel yöntem ile çözüm sunmuştur.

Personel çizelgeleme problemi için hedef programlama yöntemi literatürde araştırmacılar tarafından yoğun ilgi gören bir yöntemdir. Güvenlik sektöründe vardiya çizelgeleme (Demirel, Yelek, Alağaç ve Eren 2018), hastanelerde hemşire çizelgeleme (Varlı ve Eren, 2017a), hizmet sistemlerine yönelik olarak organizasyon personellerinin çizelgelenmesi (Cürebal, Koçtepe ve Eren 2020b, 2020a) ve temizlik personeli çizelgeleme (Özder ve diğ. 2017) gibi çeşitli sektörlerde hedef programlama yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca hedef programlama yöntemi bakım planlama (Özcan, Gür ve Eren, 2021) ve ulaşım alternatif araç seçimi (Hamurcu ve Eren, 2018) gibi sektörlerde de avantajları dikkate alınarak kullanılan yöntemlerden birisidir. İncelenen literatür taraması Tablo 1’de özetlenmektedir.

Hedef programlama yönteminde, belirlenen hedeflerin modele kısıtlar halinde dahil edilerek bu hedeflerden sapmaların minimize edilmesini amaçlayan modelleme yapısı dikkate alındığında, toplu ulaşım çalışmaları için bu yöntemin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Zira ele alınan çalışmada amaç personellerin çalışma düzenini tatmin ederek, ulaşımındaki ihtiyaçları karşılayacak bir planlamanın yapılmasıdır. Bu yönüyle hem personellerin istek ve arzularını hem de ulaşım için gerekli kısıtları dikkate alarak oluşturulacak hedeflerin kısıtlara dahil edilerek problemin bir hedef programlama yöntemi ile modellenmesi çözüm açısından daha etkin sonuç vermesini sağlayacaktır. Bu yönüyle ele alınan problem için hedef programlama yöntemi ile çözüm sunulması yöntemin probleme uygunluğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Literatür Özeti

Yazar (Yıl)	Yöntemler			Ulaşım Sistemi		Çizelgeleme Problemi		
	OY	SY	Diğer	Karayolu	Diğer	Araç	Şoför	Diğer
Lourenço vd. (2001)		✓		✓			✓	
Goel (2009)		✓		✓		✓		
Mesquita vd. (2009)	✓	✓			✓	✓	✓	
Orhan vd. (2010)			✓		✓	✓	✓	

Orhan vd. (2012)	✓			✓	✓	
Kıran (2012)		✓		✓		✓
Gültekin ve Eren (2014)	✓			✓	✓	
Gencer ve Eren (2016)			✓	✓		✓
Öztop (2016)		✓		✓	✓	✓
Wen vd. (2016)	✓	✓		✓	✓	
Liu vd. (2017)	✓			✓	✓	✓
Fonseca vd. (2018)	✓	✓		✓	✓	✓
Gencer vd. (2018)			✓	✓		✓
Erpik (2019)			✓	✓	✓	
Ji vd. (2020)		✓		✓	✓	
Perumal vd. (2020)		✓		✓	✓	
Yao vd. (2020)		✓		✓	✓	
Zhao vd.(2020)	✓	✓		✓	✓	✓
Alakaş ve Yazıcı (2021)	✓			✓	✓	✓

Kısaltmalar: OY: Optimal Yöntemler SY: Sezgisel Yöntemler

3. Hedef Programlama Yöntemi

Hedef programlama çok kriterli karar verme modellerinin bir türüdür. Modeli oluşturulurken olmazsa olmaz kısıtlara ek olarak hedeflenen kısıtlara gevşek değişkenler eklenerek modelin kısıtları yazılır. Buradaki amaç oluşturulan hedef kısıtlarındaki gevşek değişkenlerin minimize edilmesi işlemidir. Diğer modellemelerde tek bir amaç fonksiyonu kullanılırken hedef programlama ile oluşturulan modellerde birden çok amaç aynı anda veya sırasıyla kullanılır. Yani hedef programlama birden fazla amacı birer kısıt haline dönüştürerek kısıtların önem derecelerine göre sıralayarak veya her birini ağırlıklandırarak bu kısıtların sapmalarını amaç fonksiyonunda en küçükleme ile hedefe ulaşılmasını sağlar (Varlı ve Eren, 2017b).

Hedef programlama modeli direkt olarak hedefleri optimize etmek yerine hedefler ve sonuçlar arasındaki sapmaları en aza indirmek, zıt amaçları yönetmek için kullanılır. Özellikle de personel çizelgeleme gibi karmaşık ve içinde birçok amaç bulunan problemlerin çözümünde doğrusal programlama yetersiz kalmaktadır. Probleme karmaşık hedefler dâhil olduğu zaman, problemin çözümünde doğrusal programlama yöntemi yetersiz kalmaktadır. Bu noktadan itibaren karar problemlerini çözmeye Hedef Programlama Yönteminden yararlanılmaya başlanır (Gülenç ve Karabulut, 2005). Bu nedenle personel çizelgeleme problemi gibi birden çok amacın var olduğu problemlerde çözüm için hedef programlama tercih edilmektedir.

Hedef programlama, ergonomik personel çizelgeleme (Alakaş, Pınarbaşı, Sönmez ve Yüksel, 2020; Kaçmaz, Alakaş, ve Eren, 2020), işgücü planlaması (Özcan, Varlı ve Eren, 2017), üretim planlaması (Gülenç ve Karabulut, 2005), akademik personel çizelgeleme (Varlı, Alağaç, Eren ve Özder, 2017), ulaşım alternatiflerinin seçimi (Hamurcu ve Eren, 2018) ve kuruluş yeri seçimi (Derse, 2018) gibi birçok alanda problem çözümü için etkin bir biçimde kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel modelleme yöntemleri içinde zıt/karşıt hedefleri amaç fonksiyonuna dâhil edebilmesi nedeniyle tercih edilen hedef programlama modeli üç ana unsurdan oluşmaktadır. Bunlar; amaç fonksiyonu, kısıt denklemleri ve negatif olmama koşuludur. Hedef programlamanın matematiksel gösterimi ise denklem 1-3'teki gibidir;

Parametreler ve karar değişkenleri:

x_j : j. karar değişkeni

a_{ij} : i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı

b_i : i. Hedef için ulaşılmak istenen değer

d_i^+ : i. Hedefin pozitif sapma değeri

d_i^- : i. hedefin negatif sapma değeri

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^k (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (2)$$

$$d_i^+ + d_i^- = 0 \quad (3)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i=1 \dots k \quad j=1 \dots n$$

4. Kırşehir İli Şehir İçi Ulaşım Çizelgeleme Problemi İçin Hedef Programlama Modeli

Bu çalışmada şehir içi ulaşımda şoför çizelgeleme problemi Kırşehir ili özelinde incelemektedir. Çalışmanın amacı, Kırşehir ili şehir içi otobüs hatlarında çalışan şoförlerin hat ve vardiyalara atanmalarında adil ve eşit bir çizelgeleme oluşturmaktır. Bu doğrultuda belirlenen hedefler, hedef programlama yöntemiyle modellenerek problemin çözümüne ilişkin bir model geliştirilmiştir.

Ele alınan probleme özgü edinilen bilgiler ve talepler şu şekilde özetlenmektedir. Şoförlerin çalışma süresi gün içindeki mesai ve vardiya saatini aşmamalı, aşacağı zaman ise sürücü dinlendirilmeden tekrar mesaiye başlamamalıdır. Bu kısıtlara uyulması aynı zamanda yolcu talebini karşılayacak en az sefer-şoför ile yürütülmesini de gerektirir. İdareciler tarafından kadın personelin geç saatlerde mesaiye kalmaması istenmektedir. Bu bağlamda kadın personel sadece gün içerisinde gündüz vardiyasında çalışmalıdır. Otobüslerde biri kadın olmak üzere toplamda 52 şoför hizmet vermektedir. Toplamda 11 hat bulunmakta ve bu hatlarda 21 araç çalışmaktadır. Ayrıca şoförler iki vardiya halinde hizmet vermektedir. Ulaşım planlama biriminin yöneticilerinin, şoförlerin altı gün çalıştıktan sonra bir gün izin kullanmalarını, kadın şoförlerin akşam (2. vardiya) vardiyalarına atanmamasını ve hangi şoförün hangi araçla hangi vardiyada çalışacağı sorularına yanıt bulunmasını hedeflemektedir. Probleme ilişkin elde edilen veriler Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 2. Problemin verileri

Hat Numaraları	Hat İsimleri	Otobüs Sayıları (Adet)	Şoför Sayısı	Sefer Sayıları (Adet)	Çalışma Saatleri
1 Nolu Hat	Otogar-Hastaneler-Meydan-Kültür Merkezi-Bağ başı Üniversite	6	12	85	06:15/23:30
2a Nolu Hat	Petlas-Göhlhisar-Kümnet Altı-Meydan	2	4	28	06:45/22:30
2b Nolu Hat	Ökse-Değirmendere-Kından-Kından Toki-Meydan	1	2	27	06:30/20:30
3 Nolu Hat	Güvercinlik-Hızırağa-Ortayol-Meydan	2	4	27	06:30/21:00
4a Nolu Hat	Nasuh dede-Şirin evler-Meytaş-Fen Lisesi-Meydan	1	2	15	07:00/21:00
4b Nolu Hat	Çukur çayır-Fen Lisesi-Hilla-Meydan	1	2	15	06:45/21:00
5 Nolu Hat	Güneykent-Pomem-Güneykent Toki-Meydan	2	4	28	06:30/22:30
6 Nolu Hat	Bağbaşı-Okullar Bölgesi-Meydan	1	2	15	06:45/21:00
7a Nolu Hat	Çatı Yapı-Anadolu Mahallesi-Meydan	2	4	28	07:00/22:00
7b Nolu Hat	Cacabey Ortaokulu-Türbe-Ispallaz Hastane-Kervansaray-Cumartesi pazarı	1	2	15	06:30/21:30
8 Nolu Hat	Selgah-Bahçelievler-Basın Anıtı-Meydan	2	4	28	06:15/21:15
Toplam	11	21	42	311	

Tablo 2’de sunulan verilen ışığında problemin çözümü için oluşturulan hedef programlama modeli aşağıda yer almaktadır. Problemin çözümünde 7126 kısıt ve 36245 karar değişkeni modelde yer almıştır.

Hedef programlama modeli:

Parametreler:

n:şoför sayısı, n=52 (i=1 kadın şoförü ifade etmektedir)

m:gün sayısı, m=30 (j=1 pazartesi gününü ifade etmektedir)

p:hat sayısı, $p=11$

t:vardiya sayısı, $t= 2$

T_k : k. hatta ihtiyaç duyulan şoför sayısı

W_{kl} : k. hattın l. vardiyasındaki sefer sayısı

İndisler:

i:şoför $1, \dots, n$

j:gün $1, \dots, m$

k:hat $1, \dots, p$

l:vardiya $1, \dots, t$

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijkl} = \begin{cases} 1; & \text{i. şoför j. günde k. hatta l. vardiyaya atanırsa} \\ 0; & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. şoför j. günde izinli ise} \\ 0, & \text{diğer durumda çalışır} \end{cases}$$

V: Herhangi bir şoföre atanan aylık en yüksek sefer sayısı

Sapma Değişkenleri:

d_{1i}^+ :Gündüz vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının pozitif sapma değeri

d_{1i}^- : Gündüz vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının negatif sapma değeri

d_{2i}^+ :Akşam vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının pozitif sapma değeri

d_{2i}^- : Akşam vardiyası için i. şoförün atandığı toplam vardiya sayısının negatif sapma değeri

d_{3i}^+ : i. şoförün hafta sonu için atanmasının pozitif sapma değeri

d_{3i}^- : i. şoförün hafta sonu için atanmasının negatif sapma değeri

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Minimize } V + \sum_{i=1}^{52} (d_{1i}^+ + d_{1i}^- + d_{2i}^+ + d_{2i}^- + d_{3i}^+ + d_{3i}^-) \quad (4)$$

Kısıtlar:

1. *Kısıt:* Günlük tüm hatlarda ihtiyaç duyulan şoför sayısı

$$\sum_{i=1}^{52} X_{ijkl} = T_k \quad j= 1, \dots, 30, k=1, \dots, 11, l= 1, 2 \quad (5)$$

2. *Kısıt:* Şoför izinliyse o gün çalışmamasını sağlar

$$\sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^t X_{ijkl} \leq 1 - h_{ij} \quad i=1, \dots, 52, j= 1, \dots, 30, l= 1, 2 \quad (6)$$

3. *Kısıt:* Herhangi bir şoförün altı günden fazla art arda çalışmamasını sağlar.

$$h_j + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1 \quad j=1, \dots, 24 \forall i \quad (7)$$

4. *Kısıt:* Her şoför aynı gün içerisinde sadece tek vardiyada çalışılacak

$$\sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^t X_{ijkl} \leq 1 \quad i=1, \dots, 52 \quad j= 1, \dots, 30 \quad (8)$$

5. *Kısıt:* Eğer şoför j. gün 2. Vardiyada çalıştıysa j+1. gün 1. vardiyada çalışamaz

$$\sum_{k=1}^p X_{ijk2} + X_{i(j+1)k1} \leq 1 \quad i=1, \dots, 52 \quad j=1, \dots, 29 \quad (9)$$

6. *Kısıt*: Kadın şoför için 2. Vardiyada çalışmama kısıtı

$$\sum_{j=1}^{30} X_{1jk2} = 0 \quad k=1,2,6,7,8,9,11 \quad (10)$$

Hedef kısıtı 1: Her bir şoförün aylık atandığı gündüz vardiyası toplam sayısı mümkün olduğunca eşit olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p X_{ijk1} + d_{1i}^- - d_{1i}^+ = 13 \quad i=1, \dots, 52 \quad (11)$$

Hedef kısıtı 2: Her bir şoförün aylık atandığı akşam vardiyası toplam sayısı mümkün olduğunca eşit olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p X_{ijk2} + d_{2i}^- - d_{2i}^+ = 13 \quad i=1, \dots, 52 \quad (12)$$

Hedef kısıtı 3: Bu hedefle her bir şoförün aylık çalışma planında yaptıkları seferlerin sayıları birbirine eşit olmalı

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^t W_{kl} * X_{ijkl} \leq V \quad i=1, \dots, 52 \quad (13)$$

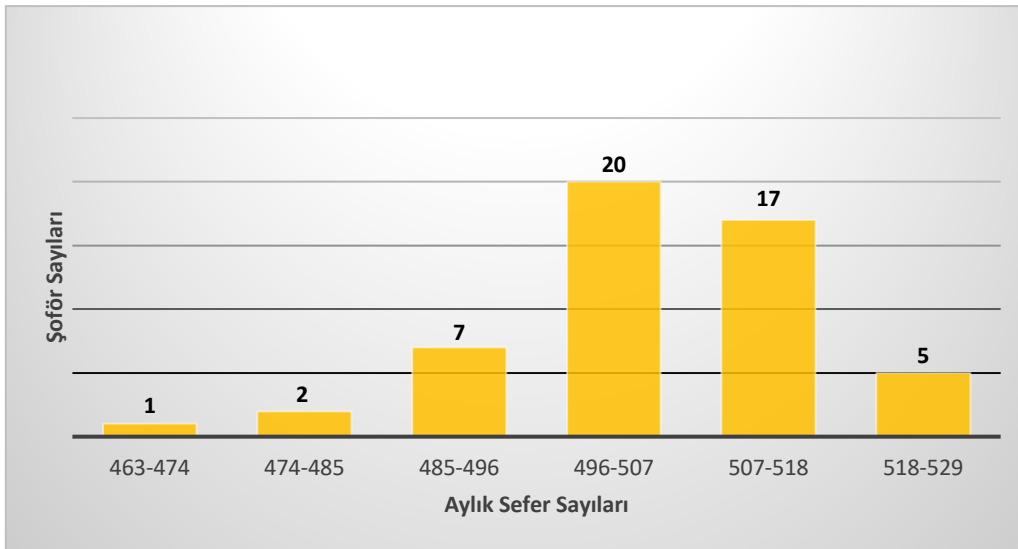
Hedef kısıtı 4: Bu hedefle her bir şoförün hafta sonu atamaları mümkün oldukça birbirine eşit olmalı (j=1 Pazartesi)

$$\sum_{l=1}^2 \sum_{k=1}^{11} (X_{i6kl} + X_{i7kl} + X_{i13kl} + X_{i14kl} + X_{i20kl} + X_{i21kl} + X_{i27kl} + X_{i28kl}) + d_{3i}^- - d_{3i}^+ = 6 \quad i=1, \dots, 52 \quad (14)$$

5.3. Bulgular

Modelin çözümünde Intel (R) Core (TM) i7 5500u CPU@ 2.40 GHz işlemcisi 16 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayardan yararlanılmıştır. Elde edilen veriler ILOG CPLEX Studio IDE programda yazılmış olup CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Yapılan çizelgeleme, 30 günlük bir şoför çalışmasını içermektedir. İş yerindeki kadın şoförün çalışma şartları, şoför sayısı, vardiya sistemi, hat farklılıkları ve izin durumlarına bakıldığı zaman el ile adil bir çizelgeleme yapmanın mümkün olmadığı bir kez daha ortaya çıkmıştır. Hazırlanan matematiksel model sayesinde elde edilen sonuçların, tüm kısıt ve hedefleri kapsadığı, eşit ve adil bir şekilde çizelgelendiği görülmektedir.

Şoförlerin aylık yaptığı sefer sayıları (V) Şekil 1’de grafik ile özetlenmektedir. Yatay ekseninde sefer sayıları dikey ekseninde şoför sayıları yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre bir ay içerisinde en az görev alan şoför 463 sefer en fazla ise 521 seferde görev almıştır. Sefer sayılarının ortalaması 504,80 standart sapması ise 12’dir. Şekil 1’e bakıldığında şoförlerin aylık sefer sayılarının belli bir bölgede toplandığı görülmektedir. Bu da şoförler arasında aylık sefer sayılarının dengeli dağılımını ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Şoförlerin aylık sefer sayıları

Tablo 3’de hedef programlama modelinin çözümü neticesinde sapma değişkenlerinin aldığı değerler gösterilmektedir. 1. hedef, tüm çalışanların gündüz vardiyasında eşit sayıda çalışmasının sağlanmasına yönelik bir hedeftir. Bu hedefte pozitif yönde sapmanın 0 olduğu ve negatif yönde sapmanın toplam 52 şoför için 46 olduğu görülmektedir. Şoför sayısına oranlandığında ise bu oranının birden küçük bir orana sahip olduğu görülmektedir. 2. hedef kısıtım ifade eden akşam vardiyasında eşit sayıda çalışma kısıtı için aynı sonuçlar elde edilmiştir. 4.

hedef her bir şoförün hafta sonu atamalarının mümkün oldukça birbirine eşit olmasını amaçlayan bir hedeftir. Bu hedefin sapma değişkenlerine bakıldığında ise negatif sapma değerinin sıfır, pozitif sapma değerinin ise 24 olduğu görülmektedir. İncelenen bu problem için belirlenen hedefler doğrultusunda elde edilen optimal sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'te özetlenmektedir. Bu sapma değerleri ilgili yöneticiler ile birlikte değerlendirildiğinde sonuçların kabul edilebilir seviyede olduğu ifade edilmiştir. Zira sapma değişkenleri şoför sayısına oranlandığında birden küçük bir değer olduğu görülmektedir.

Hedef programla modelinin çözümü neticesinde Tablo 4'te hangi şoförün hangi hat hangi vardiyada çalışacağı sonuçları 52x30 boyutunda bir matris ile gösterilmiştir. Tablo 4'te satırlarda şoförler sütunlarda ise günlere yer verilmiştir. Matrisin elemanları ile i. şoförün j. günde hangi hat hangi vardiyada çalıştığı verilmiştir. 1. Şoför (kadın) için Tablo 4'ü inceleyecek olursak 1. şoför 2, 10, 13, 14, 16, 17, 21, 23 ve 24. günlerde sırasıyla 1. hatta 1. vardiyada çalışacağı, 25.günde 2.hat 1.vardiya, 20.günde 5.hat 1.vardiyada, 7.günde 9.hat 1.vardiyada ve 27.günde 10.hat 1.vardiyada çalışacağı görülmektedir. Kadın şoför hariç geri kalan 51 şoföre bakıldığı zaman her biri 30 günlük periyotta ortalama 6 gün tatil yapmaktadır.

Tablo 3. Sapma değişkenlerinin aldığı çözüm değerleri

Şoförler	Hedef Değişkenleri						Her şoförün aylık yaptığı sefer sayısı (Vi)
	D1 Artı	D1 Eksi	D2 Artı	D2 Eksi	D3 Artı	D3 Eksi	
1	0	0	0	13	0	0	508
2	0	2	0	0	1	0	518
3	0	0	0	1	0	0	497
4	0	1	0	0	0	0	487
5	0	2	0	0	0	0	518
6	0	1	0	0	0	0	501
7	0	3	0	0	0	0	505
8	0	1	0	1	1	0	463
9	0	1	0	1	0	0	499
10	0	1	0	0	0	0	504
11	0	1	0	1	1	0	497
12	0	0	0	1	2	0	521
13	0	0	0	3	0	0	493
14	0	2	0	0	0	0	506
15	0	1	0	0	1	0	509
16	0	2	0	0	0	0	490
17	0	1	0	0	0	0	511
18	0	1	0	0	0	0	518
19	0	0	0	2	0	0	519
20	0	0	0	2	1	0	507

21	0	1	0	1	2	0	480
22	0	1	0	1	0	0	500
23	0	1	0	0	2	0	505
24	0	1	0	0	0	0	517
25	0	0	0	0	2	0	519
26	0	2	0	0	0	0	506
27	0	2	0	1	0	0	521
28	0	0	0	1	2	0	493
29	0	0	0	0	0	0	481
30	0	2	0	0	2	0	503
31	0	1	0	0	0	0	506
32	0	1	0	0	0	0	502
33	0	1	0	0	0	0	505
34	0	2	0	0	0	0	511
35	0	1	0	0	0	0	498
36	0	1	0	0	0	0	516
37	0	1	0	0	0	0	512
38	0	1	0	0	2	0	514
39	0	0	0	3	0	0	497
40	0	0	0	3	1	0	504
41	0	0	0	1	0	0	504
42	0	0	0	1	0	0	518
43	0	0	0	2	0	0	519
44	0	1	0	1	1	0	494
45	0	1	0	1	2	0	507
46	0	1	0	1	0	0	489
47	0	2	0	0	0	0	491
48	0	0	0	1	0	0	512
49	0	1	0	0	0	0	516
50	0	1	0	0	1	0	514
51	0	0	0	2	0	0	513
52	0	0	0	1	0	0	512
Toplam	0	46	0	46	24	0	26250

gece çalışmalarının dengeli dağılımı sağlanmıştır. Ayrıca aylık toplam sefer sayılarının da dengeli dağılımı sağlanmıştır. Şoförler arasında bir kadın şoför bulunmaktadır. Kadın şoförün gece vardiyasında çalışmaması kısıt halinde modele dahil edilerek geceleri kadın şoförlerin çalışmaması sağlanmıştır. Böylelikle çalışma düzeni daha dengeli olmuştur.

Hedef programlama modelinin çözümü neticesinde her bir şoförün hangi gün hangi hatta ve hangi vardiyada çalışacağı tespit edilmiş ve izin günleri belirlenmiştir. Çalışan personellerin talepleri, vardiya sistemi, hat sayısı ve istisnai durumlar incelenerek hedef programlama yöntemi ile eşit ve adil bir çizelgeleme geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların uygulanması halinde şoförler arasında adaletli bir çalışma düzeninin sağlanacağı ve personel verimliliklerinin artacağı öngörülmektedir. Yapılan bu çalışmada kullanılan matematiksel model, daha sonra yapılacak benzer şehir içi yolcu taşımacılığı planlamaları için bir örnek teşkil etmektedir.

Çalışmada Kırşehir ili için ulaşım verileri elde edilmiştir. Ancak büyükşehirlerde benzer bir problemi çözümü için ulaşım verilerinin bir bütün olarak incelenmesi noktasında bir kısıtlılık olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle büyükşehirlerde ilçelere veya bölgelere ayrılarak veri toplaması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Sonraki çalışmalarda hat uzunlukları ve yolcu sayıları dikkate alınarak bir talep tahmini elde edilmesi ve bu doğrultuda çalışılmasını önerebiliriz. Oluşturulan çizelge daha uzun bir periyod için genişletilebilir ve yeni eklenecek hatlara ya da personeller tarafından yeni isteklere göre model revize edilebilir. Hizmet sektörlerinin içinde bulunduğumuz COVID 19 salgını döneminde bir kez daha ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmış olup bundan sonraki çalışmalarda bu faktör dikkate alınarak yolcu kapasitelerine göre bir düzenleme yapılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Emre Yazıcı, hedef programlama modelinin kurulması, modelin çözümü için kodlama yaparak yöntemin uygulanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması; Koray Akkaş, verilerin toplanması ve hedef programlama modelinin kurulması, Sefa Mergen, konu ve literatür araştırmasının yapılması, Ahmet Burak Koç, problemin çözümüne uygun yöntemlerin araştırılması ve belirlenmesi, Hacı Mehmet Alakaş, bilimsel yayın araştırmasının yeterliliğinin incelenmesi, yöntem ve uygulamanın incelenmesi ve genel makale incelemesi konularında katkı sağlamışlardır.

Destek

Çalışmanın yazarlarından Emre Yazıcı Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) tarafından “YÖK 100/2000 Doktora Bursu” programı ile desteklenmektedir.

Çıkar Çatışması

Bu makalenin yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Alakaş, H. M., Pınarbaşı, M., Sönmez, İ., & Yüksel, A. (2020). Ergonomic personnel-task scheduling problem : A medium voltage insurance. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 433–448. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/59336/851842>

Alakaş, H. M., & Yazıcı, E. (2021). Hedef Programlama ile Toplu Ulaşımında Araç Çizelgeleme Probleminin Çözümü : Kırıkkale Kampüs Hattı Örneği. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(2), 417–427. Doi: <https://doi.org/10.29137/umagd.830236>

Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020a). Organizasyon firması için COVID-19 pandemi döneminde aylık personel atama ve çizelgeleme probleminin çözümü : bir uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 479–493. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/59336/851877>

Cürebal, A., Koçtepe, S., & Eren, T. (2020b). Tanıtım Festivalinde Personel Çizelgeleme Problemi: Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 217–229. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gmbd/issue/58697/807040>

Demirel, B., Yelek, A., Alağaç, H. M., & Eren, T. (2018). ANKARAY Güvenlik Personelinin Vardiya Çizelgeleme Probleminin Hedef Programlama Yöntemi ile Çözümü. *Demiryolu Mühendisliği*, 18(8), 1–17. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/demiryolu/issue/35609/431463>

Derse, O. (2018). Biyogaz Enerji Tesisi için Hedef Programlama ile Yer Seçimi Problemi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(Özel), 121–126. Doi: <https://doi.org/10.19113/sdufbed.67077>

Erpik, Z. (2019). *Hat Çizelgeleme Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı: İETT Örneği*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/308433>

Fonseca, J. P., van der Hurk, E., Roberti, R., & Larsen, A. (2018). A matheuristic for transfer synchronization

- through integrated timetabling and vehicle scheduling. *Transportation Research Part B: Methodological*, 109, 128–149. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.01.012>
- Gençer, M. A., Alakaş, H. M., Eren, T., & Hamurcu, M. (2018). Ankara Metro'su M1 Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi: Bir Karar Destek Sistemi Uygulaması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 108–128. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/39569/469380>
- Gencer, M. A., & Eren, T. (2016). Ankara Metro'su M1 (Kızılay-Batıkent) Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(2), 25–36. Doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.59527>
- Goel, A. (2009). Vehicle scheduling and routing with drivers' working hours. *Transportation Science*, 43(1), 17–26. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1070.0226>
- Gülenç, İ. F., & Karabulut, B. (2005). Doğrusal Hedef Programlama İle Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(55), 55–68. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kosbed/issue/25711/271297>
- Gültekin, N., & Eren, T. (2014). Demiryolu Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi ve Çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 235–242. Doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6707/89390>
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2018). Transportation planning with analytic hierarchy process and goal programming. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(2), 92–97. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iarej/issue/38845/402522>
- Ji, J., Bie, Y., & Shen, B. (2020). Vehicle Scheduling Model for an Electric Bus Line. *Proceedings of 3rd KES-STS International Symposium, Smart Transportation Systems* 185, 29–39. Doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-5270-0_3
- Kaçmaz, S. Ö., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2020). Ergonomic staff scheduling problem with goal programming in glass industry. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(1), 369–377. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/56013/727142>
- Kıran, M. S., & Gündüz, M. (2012). Arı Kolonisi Optimizasyon Algoritması Kullanarak Şoför-Hat-Zaman Çizelgeleme. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 11(2), 59–66. Erişim adresi: <https://sujes.selcuk.edu.tr/sujes/article/view/74>
- Liu, T., Ceder, A. (Avi), & Chowdhury, S. (2017). Integrated public transport timetable synchronization with vehicle scheduling. *Transportmetrica A: Transport Science*, 13(10), 932–954. Doi: <https://doi.org/10.1080/23249935.2017.1353555>
- Lourenço, H. R., Paixao, J. P., & Portugal, R. (2001). Multiobjective Metaheuristics for the Bus-Driver Scheduling Problem. *Transportation Science*, 35(3), 331–342. Doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.35.3.331.10147>
- Mesquita, M., Paiais, A., & Respício, A. (2009). Branching approaches for integrated vehicle and crew scheduling. *Public Trasnp. Journal*, 1(21), 21–37. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12469-008-0005-2>
- Orhan, İ., Kapanoğlu, M., & Karakoç, T. H. (2010). Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 181–191. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20508/218321>
- Orhan, İ., Kapanoğlu, M., & Karakoç, T. H. (2012). Hedef Programlama ile Bütünleşik Uçak Rotalama ve Bakım Çizelgeleme. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(1), 11–26. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6691/88232>
- Özcan, E. C., Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 363–370. Doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.347609>
- Özcan, E., Gür, Ş., & Eren, T. (2021). A Hybrid Model to Optimize the Maintenance Policies in the Hydroelectric Power Plants. *Journal of Polytechnic*, 24(1), 75–86. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.626171>
- Özder, E. H., Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hedef Programlama Yaklaşımı İle Temizlik Personeli Çizelgeleme Problemi İçin Bir Model Önerisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 114–127. Doi: <https://doi.org/10.31466/kfbd.342344>
- Öztop, H. (2016). *Vehicle And Crew Scheduling Problem In Public Transportation*. Yaşar Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

- Perumal, S. S. G., Larsen, J., Lusby, R. M., Riis, M., & Christensen, T. R. L. (2021). A column generation approach for the driver scheduling problem with staff cars. *Public Transport*. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12469-021-00279-9>
- Varlı, E., Alağaç, H. M., Eren, T., & Özder, E. H. (2017). Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 105–118. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bilgesci/issue/32353/341552>
- Varlı, E., & Eren, T. (2017a). Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 34–40. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/273997>
- Varlı, E., & Eren, T. (2017b). Vardiya Çizelgeleme Problemi ve Bir Örnek Uygulama. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(2), 185–197. Doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.309302>
- Wen, M., Linde, E., Ropke, S., Mirchandani, P., & Larsen, A. (2016). An adaptive large neighborhood search heuristic for the Electric Vehicle Scheduling Problem. *Computers and Operations Research*, 76, 73–83. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.06.013>
- Yao, E., Liu, T., Lu, T., & Yang, Y. (2020). Optimization of electric vehicle scheduling with multiple vehicle types in public transport. *Sustainable Cities and Society*, 52. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101862>
- Zhao, X., Lu, J., Sun, H., & Hu, S. (2020). Two-way Vehicle Scheduling Approach in Public Transit Based on Tabu Search and Dynamic Programming Algorithm. *2020 IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering, ICITE 2020*, 498–502. Erişim adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9231516>