



Hedef Programlama ile Toplu Ulaşım Araç Çizelgeleme Probleminin Çözümü: Kırıkkale Kampüs Hattı Örneği

The Solution of Vehicle Scheduling Problem in Public Transport with Goal Programming: Kırıkkale Campus Line Case

Hacı Mehmet Alakaş¹ , Emre Yazıcı¹ 

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71542, Yahşihan, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 23/11/2020

Kabul / Accepted: 16/02/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 16/02/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/06/2021

Öz

Şehirlerde meydana gelen hızlı nüfus artışı ve kentleşme birçok problemi beraberinde getirmiştir. Bu problemlerin başında ulaşım problemi gelmektedir. Bununla birlikte bireysel araç kullanımının artması, trafikte beklemelerin ve gecikmelerin artması gibi birçok problemlere yol açmıştır. Bu problemlerin çözümünde birçok öneri bulunmakla birlikte toplu taşıma araçlarının kullanımı da bu önerilerden birisidir. Bu bağlamda toplu taşıma araçlarının kullanımını özendirici faaliyetler ve planlamalar yapılmaktadır. Toplu taşımada en çok kullanılan araçlar karayolu araçlarıdır. Bu araçların, hatların ve şoförlerin çizelgenmesi ulaşım probleminin çözümünde önemli hususlardandır. Bu çalışmada karayolu toplu taşıma araçlarına yönelik olarak ele alınmıştır. Çalışmada Kırıkkale ilinde faaliyet gösteren kampüs hattı araçlarının çizelgeleme problemi incelenmiştir. Problemin çözümünde hedef programlama ile bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

“Ulaşım planlama, araç çizelgeleme, hedef programlama”

Abstract

Rapid population growth and urbanization in cities have brought many problems. The transportation problem comes first among these problems. However, the increase in individual vehicle use has led to many problems such as increased traffic waiting and delays. Although there are many suggestions to solve these problems, the use of public transport is one of these suggestions. In this context, activities and plans are made to encourage the use of public vehicles. Road vehicles are the most used vehicles in public transportation. Scheduling of these vehicles, lines, and drives is one of the important issues in solving the transportation problem. In this context, in the study, the road was considered for public vehicles. In the study, the scheduling problem of the campus line vehicles operating in Kırıkkale province was examined. In solving the problem, a mathematical model is proposed with goal programming.

Key Words

“Transportation planning, vehicle scheduling, goal programming”

1. Giriş

Günümüzde sağlık, güvenlik ve eğitim gibi birçok faaliyet kesintiye uğramayacak şekilde planlaması ve sürdürülmesi gereken faaliyetlerdir. Kesintiye uğramaması gereken faaliyetlerden birisi de ulaşım faaliyetidir. Dünyanın birçok yerinde nüfusun hızlı artışı, kırsal bölgelerden kentlere göçün artışı nedeniyle kentlerde yapılaşmanın artması ulaşımında problemleri beraberinde getirmiştir. Bununla birlikte bireysel araç kullanımının artması ulaşımında yaşanan problemleri daha karmaşık bir boyuta taşımıştır. Ortaya çıkan problemler ulaşımında toplu taşıma araçlarının kullanımını ve ulaşım planlama faaliyetlerinin önemini artırmıştır.

Dünyada ulaşım planlama faaliyetleri ilk olarak şehir içi ulaşım planları ile 1950'li yıllarda yapılmıştır. Bu yıllarda ABD'de hazırlanan ulaşım planları trafikte darboğaz oluşturan bölgelerdeki problemi çözmeye odaklanmıştır. 1950'li yıllardan bu yana ulaşım planlama süreci çağın getirdiği değişimlere ayak uydurarak çeşitli amaçlara göre düzenlenmiştir. 1950 ve 1960'lı yıllarda yapılan kentsel ulaşım planlaması "klasik model" olarak tanımlanmakta ve bu süreç nazım planı geliştirmek için geleceğe yönelik olarak rasyonel kararların alındığı bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizde ise şehir içi ulaşım planlama faaliyetleri ilk olarak 1960'lı yılların sonu 1970'li yılların öncesinde başlamıştır. 1970 ve 1985 yılları arasında İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyükşehirlerde ulaşım planlama faaliyetleri yapılmıştır. Bu dönemde toplu ulaşım için raylı sistemlere ve diğer ulaşım alternatiflerine yönelik fizibilite çalışmaları ve ulaşım etütleri yapılmıştır. 1985'li yıllardan sonra ise üç büyükşehir dışında Bursa, Eskişehir, Adana, Konya ve Antalya gibi birçok şehir için ulaşım yönelik etüt ve planlar geliştirilmiştir (Özalp & Öcalır, 2008). Şehir içi toplu ulaşım planlamada karayolu, demiryolu ve denizyolu gibi ulaşım alternatifleri ile birlikte yolcu sayısı, şehir trafiği, araç sayısı ve ulaşım ağı gibi unsurlar dikkate alınmıştır. Bu nedenle ulaşım faaliyetinde ortaya çıkan problemin yapısı oldukça karmaşık ve kapsamlı bir hal almaktadır. Ayrıca birçok şehirde alternatifler arasında demiryolu ve denizyolu yer almamaktadır. Bu nedenle de bu şehirlerde planlama faaliyetleri toplu ulaşımında en büyük paya sahip olan karayolu taşıma sistemleri dikkate alınarak yapılmaktadır.

Karayolu taşıma sistemlerinde, otobüs, minibüs ve midibüs tipi araçlar kullanılmaktadır. Bu araçların şehir içi ulaşımında durak sayıları oldukça fazla ve hareket saatlerinin zaman aralığı oldukça kısadır. Aynı zamanda hatta faaliyet gösteren araçların az sayıda olması halinde hat çizelgeleme problemleri çok sık yaşanır bir problem haline gelmektedir. Bu nedenle ulaşımında çizelgeleme yapılırken bir sistematik oluşturulmalıdır. Bu doğrultuda literatürde çizelgeleme probleminin çözümü için optimal ve sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Ulaşım planlamada hatların çizelgelenmesi, hareket zaman çizelgeleme, araç çizelgeleme ve şoför çizelgeleme gibi problemler karşımıza çıkmaktadır. Ulaşımında yaşanan problemlere yönelik çözüm önerilerinden birisi araçların çizelgelenmesidir (Gündoğar & Akıl, 1998). Toplu taşıma sistemlerinde araçların, hatların ve şoförlerin görev çizelgelerini yapmak sistemin verimli çalışmasını sağlamak ve tüm paydaşları memnun etmek oldukça zordur. Özellikle araçların birden fazla güzergahta çalışmasının söz konusu olduğu durumlarda dengeli bir çalışma düzeni sağlamak çizelgelemeyi daha da zorlaştırmaktadır. Sürdürebilir bir çalışma düzeni sağlanamaz ise hem yolcuların hem de hizmet verenlerin memnuniyetsizliği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada Kırıkkale üniversitesi kampüs hattında hizmet veren ve farklı güzergahlarda görev alabilen araçların çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde ulaşım planlama ve çizelgeleme problemleri ile ilgili bilgiler sunulmasının ardından ikinci bölümde literatürde toplu ulaşım sistemlerinin çizelgelenmesine yönelik literatür çalışmalarına yer verilmektedir. Çalışmanın üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan yöntem hakkında bilgiler yer almaktadır. Dördüncü bölümde uygulamaya yönelik olarak problemin tanımı ve problemin çözümüne ilişkin önerilen matematiksel model ve sonuçlar yer almaktadır. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmaktadır.

2. Araç Çizelgeleme Problemi Literatür İncelemesi

Birçok ulaşım firması araçların çizelgelemesini el ile yapmaktadır. Bu şekilde bir çizelgeleme yapmak oldukça zaman alıcıdır ve çizelgelemenin başarısı mühendislerin tecrübesine bağlıdır. Ancak son zamanlarda otobüs hatlarının araç çizelgelemesi otomatik olarak geliştirilmiştir. Bu bağlamda kullanılan yöntemler kesin yöntemler ve sezgisel yöntemler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kesin yöntemler problemin çözümünde optimal sonuçlar bulan yöntemlerdir. Ancak bu tarz problemlerin bazı çeşitleri "NP hard" problem tipi olarak nitelendirildiği için hesaplama zamanları genellikle kabul edilemez düzeydedir (Zuo vd., 2015). Bu nedenle literatürde yer alan çalışmaların bir kısmı kesin yöntemler ile bir kısım çalışma ise sezgisel yöntemler tercih ederek probleme çözüm önerisi sunmaktadır.

Ulaşım faaliyetlerinin planlanmasına yönelik ulaşımında şoför, araç ve hat çizelgeleme problemlerinin incelendiği çalışmalar yer almaktadır. Çalışmaların bir kısmı tek bir amaca yönelik olarak yapılmıştır. Şoför çizelgeleme problemine yönelik olarak Lourenço vd. (2001), toplu ulaşımında şoför çizelgeleme problemini tabu arama ve genetik algoritma yöntemleri ile Goel (2009), şoför çizelgeleme problemini büyük şehir arama algoritması ile çözmüştür. Problemin çözümünde Avrupa Birliği tarafından önerilen düzenlemeleri dikkate almıştır. Perumal vd. (2020), şoför çizelgeleme problemi için sütun oluşturma sezgisel yöntemini kullanmıştır. Şoför çizelgeleme çalışmalarında genel olarak sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Araç çizelgeleme problemlerini ele alan çalışmalarda problemin dinamik yapısını dikkate alan çalışmalar mevcuttur. Huisman, Freling ve Wagelmans (2004), problemin yapısını statik ve dinamik olarak ikiye ayırmış ve dinamik araç çizelgeleme problemi için matematiksel model önerisinde bulunmuştur. Naumann vd. (2011), benzer bir problem için stokastik matematiksel optimizasyon modeli önermiştir. He, Yang, ve Li (2018), Pekin'de bir otobüs hattına yönelik olarak stokastik seyahat süreleri altında araç çizelgeleme problemini dinamik programlama modeli

ile çözmüştür. Shui vd., (2015), kolonal seçim algoritması ile şehir içi otobüs hatlarında araç çizelgeleme probleminin çözümü için, Guedes vd.(2016) ise çok depolu araç çizelgeleme problemi için sezgisel bir yöntem önermiştir. Bazı çalışmalarda ulaşımda hedef yolcu grubu belirlenerek çizelgeleme problemi incelenmiştir. Fügenschuh (2009), öğrencileri dikkate alarak toplu ulaşımda araçların çizelgeleme problemi için tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Kim vd. (2012), ise okul otobüslerinin çizelgeleme problemini dal ve sınır yöntemi ve sezgisel bir yöntem ile çözmüştür.

Bazı çalışmalar ise araç-şoför çizelgeleme, şoför-hat çizelgeleme ve şoför-hat-zaman çizelgeleme gibi birden fazla amaç için probleme çözüm önerisi sunmuştur. Mesquita, Paisas ve Respício (2009), ise şoför çizelgeleme problemini genişleterek probleme araçları da dahil etmiştir. Şoför ve araç çizelgeleme probleminin çözümünde doğrusal programlama ve sezgisel yöntemleri bir arada kullanarak problemin çözümü için üç farklı model önerisinde bulunmuştur. Liu vd. (2017), araçların duraklardan hareket zamanları ile duraklara varışlarının eş zamanlı olmasını sağlamak için ulaşımda zaman ve araç çizelgeleme problemi tam sayılı programlama modeli ile çözülmüştür. Fonseca vd. (2018), zaman çizelgeleme ve araç çizelgeleme probleminin entegre bir şekilde çözümü problemin entegrasyonunda karma tam sayılı bir model geliştirilmiştir ve problemin çözümü için meta sezgisel bir yöntem önermiştir. Kiran ve Gündüz (2012), problemin boyutunu daha da genişleterek ulaşım faaliyetinde hizmet veren bir hat üzerinde belirli güzergâhların gidiş dönüş seferlerine yönelik olarak şoför-hat-zaman çizelgeleme problemini arı kolonisi optimizasyonu ile incelemiştir. Schöbel (2017), ise hat planlama, zaman çizelgeleme ve araç çizelgeleme problemlerini entegre ederek problemi çok amaçlı bir şekilde ele almıştır. Zhao vd. (2020), şoförlerin dinlenme süresi kısıtı altında araç ve şoför sayılarını minimize etmek için tabu arama ve dinamik programlama algoritmalarını entegre ederek problemi çözmüştür. Yapılan çalışmalarda farklı amaçlar doğrultusunda sezgisel ve optimal çözüm yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Özellikle son yıllarda yeşil ulaşım ile birlikte ulaşımda farklı alternatif araçların kullanılmasına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde farklı araç tiplerini dikkate alan çalışmaların olduğu görülmektedir. Hassold ve Ceder (2014), araç çizelgeleme problemini farklı araç tiplerini dikkate alarak incelemiştir. Kapasite açısından üç farklı araç grubuna yönelik olarak pareto yöntemi ile bir çizelgeleme önerisinde bulunmuştur. Wen vd., (2016), tarifeli otobüs yolcularında elektrikli araç çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Belli zamanlarda belli noktalardan harekete eden otobüslerin çizelgeleme probleminin çözümü için adaptif komşu arama sezgiseli ve karma tam sayılı programlama ile çözüm önerisi sunulmuştur. Entegre edilen bu üç problemin çözümü için yarı parametrik model geliştirmiştir. Ji, Bie, ve Shen (2020), şehir içi ulaşımda elektrikli otobüslerin çizelgeleme problemini incelemiştir. Elektrikli otobüslerin batarya durumlarını da dikkate alarak genetik algoritma ile otobüslerin çizelgeleme problemine çözüm önerisi sunmuştur. Yao vd. (2020), ise alternatif elektrikli araçlar arasında elektrik tüketimlerinin ulaşımda sağlayacağı tasarrufları dikkate alarak elektrikli araç çizelgeleme problemi için sezgisel bir algoritma önermiştir. Nagy ve Horváth (2020) ise toplu ulaşımda gelişen teknolojileri dikkate alarak otonom araçların çizelgeleme sistemine etkilerini ve ekonomik katkılarını inceleyen çalışmasını literatüre kazandırmıştır.

Karayolu dışında havayolu ve demiryolu ulaşım sistemlerinde çizelgeleme problemlerini inceleyen çalışmalarda literatürde yer almaktadır. Orhan vd. (2010), havayolu ulaşım sistemlerinde uçuşların planlanması ve çizelgenmesini incelemiştir. Orhan vd. (2012), bir diğer çalışmalarında uçak rotalama ve bakım çizelgeleme problemi için hedef programlama ile bir model önerisinde bulunmuştur. Demiryolunda ise Gültekin ve Eren (2014), tren hareket saatlerindeki gecikmeleri minimize etmek için 16 istasyonlu 6 trenin çalıştığı bir hat için 0-1 tam sayılı programlama modeli ile probleme çözüm önerisi sunulmuştur. Gencer ve Eren (2016), demiryollarında yolculara ilişkin talep tahmini yaparak metro hatlarında zaman çizelgeleme problemini incelemiştir. Erpik (2019), İstanbul'da metrobüs hatlarının yoğun saatlerinde yolcuların bekleme sürelerini ve araç sayısını minimize etmek için hat çizelgeleme problemi için genetik algoritma sezgiseli ile bir çözüm sunmuştur.

Literatürde araç çizelgeleme, otobüs çizelgeleme, zaman çizelgeleme ve toplu ulaşım planlamaya yönelik olarak yapılan araştırmalar neticesinde çalışmamızın kapsamında değerlendirilebilecek çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda ele alınan birçok çalışma vardır. Çalışmaları problemin çözüm yöntemine ve tipine göre sınıflanabilir. Bu çalışma kapsamında incelenen çalışmalar Tablo 1'de özetlenmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde hedef programlama yönteminin bu alanda kullanımının sınırlı olduğu görülmektedir. Hedef programlama yönteminde hedeflerin bir kısıt halinde modele dahil edilerek birden fazla amacı optimize etme avantajı dikkate alınarak hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Literatürde kullanılan yöntemlerden farklı olarak hedef programlama modeli önererek literatüre katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada ise bir aracın birden fazla güzergahta çalışması gerektiği durumda çalışma düzeninin belirlenmesine yönelik bir problem incelenmiştir. Literatürde yer alan benzer çalışmalarda genel olarak araçların çalıştıkları güzergahlar veya hatlar sabittir. Araçlar gün içerisinde aynı güzergahlarda farklı zaman dilimlerinde hizmet vermektedir. Bu çalışmada ele alınan problemde araçların her gün farklı güzergahlarda çalışması söz konusudur. Güzergahların farklı olması halinde belli bir dönemde içerisinde her güzergahta çalışacak araç sayısı ve her aracın güzergahlar çalışacağı gün sayısı farklılık göstermektedir. Bu bağlamda araçların farklı güzergahlarda çalışması nedeniyle her aracın her güzergahta eşit düzeyde çalışması bir hedef olarak belirlenmiştir. Çalışmada hedef programlama yöntemi ile bir model önerisi sunulmuştur.

Tablo 1. Literatür İncelemesi

Yazar (Yıl)	Yöntemler			Ulaşım Sistemi		Çizelgeleme Problemi		
	OY	SY	Diğer	Karayolu	Demiryolu	Araç	Şoför	Diğer
Lourenço vd., (2001)		✓		✓			✓	
Huisman vd. (2004)	✓			✓		✓		
Fügenschuh (2009)	✓			✓		✓		
Goel, (2009)		✓		✓		✓		
Mesquita vd. (2009)	✓	✓				✓	✓	
Orhan vd. (2010)			✓			✓	✓	
Naumann vd., (2011)	✓			✓		✓		
Orhan vd. (2012)	✓					✓		
Kim, Kim, & Park (2012)	✓	✓		✓		✓		
Kıran ve Gündüz (2012)		✓		✓			✓	
Gültekin ve Eren (2014)	✓				✓	✓		
Hassold & Ceder (2014)			✓	✓		✓		
Shui vd., (2015)		✓		✓		✓		
Gencer ve Eren (2016)			✓		✓			✓
Guedes vd., (2016)		✓		✓		✓		
Wen vd., (2016)	✓	✓		✓		✓		
Liu vd., (2017)	✓			✓		✓		✓
Schöbel, (2017)		✓		✓		✓	✓	✓
Fonseca vd., (2018)	✓	✓		✓		✓		✓
He vd. (2018)	✓			✓		✓		
Erpik (2019)	✓			✓		✓		
Ji vd. (2020)		✓		✓		✓		
Nagy ve Horváth (2020)			✓	✓				✓
Perumal vd. (2020)		✓		✓			✓	
Yao vd. (2020)		✓		✓		✓		
Zhao vd.(2020)	✓	✓		✓		✓	✓	

Kısaltmalar: OY: Optimal Yöntemler, SY: Sezgisel Yöntemler

3. Hedef Programlama

Hedef programlama karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan ve bütün özellikleri belirli olan hedeflere yönelik karar vericinin hedeflerine ulaşılmasında hedeften sapmaları minimize etmek için kullanılan analitik bir yöntemdir. Hedef programlama yöntemi optimize edilmek istenen birden fazla ve birbiriyle çelişen hedeflerin amaç fonksiyona dahil edilerek esnek bir modelleme imkanı sunmaktadır (Türkoğlu, 2017). Sapma değişkenleri pozitif sapma ve negatif sapma olarak iki ayrı biçimde ifade edilir (Özder & Eren, 2016). Aynı zamanda hedef programlama aynı birim ile ölçülemeyen değişkenlerin amaç fonksiyonunda yer almasına imkan tanımaktadır. Hedef programlama ulaşım (Hamurcu & Eren, 2018), sağlık (Uslu vd., 2018; Varlı & Eren, 2017), güvenlik (Ünal & Eren, 2016), personel atama (Varlı vd., 2017), vardiya çizelgeleme (Kaçmaz vd., 2019; Özcan vd., 2017), ve tedarikçi seçimi (Özder & Eren, 2016) gibi konularda sıkça kullanılmaktadır.

Hedef programlama yöntemi çok kriterli karar verme yöntemlerindedir (Özcan & Toklu, 2009). Hedef programlama işgücü planlama, ulaşım ve lojistik, çizelgeleme ve üretim faaliyetlerinin planlanması, kaynak planlama ve finansal analiz gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Hedef programlama amaçların ve hedeflerin eş zamanlı olarak gerçekleşmesini sağlar. Yöntem tüm kısıtları sağlamayı ama hedeflere olabildiğince ulaşmayı amaçlamaktadır (Kaçmaz vd., 2020). Hedef programlamanın değişkenleri ve genel gösterimi aşağıdaki gibidir (Özder & Eren, 2016).

Değişkenler:

x_j : j . karar değişkeni

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

s_{ij} : Karar değişkenlerinin kısıt katsayıları

b_i : i . hedef için ulaşılmak istenen değer

c_i : Kısıtların sağ taraf değeri

d_i^+ : i . hedefin pozitif sapma değişkeni

d_i^- : i . hedefin negatif sapma değişkeni

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

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

$$\sum_{j=1}^n s_{ij} x_j \leq c_i \quad i = 1 \dots m, \quad j = 1 \dots n \quad (3)$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad (4)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i = 1 \dots m, \quad j = 1 \dots n \quad (5)$$

4. Uygulama

Bu çalışmada Kırıkkale Üniversitesi kampüs hattında şehir içi yolcu taşımacılığı faaliyetini sunan kampüs hattı araçlarının çizelgelemesi amaçlanmaktadır. Kırıkkale ilinde kampüs hattının yolcu sayısı şehir içindeki toplam yolcu sayısı içerisinde yüksek bir paya sahiptir. Hattın kullanıcıları arasında üniversite öğrencileri yoğunlukta olmakla birlikte hat güzergahında tıp fakültesi hastanesinin yer alması hattaki yolcu sayısını daha da artırmaktadır. Bu durum problemin bu hat üzerinden ele alınmasının başlıca kaynağıdır. Kampüs hattındaki araçların çalışma düzenine ilişkin olarak yaşanan problemler incelenmiştir. Bu kapsamda kampüs hattında toplu taşıma faaliyetini planlayan ilgili taşımacılık birimlerinden hattın çalışma düzenine ilişkin veriler elde edilmiştir. Hatta faaliyet gösteren araç sayısı, araçların çalışacakları güzergahlar, çalışma düzeni ve güzergâh sayısı çizelgeleme probleminin temel girdilerini ifade etmektedir.

4.1. Kabul ve Varsayımlar

Kampüs hattında toplamda 72 adet minibüs tipi araç hizmet vermektedir. Araçların toplamda 5 farklı güzergâh üzerinde çalışması mümkündür. Bu güzergahlar sağlık güzergahı, ring güzergahı gündüz, ring güzergahı akşam, şehir güzergahı gündüz ve şehir güzergahı akşam olarak isimlendirilmektedir. Her güzergahta çalışacak araç sayısı sabittir. Sağlık güzergahında 18, ring güzergahında gündüz 14, ring güzergahında akşam 4, şehir güzergahında gündüz 26 ve şehir güzergahında akşam 10 araç çalışmaktadır. Bu bilgiler Tablo 2’de özetlenmektedir. Modelde araçların çalışma gün sayısı tanımlanırken hafta sonları dahil edilmemiştir. Hafta sonu araçların çalışma düzenleri, ilk 36 araç bir hafta sonu, ikinci 36 araç ikinci hafta sonu çalışacak şekilde sabit olarak planlandığı için modelde araçların çalışma gün sayısı 20 gün olarak tanımlanmıştır. 5 farklı güzergahından ikisi akşamları çalışan araçları ifade etmektedir. Akşamları çalışan araçların bir sonraki günlerde akşam çalışmaması istenmektedir. Ayrıca her i. aracının k. güzergahta çalışacağı gün sayısı çalışmanın hedef kısıtlarını ifade etmektedir. Hedef değerler Eşitlik 6 ile hesaplanmıştır.

Tablo 2. Güzergâh Bilgileri

Güzergah İndisi (k)	Güzergah Adı	Güzergahlarda Çalışacak Araç Sayısı
1	Sağlık güzergahı	18
2	Ring güzergahı (Gündüz)	14
3	Ring güzergahı (Akşam)	4
4	Şehir güzergahı (Gündüz)	26
5	Şehir güzergahı (Akşam)	10

n= Toplam araç sayısı

m= Çalışılacak gün sayısı

a= k. güzergahta ihtiyaç duyulan en az araç sayısı

V_k= Bir aracın k. güzergahta çalışacağı gün sayısı

Eşitlik 6 ile elde edilen sonuç en yakın tam sayıya yuvarlanarak her aracın her güzergahta en az çalışacağı gün sayısı elde edilmiştir. Eşitlik 6’ya göre hesaplanan hedef kısıtları Tablo 3’te özetlenmektedir.

$$V_k = [(n/m)*a] \quad (6)$$

Tablo 3. Hedef Kısıtlarının Hesaplanması

Hedef	Açıklama	Hedef Değeri
V ₁	Her aracın sağlık güzergahında çalışması hedeflenen gün sayısı	5
V ₂	Her aracın ring güzergahında gündüz çalışması hedeflenen gün sayısı	4
V ₃	Her aracın ring güzergahı akşam çalışması hedeflenen gün sayısı	1
V ₄	Her aracın şehir güzergahında gündüz çalışması hedeflenen gün sayısı	7
V ₅	Her aracın şehir güzergahında akşam çalışması hedeflenen gün sayısı	3

Bu veriler ışığında hattı optimize edecek araç çizelgeleme probleminin çözümü için hedef programlama yöntemi ile bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Parametreler:

n = Hatta çalışan araç sayısı	$n=72$	(7)
m =Hattın hizmet verdiği gün sayısı	$m=20$	(8)
t = Araçların çalıştığı güzergah sayısı	$t=5$	(9)
i : Araç indisi	$i=1,2,\dots,n$	(10)
j : Gün indisi	$j=1,2,\dots,m$	(11)
k : Güzergah indisi	$k=1,2,\dots,t$	(12)
h_k = k güzergahında ihtiyaç duyulan araç sayısı		(13)

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1; & i. nci \text{ araç } j. nci \text{ günde } k. nci \text{ güzergaha atanırsa} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} d_1^+ &= \text{Sağlık güzergahında her aracın çalışacağı gün sayısından pozitif yönde sapma} & (15) \\ d_1^- &= \text{Sağlık güzergahında her aracın çalışacağı gün sayısından negatif yönde sapma} & (16) \\ d_2^+ &= \text{Ring güzergahında gündüz her aracın çalışacağı gün sayısından pozitif yönde sapma} & (17) \\ d_2^- &= \text{Ring güzergahında gündüz her aracın çalışacağı gün sayısından negatif yönde sapma} & (18) \\ d_3^+ &= \text{Ring güzergahında akşam her aracın çalışacağı gün sayısından pozitif yönde sapma} & (19) \\ d_3^- &= \text{Ring güzergahında akşam her aracın çalışacağı gün sayısından negatif yönde sapma} & (20) \\ d_4^+ &= \text{Şehir güzergahında gündüz her aracın çalışacağı gün sayısından pozitif yönde sapma} & (21) \\ d_4^- &= \text{Şehir güzergahında gündüz her aracın çalışacağı gün sayısından negatif yönde sapma} & (22) \\ d_5^+ &= \text{Şehir güzergahında akşam her aracın çalışacağı gün sayısından pozitif yönde sapma} & (23) \\ d_5^- &= \text{Şehir güzergahında akşam her aracın çalışacağı gün sayısından negatif yönde sapma} & (24) \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min}_Z = \sum_{i=1}^n d_1^+ + d_1^- + d_2^+ + d_2^- + d_3^+ + d_3^- + d_4^+ + d_4^- + d_5^+ + d_5^- \quad (25)$$

Kısıtlar:

İlk olarak güzergahlar çalışacak araç sayıları ile ilgili kısıtlar ifade edilmektedir. Kampüs hattında faaliyet gösteren araçların toplam sayısı 72'dir. 5 farklı güzergah mevcuttur. Her güzergahta ihtiyaç duyulan en az araç sayısı bellidir.

1. Kısıt: güzergahlarda sırasıyla 18,14,4,26 ve 10 adet araç çalışmalıdır.

$$\sum_{i=1}^{72} x_{ijk} = h_k \quad j=1,2,3,\dots,m \quad (26)$$

2. Kısıt: i aracı j . günde 3. veya 5.güzergahta çalışıyor ise $j+1$ ve $j+2$. günde bu güzergahlarda çalışmamalıdır.

$$X_{ij3} + X_{i(j+1)3} + X_{i(j+2)3} \leq 1 \quad i=1,2,3,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,(m-2) \quad (27)$$

$$X_{ij5} + X_{i(j+1)5} + X_{i(j+2)5} \leq 1 \quad i=1,2,3,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,(m-2) \quad (28)$$

3. Kısıt: i aracı j . günde 3. ve 5. güzergah üst üste iki gün çalışmamalıdır.

$$X_{ij3} + X_{i(j+1)3} + X_{ij5} + X_{i(j+1)5} \leq 1 \quad i=1,2,3,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,(m-1) \quad (29)$$

4. Kısıt: Hedef kısıtları,

Hedef kısıtı 1: i . araç 1. güzergahta 5 gün çalışmalıdır.

$$\sum_{j=1}^{20} x_{ij1} + d_{i1}^- - d_{i1}^+ = V_1 \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (30)$$

Hedef kısıtı 2: i . araç 2. güzergahta 4 gün çalışmalıdır.

$$\sum_{j=1}^{20} x_{ij2} + d_{i2}^- - d_{i2}^+ = V_2 \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (31)$$

Hedef kısıtı 3: *i*. araç 3. güzergahta 1 gün çalışmalıdır.

$$\sum_{j=1}^{20} x_{ij3} + d_{i3}^- - d_{i3}^+ = V_3 \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (32)$$

Hedef kısıtı 4: *i*. araç 4. güzergahta 7 gün çalışmalıdır.

$$\sum_{j=1}^{20} x_{ij4} + d_{i4}^- - d_{i4}^+ = V_4 \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (33)$$

Hedef kısıtı 5: *i*. araç 5. güzergah 3 gün çalışmalıdır.

$$\sum_{j=1}^{20} x_{ij5} + d_{i5}^- - d_{i5}^+ = V_5 \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (34)$$

4.2. Hedef Programlama Modeli Çözüm Sonuçları

Modelin çözümünde Intel (R) Core (TM) i7 5500u CPU @ 2.40 GHz işlemcisi 16 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır. Elde edilen veriler ile IBM ILOG CPLEX Optimization Studio programı aracılığıyla matematiksel model yazılmıştır. CPLEX çözücüsü 3,04 saniyede elde edilen sonuçlar Şekil 1'de yer almaktadır. Şekil 1'de her aracın hangi gün hangi güzergaha atandığı yer almaktadır.

Hedef programlama modelinin çözümü neticesinde Şekil 1'de hangi aracın hangi güzergahta hangi gün çalışacağı sonuçları elde edilmiştir. Şekil 1'de 72x20 boyutunda bir matris ile elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Satırda araçlar sütunda ise günler yer almaktadır. Matrisin elamanları ile *i*. aracın *j*. günde hangi güzergahta çalıştığı verilmiştir. 1. araç için Şekil 1'i inceleyecek olursak; 1. aracın 1,2,5,13 ve 20. günlerde 1. güzergahta çalışacağı, 6,9,12 ve 18. günlerde 2 güzergahta, 17. günde 3. güzergahta, 3,8,10,14,15,16 ve 19. Günlerde 4. güzergahta ve 4,7 ve 11 günlerde ise 5. güzergahta çalışacağı görülmektedir. Şekil 1'de bütün araçların bu şekilde çalışma düzeni sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre d_1^+ , d_1^- , d_2^+ , d_3^- , ve d_5^+ , hedef değişkenlerinden herhangi sapma olmadan çözüm elde edilmiştir.

Bazı değişkenlerden ise sapmalar ortaya çıkmıştır. d_2^- hedef değişkeninden sapma 8 birim, d_3^+ , hedef değişkeninden sapma 8 birim, d_4^+ hedef değişkeninden 16 birim sapma, d_4^- hedef değişkeninden 16 birim ve d_5^- hedef değişkeninden ise 16 birim sapma olmuştur. Bu sapmalar araç başına oranlandığında d_2^- hedef değişkeninden araç başına 0,11, d_3^+ , hedef değişkeninden araç başına 0,11, d_4^+ hedef değişkeninden araç başına 0,22 ve d_5^- hedef değişkeninden ise araç başına 0,22 birimlik bir sapma söz konusudur. Araçların güzergahlarda çalışacağı gün hedefleri hesaplanırken ring güzergahı gündüz, ring güzergahı akşam, şehir güzergahı gündüz ve şehir güzergahı akşam için hedef değerleri tam sayı çıkmamıştır. Bu nedenle hedef değerlerden sapmalar olması beklenen bir durumdur. Hedeflerden sapmaların hedef değişkenlerin hesaplanması kullanılan formül neticesinde elde edilen değer en yakın tamsayıya yuvarlanması nedeniyle ortaya çıktığı öngörülmektedir. Ancak görüldüğü gibi mevcut sapmalar araç başına hesaplandığında çok küçük düzeyde sapmalardır.

Kurulan model ile toplu taşıma araçlarının birden fazla hat güzergahında faaliyet göstermesi söz konusu olduğu durumlar için örnek teşkil edecek bir sonuç elde edilmiştir.

Araçlar	Günler																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	1	4	5	1	2	5	4	2	4	5	2	1	4	4	4	3	2	4	1
2	4	5	1	1	2	3	1	4	2	5	4	2	4	4	1	4	2	4	5	1
3	4	2	4	4	2	1	5	1	4	1	3	4	2	1	5	1	5	4	4	2
4	2	5	2	4	5	1	1	5	2	1	3	4	4	4	1	4	2	4	1	4
5	1	4	4	4	3	2	4	2	1	1	5	4	5	2	1	1	2	4	5	4
6	1	5	1	4	3	2	1	4	2	1	2	5	4	4	1	2	4	4	5	4
7	4	4	1	4	1	2	3	4	5	1	2	5	4	1	5	2	1	4	4	2
8	2	1	4	4	4	2	2	4	1	1	2	5	4	5	4	1	3	4	5	1
9	4	4	3	4	2	1	5	2	4	1	4	2	5	4	1	2	5	1	4	1
10	1	4	4	1	4	4	4	5	2	5	2	5	4	4	1	1	2	2	3	1
11	4	4	5	4	1	1	2	4	1	1	5	4	2	4	2	5	1	4	3	2
12	4	4	1	4	2	1	4	5	2	1	4	5	4	4	3	2	1	5	2	1
13	1	4	1	4	1	3	2	4	5	2	5	4	4	4	4	1	5	2	1	2
14	2	4	2	5	1	1	4	4	1	3	4	4	4	5	4	5	1	2	2	1
15	1	4	4	4	3	2	5	2	1	4	1	5	4	4	4	2	1	2	5	1
16	1	1	3	4	2	2	5	2	4	1	1	4	4	2	4	5	1	5	4	4
17	4	1	3	4	5	2	5	2	4	1	4	4	4	2	4	1	1	2	5	1
18	1	4	2	1	4	1	2	4	3	4	4	1	4	5	2	1	4	5	2	5
19	1	3	1	5	4	2	1	4	4	4	4	4	2	2	5	1	5	1	4	2
20	4	1	4	1	4	5	1	4	5	1	2	5	2	2	4	4	3	2	1	4
21	4	4	4	4	1	2	1	5	1	2	4	4	3	4	5	2	5	1	1	2
22	4	4	4	1	1	5	4	1	2	4	5	4	2	4	4	3	2	1	1	2
23	1	3	4	1	4	1	5	2	1	4	1	5	2	4	5	4	4	4	2	2
24	1	1	4	4	4	2	4	1	3	4	5	1	2	5	2	5	4	4	1	2
25	1	4	4	4	1	2	4	1	5	1	5	4	5	1	2	2	4	4	3	2
26	4	1	1	1	5	2	4	3	4	4	1	4	4	1	4	2	4	5	4	5
27	1	4	1	4	1	2	4	2	3	4	5	1	4	1	2	2	5	4	4	5
28	3	2	4	5	4	1	4	4	1	4	5	1	2	2	5	1	4	1	2	4
29	4	4	5	4	5	4	2	1	1	4	5	1	4	1	3	2	4	1	2	2
30	3	4	4	5	1	1	4	2	1	4	1	5	4	4	4	2	5	1	2	2
31	5	4	2	4	5	1	4	2	4	4	1	1	5	4	2	1	4	3	2	1
32	5	1	2	1	2	5	4	4	4	4	3	4	1	1	4	1	5	2	2	4
33	4	3	4	4	5	1	1	2	4	4	4	1	4	2	2	5	2	1	5	1
34	4	4	2	4	1	1	4	2	2	3	1	1	5	4	2	4	4	3	1	5
35	2	4	5	2	4	1	4	1	1	1	2	1	3	2	4	5	4	4	4	5
36	2	4	2	4	1	4	4	1	1	2	4	1	5	4	2	4	4	4	1	3
37	2	4	2	1	4	4	4	5	2	5	2	1	1	5	1	4	4	3	4	1
38	3	4	2	4	1	4	5	4	1	5	1	1	1	2	4	4	2	2	5	4
39	4	4	2	5	4	4	1	4	4	2	1	3	1	5	2	1	2	5	1	4
40	2	1	2	1	2	5	1	1	4	2	4	4	4	5	4	1	3	4	5	4
41	4	1	1	1	4	1	3	4	2	2	3	4	5	4	5	4	2	2	4	1
42	1	5	1	1	4	4	2	3	4	5	4	2	1	4	2	4	4	1	4	4
43	5	1	4	5	4	4	2	4	1	1	1	2	2	5	4	4	2	1	4	3
44	1	1	1	1	2	4	2	3	4	5	4	2	5	4	4	4	2	1	5	4
45	2	1	1	5	2	4	3	4	4	5	1	2	5	1	4	4	2	1	4	4
46	3	2	5	1	4	5	2	4	2	5	1	4	4	1	1	4	4	2	1	4
47	1	2	5	1	5	4	4	5	4	2	1	4	3	4	1	4	2	2	4	1
48	5	1	4	2	5	4	4	3	2	4	1	4	4	4	1	5	1	4	1	2
49	4	2	5	2	4	5	1	5	4	2	4	2	4	3	4	1	1	1	1	4
50	5	1	4	2	2	5	1	5	4	2	4	4	4	3	2	4	1	1	1	4
51	4	5	4	5	2	4	2	5	4	2	1	4	1	2	4	4	1	1	3	1
52	4	5	4	2	4	4	1	4	2	5	1	1	2	3	2	5	1	1	4	4
53	4	5	4	5	2	4	4	1	1	2	4	3	1	1	5	2	1	2	4	4
54	4	1	5	2	4	5	4	1	2	2	2	1	1	5	4	1	4	4	4	3
55	4	1	2	2	4	5	4	4	1	2	4	4	1	1	3	4	1	5	2	4
56	5	2	5	2	4	1	4	2	1	4	4	4	1	1	3	4	1	4	2	4
57	2	2	5	2	2	5	1	5	4	4	4	4	1	3	1	4	1	4	1	4
58	5	2	1	2	4	4	1	1	3	4	4	4	2	1	1	4	4	5	2	5
59	1	5	4	2	2	4	2	1	1	4	2	4	5	1	1	4	4	3	4	5
60	5	2	4	1	4	4	4	2	4	5	2	1	3	4	1	3	1	1	4	5
61	4	2	5	1	5	1	4	1	4	1	2	2	4	1	2	3	4	4	4	5
62	2	4	1	4	4	3	2	1	5	1	4	5	4	1	5	4	2	1	2	4
63	4	2	4	4	1	4	3	4	5	4	2	2	1	1	1	3	4	5	2	1
64	5	2	1	3	1	4	4	1	4	4	1	4	4	1	4	2	1	2	4	4
65	2	2	1	1	4	3	1	4	5	4	2	1	1	4	5	4	4	5	4	2
66	2	2	4	3	1	4	1	4	5	2	1	2	1	4	1	5	4	5	4	4
67	5	4	1	3	1	4	2	1	5	4	2	3	2	4	1	1	4	4	4	3
68	2	1	2	3	4	1	4	4	4	4	1	1	2	4	2	4	4	4	1	4
69	4	4	3	2	1	4	2	1	5	1	4	2	2	5	4	4	5	4	1	1
70	1	3	4	2	3	4	1	4	4	3	4	2	2	1	4	1	5	4	1	5
71	2	5	1	4	5	4	5	2	4	4	4	3	1	2	4	1	4	4	1	1
72	4	5	2	2	4	1	5	1	4	3	1	2	1	2	4	5	1	4	4	4

Şekil 1. Hedef Programlama Modeli Sonuçları

5. Sonuç

Dünyada ve ülkemizde toplu ulaşımın planlanması oldukça önemli bir faaliyettir. Birçok ülkede ulaşım alternatifleri arasında en çok kullanılan alternatif karayolu araçlarıdır. Son zamanlarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte toplu ulaşımında raylı sistemler gibi birçok alternatif geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ancak bu sistemlerin kurulması maliyetli ve coğrafi açıdan her bölgeye kurulması imkanı bulunmamaktadır. Bu kapsamda şehir içi ulaşımında yalnızca karayolu araçlarının kullanıldığı birçok şehir bulunmaktadır. Ülkemizde Kırıkkale ili toplu ulaşımında karayolu araçlarının kullanıldığı illere bir örnektir. Bu çalışmada Kırıkkale ili örneği dikkate alınmıştır. Kırıkkale kampüs hattı, gerek öğrenci sayısının fazla olması nedeniyle gerekse güzergahtaki duraklar nedeniyle ildeki toplu taşıma hatları içinde yolcu kapasitesi yüksek hattır.

Bu çalışmada Kırıkkale üniversitesi kampüs hattında hizmet veren araçların çizelgelenmesinde yaşanan problemler dikkate alınmıştır. Bu çalışmada araçların beş farklı güzergah üzerinde çalışma durumu olan bir problem ele alınmıştır. Kampüs hattında çalışan araçların çalışma düzenleri incelenerek bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre belirlenen hedeflerden sapmalar minimum düzeydedir. Her güzergaha ihtiyaç duyulan kadar araç ataması sağlanmıştır. Güzergahlar arasında yolcu sayılarının farklılığı dikkate alınmıştır. Özellikle akşam saatlerinde yolcu sayıları azalmaktadır. Bu nedenle araçların şehir ve ring güzergahlarının akşam seferlerinde ardi ardına iki gün çalışmasını engelleyecek kısıtlar modele dahil edilmiştir. Böylelikle çalışma düzeninin daha dengeli olması sağlanmıştır. Hedef programlama modelinin çözümü neticesinde her bir aracın hangi gün hangi güzergahta çalışacağı tespit edilmiştir. Bu yönüyle çalışmanın sonuçları önem arz etmektedir. Benzer çalışma düzenine sahip veya bu ve benzeri bir çalışma düzeni oluşturulması planlanan hatlar için bu çalışmada oluşturulan hedef programlama modeli bir örnek teşkil etmektedir.

Bu alanda yapılacak sonraki çalışmalarda talep tahminlerinin yapılmasını ve talep tahminlerinin dikkate alınmasını öneririz. Yolcu sayılarının talep tahmini yöntemleri ile tahmini yapılarak güzergahlar arası yolcu sayılarında önemli farklılıkların ortaya çıkması halinde ilgili güzergahta çalışacak araç sayıları belirlenebilir. Talep tahminleri dikkate alınarak gelir seviyelerini eşitlemeye yönelik hedefler belirlenebilir. Ayrıca COVİD-19 sürecinde kapasitelerin oldukça önemli olduğunu görmekteyiz. Toplu taşıma araçlarında sosyal mesafeye uygun oturma düzeninin olması kapasiteleri oldukça etkilemektedir. Bu durumu dikkate alarak farklı kapasite boyutlarının dikkate alınması sonraki çalışmalar için önerimizdir.

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. Çalışmada etik kurallara uyulmuştur.

Kaynakça

- Erpic, Z. (2019). *Hat Çizelgeleme Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı: İETT Örneği* [Marmara Üniversitesi]. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.01.012>
- Fügenschuh, A. (2009). Solving a school bus scheduling problem with integer programming. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 867–884. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.10.055>
- Gencer, M. A., & Eren, T. (2016). Ankara Metrosu M1 (Kızılay-Batıkent) Hattı Hareket Saatlerinin Çizelgelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(2), 25–36. <https://doi.org/10.21541/apjes.59527>
- Goel, A. (2009). Vehicle scheduling and routing with drivers' working hours. *Transportation Science*, 43(1), 17–26. <https://doi.org/10.1287/trsc.1070.0226>
- Guedes, P. C., Lopes, W. P., Rohde, L. R., & Borenstein, D. (2016). Simple and efficient heuristic approach for the multiple-depot vehicle scheduling problem. *Optimization Letters*, 10(7), 1449–1461. <https://doi.org/10.1007/s11590-015-0944-x>
- Gültekin, N., & Eren, T. (2014). Demiryolu Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi ve Çözümü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 235–242.
- Gündoğar, E., & Akıl, S. (1998). Servis Araçları Rotalama-Çizelgeleme Problemleri ve Çözüm Yaklaşımları. *Sakarya University Journal of Science*, 2(1), 25–30. <https://doi.org/10.5505/saufbed.v2i1.5000013399>
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2018). Transportation planning with analytic hierarchy process and goal programming. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(2), 92–97.
- Hassold, S., & Ceder, A. (Avi). (2014). Public transport vehicle scheduling featuring multiple vehicle types. *Transportation Research Part B*, 67, 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.04.009>
- He, F., Yang, J., & Li, M. (2018). Vehicle scheduling under stochastic trip times: An approximate dynamic programming approach.

Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 96, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.09.010>

Huisman, D., Freling, R., & Wagelmans, A. P. M. (2004). A robust solution approach to the dynamic vehicle scheduling problem. *Transportation Science*, 38(4), 447–458. <https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0069>

Ji, J., Bie, Y., & Shen, B. (2020). Vehicle Scheduling Model for an Electric Bus Line. *Proceedings of 3rd KES-STIS International Symposium, Smart Transportation Systems 2020*, 29–39.

Kaçmaz, Ö., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2019). Shift scheduling with the goal programming method: A case study in the glass industry. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/MATH7060561>

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.

Kim, B.-I., Kim, S., & Park, J. (2012). A school bus scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 218, 577–585.

Kıran, M. S., & Gündüz, M. (2012). Arı Kolonisi Optimizasyon Algoritması Kullanarak Şoför-Hat-Zaman Çizelgeleme. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 11(2), 59–66.

Liu, T., Ceder, A. (Avi), & Chowdhury, S. (2017). Integrated public transport timetable synchronization with vehicle scheduling. *Transportmetrica A: Transport Science*, 13(10), 932–954. <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.pdf. *Transportation Science*, 35(3), 331–342.

Mesquita, M., Paias, A., & Respício, A. (2009). Branching approaches for integrated vehicle and crew scheduling. *Public Transport Journal*, 1(21), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s12469-008-0005-2>

Nagy, V., & Horváth, B. (2020). The effects of autonomous buses to vehicle scheduling system. *Procedia Computer Science*, 170, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.035>

Naumann, M., Suhl, L., & Kramkowski, S. (2011). A stochastic programming approach for robust vehicle scheduling in public bus transport. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 20(January), 826–835. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.08.091>

Orhan, İ., Kapanoğlu, M., & Karakoç, T. H. (2010). Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 181–191.

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. <https://doi.org/10.17341/gummfd.74431>

Özalp, M., & Öcalır, E. V. (2008). Türkiye’deki Kentiçi Ulaşım Planlaması Çalışmalarının Değerlendirilmesi (1). *Metu Jfa*, 2(25:2), 71–97.

Özcan, E. C., Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri İçin Hedef Programlama Yaklaşımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 363–370. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.347609>

Özcan, U., & Toklu, B. (2009). Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. *Computers and Operations Research*, 36(6), 1955–1965. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.06.009>

Özder, E. H., & Eren, T. (2016). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ve Hedef Programlama Teknikleri ile Tedarikçi Seçimi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 4(3), 196–196. <https://doi.org/10.15317/scitech.2016320515>

Perumal, S. S. G., Larsen, J., Lusby, R. M., Riis, M., & Christensen, T. R. L. (2020). A column generation approach for the driver scheduling problem with staff cars A column generation approach for the driver scheduling problem with staff cars. *30th European Conference On Operational Research*.

Schöbel, A. (2017). An eigenmodel for iterative line planning, timetabling and vehicle scheduling in public transportation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 74, 348–365. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.11.018>

Shui, X., Zuo, X., Chen, C., & Smith, A. E. (2015). A clonal selection algorithm for urban bus vehicle scheduling. *Applied Soft Computing Journal*, 36, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.07.001>

Türkoğlu, S. P. (2017). KARAR VERMEDE HEDEF PROGRAMLAMA YÖNTEMİ VE UYGULAMALARI. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdare Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 29–46.

Ünal, F. M., & Eren, T. (2016). Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(1). <https://doi.org/10.21541/apjes.59022>

- Uslu, B., Bedir, N., Gür, Ş., & Eren, T. (2018). 0-1 Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 3(3), 148–170.
- 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.
- Varlı, E., & Eren, T. (2017). Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 34–40. <https://doi.org/10.21541/apjes.73975>
- 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. <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. <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. <https://doi.org/10.1109/ICITE50838.2020.9231516>
- Zuo, X., Chen, C., Tan, W., & Zhou, M. (2015). Vehicle Scheduling of an Urban Bus Line via an Improved Multiobjective Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(2), 1030–1041. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2352599>