



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Karabük - Zonguldak hattında demiryolu hat kapasitesinin modellenmesi

### *Modeling railway line capacity on Karabük - Zonguldak line*

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Emin AKAY<sup>1</sup>, Hilmi AYGÜN<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-5178-398X

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-9073-2322

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Akay M.E. ve Aygün H., "Karabük - Zonguldak hattında demiryolu hat kapasitesinin modellenmesi", *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1817-1825, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.884305

# Karabük – Zonguldak Hattında Demiryolu Hat Kapasitesinin Modellenmesi

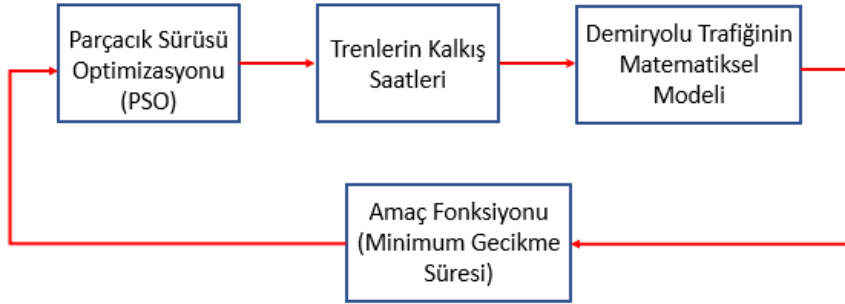
## Modeling Railway Line Capacity on Karabuk – Zonguldak Line

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Karabük-Zonguldak hattında demiryolu trafiği matematiksel olarak modellendi. / Mathematical model of railway traffic on Karabuk-Zonguldak line was created.
- ❖ Bu demiryolu hattında bekleme ve gecikme problemlerine çözüm olarak parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tabanlı programlama modeli geliştirildi. / A particle swarm optimization (PSO) based programming model was developed for solving delay and waiting problems.
- ❖ Trenlerin hareket saatleri yeniden düzenlenerek, trenlerin toplam gecikme süresi % 65 oranında azaltıldı. / The departure times of the trains were rearranged and the total delay time of the trains was reduced by 65 %.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ile trenlerin gecikme süresini minimum yapan tren hareket saatleri elde edilmiştir. / By particle swarm optimization (PSO), departure times of trains that minimize the delay time of trains were obtained.



Şekil. Akış diyagramı /Figure. Flow chart

### Amaç (Aim)

Karabük-Zonguldak tek hatlı demiryolunda, trenlerin bekleme ve gecikme problemlerine çözüm bulmak. / To find a solution to the waiting and delay problems of trains on the Karabük-Zonguldak single track railway.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Trenlerin hareket saatlerinin güncellenmesinde parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. / Particle swarm optimization (PSO) was used to update the departure times of trains.

### Özgünlük (Originality)

Karabük-Zonguldak demiryolu hattında trenlerin gecikme süresini azaltmaya yönelik benzer bir çalışma bulunmamaktadır. / There is no similar study to reduce the delay time of trains on Karabük-Zonguldak railway line.

### Bulgular (Findings)

Trenlerin toplam gecikme süresi % 65 oranında azalmıştır. / The total delay time of trains was decreased by 65%.

### Sonuç (Conclusion)

PSO tabanlı programlama modeli ile elde edilen optimum tarife sayesinde, trenlerin gecikme sürelerinde dikkate değer bir azalma sağlanmıştır. / Thanks to the optimum tariff obtained with the PSO-based programming model, a remarkable reduction in the delay times of the trains was achieved.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Karabük – Zonguldak Hattında Demiryolu Hat Kapasitesinin Modellenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet Emin AKAY<sup>1\*</sup>, Hilmi AYGÜN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Müh. Programı, Karabük Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup> Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Müh. Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 21.02.2021 ; Kabul/Accepted : 20.09.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 29.09.2021)

## ÖZ

Bu çalışmada, Karabük-Zonguldak parkurundaki tek hatlı demiryolunda yolcu treni işletmeciliği incelenmiştir. Bu demiryolu hattında bekleme ve gecikmelerle ilgili sorunlara çözüm aranarak, en optimum tarife bulunmaya çalışılmıştır. Araştırmada 10 istasyonlu ve günlük çift yönlü 8 adet yolcu treninin çalıştığı Karabük-Zonguldak hattında, çalıştırılacak “günlük tren kapasitesi” incelenmiş, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tabanlı programlama modeli uygulanmıştır. Bu modelde Karabük-Zonguldak arasındaki 116,6 km’lik parkur ele alınmıştır. Önerilen yöntemin benzetim çalışması MATLAB programı ile gerçekleştirilmiştir. Modelleme sonucunda, sağlanan verilere göre, tren hareket saatleri yeniden düzenlenerek, gecikmelerde % 65 oranında iyileşme sağlandığı benzetim ile ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Demiryolu kapasitesi, çizelgeleme, gecikme, benzetim, parçacık sürüsü optimizasyonu.

## Modeling Railway Line Capacity on Karabük – Zonguldak Line

### ABSTRACT

In this study, passenger train operation on the single track railway on the Karabük-Zonguldak track was examined. A solution was sought for the problems related to waiting and delays on this railway line and the optimum tariff was tried to be found. In the study, "daily train capacity" that can be operated on the Karabük-Zonguldak line, where 10-station and 8 daily passenger trains with both directions are operating, was examined and a particle swarm optimization (PSO) based programming model was applied. In this model, the track of 116.6 km between Karabük and Zonguldak is considered. The simulation study of the proposed method was carried out with the MATLAB program. As a result of the modeling, according to the data provided, the train departure times were rearranged and it was demonstrated with the simulation that 65% improvement was achieved in delays.

**Keywords:** Railway capacity, scheduling, tardiness, simulation, particle swarm optimization.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Her taşıma modunda olduğu gibi, demiryolu taşımacılığı da mevcut şebekede yük ve yolcu taşıma kapasitesini azami derecede kullanmayı hedeflerken, yatırım, personel, enerji ve bakım kalemlerinde giderleri asgari değerde tutmayı amaçlar [1]. Demiryolu işletmeciliğinde karşılaşılan önemli problemlerden biri de, tren çizelgeleme problemidir. Tren çizelgeleme/tarife oluşturma bir tren kümesi için demiryolunun kapasitesini ve diğer işletme kısıtlarını dikkate alarak, bir tarifeyi “en iyileştirme” işidir [2]. Verimli işletmecilik için, demiryolu hat kapasitesinin tayini önemli olup, hat kapasitesi; hat geometrisi, tren tipleri, hat teknik özellikleri gibi parametrelerden etkilenir [3]. Kapasitenin sağlıklı şekilde tayini için, trafiğin farklı işletme karakteristiklerinin anlaşılması gereklidir. İdeal şartlar bütün trenlerin aynı tipte ve aynı hızda olması halidir. Farklı türde trenler; değişik uzunluklar ve tren ağırlıkları, farklı hızlar ve seyir süreleri demektir. Bu da buluşmalar,

öne geçmeler, yolcu indirme-bindirme işlemleri gibi trafik akışını yavaşlatan unsurları ortaya çıkarır. Bu nedenlerle, matematik modeller kullanarak, hat kapasitesinin tayini önem taşımaktadır [4]. Bu çalışmada, Karabük - Zonguldak demiryolunda, taşımacılıkta gecikme problemi ele alınmış ve bir parkurda en verimli tren işletmeciliği modellenmiştir.

Demiryolu yolcu ve yük taşımacılığı; düşük enerji tüketimi, güvenli oluşu, elektrikli işletme halinde çevre dostu bulunması gibi nedenlerde büyük öneme sahiptir. Hızları 200 km/sa olan Hızlı tren (HT) ile, hızları 250-320 km/sa arasında değişen ve Yüksek hızlı tren (YHT) uygulamalarında ise, şehir merkezleri arasında hızla yolcu taşınması gerçekleşmektedir. Türkiye de Nisan 2009’dan itibaren Ankara - Eskişehir parkurunda başlayan YHT işletmesi, 250 km/sa hıza kadar çıkarak, daha sonra da açılan güzergâhlarla, Ankara-Konya Eskişehir-Bilecik-Kocaeli ve İstanbul vilayetlerini birleştirmiş ve nüfusun % 70’ine ulaşmıştır [5].

2020 yılı başında TCDD, 11.590 km’si ana hat ve 1.213 km’si de YHT hattı olmak üzere, toplam 12803 km hat uzunluğuna sahiptir. TCDD demiryolu şebekesinin %

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : hilmiaygun@karabuk.edu.tr

87,6'sı tek hatlı ve % 45,4'ü sinyallidir. Şebekenin % 43,2'sinde elektrikli ve % 56,8'inde de dizelli trenler çalışmaktadır. Çeken taşıtların % 27'si 30 yıldan yaşlıdır. Özellikle tek hatlı işletmecilik, önemli bir darboğaz olarak ortaya çıkmakta, katarlar buluşmak ve öne geçmek için birbirlerini istasyonda beklemek zorunda kalmaktadır. Planlı bekleme zamanlarında, plansız gecikmelerin de doğmasıyla, hat üzerinde çalışan tüm tren seferlerinde aksamalar olmakta, bu da özellikle dizelli tren işletmede aşırı yakıt tüketimi ve egzoz gazı emisyonuna yol açmaktadır [6].

TCDD şebekenin hat kabiliyetlerini her yılın sonunda tekrar hesap eder ve 1 Ocaktan itibaren geçerli "şebeke bildirimini" yapar. Bu bildirimde; hat üzerinde yapılabilecek hız, taşınacak yük değeri, istasyon verileri, gabari ve diğer veriler bulunur. Bu bildirim takiben TCDD, TCDD Taşımacılık AŞ, gerekse diğer özel sektör tren işletmecilerinin talebi üzerinde "ORER grafiği" adı verilen yıllık sefere koyacakları trenleri planlar ve uygulamaya koyar. ORER grafiği basitçe bir "Yol - Zaman grafiği" olup, ilgili parkurdaki tren trafiği ile istasyon ve hat bilgilerini barındırır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

Literatürde demiryolu çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Gültekin ve Eren'in yaptıkları çalışmada 0-1 tam sayılı programlama modeli uygulanarak tren saatlerinin yeniden düzenlenmesi ve çift hat yapımı sonucu trenlerin gecikme süresinde azalma olduğu görülmüştür [2]. Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise, küresel çatışma dağılım tahminine (CDP) dayalı bir sezgisel yöntem uygulanarak, trenler için optimum seyir süresi elde edilmiştir [7]. Heydar ve arkadaşları yaptığı çalışmada, trenlerin sevk çevrimini dengeleyen ve istasyonlarda bekleme süresini indiren karma tamsayı doğrusal program geliştirerek, istasyon 70'e kadar ulaşan bir şebekede IBM ILOG CPLEX kullanımı ile, tren seyir süreleri optimize edilmiştir [8].

Yalçınkaya ve Bayhan yaptığı çalışmada, uygun bir tren tarifesi elde etmek amacıyla uyguladıkları stokastik benzetim modeliyle tren işletimi tarifesindeki aksaklıkların azaltılabildiğini göstermişlerdir [9]. Aken ve arkadaşları yaptığı çalışmada, Tren Zaman Çizelgesi Ayarlama Problemi-TTAP ile tarifedeki zaman çizelgesinden sapmayı en aza indiren yöntem uygulamışlar, periyodik olay çizelgeleme problemi (PESP) formülasyonu sayesinde Hollanda demiryollarında optimizasyon sağlamışlardır [10]. Petering ve arkadaşları yaptığı çalışmada, iyi bilinen periyodik olay programlama probleminin çerçevesinin dışında kalıp, IBM ILOG CPLEX kullanarak ve doğrusal bir amaç fonksiyonu yardımıyla döngü uzunluğunun en aza indirilmesini hedefleyerek, geliştirdikleri modelin döngüsel tren sırasına karar verebildiğini ve demiryolu gerçek hat kapasitesini hesaplama becerisini gösterdiğini ortaya koymuştur [11].

Literatür incelendiğinde demiryolu hatlarında trenlerin gecikme süresini azaltmak ve optimum tarife elde etmek için sezgisel yöntemlerin az kullanıldığı fark edilmiştir. Bu çalışmada Karabük-Zonguldak tek hatlı demiryolu hattında bekleme ve gecikmelerle ilgili sorunlara çözüm aranarak, sezgisel yöntemlerin başarılı örneklerinden biri olan parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tabanlı programlama modeli uygulanarak en optimum tarife bulunmaya çalışılmıştır. Literatürde Karabük-Zonguldak demiryolu hattında benzer bir çalışma bulunmamaktadır.

## 3. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION)

Parçacık sürüsü optimizasyonunda (PSO) her birey, uçuş doğrultusunu ayarlarken, kendilerinin ve sürünün önceki deneyimlerinden faydalanır. Problemin olası çözümlerini belirten parçacıklar, optimize edilecek her bir parametre için arama uzayında dolaşan birer noktadır [12].

(1) ve (2) numaralı denklemler, M adet parçacığın D boyutlu arama uzayında sırasıyla pozisyonlarını ve hızlarını ifade etmektedir.

$$x_i = (x_{i1} \ x_{i2} \ x_{i3} \ \dots \ x_{iD}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (1)$$

$$v_i = (v_{i1} \ v_{i2} \ v_{i3} \ \dots \ v_{iD}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2)$$

(3) numaralı denklem, M adet parçacığın D boyutlu arama uzayında o ana kadar elde edilen en iyi pozisyonunu, yani lokal en iyi pozisyonunu ifade etmektedir. (4) numaralı denklem, lokal en iyi pozisyonlar arasındaki en iyi pozisyonu, yani global en iyi pozisyonu ifade etmektedir.

$$p_i = (p_{i1} \ p_{i2} \ p_{i3} \ \dots \ p_{iD}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3)$$

$$g = (g_1 \ g_2 \ g_3 \ \dots \ g_D) \quad (4)$$

Optimizasyonun yakınsama performansını garantilemek için kullanılan K faktörü (5) numaralı denklem ile verilirken, (6) numaralı denklem ile parçacığın güncel hızı, (7) numaralı denklem ile parçacığın güncel pozisyonu belirlenir. Burada t o andaki iterasyonu temsil ederken, r<sub>1</sub> ve r<sub>2</sub> katsayıları 0 ile 1 arasında rastgele sayılardır. c<sub>1</sub> ve c<sub>2</sub> öğrenme faktörleri olup, literatürde genellikle bu faktörler 2 değerini aldığından, bu çalışmada da aynı değerler kullanılmıştır [13].

$$K = \frac{2}{2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}}, \quad \varphi = c_1 + c_2 > 4 \quad (5)$$

$$v_{iD}^{t+1} = K \cdot [v_{iD}^t + c_1 r_1 (p_{iD}^t - x_{iD}^t) + c_2 r_2 (g_D^t - x_{iD}^t)] \quad (6)$$

$$x_{iD}^{t+1} = x_{iD}^t + v_{iD}^{t+1} \quad (7)$$

Parçacıkların arama uzayından çıkmaması ve algoritmanın doğru sonuca yakınsaması için pozisyonların ve hızların sınırlandırılması gerekir. Parçacıkların hızlarının üst ve alt sınırları sırasıyla (8) ve (9) numaralı denklemler ile belirtilmektedir. Burada x<sup>maks.</sup> ve x<sup>min.</sup> sırasıyla parçacıkların pozisyonları için belirlenen üst ve alt sınırlar olup, bu değerler arama uzayını belirtir [14].

$$v^{maks.} = (x^{maks.} - x^{min.}) \cdot (\%10 \sim \%20) \quad (8)$$

$$v^{min.} = -v^{maks.} \quad (9)$$

Parçacık sürüsü optimizasyonunda belirlenen amaç fonksiyonuna göre iterasyonlar sonunda elde edilen global en iyi pozisyon bilgisi, optimize edilen parametreleri içerir.

#### 4. ÖNERİLEN PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO) TABANLI PROGRAMLAMA MODELİ (THE PROPOSED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) BASED PROGRAMMING MODEL)

Uygulamada 8 trenin sefer yaptığı 10 istasyonlu tek hat için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) tabanlı programlama modeli kurulmuştur.

Bu modelde;

$i$  ve  $m$ : Doğuya giden tren indeksleri

$j$  ve  $k$ : Batıya giden tren indeksleri

$s$ : İstasyon indeksi

$a_{i,s}$ :  $i$  numaralı trenin  $s$  numaralı istasyona varış zamanı

$d_{i,s}$ :  $i$  numaralı trenin  $s$  numaralı istasyondan kalkış zamanı

$t_{i,s}$ :  $i$  numaralı doğu yönlü trenin  $s-1$  numaralı istasyon ile  $s$  numaralı istasyon arasındaki seyir süresi

$t_{j,s}$ :  $j$  numaralı batı yönlü trenin  $s+1$  numaralı istasyon ile  $s$  numaralı istasyon arasındaki seyir süresi

$v_i$ :  $i$  numaralı trenin son istasyona planlanmış varış zamanı

$e_i$ :  $i$  numaralı trenin son istasyona ulaştığındaki gecikme süresi

Modeldeki amaç, trenlerin ilk istasyondan kalkış sürelerini optimize ederek, son varış istasyonlarına varıncaya kadar trenlerin birbirleriyle karşılaşmalarından kaynaklanan gecikme sürelerinin toplamını en aza indirmektir. Bu sebeple modelde amaç fonksiyonu olarak (10) numaralı denklem kullanılmıştır. Gecikme süreleri ise (11) ve (12) numaralı denklemler ile ifade edilmektedir.

$$\text{Min } \sum e_i + \sum e_j \quad (10)$$

$$e_i = a_{i,s} - v_i \quad (11)$$

$$e_j = a_{j,s} - v_j \quad (12)$$

Trenlerin ardışık istasyonlar arasındaki seyir süreleri ile trenlerin istasyonlardan kalkış ve istasyonlara varış zamanları arasındaki ilişki (13) ve (14) numaralı denklemler ile belirtilmektedir.

$$a_{i,s} - d_{i,s-1} = t_{i,s} \quad (13)$$

$$a_{j,s} - d_{j,s+1} = t_{j,s} \quad (14)$$

(15) ve (16) numaralı denklemler, bir trenin bir istasyona varışı ile kalkışı arasında planlanmış duruş süresi kadar beklemesini garanti eden kısıt fonksiyonlarıdır.

$$d_{i,s} - a_{i,s} \geq 1 \quad (15)$$

$$d_{j,s} - a_{j,s} \geq 1 \quad (16)$$

(17) ve (18) numaralı denklemler, zıt yönlerde hareket eden trenlerden bir buluşma istasyonuna önce varan

trenin, diğer zıt yönlü trenin varışından en az 2 dakika sonra ayrılabilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlarıdır.

$$d_{i,s} - a_{j,s} \geq 2 \quad (17)$$

$$d_{j,s} - a_{i,s} \geq 2 \quad (18)$$

(19) ve (20) numaralı denklemler, aynı yönde aynı istasyondan hareket eden trenlerden birinin kalkışından en az 5 dakika sonra diğerinin hareket edebilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlardır.

$$d_{i,s} - d_{m,s} \geq 5 \quad (19)$$

$$d_{j,s} - d_{k,s} \geq 5 \quad (20)$$

(21) ve (22) numaralı denklemler, aynı yönde hareket eden iki trenin aynı istasyona varış süresi arasında en az 2 dakika olmasını garanti eden kısıt fonksiyonlarıdır.

$$a_{i,s} - a_{m,s} \geq 2 \quad (21)$$

$$a_{j,s} - a_{k,s} \geq 2 \quad (22)$$

Amaç fonksiyonunu minimum yapan PSO algoritmasına ait sözde kod Şekil 1'de verilmiştir. Amaç fonksiyonun aldığı değere uygunluk değeri denilir. Sözde kodda yer alan  $F_x$ , parçacıkların pozisyonunun uygunluk değerini,  $F_p$  parçacıkların lokal en iyi pozisyonunun uygunluk değerini ve  $F_g$  global en iyi pozisyonun uygunluk değerini ifade eder.

```

Parametreleri belirle (parçacık sayısı, iterasyon sayısı, vb.)
Pozisyon ve hız sınırlarını belirle
Parçacıkların ilk pozisyon ve hız değerlerini rastgele belirle
for t=1:iterasyon sayısı
  for i=1:parçacık sayısı
    if ( $F_{xi}^{t+1} < F_{pi}^t$ )
       $p_i^{t+1} = x_i^{t+1}$  ve  $F_{pi}^{t+1} = F_{xi}^{t+1}$ 
    else
       $p_i^{t+1} = p_i^t$  ve  $F_{pi}^{t+1} = F_{pi}^t$ 
    end if
    if ( $F_{pi}^{t+1}(\text{en iyi}) < F_g^t$ )
       $g^{t+1} = p_i^{t+1}(\text{en iyi})$ 
       $F_g^{t+1} = F_{pi}^{t+1}(\text{en iyi})$ 
    else
       $g^{t+1} = g^t$ 
       $F_g^{t+1} = F_g^t$ 
    end if
  end for (parçacıklar)
end for (iterasyonlar)
Optimize parametreler= $g^{t+1}$ 

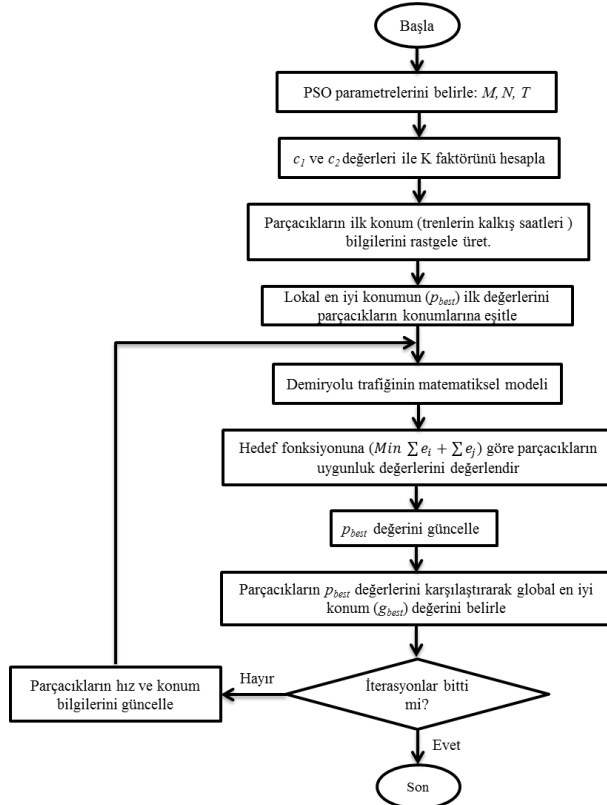
```

Şekil 1. PSO algoritmasına ait sözde kod (Pseudo code of PSO algorithm)

Sözde kodda görüldüğü gibi iterasyonların bitiminde elde edilen global en iyi pozisyon, trenlerin başlangıç istasyonundan kalkış saatleri için optimize edilmiş

değerlerdir. Böylece hatlarda yaşanan gecikme süresi minimuma indirgenir.

Şekil 2’de Karabük-Zonguldak demiryolu hattında meydana gelen gecikme sürelerini azaltmak üzere geliştirilen PSO tabanlı programlama modeline ait akış diyagramı görülmektedir. Bu optimizasyon probleminde optimize edilen değişkenler, hatta bulunan 8 adet trenin başlangıç istasyonlarından kalkış zamanlarıdır. Yani 1, 2, 3 ve 4 numaralı trenlerin 1. istasyondan kalkış zamanı optimize edilirken, 5, 6, 7 ve 8 numaralı trenlerin 10. istasyondan kalkış zamanı optimize edilmiştir.



Şekil 2. Önerilen yönteme ait akış diyagramı (Flowchart of the proposed method)

## 5. ÖRNEK UYGULAMA (A CASE STUDY)

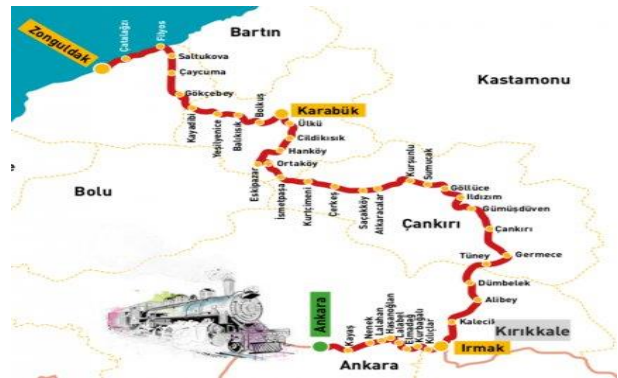
### 5.1. Karabük-Zonguldak Demiryolu Parkuru (Karabuk-Zonguldak Railway Track)

Araştırmaya konu olan parkur, Ankara-Kayseri hattından Irmak istasyonunda ayrılan Irmak-Zonguldak hattıdır, yol 415 km uzunluğunda olup, Şekil 3’te gösterilmiştir. Sinyalizasyonlu (TSİ sistem) tren işletmeciliği yapılan, tek hatlı bu parkurda trafik, Karabük TSİ kumanda merkezindeki trafik yöneticisi (dispeçer) tarafından “sinyallerle” yönetilmektedir. Hat üzerinde yaklaşık 3 km aralya konulmuş sinyal lambaları bulunmakta,

makinişler; sarı, kırmızı, yeşil, beyaz renklerdeki sinyal bildirimlerine göre treni yönetmektedirler. İki sinyal arasındaki bölgeye “blok” denilir. Trenlerin aynı yönde ardışık seyri için, aralarında asgari bir blok boşluk olması gereklidir. Yeşil sinyal “öndeki iki blokun boş” olduğunu, sarı sinyal bir blok boşluğu ve sonraki sinyalin kırmızı olacağını, sarı üzeri beyaz sinyal de, trenin sonraki istasyonda buluşma-bekleme için, istasyon girişindeki “baş makas” geçişini takiben, barınma yoluna sapacağını bildirmektedir. İstasyon giriş ve çıkışlarındaki “baş makas” mevkilerinde “yüksek sinyaller”, barınma yollarında da “cüce sinyaller” kullanılır. Trafik ve tren yönetiminde ilave olarak, telsiz haberleşmesi ve GSM-R telefon sistemi de kullanılmaktadır.

Karabük – Zonguldak demiryolu hattı, tek hatlı olup, karşılıklı günlük 4 yolcu treni çalışmaktadır. Hat uzunluğu 120,848 km olup, 10 istasyon bulunmaktadır. Uygulamada istasyonlar; 1. Karabük, 2. Bolkuş\*, 3. Yeşilyenice, 4. Kayadibi\*, 5. Gökçebey, 6. Çaycuma, 7. Saltukova\*, 8. Filyos, 9. Çatalağzı, 10. Zonguldak olarak numaralandırılmıştır.

**Not:** Üzeri \* işaretli yerler, tek hatlı demiryollarında trenlerin buluşması için yapılan, ana ve yan yoldan oluşan “sayding” isimli tesislerdir. Bazı saydingler ve duraklar yok sayılarak, seyir süresine eklenmiştir.



Şekil 3. Irmak-Çankırı-Karabük-Zonguldak demiryolu parkuru (Irmak-Çankırı-Karabuk-Zonguldak railway track)

Karabük-Zonguldak hattında trenler, 258 m rakımlı kentten, deniz seviyesine seyretmektedir. TCDD bu hatta ortalama seyir hızlarını; Zonguldak yönüne 70 km/s ve Karabük yönüne de, rampa yukarı seyirden dolayı 60 km/s olarak tanımlanmıştır. Ancak 2018 yılında tamamlanan “hat yenileme” dolayısıyla, hattın yerine oturması zaman alacağından, TCDD tarafından trenlere yavaş ve dikkatli seyir (tekayyüdat) talimatı verilmiştir. Bu yüzden trenler planlanan hızları yapmaktan uzak kalmaktadır. Bu durum Çizelge 1a ve Çizelge 1b’de karşılaştırılmalı olarak ve her iki yön için verilmiştir.

**Çizelge 1a.** Karabük-Zonguldak hattında istasyonlar arası seyir süreleri (dk.) [15] (Transit time between consecutive stations on the Karabük-Zonguldak line (min.))

İstasyon aralığı	Mevcut duruma göre süreler (dk.)				Mesafe (km)	Vasati seyir süresi (dk.)
	yolcu1 (22626)	yolcu2 (22630)	yolcu3 (22632)	yolcu4 (22636)		
1-2 Karabük-Bolkuş	13	13	17	14	10,946	9
2-3 Bolkuş-Yeşilyenice	37	38	36	37	22,58	19
3-4 Yeşilyenice-Kayadibi	16	17	16	16	12,548	11
4-5 Kayadibi-Gökçebey	13	15	13	13	13,698	12
5-6 Gökçebey-Çaycuma	19	19	19	19	15,9	14
6-7 Çaycuma-Saltukova	15	15	15	15	10,752	9
7-8 Saltukova-Filyos	15	14	14	14	10,16	9
8-9 Filyos-Çatalağzı	23	24	27	23	14,681	13
9-10 Çatalağzı-Zonguldak	15	15	15	15	10,249	9
Toplam	166	170	172	166	120,848	105

Çizelge 1a'da gösterilen Karabük-Zonguldak parkurunda tren seyir süreleri karşılaştırıldığında, mevcut durumda ortalama 168,5 dk. süren seyir süresine göre trenler, ortalama 43,03 km/s hızla seyir yapmaktadırlar. Bu durum vasati hız olan 60 km/s değerinden % 59 oranında daha düşüktür.

Çizelge 1b'de verilen Zonguldak-Karabük parkurunda tren seyir sürelerine göre, mevcut durumda ortalama 172 dakikalık seyir süresinde trenler, ortalama 42,16 km/s hızla seyir yapmaktadırlar. Bu durumdaki seyir hızı, vasati hız olan 70 km/s değerinden % 30 oranında daha düşük kalmaktadır.

**Çizelge 1b.** Zonguldak-Karabük parkurunda istasyonlar arası seyir süreleri (dk.) [15] (Transit time between consecutive stations on the Zonguldak-Karabük line (min.))

İstasyon aralığı	Mevcut duruma göre süreler (dk.)				Mesafe (km)	Vasati seyir süresi (dk)
	Yolcu5 (22621)	Yolcu6 (22625)	Yolcu7 (22627)	Yolcu8 (22633)		
10-9 Zonguldak-Çatalağzı	18	17	20	17	10,249	11
9-8 Çatalağzı-Filyos	24	24	23	28	14,681	23
8-7 Filyos-Saltukova	15	16	15	15	10,16	13
7-6 Saltukova-Çaycuma	14	13	14	14	10,752	14
6-5 Çaycuma-Gökçebey	20	21	20	20	15,9	16
5-4 Gökçebey-Kayadibi	14	14	13	14	13,698	11
4-3 Kayadibi-Yeşilyenice	16	17	16	16	12,548	10
3-2 Yeşilyenice-Bolkuş	37	37	36	36	22,58	15
2-1 Bolkuş-Karabük	14	13	13	14	10,249	10
Toplam	172	172	170	174	120,848	123

Çizelge 1a ve Çizelge 1b'de gösterilen karşılaştırmalar, trenlerin hızlandırılmasına olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Çizelge 2'de karşılıklı 8 trenin başlangıç istasyonlarından kalkış saatleri, vasati seyir sürelerine göre planlanmış duruş ve seyir süreleri verilmektedir.

Çizelge 3'te trenlerin vasati seyir sürelerine göre mevcut durum çizelgesi gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Trenlerin vasati seyir sürelerine göre planlanmış duruş ve seyir süreleri (Scheduled down times and scheduled cruise times due to the average cruise times of trains)

Trenler	Kalkış İstasyonu	Kalkış Zamanı	Planlı duruş süresi toplamı (dk.)	Planlı seyir süreleri (dk.)	Toplam süre (dk.)
1 (22626)	Karabük	07:05	36	105	141
2 (22630)	Karabük	12:55	37	105	142
3 (22632)	Karabük	15:55	39	105	144
4 (22636)	Karabük	18:10	37	105	142
5 (22621)	Zonguldak	07:30	38	123	161
6 (22625)	Zonguldak	11:30	36	123	159
7 (22627)	Zonguldak	13:25	37	123	160
8(22633)	Zonguldak	18:30	40	123	163

**Çizelge 3.** Trenlerin vasati seyir sürelerine göre mevcut durum çizelgesi (Current status schedule due to the average cruise times of trains)

Trenler	Kalkış İstasyonu	Variş istasyonu	Kalkış saati	Variş saati
1 (22626)	Karabük	Zonguldak	07:05	09:43
2 (22630)	Karabük	Zonguldak	12:55	15:27
3 (22632)	Karabük	Zonguldak	15:55	18:20
4 (22636)	Karabük	Zonguldak	18:10	20:43
5 (22621)	Zonguldak	Karabük	07:30	10:13
6 (22621)	Zonguldak	Karabük	11:30	14:13
7 (22627)	Zonguldak	Karabük	13:25	16:17
8 (22633)	Zonguldak	Karabük	18:30	21:13

**6. SONUÇLAR (RESULTS)**

Her bir tren için optimize edilen kalkış zamanı parametresinin arama uzayı saat cinsinden Çizelge 4'te

verilmiştir. Yapılan modelleme sonucunda elde edilen optimum tarife çizelgesi ise Çizelge 5'te yer almaktadır.

**Çizelge 4.** Optimizasyon problemindeki arama uzayı (Search space in the optimization problem)

	1. Tren	2. Tren	3. Tren	4. Tren	5. Tren	6. Tren	7. Tren	8. Tren
Minimum kalkış saati	06:40	11:40	16:40	20:00	05:50	10:00	15:00	20:00
Maksimum kalkış saati	07:30	12:30	17:30	20:50	06:40	10:50	15:50	20:50



**Çizelge 5.** Modelleme sonucu optimum tarife çizelgesi (Optimal schedule obtained by modeling)

Trenler	Kalkış İstasyonu	Variş istasyonu	Kalkış saati	Variş saati
1	Karabük	Zonguldak	07:14	09:39
2	Karabük	Zonguldak	12:15	14:39
3	Karabük	Zonguldak	17:30	19:55
4	Karabük	Zonguldak	20:24	22:49
5	Zonguldak	Karabük	06:40	09:23
6	Zonguldak	Karabük	10:37	13:20
7	Zonguldak	Karabük	15:50	18:33
8	Zonguldak	Karabük	20:32	23:15

Trenlerin seyahat süreleri dikkate alınarak mevcut durum çizelgesi ve optimum tarife çizelgesi karşılaştırılmış olup, her iki durum için tüm trenlerin gecikme süreleri Çizelge 6'da verilmiştir. Mevcut durumda trenlerin hattaki toplam gecikme süresi 57 dakika iken, optimum

durumdaki toplam gecikme süresi 20 dakikadır. Böylece yapılan çalışma ile gecikme süresinin toplamda 37 dakika azaldığı görülmektedir. Çizelge 7'ye göre gecikme süresindeki bu azalma ile parkurda toplam % 65 oranında verimlilik sağlanmıştır.

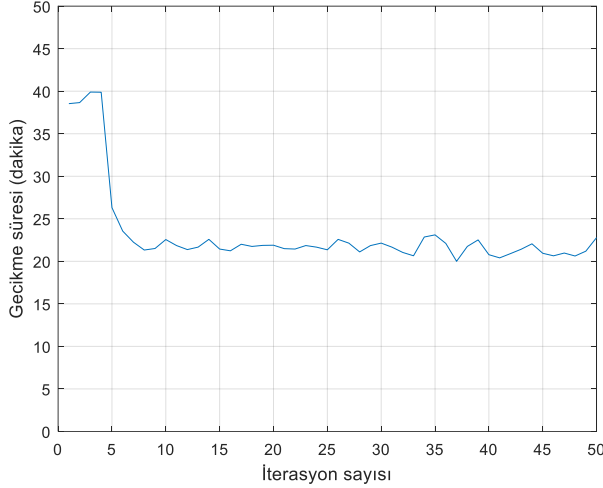
**Çizelge 6.** Mevcut durum ile optimum durumun karşılaştırılması (Comparing the current situation with the optimal situation)

Trenler	Planlı seyir süresi (dk.)	Mevcut durum				Optimum durum			
		Kalkış saati	Variş saati	Planlı variş saati	Gecikme süresi (dk.)	Kalkış saati	Variş saati	Planlı variş saati	Gecikme süresi (dk.)
1	105	07:05	09:43	09:26	17	07:14	09:39	09:35	4
2	105	12:55	15:27	15:17	10	12:15	14:39	14:36	3
3	105	15:55	18:20	18:19	1	17:30	19:55	19:54	1
4	105	18:10	20:43	20:32	11	20:24	22:49	22:46	3
5	123	7:30	10:13	10:11	2	06:40	09:23	09:21	2
6	123	11:30	14:13	14:09	4	10:37	13:20	13:16	4
7	123	13:25	16:17	16:05	12	15:50	18:33	18:30	3
8	123	18:30	21:13	21:13	0	20:32	23:15	23:15	0

**Çizelge 7.** Sonuç tablosu (The result table)

Trenler	Mevcut tarifede gecikme süresi (dk.)	Optimum tarifede gecikme süresi (dk.)
1	17	4
2	10	3
3	1	1
4	11	3
5	2	2
6	4	4
7	12	3
8	0	0

Önerilen PSO yönteminin performansını değerlendirmek için Şekil 4'te toplam gecikme süresinin sonuca yakınsaması gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü üzere hızlı bir şekilde 9. iterasyonda sonuca yaklaşık olarak yakınsamıştır. Çizelge 8'de ise algoritmada kullanılan parçacık ve iterasyon sayılarının yanında elde edilen en iyi gecikme süresi, en kötü gecikme süresi ve ortalama gecikme süresi verilmektedir. Görüldüğü üzere elde edilen en iyi gecikme süresi 20 dakikadır.



**Şekil 4.** Önerilen PSO yönteminin yakınsama performansı (Convergence performance of the proposed PSO method)

**Çizelge 8.** Önerilen PSO yönteminde kullanılan parametreler ve gecikme süreleri (The used parameters and delay times in the proposed PSO method)

Parçacık sayısı	50
İterasyon sayısı	50
Elde edilen en iyi gecikme süresi	20 dakika
Elde edilen en kötü gecikme süresi	40 dakika
Elde edilen ortalama gecikme süresi	24 dakika

## 7. DEĞERLENDİRME (EVALUATION)

Bu çalışmada Karabük-Zonguldak demiryolu hattı için tren çizelgeleme üzerinde durulmuş ve bu modelde 116,6 km'lik hat üzerinde çalışılmıştır. 10 istasyonlu 8 trenin çalıştığı parkurda, trenlerin toplam gecikme süresi 57 dakikadır. Önerilen parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tabanlı model ile MATLAB programında benzetim çalışması gerçekleştirilerek, trenlerin hareket saatleri düzenlenmiş ve gecikme süresini 37 dakika azaltarak, % 65 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

Türkiye'deki tüm demiryolu hatları ele alınarak çalışılırsa, problemin boyutu artacak olmasına rağmen, önerilen modelin sezgisel PSO tabanlı çalışması ile optimum çözümler üretebileceği ve tren gecikme sürelerinde kayda değer azalma sağlanabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

İhtiyacımız olan verilere ulaşmamızı sağlayan YHT bölge müdürlüğü EKAY müdürü Mehmet Görücü ve Karabük EKAY yetkilisi Necati Meydan'a teşekkür ederiz.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Mehmet Emin AKAY:** Karabük-Zonguldak hattında demiryolu trafiğini matematiksel olarak modellemiştir. / Obtained mathematical model of railway traffic on Karabük-Zonguldak line.

**Hilmi AYGÜN:** PSO tabanlı programlama modelini geliştirmiştir ve simülasyon sonuçlarını analiz etmiştir. / Developed a PSO based programming model and analysed the simulation results.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hansen I.A., "Railway network timetabling and dynamic traffic management", *International Journal of Civil Engineering*, 8: 19-32, (2010).
- [2] Gültekin N. and Eren T., "Demiryolu çizelgeleme probleminin modellenmesi ve çözümü", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29: 235-242, (2014).
- [3] Yaghini M., Nikoo N. and Ahadi H.R., "An integer programming model for analysing impacts of different train types on railway line capacity", *Transport*, 29: 28-35, (2014).
- [4] Dingler M.H., Lai Y-C. and Barkan C.P.L., "Impact of train type heterogeneity on single-track railway capacity", *Transportation Research Record*, 2117: 41-49, (2009).
- [5] <https://www.tcdd.gov.tr/content/31>, (06.02.2021).
- [6] Aslantaş E., "Dizel - elektrik lokomotiflerde yakıt tüketiminin araştırılması", *yüksek lisans tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2019).
- [7] Li F., Sheu J-B. and Gao Z-Y., "Deadlock analysis, prevention and train optimal travel mechanism in single-track railway system", *Transportation Research Part B: Methodological*, 68: 385-414, (2014).
- [8] Heydar M., Petering M.E.H. and Bergmann D.R., "Mixed integer programming for minimizing the period of a cyclic railway timetable for a single track with two train types", *Computers & Industrial Engineering*, 66: 171-185, (2013).

- [9] Yalçınkaya Ö. and Bayhan G.M., "A feasible timetable generator simulation modelling framework for train scheduling problem", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 20: 124-141, (2012).
- [10] Aken S.V., Bešinović N. and Goverde R.M.P., "Designing alternative railway timetables under infrastructure maintenance possessions", *Transportation Research Part B: Methodological*, 98: 224-238, (2017).
- [11] Petering M.E.H., Heydar M. and Bergmann D.R., "Mixed-integer programming for railway capacity analysis and cyclic, combined train timetabling and platforming", *Transportation Science*, 50: 892-909, (2016).
- [12] Zhang L., Qin Y., Meng X., Wang L. and Zhu T., "MPSO-based model of train operation adjustment", *Procedia Engineering*, 137: 114-123, (2016).
- [13] Lu Y., Liang M., Ye Z. and Cao L., "Improved particle swarm optimization algorithm and its application in text feature selection", *Applied Soft Computing*, 35: 629-636, (2015).
- [14] Eberhart R.C. and Shi Y., "Particle swarm optimization: developments, applications and resources", *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*, Seoul, Korea (South), 81-86, (2001).
- [15] TCDD Tarife 5, Sincan Gar - Sivas, Hanlı - Bostankaya, Irmak - Zonguldak (Başkentray Banliyö) Kısımları Trenlerinin Kalkış - Varışlarını Gösterir Tarife, TCDD Matbaası, Aralık 2019, Ankara.