



Yüksek Hızlı Trenlerde (YHT) Sefer-Makinist Eşleştirmesi

Halim DUMAN^{*1}, Fatih ÇAKIR², Hadi GÖKÇEN³

¹ TCDD Taşımacılık A.Ş., Ankara Bölge Müdürlüğü, YHT Yolcu Servis Müd., Ankara, Türkiye

² TCDD Taşımacılık A.Ş., Yolcu Dairesi Başkanlığı, YHT Şube Müd., Ankara, Türkiye

³ Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*h_duman84@hotmail.com

(Alınış/Received: 14.06.2024, Kabul/Accepted: 27.06.2024, Yayımlama/Published: 31.07.2024)

Öz: TCDD, 2003 yılında Yüksek Hızlı Tren (YHT) hatlarını ilk olarak Ankara-Eskişehir arasında döşemeye başlamıştır. 13 Mart 2009 tarihinde Ankara-Eskişehir hattının ticari seferlere açılması ile birlikte hızlı tren işletmeciliğine geçilmiştir. Seferler Ankara-Eskişehir arası 2 gidiş 2 geliş olmak üzere günde toplam 4 sefer ile başlamış olup, 04.05.2024 tarihi itibarıyla Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul, Karaman ve Sivas şehirlerine 32 gidiş, 32 geliş olmak üzere toplam 64 sefere ulaşmıştır. Artan sefer sayısı ile birlikte trenlerde görev alan personel sayısı artmış ve bu personelin planlanması da zorlaşmıştır. YHT 'lerde görev alan personelin mevcut seferler için planlaması, ilgili birimler tarafından elle (manuel olarak) yapılmaktadır. Planlamanın manuel yapılması; makinist çalışma sürelerinin dengeli olmaması ve planlamanın yetersizliği sorunlarının yanında, planlama sürecinin uzun sürmesine de sebep olmaktadır. YHT için Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul, Karaman ve Sivas hatlarına ilaveten yakın zamanda Bursa ve İzmir hatlarının da açılacak olması bu süreci daha da karmaşıklaştıracaktır. Bu çalışma ile, YHT trenlerinin optimum sefer eşleştirmesi yapılarak makinist ihtiyacının belirlenmesi sağlanmıştır. Planlama kısmının ilk aşamasında kapasite planlaması yapılmış, ikinci aşamasında ise mevcut personeli optimum çalıştırabilmek için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller CPLEX Studio IDE programında çözdürülme imkanı var iken, bu tarz programlar, ek maliyet gerektireceğinden, her problem MS Excel VBA programlama dilinde kodlanmış ve MS Excel eklentisi olan OpenSolver kullanılarak çözdürülmüştür. Geliştirilen sistemler, tüm olası durumlar için en iyi çözümleri bulabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Çizelgeleme, Küme kapsama, Tam sayılı programlama, Ekip eşleştirme

Trip-Driver Matching in High Speed Trains (HST)

Abstract: TCDD, first started track laying of the High Speed Train between Ankara and Eskişehir in 2003. With the opening of Ankara-Eskişehir line to commercial services in the 13th of March in 2009, speed train management was started. Train services started with a total of 4 trips per day, 2 departures and 2 arrivals, between Ankara and Eskişehir and as of 04.05.2024, it has reached a total of 64 train services, 32 departures and 32 arrivals, to the cities of Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul, Karaman and Sivas. With the increasing number of trips, the number of personnel working on trains has increased and the planning of this personnel has become difficult. In YHTs, the planning of personnel working for the current train services is done manually by the relevant department. Manuel planning; in addition to the problems of unbalanced machinist working hours and insufficient planning, it also causes the planning process takes a long time. For YHT, in addition to the Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul, Karaman and Sivas lines, Bursa and İzmir lines will soon be opened, which will further complicate this process. With this study, the optimum train service matching of YHT trains were determined and the need for machinist was determined. In the first stage of the planning part, capacity planning was made and in the second stage, mathematical models were developed to optimally employ the existing personnel. While it was possible to solve these developed models in the CPLEX Studio IDE program, since such programs would require additional costs, each problem was coded in the MS excel VBA programming language and solved using OpenSolver, an MS excel add-in. The developed systems can find the best solutions for all possible situations.

Keywords: Scheduling, Set covering, Integer programming, Crew scheduling

Atıf için/Cite as: H. Duman, F. Çakır, H. Gökçen, "Yüksek hızlı trenlerde (YHT) sefer-makinist eşleştirmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 20, ss. 155-168, Temmuz 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1501204

1. Giriş

Osmanlı Devleti Hakimiyeti sınırları içerisindeki ilk demiryolunun yapımına 1851 yılında Mısır'da İskenderiye-Kahire arasında yapılan demir yolu başlanarak demir yollarının ilk adımı atılmış, 31 Mayıs 1927 tarih ve 1042 sayılı kanun ile merkezi Ankara olmak üzere Devlet Demiryolları ve Limanları İdare-i Umumiyesi adı ile kurularak demiryolları kurumsallaştırılmıştır [1].

Demiryolu taşımacılığının daha verimli ve daha ekonomik olması için, Demiryolu taşımacılığının serbestleştirilmesi ve TCDD'nin yeniden yapılandırılması çalışmaları kapsamında, 1 Mayıs 2013 tarihinde 6461 Sayılı "Türkiye Demiryolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi Hakkında Kanun" yürürlüğe girmiştir. Bu kanunla TCDD altyapı işletmecisi, TCDD Taşımacılık A.Ş. ise tren işletmecisi olarak tanımlanmıştır [2].

Ülkemizde YHT yolcu taşımacılığı, 13.03.2009 tarihinde Ankara-Eskişehir yüksek hızlı demiryolu hattının işletmeye açılmasıyla birlikte başlamıştır. 2009 yılında açılan Ankara-Eskişehir hattını sıra ile Ankara-Konya, Ankara-İstanbul, Konya-İstanbul, Konya-Karaman, Ankara-Sivas ve Sivas-İstanbul takip etmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Yüksek hızlı tren hatların işletmeye açılış tarihleri

Yüksek hızlı hat kesimi	Açılış tarihi
Ankara-Eskişehir	13.03.2009
Ankara-Konya	24.08.2011
Ankara-İstanbul (Pendik)	27.07.2014
Konya-İstanbul (Pendik)	18.12.2014
Ankara-İstanbul (Söğütlüçeşme/Halkalı)	13.03.2019
Konya-İstanbul (Söğütlüçeşme/Halkalı)	13.03.2019
Konya-Karaman	8.01.2023
Ankara-Sivas	26.04.2023
Sivas-İstanbul	04.05.2024

Yeni açılan YHT hatlarına paralel yolcu sayılarındaki artışlarla birlikte 2009 yılında 2 gidiş, 2 dönüş olmak üzere 4 adet sefer ile başlanılan yolcu taşımacılığı, yıllara göre artış yaşanmış ve 04.05.2024 tarihi itibarıyla 64 sefer sayısına ulaşmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Yüksek hızlı tren güncel sefer sayıları

Güncel YHT sefer sayıları	
YHT hat kesimi	Hafta sonu
Ankara-Eskişehir-Ankara	4 (2+2)
Ankara-Konya-Ankara	14 (7+7)
Ankara-İstanbul-Ankara	28(14+14)
Konya-İstanbul-Konya	10 (5+5)
Eskişehir-İstanbul-Eskişehir	2(1+1)
Ankara-Sivas-Ankara	4(2+2)
Sivas-İstanbul-Sivas	2(1+1)
TOPLAM	64

TCDD Taşımacılık A.Ş 'ye bağlı Yolcu Dairesi Başkanlığı tarafından her yılın aralık ayında yapılan anketler, pazar araştırmaları, yolcu talepleri ve işletme şartları doğrultusunda YHT sefer planları yapılmakta, belirlenen sefer saatlerine göre, trenlerde görev alacak makinist planlaması "Turnist Planı" adı verilen bir yöntem kullanılarak belirlenmektedir.

Turnist planı; seferlerin kalkış-varış saatleri ve yerleri temel alınarak seferlerin birbirleriyle eşleştirmeleri, sonrasında da eşleştirilen seferlere makinist görevlendirilmesi ile oluşturulan çizelgelerdir. Hali hazırda çizelgeleme işlemi sonucunda, seferlerin gerçekleştirilebilmeleri için gerekli olan makinist sayıları hesaplanmakta, daha sonra, planda yer alan seferler için hesaplanan makinist sayısına atölyelerde ve depolarda manevra ve ihtiyat (acil durumlar için yedek) gibi görevler için görevlendirilecek makinist sayısı ilave edilmektedir. Son olarak yıllık izin hastalık gibi kayıplar göz önüne alınarak %20 ilave edilerek ihtiyaç duyulan makinist personel sayısı belirlenmektedir.

YHT seferleri için hazırlanan turnist planının oluşturulması uzun zaman almaktadır. Manuel olarak hazırlandığı için en ufak bir hatada veya alternatiflerin değerlendirilmesi istendiğinde yeniden oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca hazırlanan plan, bu planı hazırlayan çalışanın inisiyatifine bağlı olduğu için sistematik bir uygulamaya sokulamamaktadır. Bununla beraber, oluşturulan planın en iyi olup olmadığı değerlendirilemediği için, daha az sayıda makinist ile seferlerin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği de bilinmemektedir.

YHT 'lerde görev alan personelin planlanması ve görevlendirilmesinin yapılmasından sorumlu birim amirleri ve birim çalışanları ile yapılan görüşmeler, analizler ve gözlemler sonucunda elde edilen şikayetler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Turnist planının el ile hazırlanması ve bu yüzden fazla zaman alması,
- Ortaya çıkan planların performansı bilinmemesi, dengeli bir iş yükü oluşturulmaması,
- Giderek artan sefer ve hat sayılarının planlamayı daha da güçleştirilmesi,
- Mevcut durum için en uygun (optimal) makinist sayısının belirlenememesi,
- Turnist planı hazırlanırken fazladan harcanan iş gücü ve zaman,
- Makinistin verimli ve adaletli bir şekilde çalıştırılmamasıdır.

TCDD Taşımacılık A.Ş tarafından yayımlanan 205 numaralı genel emirde YHT makinistini, mevzuatla belirlenmiş çalışma süresi ve çalışma kuralları içerisinde emniyetli, konforlu ve ekonomik bir şekilde; iş sağlığı ve güvenliği, emniyet, çevre ve kalite standartları ile mevzuata, iş talimatına uygun olarak, tren setini teslim alan, süren, sevk ve idare eden kişiyi tanımlar.

Her YHT trenine 2 adet makinist personel görevlendirilmiştir. Makinistler seferlerden 1 saat önce görev almak ve seferlerden 30 dakika sonra görevlerini bırakmak zorundadır. Kurumda YHT makinistleri Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul ve Sivas 'da ikamet etmektedir. Turnist planlaması yapılırken; makinistlerin yaşadıkları şehirler dikkate alınmaktadır. Buna göre, makinist günlük çalışma sonrasında yaşadıkları şehre dönecek şekilde turnist planı oluşturulmaktadır. Eğer makinist günlük çalışmasını yaşadığı şehirde tamamlayamıyorsa (geceleme yapıyorsa); konaklama ve yemek ihtiyaçları kurum tarafından karşılanmaktadır.

Makinist personel 399 sayılı kanuna göre kadro karşılığı sözleşmeli personel olarak çalışmakta, haftalık çalışma süresi en fazla 40 saattir. Kurum tarafından yapılan mevzuatlar ve emirler doğrultusunda makinistin tren üzerindeki görevi 11 saati aşmamaktadır. Günlük görevler arasındaki dinlenme süresi en az 11 saat olmak zorundadır.

Çalışma kapsamında, kurumun sahip olduğu problemlerin çözümüne yönelik araştırmalar yapılmış, benzer problemleri konu edinen makale, tez ve kitaplar incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, problemin çözüm sürecinde yararlanılan çalışmalar çözüm yaklaşımlarına göre kategorize edilip Tablo 3 'de gösterilmiştir.

Tablo 3. İlgili çalışmalar

Yazar	Konu	Problem ve çözüm süreci
Yüceoğlu ve Şahin [3]	Ekip Planlama, Ekip Kapasite Planlama	Ekip kapasite planlama problemi, program büyük ölçekli olduğu için aç gözlü (Greedy) algoritma kullanılarak çözülmüştür. Kapasite hesaplamasında 24 saatlik dinlenmeleri kısıt olarak kullanarak, matematiksel yöntem olarak minimum akış problemi incelenmiştir. Yöntemler karşılaştırıldığında açgözlü algoritmanın daha iyi sayısal sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.
Mingozzi et al [4]	Ekip Eşleştirme-Küme Ayırıştırma-Kapsama	Küme ayırıştırma matrisini kullanmadan küme ayırıştırma modelinin doğrusal programlama gevşetmesinin ikiline sezgisel bir çözüm bularak, ekip çizelgeleme problemine bir alt sınır hesaplamışlardır. İkil çözümleri, modeldeki değişken sayısını azaltmada kullanılmışlardır.
Bengtsson, Galia, Gustafsson, Hjorring and Kohl [5]	Ekip Eşleştirme	Eşleştirme probleminde sütun türetme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile en kısa yol numaralandırılmasına dayanarak maliyetlendirme problemi çözülmüştür. El ile yapılan planlamaya göre %15 kar elde edilmiştir.
Ernst ve Jiang [6]	Ekip Çizelgeleme	Ekip çizelgeleme ve ekip listeleme probleminin çözümü için tümleşik optimizasyon modeli önerilmiştir. Problemin geleneksel modellerden farkı her bölgede bulunan mürettebat sayısını da dikkate almasıdır. Elde edilen sayısal sonuçlar, iş gücünün azaltılabileceğini göstermiştir.
Bazargan [7]	Ekip Atama-Eşleştirme	Bir uçağın art arda alabileceği seferlerden oluşan eşleşmeler listesi hazırlanmıştır. İlk olarak, olası bütün eşleşmelerden hangilerinin kullanılacağına karar veren model kurulmuştur. Bu modelin optimal sonucuna dayanarak, karar verilen eşleşmelere uygun ekip atamalarını yapan ikinci model oluşturulmuştur. İkinci modelde, ekibin uygun çalışma gün ve saat bilgisinden yola çıkarak hazırlanan, yeni bir eşleşme kullanılmıştır. Bu yeni eşleşmede, her bir ekip için yer alabileceği olası tüm eşleşmeler kombinasyonu bulunmaktadır
Frisch, Hungerlander ve Jellen [8]	Demiryolu Ekip Çizelgeleme	Gerçek hayatta demiryolu personel planlaması (çizelgeleme problemi) için modelleme çalışması yürütülmüştür. Geniş öncelikli arama yöntemi kullanılarak eşleştirme algoritmalar belirlenmiş ve tam sayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak ekip eşleştirmeleri oluşturulmuştur. Tüm görevleri sağlayacak minimum sayıdaki eşleşmenin seçilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan algoritmalar programlama dilinde yazmış olduğumuz kodlara ışık tutmuştur

Bu çalışmada, YHT sefer-makinist eşleştirme problemimize en uygun kısıtlara ve amaç fonksiyonuna sahip olan Bazargan'ın yaklaşımı, Frisch, Hungerlander ve Jellen çalışmalarında kullanmış olduğu algoritmalar ve küme ayırıştırma-kapsama yöntemi temel alınarak matematiksel modeller oluşturulmuştur.

2. Metot

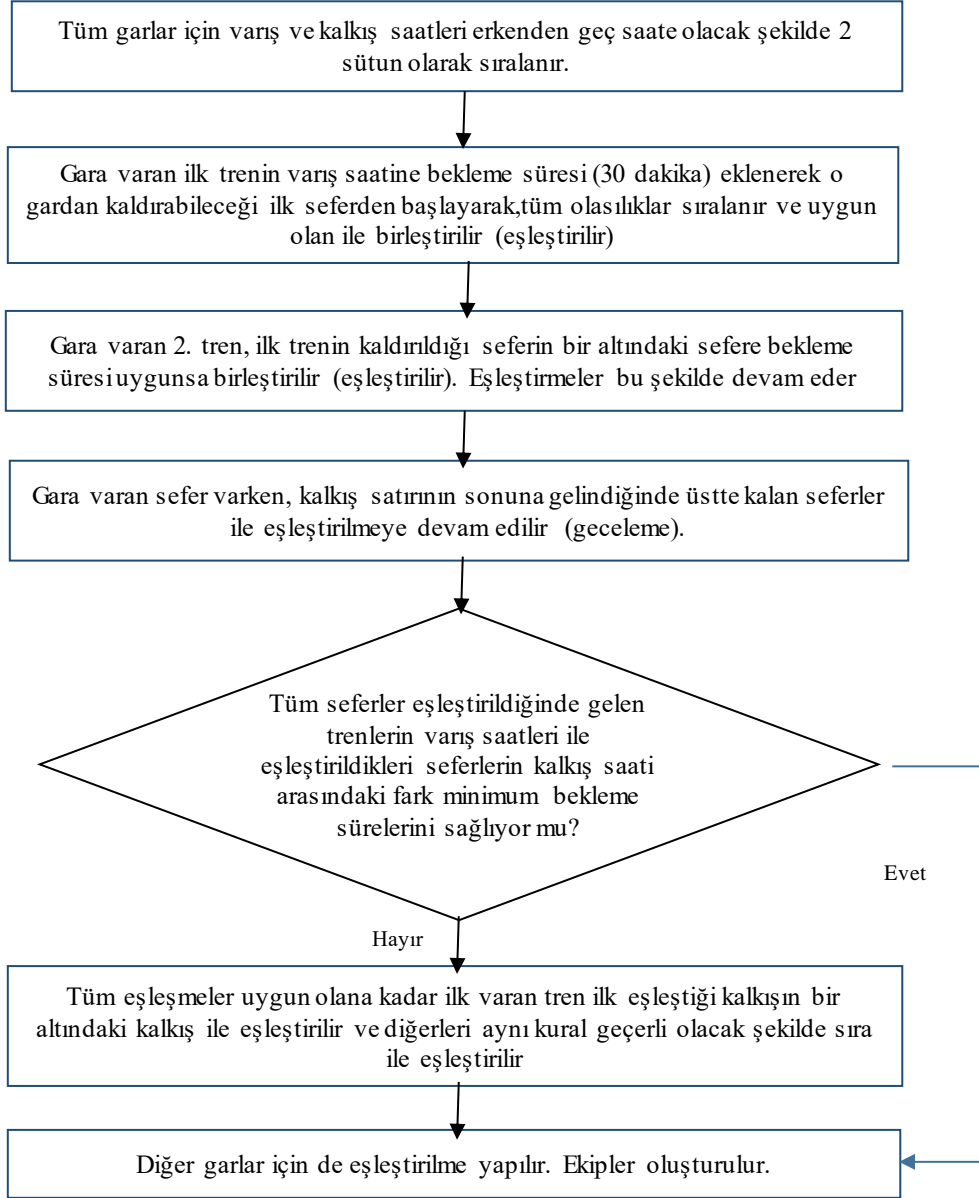
Demiryolu ekip çizelgeleme için, Ball and Roberts problemi bir dizi alt probleme ayırıştırarak, küme ayırıştırma'yı bir şebeke üzerinde gerçekleştiren bir yordam önermişlerdir [9, 10]. Öncelik atamalı aylık bir ekip çizelgeleme problemini çözmek için, şebeke boyama ve tabu arama algoritması tabanlı bir yöntem kullanmıştır.

YHT hattı için Sefer-makinist planlaması (turnist planı) oluşturma işleminin adımları aşağıdaki gibidir:

- 1) Sefer-makinist eşleştirilmesi.
- 2) İhtiyaç duyulan makinist personel sayısının belirlenmesi.

2.1. Sefer-makinist eşleştirmesi ve matematiksel modeller

Bir trenin seferini tamamladığı istasyondan sırada hangi seferi alacağını belirlediği çalışma planına eşleştirme denir. Eşleştirmede trenlerin hareket saatleri ve ara bekleme süreleri ve personelin günlük en fazla çalışma süresi (11 saat) dikkate alınır; alacakları bir sonraki sefer ve varacakları istasyon belirtilir. Sefer eşleştirmesi aynı zamanda da makinist eşleştirmesi anlamındadır. Kurum personelinin manuel yapmış olduğu ekip eşleştirmesine ilişkin süreç akış şeması Şekil 1’de verilmektedir.



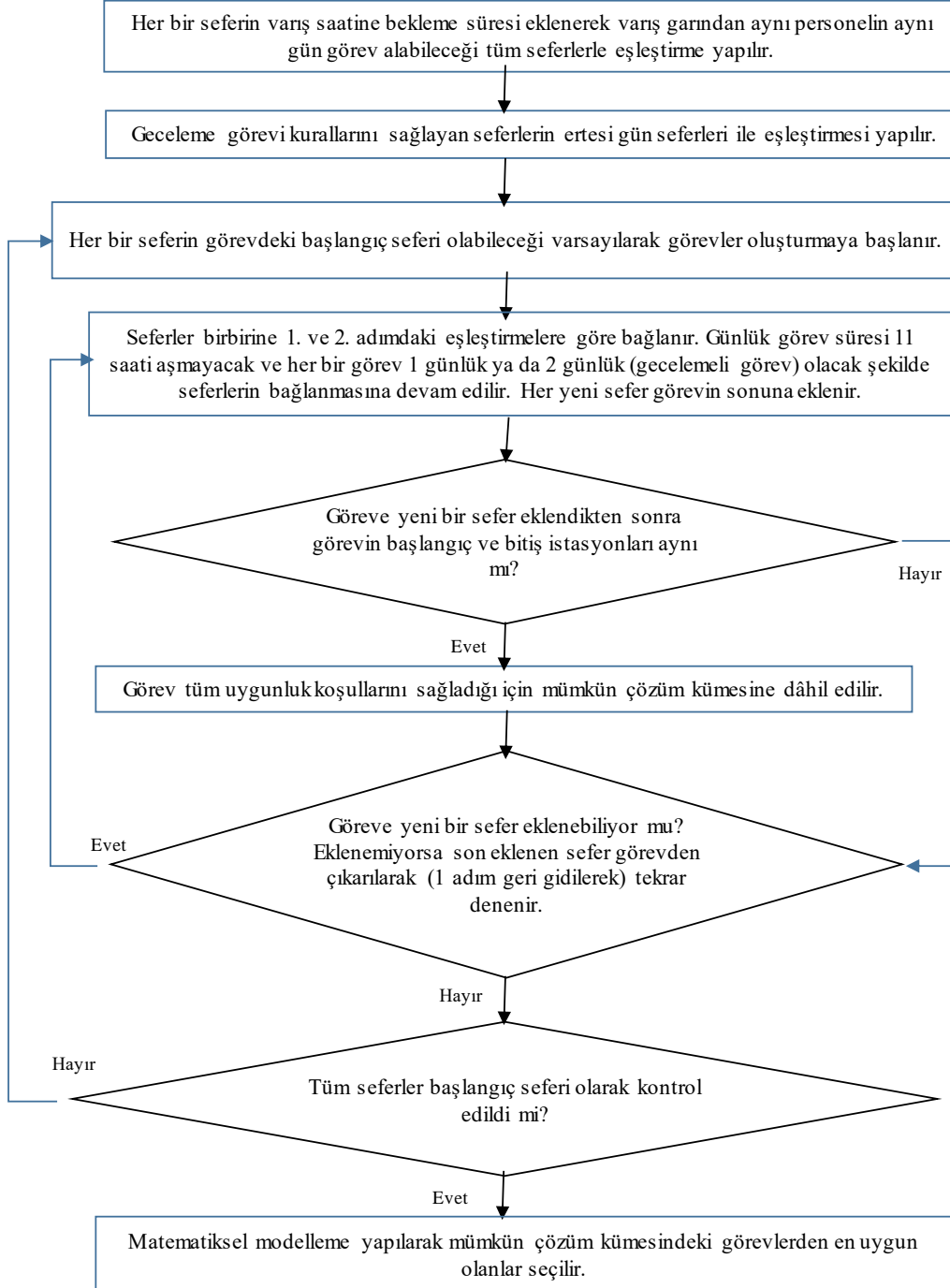
Şekil 1. Eşleştirme süreç akış şeması

Süreç akış şemasından da anlaşılacağı üzere;

- Seferlerin kalkış ve varış saatleri en erken saatten en geç saate doğru sıralanır.

- Gara varan ilk tren, varış saatine bekleme süresi de eklenerek o gardan kaldırabileceği ilk seferle eşlenir. Buna paralel olacak şekilde gara varan ikinci tren, ilk trenin atandığı seferden bir sonraki sefere atanır. Sıra ile bütün atamalar bu şekilde yapılır.
- Eşleşmelerde kalkış sütununun sonuna gelindiğinde, sıradaki eşleşmeyen varış seferi en baştaki kalkış seferi ile eşleşir. Aynı sırayı takip ederek atanamayan diğer seferlerin eşleşmesi gerçekleştirilir.

Bu çalışma kapsamında yapılan eşleştirmeye ilişkin eşleştirme ve matematiksel modelleme süreç akış şeması Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Eşleştirme ve matematiksel modelleme süreç akış şeması

Bu çalışmada kullanılan bazı kavramların tanımları aşağıda verilmiştir:

Tren seferi; belirli bir şehirden başka bir şehre giden, kalkış ve varış zamanı ile seyir süresi belirli olan aralıksız bir tren seferini ifade eder.

İş alış merkezi; çizelgeleme yapılacak YHT makinistlerinin ikamet ettiği şehirdir. Tren seferlerini gerçekleştirecek olan ekiplerin, göreve iş alış merkezin' den başlayıp yine aynı şehirde görevlerinin son bulması gerekmektedir. İş alış merkezleri Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul ve Sivas şehirleridir.

Görev; personel için günlük iş değeridir.

Görev süresi; birbirinden kısa dinlenme süreleri ile ayrılan birden fazla tren seferinin toplam süresini ifade eder.

Görev süresine dâhil olan iş alma ve iş bırakma süresi; sırasıyla, makinistin görev aldıktan sonra trenin hareket saatine kadar geçen süre ile trenin varış saatinden itibaren makinistin görevi bırakmasına kadar geçen süreleri ifade eder [11].

Toplam görev süresi; kısaca iş alma ile iş bırakma süresi arasında geçen zamanların toplamıdır.

$$\text{Toplam görev süresi (iş yükü)} = \sum(\text{Toplam Görev Süreleri} + \text{Toplam Kısa Dinlenme Süreleri} + \text{İş Alma ve İş Bırakma Süreleri}) \quad (1)$$

Kendi merkezinden uzakta geçen zaman (KMUGZ); bir eşleştirmedeki görev süreleri arasında bulunan gece dinlenmelerini içeren toplam zaman olarak tanımlanır. Eşleştirmede kendi şehirden uzakta geçen toplam zamanı ifade eder [12].

$$\text{KMUGZ} = \sum \text{Toplam görev süreleri} + \sum \text{Uzun dinlenme(geceleme) süreleri} \quad (2)$$

Eşleştirme içinde ardışık iki görev süresi arasında gerçekleşen dinlenme süreleri uzun dinlenme, bir görev süresi içerisindeki ardışık iki tren seferi arasında gerçekleşen dinlenmeler ise kısa dinlenme olarak adlandırılmaktadır.

Kısıtlar: TCDD Taşımacılık A.Ş. 'nin 08.11.2023 tarihli 505531 sayılı "Makinist personelin çalışma ve dinlenme saatleri hakkında" Genel Müdürlük yazısı ile "makinistlerin günlük 8 saat çalıştırılması 3 saat fazla çalışma ile toplam 11 saat çalışmasını geçmeyecektir." ve "Makinistlere kendi merkezlerinde ve harici merkezlerde en az 11 saatlik dinlenme süresi verilecektir." denilmektedir. Buna göre bir görev süresi içerisinde kendi ve harici merkezde en az dinlenme süresi 11 saat (660 dk.) ve toplam görev süresi en fazla 11 saat (660 dk.) olmalıdır.

Matematiksel modeller:

a) Optimal makinist sayısının belirlenmesi (Kapasite planlama):

Küme kapsama modeli, tüm tren seferleri en az bir ekip eşleştirmesi tarafından kapsanacak şekilde toplam makinist eşleştirmesini (makinist sayısını) en küçükmeyi amaçlamaktadır. Sonuç tam sayılı bir çözüm olup, en iyi çözümde aynı tren seferi birden fazla eşleştirme tarafından kapsanabilmektedir [13]. Model, tüm YHT seferlerinin kalkış ve varış yerlerini, kalkış ve varış saatlerini, toplam sefer sayısını, sefer sürelerini ve bir makinist bir günde alabileceği seferlerden oluşan eşleşmelerin sayısını parametre olarak ele almaktadır. Model için veriler Tablo 4 'den elde edilmiştir.

Tablo 4. Yüksek hızlı tren sefer saatleri

No	Ank	Esk	Süre	No	Esk	Ank	Süre	No	Halk	Esk	Süre
81001	06:00	07:18	1:18	81002	09:03	10:27	1:24	81006	07:10	11:09	3:59
81003	06:50	08:11	1:21	81004	10:05	11:26	1:21	81008	08:50	12:47	3:57
81005	07:30	08:48	1:18	81006	11:14	12:38	1:24	81304	08:20	12:23	4:03
81007	08:35	09:56	1:21	81458	11:47	13:06	1:19	No	Esk	Halk	Süre
81009	09:50	11:08	1:18	81008	12:52	14:16	1:24	81023	18:08	21:53	3:45
81011	11:00	12:21	1:21	81012	13:37	14:58	1:21	81025	18:46	22:33	3:47
81013	12:05	13:23	1:18	81014	14:13	15:37	1:24	81307	19:00	22:47	3:47
81015	13:10	14:31	1:21	81016	15:20	16:41	1:21	No	Ank	Kar	Süre
81017	14:15	15:33	1:18	81018	16:03	17:27	1:24	81201	06:30	09:11	2:41
81019	15:10	16:31	1:21	81020	17:18	18:42	1:24	81207	16:30	19:11	2:41
81459	15:52	17:08	1:16	81022	18:01	19:25	1:24	No	Kar	Ank	Süre
81023	16:45	18:03	1:18	81024	19:29	20:50	1:21	81206	10:50	13:31	2:41
81025	17:20	18:41	1:21	81026	20:33	21:57	1:24	81212	20:10	22:51	2:41
81027	18:25	19:46	1:21	81028	21:41	23:05	1:24	No	Ank	Kon	Süre
81029	19:35	20:53	1:18	81030	22:27	23:48	1:21	81203	09:15	11:01	1:46
81101	11:40	13:01	1:21	81100	06:36	08:00	1:24	81205	12:20	14:06	1:46
81103	17:50	19:11	1:21	81104	14:40	16:04	1:24	81209	18:10	19:57	1:47
No	S.çeş	Esk	Süre	No	Esk	S.çeş	Süre	81211	20:25	22:12	1:47
81002	06:00	08:58	2:58	81501	06:35	09:36	3:01	81213	21:10	22:56	1:46
81004	07:15	10:00	2:45	81301	07:49	10:46	2:57	No	Kon	Ank	Süre
81458	08:40	11:42	3:02	81303	10:34	13:25	2:51	81200	06:25	08:10	1:45
81012	10:35	13:32	2:57	81305	14:09	17:07	2:58	81204	09:15	11:01	1:46
81014	11:10	14:08	2:58	81309	20:24	23:22	2:58	81208	15:25	17:10	1:45
81016	12:20	15:15	2:55	81001	07:23	10:05	2:42	81210	17:30	19:15	1:45
81018	13:00	15:58	2:58	81003	08:16	11:21	3:05	81214	21:30	23:15	1:45
81020	14:20	17:13	2:53	81005	08:53	11:47	2:54	No	Kon	Esk	Süre
81022	14:50	17:56	3:06	81007	10:01	12:59	2:58	81301	06:00	07:44	1:44
81024	16:30	19:24	2:54	81009	11:15	14:10	2:55	81303	08:45	10:29	1:44
81026	17:30	20:28	2:58	81011	12:26	15:27	3:01	81305	12:20	14:04	1:44
81028	18:35	21:36	3:01	81013	13:28	16:15	2:47	81309	18:35	20:19	1:44
81030	19:35	22:22	2:47	81015	14:36	17:29	2:53	No	Esk	Kon	Süre
81302	06:30	09:28	2:58	81017	15:38	18:26	2:48	81302	09:33	11:19	1:46
81306	11:50	14:46	2:56	81019	16:36	19:33	2:57	81306	14:51	16:37	1:46
81308	15:30	18:35	3:05	81459	17:13	20:08	2:55	81308	18:40	20:26	1:46
81310	19:05	22:08	3:03	81027	19:51	22:48	2:57	81310	22:13	23:59	1:46
81502	20:35	23:47	3:12	81029	20:58	23:46	2:48	No	Kar	Esk	Süre
No	Ank	Siv	Süre	No	Siv	Ank	Süre	81307	16:15	18:55	2:40
81402	07:35	10:13	2:38	81401	07:30	10:07	2:37	No	Esk	Kar	Süre
81458	13:20	15:58	2:38	81459	13:00	15:37	2:37	81304	12:28	15:09	2:41
81404	18:40	21:18	2:38	81403	18:00	20:37	2:37				

Matematiksel modelin çözüm için kullanacağı veri, bir makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri gösteren bir uygunluk matrisi olarak MS Excel VBA'da oluşturulmuştur. Buna göre, bir makinist alabileceği seferin kalkış yeri ve varış yeri aynı olmak koşuluyla, kullanıcı tarafından belirlenen kalkış ve varış saatleri arasında minimum bekleme süresi (30 dakika) ve yönetmelikte belirtilen bir makinistin günlük en az 11 saat dinlenmesi göz önünde bulundurularak uygunluk değeri 1, aksi halde 0 olacaktır.

Kurulan modelin amaç fonksiyonu; tüm seferleri sağlayacak minimum sayıdaki eşleşmenin seçilmesidir. Eşleşmeler makinistin bir günde aldığı seferleri gösterdiği için, seçilen her eşleşme 2 makiniste karşılık gelmektedir. Dolayısıyla, bu modelde kurumun tüm seferleri karşılayacak makinist sayısının en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Makinist için geliştirilen günlük eşleşme modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Kapasite planlama problemi makinist için modellenmiştir. Buna göre T seferler kümesi, P olası tüm eşleşmeler kümesi olarak tanımlanmıştır. a_{pt} parametresi, $p \in P$ eşleşmesi $t \in T$ seferini kapsıyorsa 1 yoksa 0 değerini almaktadır. Ayrıca C_p de her $p \in P$ için eşleşme maliyetini göstermektedir. Diğer yandan her iki problemde de verilecek karar, herhangi bir $p \in P$ eşleşmesinin optimal çözümde (planda) seçilip seçilemeyeceğidir ve,

$$X_p = \begin{cases} 1, p \text{ eşleşmesi seçildiye} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \forall p \in P$$

şeklinde tanımlanır. Buna göre makinist için kapasite planlama problemleri aşağıdaki gibi oluşturulur:

Makinist kapasitesi (KP_{makinist})

$$\text{Min} \sum_{p \in P} C_p X_p$$

Kısıtlar;

$$\sum_{p \in P} a_{pt} * X_p \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (3)$$

$$X_p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P$$

Burada amaç, bütün seferlerin kapsanmasını Denklem 3. kısıtla sağlayarak toplam eşleşme sayısını en küçüklemeektir.

b) Mevcut makinist sayısına göre verimli sefer-makinist çizelgesinin elde edilmesi:

Kapasite planlamada kullanılan formüllere ilave olarak Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul ve Sivas'ta yaşayan makinist sayıları da parametre olarak belirlenmiştir. Matematiksel modelin çözüm için kullanacağı veri, bir önceki matematiksel modelde kullanılmış olan uygunluk ve maliyet matrisidir.

Kurulan modelin amaç fonksiyonu, mevcut sistemde bulunan makinist sayısı için tüm seferleri sağlayacak verimli bir çalışma planı oluşturmaktır. Eşleşmeler makinistin bir günde aldığı seferleri gösterdiği için, seçilen her eşleşme bir makiniste karşılık gelmektedir. Dolayısıyla, bu modelde kurumun sahip olduğu makinist sayısı kadar eşleşme seçilmiştir. Makinist için geliştirilen günlük eşleşme modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Kapasite planlama problemlerinde kullanılan tanımlara ek olarak, $A \subset P$ Ankara makinisti, $E \subset P$ Eskişehir makinisti, $K \subset P$ Konya makinisti, $İ \subset P$ İstanbul makinisti, $S \subset P$ Sivas makinisti tarafından yapılacak eşleşmeleri ifade etmektedir. Ayrıca H_a , H_e , H_i , H_s ve H_k parametreleri sırasıyla Ankara, Eskişehir, İstanbul, Sivas ve Konya'daki makinist sayısını göstermektedir. Her iki problemde de verilecek karar, herhangi bir $p \in P$ eşleşmesinin optimal çözümde (planda) seçilip seçilemeyeceğidir ve,

$$X_p = \begin{cases} 1, p \text{ eşleşmesi seçildiye} \\ 0, \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \forall p \in P$$

şeklinde tanımlanır. Buna göre mevcut sayıdaki makinist için verimli çizelgeler oluşturma (MMVÇ) problemleri aşağıdaki gibi oluşturulur:

$MMVC_{\text{makinist}}$:

$$\text{Min} \sum_{p \in P} C_p X_p$$

Kısıtlar;

$$\sum_{p \in P} a_{pt} X_p \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{p \in A} a_{pt} X_p \geq H_a \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{p \in E} a_{pt} X_p \geq H_e \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{p \in K} a_{pt} X_p \geq H_i \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{p \in K} a_{pt} X_p \geq H_s \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{p \in K} a_{pt} X_p \geq H_k \quad \forall t \in T \quad (9)$$

$$X_p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P$$

Burada amaç, bütün seferlerin kapsanmasını Denklem 4. ve en az Ankara, Eskişehir, İstanbul, Sivas ve Konya'da mevcut sayıda bulunan makinist kadar eşleşme sağlanmasını Denklem 5., 6.,7., 8. ve Denklem 9. kısıtları sağlayarak verimli bir çalışma planı oluşturmaktır.

Bir şehre gelen ve giden tren sayısının eşit olması, çizelgenin başladığı merkezde sonlanması, kendi merkezinden uzakta (geceleme) dinlenme süresi (en az 11 saat), bir makinistin alabileceği en fazla görev süresi (en fazla 11 saat) ve gün içerisinde iki görev arası en az bekleme (30 dakika) kısıtları MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak oluşturulmuştur.

2.2. İhtiyaç duyulan toplam makinist sayısının belirlenmesi

TCDD Taşımacılık A.Ş idaresi tarafından en son yayınlanan genel müdürlük emrinde personelin günlük çalışma süresi 11 saate düştüğünden personel ihtiyacı doğacağını bununda matematiksel yöntemlerle hesaplanması istenmiştir. Bu talep, çalışmanın amacına uygun olarak eşleştirme sonrası personel sayısı belirlenerek ihtiyaç listesi oluşturulmuştur. Makinist sayısı aşağıda belirtilen hesaplama yöntemi ile belirlenir.

$$\text{Makinist ihtiyacı} = \text{Yıllık toplam iş yükü} / \text{bir makinist (yapabileceği) yıllık iş yükü}$$

$$\text{Yıllık toplam iş yükü} = \text{Eşleşme ile oluşan makinist günlük iş yükü} \times 365 \text{ gün}$$

$$\begin{aligned} \text{Bir makinist yıllık iş yükü} &= \text{Yıllık çalışabileceği gün sayısı} \times \text{günlük çalışma süresi (8 saat)} \\ &= 221 \times 8 = 1768 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yıllık çalışacağı gün sayısı} &= 365 - (\text{yıllık izin} + \text{haftalık tatil} + \text{resmi tatil}) \\ &= 221 \text{ gün (ortalama)} \end{aligned}$$

Makinistlerin günlük iş yükü; günlük ekip eşleşmesi oluşturulduktan sonra, günlük toplam iş yükü sürelerinin toplamı olarak ifade edilir.

3. Bulgular

YHT sefer-makinist eşleştirme problemimize en uygun kısıtlara ve amaç fonksiyonuna sahip olan Bazargan'ın yaklaşımı, Frisch, Hungerlander ve Jellen çalışmalarında kullanmış olduğu algoritmalar ve küme ayrıştırma-kapsama temel alınarak matematiksel modeller oluşturularak makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri gösteren bir uygunluk matrisi MS Excel VBA programlama dilinde kodlanmıştır. Daha sonra modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte MS Excel eklentisi olan OpenSolver kullanılarak çözdürülmüştür. Elde edilen veriler Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7 'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1. En iyi sefer-makinist eşleşmesinin elde edilmesi

Bu çalışma kapsamında, Matematiksel modelin çözüm için kullanacağı veri Tablo 4. 'ten elde edilmiştir. Mevcut durumdan bağımsız makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri gösteren bir uygunluk matrisi MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak oluşturulmuş ve modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte MS Excel eklentisi olan OpenSolver kullanılarak çözdürülmüştür. Program sayesinde kapasite planlaması yapılarak YHT trenleri için en iyi sefer-makinist eşleşmesi yapılmıştır. Yapılan sefer-makinist eşleşmesi sonrası makinist sayıları Tablo 5 'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Eşleşme sonrası günlük trenlerde görev alacak optimal makinist sayısı tablosu

İş merkezleri	Ankara	Sivas	Eskişehir	İstanbul	Konya	Toplam
Eşleşme sonrası günlük trenlerde görev alacak makinist sayısı	38	4	24	14	14	94

3.2. Mevcut makinist sayısına göre sefer-makinist eşleşmesinin elde edilmesi

Mevcut sayıdaki (Ankara'da 77, Eskişehir'de 38, Konya'da 16, İstanbul'da 12 ve Sivas'ta 10 makinist) makinistlere göre verimli çalışma çizelgeleri oluşturmak için kurulan matematiksel modeller (bölüm 2.1. (b) 'de verilen matematiksel model), makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri (3.197 eşleşme) gösteren bir uygunluk matrisi MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak oluşturulmuş, modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte MS Excel eklentisi olan OpenSolver kullanılarak çözdürülmüştür. Mevcut sistemde, yaklaşık 2-3 gün harcanarak yapılan planlama çalışmaları, bu sistem ile yaklaşık 1-2 dakika da çözüm vermektedir. Çözüm sonucunda optimal eşleştirme elde edilmiştir. Ekip sayısına ve günlük eşleşme çizelgesine ilişkin sonuçlar Tablo 6 'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Günlük eşleşme tablosu

Ekp	İş mr	Parkur	Tren no	Kalk.	Variş	Per.	Seyir	G. sür	İş yük
1	Ank.	An-Siv-Ank	81402-81459	07:35	15:37	2	08:02	09:32	19,07
2	Ank.	Ank.-Siv.-Ank.	81458-81403	13:20	20:37	2	07:17	08:47	17,57
3	Ank.	An-Siv-Ank	81001-81012	06:00	14:58	2	08:58	10:28	20,93
4	Ank.	Ank-S.çeş-Ank	81005-81016	07:30	16:41	2	09:11	10:41	21,37
5	Ank.	Ank-Esk-Ank-Esk-Ank	81017-18-27-28	14:15	23:05	2	08:50	10:20	20,67
6	Ank.	Ank-Esk-Kon-Ank	81019-81308-81214	15:10	23:15	2	08:05	09:35	19,17
7	Ank.	Ank-Esk-Ank-Esk-Ank	81101-81014-25-24	11:40	20:50	2	09:10	10:40	21,33
8	Ank.	Ank-Kar-Ank	81201-81206	06:30	13:31	2	07:01	08:31	17,03
9	Ank.	Ank-Kar-Ank	81207-81212	16:30	22:51	2	06:21	07:51	15,70
10	Ank.	Ank-Esk-S.çeş (geç)	81003-81003	06:50	11:21	2	04:31	06:01	12,03
11	Ank.	Halk-Esk-Ank	81006-81458	07:10	13:06	2	05:56	07:26	14,87
12	Ank.	Ank-Esk-S.çeş (geç)	81009-81009	09:50	14:10	2	04:20	05:50	11,67
13	Ank.	Halk-Esk-Ank	81008-81008	08:50	14:16	2	05:26	06:56	13,87
14	Ank.	Ank-Esk-Hal(geç)	81459-81023	15:52	21:53	2	06:01	07:31	15,03
15	Ank.	S.çeş-Esk-Ank	81026-81026	17:30	21:57	2	04:27	05:57	11,90

16	Ank.	Ank-Esk-Hal (gec)	81025-81025	17:20	22:33	2	05:13	06:43	13,43
17	Ank.	S.çeş-Esk-Ank	81022-81022	14:50	19:25	2	04:35	06:05	12,17
18	Ank.	Ank-Esk-S.çeş (gec)	81103-81027	17:50	22:48	2	04:58	06:28	12,93
19	Ank.	S.çeş-Esk-Ank	81028-81030	18:35	23:48	2	05:13	06:43	13,43
20	Siv.	Siv-Ank-Siv	81401-81458	07:30	15:58	2	08:28	09:58	19,93
21	Siv.	Siv-Ank-Siv	81459-81404	13:00	21:18	2	08:18	09:48	19,60
22	Esk.	Esk-S.çeş-Esk	81501-81014	06:35	14:08	2	07:33	09:03	18,10
23	Esk.	Esk-S.çeş-Esk	81017-81030	15:38	22:22	2	06:44	08:14	16,47
24	Esk.	Eskiş-Kar-Esk	81304-81307	12:28	18:55	2	06:27	07:57	15,90
25	Esk.	Esk-S.çeş-Esk	81019-81502	16:36	23:47	2	07:11	08:41	17,37
26	Esk.	Esk-Ank-Esk-S.çeş (gec)	81006-15-81459	11:14	20:08	2	08:54	10:24	20,80
27	Esk.	S.çeşme-Esk.	81308	15:30	18:35	2	03:05	04:35	9,17
28	Esk.	Eski-Ank-Esk-Hal(gec)	81014-23-81307	14:13	22:47	2	08:34	10:04	20,13
29	Esk.	S.çeşme-Esk.	81018	13:00	15:58	2	02:58	04:28	8,93
30	Esk.	Esk-Ank-S.çeş (gec)	81100-81007	06:36	12:59	2	06:23	07:53	15,77
31	Esk.	Halkalı-Esk.	81304	08:20	12:23	2	04:03	05:33	11,10
32	Esk.	Esk-S.çeş-Kon (gec)	81015-81310	14:36	23:59	2	09:23	10:53	21,77
33	Esk.	Kon.-Esk.	81309	18:35	20:19	2	01:44	03:14	6,47
34	S.çeş	S.çeş-Ank-S.çeş	81002-81011	06:00	15:27	2	09:27	10:57	21,90
35	S.çeş	S.çeş-Ank-S.çeş	81004-81013	07:15	16:15	2	09:00	10:30	21,00
36	S.çeş	S.çeşme-Esk-S.çeş	81458-81305	08:40	17:07	2	08:27	09:57	19,90
37	S.çeş	S.çeşme-Ank-S.çeş	81020-81029	14:20	23:46	2	09:26	10:56	21,87
38	S.çeş	S.çeşme-Esk-Kon (gec)	81306-81306	11:50	16:37	2	04:47	06:17	12,57
39	S.çeş	Kon-Esk-S.çeşme	81303-81303	08:45	13:25	2	04:40	06:10	12,33
40	S.çeş	S.çeşme-Esk-S.çeşme	81024-81309	16:30	23:22	2	06:52	08:22	16,73
41	Kon.	Kon.-Ank-Kon.	81204-81205	09:15	14:06	2	04:51	06:21	12,70
42	Kon.	Kon.-Ank-Kon.	81208-81213	15:25	22:56	2	07:31	09:01	18,03
43	Kon.	Kon.-Ank-Kon.	81210-81211	17:30	22:12	2	04:42	06:12	12,40
44	Kon.	Kon.-Ank-Kon.	81200-81203	06:25	11:01	2	04:36	06:06	12,20
45	Kon.	Kon.-Esk-Ank-Kon	81305-81104-81209	12:20	19:57	2	07:37	09:07	18,23
46	Kon.	Kon.-S.çeşme (gec)	81301	06:00	10:46	2	04:46	06:16	12,53
47	Kon.	S.çeşme-Kon.	81302	06:30	11:19	2	04:49	06:19	12,63

3.3 Toplam ihtiyaç duyulan makinist sayısı

Mevcut sistemde kurum Ankara'da 77, Eskişehir'de 38, Konya'da 16, İstanbul'da 12 ve Sivas'ta 10 makinist olmak toplam 153 makinist bulunmaktadır. Bu makinistlerin 28 adeti manevra ve ihtiyatta kullanılmaktadır. Geriye kalan makinistler (125 adet) YHT seferleri, yıllık ve haftalık izin için ayrılmaktadır. Aşağıda yer alan Tablo 7 'de görüleceği üzere bu sayı; seferler ve izinler için yetersiz kalmakta dolayısıyla makinistler aşırı fazla mesai yapmakta ve yeterince dinlenememektedir.

Toplam makinist sayısı bölüm 2.2. 'de verilen hesaplama yöntemi ile hesaplanarak Tablo 6. yer alan verilerden yararlanılarak hesaplanmaktadır. YHT hatlarında çalışan her tren için 2 makinist görevlendirilmektedir. Toplam makinist ihtiyacını Tablo 7 'de verilmiştir.

Tablo 7. YHT trenlerinde görev alacak gerekli makinist sayısı

Güzergah	Ankara	Sivas	Eskişehir	İstanbul	Konya	Toplam
Eşleşme ile trenlere verilen makinist sayısı	38	4	24	14	14	94
Atölye / depo / ihtiyat	12	4	4	6	2	28
Yıllık + haftalık izin	33	7	17	16	7	80
Toplam makinist ihtiyacı	83	15	45	36	23	202

4. Sonuç

YHT 'lerde görev alan personelin mevcut seferler için planlaması ilgili birimler tarafından manuel olarak yapılmaktadır. Planlamanın manuel yapılması; makinist çalışma sürelerinin dengeli olmaması ve planlamanın yetersizliği sorunlarının yanında, planlama sürecinin uzun sürmesine de sebep olmaktadır. Çalışma kapsamında, makinist bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri (3.197 eşleşme) gösteren bir uygunluk matrisi MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak oluşturulmuş ve modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte MS Excel eklentisi olan OpenSolver kullanılarak çözdürülmüş ve 47 ekip (94 adet makinist) çizelgesi oluşturulmuştur. Program olası durumlar için en iyi çözümleri bulabilmektedir.

Bu çalışmanın kuruma sunduğu katkılar aşağıda verilmiştir:

- Kurumun beklentisi üzerine, model sayesinde makinist planlama çizelgeleri oluşturulurken, otomatik bir sistem yardımıyla kişiden bağımsız sistematik bir yaklaşım ele alınmıştır.
- Yapılan bu çalışma ile manuel olarak gerçekleştirilen çizelge hazırlama işleminde çalışanların iş yükleri azalmıştır.
- Makinistlere dengeli ve adaletli bir çalışma çizelgesi sunulmuştur.
- Makinistlerin verimli şekilde çalışması sağlanmıştır.
- Yeni yayımlanan Genel Müdürlük emrine göre hangi merkezlere ne kadar makinist ihtiyacının olduğu belirlenmiştir.
- Yeni sefer ve hat eklenmesi gibi gelecekte görülebilecek birçok durumda, tasarlanan sistem sayesinde dakikalar içinde yeni plan elde edilebilmektedir.
- Gelecekte açılması planlanan Bursa, İzmir, Kayseri gibi hatların eklenmesi durumunda planlamanın elle yapılmasının çok zor olması, yapılırsa bile çok uzun zaman alacak olması engeli ortadan kalkmıştır.

Teşekkür

TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürü Ufuk YALÇIN 'a, Yolcu Dairesi Başkanı Erhan TEPE 'ye ve Yolcu Dairesi Başkan yardımcısı Rahmi Kamil GAYDA 'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] İ. Yıldırım, "Cumhuriyet Döneminde Demiryolları (1923-1950)", *Atatürk Araştırma Merkezi (ATAM)*, Ankara, 2001
- [2] TCDD Taşımacılık A.Ş., erişim: 1 Haziran 2024, <http://www.tcddtasimacilik.gov.tr/sayfa/hakkimizda/> sitesinden 1 haziran 2024 tarihinde alınmıştır.
- [3] G. Şahin ve B. Yüceoğlu, "Tactical crew planning in railways", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47 (6), 1221-1243, 2011.
- [4] A. Mingozzi, M.A. Boschetti, S. Ricciardelli, Et Al., "A Set partitioning approach to the crew scheduling problem", *Operations Research*, 47 (6): 873-888, 1999.
- [5] L. Bengtsson, R. Galia, T. Gustafsson, C. Hjørring, N. Kohl, "Railway crew pairing optimization", *Algorithmic Methods for Railway Optimization*, 126-144, 2007
- [6] A. T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, B. Owens, D. Sier, "An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering", *Annals of Operations Research*, 127, 21- 144, 2004.
- [7] Bazargan, Massoud, *Airline Operations and Scheduling*. U.S.A, 2004
- [8] S. Frisch, P. Hungerlander and A. Jellen. "On a real-world railway crew scheduling problem", *Transportation Research Procedia*, 62, 824-831, 2022.
- [9] M. Ball, A. Roberts, "A Graph partitioning approach to airline crew scheduling", *Transportation Science*, 19 (2): 107-126, 1985.

- [10] M. Gamache, A. Hertz, J.O. Ouellet, “A Graph coloring model for a feasibility problem in monthly crew scheduling with preferential bidding”, *Computers & Operations Research*, 34 (8): 2384-2395, 2007.
- [11] Y. Üstündağ, “Ekip çizelgeleme problemi”, *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 1, ss. 72–83, Aralık 2014.
- [12] T. Park, K.R. Ryu, “Crew pairing optimization by a genetic algorithm with unexpressed genes”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17 (4): 375-383, 2006/a.
- [13] G. Çankaya, M. Arıkan, “Sütun oluşturma algoritması ile bir havayolu ekip çizelgelemesi uygulaması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 24:1 43-50, 2009.

Özgeçmiş



Halim DUMAN

1984 Ordu doğumludur. 2006 yılı Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği lisans mezunudur. 15 yıllık Demiryolculuk yaşamında YHT Yolcu Servis Müdürlüğünde; tren ve personel planlama, iş geliştirme, süreç iyileştirme, istatistik gibi işlerin yürütülmesinde görev almıştır. Halen bu birimde çalışmaya devam etmektedir.

E-Posta: h_duman84@hotmail.com



Fatih ÇAKIR

1981 Giresun doğumludur. 2006 yılı Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği lisans mezunudur. 13 yıllık Demiryolculuk yaşamında YHT Şube Müdürlüğünde; tren planlama, iş geliştirme, süreç iyileştirme, istatistik gibi işlerin yürütülmesinde görev almıştır. Halen bu birimde çalışmaya devam etmektedir.

E-Posta: fat2019@gmail.com



Hadi GÖKÇEN

1987 yılında Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1989 ve 1994 yıllarında Gazi Üniversitesi'nden Endüstri Mühendisliği alanında yüksek lisans ve doktora derecelerini aldı. Dr. Gökçen, 1998 yılında imalat ve hizmet sistemleri alanında Doçent unvanını, 2004 yılında ise Profesör unvanını almıştır. Araştırma alanları arasında; Çok Amaçlı Optimizasyon, Doğrusal Programlama, Tamsayı ve Karma Tamsayı Programlama, Üretim Planlama ve Kontrol, Karar Destek Sistemleri ve Tedarik Zinciri ve Lojistik Yönetimi yer almaktadır.

E-Posta: hgokcen@gazi.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Halim DUMAN: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama, Görselleştirme, Düzenleme, İnceleme, Yazılım. Fatih ÇAKIR: Kaynaklar, İnceleme, Kontrol, Yazılım. Hadi GÖKÇEN: Kontrol, Düzenleme ve İnceleme.