



YÜKSEK HIZLI TRENLERDE (YHT) SEFER-MAKİNİST EŞLEŞTİRMESİ

Halim DUMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Halim DUMAN

23/12/2024

YÜKSEK HIZLI TRENLERDE (YHT) SEFER-MAKİNİST EŞLEŞTİRMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Halim DUMAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2024

ÖZET

TCDD, 2003 yılında Yüksek Hızlı Tren (YHT) hatlarını ilk olarak Ankara-Eskişehir arasında döşemeye başlamıştır. 13 Mart 2009 tarihinde Ankara-Eskişehir-Ankara hattının ticari seferlere açılması ile birlikte hızlı tren işletmeciliğine geçilmiştir. Seferler Ankara-Eskişehir arası 2'si gidiş, 2'si geliş olmak üzere günlük 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 planlanması, ilgili birimler tarafından elle (manuel olarak) yapılmaktadır. Planlamanın manuel yapılması; makinist çalışma sürelerinin dengesiz olması ve yetersiz planlama sorunları ile birlikte planlama safhasının da uzun sürmesine neden olmaktadır. YHT için Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul, Karaman ve Sivas hatlarına ek olarak önümüzdeki yıllarda Bursa, İzmir ve Kayseri hatlarının da açılacak olması bu süreci daha da karmaşıklatacaktır. Bu çalışma ile, YHT trenlerinin optimum sefer eşleştirmesi yapılarak makinist ihtiyacının belirlenmesi sağlanmıştır. Planlama sürecinde ilk olarak kapasite planlaması yapılmış, sonrasında ise mevcut personeli optimum çalıştırabilmek için matematiksel modeller geliştirilmiştir. İki aşamadan oluşan sefer-makinist eşleşmesinin birinci aşamasında, makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri gösteren bir eşleşme kümesi (uygunluk matrisi), Sarah Frisch ve arkadaşlarının geliştirmiş olduğu Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritmasından yararlanılarak, MS Excel VBA programlama dilinde kodlanıp oluşturulmuştur. İkinci aşamada Küme Kapsama yöntemi kullanılarak modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte MS Excel eklentisi olan OpenSolver'da problem çözdürülmüştür. Sefer-makinist eşleştirme programı olası durumlar için en iyi çözümleri bulabilmektedir.

Bilim Kodu : 90628

Anahtar Kelimeler : Çizelgeleme, küme kapsama, sezgisel algoritma, ekip eşleştirme

Sayfa Adedi : 84

Danışman : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TRIP-DRIVER MATCHING IN HIGH SPEED TRAINS (HST)

(M. Sc. Thesis)

Halim DUMAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2024

ABSTRACT

TCDD, first started track laying of the High Speed Train between Ankara and Eskişehir in 2003. With the opening of Ankara-Eskişehir-Ankara 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. Manual planning; in addition to the problems of unbalanced machinist working hours and insufficient planning, it also causes the planning process to take a long time. For YHT, in addition to the Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul, Karaman and Sivas lines, Bursa, İzmir and Kayseri 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 planning process, firstly capacity planning was done and then mathematical models were developed to make the existing staff work optimally. In the first stage of the two-stage train service-machinist matching, a match set (suitability matrix) showing all possible matches consisting of the service that the machinist can take in a day was created by coding in MS excel VBA programming language using the Breadth-First-Search Construction Heuristic Algorithm developed by Sarah Frisch and her colleagues. In the second stage, it was solved using the MS Excel add-in OpenSolver together with the constraints of the model and the objective function, by using the Set Covering method. The train service-machinist matching programme can find the best solutions for possible situations.

Science Code : 90628

Key Words : Scheduling, set covering, heuristic algorithm, crew scheduling

Page Number : 84

Supervisor : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TEŞEKKÜR

Tezimin çalışma safhasında, kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol göstermesi, desteklemesi ve sabır göstermesi nedeniyle değerli Hocam Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarına destek sağlayan TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürlüğüne, Yolcu Dairesi Başkanlığına, YHT Bölge Müdürlüğüne ve YHT Yolcu Servis Müdürlüğüne,

Bana çalışmamın programlama safhasında destek olan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşım ve meslektaşım Fatih ÇAKIR'a,

Canım aileme, özellikle eşim Sanem Özer DUMAN'a, kızım Zeynep DUMAN'a ve oğlum Ömer Selim DUMAN'a gösterdikleri özveri, sabır ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. YHT İŞLETMECİLİĞİ TARİHSEL GELİŞİMİ VE ÜLKEMİZDEKİ DURUMU	7
2.1. YHT İşletmeciliği Tanımı	7
2.2. YHT İşletmeciliğinin Özellikleri.....	9
2.2.1. Çevresel.....	9
2.2.2. Ulaşılabilirlik.....	9
2.2.3. Hız	10
2.3. YHT İşletmeciliğinde Maliyet.....	11
2.4. YHT İşletmecilik Süreci	12
2.4.1. YHT İşletmeciliğinin dünyadaki gelişimi	13
2.4.2. YHT İşletmeciliğinin Türkiye'deki gelişimi.....	18
3. YHT İŞLETMECİLİĞİNDE PLANLAMA SÜRECİ.....	27
3.1. Tren Hizmet Planlaması	27

	Sayfa
3.1.1. Talep tahmin.....	28
3.1.2. Kaynak kullanımı	28
3.1.3. Hat kapasite kısıtları.....	28
3.1.4. Tamir bakım gereklilikleri	29
3.1.5. YHT ara istasyonları	29
3.2. YHT Sefer Çizelgesi Oluşturma	29
3.3. YHT Tren Planı (Set planı)	30
3.4. YHT Tarife (Turnist) Planı (Ekip Eşleştirme)	31
3.5. YHT Makinist Ekip Atama	32
4. YHT İŞLETMECİLİĞİNDE EKİP EŞLEŞTİRME	33
4.1. Personel ve Ekip Çizelgeleme (Eşleştirme)	33
4.2. Ekip Eşleştirme Problem Tipleri	34
5. EKİP EŞLEŞTİRME YAKLAŞIMLARI	37
5.1. Matematiksel Programlama Yöntemleri	37
5.1.1. Satır yöntemi	37
5.1.2. Sütun türetme algoritması	37
5.1.3. Şebeke yöntemi	38
5.1.4. Doğrusal programlama yaklaşımı	38
5.1.5. Dantzig-wolfe ayrıştırması.....	38
5.1.6. Dal-sınır algoritması	39
5.2. Sezgisel Yöntemler	39
5.2.1. Genetik algoritma yaklaşımı	39
5.2.2. Sinir ağı yaklaşımı	40
5.2.3. Çoklu şebeke akış modeli	40

Sayfa

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	41
7. YHT'LERDE SEFER-MAKİNİST EŞLEŞTİRMESİ UYGULAMASI	45
7.1. Sefer-Makinist Eşleştirmesi	46
7.1.1. Makinist için olası tüm eşleşmeler kümesi oluşturulması.....	52
7.1.2. Matematiksel modeller	56
7.2. İhtiyaç Duyulan Toplam Makinist Sayısının Belirlenmesi	59
7.3. Bulgular	60
7.3.1. En iyi sefer-makinist eşleşmesinin elde edilmesi.....	60
7.3.2. Mevcut makinist sayısına göre sefer-makinist eşleşmesi.....	60
7.3.3. Toplam ihtiyaç duyulan makinist sayısı.....	63
8. SONUÇ	65
KAYNAKLAR	67
EKLER.....	73
EK-1. YHT tren hareket saatleri	74
EK-2. Program ara yüzü	75
EK-3. Olası tüm eşleşmeler kümesi ara yüzü	76
EK-4. Program kodları.....	77
EK-5. OpenSolver çözüm sonuçları	82
ÖZGEÇMİŞ	84

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. YHT hatların faaliyete başlama tarihleri.....	1
Çizelge 1.2. Yüksek hızlı tren güncel günlük sefer sayıları	2
Çizelge 2.1. Ülkemizde ve dünyada YHT istatistiği (milyar-yolcu km)	16
Çizelge 2.2. Ticari faaliyette olan YHT hatları.....	20
Çizelge.2.3. İnşaatı devam eden YHT hatları	21
Çizelge 2.4. YHT sefer sayıları.....	22
Çizelge 7.1. Yüksek hızlı tren sefer saatleri	53
Çizelge 7.2. Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritması.....	55
Çizelge 7.3. Eşleşme sonrası trenlerde görev alacak optimum makinist sayısı.....	60
Çizelge 7.4. Günlük sefer-makinist eşleşme tablosu	61
Çizelge 7.5. Günlük depo/ihtiyat/manevra/test görevleri için makinist sayısı	63
Çizelge 7.6. Günlük eşleştirme sonrası YHT seferlerine verilen makinist sayısı.....	63
Çizelge 7.7. YHT trenlerinde görev alacak gerekli makinist sayısı	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Güçlü ve zayıf yönler (SWOT) analizi	3
Şekil 1.2. Kök neden analizi	4
Şekil 2.1. Hızlı tren taşımacılığının diğer ulaşım türleri ile karşılaştırılması	8
Şekil 2.2. Hız artışının faydaları	11
Şekil 2.3. YHT işletmeciliğinde önemli tarihler	14
Şekil 2.4. UIC bölgelerine göre YHT işletmeciliği yapılan ağ uzunluğu	15
Şekil 2.5. 2009-2024 yıllar arası YHT yolcu sayıları	23
Şekil 2.6. YHT'lerin yıl bazlı ortalama doluluğu	24
Şekil 2.7. YHT'lerde seyahat eden yolcuların YHT'yi tercih nedeni.....	25
Şekil 2.8. Yolcuların hangi amaçla YHT'lerde seyahat ettikleri	25
Şekil 2.9. YHT ile seyahat eden yolcuların memnuniyet oranları	26
Şekil 7.1. Sistem girdi ve çıktı şeması.	45
Şekil 7.2. Eşleştirme süreç akış şeması.....	49
Şekil 7.3. Eşleştirme ve matematiksel modelleme süreç akış şeması.....	50
Şekil 7.4. Eşleştirme kümesi (matrisi) oluşturma	54
Şekil 7.5. Günlük sefer-makinist eşleşme Gantt diyagramı.....	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. YHT Siemens ve Caf setleri.....	31



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Ülkemizde faaliyette, inşaat ve plan-proje safhasında olan YHT hatları	19
Harita 2.2. Ülkemizde ticari faaliyette olan YHT hatları.....	19



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

km/sa

1 saatte katedilen mesafe

yolcu-km

Bir yolcunun bir km mesafeye taşınması

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB

Avrupa Birliği

KİT

Kamu İktisadi Teşebbüsü

TCDD

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi

UAB

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı

UIC

Uluslararası Demiryolu Birliği

YHT

Yüksek Hızlı Tren

1. GİRİŞ

“Osmanlı Devleti Hâkimiyeti 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” (Atatürk Araştırma Merkezi (ATAM), 2001).

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 alt yapı işletmecisi, TCDD Taşımacılık A.Ş. ise tren işletmecisi olarak tanımlanmıştır” (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).

Ülkemizde YHT yolcu işletmeciliği, 13 Mart 2009 tarihinde Ankara-Eskişehir-Ankara YHT hattının işletmeye açılmasıyla birlikte faaliyete başlamıştır. 2009 yılında açılan Ankara-Eskişehir-Ankara hattını sıra ile Ankara-Konya-Ankara, Ankara-İstanbul-Ankara, Konya-İstanbul-Konya, Konya-Karaman-Konya, Ankara-Sivas-Ankara ve Sivas-İstanbul-Sivas hatları takip etmiş olup, YHT hatlarının işletmeye açılış tarihleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. YHT hatların faaliyete başlama tarihleri

Yüksek Hızlı Hat Kesimi	Açılış Tarihi
Ankara-Eskişehir-Ankara	13.03.2009
Ankara-Konya-Ankara	24.08.2011
Ankara-İstanbul (Pendik)-Ankara	27.07.2014
Konya-İstanbul (Pendik)-Konya	18.12.2014
Ankara-İstanbul (Söğütluçeşme/Halkalı)-Ankara	13.03.2019
Konya-İstanbul (Söğütluçeşme/Halkalı)-Konya	13.03.2019
Konya-Karaman-Konya	8.01.2022
Ankara-Sivas-Ankara	26.04.2023
Sivas-İstanbul-Sivas	04.05.2024

Yeni açılan YHT hatlarına paralel yolcu sayılarındaki artışlarla birlikte 2009 yılında 2'si gidiş, 2'si dönüş toplam 4 adet YHT seferi ile başlanılan yolcu taşımacılığında, yıllara göre artış yaşanmış ve 04.05.2024 tarihi itibarıyla 64 sefer sayısına ulaşmış olup, YHT hatlarına ilişkin güncel günlük sefer sayıları Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Yüksek hızlı tren güncel günlük sefer sayıları

Güncel YHT Günlük Sefer Sayıları	
YHT hat kesimi	Sefer Sayıları (gidiş+dönüş)
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, anket çalışmaları, pazar araştırmaları, yolcu talepleri ve işletme şartları doğrultusunda YHT sefer planları yapılmakta, belirlenen sefer saatlerine göre trenlerde görev alacak makinist planlaması " Tarife (Turnist) Planı " adı verilen bir yöntem kullanılarak belirlenmektedir.

Tarife (turnist) planı; seferlerin kalkış-varış saatleri ve yerleri temel alınarak seferlerin birbirleriyle eşleştirilmeleri, 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 %25 ilave edilerek ihtiyaç duyulan makinist personel sayısı belirlenmektedir.

YHT seferleri için hazırlanan tarife (turnist) planının oluşturulması uzun zaman almaktadır. Manuel (elle) olarak hazırlandığı için en ufak bir hatada veya alternatiflerin değerlendirilmesi istendiğinde yeniden oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca hazırlanan plan, bu planı hazırlayan personelin 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, mevcut sistem analizleri ve gözlemler sonucunda elde edilen şikayetler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

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

Kurumda kullanılan mevcut sistemin güçlü ve zayıf taraflarını, fırsatlarını ve tehditlerini daha ayrıntılı inceleyebilmek amacıyla oluşturulan SWOT Analizi Şekil 1.1'de verilmiştir.

S Güçlü	• Tecrübeli Çalışanlar • Yeniliklere Açık Olma • Manüel Olmasına Rağmen İyi Sonuç Veren Yöntem	• İş Süreçlerinde Son Teknolojinin Yakından Takip Edilmemesi • Katı Bürokrasi • Makinist Çalışma Çizelgelerinin Hızlı Güncellenememesi	W Zayıf
O Fırsat	• Teknolojideki Gelişmeler • Hızlı Tren Popülaritesi	• Ulaşım Sektöründeki Diğer Alternatifler	T Tehdit

Şekil 1.1. Güçlü ve zayıf yönler (SWOT) analizi

Planlamada yer alan personel ile kurum yetkililerinin şikayet ve talepleri doğrultusunda, sorunların temeline inmek amacıyla kök-neden analizleri hazırlanmış ve Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Kök-neden analizleri

Yapılan kök-neden ve SWOT analizleri, kurumun problemlerinin daha açık bir şekilde anlaşılmasına ve çözüm için izlenmesi planlanan yöntemlerin belirlenmesine yardımcı olmuştur. Kök-neden analizinin çıkış noktası olarak planlamanın yetersizliği görülmüş ve en iyi planlamayı verip vermediği ihtimali üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda kurumun zayıf yönlerini işaret eden ve tehdit olarak görülen özellikler, yapılan çalışmalarla iyileştirilmeye çalışılmıştır. Analizden elde edilen sonuca göre de, kurumun makinist planlamasında kullanılan iş gücünü en aza indirecek, hızlı sonuç veren, kişiden bağımsız, esnek ve dinamik bir sisteme ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Kurum tarafından belirtilen şikayetler ve yapılan analizler doğrultusunda gelişen beklentiler şöyle sıralanabilir:

- Tarife (Turnist) planı hazırlanırken fazladan harcanan iş gücünün ve zamanın ortadan kaldırılması,
- Artan sefer sayıları ve açılacak yeni hatların işletilmesinde kullanılabilecek, personel planlama sisteminin geliştirilmesi,
- Makinistlerin verimli ve adaletli bir şekilde çalıştırılmasıdır.

Kurumun beklentilerinin analiz edilmesinden sonra yapılan gözlemlerle mevcut sistemin eksikleri belirlenmiş ve aşağıda sıralanmıştır.

- Makinist planlamasında analitik yöntem eksikliği,

- Makinistlerin çalışma saatlerindeki dengesiz iş yükü dağılımı,
- Makinistlerin haftalık çalışma saatinin çok üzerinde (fazla mesai) çalıştırılmalarıdır.

Buna göre yapılan bu çalışma ile kurumun makinist planlamasında kullanılan iş gücünü en aza indirecek, hızlı sonuç veren, kişiden bağımsız, esnek, dinamik ve makinistlerin çalışma sürelerinde dengeli ve adaletli bir iş yükünün olduğu bir sistem kurulması amaçlanmıştır.

TCDD Taşımacılık A.Ş. tarafından yayımlanan 205 numaralı genel emirde YHT makinisti, “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 kişi” olarak tanımlanır.

Her YHT treninde 2 adet makinist personel görevlendirilmiştir. Makinistler seferlerden 1 saat önce görev almak ve seferler bittikten 30 dakika sonra görevlerini bırakmak zorundadır. Kurumda YHT makinistleri Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul ve Sivas’da ikamet etmektedir. Tarife (turnist) planlaması yapılırken; makinistlerin yaşadıkları şehirler dikkate alınmaktadır. Buna göre, makinist günlük çalışma sonrasında yaşadıkları şehre dönecek şekilde tarife (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.

Bu çalışma ile birlikte kurum tarafından manuel yapılan tarife (turnist) planını, YHT sefer-makinist eşleşmesi optimizasyon programı ile birlikte otomasyon sistemine dönüştürerek, hızlı, esnek ve en iyi sonuç veren bir planlama sürecine geçiş yapılmıştır.

Çalışmamızın ikinci bölümünde Yüksek Hızlı Tren işletmeciliği, tanımı, gelişimi, ülkemizdeki yeri ve konumu, YHT yatırımları, vatandaşların YHT ‘yi tercih nedenleri, YHT

yolcu memnuniyeti ile dünyada YHT işlemeciliğinin tarihsel gelişimi hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmamızın üçüncü bölümünde YHT işlemeciliğinde planlama süreci ele alınmış, planlama aşamalarından tren hizmet planlaması, YHT sefer çizelgesi oluşturma, YHT set planı ve çalışmamızın konusu kapsamına giren ekip eşleştirmesi üzerinde durulmuştur.

Çalışmamızın dördüncü bölümünde ekip eşleştirmesinin tanımı ve eşleştirme problem türleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmamızın beşinci bölümde ekip eşleştirme yaklaşımları ele alınmış, literatürde kullanılan matematiksel ve sezgisel yöntemlere yer verilmiştir.

Çalışmamızın altıncı bölümünde literatür taraması yapılarak, ulaştırma sektörü ve demiryolu üzerine ekip eşleştirme çalışmalarına yer verilmiştir.

Çalışmamızın yedinci bölümünde TCDD Taşımacılık A.Ş.'de sefer-makinist eşleştirmesi problemi üzerine uygulama yapılmıştır. Uygulama iki aşamadan oluşmuş, birinci aşamasında Sarah Frisch ve arkadaşlarının (2022) geliştirmiş olduğu Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritmasından yararlanılarak MS Excel VBA programlama dilinde kodlanıp olası tüm eşleştirme kümesi (uygunluk matrisi) oluşturulmuştur. İkinci aşamada küme kapsama yöntemi kullanılarak, modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte MS Excel eklentisi olan OpenSolver'da problem çözdürülmüştür. Elde edilen sefer-makinist eşleşme tablosundan yararlanılarak kurumun ihtiyaç duyduğu makinist personel sayısı hesaplanmıştır. Sefer-makinist eşleşmesi uygulaması mevcut durum ve çalışmanın sonucunda elde edilen veriler mukayese edilmiş ve son bölüm olan sonuçlar (sekizinci bölüm) kısmında çalışmanın katkıları ve kuruma sağlamış olduğu faydalara yer verilmiştir.

2. YHT İŞLETMECİLİĞİ TARİHSEL GELİŞİMİ VE ÜLKEMİZDEKİ DURUMU

Bu bölümünde Yüksek Hızlı Tren (YHT) işletmeciliğinin tanımı, gelişimi, özellikleri, avantajları ve yolcular açısından tercih nedenlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca Türkiye ve dünyadaki YHT işletmeciliği hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. YHT İşletmeciliği Tanımı

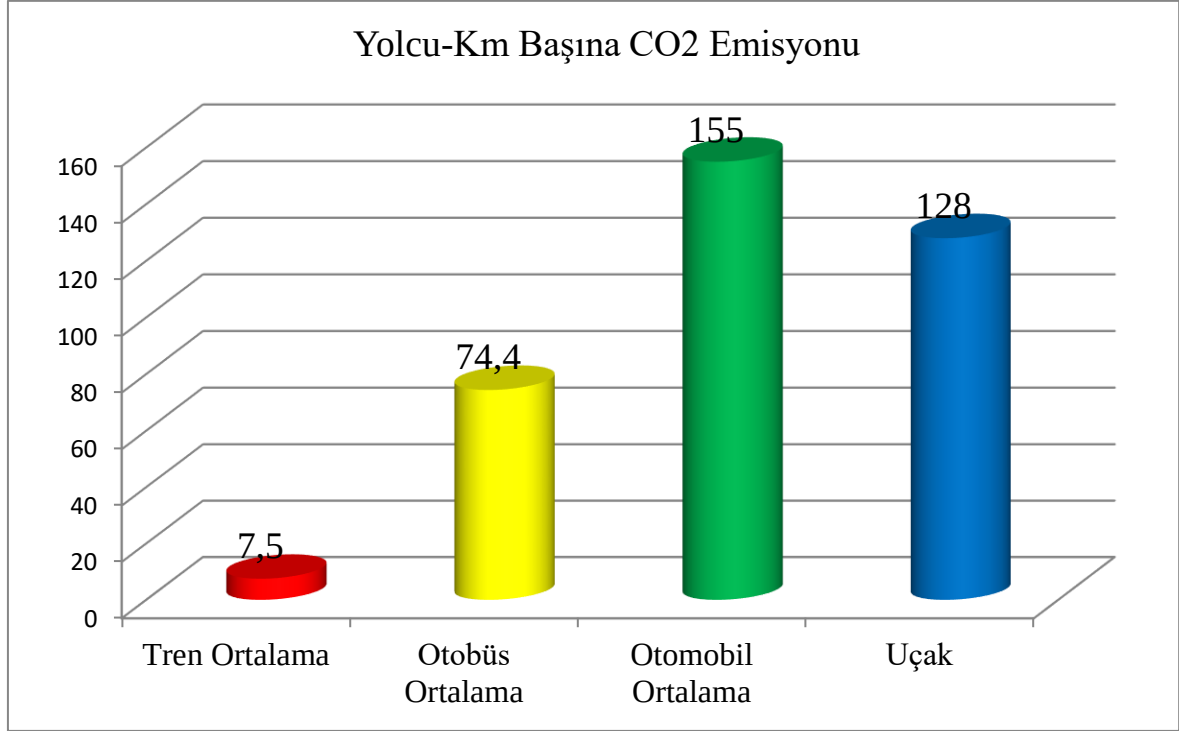
Yüksek hızlı tren tanımı hız, çevresel, ekonomik açıdan ele alınabilir.

Hız açısından Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC) göre, 250 km/h ve üstü hıza uygun yeni demiryolu hatları ve 200 km/h ve üstü hıza uygun geliştirilmiş mevcut demiryolu hatları yaygın olarak yüksek hızlı demiryolu olarak kabul edilir (UIC, 2011).

Çevresel açıdan, YHT işletmeciliği “AB'nin ulaşım ve uyum politikası hedeflerini destekleyebilecek çevresel performans ve sosyo-ekonomik faydalara sahip, konforlu, emniyetli, esnek ve çevresel olarak sürdürülebilir bir ulaşım türü” şeklinde yer almaktadır (European Court of Auditors, 2018).

Ekonomik açıdan, YHT işletmeciliği “yüksek kaliteli hizmetlere sahip, bölgeleri işlevsel olarak entegre edebilen, bölgesel boyutlara, nüfusa ve aktiviteye sahip, önemli kalkınma fenomenleri üretebilen ekonomik bir makro bölgenin yaratılmasına izin veren bir demiryolu işletmeciliği” şeklinde tanımlanmıştır (Russo, 2021).

YHT CO2 emisyonu düşük olan çevre dostu bir ulaşım türüdür. Şekil 2.1’de ulaşım şekillerine göre CO2 emisyonu değerleri karşılaştırılması verilmiştir (UIC, 2024).



Şekil 2.1. Hızlı tren taşımacılığının diğer ulaşım türleri ile karşılaştırılması

Şekil 2.1 ‘den anlaşılabacağı üzere otomobiller ortalama 155 değere, uçak 128, otobüs ortalama 74,4 değere sahip iken YHT 7,5 CO2 değere sahip olup, en düşük CO2 değerine sahip ulaşım türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

YHT kullanımının uzun vadede ulusal CO2 emisyon oranlarında ve operasyon maliyetlerinde makul bir düşüşe yol açabileceğini göstermektedir (Krishnan, Kastrouni, Pyrialakou, Gkritza ve McCalley, 2015).

Dünyadaki toplam enerji tüketimi ve emisyon oranının yaklaşık üçte biri ulaştırma sektörüne aittir (European Commission, 2014). Yüksek hızlı trenler enerjilerini alternatif enerji kaynaklarından temin ettiklerinden karbon emisyon oranlarının düşüşüne katkı sunmaktadır.

Havayolu ve karayolu ile mukayese edildiğinde YHT işletmeciliği, trenlerin yüksek kapasitesinden dolayı taşıdığı yolcu sayısının fazla olması ve enerji kaynağı açısından yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilen elektrik kullanılmasından dolayı sürdürülebilir bir alternatif olarak görülmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği politikasında izlenen en önemli faktör olan daha az CO2 emisyonu konusunda diğer ulaşım türlerine göre daha yeşil bir ulaşım türü olarak değerlendirilmektedir (Akerman, 2011).

YHT sektörü, daha sürdürülebilir ulaşımaya yönelik destekleyici politikaların bir parçası olarak Türkiye başta olmak üzere birçok ülkede şehirlerarası ulaşım için önemli bir yatırım alanı haline gelmektedir (Dalkic ve ark., 2017).

2.2. YHT İşletmeciliğinin Özellikleri

YHT İşletmeciliğinde altyapısal ve operasyonel birçok özelliklerini aşağıda belirtildiği şekilde sıralayabiliriz.

2.2.1. Çevresel

Karbon emisyonları dikkate alındığında, havayolu ve karayolu işletmeciliğine göre daha düşük karbon oranına sahip olan YHT'nin çevresel olarak faydalı olduğu ve iklim değişikliğini azaltma stratejilerinde önemli bir role sahip olduğu belirtilmektedir (Dalkic ve ark., 2017).

YHT işletmeciliğinin çevreye olan olumlu sonuçlarının yanında altyapı ve istasyon inşaatı, araç üretimi, bakımı, yakıt üretimi gibi YHT sistemlerinin operasyonel olmayan yönleri incelendiğinde önemli miktarda enerji kullanımının ve sera gazı emisyonlarının olduğu ifade edilmekte ve bu sebeple eleştirilmektedir (Andrade ve D'Agosto, 2016).

2.2.2. Ulaşılabilirlik

Yüksek hızlı tren hatlarının ağ mimarisi, küçük ve yolcu potansiyeli düşük olan şehirlerle büyük ve yolcu potansiyeli yüksek şehirler arasında “hub and spoke” olarak adlandırılan ulaşım imkânı sağlamaktadır. Böylelikle şehirlerarası frekans artırılarak diğer noktalara erişilebilirlik oranı artmaktadır. Bu ağ mimarileri ulusal olarak tasarlandığından ve en büyük şehir genellikle (Ankara, Paris, İstanbul, Madrid ve Tokyo'da olduğu gibi) merkezi bir konuma sahip olan ve “hub” nokta olarak adlandırılan başkentler olmaktadır. Bu merkezi noktaya uzanan daha az kapasiteye sahip birçok yan ulaşım ağları (spoke) geliştirilerek ülke içinde daha fazla noktaya ulaşım mümkün hale getirilmektedir. Bu durum merkez şehirlerin hareketlenmesine, ekonomik ve sosyal olarak gelişmesine yardımcı olmaktadır (Monzon, Ortega ve Lopez, 2013).

Erişilebilirlik sayesinde, yeni altyapının neden olduğu yığılma ekonomileri, toplam çıktıyı daha büyük hale getirdiğinden dolayı verimlilik artmakta ve merkez noktalar ortalama gelirden daha fazlasını elde etmektedir. Bununla birlikte, erişilebilirliğini en az ortalama kadar artırmayan diğer noktalar, erişilebilirlik avantajlarından yararlanmak için yer değiştirecek olan ekonomik fırsatları kaybedebilirler. Çünkü yatırımlar ve talepler ulaşımın en kolay olduğu noktaya doğru kayma eğilimindedir (Brenner, 1999).

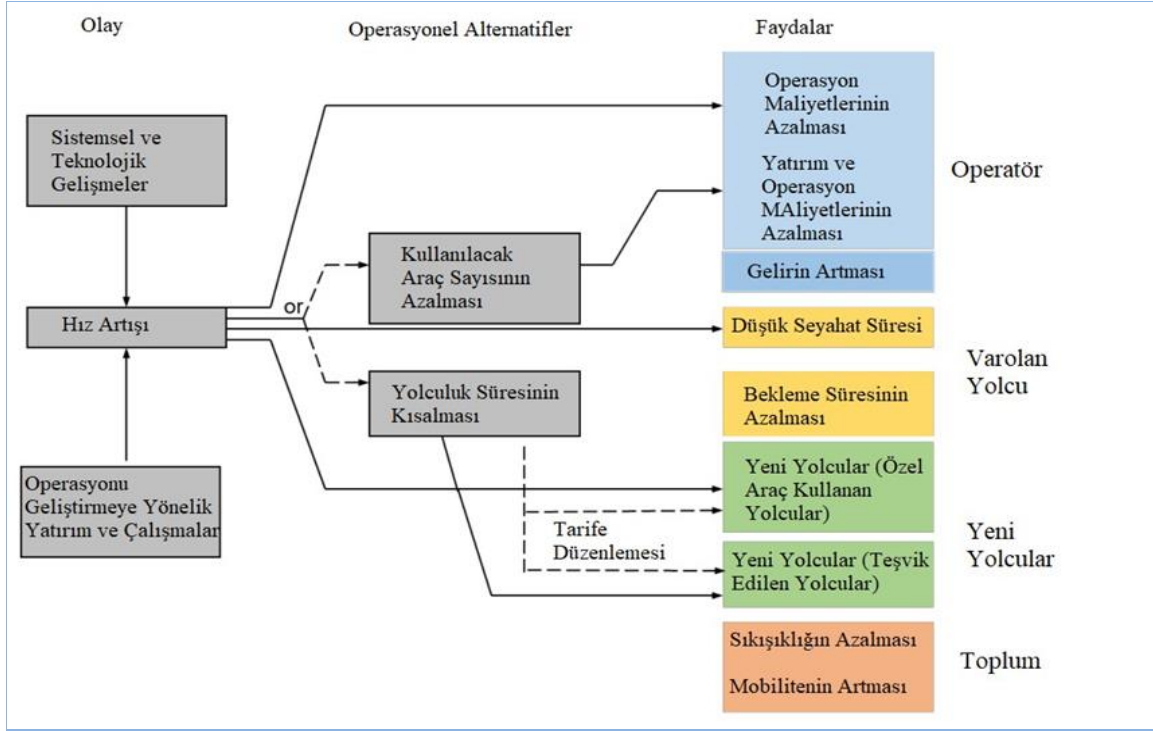
2.2.3. Hız

Hız, yolcuların seyahat seçiminde önemli kriterlerinden birisidir. TCDD Taşımacılık A.Ş.’nin periyodik olarak yaptığı anket çalışmalarında yolcuların yüksek hızlı trenleri tercih sebebinde hız hep birinci sırada çıkmaktadır (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024). Çünkü hız seyahat süresine doğrudan etki etmektedir.

YHT işletmeciliğinde hız hem trenin özelliklerine hem de trenin üzerinde gittiği demiryolunun özelliğine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu sebeple farklı ülkelerin kendi altyapı ve tren özelliklerine göre farklı “yüksek hız” kriterleri bulunmaktadır. YHT işletmeciliğindeki hız konusunda Japonlar tarafından, 1970-80’lerde çok daha yüksek azami hıza (test seferleri sırasında 436 km/saate kadar) imkan sağlayan raylı sistem teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır (CJRC, 2012).

Avrupa Birliği yüksek hızlı treni, iyileştirilmiş hatlar için 200 km/s, yeni yapılmış YHT hatları için 250 km/s veya daha yüksek hızlara sahip trenler olarak tanımlamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri’nde, yüksek hızlı demiryolunun yasal tanımları, 125 mph (201 km/s) kadar yüksek ve 90 mph (145 km/s) kadar düşük hızları içermektedir (Clewlow, 2012).

Hızın sağladığı faydaların bir araya getirildiği görselde (Şekil 2.2) kullanılacak tren sayısının azalması ve yolculuk süresinin kısılması ile hem işletmeci hem yolcular hem de toplum için olumlu faydaların ortaya çıktığı görülmektedir (Chao, Vuchic ve Vashchukov, 2019).



Şekil 2.2. Hız artışının faydaları

Şekil 2.2 incelendiğinde hız artışı ile birlikte araç sayısının azaldığı, seyahat süresinin ve bekleme süresinin kısaldığı, işletmeciye olan maliyetin düştüğü, gelirin arttığı, yolcu hareketliliğinin arttığı, var olan yolculara yeni yolcuların eklendiği görülmektedir.

2.3. YHT İşletmeciliğinde Maliyet

Yeni YHT altyapısı inşa etmek, ticari hızın 250–300 km/s altında kalmasına sebep olan teknik kısıtlamaların ortadan kaldırılmasını amaçlayan özel bir tasarım gerektirmektedir. Bu kısıtlamaların başında karayolu hemzemin geçitleri, sık olan duraklar, yüksek hızlara uygun olmayan keskin virajlar yer almaktadır. Ancak bazı durumlarda, geçiş hakkının paylaşılması için yeni sinyalizasyon mekanizmaları ve daha güçlü elektrifikasyon sistemlerinin yanı sıra kavşaklar ve özel yollara ihtiyaç duyulabilmektedir (Almujibah ve Preston, 2019).

UIC'ye (2005) göre, yeni YHT altyapısı inşa etmek; proje ve arazi, altyapı inşa ve üst yapı olmak üzere üç ana maliyet türünü içermektedir.

1.Proje ve arazi maliyetleri: Fizibilite, tasarım, arazi ve diğer kalemler (yasal ücret, lisans, izinler vb.). Toplam yatırım tutarının %5 ila %10'u bu maliyetler oluşturur (UIC, 2005).

2. Altyapı inşa maliyetleri: Arazi hazırlığı ve platform inşası gibi maliyetleri içerir. Arazinin özelliğine göre YHT projeleri arasında büyük farklılıklar oluşur. Özellikle arazinin coğrafi zorluğuna göre viyadük köprü, tünel, yarma ve açma gibi ilave çözümler ile maliyetler katlanmaktadır. Toplam yatırım tutarının %10 ila %25'i bu maliyetler oluşturur (UIC, 2005).

3. Üst yapı maliyetleri: YHT tren rayları ve hat boyunca sinyalizasyon, katener ve elektrifikasyon sistemleri, iletişim ve güvenlik tesisleri vb. kalemlerden oluşur. Toplam yatırım tutarının %5 ila %10'u bu maliyetler oluşturur (UIC, 2005).

Altyapısı tamamlanan YHT hatlarında, YHT işletmeciliğini yürütülmesi esnasında altyapının kullanımı ve bakımıyla ilgili iki tür maliyet daha bulunmaktadır. Altyapı sağlayıcısı ile Türkiye'de TCDD Genel Müdürlüğü, YHT hizmetleri sağlayan taşıyıcı Türkiye'de TCDD Taşımacılık A.Ş. arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de tüm YHT işletme ve altyapı maliyetlerini tek bir kuruluş tarafından kontrol etme ve organize etme ihtiyacı doğmuş olup, bu görevi ülkemizde Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü yürütmektedir.

2.4. YHT İşletmecilik Süreci

YHT İşletmeciliğinin dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılmaya başlamasının sebepleri incelendiğinde (TCDD, 2023);

- Yüksek hızlarından dolayı karayolu taşıtlarına göre seyahat süresinin kısılması,
- YHT'lerin diğer taşımacılık türlerindeki taşıtlara göre CO2 emisyon oranlarının çok düşük olması,
- Yolcular açısından dakikliğin önemli olması ve tercih nedenine dönüşmesi,
- Diğer ulaşım araçlarına göre özellikle de karayolu taşıtlarına göre konforlu olması,
- Güvenli bir ulaşım açısından karayoluna göre daha yüksek güvenlik sağlaması ve diğer ulaşım türlerine göre iklim şartlarından daha az etkilenmesi,
- Ticari işletmeye açıldıkları güzergâhlarda ekonomik kalkınmayı artırıyor olması.

YHT işletmeciliğinin yaygınlaşması ile birlikte demir yolu ulaşımı, yolcu taşımacılığında büyük bir pazara sahip olmuştur. Kara yolu ve hava yoluna göre demiryolları, tercih edilir bir alternatif haline gelmiş, bununla birlikte demiryollarının yük taşımacılığındaki yeri ve konumu da yükselmeye başlamıştır. Avrupa Birliği başta olmak üzere bazı ülkelerde, işletmecilik faaliyetlerinin arttırılması ve ulaşım sektörü içinde rekabet ortamının sağlanması için bazı düzenlemeler yapmışlardır. Bu düzenlemeler ve devlet desteği ile mevcut altyapının iyileştirilmesi ve ticari olarak yolcu taşımacılığı hizmetlerinin artırılabilmesi amaçlanmıştır (İnan ve Demir, 2017).

YHT işletmeciliğinde tren hızlarının yüksek olması (250/h ve üzeri) ve yüksek yolcu kapasiteli setlere sahip olması yolcu talebi açısından önem arz etmektedir. Ülkelerin özellikle kalabalık şehirler arasında YHT İşletmeciliğine yatırım yapması bu nedenledir. YHT işletmeciliği, genellikle uzun mesafelerde karayolu ve havayolu ile iş birliği veya rekabet şeklinde pazarda kendini göstermekte, özellikle Türkiye’de 0-500 km mesafelerde karayoluna göre alternatifsiz ulaşım aracı olarak görülmektedir. 500-1000 km arası mesafelerde hava yolu ile rekabet edebilir pozisyonunda, 1000 km üzeri mesafelerde ise hava yolunun avantajı ön plana çıkmaktadır (Givoni, 2005).

2.4.1. YHT işletmeciliğinin dünyadaki gelişimi

YHT, ilk olarak 1960'larda Japonya ve Avrupa'da kullanılmaya başlanmıştır. 1964 yılında Japonya'da Tokyo ve Osaka arasında Tokaido- Shinkansen seferi, gerçekleştirilen ilk yüksek hızlı tren seferidir. Asya, Afrika, Avrupa ve Amerika'daki ülkeler birbirini takip eden yıllarda YHT işletmeciliği hizmetini vermeye başlamışlardır (UIC, 2023).

Amerika Birleşik Devletleri'nde 20. yüzyılın başlarından itibaren demiryoluna sınırlı düzeyde yatırım yapılmış olmasına rağmen, son yıllarda YHT'nin kullanılmaya başlanmasıyla yatırım oranı yeniden artmaya başlamıştır. Avrupa'da, Fransa, Batı Almanya ve İtalya düzenli YHT yolcu seferleri başlatarak YHT İşletmeciliğine geçiş yapmış ve günümüzde başta Avrupa ve Asya olmak üzere birçok ülkede YHT işletmeciliği hızla ağını genişletmektedir (Clewlow, 2012).

Özellikle 1945 yılından sonra yani 2. Dünya savaşının bitmesi ile birlikte otomotiv sanayisi gelişim göstermiş ve karayolu yolcu taşımacılığında bireylerin evden eve taşıma imkânının sağlanmasıyla demiryolu yolcu taşımacılığının ulaşım sektöründeki konumu azalmaya başlamıştır. Ülkelerin alternatif ulaşım araçlarına yapılan yatırımları artırması ile birlikte demiryolu işletmeciliğinin ulaştırma sektöründeki konumunu koruma ve geliştirme mücadelesine dönüşmüştür. Japonya’da 210 km/h hız yapılabilen Tokyo-Osaka hattının 1964 yılında ticari işletmeye açılması, diğer ülkelerin demiryolları işletmeciliğine yönelmesinde dönüm noktası olmuştur. Demiryolu tarihindeki bu önemli gelişme önce Fransa’ dan başlamak üzere sıra ile İtalya, Almanya, İspanya, İngiltere, Güney Kore, Çin ve Türkiye gibi ülkelerde 250-300 km/h ticari hızlara imkan tanıyan YHT demiryolu hatlarının yapımı ile yaygınlaşmıştır (UAB, 2024).

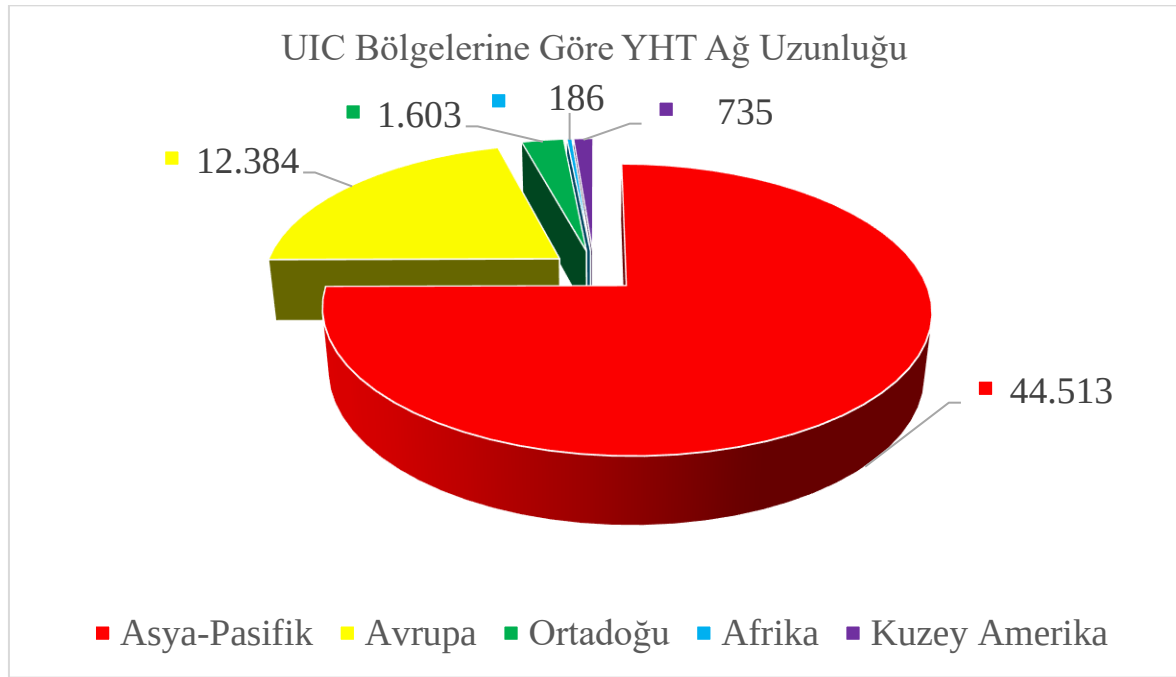
Yüksek hızlı tren işletmeciliğinde önemli tarihler Şekil 2.3’te verilmiştir (TCDD, 2023).



Şekil 2.3. YHT işletmeciliğinde önemli tarihler

Şekil 2.3’teki tarihsel akışa göz atıldığında; Siemens-AEG firmasının üretmiş olduğu tren setinin 210 km/h saate ulaşmış, 1964 yılından yüksek hızlı tren hattında çalıştırılan ilk tren

seti olan Shinkansen Japonya’da kullanılmaya başlanmıştır. 260 km/h hız yapabilen TGV setleri 1981 yılında Fransa’da kullanılmış, 260 km/h olan hız sınırı 1989 yılında Atlantic TGV modeli ile 300 km/h çıkmıştır. Tarihler 1992 yılını gösterdiğinde İspanya, 1997 yılını gösterdiğinde Belçika, 2003 yılını gösterdiğinde İngiltere, 2007 yılında Tayvan, 2008 yılında Çin, 2009 yılında Türkiye ve Hollanda ve son olarak 2018 yılını gösterdiğinde Fas ve Sudi Arabistan yüksek hızlı trenler ile ticari seferlere başlamışlardır (UIC, 2023).



Şekil 2.4. UIC bölgelerine göre YHT işletmeciliği yapılan ağ uzunluğu

Şekil 2.4 incelendiğinde Asya kıtasının diğer kıtalara büyük üstünlük kurduğu ve yüksek hızlı tren işletmeciliğine büyük yatırımlar yaptığı görülmektedir.

Her yıl üç milyardan fazla yolcu yüksek hızlı trenlerde seyahat etmektedir. Yüksek hızlı tren dünya çapında gelişmeye devam etmekte olup, şu anda dünya çapında faaliyette olan neredeyse 56.000 km hat bulunmaktadır. 30 yıl sonra bu sayının en az ikiye katlanacağı tahmin edilmektedir (UIC, 2023).

YHT tren setleri yüksek hızıyla ve yüksek yolcu taşıma kapasitesiyle özellikle kara yolu trafiğinin yoğun ve tıkağdığı yerlerde iyi bir alternatif sunmaktadır. Yakıt ve zaman tasarrufu yolcu taşımacılığı açısından son derece önemli kriterler olup, yolcu taşıma etkinliği açısından aranmaktadır. Japonya ve Fransa bu kriterler bakımından YHT ağını en etkin

kullanan ülkelerdir. YHT'ler özellikle büyük sanayi yerleşkelerinin olduğu organize sanayi bölgeleri ve büyük çaplı uluslararası dağıtım merkezleri arasındaki bağlantılar için lojistik boyutuyla da önemli bir ulaşım türüdür. Bu merkezlerinin etkin bir dağıtım kanalı ile birbirine bağlanarak ticari dağıtım ağını sürekli işler halde getirmesi ve bunu düşük maliyet ve yüksek hız ile yapabilmesi küresel rekabet ortamında önemli avantaj sunmaktadır (İnan ve Demir, 2017).

Çizelge 2.1'de Türkiye ve dünyada 2011-2021 yılları YHT yolcu taşımacılığı istatistikleri verilmiştir (TCDD, 2023).

Çizelge 2.1. Ülkemizde ve dünyada YHT yolcu istatistikleri (milyar-yolcu km)

YHT Yolcu-km Değerleri (Milyar)											
Yıl/Ülke	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Çin	105,84	144,61	214,11	282,5	386,34	464,1	577,64	680,51	774,67	484,5	606,4
Fransa	52,04	51,09	50,79	50,66	49,98	50,54	58,28	56,81	59,95	35,8	47,7
Japonya	81,42	85,99	89,17	91	97,4	99,64	101,39	103,64	99,34	34,79	44,4
Almanya	23,31	24,75	25,18	24,32	25,28	27,2	28,5	31,07	33,2	18,2	25
İtalya	8,3	9,6	11,6	11,7	13,6	14,3	15,3	15,1	21,1	21,1	21,1
G.Kore	13,56	14,08	14,45	14,43	15,1	16,32	14,87	15,31	16,03	9,4	10,4
İspanya	11,23	11,18	12,74	12,79	14,13	15,06	15,54	16,13	16,07	5,6	6,4
Türkiye	0,67	0,91	1,19	1,56	1,85	1,87	2,22	2,55	2,68	0,94	1,5
ABD									12,7	12,7	1,7
Fas								0,05	0,76	0,31	0,6
Diğerleri	13,66	18,17	18,34	20,91	23,41	26,89	27,14	30,06	30,49	22,55	13,7
Toplam	310	360,4	437,6	509,9	627,1	715,9	840,9	951,2	1067	645,9	778,9

Çizelge 2.1'deki veriler analiz edildiğinde, Asya kıtası ön plana çıkmaktadır. Özellikle Çin, dünya pazarından en çok pay alan ülke konumuna gelmiş ve yüksek hızlı tren işletmeciliğinde yatırımlarına devam ederek bu alanda yerini sağlamlaştırma amacındadır.

Çin'in devlete ait Çin Devlet Demiryolları Grubu tarafından tekel olarak işletilen yüksek hızlı demiryolu ağı, 2022 yılı sonunda 42.000 km'ye ulaşmış olup, dünyanın en uzun ve Japonya'nın Shinkansen hızlı tren ağının 13 katı büyüklüğündedir. Beş yıllık plan, 2027'de bu mesafeyi %26 oranında artırarak 53.000 km'ye çıkaracaktır. Çin'deki yüksek hızlı demiryolunun (HSR) işletme uzunluğu Kasım 2023 itibarıyla yaklaşık 43.700 kilometreye ulaşmıştır. Şu anda yaklaşık 155.500 kilometre uzunluğunda olan Çin'in demiryolu ağının yüzde 28,1'ini oluşturmakta olup, Çin dünyadaki en uzun YHT ağına sahip konumdadır.

2030 yılına gelindiğinde Çin'in kapsamlı faaliyet gösteren YHT ağının 45.000 kilometreyi aşacağı tahmin edilmektedir (Statista, 2023).

Çin'in büyük şehirlerini yakındaki küçük şehirlere bağlayan YHT işletmeciliği bu şehirleri işçiler için daha çekici hale getirmekte, trafik sıkışıklığını hafifletmekte ve mega şehirlerdeki kirliliği azaltmaktadır. Çin'deki YHT işletmeciliği üzerine yakın zamanda yapılan birçok çalışmada, YHT'nin yakındaki gayrimenkullerin değerini de artırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Momenitabar, Bridgelall, Ebrahimi ve Arani, 2021).

YHT'nin küresel öncüsü ve dünyanın en yenilikçi ülkelerinden biri olan Japonya'da da bu alanda önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Japonya'da YHT hatlarının artması ve gelişmesi bölgeler ve şehirlerarası sosyo-ekonomik seviyeyi yükseltmeye önemli katkılarda bulunmuştur. YHT sayesinde yüksek erişilebilirliğe ulaşılmış, böylelikle insan ile sermaye arasında bilgi akışı hızlandırılmıştır (Ahlfeldt ve Feddersen, 2018).

ABD'nin ulusal demiryolu sistemi olan Amtrak 1971'de kurulmuştur. Bu sistem ile birçok büyük metropoller birbirine bağlanabildiğinden YHT işletmeciliği ile metropoller arası ulaşımında önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Fakat benzer standarda sahip Asya ve Avrupa ülkeleri tarafından yapılan yatırımlarla karşılaştırıldığında, YHT işletmeciliğine yönelik federal ve eyalet finansman yardım programları düşük ve yetersiz kalmaktadır (Chao, Vuchic ve Vashchukov, 2019).

Alternatif bir ulaşım türü olarak YHT işletmeciliği tüm Avrupa'da hızlı yayılmaya başlamış, 2011 tarihli AB tanıtım belgesi ulaşımın, 300 km'den büyük mesafeler için 2030 yılına kadar %30 ve 2050 yılına kadar %50 oranında karayolundan demir ve denizyollarına kaymasını hedeflemektedir (European Commission, 2011).

Fransa, Avrupa'da YHT ağı ve YHT yolcu taşımacılığı istatistiklerinde ilk sırada olduğu Çizelge 2.1'deki verilerden görülmektedir.

Fransa'da "Société Nationale des Chemins de Fer français (SNCF)", 1981'de Paris ve Lyon arasında YHT işletmeciliği başlamıştır. Daha sonrasında ise bunu altı YHT hattı daha izleyerek hızlı bir gelişme katedilmiştir. Fransa'da, 320 km/saate varan hızlara izin veren

3220 km'den fazla demiryolu ağı bulunmaktadır (Momenitabar, Bridgelall, Ebrahimi ve Arani, 2021).

Almanya, Fransa'dan sonra Avrupa ülkeleri içinde YHT İşletmeciliğinin en çok yapıldığı ve yatırımlarını YHT 'ye göre oluşturduğu ikinci ülkedir. Yıl 1991 'de Hannover - Würzburg arasında 280 km/h ticari işletmeye açılan “InterCityExpress (ICE)” ile Avrupa kıtasında Fransa'dan sonra YHT işletmeciliği hizmetini başlatan ikinci ülke olmuştur (Üzülmez, 2024).

2.4.2. YHT işletmeciliğinin Türkiye'deki gelişimi

Yüksek hızlı trenler düşük emisyon etkisine ve alternatif enerji kaynakları ile işletilmesi nedeniyle dünyada birçok ülkede şehirlerarası ulaşım için önemli bir alternatif sunmaktadır. Son dönemde çevresel duyarlılığın artmasıyla birlikte, alanda uzman kişiler karayolu işletmeciliğinin hakimiyetini ve bunun petrol tüketimi ve trafik emniyeti açısından etkisini yüksek olduğuna vurgu yapmışlar ve böylece, yolcu taşımacılığında demiryolu payını yükseltmek için Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından YHT sistemi de dahil olmak üzere demiryolu yatırımlarına yönelik stratejik bir politika geliştirmişlerdir (Balaban ve Senol-Balaban, 2015).

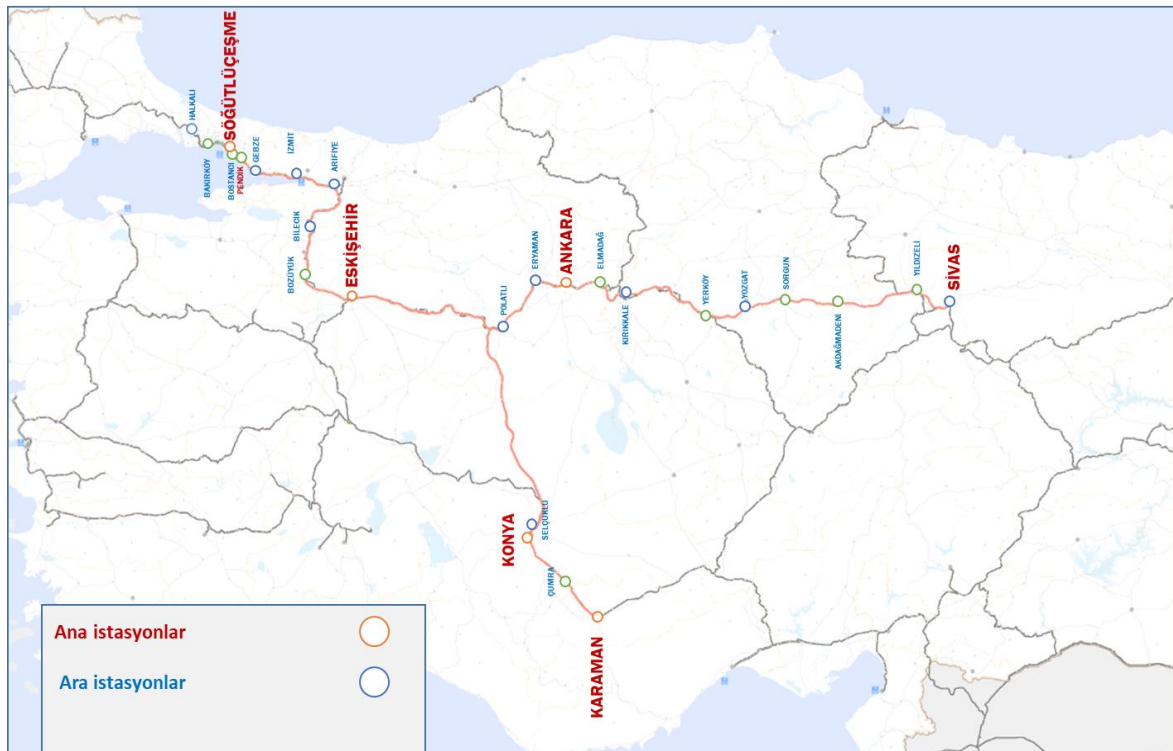
1950'lerden beri yavaşlayan demiryolları yatırımları son yıllarda hız kazanmış, Demiryolları, özellikle de Hızlı Tren yatırımları hükümetin 2002 yılından bu yana en önemli önceliklerinden birisi halini almıştır. 2003 yılından 2010'a kadar olan dönemde, toplam 1.076 km hızlı tren hattı faaliyete geçmiş olup, bu hattın 888 km'si yüksek hızlı tren hattıdır. 9. Kalkınma Planı doğrultusunda, Ankara-İstanbul, Ankara-Konya, Ankara-Sivas, Ankara-Bursa, Ankara-İzmir, Ankara-Kayseri ve Edirne-İstanbul yüksek hızlı tren hatlarının yapımı öncelik kazanmıştır.

Ülkemizde faaliyette, inşaat halinde ve plan-proje safhasında olan YHT hatları Harita 2.1 'de, ticari faaliyette olan YHT hatları Harita 2.2 'de verilmiştir (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).



Harita 2.1. Ülkemizde faaliyette, inşaat ve plan-proje safhasında olan YHT hatları

Harita 2.1 incelendiğinde faaliyette olan YHT'ler toplamda 11 ilimize hizmet vermekte olup, nüfusun %46'sına tekabül etmektedir. Mevcut hatların uzunluğu 2251 km, yapımı devam eden 3777 km projesi tamamlanan 6914 km ve projesi devam eden 4479 km 'dir.



Harita 2.2 Ülkemizde ticari faaliyette olan YHT hatları

Harita 2.2 incelendiğinde Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul (Söğütluçeşme), Karaman ve Sivas illeri olarak 6 ana YHT garları bulunur. YHT trenleri bu garlardan hareket eder ve bu garlarda sonlanır. Eryaman, Bilecik, Polatlı, Selçuklu, Kırıkkale, Yozgat, Arifiye, Gebze, İzmit, Sorgun, Akdağmadeni, Bozüyük, Pendik, Bostancı, Bakırköy, Halkalı, Elmadağ, Yerköy, Yıldızeli ve Çumra olmak üzere toplam 20 ara istasyondan geçmektedir.

Türkiye’de YHT işletmeciliği, 13 Mart 2009 tarihinde Ankara-Eskişehir-Ankara yüksek hızlı tren hattının ticari işletmeye açılmasıyla birlikte faaliyete başlamıştır. 2009 yılında açılan Ankara-Eskişehir-Ankara hattını sıra ile 2011 senesinde Ankara-Konya-Ankara, 2014 senesinde Ankara-İstanbul-Ankara, 2014 senesinde Konya-İstanbul-Konya, 2022 senesinde Konya-Karaman-Konya, 2023 senesinde Ankara-Sivas-Ankara ve son olarak 2024 senesinde Sivas-İstanbul-Sivas hattı takip etmiştir. Böylelikle toplam 7 güzergahta YHT işletmeciliği yapılmaktadır. 2024 yılı itibariyle bu hattın 2032 km’si yüksek hızlı hat ve 219 km’si Konya- Karaman arasındaki hızlı hattın oluşmaktadır.

Ticari faaliyette olan YHT hatları Çizelge 2.2’de verilmiştir (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).

Çizelge 2.2. Ticari faaliyette olan YHT hatları

Faaliyette Olan YHT Hatları			
Hat	Mesafe (km)	Açılış yılı	Seyahat süresi
Ankara-Eskişehir	245	2009	1 saat 20 dakika
Ankara-Konya	309	2011	1 saat 45 dakika
Ankara-İstanbul (S.çeşme)	534	2019	4 saat 20 dakika
Ankara-İstanbul (Halkalı)	568	2019	5 saat 10 dakika
Konya-İstanbul (S.çeşme)	639	2019	4 saat 52 dakika
Konya-İstanbul (Halkalı)	673	2019	5 saat 52 dakika
Karaman-İstanbul (Halkalı)	741	2022	6 saat 40 dakika
Konya-Karaman	102	2022	50 dakika
Ankara-Karaman	419	2022	2 saat 42 dakika
Ankara-Sivas	405	2023	2 saat 42 dakika
Sivas-İstanbul	939	2024	6 saat 45 dakika

Ankara - Afyon - Uşak - Manisa - İzmir YHT Projesi (505 km), Bursa-Osmaneli YHT Projesi (201 km), Sivas-Erzincan HT Projesi (247 km), Karaman-Ulukışla HT (135 km), Gaziantep-Osmaniye-Adana-Mersin Hızlı Tren Projesi ve İstanbul-Kapıkule YHT (229 km)

yapım aşamasında olan YHT hatlarıdır. Çizelge 2.3'te inşaatı devam eden YHT hatları verilmiştir (TCDD, 2023).

Çizelge 2.3. İnşaatı devam eden YHT hatları

Hat	Uzunluk	Durum
Osmaneli-Bursa-Bandırma YHT	201 km	2026 yılında tamamlanması planlanmaktadır.
Halkalı-Kapıkule YHT	229 km	Kapıkule-Çerkezköy kısmında fiziksel ilerleme oranı %82'ye ulaşmıştır.
Karaman-Ulukışla YHT	135 km	Proje genelinde fiziksel ilerleme oranı %66'ya ulaşmıştır.
Gaziantep-Osmaniye-Adana-Mersin YHT	295 km	Proje genelinde fiziksel ilerleme oranı %12'ye ulaşmıştır.
İzmir-Manisa-Uşak-Afyon-Ankara YHT	505 km	Proje genelinde fiziksel ilerleme oranı %55'e ulaştı. 2027 yılında tamamlanması planlanmaktadır.
Erzincan-Sivas YHT	247 Km	Çalışmalar Zara-Sivas arasında devam etmektedir.
Kayseri-Yerköy YHT	140 km	Finansman anlaşması imzalanmıştır.
Halkalı-Gebze YHT		Projenin 2024 yılında başlayıp, 2028 yılında bitirilmesi hedeflenmektedir.

Yeni hatların açılmasıyla birlikte YHT trenlerine vatandaşlar büyük ilgi göstermiş ve yoğun yolcu talebi oluşmuştur. Bu yolcu taleplerinin karşılanması için yeni YHT setleri temin edilmiş ve sefer sayıları artırılarak yolcu taleplerine cevap verilmiştir.

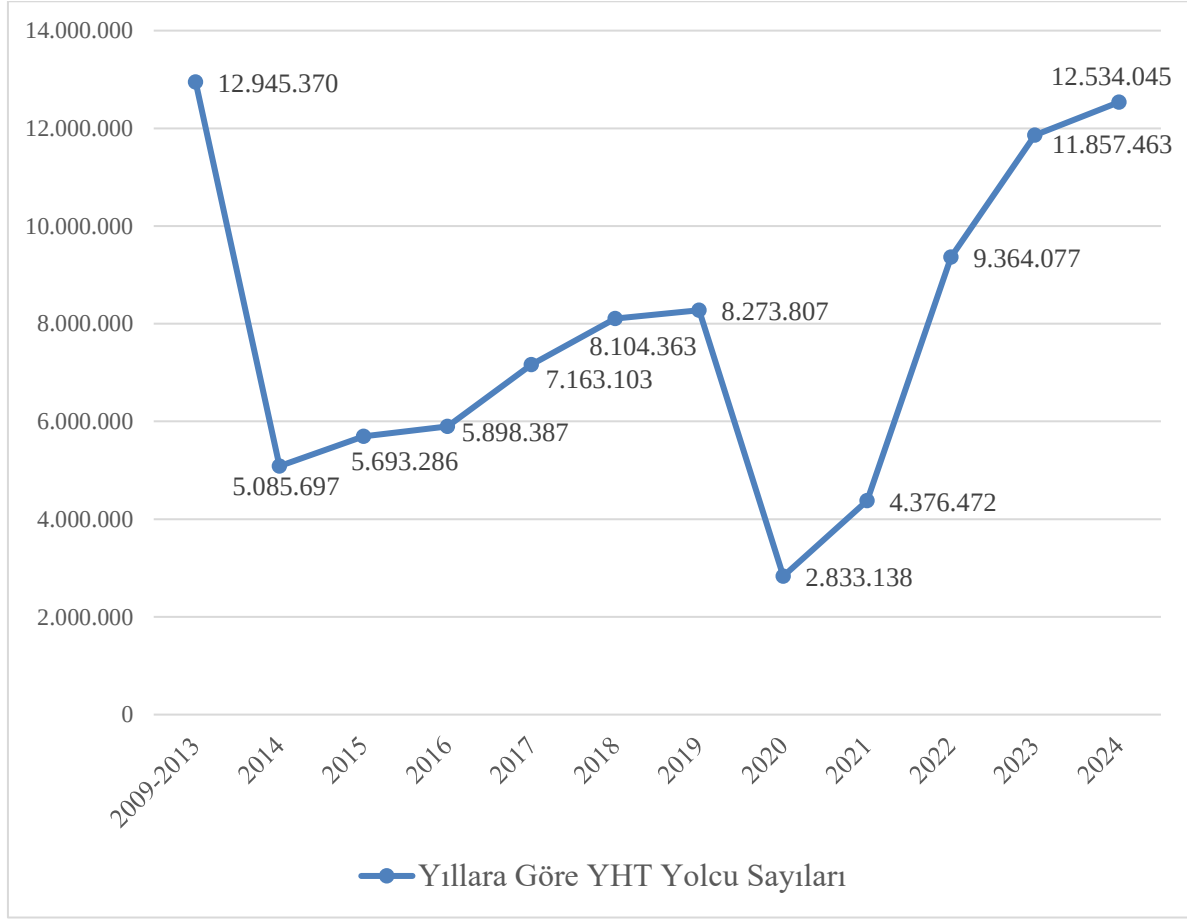
Çizelge 2.4'te yıllara göre hem hatların açılması hem açılan hatlarda yoğun yolcu talebine istinaden yeni YHT tren setlerinin temini ile artırılan YHT sefer sayıları verilmiştir (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).

Çizelge 2.4. YHT sefer sayıları

2009-2024 Yılı Sefer Sayıları		Güncel YHT Sefer Sayıları		
Tarih	Sefer Sayısı	YHT Hat Kesimi	Hafta İçi (gidiş+dönüş)	Hafta Sonu (gidiş+dönüş)
13.03.2009	4	Ankara-Eskişehir	2 (1+1)	4 (2+2)
24.08.2011	28	Ankara-Konya	12 (6+6)	14 (7+7)
27.07.2014	40	Ankara-İstanbul	28(14+14)	28(14+14)
13.03.2019	48	Konya-İstanbul	10 (5+5)	10 (5+5)
28.03.2020	0	Eskişehir-İstanbul	2(1+1)	2(1+1)
8.06.2020	20	Ankara-Sivas	4(2+2)	4(2+2)
12.12.2021	42	Sivas-İstanbul	2(1+1)	2(1+1)
8.01.2022	56	TOPLAM	60	64
26.04.2023	62			
4.05.2024	64			

Çizelge 2.4'ten de anlaşılacağı üzere yeni açılan YHT hatlarına paralel yolcu sayılarındaki artışlarla birlikte 2009 yılında 2'si gidiş, 2'si dönüş toplam 4 adet sefer ile başlanılan YHT yolcu taşımacılığı, yıllara göre artış yaşanmış, 2011 yılında Ankara-Konya hattının açılması ile 14 gidiş, 14 dönüş olmak üzere 28 adet sefer, 2014 yılında Ankara-İstanbul (pendik) hattının açılması ile 20 gidiş, 20 dönüş olmak üzere 40 adet sefer, 2019 yılında Ankara-İstanbul (Söğütlüşeme ve Halkalı) ve Konya-İstanbul (Söğütlüşeme ve Halkalı) hatlarının açılması ile 24 gidiş, 24 dönüş olmak üzere 48 adet sefer, 2022 yılında Konya-Karaman hattının açılması ile 28 gidiş, 28 dönüş olmak üzere 56 adet sefer, 2023 yılında Ankara-Sivas ve 2024 yılında Sivas-İstanbul hatlarının açılması ile 32 gidiş ve 32 dönüş olmak üzere toplam 64 sefer sayısına ulaşmıştır.

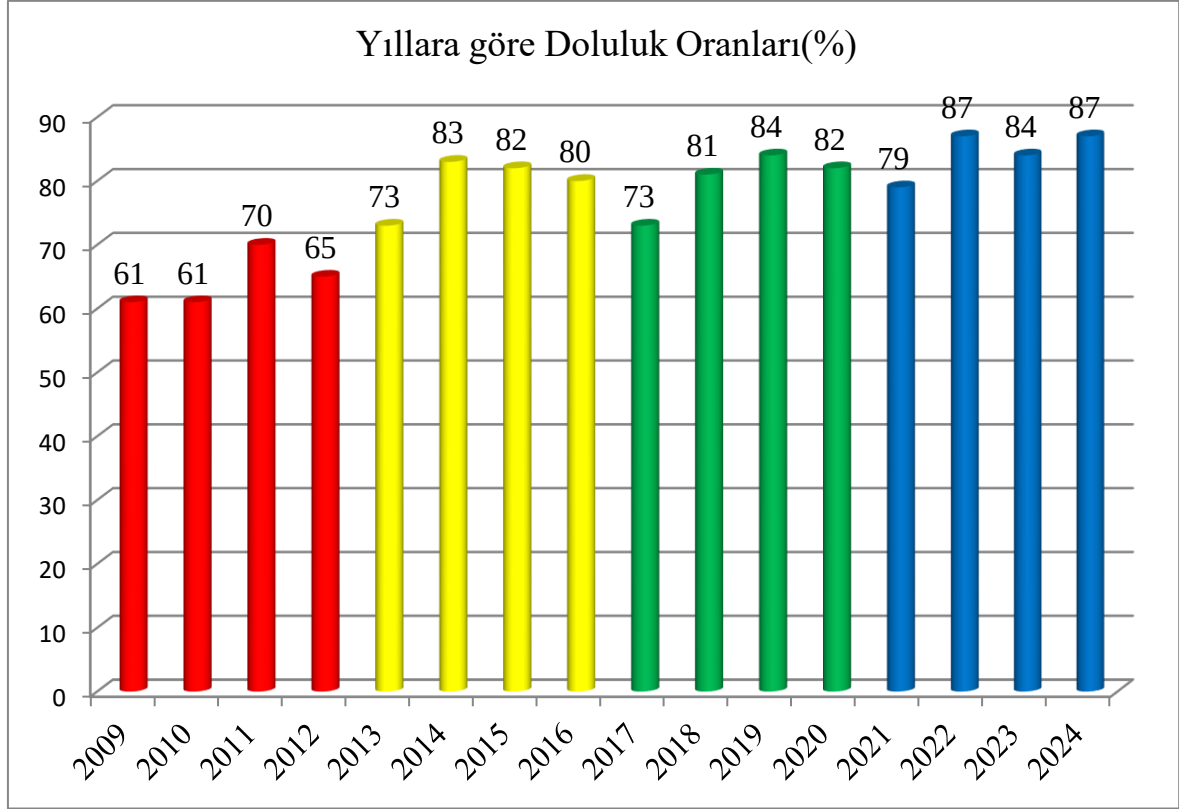
Şekil 2.5.'te yıllara göre YHT yolcu sayıları verilmiştir (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).



Şekil 2.5. 2009-2024 yılları arası YHT yolcu sayıları

Şekil 2.5'te yer alan verilerden de anlaşılacağı üzere 2009 ve 2024 yılları arasından sürekli artış gösteren YHT sefer sayıları tüm dünyayı etkileyen Covid-19 salgını döneminde sekteye uğramış özellikle hükümetin salgın hastalıklarla mücadele kapsamında almış olduğu önlemler nedeniyle 28 Mart 2020 ve 28 Mayıs 2020 tarihleri arasında YHT yolcu taşımacılığına ara verilmiş ve pandeminin hız kesmesi ile birlikte hükümetin almış olduğu kararlar ile kademeli olarak sefer sayılarında artışa gidilmiş ve 2021 yılı sonuna doğru YHT seferleri normal seyrine dönmüştür. Bu dönem içinde pandemi tedbirleri kapsamında trenlerde seyahat eden yolcu sayıları için %50 kapasite sınırlaması getirilmiş ve bu durum yolcu sayılarının belirgin bir şekilde azalmasına neden olmuştur.

Şekil 2.6'da YHT trenlerinin yıllara göre ortalama doluluk oranları verilmiştir (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).

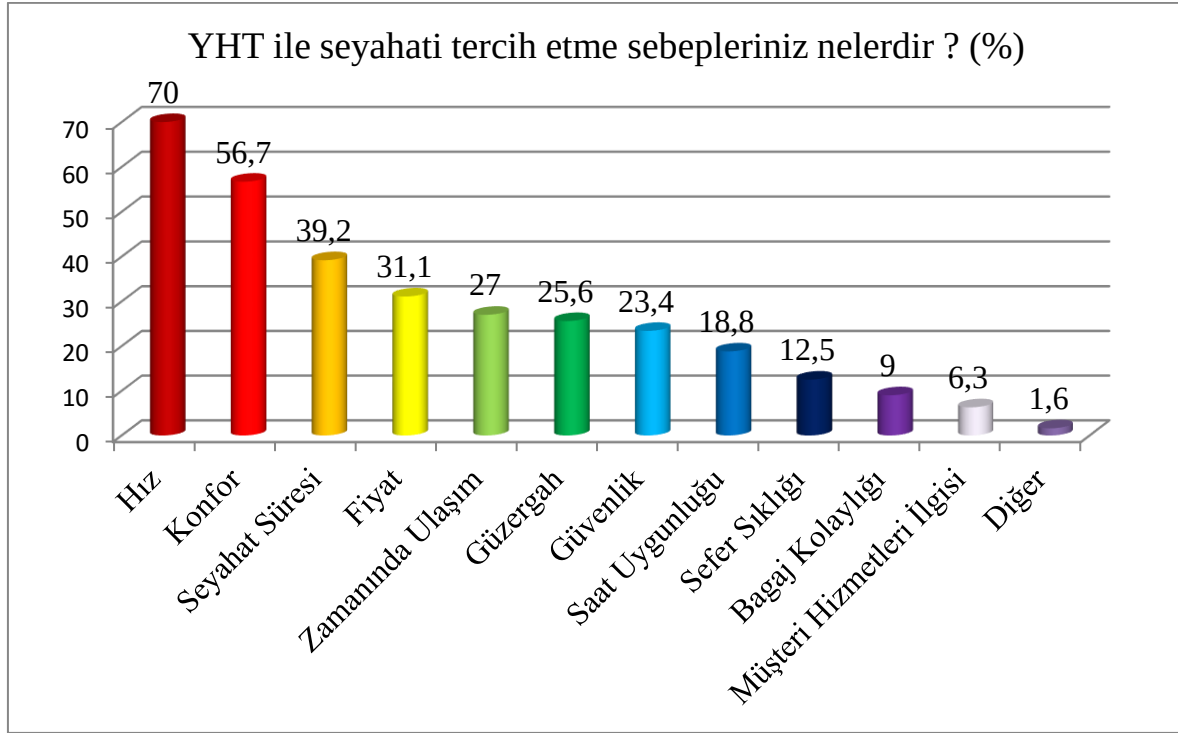


Şekil 2.6. YHT'lerin yıllara göre ortalama doluluğu

Şekil 2.6'daki doluluk oranları incelendiğinde YHT ilk ticari seferlere başladığı 2009 yılında %61 iken 2024 yılında %87'lere ulaşmış olup, bu oranlar vatandaşların YHT'lere seyahat için alıştıklarını ve yoğun bir şekilde kullandıklarını göstermektedir.

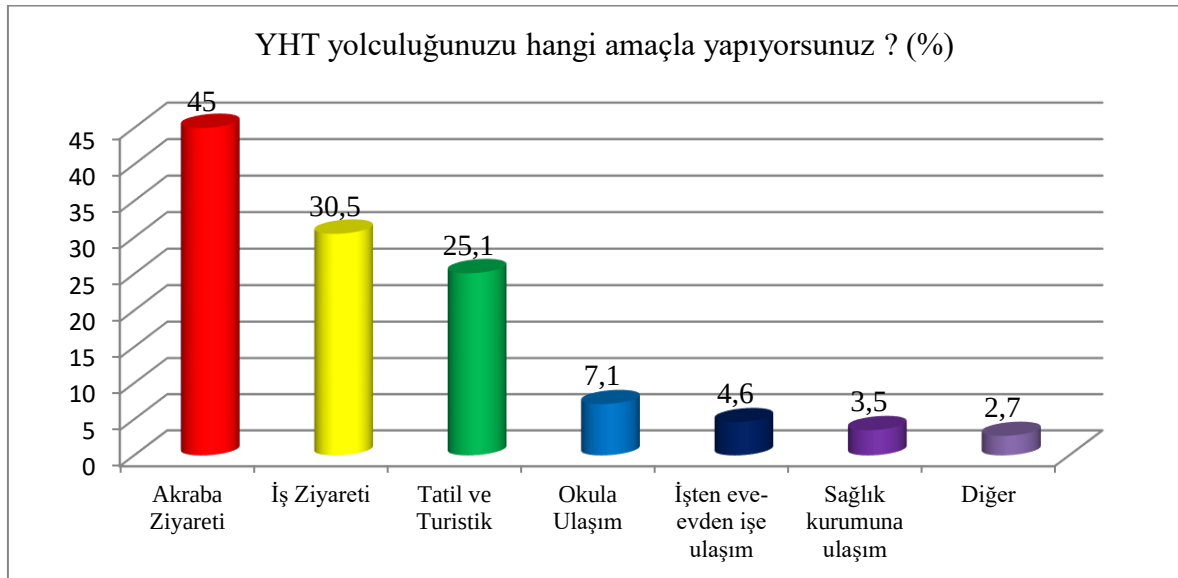
Ülkemizde Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği yapan TCDD Taşımacılık A.Ş., YHT'leri kullanan yolculardan geri dönüş almak, onların memnuniyet oranlarını tespit etmek, seyahat amacını ölçmek, YHT'yi neden tercih ettiğini belirlemek ve YHT'yi kullanan yolcuların profilleri tespit etmek amacıyla her yıl, yılda en az 2 kez Yolcu Memnuniyet Anketleri yapmaktadır. Bu anketlerle yolcuların memnuniyetleri ölçüldüğü gibi yolcuların memnun olmadığı konulara ilişkin iyileştirme çalışması yapmak ve hizmet kalitesini bu sayede artırmak amaçlanmaktadır. Ayrıca feedback (geri dönüş) kanalı olarak anket sonuçları ve kurumun kurmuş olduğu yolcu talep ve şikayet sistemi (çözüm merkezi) kullanılmaktadır.

YHT'lerde seyahat eden yolcuların YHT'yi tercih nedenlerine ilişkin sonuçlar Şekil 2.7, yolcuların hangi amaçla YHT trenlerinde seyahat ettiklerine ilişkin sonuçlar Şekil 2.8'de verilmiştir (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).



Şekil 2.7. YHT'lerde seyahat eden yolcuların YHT'yi tercih nedeni

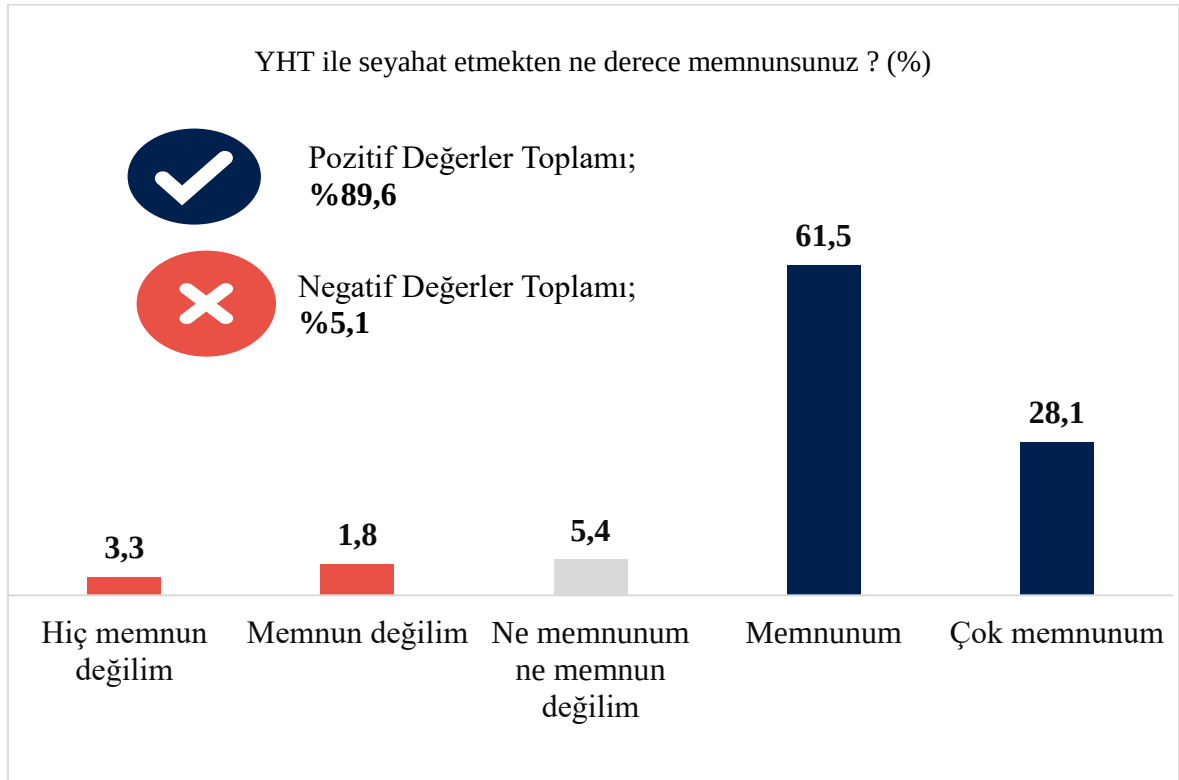
Şekil 2.7 incelediğinde YHT'yi tercih eden yolcuların tercih nedenlerinde birinci sırada hız gelirken, ikinci sırada konfor, üçüncü sırada ise seyahat süresinin kısalığı gelmektedir. Fiyat, zamanında ulaşım, güzergah, güvenlik, gibi nedenler arkasından gelmektedir. Yolcuların YHT'yi tercih nedenleri analiz edildiğinde aslında YHT İşletmeciliğinin getirmiş olduğu avantajlar yolcular tarafından kabul gördüğü ve tercih nedenine yansıdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.8. Yolcuların hangi amaçla YHT'lerde seyahat ettikleri

Şekil 2.8’de yer alan yolcuların hangi amaçla YHT’yi kullandıklarına ilişkin verilerde; akraba ziyareti, iş, tatil ve turistik gezi amacıyla kullandıkları öne çıkmakta olup, bu durum özellikle resmi tatillerde ve yaz tatillerinde trenlerin doluluk oranlarına da pozitif olarak yansımaktadır.

YHT ile seyahat eden yolcuların memnuniyet oranlarına ilişkin veriler Şekil 2.9’da verilmiştir (TCDD Taşımacılık A.Ş., 2024).



Şekil 2.9. YHT ile seyahat eden yolcuların memnuniyet oranları

Şekil 2.9’da memnuniyet oranları incelendiğinde yolcuların %90 oranında YHT işletmeciliğinden memnun oldukları görülmektedir. Bu memnuniyet oranlarının yüksekliğinde trenin hızlı, güvenli, konforlu, personelin ilgili, trene erişimin kolay ve tren saatlerinin uygunluğu gibi birçok neden etki etmektedir.

Buradan hareketle Ülkemizde, yüksek hızlı tren yatırımlarının ne kadar önemli olduğu ve YHT ağının genişletilmesinin hem ekonomik, hem çevresel hem de vatandaş memnuniyeti açısından önem arz ettiği görülmektedir.

3. YHT İŞLETMECİLİĞİNDE PLANLAMA SÜRECİ

Demiryolu işletmeciliğinde planlama safhası, birbirini etkileyen ve birbirleriyle ilişkili problemler dizisinden oluşur. Personel çizelgeleme, tren seferleri oluşturma, çeken-çekilen araçların bakım planı, alt ve üst yapı bakım planı, proje ve yatırım planlaması, satın alma ve tedarik ile personel eğitim planlaması olarak sıralanabilir. Sayılan bu planlamaların kendine has problem tipleri, çözümünde ise kendine özgü çözüm amaçları vardır. Bu nedenle planlama safhasındaki bu problemlerin her biri için ayrı ayrı çözüm önerileri ele alınabilir (Üstündağ, 2010).

Yüksek hızlı tren işletmeciliğinde, kaç adet YHT seferi gerçekleştirileceği, sefer adetleri belirlenirken hangi kriterlere öncelik verileceği, tren seferi gerçekleştirmeden önce trenlerin hangi ilden hangi ile gideceği, hangi illerden geçeceği, hangi YHT tren setlerinin kullanılacağı, seferlerde hangi personelin görevlendirileceği planlamanın en başında karar verici tarafından verilmesi gereken kritik kararlardır.

YHT İşletmeciliğinde planlama adımları aşağıda sıralanmıştır.

- Tren hizmet planlaması,
- YHT sefer çizelgesi oluşturma,
- YHT set planı,
- YHT tarife (turnist) planı,
- YHT makinist atama.

3.1. Tren Hizmet Planlaması

Demiryolu hizmetlerinin planlamasında birbirinden farklı iki yaklaşım mevcuttur: Bu yöntemlerden bir tanesi talebe; diğeri ise işletimle kolayca elde edilebileceklerle bağlıdır. Optimum yaklaşım bu yöntemler arasında denge kuran bir yaklaşımdır. Örneğin; kısa trenlerin sıklığı bekleme süresini minimize ederken; aynı zamanda yolculara daha cazip hizmet sunar fakat işletme etkinliği daha azdır (örneğin daha çok makiniste ihtiyaç duyulmaktadır).

Yüksek hızlı tren planlaması tekrar eden bir süreçtir. Bunun nedeni detaylı seviyelerde hizmet sıklığı, talep ve kapasitenin bir fonksiyonu iken talebin de hizmet sıklığının bir fonksiyonu olmasıdır. Bu faktörler optimal düzeye ulaşmaya dek düzeltilebilir. Basit bir ifadeyle yüksek talep yüksek hizmet sıklığı yaratır ve yüksek hizmet sıklığı talebi artırır.

3.1.1. Talep tahmini

Tren hizmet planlamasının ilk basamağı yıllık talep tahminlerini tren seviyesine indirgemektir. Yüksek hızlı treni, kullanımının yaygın olduğu ülkeler ve ülkemiz olarak ele aldığımızda (bakınız Bölüm 3 Şekil 2.8), zaman içerisinde yolcuların hızlı treni benimsediği ve yolcu talebinin hafta içi iş ve okul odaklı olarak arttığı, hafta sonu akraba ziyaretleri, tatil ve turistik geziler gibi seyahat tercihleri ile farklı olduğu ve dönemsel (resmi tatiller, yaz ve ara tatilleri) olarak da yine farklı olduğunu görülür. Bu nedenle bir seneyi hesaplarken 365 gün olarak alınması talep hesaplamaları açısından gerekli görülmektedir. Bundan sonraki aşama ise, trenlerin tespit edilmesi ve yeterli tren kapasitesinin tedarik edilmesi için, trafiğin saatlik temele dayandırılmasıdır.

3.1.2. Kaynak kullanımı

Yüksek hızlı tren sefer planlamasında kurumun elinde bulunan mevcut setlerin sayısı ve kapasiteleri önemli veri kalemlerinden birini oluşturmaktadır. TCDD Taşımacılık A.Ş.’nin Mevcut araç parkurunda iki tip hızlı tren setleri bulunmaktadır. İspanya’dan temin edilen 65000 serili Caf ve Almanya’dan temin edilen 80100 serili Siemens setleridir. Caf setleri kapasite olarak 409 yolcu olup, kurumun elinde 12 adet bulunmaktadır. Siemens setleri ise 483 yolcu kapasiteli olup, kurumun elinde 19 adet bulunmaktadır.

YHT sefer planlamasında elde bulunan bu setler ve kapasiteleri temel teşkil etmektedir.

3.1.3. Hat kapasite kısıtları

Tren seferlerinin hatları paylaşması birçok kısıtlamayı da beraberinde getirmektedir. Yüksek hızlı tren ağı çift yönlü olarak planlanmıştır, fakat hizmet klasik ağa genişletildiğinde, özellikle İstanbul'a yanaşan trenlerde kısıtlamalar olmaktadır. Bu uzun koridor hali hazırda yük taşımacılığı ve uzun mesafe yolcu taşımacılığının yanı sıra şehir içi

banliyö trafiğine (genellikle saat başı 4 tren) ve şehirlerarası bölgesel trafiğine de (genellikle saat başı 1 tren) sahiptir. Bu trenler farklı hızlarda hizmet verdiğinden potansiyel hat kapasitesinin tamamı kullanılmamaktadır. Bu durum da sefer planlamasına etki etmektedir.

3.1.4. Tamir bakım gereklilikleri

Yüksek Hızlı Tren setleri pahalı sermaye araçlarıdır. Kurum yetkililerinden edinilen bilgiler ışığında, 400 ila 500 arasında oturma kapasitesi bulunan yüksek hızlı tren setleri genellikle 30 milyon- 40 milyon EURO'ya mal olmaktadır. Bu nedenle, yatırımların boşa gitmemesi için bu trenlerden en iyi şekilde yararlanılması gerekmektedir. Bu, her bir hızlı trenin maksimum mesafeyi gitmesi gerektiği anlamına gelmez çünkü bakım süreleri, gecikmelerden kaynaklanan süreler gibi sebeplerle uygun bir tolerans tanınmalıdır.

Tamir ve bakımın uygulanabileceği yol, filo büyüklüğünü belirler. Modern trenlerin modüler dizaynı parçaların kolaylıkla çıkarılıp takılmasına olanak sağlarken tamir-bakım için gerekli süreyi genişletir ve trenlerin daha hızlı bir şekilde hizmete dönmesini sağlar. Hızlı trenler normalde sabit formda oldukları için sadece bir parçanın tamiri için tüm trenin bakım altına alınması gibi durumları azaltmak amacıyla modüler tamir-bakım yaklaşımı ele alınmaktadır.

3.1.5. YHT ara istasyonları

Yüksek hızlı tren işletmeciliğinde ara istasyonlar trenlerin ilk kalkış ile son varış istasyonları arasında bulunan istasyonlardır. Bu istasyonların sayısı, hangilerinde ne sıklıkla duruş yapılacağı YHT sefer planlamasında önemli bir etkiye sahiptir.

3.2. YHT Sefer Çizelgesi Oluşturma

TCDD Taşımacılık A.Ş. gerçekleştireceği tüm tren seferleri için bir çizelge oluşturmakta bunu da itenerer olarak isimlendirmektedir. Çizelgeler yolcu talepleri, tren set durumları, mevcut personel sayıları, hat kapasiteleri ve benzeri etmenler göz önüne alınarak her yıl aralık ayında hazırlanmaktadır. TCDD Taşımacılık A.Ş. işleteceği tüm YHT sefer trenleri, kalkış garından varış garına tüm ara garlardaki varış ve hareket saatlerini kapsayacak şekilde hazırlanmaktadır. EK-1'de örneği görülen tren hareket saatleri tablosunda; kalkış varış

istasyonu ile birlikte trenlerin duruş yapacağı ara istasyonlar ve duruş süreleri ve seferin ne kadar süreceğini gösteren seyir süresi bulunmaktadır.

Söz konusu çizelge oluşturulurken yolculardan gelen talepler, kurumun sahip olduğu tren adetleri ve işletme şartları göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. İlk etapta oluşturulan bu çizelgeler kesinleşene kadar birçok değişikliğe uğramakta, onaylandıktan sonra ise çok nadir değişikliğe uğrayarak uygulanmaktadır. Değişiklikler genellikle dini ve resmi bayram, okulların açılma ve kapanma dönemleri gibi özel günlerde ilave tren sefere konulması şeklinde olmaktadır. TCDD taşımacılık A.Ş. Yolcu Dairesi Başkanlığı tarafından taslak hali oluşturulan YHT sefer çizelgelerinin kesin hali TCDD Genel Müdürlüğü Kapasite Dairesince onaylandıktan sonra kesinleşmektedir.

3.3. YHT Tren Planı (Set planı)

TCDD Taşımacılık A.Ş.'nin YHT ağında kullanılan tren türlerinin seçiminde çeşitli faktörler dikkate alınmıştır. Kurum, yapısına uygun olmayacak bir tren setinin kopyasını satın almak yerine, gereksinim duyduğu özellikler üzerinde çalışmış bu doğrultuda ilk etapta 409 yolcu kapasiteli 6 vagonlu oluşan 12 adet 65000 serili CAF setlerini temin etmiştir. Bu tren setleri seçiminde ihtiyaçları karşılama, fiyat uygunluğu, tedarik süreci gibi kriterler ön planda olmuştur.

Kurumun makine parkurunda bulunan bir diğer tren seti ise Siemens 80100 serisi setlerdir. Toplam 19 adet olup, bu setlerin maksimum hızı 350 km/h dır. Özellikle Ankara-Konya hattının ticari hızının 350 km/h göre inşa edilmesi bu setlerin temin edilmesinde önemli kriter olmuştur. Bu setlerin seçimine etki eden kriterler şu şekilde sıralanabilir;

- Hızlanma ve fren oranları,
- Maksimum hız,
- Tren uzunluğu (vagon sayısı) (kapasite),

Filo büyüklüğü talep tahminlerinde gösterilen kapasite gerekliliklerine yanıt verebilmelidir. 12 adet 6 vagonlu 409 yolcu kapasiteli 65000 seri CAF tren seti ve 19 adet 8 vagonlu 483 yolcu kapasiteli 80101 seri Siemens tren setleri, tren sefer planlamasında önemli bir kısıt oluşturmaktadır.



Resim 3.1. YHT Siemens ve Caf setleri

YHT işletmeciliğinde seferlere verilecek trenlerin seçiminde bu iki tip trenlerin kapasiteleri ve maximum hızları ile araç parkurunda bulunan set sayıları göz önüne alınmaktadır.

3.4. YHT Tarife (Turnist) Planı (Ekip Eşleştirme)

Tarife (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, ihtiyat (acil durumlar için yedek) ve test trenleri gibi görevler için görevlendirilecek makinist sayısı ilave edilmektedir. Son olarak yıllık izin hastalık gibi kayıplar göz önüne alınarak %25 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.

Bu çalışmayla; yapılan mevcut durum analizleri ve kurum yetkililerinin ve çalışanlarının şikayet ve talepleri doğrultusunda problem ele alınarak makinist planlamasında kullanılan iş gücünü en aza indirecek, hızlı sonuç veren, kişiden bağımsız, esnek, dinamik, makinistlerin çalışma sürelerinde dengeli, adaletli bir iş yükünün olduğu, bilimsel temellere dayanan, sonuçları ölçülebilen, personel memnuniyetinin yanında kuruma verimli ve etkili bir planlama imkânı sunan sefer-makinist eşleştirmesi yapılarak en iyi ekip planı oluşturmak ve en az sayıda makinist ile tren seferlerini gerçekleştirmek amaçlanmıştır.

Çalışmanın yedinci bölümlerinde hızlı trenlerde mevcut seferler için ekip çizelgeleme yani sefer-makinist eşleştirmesi üzerinde ayrıntılı olarak durulmuş ve kurum üzerinde uygulaması yapılmıştır.

3.5. YHT Makinist Ekip Atama

Ekip atama, makinistlerin bireysel olarak tren seferlerine atanmasıyla ilgilenilir.

Ekip atama çoğunlukla üç şekilde gerçekleşir: Birincisinde personel tarifesine göre aylık eşleştirmeler oluşturulur ve makinistler kıdemlerine göre bu eşleştirmelere atanırlar. İkincisinde ise makinistlere tecrübe, eğitim ve başarı kıstaslarına göre puanlama verilir, her makinistin puanına göre ekip ataması yapılır. Üçüncüsü ise makinistlerin herhangi bir kriter gözetmeksizin rassal olarak çizelgelere atanmasıdır (Üstündağ, 2010).

TCDD Taşımacılık A.Ş.'de makinist personel, çalışmamız ile oluşturulan sefer-makinist çizelgelerine (eşleştirmelere) rassal olarak atanmaktadır.

YHT işletmeciliğinde tarife (turnist) planı ve ekip atama YHT ekip eşleştirmeye karşılık gelmektedir. Çalışmamızın ana konusu ise tarife (turnist) planı yani makinistlerin trenlere sefer-makinist olarak eşleşmesidir.

4. YHT İŞLETMECİLİĞİNDE EKİP EŞLEŞTİRME

4.1. Personel ve Ekip Çizelgeleme (Eşleştirme)

Çizelgeleme, hizmet sektörü ve imalat sanayilerinde karar verici açısından işin makineye, personelin göreve atanmalarında önemli role sahiptir. İşletmelerde çizelgeleme işlemleri, matematiksel yöntemler veya sezgisel teknikler kullanmak suretiyle kısıt kaynakların görevlere verilmesi işlemi olarak tariflenir. Kısıt kaynakların görevlere uygun olarak atanması ile işletmelerin hedeflerine en iyi şekilde ulaşması sağlanır (Çankaya, 2009).

Yöntem olarak çizelgeleme genellikle aşağıda sıralandığı şekilde ele alınabilir (Çankaya, 2009).

- Proje,
- Atölye,
- Otomasyon Üretim Sistemleri,
- Ekip,
- Zaman,
- Personel.

Personel çizelgeleme; yukarıda sayılan çizelgeleme problemlerinin yapısına uymayıp farklılık arz eder. Personel çizelgeleme ile makine çizelgeleme öncelikle makinelerin görevlere eşleştirilmesi sonrası personelin hem makinelere hem de vardiyalara atanması ile ilgilendiğinden, birbiri ile iç içe geçmiş ilişki halindedir (Pinedo, 1999).

Ürün veya hizmet üretimi için kurulmuş bir işletmenin ürün ya da hizmete olan talebi karşılamak için gereken personelin görev eşleştirilmesi veya görev çizelgelerini oluşturma sürecine personel çizelgeleme denir. Bu aşamada öncelikli olarak bu hizmeti görece ve talebi karşılayacak bilgi, beceri ve kabiliyete sahip personel sayısını hesaplamak ana amaçtır. Burada personel, hizmet talebini karşılayacak görevler için vardiyalara atanır, sonrasında ise her vardiya için görevlere eşleştirilir (Çankaya, 2009).

Eşleştirme oluşturma süreci aşağıda sıralanan bir dizi modülden oluşmaktadır (Ernst ve ark.,

2004).

- Talebi modelleştirme,
- İzinli günlerini belirleme,
- Vardiya eşleştirmesi,
- İş sıralaması yapma,
- Görev eşleştirmesi,
- Çalışan (personel) atama.

Kısaca personel çizelgeleme; bir işletmede, bir organizasyonda, bir işte çalıştırılacak en az personel sayısının hesaplanması olarak ifade edilir (Benchtold ve Jacobs, 1990).

İş, vardiya, izin, tur, takım eşleştirme ile görev ve personel atama vb. çizelgeleme türlerinin genel adına personel çizelgeleme denir. Bu çizelgeleme türlerinden hangisi olursa olsun amaç çalışma çizelgesi oluşturmaksa personel çizelgeleme kategorisinde yer alır (Özçelik, 2011).

Ulaşım sektöründe (karayolu, havayolu, demiryolları, denizyolu ve toplu taşıma) personel çizelgeleme ekip eşleştirme olarak tariflendirilir.

Ulaştırma sektöründe uygulanan ekip eşleştirmelerin ortak yönü; bir görev için, başlangıcı ve bitiş zaman olarak belirlenmesi, aynı şekilde bir görev yerini başlangıç ve bitiş olarak belirlenmesi ile çalışanların gerçekleştireceği tüm görevlerin belirli bir zaman çizelgesinde (uçuş dilimi, tren seferi) ele alınmasıdır (Çankaya, 2009).

4.2. Ekip Eşleştirme Problem Tipleri

YHT işletmeciliğinde ekip eşleştirme; trenlerde görev alacak makinist personelin günlük hangi seferde görev alacağı sorusuna cevap aramak olarak ifade edilebilir.

Çalışma organizasyonu içerisinde personelin çalışacağı çalışma günlerini, çalışma şartları ve çalışma ortamı açısından yasal gereklilikler, yönetim personel arasında yapılan sözleşmeler ile personel çizelgeleme problemi hafta boyunca yedi günlük hizmetin

yürütümünü sağlayacak atama ile ilgilidir. Personelin çalışıp çalışmayacağı günler ile günlük görevleri yürütecek personel ihtiyacı çalışma çizelgesinde gösterilir (Sarucan, 1999).

YHT İşletmeciliğinde personel çizelgeleme ekip eşleştirme olarak ele alınmakta olup, YHT işletmeciliği planlama sürecindeki en önemli aşamadır.

Üyelerinin memnuniyetini arttıracak ekip eşleştirme problemlerinde hem ekip üyelerinin memnuniyetini sağlayacak hem de iş organizasyonu açısından en iyi personel planlamasını oluşturacak iki amaçlı yeni bir matematiksel model, Moudani ve ark. (2001) tarafından önerilmiş olup, birinci amaç ekip sayısının azaltılması ile maliyetlerinin düşürülmesi, ikinci amaç ekibi oluşturan personelin memnuniyetini sağlamaktır (Moudani ve ark., 2001).

Çalışmamızın da ana amaçları bu amaçlar ile paralel olup, makinist ekip eşleştirmesi ile personelin yıllık izinleri, sağlık raporları, resmi tatiller dikkate alınarak yasal mevzuatın izin verdiği ölçüde makinist sefer eşleştirmesi yaparak makinist ihtiyacını ortaya koymaktır.

Literatürde eşleştirme problemleri gün bazlı, hafta bazlı ve ileri dönemli (genellikle aylık) olmak üzere üç kategoride ele alınmıştır (Üstündağ, 2010).

Günlük eşleştirme problemi

Günlük eşleştirmede, YHT tren seferlerinin tamamı her gün çalışacağı üzerine durulmuş, problem girdisi TCDD Taşımacılık A.Ş. tarafından belirlenen günlük YHT seferleri oluşturmaktadır. Günlük eşleştirme probleminde, bir günde YHT tren seferlerinin tamamını kapsadığı eşleştirmeler kümesini oluşturulur. Günlük en fazla çalışma süresi, dinlenme süresi ve yasal mevzuattan kaynaklı diğer kısıtlar planlama aşamasında dikkate alınır.

Çalışmamızın ana konusu olan sefer-makinist eşleştirme problemi günlük eşleştirme üzerine kurulmuştur.

Haftalık eşleştirme problemi

Günlük eşleştirmenin haftanın her günü tekrarlanması olarak ifade edilir. Haftalık eşleştirme problemi, günlük problem çözüldükten sonra ele alınır. Haftalık çalışma süresi, hafta tatili gibi kısıtlar planlama sürecinde dikkate alınmaktadır.

İleri tarihli (aylık) eşleştirme problemi

Zaman çizelgesinin çoğunlukla 1 ay olarak varsayıldığı eşleştirme problemleridir. Haftalar arasındaki farklılıklar problem çözümünde önemli yer alır. İleri tarihli planlamalarda bazı haftalarda tren iptallerine ya da ilave trenlerden kaynaklı eşleştirmede değişiklikler olabilmektedir. Bu tip ilaveler ve değişiklikler dikkate alınarak aylık eşleştirmeler oluşturulur. Yıllık izin süreleri ve resmi tatiller bu planlama safhasında göz önüne alınır.

“Ekip eşleştirme süreç olarak günlük eşleştirmeleri eniyilemeyle başlar. Akabinde haftalık ve aylık eşleştirmeler bütünü oluşturularak tamamlanır. Eşleştirmede ekip üyesini oluşturan personel aynı merkezde başlayan ve aynı merkezde biten seferler dizisinden oluşur. Seferlerin tamamını içeren eşleştirmeler bulunduktan sonra, ekip üyelerini oluşturan personellerin seferlere atanması ile süreç tamamlanmış olur” (Ulucan ve Eryiğit, 2004; Chu ve ark., 1997).

Çalışmamız günlük ekip eşleştirme problem kategorisi üzerinden ele alınmıştır.

5. EKİP EŞLEŞTİRME YAKLAŞIMLARI

Ekip eşleştirme yaklaşımları literatürde matematiksel modeller ve sezgisel modeller olarak iki kategoride ele alınabilmektedir. Ayrıca ekip eşleştirme kümesi oluşturma ve en iyi ekip eşleşme kümesi seçme yaklaşımı olarak ta kategorilendirilmektedir.

Çalışmamız ekip eşleştirme kümesi oluşturma ve akabinde en iyi ekip eşleştirmenin seçilmesi kategorisinde ele alınmıştır.

Buna göre ekip eşleştirmede ele alınan problem için çözüm yaklaşımları aşağıda açıklanmıştır (Çankaya, 2009; Üstündağ, 2010).

5.1. Matematiksel Programlama Yöntemleri

5.1.1. Satır yöntemi

Satır yönteminde uygun bir başlangıç çözümüne yerel bir optimizasyon uygulanarak, ekip eşleştirme problemine çözüm getiren bir yöntemdir. Çözülecek eşleştirme problemine benzer bir problemin çalıştırılması ile iyi bir başlangıç çözümü elde edilir, en iyi çözüme ulaşmaya çalışılır eğer uygun bir başlangıç çözümü elde edilmiyorsa uygun başlangıç çözümü için sezgisel yaklaşımlar tercih edilir (Çankaya, 2009).

5.1.2. Sütun türetme algoritması

Büyük ölçekli problemlerin çözümünde kullanıldığı gibi tam sayılı ve doğrusal problemlerin çözümünde kullanılır.

Doğrusal programlama probleminin ikil çözümünde, değişkenler için karşılık oluşturan yeni elverişli sütunlar, mevcut çözüm için anlamlı gelişim sağlayacak sütunlara karşılık gelen maliyetlerin negatif olması ile oluşturulur, bu yeni sütunların oluşması ile yeni elverişli olasılıkların türetilmesi ve hızlı bir şekilde oluşturulmasını sağlamak için zaman ve işlemci hafızası gerektirmektedir (Papoutsis ve ark., 2003).

Özellikle boyutu büyük olan doğrusal programlı problemlerde değişkenler için çoğu simplex algoritmasının temelinde olmayacağı ve en iyi sonuç için sıfır değerini alacağından, problemin çözümünde değişkenlerin ancak bir alt kümede olduğu düşüncesine dayanan bu algorithmada, problem çözülürken sadece temelde olan değişkenlerle işe başlanıp, sonrasında temele girecek diğer değişkenlerin belirlemesi amacıyla indirgenmiş maliyet kullanılır (Kallehauge ve ark., 2005; Klabjan, 2005).

5.1.3. Şebeke yaklaşımı

Şebeke yaklaşımı temelde, sütunların tren seferleri ya da görev ağı kullanılması suretiyle oluşturulan sütun modelidir (Lavoie ve ark., 1988). Model ilk olarak Lavoie ve ark. tarafından ele alınmıştır.

5.1.4. Doğrusal programlama yaklaşımları

Hacim ve Sprint algoritmaları doğrusal programlama yaklaşımlarından (algoritmalarından) birkaç tanesidir.

Birçok diziden oluşan küçük doğrusal programlar çözülerek büyük hacimli doğrusal programın en iyi çözümü Sprint algoritması ile bulunmaktadır (Çankaya, 2009).

5.1.5. Dantzig-wolfe ayrıştırması

Genellikle büyük ölçekli problemlerin çözümü için kullanım tercihinde bulunan bir matematiksel programlama modelidir.

Bu yaklaşımda problem birbirinden bağımsız alt probleme ve alt problemlerde birbirine bağlanan temel bir probleme ayrıştırılır. Temel ve alt problem elverişli çözüm için arka arkaya çözülerek bulunan sonuçlardan amaç fonksiyonu oluşturulmakta ve akabinde alt problem çözülüp elde edilen sütunlar ana probleme katılarak en iyi çözüm bulunana kadar devam ederek çözülmeaktadır (Dantzig, 1963).

5.1.6. Dal-sınır algoritması

Doğrusal programlama problemlerini çözmek için geliştirilmiş modellerden bir tanesi de Dal-sınır algoritmasıdır (Ulucan, 2004).

Algoritmanın temel amacı sistematik olarak en iyi çözüm elde etmektir. İki basamakta problemleri ele alıp çözüm sunar. Örneğin en küçükleme probleminde ilk basamak amaç fonksiyonuna bir üst sınır koyarak problemi en küçüklemeye çalışır. Sonraki basamakta ise çözüm kümesi alt kümelerle bölünür, alt kümelerin hepsi için en küçük değer oluşturularak problem çözüme kavuşturulur (Üstündağ, 2010).

Stojkovic ve ark., (1998)'de ekip eşleştirme problemini küme ayrıştırma problemi olarak ilk etapta ele almış, dal-sınır algoritması kullanarak sütun türetme yöntemini geliştirmiştir. Problemin çözümünde problemin amaç fonksiyonu için zamansal olarak en iyi sonuçları elde etmeye odaklanmışlardır.

Şehir içi toplu taşımada kullanılan araçlar ile bu araçları kullanan personel ekibinin eşleştirilmesi için sütun oluşturma yöntemi kullanılarak başlangıç çözümü elde edilmiş daha sonra maaş kalemleri ve kurum sözleşmelerindeki kısıtlar modele dahil edilerek tam sayılı bir çözüme ulaşmak için Friberg ve Haase, (1999) dal-sınır yöntemini uygulamışlardır (Friberg, 1999).

5.2. Sezgisel Yöntemler

Genellikle ekip eşleştirme problemlerinde çözümün zor olduğu durumlarda tercih edilen modellerdir. Literatürde kullanımı genellikle azdır. Çalışmamızda olası tüm eşleştirmeler kümesi oluşturulurken Frisch ve ark. (2022) geliştirmiş olduğu Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritması Yöntemi kullanılmıştır.

5.2.1. Genetik algoritma yaklaşımı

Al-Sultan ve ark., (1996) "Genetik Algoritmaları (GA) evrim sürecini taklit eden arama teknikleri" şeklinde tanımlar. Olası tüm çözümler için olası çözümler kümesi oluşturulur, biyolojik olarak taklit edilen genetik çözümler rassal ya da belirlenen koşullara göre elde

edilen başlangıç çözümler kümesine genetik olarak uygulanması ile gelişim evresi taklit edilerek problem çözüme kavuşturulur (Goldberg, 1989).

Karınca kolonisi, tabu arama, tavlama benzetimi gibi yöntemler literatürde genetik algoritmayı kullanan yöntemler olarak bilinir.

Havayolu ekip eşleştirmesi için Levine, (1996) durağan genetik algoritma ile yerel arama sezgisel modeli birleştirip gerçek hayatta havayolu firması üzerinde test etmiş, çözüm sonucu elde ettiği değerleri dal-sınır algoritmalarından elde ettiği değerler ile karşılaştırarak en iyi sonucu yakalamaya çalışmıştır.

5.2.2. Sinir ağı yaklaşımı

İnsanoğlunun beynindeki sinirlerden esinlenerek yapay sinir ağları üretilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine ağırlıklı bağlantı modeli ile bağlanan kendi sinir hafızasına sahip paralel yapılar olarak tanımlanır (Üstündağ, 2010).

Veri tasnifleme, en iyi değeri bulma, model seçme gibi iyi sonuçlar elde etmek mümkündür (Elmas, 2003).

5.2.3. Çoklu şebeke akış modeli

Bu modelde hat boyunca en az maliyetle izlenecek yollar için ürün kümesi oluşturulur. Bu ürün kümesine uygulamada telekom hattındaki her türlü mesaj, ulaşımında kullanılan araçlar örnek verilebilir. Ortak bir tesisi paylaşan bu ürünler bağımsız olmadıklarından en iyi akışı oluşturmak için problemde birbiri ile ilişki içerisindedir. Bu yüzden ürünlerin her biri bir veya birden fazla başlangıç çözümünden yani düğümden ve bir veya birkaç varış düğümüne geçiş yapabilir. Bu sayede maliyet akış düğümünü enazlayarak çözüm elde etmek mümkündür (Orhan, 2007).

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışma kapsamında, kurumun sahip olduğu problemlerin çözümüne yönelik araştırmalar yapılmış, benzer problemleri konu edinen makale, tez ve kitaplar incelenmiş, problemin çözümü için yararlanılan çalışmalar çözüm yaklaşımlarına göre aşağıda gösterilmiştir.

Desaulniers ve ark., Dantzig- Wolfe ayrıştırma modeli ile, ana problem küme ayrıştırma, alt problem görev periyotları olacak şekilde çok ürünlü şebeke modeli olarak tasarlamışlar ve maliyetlerin doğrusal olmadığı durumlar için kesinlik ifade eden bir maliyet fonksiyonu oluşturmuşlardır (Desaulniers ve ark., 1997/b).

Cavique ve ark., tabu arama yöntemini kullanarak Lizbon metrosunda metroyu kullanan personelin görevlere ekip olarak eşleştirmesi ve eşleşen personelin ataması için karar destek sistemini geliştirmişlerdir (Cavique ve ark., 1999).

Ernst ve Jiang, ekip çizelgeleme ve ekip listeleme probleminin çözümü için tümleşik optimizasyon modeli önermişler, problemin geleneksel modellerden farkı her bölgede bulunan mürettebat sayısını da dikkate alarak, elde edilen sayısal sonuçlar ile iş gücünün azaltılabileceğini göstermişlerdir (Ernst ve Jiang, 2004).

Bazargan, bir uçağın art arda alabileceği seferlerden oluşan eşleşmeler listesi hazırlamış, ilk olarak, olası bütün eşleşmelerden hangilerinin kullanılacağına karar veren model kurmuştur. Bu modelin optimal sonucuna dayanarak, karar verilen eşleşmelere uygun ekip atamalarını yapan ikinci model oluşturmuş, bu modelde, ekibin uygun çalışma gün ve saat bilgisinden yola çıkarak hazırlanan yeni bir eşleşme kullanarak, her bir ekip için yer alabileceği olası tüm eşleşmeler kombinasyonu oluşturmuştur. İkinci modelin sonunda hangi ekip hangi eşleşmeye atandı, sorusunun cevabını bulmuştur (Bazargan, 2004).

Yen ve Birge, ekip eşleştirme problemini, olabilecek kesintileri dikkate almadan belirlenimci modelleme yapmak yerine, kesintileri göz önüne alarak olasılıksal bir algoritma geliştirmişler, bu sayede daha iyi çözümler elde ederek gecikmenin olumsuz taraflarını enazlamayı amaçlamışlardır (Yen ve Birge, 2006).

Xu ve ark., Amerikan havayolu firmasından alınan verileri hareketli komşu tabanlı tabu arama yöntemini uygulayarak uçuş eğitmenleri çizelgeleme problemini çözmüşlerdir (Xu ve ark., 2006).

Bengtsson ve ark., eşleştirme probleminde sütun türetme yöntemi kullanmışlar, el ile yapılan planlamaya göre %15 kar elde etmişlerdir (Bengtsson ve ark., 2007).

Yüceoğlu ve Şahin, ekip kapasite planlama problemini, büyük ölçekli olduğu için açgözlü (Greedy) algoritma kullanarak çözdürmüşlerdir. Kapasite hesaplamasında 24 saatlik dinlenmeleri kısıt olarak kullanarak, matematiksel yöntem olarak minimum akış problemi seçilmiştir. Yöntemler karşılaştırıldığında açgözlü algoritmanın daha iyi sayısal sonuç verdiğini ortaya çıkarmışlardır (Yüceoğlu ve Şahin, 2011).

Abbink, Hollanda Demiryolları için ekip planlaması üzerine yapmış olduğu bir çalışmada; planlamacılar tarafından manuel yapılan personel ekip planlamasını (makiniist ve kondüktörden oluşan) matematiksel optimizasyon modelleri kullanarak verimsiz olan planlamayı verimli hale getirerek seferlerin minimum ekiple yapılmasını ve gecikmelerin minimum olmasını amaçlamıştır. Bu amaçlara ulaşabilmek için Sütun üretimi, Lagrange gevşemesi, tamsayılı doğrusal programlar, küme kaplama modelleri, ileri düzey sorunların çözümü için yerel arama ve meta-sezgisel yöntemlerden yararlanmış ve bu tekniklerin Hollanda demiryolu üzerindeki etkisini analiz etmiştir (Abbink, 2014).

Jong, Amsterdam-Paris arası demiryolu trenlerinde çalışan personelin ekip ataması problemi için küme kaplama yöntemi ile formüle ederek en kısa yol ve dal-sınır algoritmasını başarıyla uygulamıştır. Minimum ve maksimum görev süresi, ekiplerin görevlerinin aynı yerde başlayıp aynı yerde bitirmesi, molalar arasındaki minimum ve maksimum süre, tren üzerindeki maksimum sürüş süresi, minimum ve maksimum bekleme süresi gibi kısıtlar uygulamamız da yer alan kısıtlara uymaktadır (Jong, 2017).

Fuentes ve ark., mesafelerin büyük olmadığı ancak servis sıklığının çok yüksek olduğu hızlı transit ağlarında bir ekip planlama modelini geleneksel olarak küme kapsama-bölümleme problemi olarak modellenmişlerdir. Burada sunulan yaklaşım, doğrusal bir ödeme politikasından faydalanarak ve demiryolu taşıtlarının dolaşımı gibi diğer planlama problemleriyle daha kolay entegrasyona olanak sağlayarak soruna farklı bir şekilde

yaklaşmışlardır. Bu yeni modeli çözmek için Düzelt ve Rahatlat matematik sezgisi kullanarak, sunulan çözüm yaklaşımının performansını karşılaştırmak amacıyla Dal ve Sınır ve Ticari Buluşsal Yöntemleri ile test etmişlerdir. Sonuçların iyiliğini göstermek amacıyla, vaka çalışmaları için İspanya'nın ana tren operatörü RENFE'den gerçek değerler alarak uygulama yapmışlar, optimalite ile ticari yazılımın hesaplama süreleri karşılaştırıldığında, optimalitenin hesaplama süresinin ticari yazılımın hesaplama süresinden %94 daha az çıktığını göstermişlerdir (Fuentes ve ark., 2018).

Pan ve ark., sütun oluşturmaya dayalı bir yaklaşım kullanarak metro hatlarında araç ve mürettebat planlaması için entegre bir yaklaşım ele almışlardır (Pan ve ark., 2021).

Hanczar ve Zandi, bir küme kapsayan optimizasyon modelini, farklı aşamalardan oluşan bir yaklaşım olarak Polonya'nın demiryoluna uygulamışlardır (Hanczar ve Zandi, 2021).

Neufeld ve ark., Çin'in Chengdu kentindeki bir demiryolu transit hattını temel alan bir dizi gerçek tren seferi örneği üzerinden seferleri gerçekleştirecek ekiplerin toplam seyahat maliyetini ve ekipteki iş yükü dengesizliklerini en aza indirmek için bağımsız mürettebat üyesine özgü alt problemlere ayıştıran Alternatif Yön Çarpan Yöntemi (ADMM) kullanarak ekip eşleştirmesi yapmışlardır. Sonuçlar, iyileştirmelerle birlikte ADMM tabanlı yaklaşımın, geleneksel Lagrange Gevşemesi tabanlı yaklaşımdan önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamışlardır. Geliştirmelerle birlikte önerilen ADMM tabanlı yaklaşımdan Lagrangian Gevşemesi yaklaşımına göre ekip eşleştirme sayısında ortalama %4,2 oranında daha iyi sonuç almışlardır (Neufeld ve ark., 2021).

Zhao ve ark., Çin'de Wuhan–Guangzhou arası yüksek hızlı tren demiryolu hattı için, ekip planlamada gerçek durumları dikkate alan yeni bir matematiksel formülasyon sunmuşlardır. Mevcut durumda uygulamayı yaptıkları demiryolu şirketinde ekip planlaması manuel olarak yapıldığından ve plan kalitesi kişiden kişiye değişmesinden dolayı ölçülebilir bir planlama elde edilemediğinden, bu sorunu çözmek için geliştirilmiş bir genetik algoritma önermişlerdir. Önerilen GA'nın sayesinde verimlilik artırılmış, klasik planlamayla karşılaştırıldığında meta-sezgisel algoritma ve geliştirilmiş genetik algoritma ile ekip çalışma süresinde ortalama eski plana kıyasla %6,20 oranında iyileşme ve ekip sayısında üç birim azalma sağlamışlardır (Zhao ve ark., 2022).

Frisch, Hungerlander ve Jellen, gerçek hayatta demiryolu personel planlaması (çizelgeleme problemi) için modelleme çalışması yürütmüşlerdir. Avusturya'nın yük taşımacılığında en büyük demiryolu şirketi olan Rail Cargo Avusturya (RCA) için Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritması (BFC) kullanılarak olası tüm eşleşmeler için eşleştirme kümesi (matrisi) oluşturulmuş ve tam sayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak (küme kapsama) tüm görevleri sağlayacak minimum sayıdaki eşleşmenin seçilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan algoritmalar programlama dilinde yazmış olduğumuz kodlara ışık tutmuştur (Frisch, Hungerlander ve Jellen, 2022).

Pang ve Chen, bakterinin yiyecek arama davranışına dayanan, bakteriyel yiyecek arama algoritmasını (BFA) kullanan karma tamsayılı doğrusal programlama probleminin bir demiryolu ekip planlama modeli için tasarlamış ve modelin avantajlarını ve sınırlamalarını değerlendirmiştir. Tayvan Demiryolları veri setini kullanarak, demiryolu mürettebat planlama optimizasyonu için önerilen BFA tabanlı yöntemin performansını genetik algoritma (GA) ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO) olmak üzere iki kıyaslama yöntemiyle karşılaştırıp, çözüm kalitesi, hesaplama süresi ve verimlilik açısından avantajlarını ortaya koymuşlardır (Pang ve Chen, 2023).

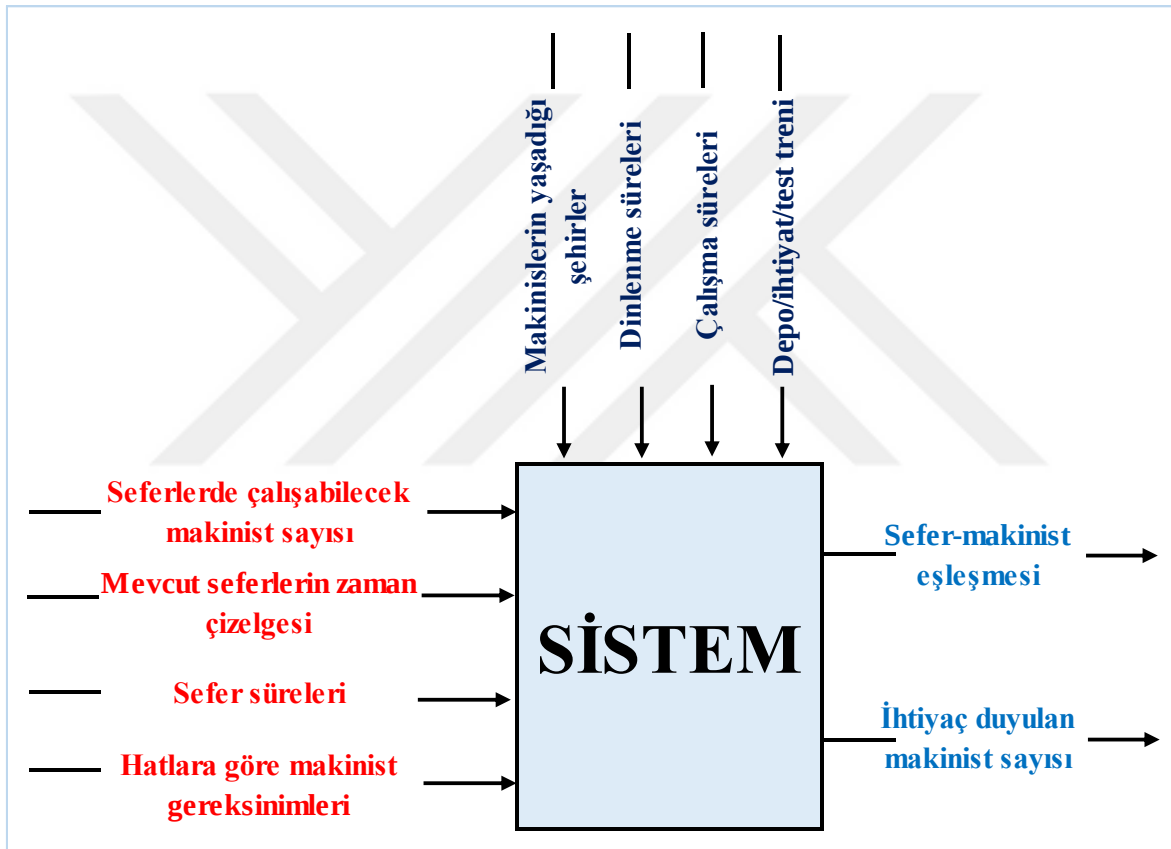
Feng ve ark., kentsel demiryolu personeli çizelgeleme ve görevlendirme problemlerini eş zamanlı olarak optimize edebilen yeni bir tamsayılı doğrusal programlama (ILP) modeli önermişler, sorunu modellemek için kullanılan temel ağın yapısının etkili, buluşsal bir dal ve fiyat prosedürünün geliştirilmesine olanak sağladığını göstererek, Lagrange gevşemesi ile karşılaştırarak bu yöntemin, Lagrange gevşemesinden ortalama %16,4 oranında daha iyi alt sınırlar sağladığını göstermişler, ayrıca ortalama %3,28'lik oran ile daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır (Feng ve ark., 2024).

Çalışmamızda, YHT sefer-makinist eşleştirme problemimize en uygun kısıtlara ve amaç fonksiyonuna sahip olan Frisch, Hungerlander ve Jellen 'ın yaklaşımı ve küme kapsama temel alınarak matematiksel modeller oluşturulmuştur.

7. YHT'LERDE SEFER-MAKİNİST EŞLEŞTİRMESİ UYGULAMASI

Çalışmamız ile TCDD Taşımacılık A.Ş.'de yüksek hızlı trenlerde görev alan makinist personelin seferlere verimli bir şekilde eşleştirilmesi ve YHT'lerde görev alacak toplam makinist personel sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Mevcut sistemin nasıl çalıştığını daha ayrıntılı analiz etmek amacıyla oluşturulan sistem girdi ve çıktı şeması Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Sistem girdi ve çıktı şeması.

Mevcut sistemin girdileri; seferlerin kalkış-varış saatleri, kalkış-varış yerleri ve sefer sürelerini içeren sefer çizelgesi, hatlara göre makinist gereksinimleri ve o gün trenlere verilebilecek makinist sayılarıdır. Sistemin kısıtları; makinistlerin yaşadığı şehirler (Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul ve Sivas), dinlenme süreleri, çalışma süreleri, depo manevra/ihtiyat/test gibi sefer dışı görevlerdir. Sistemin çıktısı ise; sefer-makinist eşleştirmesi ve ihtiyaç duyulan makinist sayısıdır.

Mevcut sistemde her ana merkez için ayrı hazırlanan tarife (turnist) planının oluşturulmasının uzun zaman alması, manüel olarak hazırlandığı için en ufak bir hatada en baştan oluşturulması, hazırlanan planın çalışanın inisiyatifine bağlı olması, oluşturulan planın optimalliğinin (en iyi plan olup olmadığı) değerlendirilememesi gibi nedenler mevcut sistemin elden geçirilerek yeni sistemin kurulmasının zeminini hazırlamıştır.

Buna göre yapılan sistem, SWOT ve kök-neden analizleri ile kurum yetkililerinin ve çalışanlarının şikayet ve talepleri doğrultusunda, makinist planlamasında kullanılan iş gücünü en aza indirecek, hızlı sonuç veren, kişiden bağımsız, esnek, dinamik, makinistlerin çalışma sürelerinde dengeli, adaletli bir iş yükünün olduğu, bilimsel temellere dayanan, sonuçları ölçülebilen, personel memnuniyetinin yanında kuruma verimli ve etkili bir planlama imkânı sunan sefer-makinist eşleştirmesi amaçlanmıştır.

YHT hattı için sefer-makinist planlaması (tarife planı) oluşturma işleminin adımları aşağıdaki gibidir:

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

7.1. Sefer-Makinist Eşleştirmesi

Yüksek hızlı trenlerde sefer-makinist eşleşmesi TCDD Taşımacılık A.Ş. tarafından her yıl aralık ayında planlanan tren seferlerine makinistlerin eşleştirilmesi ile makinistlerin günlük çalışma programının hazırlandığı plan olarak ifade edilir.

Bir trenin seferini tamamladığı istasyondan sırada hangi seferi alacağını belirlendiği çalışma planına sefer eşleştirmesi denir. Eşleştirmede trenlerin hareket saatleri ve ara bekleme süreleri ve personelin günlük en fazla çalışma süresi (11 saat) dikkate alınıp; alacakları bir sonraki sefer ve varacakları istasyon belirtilir. Sefer eşleştirmesi aynı zamanda da makinist eşleştirmesi anlamındadır. Sefer-makinist eşleşmesi iki aşamadan oluşmaktadır.

1. aşama makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmelerin oluşturulması.

2. aşama ise birinci aşamada oluşan olası tüm eşleşmeler içinden tren seferlerinin tamamı bir ekip eşleştirmesi tarafından tam olarak kapsanacak şekilde toplam makinist sayısını en küçüklemek amaçlanır. Çalışmamızda küme kapsama modeli kullanılmıştır.

Çalışmamızda birinci aşama olan, yani YHT makinistinin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri kümesinin oluşturulmasında; Sarah Frisch ve arkadaşlarının geliştirmiş olduğu Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritmasından yararlanıp MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak olası tüm eşleştirmeler kümesi oluşturulmuştur.

İkinci aşama için ise birinci aşamada oluşturulan olası tüm eşleştirmeler kümesinden, küme kapsama modeli kullanılarak en az makinistle günlük seferleri yapabilecek ekip sayısı yani makinist sayısı elde edilmiştir.

Sefer-makinist eşleştirme probleminin modellenmesinde kullanılan küme kapsama modeli aşağıda gösterilmiştir.

Küme kapsama modeli:

$$\sum_{j=1}^n a(i, j)x(j) \geq 1 \quad \forall i = 1, \dots, m$$

$$x(j) \in \{0,1\} \quad \forall j = 1, \dots, n$$

k.a.

$$EnkZ = \sum_{j=1}^n c(j)x(j)$$

i : YHT tren seferi ($i = 1, 2, \dots, m$)

j : eşleşme sayısı ($j = 1, 2, \dots, n$)

$c(j)$: j eşleşme maliyet

$x(j)$: j eşleştirmesinin en iyi çözümde yer alıp almayacağı 0-1 değişken

$a(i, j)$: i . YHT tren seferinin j eşleştirmesince kapsanıp kapsanmadığı 0-1 parametre

Küme kapsama modeli ile YHT tren seferlerinin tamamı en az bir ekip eşleştirmesince kapsanacak şekilde toplam eşleştirme sayısını veya maliyetini en küçüklemeyi amaçlamaktadır (Üstündağ, 2010).

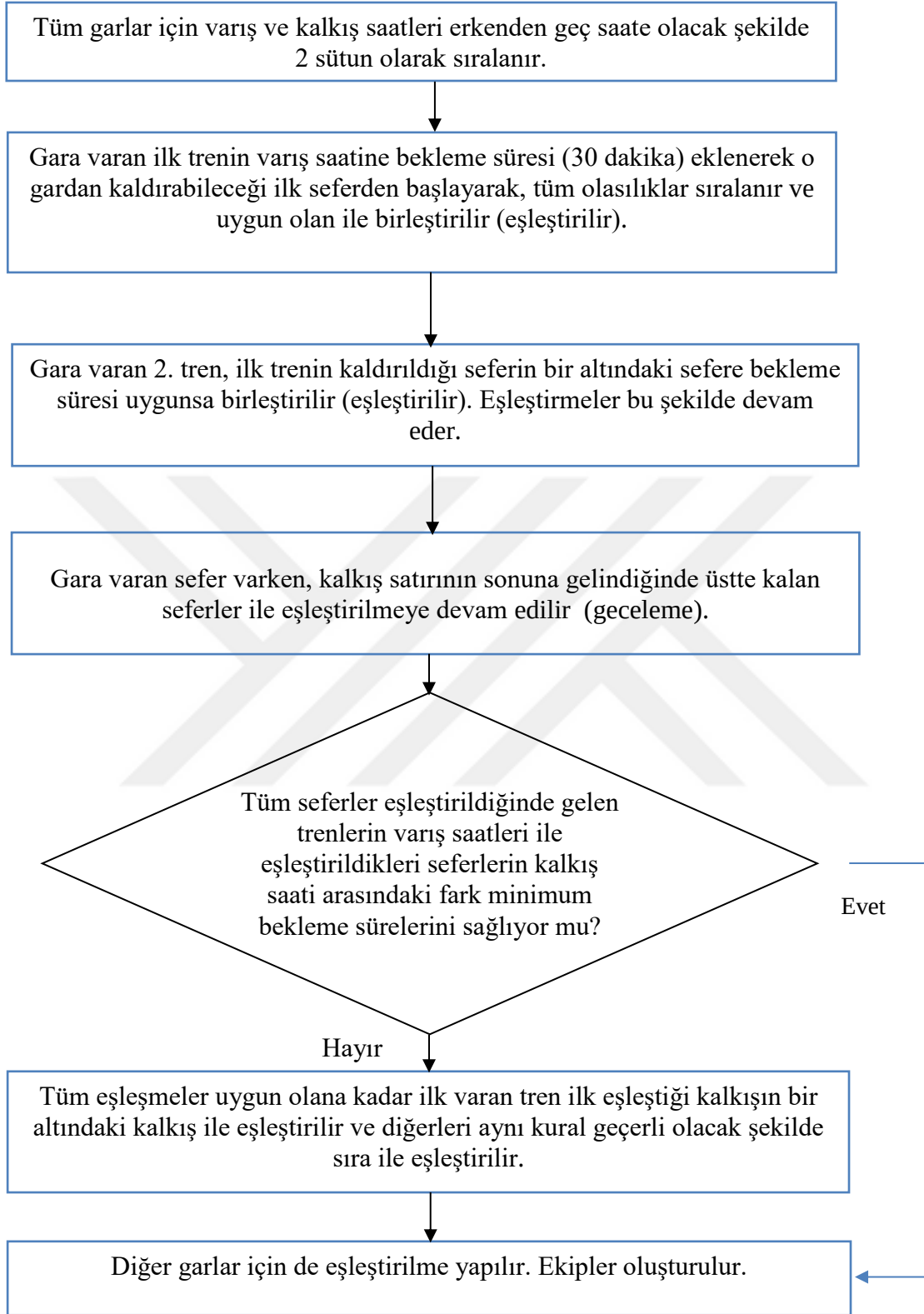
Küme kapsama modelinde bir tren seferinde duruma göre birden fazla ekip görev alabilmektedir. Örneğin, makinist planlaması yapılırken gidişte görev alan makinist dönüş için atanacağı sefer bulunamaz ise o personel ana şehrine veya asıl görev alacağı başka şehre bila (başka ekibin treni ile görevden dönme veya görev almaya gitme) denilen yöntem ile gidip gelmektedir.

Sefer-makinist eşleştirme problemimizde ise bu durum (bila) iki nedenle sağlanabilir. Birinci neden makinistin görevsiz dönmesi zorunluluğunda, ikinci neden ise daha iyi bir sefer-makinist eşleştirmesine olanak veriyorsa tercih edilir. Karar verici açısından makinist personelin bila dönmesinde sakınca yok ise küme kapsama modeli çözümde yer alır eğer makinist personelin bila dönmesi istenmiyorsa program çalıştırıldığında mümkün çözüm sunuyorsa bu sefer küme ayrıştırma modeli çözümde yer alır.

Kurum personelinin manuel yapmış olduğu ekip eşleştirmesine ilişkin süreç akış şeması Şekil 7.2’de verilmektedir.

Süreç akış şemasından da anlaşılabacağı üzere;

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



Şekil 7.2. Eşleştirme süreç akış şeması

Çalışmamız kapsamında yapılan eşleştirmeye ilişkin eşleştirme ve matematiksel modelleme süreç akış şeması Şekil 7.3'te verilmektedir.

Çalışmamızda kullanılan bazı kavramların tanımları aşağıda verilmiştir.

YHT tren seferi: Ana merkezi belirli olan bir şehirden yine ana merkezi belirli olan diğer bir şehre giden, kalkış ve varış zamanı ile seyir süresi belirli ve belirli periyotlarda sefer yapan treni ifade eder.

YHT iş alış merkezi: YHT makinistlerinin yaşadığı şehirdir. YHT tren seferlerini yapacak olan ekip üyeleri yani makinistler, görevi iş alış merkezinden alıp yine aynı şehirde görevlerini bırakması gerekmektedir. İş alış merkezleri Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul ve Sivas şehirleridir.

Görev: personelin treni sürmek için günlük almış olduğu işe denir. Görev süresi: birden fazla YHT tren seferi ile kısa dinlenme sürelerinin toplamı olarak ifade edilir.

İş alma ve iş bırakma süresi: YHT makinistlerinin trenin hareket saatinden önce treni kontrol etmek amacıyla göreve başladığı süre ile tren hareket saati arasında geçen süreye iş alma süresi, trenin varış saatinden itibaren treni kontrol amaçlı görevi bırakmasına kadar geçen süreye iş bırakma süresi denir. İş alma süresi 60 dakika, iş bırakma süresi ise 30 dakikadır.

Toplam görev süresi: YHT makinistinin iş alması ile iş bırakması arasında geçen görev, iş alma, iş bırakma ve kısa dinlenme sürelerinin tamamına denir.

Toplam görev süresi (iş yükü) = $\sum(\text{Görev süreleri toplamı} + \text{kısa dinlenme süreleri} + \text{iş alış-bırakış süreleri})$ (7.1)

Ana merkezinden uzakta kaldığı zaman (AMUKZ): Eşleştirme ile ana merkezine dönemeyip, ana merkezden yani yaşadığı şehirden uzakta bulunan gece dinlenmeleri dahil toplam görev zamanını kapsar. Eşleştirme ile kendi yaşadığı şehirden uzakta geçen toplam süre olarak ifade edilir (Park ve Ryu, 2006).

$AMUKZ = \sum \text{görev süreleri toplamı} + \sum \text{geceleme (yatar) süreleri}$ (7.2)

Uzun dinlenme süresi: İki görev süresi arasında gerçekleşen dinlenmeye denir.

Kısa dinlenme süresi: Görev süresinde iki tren seferi arasında gerçekleşen dinlenmeye denir.

Kısıtlar:

TCDD Taşımacılık A.Ş.’nin 08.11.2023 tarihli 505531 sayılı “Makinist personelin çalışma ve dinlenme saatleri hakkında” Genel Müdürlük yazısı ile “makinişterin 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 görevi biten bir makinist kendi ve harici merkezde dinlenme süresi en az 11 saat (660 dk.) ve görev alış bırakış dahil toplam görev süresi en fazla 11 saat (660 dk.) olmalıdır.

7.1.1. Makinist için olası tüm eşleşmeler kümesi oluşturulması

Sefer-makinist eşleştirmesinin birinci aşaması olan YHT makinistinin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri kümesinin oluşturulmasında; Frisch ve ark. (2022) geliştirmiş olduğu Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritmasından yararlanılıp, MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak olası tüm eşleşmeler kümesi oluşturulmuştur.

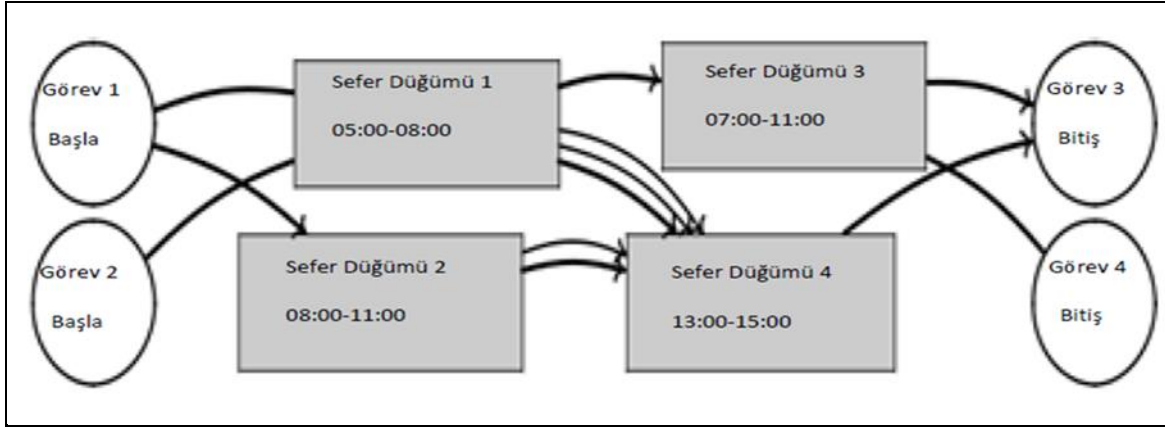
Sefer-makinist eşleşme problemi için girdi, mevcut makinistlerin bulunduğu ana istasyonları içerir. Bu istasyonlar, Ankara, Eskişehir, Konya, Sivas ve İstanbul ‘dur. Programdaki her yolculuk için ilgili tren istasyonlarındaki kesin kalkış ve varış saatleri, seyir süresi, problem için girdi oluşturur ve bu veriler Çizelge 7.1’deki tablodan elde edilir. Hazırlık, teslim alma, devralma, molalar ve herhangi bir boşta kalma süresi gibi sürüş dışı faaliyetler ayrı ayrı modellenir.

Çizelge 7.1’deki YHT tren hareket saatleri tablosu; Ankara-Eskişehir, Eskişehir-Ankara, Ankara-Konya-Karaman, Karaman-Konya-Ankara, Ankara-İstanbul (Söğütluçeşme ve Halkalı), İstanbul (S.çeşme ve Halk.)-Ankara, Karaman-Konya-İstanbul (S.çeşme ve Halk.), İstanbul (S.çeşme ve Halk.)-Konya-Karaman, Eskişehir-İstanbul (S.çeşme ve Halk.), İstanbul (S.çeşme ve Halk.)-Eskişehir, Ankara-Sivas, Sivas-Ankara, Sivas-İstanbul (S.çeşme ve Halk.) ve İstanbul (S.çeşme ve Halk.)-Sivas hatlarından oluşan 64 YHT seferi için tren numaraları, kalkış varış şehirleri, hareket saatleri, varış saatleri ve tren seyir sürelerini içermektedir.

Çizelge 7.1. 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				

Şekil 7.4’te basit bir olası eşleştirme kümesi oluşturma örneğinde, görev başlangıç, görev bitiş düğümlerini, sefer düğümlerini ve düğümler arasındaki tüm olası bağlantıları içeren bir sefer-makinist eşleştirme kümesi oluşturulmasına ışık tutmaktadır (Frisch ve ark, 2022).



Şekil 7.4. Eşleştirme kümesi (matrisi) oluşturma (Frisch, Jellen ve Hungerlander, 2022)

Sarah Frisch ve ark. (2022) örnekteki grafikten yararlanılarak sezgisel bir yaklaşım formüle etmişlerdir. Operasyonel, yasal ve iş gücü kısıtlamaları açısından geçerli olan anlamlı görev adayları (olası eşleştirme kümesi) oluşturmak için Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritmasını (BFC) kullanmışlardır. Makinistin tren üzerindeki çalışma süreleri, ardışık ve toplam çalışma ve sürüş sürelerindeki sınırlamalar, gece görev koşulları ve bir şehre gelen ve giden tren sayısının eşit olması dikkate alınmaktadır. BFC tarafından üretilen olası eşleştirmelere dayanarak, her tren seferinin tam olarak bir kez dahil edildiği ve toplam makinist sayısının (çalışma süresinin) en aza indirilerek problem çözülmüş olur.

Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritması ile operasyonel, yasal ve işgücü kısıtlamalarını karşılayacak şekilde olası ekip eşleştirmeleri oluşturmak için genişlik öncelikli arama tarzında (BFC) basit bir sezgi kullanılır. Kullanılan sezgiye ait tanımlamalar aşağıda belirtilmiştir.

$Cas \{as, \{a_1, \dots, a_n\}, ae\}$ olası eşleşmeyi tanımlar.

$a \in S \times U \subset A$, görev başlangıç düğümünü ve ilk tren seferine bağlayan bir yayı tanımlar.

$\{a_1, \dots, a_n \mid a_i \in U \times U \subset A\}$ ardışık tren seferlerinin bir dizisini oluşturur.

$ae \in U \times E \subset A$, son tren seferinin ana depoya bağlayan bir yayı tanımlar.

Algoritma içerisinde kullanılacak kısıtlamalar aşağıda belirtilmiştir.

- Bir şehre gelen ve giden tren sayısının eşit olması,
- Eşleştirmenin başladığı merkezde sonlanması,
- Kendi merkezinden uzakta (geceleme) dinlenme süresi (en az 11 saat),

- Bir makinistin alabileceği en fazla görev süresi (en fazla 11 saat),
- Gün içerisinde iki görev arası en az bekleme (30 dakika).

Şekil 7.4'te olası tüm eşleştirmeler kümesinin oluşturulduğu algoritma da $G=(V, A)$ olası tüm eşleştirmeler kümesini temsil eder. Düğüm kümesi $V \subseteq U \cup E$ olarak tanımlanır. S kümesi tüm seferlerin başlangıç düğümlerini içerir, yani her bir makinist için değişken başlangıç saatine sahip ilgili ana merkezde (Ankara, İstanbul, Konya, Eskişehir ve Sivas) bulunan bir sefer başlangıç düğümü oluşturulur. Her planlanmış sefer saatleri için yerel ve zamansal bilgileri içeren bir sefer düğümü tanımlanır ve U kümesindeki tüm düğümler toplanır. S 'deki her sefer başlangıç düğümü için ilgili tren saat bilgileri ve değişken bitiş saatini içeren ilgili sefer bitiş düğümü tanımlanır ve bunlar E kümesinde toplanır. Yaylar kümesi $A = A_1 \cup A_2 \cup A_3$ ile tanımlanır. A_1 alt kümesi, tüm gerekli sefer ve sefer dışı görevler dahil olmak üzere V 'deki düğümler arasındaki zamansal olarak uygulanabilir tüm bağlantıları içerir. Bir makinistin zorunlu dinlenmeleri almasının mümkün olduğu her bağlantı için ek dinlenme yayları eklenir. Görev uzunluğuna bağlı olarak iki seçeneğe ihtiyacımız vardır. A_2 'de kısa dinlenmeleri içeren mola yayları ve A_3 'te uzun dinlenmeleri içeren mola yayları eklenir. Mola yayları iki düğüm arasındaki tüm gerekli görevleri içermektedir. Böylelikle olası tüm eşleştirmeler kümesi oluşturulur. Algoritmaya ait program kodları aşağıda verilmiştir (Frisch, Jellen ve Hungerlander, 2022).

Çizelge 7.2. Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritması

Require: Problem Graph G .	15:	end if
Output: Set of Shift Candidates C .	16:	end for
	17:	$C \leftarrow C \cup \text{AssembleFinal}(G, c)$
1: function CreateFrom(G)	18:	return C
2: $C \leftarrow \{\}$	19:	end function
3: for as in A , where $as \in S \times U$ do		
4: $C_{as} \leftarrow \text{Assemble}(G, c = \{as, \{\}, \text{null}\})$	20:	function AssembleFinal(G, c)
5: $C \leftarrow C \cup C_{as}$	21:	$C \leftarrow \{\}$
6: end for	22:	for a_e in A , where $a_e \in U \times E$, the last node of
7: return Shift Candidates C .		c equals the departure node of a_e ,
		and the engine drivers of $a_s \in c$ and a_e are equal
8: end function	23:	do
9: function Assemble(G, c)	24:	$c^- \leftarrow c \cup a_e$
10: $C \leftarrow \{\}$	25:	if c^- is valid then
11: for a in A , where $a \in U \times U$ and the last node	26:	$C \leftarrow C \cup c^-$
of c equals the departure node of a do	27:	end if
12: $c^- \leftarrow c \cup a$	28:	end for
13: if c^- is valid then	29:	return C
14: $C \leftarrow C \cup \text{Assemble}(G, c^-)$	30:	end function

Geniş Öncelikli Arama Sezgisel (BFC) algoritması tarafından elde edilen tüm olası eşleştirmeler kümesi C olarak alınır ve toplam makinist sayısını (çalışma süresini) en aza indirerek doğrusal programlama modellerinden küme kapsama modeli ile çözülür. BFC algoritması ile birlikte burada gece yatar sayısı, bekleme süreleri ve vardiya uzunlukları için istenildiğinde cezalar eklenerek, toplam çalışma süresini ve özellikle gece yatar sayısını en aza indirebilmek mümkündür. Öte yandan, makinistlerin genel bir isteği olan boşta kalma süresini azaltmak mümkündür.

Algoritmanın en büyük avantajı kurumun tercihlerine kolayca uyarlabilir olmasıdır. Gece yatar sayısını en azlamak, çalışma süresini en küçükmek, boş beklemleri en küçükmek gibi senaryolara imkan verebilmektedir.

Çalışmamızda Geniş Öncelikli Arama Sezgisel (BFC) algoritmasından yararlanarak MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak olası tüm eşleştirmeleri içeren eşleştirme kümesi (matrisi) oluşturulmuş olup, VBA programlama dilinde yazılan kodların bir kısmı EK-4'te gösterilmiştir.

7.1.2. Matematiksel modeller

Geniş Öncelikli Arama Sezgisel (BFC) algoritması tarafından elde edilen tüm olası eşleştirmeler kümesi içerisinde küme kapsama modeli ile YHT tren seferlerinin tamamı en az bir ekip eşleştirmesince kapsanacak şekilde toplam makinist eşleştirmesini (makinist sayısını) en küçükmek amaçlanmaktadır. Sonuç tam sayılı bir çözüm olup, en iyi çözümde aynı tren seferi birden fazla eşleştirmede kapsanabilme durumu oluşabilmektedir. Model, tüm YHT seferlerinin kalkış ve varış yerlerini, kalkış ve varış saatlerini, toplam sefer sayısını, sefer sürelerini ve bir makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan eşleşmelerin sayısını parametre olarak ele almaktadır. Model için veriler Çizelge 7.1'deki tren hareket saatleri tablosundan elde edilmiştir.

Kurulacak matematiksel modeller iki temel üzerine ele alınmış olup, birinci temelde ana merkezlerdeki makinist sayısından bağımsız optimum sefer-makinist eşleşmesinin (makinist sayının) belirlenmesi, ikinci temelde ise ana merkezlerde (Ankara'da 77, Eskişehir'de 38, Konya'da 16, İstanbul'da 12 ve Sivas'ta 10 makinist) bulunan makinist sayılarına göre verimli sefer-makinist eşleştirmesi oluşturma.

En iyi sefer-makinist eşleşmesinin (makinist sayısının) belirlenmesi

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 makinistin 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.

En iyi sefer-makinist eşleştirme problemi aşağıda 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,

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

şeklinde tanımlanır. Makinist için kapasite planlama problemleri aşağıdaki gibi oluşturulur:

Makinist kapasitesi (KP_{makinist}):

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

Kısıtlar;

$$\sum_{p \in P} a_{pt} X_p \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (7.3)$$

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

Burada amaç, bütün seferlerin kapsanmasını Eş. 7.3 kısıtla sağlayarak toplam eşleşme sayısını (makinist sayısını) en küçüklemeektir.

Mevcut makinist sayısına göre verimli sefer-makinist eşleştirmesinin elde edilmesi

En iyi sefer-makinist eşleştirme probleminde 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 olası tüm eşleşmeleri gösteren bir uygunluk 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 iki makiniste karşılık gelmektedir. Dolayısıyla, bu modelde kurumun sahip olduğu makinist sayısının yarısı kadar eşleşme seçilmiştir. Makinist için geliştirilen günlük eşleşme modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

En iyi sefer-makinist eşleştirme probleminde kullanılan tanımlara ek olarak, $A \in P$ Ankara makinisti, $E \in P$ Eskişehir makinisti, $K \in P$ Konya makinisti, $İ \in P$ İstanbul makinisti, $S \in P$ 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,

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

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

MMVÇ_{makinist}:

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

Kısıtlar;

$$\sum_{p \in P} a_{pt} X_p \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (7.4)$$

$$\sum_{p \in A} 2X_p \geq H_a \quad \forall t \in T \quad (7.5)$$

$$\sum_{p \in E} 2X_p \geq H_e \quad \forall t \in T \quad (7.6)$$

$$\sum_{p \in I} 2X_p \geq H_i \quad \forall t \in T \quad (7.7)$$

$$\sum_{p \in S} 2X_p \geq H_s \quad \forall t \in T \quad (7.8)$$

$$\sum_{p \in K} 2X_p \geq H_k \quad \forall t \in T \quad (7.9)$$

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

Burada amaç, bütün seferlerin kapsanmasını Eş. 7.4 ve en az Ankara, Eskişehir, İstanbul, Sivas ve Konya’da mevcut sayıda bulunan makinistin yarısı kadar eşleşme sağlanmasını (her eşleşme sayısı 2 makiniste karşılık gelmektedir) Eş. 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 ve 7.9 kısıtları sağlayarak verimli bir çalışma planı oluşturmaktır.

7.2. İhtiyaç Duyulan Toplam Makinist Sayısının Belirlenmesi

TCDD Taşımacılık A.Ş. idaresi tarafından en son yayımlanan genel müdürlük emrinde personelin günlük çalışma süresi en fazla 11 saat olarak belirlendiğinden personel ihtiyacı doğacağını, bunda 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.

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

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

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

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

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

7.3. Bulgular

7.3.1. En iyi sefer-makinist eşleşmesinin elde edilmesi

Çalışma kapsamında, matematiksel modelin çözüm için kullanacağı veri Çizelge 7.1'den 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 Çizelge 7.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Eşleşme sonrası trenlerde görev alacak optimum makinist sayısı

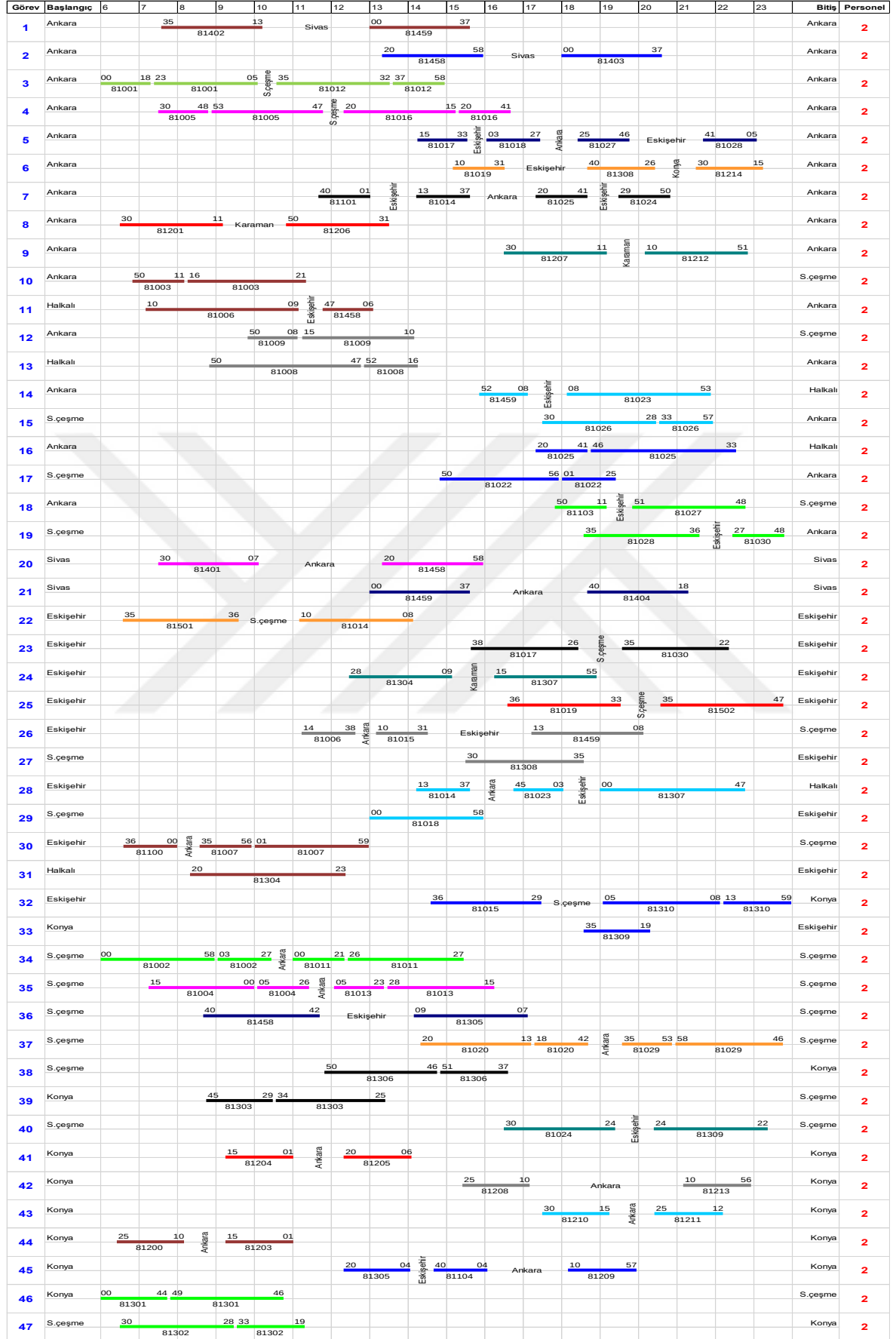
İş merkezleri	Ankara	Sivas	Eskişehir	İstanbul	Konya	Toplam
Eşleşme sonrası günlük trenlerde görev alacak makinist sayısı	38	4	24	14	14	94

7.3.2. Mevcut makinist sayısına göre sefer-makinist eşleşmesi

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, makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri (3.197 eşleşme) gösteren bir uygunluk matrisi MS Excel VBA programlama dilinde kodlanıp oluşturulmuştur. Kurulan matematiksel modeller, 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 Çizelge 7.4'te, Gantt seması ise Şekil 7.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Günlük sefer-makinist eşleşme tablosu

Ekp	İş mr	Parkur	Tren no	Kalk.	Varış	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	81019-308-214	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 (gec)	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 (gec)	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(gec)	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	81305-104-209	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



Şekil 7.5. Günlük sefer-makinist eşleşme Gantt diyagramı

7.3.3. 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 Çizelge 7.5'te görüleceği üzere bu sayı; seferler ve izinler için yetersiz kalmakta dolayısıyla makinistler aşırı fazla mesai yapmakta ve yeterince dinlenememektedir.

Çizelge 7.5. Günlük depo/ihtiyat/manevra/test görevleri için makinist sayısı

Günlük Depo/İhtiyat/Manevra/Test Görevlerinde Çalışan Makinist Sayısı			
İş yeri	Görev	Makinist sayısı	İş yükü
Ankara	Depo/ihtiyat/manevra/test	12	95,93
Sivas	Depo/ihtiyat/manevra/test	4	33,48
Eskişehir	Depo/ihtiyat/manevra/test	4	35,97
İstanbul	Depo/ihtiyat/manevra/test	6	47,97
Konya	Depo/ihtiyat/manevra/test	2	12,98
Toplam		28	226,33

Çizelge 7.5'te makinistlerin günlük sefer dışında depo/ihtiyat/manevra/test görevleri sonrası yapmış oldukları iş yükleri gösterilmiştir. Yüksek hızlı tren setlerini sadece YHT makinist eğitimi almış makinistler kullanabildiklerinden bu setlerin günlük sefer dışı kullanımları da makinist planlamasının bir parçası olmaktadır.

Çizelge 7.6. Günlük eşleştirme sonrası YHT seferlerine verilen makinist sayısı

Eşleştirme Sonrası Seferlere Verilen Makinist Sayısı			
İş yeri	Görev	Makinist sayısı	İş yükü
Ankara	Eşleştirme sonrası seferlere verilen makinist	38	304,17
Sivas	Eşleştirme sonrası seferlere verilen makinist	4	39,53
Eskişehir	Eşleştirme sonrası seferlere verilen makinist	24	181,97
İstanbul	Eşleştirme sonrası seferlere verilen makinist	14	126,30
Konya	Eşleştirme sonrası seferlere verilen makinist	14	98,73
Toplam		94	750,70

Sefer-makinist eşletirmesi sonrası elde edilen Çizelge 7.4'teki günlük eşleşme tablosundan yararlanılarak, YHT seferlerine verilen makinist sayıları ve iş yükleri elde edilmiş ve Çizelge 7.6'da gösterilmiştir.

Buna göre makinistlerin sefer görevleri ve sefer dışı (depo/ihtiyat/manevra/test) görevleri sonrası günlük toplam iş yükü; Çizelge 7.5'teki toplam iş yükü (226,33) ile Çizelge 7.6'daki toplam iş yükünün (750,70 saat) toplanması (977,03 saat) ile bulunur. Bulunan günlük toplam iş yükü 365 ile çarpılarak yıllık toplam iş yükü (356615,95 saat) elde edilir. Aynı yöntem ile Ankara, Eskişehir, Konya, İstanbul ve Sivas ekiplerinin toplam iş yükleri hesaplanır.

Toplam ihtiyaç duyulan makinist sayısı bölüm 7.2'de verilen hesaplama yöntemi (yıllık makinistin yapacağı toplam iş yükü/ bir makinistin yapabileceği yıllık iş yükü) ile Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6'da yer alan toplam iş yükü verilerden yararlanılarak hesaplanmaktadır. YHT hatlarında çalışan her tren için 2 makinist görevlendirilmektedir. Toplam makinist ihtiyacı Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7. YHT trenlerinde görev alacak gerekli makinist sayısı

Güzergah	Ankara	Sivas	Eskişehir	İstanbul	Konya	Toplam (Adet)
Mevcut makinist	77	10	38	12	16	153
Eşleşme ile trenlere verilen makinist	38	4	24	14	14	94
Atölye/depo / ihtiyat	12	4	4	6	2	28
Yıllık izin+haftalık izin	33	7	17	16	7	80
Toplam gerekli olan makinist	83	15	45	36	23	202
Alınması gereken makinist	6	5	7	24	7	49

Çizelge 7.7'den de anlaşılabacağı üzere mevcut elde bulunan 153 makinistin 64 YHT seferini gerçekleştirmek ve bununla birlikte Atölye/depo/ihtiyaç gibi görevleri yapabilmesi mümkün gözükmediği, bu görevler için yıllık ve haftalık izinlerde dahil edildiğinde 49 makinist personele ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Kurum idarecilerine hangi iş merkezlerine ne kadar personel ihtiyacının (Ankara 'ya 6 kişi, Sivas 'a 5 kişi, Eskişehir'e 7 kişi, İstanbul'a 24 kişi ve Konya'ya 7 kişi) olduğu bildirilmiş olup, makinist temini konusunda bu çalışma kurum yetkililerine yol göstermiştir.

8. SONUÇ

YHT'lerde görev alan personelin, mevcut seferler için planlaması ilgili birimlerdeki sorumlu kişiler tarafından manuel (el ile) yapılmaktadır. Planlamanın manuel yapılması; dengesiz çalışma süresi, yetersiz planlama gibi sorunlara neden olduğu gibi planlama sürecinin de uzun sürmesine yol açmaktadır. Planlama sürecinde ilk olarak kapasite planlaması yapılmış, sonrasında ise mevcut personeli optimum çalıştırabilmek için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, iki aşamadan oluşan sefer-makinist eşleşmesinin birinci aşamasında, makinistin bir günde alabileceği seferlerden oluşan olası tüm eşleşmeleri (3.197 eşleşme) gösteren bir eşleşme kümesi (uygunluk matrisi), Sarah Frisch ve arkadaşlarının geliştirmiş olduğu Geniş Öncelikli Arama Sezgisel Algoritmasından yararlanıp MS Excel VBA programlama dilinde kodlanarak oluşturulmuştur. İkinci aşamada küme kapsama yöntemi kullanılarak, modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu ile birlikte MS Excel eklentisi olan OpenSolver'da problem çözdürülmüş ve 47 ekip (94 adet makinist) çizelgesi oluşturulmuştur. Sefer-makinist eşleştirme programı, istenilen durumlar (minumum gece yatar sayısı, minumum çalışma süresi, minumum boş bekleme, minumum makinist sayısı) 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.
- Çalışma sayesinde sağlıklı veri kayıt sistemi oluşturulmuş, analiz ve raporlama imkânlarına erişilmiştir.
- Yapılan çalışma ile manuel sistem otomasyona dönüşmüş, bu sayede planlama yapan personelin iş yükü azaldığı gibi daha iyi planlama olanaklarına kavuşmuştur.
- Makinistlere dengeli ve adaletli bir çalışma çizelgesi sunulmuştur.
- Makinistlerin verimli şekilde çalışması sağlanmıştır.
- Çalışma sayesinde oluşturulan iyi planlama ile personelin boş bekleme süreleri azalmış, dengeli çalışma düzeni oluşmuş, bu durum personelin memnuniyetine ve performansına olumlu katkı sunmuştur.

- Çalışmanın en büyük avantajı kurumun tercihlerine göre kolayca uyarlanabilir olmasıdır. Gece yatar sayısını en küçükmek, çalışma süresini en küçükmek, boş beklemleri en küçükmek, makinist sayısını en küçükmek gibi senaryolara imkân verebilmektedir.
- TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürlük emrinde belirtilen çalışma düzenine göre yeni çizelgeler oluşturularak, hangi merkezlere ne kadar makinist ihtiyacının olduğu belirlenmiştir.
- Mevcut makinist sayısına göre verimli çalışma çizelgeleri oluşturularak, makinistlerin daha az fazla mesai yapmaları sağlanmıştır.
- 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, yapılsa bile çok uzun zaman alması sorunu ortadan kalkmıştır.

Sonuç olarak kurum tarafından tamamen kurum personelinin tecrübesine dayanarak manuel yapılan sefer-makinist eşleştirmesinden, bu çalışma sayesinde bilimsel temellere dayanan, sonuçları ölçülebilen, personel memnuniyetinin yanında kuruma verimli ve etkili bir sefer-makinist eşleştirmesi imkânı sunan planlama modeline geçilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abbink, E. (2014). *Crew Management in Passenger Rail Transport*. M. Sc. Thesis, Institute of the Rotterdam School of Management (RSM) and the Erasmus School of Economics (ESE), Rotterdam.
- Ahlfeldt, G. M. and Feddersen, A. (2018). From periphery to core: measuring agglomeration effects using high-speed rail. *Journal of Economic Geography*, 18, 355–390.
- Akerman, J. (2011). The role of high-speed rail in mitigating climate change – the Swedish case Europabanan from a life cycle perspective. *Transportation Research Part D*, 16 (3), 208-217.
- Almujibah, H. and Preston, J. (2019). The Total Social Costs of Constructing and Operating a High-Speed Rail Line Using a Case Study of the Riyadh-Dammam Corridor, Saudi Arabia. *Frontiers in Built Environment*, 5, 1-18.
- Al-Sultan, K. S., Hussain, M. F. and Nizami, J. S. (1996). A genetic algorithm for the set covering problem. *Journal of the OR Society*, 47, 702-709.
- Andrade, C. and D’Agosto, M. (2016). Energy use and carbon dioxide emissions assessment in the lifecycle of passenger rail systems: the case of the Rio de Janeiro Metro. *Journal of Cleaner Production*, 8, 526-536.
- Balaban, O. and Senol-Balaban, M. (2015). Adaptation to climate change: barriers in the Turkish local context. *Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 8, 7-22.
- Ball, M. and Roberts, A. (1985). A Graph partitioning approach to airline crew scheduling. *Transportation Science*, 19 (2), 107-126.
- Bazargan, M. (2004). *Airline Operations and Scheduling*. (Second Edition). U.S.A: Ashgate Publishing Limited, 83-103.
- Benchtlod, S.E. and Jacobs, L.W. (1990). Implicit Modeling of Flexible Break Assignments in Optimal Shift Scheduling. *Management Science*, 36 (11), 1339.
- Bengtsson, L., Galia, R., Gustafsson, T., Hjorring, C. and Kohl, N. (2007). Railway crew pairing optimization. *Algorithmic Methods for Railway Optimization*, 1, 126-144.
- Brenner, N. (1999). Globalisation as reterritorialization: The re-scaling of urban governance in the European Union. *Urban studies*, 36 (3), 431-451.
- Çankaya, G. ve Arıkan, M. (2009). Sütun oluşturma algoritması ile bir havayolu ekip çizelgelemesi uygulaması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 24(1), 43-50.
- Chao, E., Vuchic, V. and Vashchukov, A. (2019). High-Speed Rail As A New Mode Of Intercity Passenger Transportation. *ADBI Working Paper*, 951, 16.

- Chu, H., Gelman, E. and Johnson, E.L. (1997). Solving Large Scale Crew Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, 97 (2), 260-268.
- CJRC. (2012). Central Japan Railway Company Annual Report. *Central Japan Railway Company*. Japan.
- Clewlow, R. (2012). The Climate Impacts of High-Speed Rail and Air Transportation: A Global Comparative Analysis. *Massachusetts Institute Of Technology*. USA.
- Dalkic, G., Balaban, O., Tuydes-Yaman, H. and Celikkol-Kocak, T. (2017). An assessment of the CO2 emissions reduction in high speed rail lines: Two case studies from Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 165, 746-761.
- Dantzig, G. B. (1963). *Linear Programming and Extensions*. New Jersey: Rand Corporation, 9-20.
- Desaulniers, G., Desrosiers, J., Dumas, Y., et al. (1997/b). Crew Pairing at Air France. *European Journal of Operational Research*, 97 (2), 245-259.
- Duman, H., Çakır, F. ve Gökçen, H. (2024). Yüksek Hızlı Trenlerde (YHT) Sefer-Makinist Eşleştirmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, 20, 155–168.
- Elmas, Ç. (2003). *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitimi Uygulama)*. (1. Baskı) Ankara: Seçkin Yayıncılık, 23-24.
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Owens, B. and Sier, D. (2004). An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering. *Annals of Operations Research*, 127, 21- 144.
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. and Sier D. (2004). Staff Scheduling and Rostering: A Review of Applications, Methods and Models. *European Journal of Operational Research*, 153, 3-27.
- European Commission. (2011). White Paper on transport - Roadmap to a single European transport area - Towards a competitive and resource-efficient transport system. *European Commission*. Bruksel.
- European Commission. (2014). EU Energy in Figures: Statistical Pocketbook. *European Commission*. Bruksel.
- European Court of Auditors. (2018). A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. *European Court of Auditors*.Luksemburg.
- Feng, T., Lusby, R. M., Zhang, Y., Tao, S., Zhang, B. and Peng, Q. (2024). A branch-and-price algorithm for integrating urban rail crew scheduling and rostering problems, *Transportation Research Part B: Methodological*, 183.
- Friberg, C. and Haase, K. (1999). An Exact Branch and Cut Algorithm for The Vehicle and Crew Scheduling Problem. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 471, 63-80.

- Frisch, S., Hungerlander, P. and Jellen, A. (2022). On a real-world railway crew scheduling problem. *Transportation Research Procedia*, 62, 824–831.
- Fuentes, M., Marín, Á. and Cadarso, L. (2018). A Fix & Relax matheuristic for the Crew Scheduling Problem. *Transportation Research Procedia*, 33, 307-314.
- Gamache, M., Hertz, A. and Ouellet, J.O. (2007). A Graph coloring model for a feasibility problem in monthly crew scheduling with preferential bidding. *Computers & Operations Research*, 34 (8), 2384-2395.
- Givoni, M. (2005). *Aircraft and high speed train substitution: the case for airline and railway integration*. Ph.D. thesis, University College, London.
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*, (1. Edition) Addison Wesley Publishing Company: USA.
- Hanczar, P. and Zandi, A. (2021). A novel model and solution algorithm to improve crew scheduling in railway transportation: A real world case study. *Computers and Industrial Engineering*, 154, 107–132.
- İnan, M ve Demir, M. (2017). Demiryolu Ulaşımı ve Türkiye’de Hızlı Tren Yatırımlarının Etkileri: Eskişehir-Konya Örneği. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilgiler Dergisi*, 27 (1), 99-120.
- İnternet: Statista (2023). China Length Of High Speed Railoperation Network. URL:<https://www.statista.com/statistics/1120063/china-length-of-high-speed-railoperation-network/>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2024.
- İnternet: TCDD (2023). 2023 Demiryolu Sektör Raporu. URL: <https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/istrapor/2023sektor.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2024.
- İnternet: TCDD Taşımacılık A.Ş. (2023). TCDD Tasimacilik 2023 Faaliyet Raporu. URL:www.tcddtasimacilik.gov.tr:<https://adminapi.tcddtasimacilik.gov.tr/files/pdfs/TCDD-Tasimacilik-2023-Faaliyet-Raporu.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2024.
- İnternet: TCDD Taşımacılık A.Ş. (2023). Hakkımızda. URL: <http://www.tcddtasimacilik.gov.tr/sayfa/hakkimizda/>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2024.
- İnternet: UAB (2021). 12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurasi Sektör raporlari. URL: <https://sgb.uab.gov.tr/uploads/pages/suralar/12-ulastirma-ve-haberlesme-surasisektor-raporlari.pdf>, Son Erişim Tarihi: 11.11.2024.
- İnternet: UIC (2023). Atlas uic 2023. URL: https://uic.org/IMG/pdf/atlas_uic_2023.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.11.2024.
- İnternet: UIC (2023). High-Speed Around The World. URL: <https://uic.org/IMG/pdf/uic-high-speed-around-the-world.pdf>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2024.

- Jong, J. (2017). *Solving The Train Crew Scheduling Problem*. Ph.D. thesis, Science in the Department of Mathematics Faculty of Science Radboud University, Netherland.
- Kallehauge, B., Larse, J., Masdsen, O. B. G. and Solomon, M. (2005). *Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Newyork: Springer Books, 67-95.
- Klabjan, D. (2005). *Large Scale Models in The Airline Industry*. Newyork: Springer Books, 163-187.
- Krishnan, V., Kastrouni, E., Pyrialakou, V., Gkritza, K. and McCalley, J. (2015). An optimization model of energy and transportation in the United States. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 131-156.
- Lavoie, S., Minoux, M. and Odier, E. (1988). A New Approach for Crew Pairing Problems by Column Generation with An Application to Air Transportation. *European Journal of Operational Research*, 35 (1), 45-58.
- Levine, D. (1996). Application of A Hybrid Genetic Algorithm to Airline Crew Scheduling. *Computers & Operations Research*, 23 (6), 547-558.
- Mingozi, A., Boschetti, M.A., Ricciardelli, S., Et Al. (1999). A Set partitioning approach to the crew scheduling problem. *Operations Research*, 47 (6), 873-888.
- Momenitabar, M., Bridgelall, R., Ebrahimi, Z. and Arani, M. (2021). Literature Review of Socioeconomic and Environmental Impacts of High-Speed Rail in the World. *Sustainability*, 13, 1-27.
- Monzon, A., Ortega, E. and Lopez, E. (2013). Efficiency and spatial equity impacts of high-speed rail extensions in urban areas. *Cities*, 30(1), 18-30.
- Neufeld, J.S., Scheffler, M., Tamke, F., Hoffmann, K. And Buscher, U. (2021). An efficient column generation approach for practical railway crew scheduling with attendance rates. *European Journal of Operational Research*, 293(3), 1113-1130.
- Orhan, İ. (2007). *Uçak bakım planlamasının en iyilenmesine yönelik bir karar destek tasarımı*. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özçelik, S. (2011). *Çok Yönlü Personellerin Değerlendirilmesi ve Üretim Hattı Personel Atama Problemi için Bir optimizasyon Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pan, H., Liu, Z., Yang, L., Wu, Q. and Li, S. (2021). A column generation-based approach for integrated vehicle and crew scheduling on a single metro line with the fully automatic operation system by partial supervision. *Transportation Research, Part E*, 152, 248 – 265.
- Pang, S. and Chen, M. (2023). Optimize railway crew scheduling by using modified bacterial foraging algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 180.

- Papoutsis K., Valouxis C. and Housos E. (2003). Column Generation Approach For The Timetabling Problem of Greek High Schools. *The Journal of Operational Society*, 54(3), 230-238.
- Park, T. and Ryu, K.R. (2006). Crew pairing optimization by a genetic algorithm with unexpressed genes. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17 (4), 375-383.
- Pinedo, M. (1999). *Workforce Scheduling*. Operations Scheduling with Applications in Manufacturing and Services, Mcgraw-Hill, Singapur, 186-207.
- Russo, F. (2021). Which High-Speed Rail? LARG Approach between Plan and Design. *Future Transportation*, 202–226.
- Şahin, G. and Yüceoglu, B. (2011). Tactical crew planning in railways. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47 (6), 1221-1243.
- Sarucan, A. (1999). *Bir Raylı Ulaşım Sisteminde Personel Çizelgeleme Problemine Bütünleşik Yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Stojkovic, M. and Soumis F. (2001). An Optimization Model For The Simultaneous Operational Flight and Pilot Scheduling Problem. *Management Science*, 47(9), 1290-1305.
- TCDD Taşımacılık A.Ş. (2024). YHT Yolcu Servis Müdürlüğü Aylık Faaliyet Raporu (Aralık 2024). *TCDD Taşımacılık A.Ş. YHT Bölge YHT Yolcu Servis Müdürlüğü*. Ankara.
- UIC. (2005). Estimation des Ressources et des Activités Economiques Liées a la Grande Vitesse. *Prepared by CENIT (Center for Innovation in Transport, Universitat Politecnica de Catalunya)*. Paris.
- Ulucan, A. ve Eryiğit M. (2004). Hava Taşımacılığı Planlamasında Yöneylem Araştırması Modellerinin Kullanımı. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 59(4), 227-248.
- Üstündağ, Y. (2014). Ekip Çizelgeleme Problemi. *Demiryolu Mühendisliği*, 1, 72–83.
- Üzülmez, M. (2024). *Türkiye’de Havayolu Yolcularının Yüksek Hızlı Tren Kullanım Tercihlerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Araştırma*. Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.
- Xu, J., Sohoni, M., McCleery, M. and Bailey, T. G. (2006). A Dynamic Neighborhood Based Tabu Search Algorithm for Real-World Flight Instructor Scheduling Problems. *European Journal of Operational Research*, 169, 978–993.
- Yavuz, M. N. (2019). *Konvansiyonel Yüksek Hızlı Demiryolları, Maglev Ve Hyperloop Ulaşım Sistemlerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Yen, J. W. and Birge, J. R. (2006). A Stochastic Programming Approach to The Airline Crew Scheduling Problem. *Transportation Science*, 40 (1), 3-14.
- Yıldırım, İ. (2001). *Cumhuriyet Döneminde Demiryolları (1923-1950)*. (Birinci Baskı). Ankara: Atatürk Araştırma Merkezi Yayınları (ATAM).
- Zhao, C., Chen, J., Zhang, X. and Cui, Z. (2022). Solution of Multi-Crew Depots Railway Crew Scheduling Problems: The Chinese High-Speed Railway Case. *Sustainability*, 14 (1), 491.





EK-1. YHT tren hareket saatleri

YHT HAREKET SAATLERİ (60+4 TREN)

(04.05.2024 tarihinden itibaren geçerlidir.)

Ankara-İstanbul

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Arıfy.	İzmit	Gebz.	Pendik	Bstncı	S.çsm.	Bkr.ky	Halkl.	Süre
1	81001	06:00	06:14	→	07:23	→	→	→	→	→	09:40	→	10:05			4:05
2	81003	06:50	07:04	07:26	08:16	08:32	08:54	09:27	09:50	10:22	10:48	11:06	11:21			4:31
3	81005	07:30	07:44	→	08:53	→	→	→	→	10:21	→	11:31	11:47			4:17
4	81007	08:35	08:49	09:11	10:01	10:18	10:40	11:14	11:37	12:09	12:33	12:50	12:59			4:24
5	81009	09:50	10:04	→	11:15	→	→	→	12:43	→	13:43	14:01	14:10			4:20
6	81011	11:00	11:14	11:36	12:26	12:42	13:04	13:39	14:02	14:34	14:55	15:18	15:27			4:27
7	81013	12:05	12:19	→	13:28	→	→	→	14:56	→	15:48	16:06	16:15			4:10
8	81015	13:10	13:24	13:46	14:36	14:52	15:14	15:47	16:10	16:42	17:03	17:20	17:29			4:19
9	81017	14:15	14:29	→	15:38	→	→	→	17:06	→	17:59	18:17	18:26			4:11
10	81019	15:10	15:24	15:46	16:36	16:52	17:14	17:49	18:12	18:45	19:06	19:24	19:33			4:23
11	81023	16:45	16:59	→	18:08	→	→	→	19:36	20:08	20:36	20:54	21:08	21:37	21:53	5:08
12	81025	17:20	17:34	17:56	18:46	19:02	19:24	19:57	20:20	20:53	21:14	21:32	21:46	22:17	22:33	5:13
13	81027	18:25	18:39	19:01	19:51	20:07	20:29	21:02	21:28	22:00	22:21	22:39	22:48			4:23
14	81029	19:35	19:49	→	20:58	→	→	→	→	→	23:15	→	23:46			4:11

İstanbul-Ankara

	No	Halkl.	Bkr.ky	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Gebz.	İzmit	Arıfy.	Bilecik	Bzyük	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81002			06:00	06:11	06:30	06:50	07:23	07:45	08:19	08:43	09:03	09:51	10:15	10:27	4:27
2	81004			07:15	→	07:43	→	→	→	→	→	10:05	→	11:14	11:26	4:11
3	81006	07:10	07:30	08:02	08:14	08:34	08:58	09:32	09:55	10:30	10:54	11:14	12:02	12:26	12:38	5:28
4	81008	08:50	09:08	09:40	09:51	10:17	10:37	11:10	11:33	12:08	12:32	12:52	13:40	14:04	14:16	5:26
5	81012			10:35	10:48	11:12	→	12:05	→	→	→	13:37	→	14:46	14:58	4:23
6	81014			11:10	11:21	11:40	12:00	12:33	12:55	13:29	13:53	14:13	15:01	15:25	15:37	4:27
7	81016			12:20	12:31	12:56	→	13:48	→	→	→	15:20	→	16:29	16:41	4:21
8	81018			13:00	13:11	13:30	13:50	14:23	14:45	15:19	15:43	16:03	16:51	17:15	17:27	4:27
9	81020			14:20	14:32	14:54	→	15:46	→	→	→	17:18	18:06	18:30	18:42	4:22
10	81022			14:50	15:01	15:20	15:47	16:20	16:42	17:17	17:41	18:01	18:49	19:13	19:25	4:35
11	81024			16:30	16:41	17:02	→	17:54	→	→	→	19:29	→	20:38	20:50	4:20
12	81026			17:30	17:41	18:00	18:20	18:53	19:15	19:49	20:13	20:33	21:21	21:45	21:57	4:27
13	81028			18:35	18:46	19:05	19:28	20:01	20:23	20:57	21:21	21:41	22:29	22:53	23:05	4:30
14	81030			19:35	→	20:03	→	20:55	→	→	→	22:27	→	23:36	23:48	4:13

Ankara-Sivas

	No	Ankara	Kırkkkl.	Yzgt.	Sorg.	Akdm.	Sivas	Süre
1	81402	07:35	08:22	09:06	09:18	09:37	10:13	2:38
2	81404	18:40	19:27	20:11	20:23	20:42	21:18	2:38

Sivas-Ankara

	No	Sivas	Akdm.	Sorg.	Yzgt.	Kırkkkl.	Ankara	Süre
81401	07:30	08:09	08:30	08:41	09:22	10:07	2:37	
81403	18:00	18:39	19:00	19:11	19:52	20:37	2:37	

İstanbul-Sivas

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Selçkl.	Konya	Çumr.	Karmn	Süre
1	81201	06:30	06:44	07:06	08:13	08:27	08:50	09:11	2:41
2	81203	09:15	09:29	09:51	10:57	11:01			1:46
3	81205	12:20	12:34	12:56	14:02	14:06			1:46
4	81207	16:30	16:44	17:06	18:13	18:27	18:50	19:11	2:41
5	81209	18:10	18:24	18:47	19:53	19:57			1:47
6	81211	20:25	20:39	21:01	22:08	22:12			1:47
7	81213	21:10	21:24	21:46	22:52	22:56			1:46

Sivas-İstanbul

	No	Sivas	Yzgt.	Kırkkkl.	Ankara	Eşkşhr	Arıfy.	İzmit	Pendik	S.çsm.	Süre
81458	08:40	09:08	10:07	10:31	11:47	13:20	14:07	14:51	15:58	7:18	
81459	13:00	14:11	14:52	15:52	17:13	18:21	18:44	19:39	20:08	7:08	

Ankara-Konya-Karaman

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Selçkl.	Konya	Çumr.	Karmn	Süre
1	81201	06:30	06:44	07:06	08:13	08:27	08:50	09:11	2:41
2	81203	09:15	09:29	09:51	10:57	11:01			1:46
3	81205	12:20	12:34	12:56	14:02	14:06			1:46
4	81207	16:30	16:44	17:06	18:13	18:27	18:50	19:11	2:41
5	81209	18:10	18:24	18:47	19:53	19:57			1:47
6	81211	20:25	20:39	21:01	22:08	22:12			1:47
7	81213	21:10	21:24	21:46	22:52	22:56			1:46

Karaman-Konya-Ankara

	No	Karmn	Çumr.	Konya	Selçkl.	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81200			06:25	06:33	07:34	07:58	08:10	1:45
2	81204			09:15	09:23	10:25	10:49	11:01	1:46
3	81206	10:50	11:13	11:45	11:54	12:55	13:19	13:31	2:41
4	81208			15:25	15:33	16:34	16:58	17:10	1:45
5	81210			17:30	17:38	18:39	19:03	19:15	1:45
6	81212	20:10	20:33	21:05	21:14	22:15	22:39	22:51	2:41
7	81214			21:30	21:38	22:39	23:03	23:15	1:45

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Süre
1	81101	11:40	11:54	12:16	13:01	1:21
2	81103	17:50	18:04	18:26	19:11	1:21

Eskişehir-Ankara

	No	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81100	06:36	07:24	07:48	08:00	1:24
2	81102	07:30	08:18	08:42	08:54	1:24
3	81104	14:40	15:28	15:52	16:04	1:24

Eskişehir-İstanbul

	No	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Süre
81501	06:35	06:51	07:13		

İstanbul-Eskişehir

	No	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Süre
81502	20:35	20:46	21:13		

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Süre
1	81101	11:40	11:54	12:16	13:01	1:21
2	81103	17:50	18:04	18:26	19:11	1:21

Eskişehir-Ankara

	No	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81100	06:36	07:24	07:48	08:00	1:24
2	81102	07:30	08:18	08:42	08:54	1:24
3	81104	14:40	15:28	15:52	16:04	1:24

Eskişehir-İstanbul

	No	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Süre
81501	06:35	06:51	07:13		

İstanbul-Eskişehir

	No	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Süre
81502	20:35	20:46	21:13		

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Süre
1	81101	11:40	11:54	12:16	13:01	1:21
2	81103	17:50	18:04	18:26	19:11	1:21

Eskişehir-Ankara

	No	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81100	06:36	07:24	07:48	08:00	1:24
2	81102	07:30	08:18	08:42	08:54	1:24
3	81104	14:40	15:28	15:52	16:04	1:24

Eskişehir-İstanbul

	No	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Süre
81501	06:35	06:51	07:13		

İstanbul-Eskişehir

	No	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Süre
81502	20:35	20:46	21:13		

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Süre
1	81101	11:40	11:54	12:16	13:01	1:21
2	81103	17:50	18:04	18:26	19:11	1:21

Eskişehir-Ankara

	No	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81100	06:36	07:24	07:48	08:00	1:24
2	81102	07:30	08:18	08:42	08:54	1:24
3	81104	14:40	15:28	15:52	16:04	1:24

Eskişehir-İstanbul

	No	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Süre
81501	06:35	06:51	07:13		

İstanbul-Eskişehir

	No	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Süre
81502	20:35	20:46	21:13		

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Süre
1	81101	11:40	11:54	12:16	13:01	1:21
2	81103	17:50	18:04	18:26	19:11	1:21

Eskişehir-Ankara

	No	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81100	06:36	07:24	07:48	08:00	1:24
2	81102	07:30	08:18	08:42	08:54	1:24
3	81104	14:40	15:28	15:52	16:04	1:24

Eskişehir-İstanbul

	No	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Süre
81501	06:35	06:51	07:13		

İstanbul-Eskişehir

	No	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Süre
81502	20:35	20:46	21:13		

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Süre
1	81101	11:40	11:54	12:16	13:01	1:21
2	81103	17:50	18:04	18:26	19:11	1:21

Eskişehir-Ankara

	No	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81100	06:36	07:24	07:48	08:00	1:24
2	81102	07:30	08:18	08:42	08:54	1:24
3	81104	14:40	15:28	15:52	16:04	1:24

Eskişehir-İstanbul

	No	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Süre
81501	06:35	06:51	07:13		

İstanbul-Eskişehir

	No	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Süre
81502	20:35	20:46	21:13		

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn	Polatlı	Eşkşhr	Süre
1	81101	11:40	11:54	12:16	13:01	1:21
2	81103	17:50	18:04	18:26	19:11	1:21

Eskişehir-Ankara

	No	Eşkşhr	Polatlı	Erymn	Ankara	Süre
1	81100	06:36	07:24	07:48	08:00	1:24
2	81102	07:30	08:18	08:42	08:54	1:24
3	81104	14:40	15:28	15:52	16:04	1:24

Eskişehir-İstanbul

	No	Eşkşhr	Bzyük	Bilecik	Süre
81501	06:35	06:51	07:13		

İstanbul-Eskişehir

	No	S.çsm.	Bstncı	Pendik	Süre
81502	20:35	20:46	21:13		

Ankara-Eskişehir

	No	Ankara	Erymn
--	----	--------	-------

EK-4. Program kodları

Private Type **seyahat**

kalkis As Date

varis As Date

ist_k As String

ist_v As String

no As Long

bek As Integer

bag As Integer

dak As Integer

v As Integer

p As Integer

kal As Integer

mes As Integer

End Type

Private Type **nobet**

sira As Long

End Type

Private Type **baglanti**

dak As Integer

sira As Integer

g As Boolean

p As Integer

v As Integer

ist As String

b As Integer

halkali As Integer

End Type

Private Type **derinlik**

sira As Integer

i As Integer

t As Integer

p As Integer

End Type

Dim sefer(1000) As seyahat

Dim gorev(1000000, 100) As Integer

Dim dongu(1000000, 100) As Integer

Dim bag(1000, 200) As baglanti

Dim drn(100) As derinlik

Dim x, y, y1, i, j, k, m, n, o, p, p1, p2, p3, r, q, s, t, u, kal As Integer

Dim saat1, saat2, saat3, dak1, dak2, dak3, x1, x2 As Integer

Dim z1, z2, z3, z4, z5, z6, z7, z8, c1, c2 As Integer

Dim cg, cbk, cb, cp, cc, cbd, ccs, fc, ul, halkali, hal, mesai(20), mes As Integer

EK-4. (devam) Program kodları

```
Dim ist_k, ist_v, aralik, kalkis(20), gece(20) As String
Dim a, b, c, d As Date
Dim g, h As Boolean
```

Sub personel_atama()

```
Erase sefer()
Erase gorev()
Erase dongu()
Erase bag()
Erase drn()
Erase kalkis()
Erase gece()
Erase mesai()
```

sefer_olusturma

bag_olusturma

gorev_olusturma

geceli_gorev_olusturma

sefer_yazma

```
OpenSolver
End Sub
```

Sub sefer_olusturma()

```
cg = Cells(3, 3).Value
```

```
.
```

```
.
```

```
.
```

```
Next
```

```
End If
```

```
sefer(x - 1).no = Cells(y, 2).Value
sefer(x - 1).kalkis = Cells(y, 3).Value
sefer(x - 1).varis = Cells(y, 4).Value
sefer(x - 1).ist_k = ist_k
sefer(x - 1).ist_v = ist_v
sefer(x - 1).bek = Cells(y, 6).Value
sefer(x - 1).p = Cells(y, 7).Value
```

EK-4. (devam) Program kodları

```

Select Case ist_k
Case "Ankara"
sefer(x - 1).kal = 1
sefer(x - 1).mes = mesai(0)
Case "Sivas"
sefer(x - 1).kal = 2
sefer(x - 1).mes = mesai(1)
Case "Eskişehir"
sefer(x - 1).kal = 3
sefer(x - 1).mes = mesai(2)
Case "Halkalı"
sefer(x - 1).kal = 4
sefer(x - 1).mes = 0
Case "S.çeşme"
sefer(x - 1).kal = 5
sefer(x - 1).mes = mesai(3)
Case "Karaman"
sefer(x - 1).kal = 6
Case "Konya"
sefer(x - 1).kal = 7

```

```

sefer(x - 1).mes = mesai(4)

```

```

End Select

```

```

.
.
.

```

```

End Sub

```

Sub bag_olusturma()

```

For x = 1 To m

```

```

a = sefer(x - 1).kalkis
b = sefer(x - 1).varis
p1 = sefer(x - 1).p
k = 0

```

```

saat1 = Hour(a)
dak1 = Minute(a)
saat2 = Hour(b)
dak2 = Minute(b)

```

```

For y = 1 To m

```

```

.
.

```

EK-4. (devam) Program kodları

Next

End Sub

Sub gorev_olusturma()

j = 1

For x = 1 To m

z1 = sefer(x - 1).dak + 90

p1 = sefer(x - 1).p

kal = sefer(x - 1).kal

mes = sefer(x - 1).mes

.

.

.

Next

End Sub

Sub geceli_gorev_olusturma()

k = 1

j = 1

For x = 1 To m

z1 = sefer(x - 1).dak + 90

z2 = sefer(x - 1).dak + 90

z3 = 90

.

.

.

.

.

Next

End Sub

Sub sefer_yazma()

For x = 1 To m

.

.

.

End Sub

EK-4. (devam) Program kodları

Sub OpenSolver()

```
SolverReset  
SolverOk SetCell:=Range(Cells(7, m + 6), Cells(7, m + 6)).Address, MaxMinVal:=2,  
ValueOf:=0, ByChange:=Range(Cells(8, 5), Cells(j + 6, 5)).Address, Engine:=2,  
EngineDesc:="Simplex LP"  
.  
.  
.  
.  
.  
.  
End Sub
```

EK-5. OpenSelver çözüm sonuçları

Starting process:

```
"C:\OpenSolver\Solvers\win64\cbc.exe" -directory
"C:\Users\ADMINI~2\AppData\Local\Temp\OpenSolver-EA82" -import
"C:\Users\ADMINI~2\AppData\Local\Temp\OpenSolver-EA82\model.lp" -ratioGap 0.05
-seconds 2147483647 -maxIterations 2147483647 -solve -solution
"C:\Users\ADMINI~2\AppData\Local\Temp\OpenSolver-EA82\model.sol"
```

Startup directory:

```
"C:\Users\ADMINI~2\AppData\Local\Temp\OpenSolver-EA82\"
```

Process started.

Welcome to the CBC MILP Solver

Version: 2.9.4

Build Date: Oct 4 2015

```
command line - C:\OpenSolver\Solvers\win64\cbc.exe -directory
C:\Users\ADMINI~2\AppData\Local\Temp\OpenSolver-EA82 -import
C:\Users\ADMINI~2\AppData\Local\Temp\OpenSolver-EA82\model.lp -ratioGap 0.05 -
seconds 2147483647 -maxIterations 2147483647 -solve -solution
```

```
C:\Users\ADMINI2\AppData\Local\Temp\OpenSolver-EA82\model.sol(defaultstrategy
ratioGap was changed from 0 to 0.05
```

```
seconds was changed from 1e+100 to 2.14748e+09
```

```
maxIterations was changed from 2147483647 to 2147483647
```

```
Continuous objective value is 92 - 0.06 seconds
```

```
Cgl0003I 0 fixed, 1 tightened bounds, 0 strengthened rows, 0 substitutions
```

```
Cgl0004I processed model has 101 rows, 3171 columns (3171 integer (3160 of which
binary)) and 17839 elements
```

```
Cutoff increment increased from 1e-05 to 1.9999
```

```
Cbc0038I Initial state - 23 integers unsatisfied sum - 11.5
```

```
Cbc0038I Pass 1: suminf. 0.00000 (0) obj. 102 iterations 189
```

```
Cbc0038I Solution found of 102
```

```
Cbc0038I Cleaned solution of 102
```

```
Cbc0038I Before mini branch and bound, 3139 integers at bound fixed and 0 continuous
```

```
Cbc0038I Full problem 101 rows 3171 columns, reduced to 35 rows 32 columns
```

```
Cbc0038I Mini branch and bound improved solution from 102 to 96 (0.20 seconds)
```

```
Cbc0038I Round again with cutoff of 93.8001
```

```
Cbc0038I Reduced cost fixing fixed 1302 variables on major pass 2
```

```
Cbc0038I Pass 2: suminf. 1.33521 (15) obj. 93.8001 iterations 138
```

```
Cbc0012I Integer solution of 94 found by feasibility pump after 0 iterations and 0 nodes
(0.55 seconds)
```

```
Cbc0011I Exiting as integer gap of 2 less than 1e-10 or 5%
```

```
Cbc0001I Search completed - best objective 94, took 0 iterations and 0 nodes (0.56
seconds)
```

```
Cbc0035I Maximum depth 0, 0 variables fixed on reduced cost
```

```
Cuts at root node changed objective from 92 to 92
```

```
Probing was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of
cuts (0.000 seconds)
```


EK-5. (devam) OpenSelver çözüm sonuçları

Gomory was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.000 seconds)

Knapsack was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.000 seconds)

Clique was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.000 seconds)

MixedIntegerRounding2 was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.000 seconds)

FlowCover was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.000 seconds)

TwoMirCuts was tried 0 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.000 seconds)

Result - Optimal solution found (within gap tolerance)

Objective value:	94.00000000	
Lower bound:	92.000	
Gap:	0.02	
Enumerated nodes:	0	
Total iterations:	0	
Time (CPU seconds):	0.58	
Time (Wallclock seconds):	0.58	
Total time (CPU seconds):	0.66	(Wallclock seconds): 0.66
Process completed successfully.		



Gazili olmak ayrıcalıktır