



## Raylı Ulaşım Sistemleri İçin Sefer Planlama ve Personel Yönetimi Sistemi Geliştirilmesi

Hülya AKÇA<sup>1</sup>, Kübra SİNAN<sup>2</sup>, Aleyna KARSLI<sup>3</sup>, Hüsnâ YILDIZ<sup>4</sup>, Hikmet YİĞİT<sup>5</sup>,  
Furkan KARAKUŞ<sup>6</sup>, Hüseyin DOĞAN<sup>7</sup>

*Metro İstanbul A.Ş., AR&GE, İstanbul, Türkiye*

*furkan.karakus@metro.istanbul*

*(Alınış/Received: 15.04.2024, Kabul/Accepted: 11.06.2024, Yayımlama/Published: 31.07.2024)*

**Öz:** Bu çalışma, teknolojik ilerlemeler ve şehirleşme eğilimleri nedeniyle küresel ekonomide önemli bir yere sahip olan ulaşım sektöründeki raylı sistemlerin karşılaştığı operasyonel zorluklara odaklanmaktadır. Şehirlerdeki nüfus artışı ulaşım altyapısını zorlamakta ve raylı sistemler, trafik sıkışıklığını azaltma ve sürdürülebilir kentsel yaşamı destekleme açısından kritik öneme sahip olmaktadır. Bu bağlamda, demiryolu sektöründe karşılaşılan operasyonel sefer planlama yönetimi gibi zorluklar, etkili çözümlerle üstesinden gelinmesi gereken kritik konular arasında yer almaktadır. Çalışmada, raylı sistem işletmeleri için geliştirilen bir sefer planlama sistemine odaklanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, yolcu ihtiyaçları ve işletme kapasitelerine uygun biçimde sefer planlarının oluşturulmasını ve vardiyalı personelin görev dağılımlarının dengeli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Geliştirilen sistem, .NET 4.8 framework'ünü destekleyen ve Windows işletim sistemi tabanlı bilgisayarlarda işlev gösterecek şekilde tasarlanmış bir masaüstü yazılımdır. Yazılımın özellikleri arasında çevrimdışı çalışabilme kapasitesi ve dışa aktarılabilir tarife üretme yeteneği bulunmaktadır. Tarife hazırlık aşamasında farklı tablo çıktıları sunabilme ve personel görevlerini otomatik olarak atayabilme özelliklerine sahip olmaktadır. Yazılım, M1A (Yenikapı – Atatürk Havalimanı) ve M1B (Yenikapı – Kirazlı) metro hatlarında uygulanmakta, bu süreç işgücü optimizasyonu yoluyla personel maliyetlerinde %3 oranında azalma sağlayarak maliyet tasarrufuna katkıda bulunmaktadır. Aynı zamanda, sefer planlama süreçlerini geleneksel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde hızlandırıp ve hata oranlarını azaltmaktadır. İyileştirmeler sonucunda, %97.2 oranında bir zaman tasarrufu elde edilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Operasyonel optimizasyon, Otomatik sefer planlama, Personel yönetimi, Raylı ulaşım sistemi

### Development of a Scheduling and Personnel Management System for Rail Transport Systems

**Abstract:** This study focuses on the operational challenges encountered in the rail systems of the transportation sector, which occupies a significant position in the global economy due to technological advancements and urbanization trends. The increase in urban populations puts pressure on transportation infrastructure, making rail systems critically important in reducing traffic congestion and supporting sustainable urban living. In this context, challenges such as operational timetable management in the railway sector are critical issues that need to be addressed with effective solutions. The study centers on a timetable planning system developed for rail system operations. The main goal of the study is to create schedules that meet passenger needs and operational capacities and to ensure that shift-based personnel distributions are balanced. The developed system is a desktop software designed to function on computers based on the Windows operating system, supporting the .NET 4.8 framework. Features of the software include the capacity to operate offline and the ability to generate exportable timetables. During the timetable preparation phase, the software can provide various table outputs and automatically assign personnel tasks. The software is implemented on the M1A (Yenikapı – Atatürk Airport) and M1B (Yenikapı – Kirazlı) metro lines, contributing to cost savings by achieving a 3% reduction in personnel costs through workforce optimization. It significantly accelerates the timetable planning processes compared to traditional methods and reduces error rates. As a result of the improvements, a time saving of 97.2% is achieved.

**Keywords:** Operational optimization, Automatic scheduling, Staff management rail transport systems

Atıf için/Cite as: H. Akça, K. Sinan, A. Karşı, H. Yıldız, H. Yiğit, F. Karakuş, H. Doğan, "Raylı sistemler için sefer planlama ve personel yönetimi sistemi geliştirilmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 20, ss. 183-201, Temmuz 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1465865

## 1. Giriş

Günümüzde ulaşım sektörü, küresel ekonominin önemli bir dayanağı olarak öne çıkmaktadır. Hızla gelişen teknoloji, küresel ticaretin artması ve nüfusun şehirleşme eğilimleri, ulaşımın stratejik bir önem kazanmasına neden olmaktadır. Dünya genelinde nüfusun kırsal alanlardan kentsel alanlara taşınması şehir yaşamında bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Artan nüfus, özellikle ulaşım altyapısının sınırlı olduğu kentsel bölgelerde, yoğun trafik ve ulaşım sorunlarına neden olmaktadır. Bu durum, kent içi ulaşım ağlarının kapasitesinin aşıldığı ve dolayısıyla gecikmeli ve rahatsız edici seyahat deneyimlerinin yaşandığı bir ortam yaratmaktadır [1]. Öte yandan, konforlu seyahat imkânları ve zamanında ulaşım, bireyleri toplu taşıma araçlarını tercih etmeye teşvik etmektedir. Bu durum, bireylerin özel araç kullanımından vazgeçmelerine ve toplu taşıma sistemlerine olan güvenlerini artırmalarına neden olmaktadır. Bu bağlamda, konforlu seyahat imkânları ve zamanında ulaşımın ötesinde, raylı sistemler kent içi ulaşımın temel taşlarından birini oluşturmaktadır. Özellikle metro, tramvay ve metro hatları gibi raylı sistemler, toplu taşıma ağlarının ana omurgasını oluşturarak şehirlerdeki yoğunluğu daha etkili bir şekilde yönetmeyi sağlamaktadır. Bu sistemlerin geniş kapasiteleri, pik saatlerde ve yoğun kullanım bölgelerinde bile etkili bir hizmet sunmalarına olanak tanımaktadır.

Raylı sistemlerin kullanımı, sadece bireyleri toplu taşıma araçlarını tercih etmeye teşvik etmekle kalmamakta, aynı zamanda kentsel ulaşımın sürdürülebilirliği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, özel araç kullanımını azaltarak trafik yoğunluğunu hafifletmekte ve bu da çevresel etkileri en aza indirmeye yardımcı olmaktadır. Kentsel raylı ulaşım ağının büyümesi, konforlu, hızlı ve zamanında seyahat özellikleri sunarak, daha fazla yolcunun ilgisini çekmektedir [2]. Kent içi raylı ulaşım ağlarının genişlemesi, şehirlerin daha yaşanabilir ve çevreci hale gelmesine katkıda bulunarak sürdürülebilir bir şehir ulaşımı modeli oluşturmaktadır. Bu bağlamda, raylı ulaşım sistemleri, modern şehir planlamasının vazgeçilmez bir unsuru olarak öne çıkmaktadır. Şehir raylı taşıma organizasyonunun temelini oluşturan faktör, raylı sistem araç işletme planıdır. Raylı sistem işletme planının hayati önemi, şehirlerin sürekli büyümesi, nüfus artışı ve ulaşım ihtiyaçlarının karmaşıklığının arttığı bağlamda ortaya çıkmaktadır. Bu plan, şehirdeki raylı taşıma altyapısının en etkili şekilde kullanılmasını sağlayarak, yolcu talebinin karşılanabilmesi için uygun taşıma kapasitesini belirlemektedir. Bu uyum, planın doğru bir şekilde oluşturulması ve güncellenmesi ile mümkün olur. Bir işletme planının mantıklı olabilmesi için, taşıma kapasitesinin yolcu talebiyle uyumlu olması gerekmektedir [3]. Bu, toplu taşıma sistemlerinin gereksinimlere doğru şekilde yanıt vermesi ve kullanıcılarına güvenilir bir hizmet sunabilmesi için temel bir prensip olmaktadır.

Demiryolu sektörü, karmaşıklığı ve çeşitliliği nedeniyle çeşitli programlama problemleri ile mücadele etmektedir. Bu problemler, sektörün genel verimliliğini, kapasitesini ve hizmet kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, demiryolu sektöründeki programlama problemleri, genellikle operasyonel planlama, araç işletme planlama ve sefer planlaması gibi temel alanlarda ortaya çıkmaktadır ve bu problemler, sektörün temel faaliyetlerine yönelik stratejik çözümleri içermektedir. En önemli çalışmalar, operasyonel planlama, araç işletme planlama ve sefer planlamasıyla ilgili süreç olmaktadır. Operasyon planlama, bir raylı sistem araçlarının işletme şeması ortaya çıkarmaktadır. Araç işletme planlaması, raylı sistem araçların atanmasını belirlemekte ve sefer planlaması, sefer üyeleri için bir plan oluşturmaktadır [4]. İşgücü maliyetleri, demiryolu şirketlerinin operasyonel maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır [5]. Bu sebeple, maliyetlerin etkili bir şekilde yönetilmesi, şirketlerin sürdürülebilirlik ve rekabet avantajı elde etmesi açısından kritiktir. Doğru ve etkili bir sefer planlaması, iş gücü kaynaklarını optimum bir şekilde kullanarak fazla personel maliyetlerini azaltmakta ve operasyonel maliyetleri kontrol altında tutmaktadır. Demiryolu sisteminin verimli ve düzenli bir şekilde işleyebilmesi için kritik bir rol oynayan bir diğer önemli kavram da sefer planlamasıdır. Sefer planlaması, belirli bir zaman dilimi içinde bir demiryolu sisteminde gerçekleşmesi beklenen tüm raylı sistem araç hareketlerinin bir planıdır [6]. Sefer planlamalarının

karmaşıklığı, demiryolu sistemlerinde bir dizi faktörün bir araya gelmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşıklık; coğrafi bölgedeki yolcu talepleri, seyahat düzeni, demiryolu altyapısı, raylı sistem araç kapasitesi, ve sefer planlama sorunu (SPS) gibi teknik ve operasyonel unsurların entegre edilmesini gerektirmektedir. Son zamanlarda, sefer planlamalarının karmaşık hale gelmesi nedeniyle, SPS da karmaşık ve büyük ölçekli bir sorun haline gelmektedir [7]. Özellikle, lojistik, taşımacılık ve ulaşım hizmeti sunan işletmeler, sefer planlama ve personel yönetimi gibi kritik süreçlerde zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu süreçlerin manuel olarak yönetilmesi, zaman ve verimlilik kaybına neden olmaktadır. Bu noktada, yazılım tabanlı çözümler, ulaşım sektöründeki işletmelere önemli avantajlar sağlamak adına geliştirilmeye başlanmaktadır.

### 1.1. Literatür taraması

Ulaşım sektöründeki etkin planlama, hizmet verimliliği, maliyet optimizasyonu, çevresel sürdürülebilirlik ve yolcu memnuniyeti gibi kilit faktörleri etkileyerek sektörün başarılı bir şekilde işletilmesini sağlamaktadır. Ulaşım hizmetlerinin karmaşıklığı ve büyüklüğü göz önüne alındığında, etkili planlama, kaynakların doğru ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamakta, aynı zamanda operasyonel süreçleri düzenlemekte ve performansı artırmaktadır. Bu öneme binaen, ulaşım planlamasıyla ilgili birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Literatürdeki bu çalışmalar, farklı ulaşım modları ve sistemleri için çeşitli planlama stratejilerini ele almaktadır. Yapılan çalışmalara bakıldığında raylı sistemlerde optimum sefer planlaması, araç rotalama problemleri, ekip programlaması gibi konular üzerinde yoğunlaşan araştırmalar, raylı ulaşım sektöründeki planlama süreçlerini daha etkili ve verimli hale getirmeyi amaçlamaktadır.

Çin'deki yük raylı sistem aracı demiryolu sistemlerinde günlük işletme planlamasını optimize etmek için bir raylı sistem araç yolu seçimi optimizasyon modeli geliştiren Li ve ark. [8] modelde Tabu arama algoritması kullanmaktadır. Menghua demiryolu verileri üzerinde test edilen bu modelle, toplam raylı sistem araç seyahat süresini azaltma ve sevkiyatların zamanında teslimini sağlama konusunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Zhang ve Yue [9] tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise değişken zamanlı yolcu talepleri altında raylı sistem araç sefer tablosu optimizasyonu ele alınarak kentsel raylı ulaşımın rekabetçi tavrını artırmak hedeflenmiştir. Kübik spline interpolasyon yöntemiyle uyarlanan yolcu talep fonksiyonu, tavlama benzetim algoritması kullanılarak minimize edilen bir optimizasyon modeline entegre edilmiş ve Xi'an Metro Hattında başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bunun yanı sıra Sagawa vd. [4] tarafından demiryolu tarifelerini düzenleme sorununu çözmek için geleneksel Max-Plus-Linear (MPL) sistemini genişleten bir model geliştirildi. Yerel ve ekspres raylı sistem araçlarının etkileşimini içeren bu model, demiryolu sistemlerinde esnek zaman çizelgeleri oluşturarak, çeşitli hizmetleri başarıyla planlayabilmekte ve sayısal deneylerle geçerliliğini kanıtlamaktadır. Yu ve ark. [10] demiryolu işletmelerinde karşılaşılan raylı sistem tarifesi optimizasyonu sorununu çözmek için yolcu çiftlerinin erişilebilirliği ve denge faktörlerini dikkate alınarak geliştirilen model Beijing-Shanghai yüksek hızlı demiryolunda uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda 92 raylı ulaşım aracıyla optimum tarife elde edilmiş, başlangıç-bitiş hizmet sıklığı ve denge iyileştirmelerine katkı sağlanmıştır. Ceylan ve ark. [11], hafif raylı ulaşım sistemlerinde makinist görev çizelgesi oluşturarak toplam çalışma süresini ve vardiya sayısını dengeli bir biçimde optimize etmeyi amaçlamışlardır. Geliştirilen matematiksel model, GAMS/CPLEX programı ile çözümlenerek adil görev ataması ve çalışan memnuniyeti ile hizmet kalitesinde artış sağlanmıştır.

Cingöz ve Aytemiz [1] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, şehir içi toplu taşıma hizmetlerinin etkin planlanması ve yönetilmesi için bir çerçeve sunulmuştur. Özellikle otobüs toplu taşıma sistemlerinin sefer sıklığı ve zaman çizelgesinin optimize edilmesini amaçlayan bu çalışma, kullanıcı memnuniyetini artırmayı, çevresel etkileri minimize etmeyi ve toplu taşıma hizmetlerini daha verimli hale getirmeyi hedeflemektedir. Nagy ve Tick [12] tarafından yapılan çalışmada, toplu taşıma işletmelerinin otobüs taşımacılığı operasyonlarını etkinleştirmek ve

maliyetleri azaltmak amacıyla otobüs filo araçları ve sürücülerinin programlaması, araç/sefer planlama problemi (ASPP) temelli bir matematiksel model ve çözüm yöntemiyle ele alınmaktadır. Ayrıca, açık kaynaklı ve ticari çözümlerin genel bir değerlendirmesini sunarak, bu alandaki çözüm yöntemlerini tartışmaktadır. Yazıcı ve ark.[13], Kırşehir ilindeki şehir içi otobüs hatlarında görev yapan şoförlerin adil ve dengeli bir şekilde çizelgelenmesi amaçlanmıştır. Hedef programlama yöntemi uygulanarak her bir şoförün ay boyunca hangi gün, hatta ve vardiyada çalışacağı belirlenmiş ve dengeli bir iş dağılımı sağlanmıştır. Model, ILOG CPLEX kullanılarak çözülmüş ve kadın şoförlerin gece vardiyasında çalışmaması gibi kısıtlar dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, şoförler arasında adil bir çalışma düzeni tesis edilerek personel verimliliğinin artırılacağını öngörmektedir. Cai ve ark. [3] tarafından yürütülen çalışma, şehir içi raylı transit sistemlerinin günlük raylı sistem araç işletme planlarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Shenzhen metrosu üzerinde uygulanan matematiksel optimizasyon modeli, dinamik raylı sistem araç işletme planları oluşturularak maliyetleri azaltmanın ve ekonomik faydaları artırmanın önemini vurgulamaktadır.

Wang ve Guo [14] tarafından yapılan analizde, sefer planlama problemi (SPP) adım adım optimize edilerek, uzay-zaman ağı ve çok amaçlı optimizasyon modeli kullanılarak algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmaların etkinlikleri Beijing-Tianjin şehirlerarası demiryolu durum analiziyle doğrulanmıştır. Gelecek çalışmalar, SPP'nin başlangıç aşamasındaki çözümleri geliştirmeyi ve özellikle yüksek hızlı raylı sistem araç sürücülerinin planlama zorluklarına odaklanmayı amaçlamaktadır. Demiryolu sefer planlaması probleminde Bakteriyel Foraj Algoritması Tabanlı Demiryolu Sefer Planlama Optimizasyonu (BFATDSP) yönteminin üstünlüklerini değerlendirildiği Pang ve Chen [5] tarafından yapılan çalışmada ise BFATDSP, GA (Genetik Algoritma) ve PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) yöntemlerine kıyasla daha yüksek çözüm kalitesi, hızlı hesaplama süresi, tutarlı performans, global konverjans yeteneği ve düşük hesaplama maliyeti sağladığı belirtilmiştir. Bu avantajlar, demiryolu SPP'nde BFATDSPO'nun etkili bir çözüm sunduğunu ve GA ile PSO'ya göre daha üstün bir performans sergilediğini vurgulamaktadır. Bu durum gerçek zamanlı karar destek sistemleri için potansiyel bir çözüm sunmaktadır.

Kokubo ve ark. [15], pratik raylı sistem araç SPP için tasarlanmış bir tabu arama yönteminin etkinliğini değerlendirmektedir. Yöntem, etkili bir arama yöntemi için yeni bir amaç fonksiyonu ve komşuluk programları için yeni nesil yöntemler içermektedir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin tüm kısıtlamalara uygun bir program üretebildiğini ve mevcut zaman çizelgesine göre amaç fonksiyonu değerlerini önemli ölçüde azaltabildiğini göstermektedir. Ayrıca, önerilen yöntemin tabu listesi uzunluğu konusunda sağlam bir performans sergilediği belirlenmiştir. Bu çalışma, demiryolu SPP'lerde daha etkili ve optimize edilmiş çözümler elde etmek için geliştirilmiş bir tabu arama yönteminin başarılı bir şekilde uygulanabileceğini vurgulamaktadır. Kokubo ve Fukuyama [16] tarafından yürütülen çalışma, pratik raylı sistem araç ekibi programlama problemlerinin hızlı çözümü için paralel tabu arama yöntemini öne çıkarmaktadır. Özellikle raylı sistem araç SPP'yi ve ekibi iyileştirme problemleri için geliştirilen bu yöntem, paralel hesaplama tekniklerini kullanarak %4.6 oranında hızlanma sağlayarak demiryolu ekibi programlama problemlerine etkili bir çözüm sunma potansiyeli taşımaktadır.

Literatürde incelenen çalışmalar Tablo 1'de ayrıntılı şekilde sınıflandırılmıştır. Mevcut çalışmalarda çeşitli yenilikçi yaklaşımlar ve katkılar sunulduğu görülmektedir. Ancak yapılan pek çok çalışma, raylı sistemlerde sefer sürelerini optimize etmeye ve maliyetleri düşürmeye odaklanmıştır. Ancak, bu çalışmada geliştirilen yazılım, sefer planlama süreçlerini otomatikleştirerek ve kullanıcı dostu arayüzü ile işletmelerin günlük operasyonlarında hızla benimsenmesini sağlamaktadır. Yazılımımız, çevrimdışı çalışma kapasitesi ve dışa aktarılabilir tarife üretme yeteneği ile işletmelere esneklik ve verimlilik kazandırmaktadır. Geleneksel

yöntemlere kıyasla, sefer planlama sürecinde büyük bir zaman tasarrufu sağlayarak operasyonel verimliliği artırmaktadır.

**Tablo 1.** Önerilen çalışmayla ilgili yapılan çalışmaların sınıflandırılması

Referans	Algoritma/Model	Amaç Fonksiyonu	Uygulama Alanı
Li ve ark., (2020)	Tabu arama algoritması	Raylı sistemlerde seyahat ve sevkiyat süresi minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Zhang & Yue, (2020)	Kübik spline interpolasyon yöntemi	Yolcu bekleme süresi, Raylı sistem araç çalışma süresi ve kullanılan raylı sistem araç sayısı minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Sagawa ve ark., (2020)	Max-Plus-Linear(MPL)	Demiryolu sefer saatlerinin optimize edilmesi ve overtaking durumlarına göre düzenlenmesi	Raylı Ulaşım Sistemleri
Yu ve ark. (2022)	Yuvarlanan ufuk yaklaşımı	Toplam raylı sistem seyahat süresini minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Ceylan vd., (2021)	-	Hedef değerden sapma değer minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Cingöz ve Aytemiz, 2023	-	Kullanıcı memnuniyeti maksimize ve çevresel etki minimizasyonu	Otobüs Toplu Taşıma Sistemi
Nagy ve Tick (2020)	-	Otobüs taşımacılığı operasyon maliyeti minimizasyonu	Otobüs Toplu Taşıma Sistemi
Cai ve ark.(2020)	-	Sistem maliyet minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Wang ve Guo (2023)	Set bölme yöntemiyle çok amaçlı optimizasyon modeli	Sefer boş süre minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Pang ve Chen, 2023	BFATDSP yöntemi	Toplam sefer maliyeti minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Kokubo ve ark. (2017),	Tabu arama algoritması	Sefer çalışma saatlerinin minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri
Kokubo ve Fukuyama (2018)	Paralel tabu arama algoritması	Sefer atanma sayısı, genel çalışma süreleri ve mola süreleri arasındaki farkın minimizasyonu	Raylı Ulaşım Sistemleri

## 1.2. Katkılar ve çalışmanın organizasyonu

Bu çalışma, raylı sistem araçlarının (RSA) sefer planlamasının otomatikleştirilmesine yönelik mevcut çalışmalarını analiz ederek, RSA çakışmalarını önleme, operasyonel verimliliği artırma ve personel kaynaklarını optimize etme odaklı yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. .NET 4.8 temelli bir masaüstü yazılım geliştirilmiş olup, bu platform üzerinden sefer parametrelerinin esnek bir

şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Yazılım, operasyonel riskleri minimize ederken, sefer planlama süreçlerinin verimliliğini ve hizmet kalitesini artırma potansiyeline sahiptir.

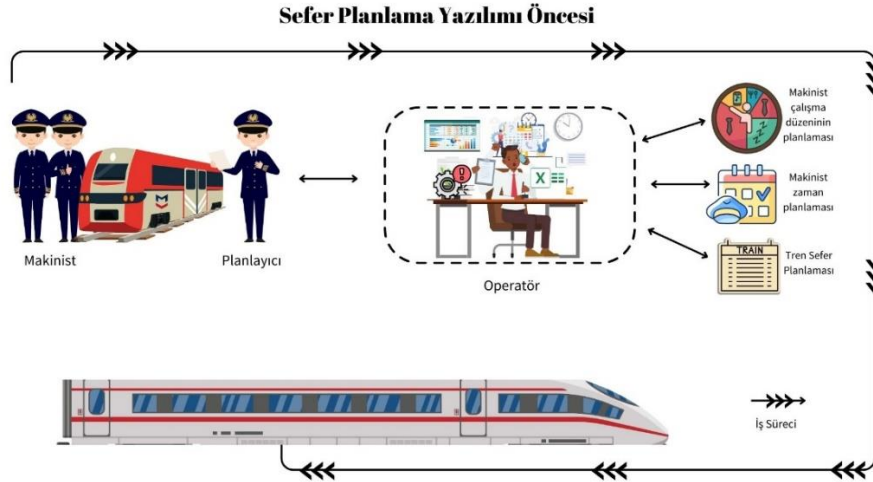
Türkiye'de sefer planlamasının ilk defa bir yazılım bünyesinde yapılmasını sağlamaktadır. İşletmeler, bu süreci genellikle manuel ORER tabloları veya Excel tabloları üzerinden yürütmekte ve bu durum zaman ve verimlilik kaybına yol açmaktadır. Örneğin, bir ORER tablosunun hazırlanması 10-15 gün sürerken, Excel ile uzman personel tarafından yapılan çalışmalar 1-2 gün sürebilmektedir. Geliştirilen yazılım, bu süreci otomatikleştirerek işletmelerin zaman ve verimlilik açısından önemli kazançlar elde etmelerine öncülük etmektedir. Geleneksel yöntemlerle yapılan sefer planlamalarında, kaç personelin gerektiği sağlıklı bir şekilde hesaplanamamakta ve çoğu zaman fazla personel veya minimum personele aşırı yüklenme gibi dengesiz planlamalar yapılmaktadır. Geliştirilen yazılım, minimum kriterler girildiğinde personel sayısını otomatik olarak hesaplayarak bu sorunun önüne geçmektedir.

Çalışma, veri bilimi, planlama ve yazılım uzmanlarının bir araya gelmesiyle oluşturulan bilgi birikimi sayesinde, uluslararası muadil yazılımların maliyetlerine göre daha ekonomik bir çözüm sunarak işletmelerin bütçe planlaması avantajı elde etmelerine önemli bir katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, ortak bir yazılım kullanımıyla sektörel standardizasyonu destekleyerek iş birliği ve entegrasyonu kolaylaştırmıştır. Bu durum, sektördeki paydaşların bir araya gelerek daha uyumlu ve verimli bir çalışma ortamı oluşturmalarına olanak sağlamaktadır. Projenin modüler tasarımı, ölçeklenebilirlik ve sefer planlama esnekliği sağlamış, böylece işletmelerin değişen ihtiyaçlarına uygun özelleştirmeleri mümkün kılmıştır. Bu da proje kullanıcılarına daha kişiselleştirilmiş çözümler sunma imkanı vererek adaptasyon süreçlerini kolaylaştırmıştır.

Makalenin kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de projenin yöntem kısmı anlatılmaktadır. Bu bölümde sefer planlama yazılımı sürecinde kullanılan yöntem, matematiksel model ve detaylar ele alınmaktadır. Bölüm 3'te projenin bulguları ve analiz kısmı anlatılmaktadır. Bu bölüm, demiryolu taşımacılığı sektöründe sefer planlama yazılımının personel ve zaman yönetimi üzerindeki olumlu etkilerini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Son bölüm olan Bölüm 4'te ise projenin sonuç kısmı anlatılmaktadır.

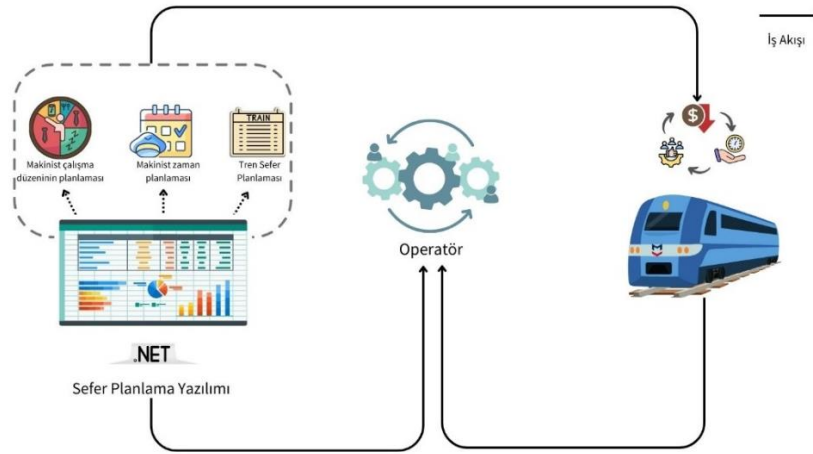
## 2. Metot

Geleneksel RSA sefer planlama sistemi (SPS) süreci, esas olarak operatörlerin yönetiminde gerçekleşen, yoğun emek ve zaman gerektiren bir işlem dizisidir. Şekil 1'de, iş planlama yazılımı öncesi iş akışı gösterilmiştir. Bu süreçte makinistlerin çalışma düzenlerini, zamanlamalarını ve RSA seferlerini manuel olarak planlamaktadır. Kullanılan temel araçlar arasında detaylı bilgiler içeren Excel tabloları ve çizelgeler yer almaktadır. Bu tablolar, seferlerin zamanlaması, makinistlerin çalışma saatleri ve RSA'ların durumu gibi kritik bilgileri içeren detaylı kayıtlar olarak işlev görmektedir. Operatörler, bu tabloları sürekli olarak güncellemekle yükümlüdür. Seferlerin zamanlaması, personelin mevcudiyeti ve demiryolu ağının durumu gibi değişkenler göz önünde bulundurularak bu tablolar düzenli olarak revize edilir. Bu sürekli güncelleme ihtiyacı, operatörlerin iş yükünü önemli ölçüde artırır ve hata yapma riskini yükseltir. Herhangi bir hata, RSA seferlerinde gecikmelere veya daha ciddi sorunlara yol açabilir, bu da yolcu memnuniyeti ve operasyonel verimlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir.



Şekil 1. Sefer planlama yazılımı öncesi iş akışı

Ayrıca, geleneksel sistemde ani durumlara hızlıca yanıt verebilmek için ek personel gereksinimi söz konusudur. Beklenmedik aksaklıklar, hastalıklar veya diğer acil durumlar karşısında, ek makinistler ve planlayıcılar yedek olarak hazır tutulur. Bu personelin varlığı, operasyonel esnekliği sağlamakla birlikte, ek maliyetleri ve iş gücü yönetiminin karmaşıklığını da beraberinde getirir. Yedek personelin bulundurulması, personel maliyetlerini artırır ve iş gücü planlamasını daha zorlu hale getirir. Bu manuel planlama sürecinin karmaşıklığı, RSA işletmecilerini zaman, maliyet ve iş gücü yönetimi açısından önemli zorluklarla karşı karşıya bırakır. Bu nedenle, manuel süreçlerin dijitalleştirilmesi ve otomatikleştirilmesi, demiryolu sektöründe önemli bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmiş planlama yazılımları, bu manuel işlemlerin yerini alarak RSA seferlerinin daha etkin, verimli ve hatasız bir şekilde planlanmasına imkân tanımaktadır.



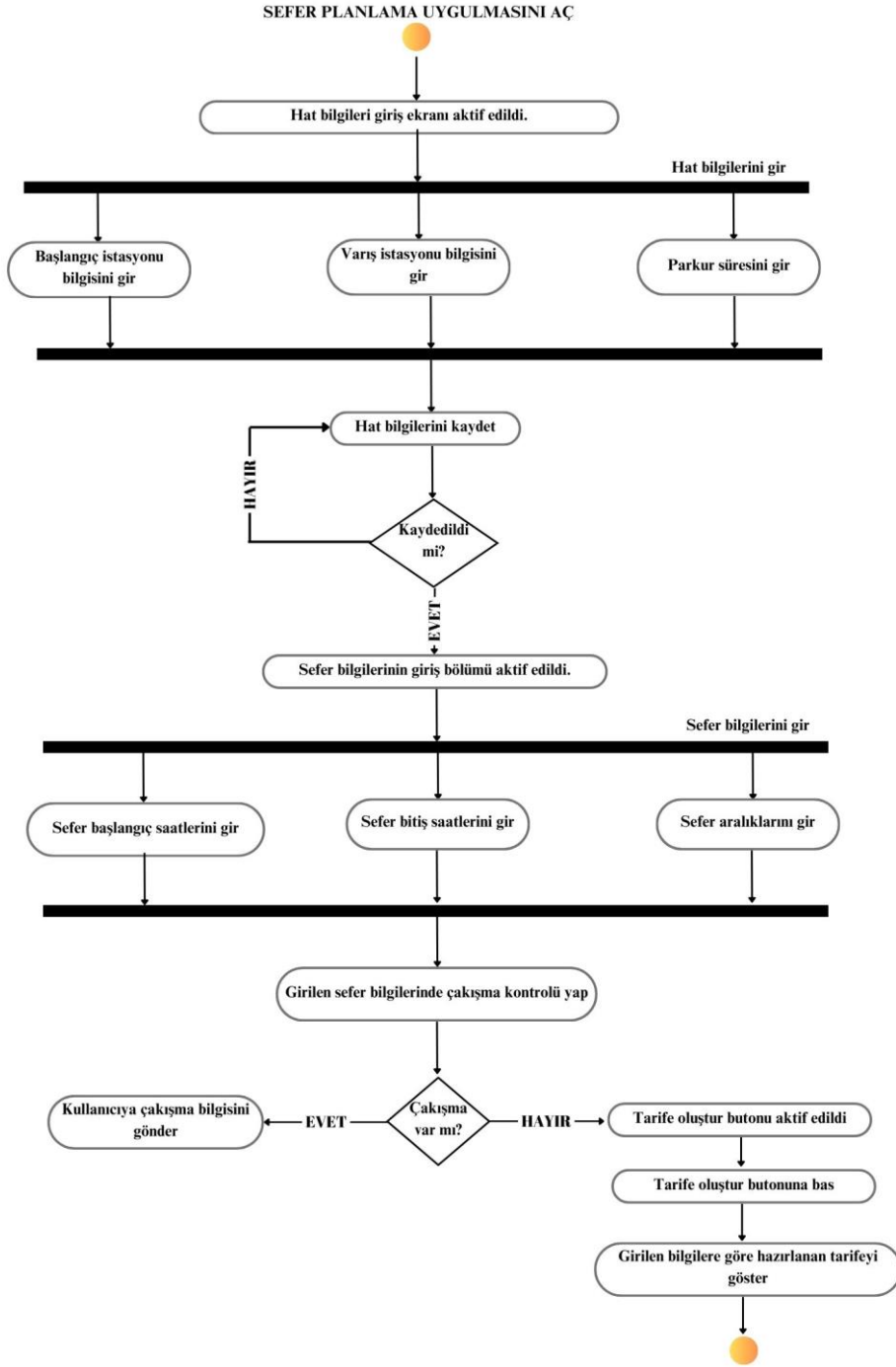
Şekil 2. Sefer planlama yazılımı sonrası iş akışı

Şekil 2'de SPS süreci sonrası iş akışı gösterilmiştir. Geliştirilen sefer planlama yazılımının uygulanması ile RSA SPS sürecinin otomatikleştirilmesi, demiryolu taşımacılığı alanında operasyonel verimlilik ve etkinlik açısından önemli bir değerler dizisi değişikliğini temsil etmektedir. Bu yazılım, makinistlerin çalışma düzeni, makinistlerin zaman planlaması ve RSA sefer planlaması gibi kritik süreçleri içeren, kapsamlı ve entegre bir otomatik planlama sistemidir. Bu sistem, kullanıcıdan alınan başlangıç verilerine dayanarak, çeşitli planlama görevlerini hızlı ve doğru bir şekilde yerine getirme yeteneğine sahiptir. Geleneksel manuel yöntemlerle gerçekleştirildiğinde 9 saat (540 dakika) süren planlama süreci, yazılım uygulandığında yaklaşık 15 dakikaya indirilmektedir. Bu, sürecin etkinliği ve zaman yönetiminde radikal bir iyileşmeyi

göstermektedir. Yazılımın benimsenmesiyle, yedek personel bulundurma gereksiniminin ortadan kalkması, demiryolu operasyonlarının iş gücü maliyetlerini ve yönetim karmaşıklığını önemli ölçüde azaltmaktadır. Otomatikleştirilmiş sistem, beklenmedik durumlar ve acil müdahale gerektiren senaryolara karşı yüksek düzeyde uyum sağlama ve hızlı tepki verme kapasitesine sahiptir. Ek personel ihtiyacını ortadan kaldırarak, insan kaynakları yönetimi üzerindeki baskıyı azaltmakta ve operasyonel maliyetleri düşürmektedir. Yazılımın kullanımı, aynı zamanda hata yapma olasılığını önemli ölçüde azaltmaktadır. İnsan faktöründen kaynaklanan hatalar, bu otomatize sistemde minimuma indirilmektedir. Yazılım, planlama sürecini standartlaştırarak, tutarlı ve güvenilir sonuçlar üretmektedir. Bu durum, hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de yolcu memnuniyetini olumlu yönde etkilemektedir.

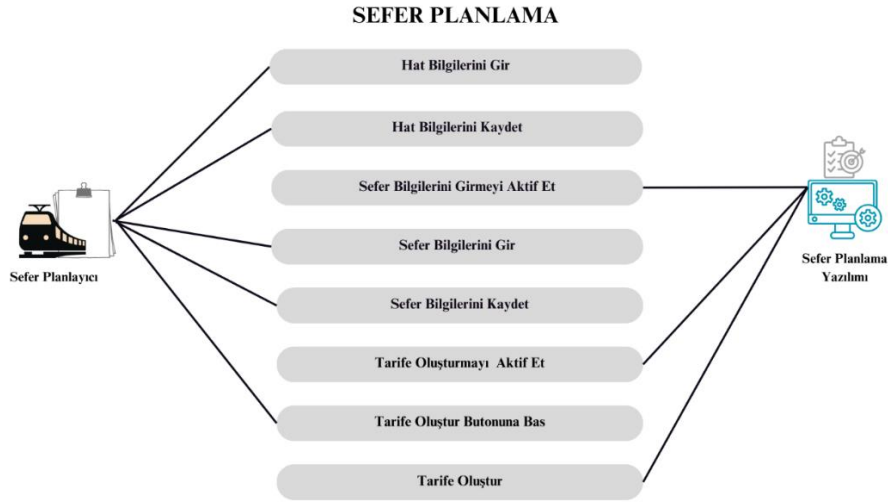
Sonuç olarak, SPS yazılımının entegrasyonu, demiryolu taşımacılığında operasyonel verimlilik, maliyet yönetimi ve hizmet kalitesi açısından önemli bir dönüşümü temsil etmektedir. Bu teknolojik ilerleme, demiryolu sektörünün daha verimli, ekonomik ve sürdürülebilir operasyonlarını mümkün kılmak için hayati bir adım olmaktadır. Yazılım, karmaşık planlama işlemlerini basitleştirerek, RSA işletmecilerine kaynaklarını daha etkin bir şekilde yönetme ve müşteri hizmetlerini iyileştirme imkânı sunmaktadır. Geliştirilen SPS modülünün işleyişi Şekil 3'te gösterilmiştir. İlk olarak kullanıcı, uygulamayı açarak Hat Bilgileri Giriş Ekranında başlangıç ve varış istasyonu bilgilerini girer ve isteğe bağlı olarak parkur süresini ekleyebilmektedir. Girilen hat bilgileri sisteme kaydedilip kontrol edilmektedir. Daha sonra, kullanıcı sefer başlangıç ve bitiş saatleri ile sefer aralıklarını girmektedir. Bu bilgiler, çakışma kontrolü için incelenmektedir. Çakışma varsa, kullanıcıya uyarı verilir, çakışma yoksa "Tarife Oluştur" butonu aktif hale gelir ve kullanıcı bu butona basarak hazırlanan tarifeyi görüntüleyebilmektedir. Bu süreç, kullanıcılara kolaylık sunarken ulaşım sisteminin verimliliğini ve düzenini artırmayı hedeflemektedir.





Şekil 3. Sefer planlama modülü akış şeması

Şekil 4'te sunulan sefer planlama sistem akış modeli, sefer planlama sisteminin işlevselliğini, kullanıcı ve yazılım arasındaki lineer etkileşim üzerinden tanımlanır. Süreç, öncelikle kullanıcının seferin operasyonel hat parametrelerini sisteme girmesi ve bu bilgilerin kaydedilmesiyle başlamaktadır. Bu adım, planlamanın temelini oluşturarak ve sonraki aşamalar için zemin hazırlamaktadır. Kullanıcı, daha sonra detaylı sefer zamanları ve frekansları gibi bilgileri girmektedir. Bu bilgilerin başarıyla sisteme eklenmesi, tarife oluşturma işlevini aktif hale getirmektedir. Kullanıcı, "Tarife Oluştur" butonuna basarak sistemin bu bilgilere dayalı bir tarife oluşturmasını sağlamaktadır. Bu süreç, kullanıcı girdileri ile yazılım çıktıları arasındaki doğrudan ilişkiyi ve kullanıcı eylemlerinin yazılım işlevselliğini nasıl etkinleştirdiği gösterilmektedir.



Şekil 4. Sefer planlama sistem akış modeli

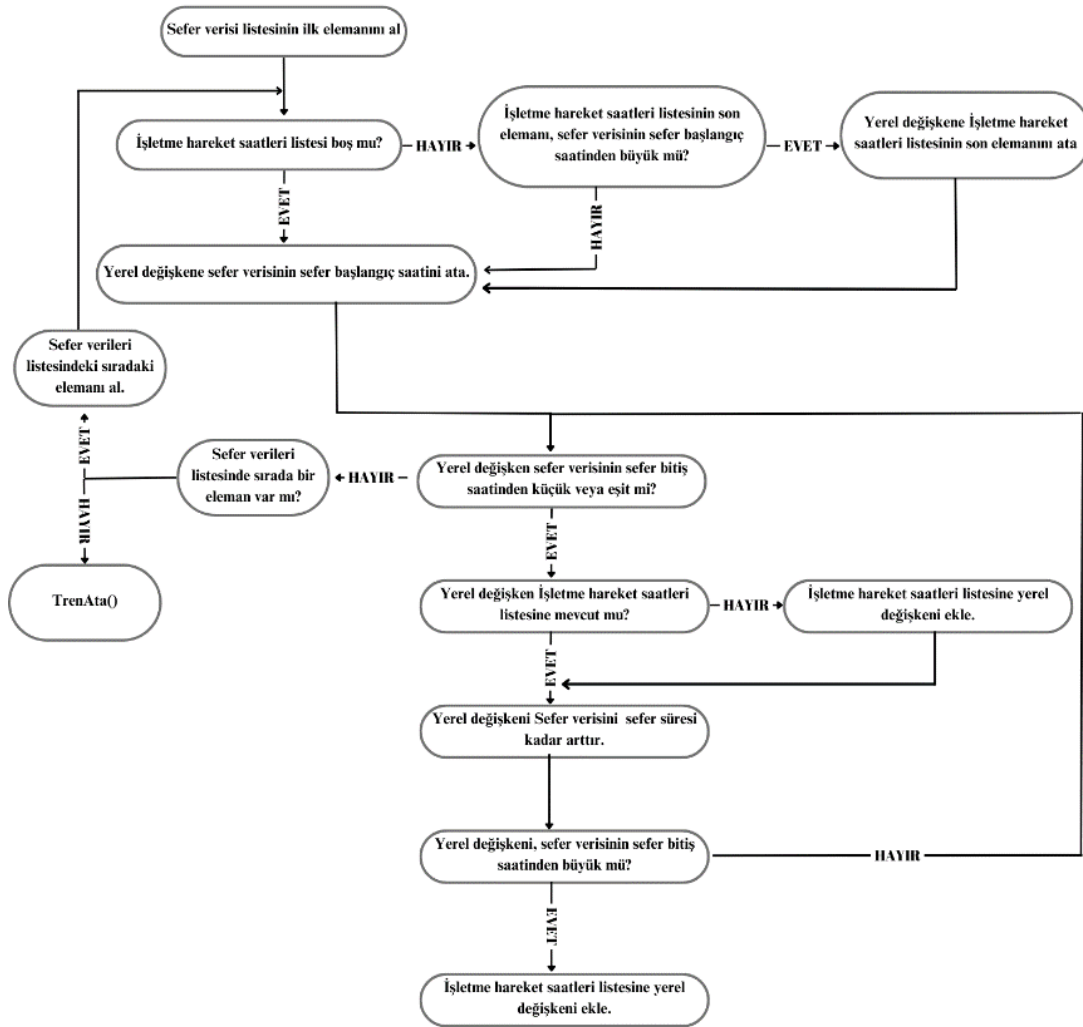
Sefer planlama sisteminde, kullanıcıdan öncelikle "Başlangıç istasyonu", "Varış istasyonu" ve "Parkur süresi" gibi temel bilgiler alınmaktadır. Bu bilgilerin tam ve doğru bir şekilde girilmesiyle "Kaydet" butonu aktifleşmektedir. Bilgilerin kaydedilmesinin ardından "Sefer bilgileri giriş bölümü" etkinleştirilmektedir. Bu bölümde, kullanıcıdan "Sefer başlangıç saati", "Sefer bitiş saati" ve "Sefer süresi" bilgileri istenmektedir. Girilen sefer bilgileri, belirli koşullu ifadelerle sorgulanıp öncelikle, "Sefer başlangıç saati"nin "Sefer bitiş saati"nden küçük olup olmadığı, ardından "Sefer başlangıç saati" ile "Sefer bitiş saati" arasında yeterli "Sefer süresi" farkının bulunup bulunmadığı kontrol edilmektedir. Ayrıca, alınan sefer bilgisinin önceden girilen zaman aralıklarıyla çakışıp çakışmadığı incelenmektedir. Herhangi bir koşul sağlanmazsa, kullanıcı "Sefer bilgileri giriş bölümü"ne geri yönlendirilmektedir.

Tüm koşullar sağlandığında ise sefer bilgisi "Sefer verileri listesi"ne eklenip sonrasında kullanıcıya ek bir seferin olup olmadığı sorulmaktadır. Eğer varsa, işlem "Sefer bilgileri giriş bölümü"nden tekrarlanılmaktadır. Ek bir sefer yoksa "Tarife Oluştur" butonu etkinleştirip ve girilen sefer verilerinin olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer sefer verisi yoksa, kullanıcıdan sefer bilgileri girmesi istenilip ve "Sefer bilgileri giriş bölümü"ne yönlendirilmektedir. Sefer verisi varsa, girilen sefer verileri "Sefer başlangıç saati"ne göre küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. Daha sonra her bir sefer verisinin "Sefer başlangıç saati" ile sonraki elemanın "Sefer bitiş saati"nin eşleşip eşleşmediği kontrol edilmektedir. Eğer koşul sağlanmazsa kullanıcı yine "Sefer bilgileri giriş bölümü"ne yönlendirilip koşul sağlandığı takdirde ise "RSASeferTablosuOluştur()" fonksiyonu çağrılarak "Tren sefer tablosu" oluşturulmaktadır.

Şekil 5'te RSA sefer tablosu oluştur fonksiyonu işleyişi gösterilmiştir. Bu fonksiyon, RSA seferlerinin etkin bir şekilde planlanmasını amaçlayan bir algoritmadır. Fonksiyon, belirli adımları izleyerek RSA seferlerinin zamanlamasını optimize etmeyi hedefler ve bu süreç şu şekilde gerçekleştirilir:

İlk adımda, fonksiyon sefer verileri listesinden ilk elemanı alır. Bu eleman, bir RSA seferine ait başlangıç ve bitiş saatleri gibi temel bilgileri içermektedir. Bu, RSA seferlerinin sıralı ve düzenli bir şekilde ele alınması sağlanmakta ve işletmenin ilk adımı oluşturulmaktadır. İkinci adımda, işletme hareket saatleri listesinin durumu kontrol edilir. Eğer bu liste boşsa, bu durum yeni bir seferin programa ilk defa eklenmesi anlamına gelir ve yerel değişkene sefer verisinin başlangıç saati atanmaktadır. Eğer liste doluysa, liste son elemanı yeni seferin başlangıç saatinden büyüklüğü kontrol edilmektedir. Eğer bu durum geçerliyse, yerel değişkene liste son elemanı ve ardından yeni seferin başlangıç saati atanmaktadır. Üçüncü adımda, yerel değişken sefer verisinin

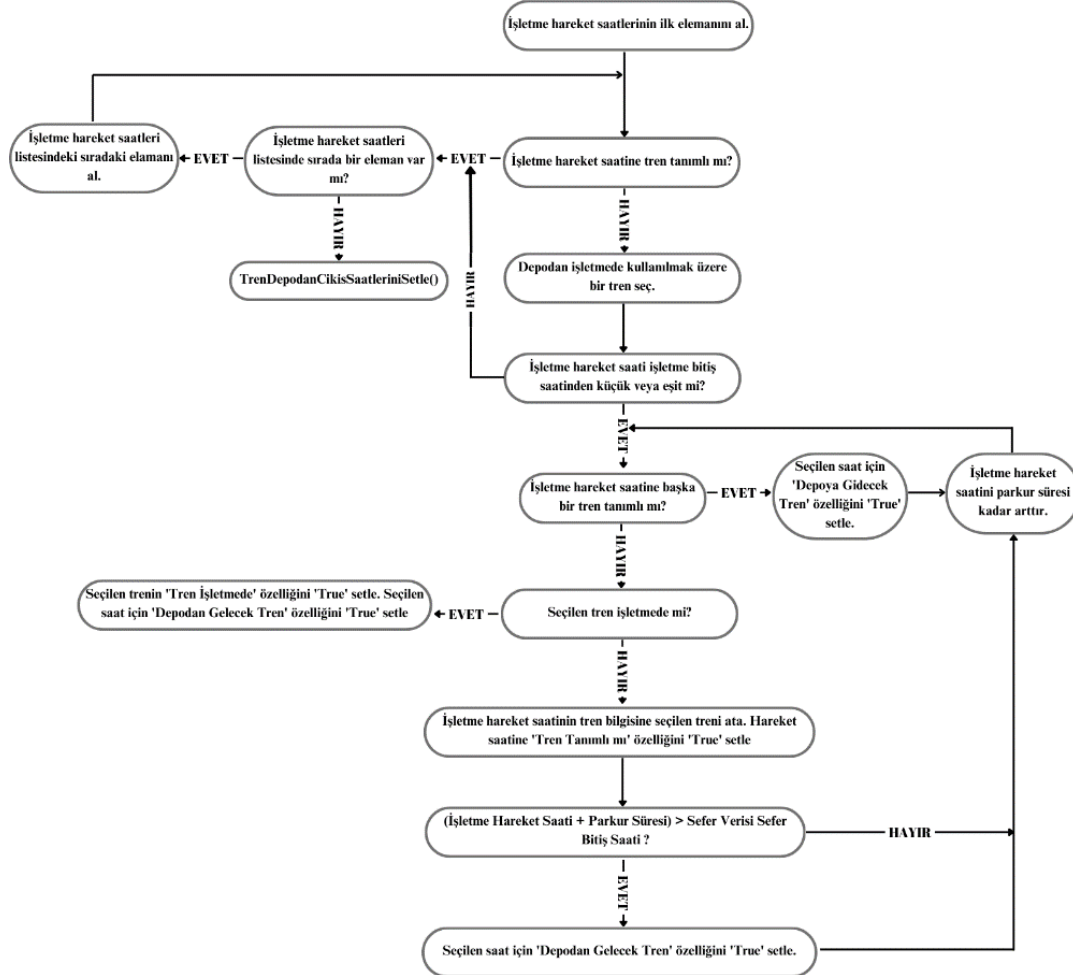
bitiş saatinden küçüklüğü veya eşitliği kontrol edilir. Eğer bu durum geçerli değilse ve sefer verileri listesinde başka bir eleman varsa, fonksiyon bir sonraki sefer verisine geçmekte ve işlem döngüsü yeniden başlamaktadır. Eğer sefer verileri listesinde başka eleman kalmamışsa, bu noktada "TrenAta()" fonksiyonu çağrılır. "TrenAta()" fonksiyonu, işlenen tüm verilere dayanarak, RSA seferlerinin son haliyle programa eklenmesini ve zamanlama tablosunun nihai olarak oluşturulması sağlanmaktadır. Eğer yerel değişken, sefer verisinin bitiş saatinden küçük veya eşitse ve işletme hareket saatleri listesinde mevcut değilse, yerel değişken liste içine eklenip sefer süresi kadar ilerletilir. Eğer yerel değişken, sefer verisinin bitiş saatinden büyükse, işletme hareket saatleri listesine eklenmektedir. Bu süreç, sefer verileri listesindeki tüm elemanlar işlenene kadar devam etmektedir. Fonksiyon, bu adımları takip ederek RSA seferlerinin zamanlamasını etkin bir şekilde yönetmektedir. Bu algoritma, özellikle yoğun trafik ve değişken talep koşullarına sahip kentsel toplu taşıma sistemlerinde kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 5. RSA sefer tablosu oluşturma fonksiyonu akış şeması

Şekil 6'da "RSA ata" fonksiyonunun işleyişi gösterilmektedir. Bu fonksiyon, RSA seferlerinin etkin bir şekilde planlanması ve yönetilmesi için kritik bir süreci takip etmektedir. Bu fonksiyonun amacı, işletme hareket saatleri listesini kullanarak uygun RSA'nın seçilmesi ve atmasıdır. İşleyiş süreci aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir:

İlk olarak, fonksiyon işletme hareket saatleri listesinden ilk elemanı alınır. Bu adımla, RSA'ların hareket saatlerinin ve planlanmış seferlerinin yönetimine başlangıç noktası oluşturulur. Daha sonra, işletme hareket saatine bir RSA'nın tanımlanıp tanımlanmadığı kontrol edilir. Eğer bir RSA tanımlıysa, liste içinde bir sonraki elemana geçilir. Eğer liste tükenmişse, "TrenDepodanCikisSaatleriniSettle()" fonksiyonu çağrılır. Bu fonksiyon, depodan çıkacak RSA'ların hareket saatlerini ayarlar ve seferlere hazırlanmasını sağlar.



Şekil 6. RSA Ata fonksiyonu işleyişi

Eğer işletme hareket saatine henüz bir RSA tanımlanmamışsa, depodan işletmede kullanılmak üzere bir RSA seçilir. Bu seçim, RSA'ların kullanılabilirlik durumlarına ve sefer gereksinimlerine göre yapılır. Daha sonra, işletme hareket saatinin işletme bitiş saatinden küçük veya eşit olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bu durum geçerli değilse, işletme hareket saatine bir RSA tanımlı olup olmadığı kontrol edilir ve tanımlı ise ilgili adımlar uygulanır. Eğer işletme hareket saati işletme bitiş saatinden küçük veya eşitse ve seçilen saat için başka bir RSA tanımlıysa, seçilen saat için depoya gidilecek RSA özelliği belirlenir. Daha sonra işletme hareket saati, parkur süresi kadar arttırılır ve işletme hareket saati işletme bitiş saatinden küçük veya eşit olana kadar bu süreç tekrarlanır. Eğer işletme hareket saatine başka bir RSA tanımlı değilse ve seçilen RSA işletmede ise, seçilen RSA'nın işletmede olduğu belirtilir. Eğer seçilen RSA işletmede değilse, işletme hareket saatinin RSA bilgisine seçilen RSA atanır ve hareket saatine RSA tanımlı olduğu işaretlenir. Daha sonra, işletme hareket saati ve parkur süresinin toplamı, sefer verisi sefer bitiş saatinden büyük olup olmadığı kontrol edilir. Eğer büyükse, seçilen saat için depodan gelecek RSA özelliği belirlenir. Küçükse, işletme hareket saati parkur süresi kadar arttırılır ve bu süreç,

işletme hareket saati işletme bitiş saatinden küçük veya eşit olana kadar tekrarlanır. Bu süreç, RSA'ların etkin bir şekilde atanmasını ve seferlerin zamanında gerçekleşmesini sağlamakta, bu da toplu taşıma sistemlerinin genel verimliliğini ve müşteri memnuniyetini artırma potansiyeline sahip olmaktadır.

“TrenDepodanCikisSaatleriniSettle()” fonksiyonu, RSA'ların depodan çıkış zamanlarını ayarlayarak sefer planlamasında önemli bir işlev görmektedir. İlk olarak, işletme hareket saatleri listesinden bir saat seçilir ve bu saatin depodan gelen bir RSA'yı temsil edip etmediği kontrol edilir. Eğer bu RSA depodan gelmiyorsa, işletme hareket saati ile parkur süresinin toplamı bir değişkene atanır. Eğer depodan gelen bir RSA ise, işletme hareket saatinden parkur süresinin yarısı çıkarılır. Daha sonra, bu süreden daha kısa veya eşit olan bir işletme hareket saati olup olmadığı kontrol edilir. Eğer yoksa, depodan istasyona gidiş süresi işletme hareket saatinden çıkarılır ve bir değişkene atanır. Sonrasında, bu yeni hesaplanan çıkış saati depo hareket saatleri listesinde var mı diye kontrol edilir ve varsa veya depodan gelen RSA özelliği yoksa listeye eklenir. Bu adımlar, liste boyunca tekrarlanarak devam eder. Bu yöntemle, RSA'ların depodan çıkış saatleri etkin bir şekilde yönetilir, böylece RSA'ların zamanında ve düzenli bir şekilde seferlerini gerçekleştirmeleri sağlanmaktadır.

### 2.1. Matematiksel model

Bu matematiksel model, metro hizmetlerinin zamanlamasını optimize etmek için tasarlanmış bir modeldir. Model, bir metro hattında belirli istasyonlarda hizmetlerin zamanlamasını düzenlerken, hizmet taleplerinin başlangıç ve bitiş zamanlarını, RSA'ların hizmet bitiş zamanlarını, istasyonların iş yoğunluklarını ve parkur sürelerini göz önünde bulundurmaktadır.

Bu çerçevede, her bir metro hattı  $l$ , RSA  $r$  ve istasyon  $s$  için belirli kümeler tanımlanmaktadır. Bir istasyonda hizmetin ne kadar süreceğini gösteren rota tamamlama süresi ( $C_{l,s}$ ), hizmetin parkur süresi ( $P_{l,s}^{Parkur}$ ), hizmet talebinin başlangıç ( $S_{l,s}^{Talep}$ ) ve bitiş zamanları ( $F_{l,s}^{Talep}$ ), istasyonun iş yoğunluğunun sonu ( $B_{l,s}^{Istasyon}$ ) ve belirli bir RSA için hizmetin bitiş zamanı ( $F_{l,s,r}^{Tren}$ ) parametreleri kullanılarak, hizmetin başlangıcı için uygun zaman ( $S_{l,s}^{Uygun}$ ), hizmetin bitiş için uygun zaman ( $F_{l,s}^{Uygun}$ ) ve hizmet için uygun RSA numarası ( $R_{l,s}^{Uygun}$ ) gibi değişkenler belirlenerek model oluşturulmaktadır. Hizmetin bitiş zamanından rota tamamlama süresinin çıkarılmasıyla hizmetin başlangıç zamanının hesaplanmasını denklem (1) de gösterilmektedir. Denklem (2), sağlanan hizmetin, talep edilen hizmet başlangıç zamanından daha erken olmamasını sağlanmaktadır. Bu, hizmetlerin zamanında veya talep edilen zamandan sonra başlamasını sağlayarak müşteri memnuniyetini artırmaya yöneliktir. Denklem (3)'te ise hizmetin başlangıç zamanının, istasyonun iş yoğunluğu sonrası ve parkur süresinden daha sonra olması sağlanmaktadır. Bu durum, RSA'ların etkili bir şekilde hareket etmesini ve istasyonlarda gereksiz yoğunluk oluşmasını önlemeye yardımcı olmaktadır. Bu denklemler, hizmet zamanlamalarının hem verimli hem de pratik olmasını sağlamak üzere tasarlanmaktadır.

$$F_{l,s}^{Uygun} - C_{l,s} = S_{l,s}^{Uygun} \quad (1)$$

$$S_{l,s}^{Uygun} \geq S_{l,s,R}^{Talep} \quad (2)$$

$$S_{l,s}^{Uygun} > B_{l,s}^{Istasyon} + P_{l,s}^{Parkur} \quad (3)$$

$$Min Z = | S_{l,s}^{Uygun} - S_{l,s}^{Talep} | \quad (4)$$

Denklem (4)'te tanımlanan modelin amaç fonksiyonu ise, metro hizmetlerinin zamanlamasını müşteri taleplerine en yakın şekilde optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu fonksiyon, planlanan hizmet başlangıç zamanı ile talep edilen başlangıç zamanı arasındaki mutlak farkı minimize etmeye çalışmaktadır. Yani, amaç mümkün olduğunca talep edilen zamanlara yakın bir hizmet başlangıcı sağlamaktır. Bu yaklaşım, müşterilerin beklentilerini karşılayarak, onların memnuniyetini artırmayı ve aynı zamanda hizmet verimliliğini maksimize etmeyi hedeflemektedir. Planlanan hizmet başlangıç zamanı ile talep edilen başlangıç zamanı arasındaki mutlak farkın minimize edilmesi, metro hizmetlerinin zamanlama planlamasının, yolcuların ihtiyaçlarına ve tercihlerine daha iyi uyum sağlamasına olanak tanınır ve böylece toplu taşıma sisteminin genel etkinliği ve kullanıcı deneyimini iyileştirmektedir.

Bu matematiksel model, metro hizmetlerinin zamanlamasını müşteri talepleri ve istasyonların operasyonel dinamikleriyle uyumlu hale getirmeyi amaçlamaktadır. Hizmetin başlangıç ve bitiş zamanlarını, RSA hareketlerini ve istasyon yoğunluklarını dikkate alarak, hizmetlerin hem verimli hem de yolcu taleplerine uygun olarak planlanması sağlanmaktadır.

### 3. Bulgular ve Analiz

Bu bölümde, demiryolu taşımacılığı sektöründe uygulanan sefer planlama yazılımının etkileri, detaylı bir şekilde incelenmiştir. Araştırmanın odak noktası, personel yönetimi ve zaman yönetimi üzerindeki iyileştirmelerdir. Aşağıda, bu temel alanlardaki bulgular ve analizler ayrıntılı olarak sunulmuştur.

#### 3.1. Personel yönetimi

Geleneksel sefer planlama yöntemlerinde, sefer planlarına göre gereken personel sayısının sağlıklı bir şekilde hesaplanamaması, sıklıkla fazla personel bulundurulmasına yol açmaktadır. Bu durum, demiryolu işletmelerinde önemli bir maliyet artışı ve iş gücü yönetiminde karmaşıklık yaratmaktadır. Geliştirilen sefer planlama yazılımının M1 hattında uygulanmasıyla elde edilen veriler, bu sorunun çözümüne dair önemli bulgular sunmaktadır. Yazılımın kullanımı sonucunda, günlük operasyonlarda gereksiz yere bulundurulan bir planlamacı ve iki makinistin ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Bu değişiklik, toplam personel iş gücünde %3'lük bir kazanım sağlanmakta, böylece işletme maliyetlerinde önemli bir azaltım gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu bulgu, personel yönetiminde verimliliğin artırılmasının yanı sıra, işletme maliyetlerinin optimize edilmesinde etkili bir yöntem olarak da değerlendirilebilmektedir.

#### 3.2. Zaman yönetimi

Yazılımın uygulanması sonucunda elde edilen en önemli bulgulardan biri, zaman yönetimi ve iş gücü verimliliği üzerindeki etkileridir. Geleneksel yöntemlerde, sefer planlama süreci genellikle bir sistem tarafından değil, bir kişinin işgücüne bağlı olarak ve Excel tabloları kullanılarak gerçekleştirilmekte olup, bu yöntem yüksek hata potansiyeli taşıyan ve zaman alıcı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Sefer planlama yazılımında, başlangıç istasyonu, varış istasyonu, parkur süresi, sefer başlangıç saati, sefer bitiş saati ve sefer süresi gibi işletme bilgileri, Metro İstanbul A.Ş. tarafından geliştirilen ve Şekil 7'de gösterilen arayüz ekranı üzerinden girilmektedir. Yazılımın kullanımıyla oluşturulan tarife sonucunda, işletme için gerekli araç sayısı belirlenmiş ve bu süreçteki operasyonel zaman etkin bir şekilde azaltılmıştır. Geliştirilen yazılımın sonuçları arasında, hafta içi bir günün 05:25 ile 12:54 saatleri arasındaki farklı yönlere ait sefer planlama örneği Şekil 8'de sunulmaktadır. Bu yazılım, pilot bölge olarak seçilen M1A Yenikapı-Havalimanı ve M1B Yenikapı-Kirazlı hatlarında uygulanmıştır. Şekil 8'den, belirlenen saat aralığında sefer planına göre araçların seferlerini gerçekleştireceği anlaşılmaktadır.

TimeTableSoftware

Hat Bilgileri Giriş Bölümü

Başlangıç İstasyonu: YENİKAPI Vars İstasyonu: HAVALIMAN Parkur Süresi ( dk ): 72 Kaydet

Sefer Bilgileri Giriş Bölümü

Sefer Başlangıç Saati: 11:59:59 PM Sefer Bitiş Saati: 11:59:59 PM Sefer Süresi ( dk ): 9 Ekle

Sefer Başlangıç Saati	Sefer Bitiş Saati	Sefer Süresi	Tren Sayısı
06:00:00	07:30:00	00:09:00	8
07:30:00	10:00:00	00:05:00	14
10:00:00	16:00:00	00:09:00	8
16:00:00	20:00:00	00:05:00	14
20:00:00	23:59:59	00:09:00	8

Temizle Seçili Temizleme

M1A Hatlı Araç Sayısı : 14

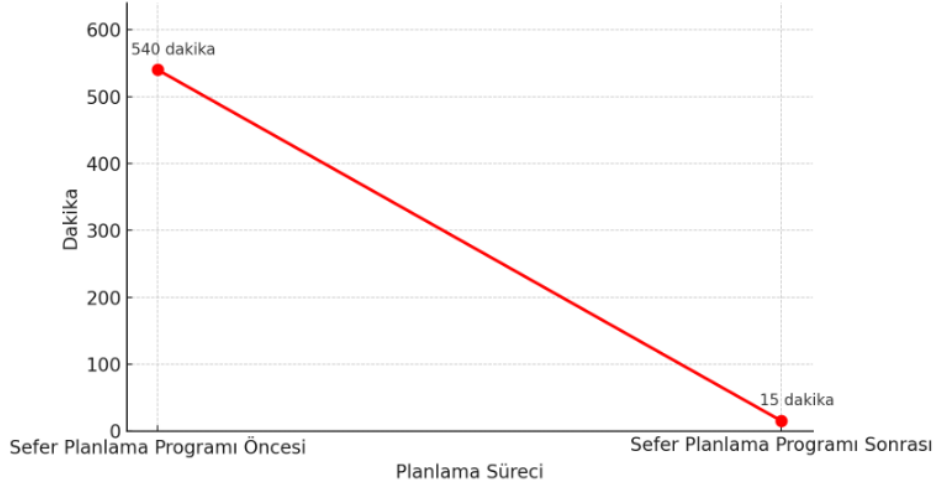
Tarife Oluştur

Şekil 7. Geliştirilen arayüz

ARAÇ	ESENLER	YÖN	ÇIKIŞ BÖLGESİ	GÖREV NO	YENİKAPI	YÖN	KRZ	HVL	GÖREV NO	YENİKAPI	YÖN	KRZ	HVL	GÖREV NO	YENİKAPI	YÖN	KRZ	HVL
1	05:25	HLİ	308 SİNYAL	1				06:00	29	08:24	HLİ		09:02	31	11:42	HLİ		12:20
2	05:27	YNK	308 SİNYAL	2					27	08:27	KRZ	08:57		30	11:45	KRZ	12:15	
3	05:30	KRZ	308 SİNYAL	3			06:00		19	08:30	HLİ		09:08	29	11:48	HLİ		12:26
4	05:32	ATA	164 SİNYAL	4			05:54 (Ataköy'den)		6	08:33	KRZ	09:03		7	11:51	KRZ	12:21	
5	05:35	YNK	308 SİNYAL	5					31	08:36	HLİ		09:14	15	11:54	HLİ		12:32
6	05:37	KRZ	308 SİNYAL	6			06:08		30	08:39	KRZ	09:09		11	11:57	KRZ	12:27	
7	05:40	HLİ	308 SİNYAL	7			06:10		7	08:42	HLİ		09:20	32	12:00	HLİ		12:38
8	05:45	YNK	308 SİNYAL	8					9	08:43	BOŞ	DEPO		14-42	12:03	KRZ	12:33	
9	05:50	HLİ	308 SİNYAL	9			06:20		11	08:45	KRZ	09:15		23	12:06	HLİ		12:44
10	05:55	YNK	308 SİNYAL	10					32	08:48	HLİ		09:26	16	12:09	KRZ	12:39	
11	05:57	KRZ	308 SN. OTOGAR	11			06:18		14-41	08:51	KRZ	09:21		21	12:12	HLİ		12:50
12	06:00	YNK	308 SİNYAL	13					23	08:54	HLİ		09:32	12	12:15	KRZ	12:45	
13	06:02	HLİ	308 SİNYAL	14-41			06:30		21	08:57	KRZ	09:27		2	12:18	HLİ		12:56
14	06:04	KRZ	308 SN. OTOGAR	15			06:28		12	09:00	HLİ		09:38	18	12:21	KRZ	12:51	
15	06:05	YNK	308 SİNYAL	17					15	09:02	BOŞ	DEPO		5	12:24	HLİ		13:02
				12	06:00	HLİ		06:38	16	09:03	KRZ	09:33		22	12:27	KRZ	12:57	
				16	06:05	KRZ	06:38		2	09:06	HLİ		09:44	25	12:30	HLİ		13:08
				2	06:10	HLİ		06:46	18	09:09	KRZ	09:39		1	12:33	KRZ	13:03	
				5	0,2604	KRZ	06:46		8	09:12	HLİ		09:50	4	12:36	HLİ		13:14
16	06:25	HVL	164 SİNYAL YNK 06:10 PEŞİNDEN	18			06:54		5	09:15	KRZ	09:45		20	12:39	KRZ	13:09	
				8	06:20	HLİ		07:00	25	09:18	HLİ		09:56	10	12:42	HLİ		13:20
17	06:30	YNK	308 SİNYAL KRZ 06:18 PEŞİNDEN	19					10	09:21	KRZ	09:51		3	12:45	KRZ	13:15	
				10	06:25	KRZ	06:54		17	09:24	HLİ		10:02	13	12:48	HLİ		13:26
				13	06:30	HLİ		07:06	22	09:27	KRZ	09:57		26	12:51	KRZ	13:21	
18	06:40	YNK	308 SİNYAL KRZ 06:28 PEŞİNDEN	21					28	09:30	HLİ		10:08	24	12:54	HLİ		13:32

Şekil 8. Hafta içi günleri için oluşturulan tarife çizelgesi

Şekil 9'de sefer planlama sürelerindeki değişim gösterilmiştir. Grafikte görüleceği üzere 9 saat süren sefer planlama süresi, yazılım sayesinde 15 dakikaya indirgenmiş, bu da toplam iş gücü zamanından %97.2 oranında bir tasarruf sağlanmıştır. Bu önemli azalma, işletmelerin operasyonel verimliliğini artırırken, aynı zamanda personelin diğer önemli görevlere odaklanabilmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 9. Sefer planlama sürelerindeki değişim

### 3.3. Analizin geniş çaplı etkileri

Bu çalışmada elde edilen bulgular, hem global hem de Türkiye özelinde demiryolu taşımacılığı sektöründe teknolojik yeniliklerin ve otomatikleştirme çözümlerinin operasyonel etkinlik ve maliyet yönetimi üzerindeki önemli etkilerini gözler önüne sermektedir. Ayrıca personel yönetiminde sağlanan iyileştirmeler ve zaman yönetiminde elde edilen büyük tasarruflar, dünyadaki ve Türkiye'deki demiryolu işletmecilerine maliyetleri azaltma ve hizmet kalitesini artırma fırsatı sunmaktadır. Tablo 2'de Sefer Planlama Yazılımı sonrasında elde edilen bulgular sunulmuştur. Bu bulgular, demiryolu taşımacılığının geleceğini şekillendirmede kritik bir rol oynayacak ve sektörün sürdürülebilir büyümesine katkıda bulunacak stratejik kararların alınmasında önemli bir referans noktası oluşturabilecektir. İş gücü optimizasyonu ve zaman yönetimi alanlarında sağlanan ilerlemeler, demiryolu taşımacılığı sektörünün geleceğini belirlemede ve daha verimli, ekonomik ve müşteri odaklı bir yapıya ulaşmada önemli bir etkiye sahip olacağı düşünülmektedir.

**Tablo 2.** Sefer planlama yazılımı sonrası durum değişimi

Kriter	Sefer Planlama Yazılımı Öncesi	Sefer Planlama Yazılımı Sonrası	Yüzdesel Değişim Oranı
Yedek Personel Zorunluluğu	2 Makinist ve 1 Planlamacı	-	%3 Personel işgücü azalışı
Sefer Planlama Süresi	540 dakika	15 dakika	%97.2 İşgücü zaman azalışı

## 4. Sonuç

Bu çalışma, demiryolu taşımacılığı sektöründe geliştirilen bir sefer planlama yazılımının Metrop İstanbul A.Ş. bünyesindeki raylı ulaşım araçlarının sefer düzenlemesi, optimize edilmesi ve uygulanmasının etkilerini ele almaktadır. Araştırmanın ana bulguları, personel yönetimi ve zaman yönetimi üzerindeki iyileştirmeler üzerine odaklanmıştır. Yazılımın kullanımı sonucunda, demiryolu taşımacılığı operasyonlarının performansı ve verimliliği belirgin bir şekilde artmıştır. Geliştirilen sistem, eski tarifelerde sıkça karşılaşılan sorunları çözerek İstanbul Metrosu'nun ihtiyaçlarına yanıt vermektedir. İlkel sistemde otomatikleştirilmesi mümkün olmayan işlemler, yeni yazılım kullanılmasıyla otomatikleştirilmiş ve bu sayede büyük tasarruflar sağlanmıştır.



Yazılımın uygulanmasıyla elde edilen personel iş gücü optimizasyonu, işletmeler için maliyet tasarrufu ve iş gücü yönetiminde verimlilik sağlamıştır. Özellikle, M1 hattında yapılan uygulama sonucunda, gereksiz yere bulundurulmuş fazladan personelin azaltılmasıyla %3'lük bir iş gücü kazanımı elde edilmiştir. Bu, demiryolu işletmelerinin maliyet yönetimini optimize etme ve kaynakları daha etkin kullanma yönünde önemli bir adımdır.

Yazılımın sunduğu etkili zaman yönetimi ve iş gücü verimliliği, operasyonel süreçleri hızlandırmış ve hata oranlarını azaltmıştır. Geleneksel yöntemlere kıyasla, bu teknolojik çözüm sefer planlama sürecinde büyük bir iyileşme sağlayarak, süreci önemli derecede kısaltmış ve %97.2'lik bir iş gücü zamanı tasarrufu elde edilmesine olanak tanımıştır.

Böylece hem dünya çapında hem de Türkiye özelinde demiryolu taşımacılığı sektöründe teknolojik yeniliklerin ve otomatikleştirme çözümlerinin operasyonel etkinlik ve maliyet yönetimi üzerindeki önemli etkilerini gözler önüne sermektedir. Yapılan bu çalışma, demiryolu taşımacılığının geleceği açısından stratejik kararlar alınmasında ve sektörün sürdürülebilir büyümesini destekleyecek politikalar geliştirmede önemli bir referans noktası oluşturmaktadır. Son olarak, bu çalışma, Personel yönetiminde sağlanan iyileştirmeler ve zaman yönetiminde elde edilen büyük tasarruflar, demiryolu işletmecilerine maliyetleri azaltma ve hizmet kalitesini artırma fırsatı sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, yolcu sayısı, ağırlık, sinyalizasyon, eğim, hız limitleri gibi parametreleri dikkate alarak yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmalarının entegrasyonu ile daha hassas sonuçların elde edilmesini sağlayabilir. Ayrıca, gerçek zamanlı yolcu ve trafik verilerinin kullanılması, sefer planlama yazılımının ve planlama süreçlerinin dinamik olarak güncellenerek tahmin doğruluğunun artırılmasına olanak tanıyabilir.

## Teşekkür

Çalışma için gerekli veriler Metro İstanbul A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Tüm destekleri için Metro İstanbul A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- [1] K. Cingöz and T. Aytemiz, "Toplu taşıma araçları sefer sıklığı belirleme ve çizelgeleme problemi," *Kent Akademisi*, vol. 16(2), pp. 1310-1333, 2023, doi: <https://doi.org/10.35674/kent.1134312>
- [2] L. Gao, G. Bai, L. Li and W. Chen, "Timetable optimization based on actual timetable for urban rail transit system," in *12th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, Xiangtan, China, 2019, pp. 446-451
- [3] Y. Cai, Q. Luo, W. Li and L. Gong, "Optimize train operation plan of urban rail transit including temporal variation of passenger ridership during the day," in *IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, Beijing, China, 2020, pp. 508-512
- [4] K. Sagawa, N. Yoshimura, Y. Shimakawa and H. Goto, "A railway timetable scheduling model based on a max-plus-linear system," in *59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Chiang, Thailand, 2020, pp. 23-26
- [5] S. Pang and M. Chen, "Optimize railway crew scheduling by using modified bacterial foraging algorithm," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 180, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109218>
- [6] G. Caimi, L. Kroon and C. Liebchen, "Models for railway timetable optimization: Applicability and applications in practice," *Journal of Rail Transport Planning & Management*, vol. 6(4), pp. 285-312, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2016.11.002>
- [7] T. Kokubo and T. Fukuyama, "Train crew scheduling using tabu search," in *56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Kanazawa, Japan, 2017, pp. 63-66
- [8] S. Li, H. Lv, C. Xu, T. Chen and C. Zou, "Optimized train path selection method for daily freight train scheduling," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 40777-40790, 2020, doi: [10.1109/ACCESS.2020.2976904](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2976904)

- [9] B. Zhang and Y. Yue, "Optimal design of train schedule of urban rail transit based on time-varying demand," in *IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, Beijing, China, 2020, pp. 518-524
- [10] J. Yu, Z. He, Z. Yao, G. Wang and J. Zhou, "Optimization of high-speed railway train timetable considering origin-destination service quality," in *2nd International Conference on Algorithms, High Performance Computing and Artificial Intelligence (AHPICAI)*, Guangzhou, China, 2022, pp. 380-385
- [11] Z. Ceylan, M. Arslan and T. Arslan, "Bir hafif raylı ulaşım sisteminde makinist çizelgeleme problemi," *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 1027-1039, 2021, doi: 10.21597/jist.741162
- [12] A. Nagy and J. Tick, "Modeling of bus transport operative planning tasks," in *IEEE 18th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*, Herlany, Slovakia, 2020, pp. 89-94
- [13] E. Yazıcı, K. Akkaş, S. Mergen, A. Koç, vd., "Toplu ulaşım sistemlerinde çok amaçlı şoför çizelgeleme problemi: Kırşehir ili örneği," *Journal of Turkish Operations Management*, 6(1), 997-1009, 2022
- [14] Y. Wang and Q. Guo, "Optimization method of railway crew planning based on column generation and tabu search," in *IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)*, Changchun, China, 2023, pp. 338-342
- [15] T. Kokubo, S. Kawaguchi and Y. Fukuyama, "Practical train crew scheduling using improved tabu search," in *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, Honolulu, HI, USA, 2017, pp. 1-7
- [16] T. Kokubo and Y. Fukuyama, "Practical train crew scheduling problems using parallel tabu search," in *57th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Nara, Japan, 2018, pp. 1673-1678

### Özgeçmiş



#### Hülya AKCA

1989 yılında İstanbul'da doğdu. Lisans derecesini Beykent Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden 2013 yılında aldı. Metro İstanbul şirketinde Uzman Ar-Ge Mühendisi olarak Yerli ve Milli Sinyalizasyon projesinde görev almaktadır. İlgi alanları arasında optimizasyon, yapay zeka bulunmaktadır.

E-Posta: hulya.kantar@metro.istanbul



#### Kübra SİNAN

1994 yılında İstanbul'da doğmuştur. Lisans ve Yüksek Lisans eğitimini Düzce Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliğinde tamamlamıştır. Metro İstanbul Arge Merkezi Müdürlüğünde Uzman Arge Mühendisi olarak çalışmaktadır. İlgi alanına giren çalışma konuları arasında derin öğrenme, ses sinyal işleme, duygu analizi ve optimizasyon bulunmaktadır.

E-Posta: kubra.sinan@metro.istanbul



#### Aleyna KARSLI

1998 yılında Giresun'da doğdu. Lisans derecesini İstanbul Aydın Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde 2022 yılında aldı. Yüksek Lisans eğitimine Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Tesisleri alanında devam etmektedir. İş hayatına Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. de Ar-Ge Mühendisi görevinde başlamıştır. Şu an Metro İstanbul A.Ş. de Ar-Ge Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir. Araştırma alanları arasında optimizasyon, enerji depolama sistemleri, yenilenebilir enerji teknolojileri, kalibrasyon teknikleri, stokastik modeller ve veri analizi bulunmaktadır.

E-Posta: aleyna.karsli@metro.istanbul



#### Hüsnü YILDIZ

2021 yılında Lisans ve 2023 yılında Yüksek lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinde tamamladı. Metro İstanbul Arge Merkezi Müdürlüğünde Arge Mühendisi olarak çalışmaktadır. Uzmanlık Alanları; Optimizasyon, Enerji Depolama Sistemleri, Dağıtık Üretim Sistemleri, Elektrikli Araçlar, Enerji Yönetim Sistemleri, Akıllı Şebekeler olarak sıralanabilir.

E-Posta: husna.yildiz@metro.istanbul



#### Hikmet YİĞİT

1999 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. Metro İstanbul Genel Müdürlüğü AR-GE Biriminde çalışmaktadır. İlgili alanına giren araştırma konuları: görüntü işleme, optimizasyon, veri bilimi, elektrik dağıtım sistemleri, fonksiyonel ve obje yönelimli programlamadır.

E-Posta: hikmet.yigit@metro.istanbul



#### Furkan KARAKUŞ

2012 yılında Lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi elektrik mühendisliğinde tamamladı. 2018 yılında Yüksek lisans ve 2022 yılında doktora derecelerini Yıldız teknik üniversitesi elektrik mühendisliğinde aldı. Akademik kariyerine paralel olarak, Metro İstanbul A.Ş. de çeşitli pozisyonlarda görev yapmış, 2012'den itibaren Elektrik Sistem Mühendisi olarak başladığı kariyerine, Arge Merkezi Elektrik Sistemler Koordinatörü olarak devam etmektedir. Uzmanlık Alanları: Raylı Sistemler, Enerji Yönetim Sistemleri, Optimizasyon, Enerji Verimliliği olarak sıralanabilir.

E-posta: furkan.karakus@metro.istanbul



#### Hüseyin DOĞAN

1985 yılında Sandıklı'da doğdu. Lisans derecesini Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliğinde 2008 yılında tamamladı. Yüksek Lisans derecesini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünde 2016 yılında tamamladı. Yıldız Teknik Üniversitesinde doktora öğrenimine devam etmektedir. Metro İstanbul şirketinde Arge Merkezi Müdürlüğünde Elektronik Sistemlerden sorumlu yönetici olarak görev yapmaktadır. Raylı sistem alanında sinyalizasyon sistemleri, haberleşme sistemleri, yolcu bilgilendirme sistemleri ve yapay zeka tabanlı yazılımlar üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde bulunmaktadır.

E-posta: huseyin.dogan@metro.istanbul

#### Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayım etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Hülya AKCA: Kaynaklar, Doğrulama. Kübra SİNAN: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım. Aleyna KARSLI: Yazma-orijinal taslak hazırlama. Hüsnü YILDIZ: Yazma-gözden geçirme ve düzenleme. Hikmet YİĞİT: İnceleme, Kontrol. Furkan KARAKUŞ: İnceleme, Kontrol. Hüseyin DOĞAN: İnceleme, Kontrol.