



Türkiye’de Tam Otomatik Sürücüsüz Anahat Treni Çalıştırılmasında Olası Fırsatlar ve Tehditler

Üsame EKİCİ¹, Mehmet Emin AKAY²

¹ Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara, Türkiye

² KBÜ Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Programı, Karabük, Türkiye

*usameekici@gmail.com

(Alınış/Received: 18.10.2023, Kabul/Accepted: 23.11.2023, Yayımlama/Published: 31.01.2024)

Öz: Çeşitli teknolojik gelişmeler yaşandıkça insan gücüne daha az ihtiyaç duyulacağı aşırıdır. Bu bağlamda, sürücüsüz trenler demiryolu endüstrisindeki son başarı olarak görülmektedir. Sürücüsüz trenler insan hatalarından kaynaklanan kazaların önlenmesinde, seferlerin dakikliği ve sıklığını artırmada, enerji tüketiminin ve insan işgücü maliyetinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Öte yandan işçi sendikalarının neredeyse tamamı, demiryolu işçilerinin işlerinden uzak tutulmasına ve otomasyona geçilmesine karşı çıkmaktadırlar. Ayrıca demiryolu hattı yakınındaki potansiyel tehlikeler iyi eğitilmiş sürücüler tarafından görülebilmekte fakat bazen engel algılama özelliğine sahip olmasına rağmen bilgisayarlar tarafından tespit edilememektedir. Ayrıca tam otomatik sistemler siber saldırılara karşı savunmasızdır ve çok iyi korunması gerekmektedir. Bununla birlikte psikolojik araştırmalar, yolcuların trende herhangi bir görevli göremedikleri zaman kaygılandıklarını ve bu durumun insanların yolculuklarının konfor seviyesini düşürdüğünü göstermektedir. Bu çalışmada, ana hat trenlerinin sürücüsüz çalıştırılmasının avantaj ve dezavantajları ayrıntılı olarak verilmekte olup mevcut sürücüsüz metro trenlerinin daha derinlemesine izlenip analiz edilerek deneyim kazanılması konusunda önerilerde bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Sürücüsüz tren, Tam otomasyon sistem, Şehirlerarası tren yolculuğu, Yüksek hızlı tren, Türkiye

Possible Opportunities and Threats in Operating a Fully Automatic Driverless Mainline Train in Türkiye

Abstract: As there have been various technological improvements, human power is going to be less needed. Driverless trains are seen to be the latest achievement in railway industry. They prevent trains from accidents caused by human errors. Additionally, they increase punctuality, frequency and decrease energy consumption and human labour cost. On the other hand, almost all the worker unions are against keeping railway workers out of their works or switching to automation. Also, the potential dangers near the railway track can be seen by well-trained drivers but sometimes cannot be detected by computers although they have obstacle detection. Also, fully automated systems are vulnerable to cyber-attacks and must be protected very well. Besides, psychological surveys show that passengers get anxious when they cannot see any officer in train, so it makes people travel less comfortable. In this study, advantages, and disadvantages of running mainline trains driverless are given in detail, and suggestions are made on that the existing driverless metro trains should be watched and analyzed more also deeply to gain experiences.

Keywords: Driverless train, Fully automated system, Intercity rail travel, High speed rail, Türkiye

1. Giriş

İlk demiryolunun kullanılmaya başlanmasından bu yana demiryolu teknolojisinde birçok gelişme yaşanmıştır. En son gelişmelerden biri, içinde hiçbir insan tarafından kontrol edilmesine gerek duyulmadan çalışabilen bilgisayar kontrollü trenlerdir. Bu çalışmada ana hat demiryolu trenlerinin gözetimsiz mod tipinde çalıştırılmasının avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmaktadır.

Atıf için/Cite as: Ü. Ekici, M.E. Akay, “Türkiye’de tam otomatik sürücüsüz anahat treni çalıştırılmasında olası fırsatlar ve tehditler,” *Demiryolu Mühendisliği*, no. 19, pp. 109-120, Jan. 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1377604

Otomasyon son zamanlarda oldukça yaygın şekilde toplu taşıma ve yüksek hızlı raylı sistemlerde kullanılmış ve benimsenmiştir. Sürücü kontrollü trenlere göre tepki sürelerini azaltarak üretkenliği artırdığı için yüksek oranda toplu taşıma kullanımına sahip şehirler otomasyondan en fazla faydayı sağlamaktadırlar. Bu yenilik için geçerli ticari gerekçelerin mevcut olmaması nedeniyle, şehirlerarası demiryolu yük taşımacılığının otomasyonu benimsemesi daha yavaş olmuştur. Şehirlerarası demiryolu yük taşımacılığının otomasyonunun başlıca örnekleri Fransa'daki LGV Est ve Avustralya'daki Rio Tinto AutoHaul™'dir [1].

Tamamen sürücüsüz bir tren işletimi için düzenleyici çerçeveyi oluşturmak zordur. Bununla birlikte, platform ekran kapıları arasında kalan yolcuları tespit etmek, izinsiz girişlere engel olmak ve iklimle ilgili sürüş koşulları gibi işlevler bazen tam anlamıyla sağlanamayabilir. Dolayısıyla güvenlik ve risk analizi çabaları, bu tür temel teknik ve işlevsel değişiklikler ışığında ilgili riski tanımlama ve analiz etme konusunda zorlukla karşı karşıya kalmaktadır [2].

Demiryolu sistemlerinde yeni teknolojilerin sayısının artmasıyla bilgisayar tabanlı sistemlerle çalışan trenlerin sayısında da artış olmaktadır. Birçoğu hala bir personele ihtiyaç duysa da, bazıları tamamen otomatiktir ve herhangi bir insana ihtiyaç duymaz.

1.1. Otomatik tren sistemlerinin türleri

Otomatik Tren İşletimi (ATO-Automatic Train Operation), çeşitli otomasyon seviyelerini içerir ve Yarı Otomatik Tren İşletimi (STO- Semi-automated Train Operation), Sürücüsüz Tren İşletimi (DTO- Driverless Train Operation) ve Gözetimsiz Tren İşletimi (UTO- Unattended Train Operation) olarak çeşitlenebilir [3].

- ~ Sürücü kontrollü modda trenler, herhangi bir yardım sistemi olmaksızın bir insan tarafından sürülmektedir. Trenin istasyonlarda görünen sinyallere göre sürülmesinden makinist sorumludur.
- ~ Yarı otomatik modda, tren makinist tarafından manuel olarak çalıştırılmakla birlikte otomatik sürüş sistemi tarafından kontrol edilmektedir. Bilgisayarlar 2 istasyon arasındaki hareket, frenleme, durdurma ve kapıların açılmasından sorumludur.
- ~ Sürücüsüz modda herhangi bir insan yardımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Otomatik sürüş sistemi trenin çalıştırılması için tüm ihtiyaçları karşılarsa da herhangi bir acil duruma karşı bir görevli hazır bulunmaktadır.
- ~ Gözetimsiz modda, sistem aynı zamanda trenin çalıştırılması, durdurulması, kapıların açılması, kapatılması, hatta trenlerin bağlanması ve ayrılmasından da sorumludur. Ancak trende personel bulunmaz [4].



Şekil 1. (a) Paris metro hattındaki, (b) Paris havalimanı servisindeki sürücüsüz tren (Fotoğraflar yazar tarafından çekilmiştir.)

1.2. Sistem nasıl çalışıyor?

Otomatik trenler “Hareket Otoritesi” prensibine göre çalışmakta olup, raylı araç ile yol kenarındaki ekipmanlar arasında kablosuz bağlantı bulunmaktadır.

Tüm otomatik CBTC-Communication Based Train Control (İletişim Tabanlı Tren Kontrolü) sistemleri aynı süreçte çalışır [4]:

- Öncelikle her tren için yol kenarındaki bir bilgisayar tarafından doğru hareket yetkisi hesaplanır.
- Tam otomatik mod’da trenler, hattın kilitlemelerle kontrol edilmesi ve korunmasıyla birlikte ATC-Automatic Train Control (Otomatik Tren Kontrolü) tarafından çalıştırılır.
- Yol kenarındaki bilgisayarlar, kontrol merkezi bilgisayarları ve tren içi bilgisayarlar arasında telsiz yoluyla bilgi alışverişi vardır.
- Trende ATO-Automatic Train Operation (Otomatik Tren İşletimi) sistemi trenin hız kontrolünü yaparak, makinistin hata yapmasını önler.
- ATO bilgisayarı ATP-Automatic Train Protection (Otomatik Tren Koruması) sistemi tarafından izlenir ve ihtiyaç halinde onarılır.

1.3. Tam otomatik sistemlerin tarihçesi

İlk ATO sistemi Barselona Metro Hattı üzerinde 1963 yılında faaliyete geçmiştir. İkincisi ise 1968 yılında işletilen Londra Metrosu'nun Victoria Hattında açılmıştır. Sürücü yalnızca kapıların açılıp kapanmasından sorumlu olup tüm güzergâh bilgisayarlar tarafından işletilmektedir. Ancak tamamen sürücüsüz ilk sistem 1998 yılında Paris Metro Hattı 14'te uygulamaya konulmuştur. Trende personel bulunmamakta ve tren sanki kendi kendine hareket etmektedir [5].

Tam otomatik yüksek hızlı trenin ilk örneği yakın geçmişte Çin'de görülmeye çıkmıştır. 30 Aralık 2019'da yeni demiryolu hattındaki ilk tren Pekin Kuzey Tren İstasyonu ile Taizicheng Tren İstasyonu arasında sefer yapmıştır. Çin'in Fuxing tasarım serisinden olan bu araç, dünyada bir ilk olarak sürücüsüz olarak 350 km/saat (217 mil/saat) hıza ulaşabilmektedir. Aynı zamanda dünyanın ilk akıllı yüksek hızlı demiryolu olarak da bilinmektedir. Güzergahtaki yüksek hızlı trenlerin otonom yapısına rağmen her zaman bir gözlemci makinist bulunmaktadır. Trenler otonom olarak istasyonlar arasındaki çeşitli hız düzenlemelerine göre başlama ve durma gibi hareketlerinde uyum sağlayabilmektedir [6].

2. Literatür Taraması

Tang ve diğerleri., (2022) çalışmalarında demiryolu taşımacılığında yapay zekanın nasıl uygulanabileceğine dair sistematik bir literatür incelemesi yapmışlardır. Bütünsel bir demiryolu perspektifinden yola çıkarak; bakım ve denetim, planlama ve yönetim, emniyet ve güvenlik, otonom sürüş ve kontrol, gelir yönetimi, ulaşım politikası ve yolcu hareketliliği gibi alt alanları kapsayan 2010'dan Aralık 2020'ye kadar olan dönemi içerisine alan yaklaşık 139 bilimsel makale incelenmiştir. Demiryolu bakımı ve denetimi için yapay zekâ alanında büyük araştırma çabası harcanırken, demiryolu taşımacılığı politikası ve geliri için yapay zekâ (AI-Artificial Intelligence) konusunda ise çok sınırlı araştırma bulunduğu görülmüştür. Sonuçta AI alanına eğilmek, demiryolu taşıma otomasyonu için belirsizlikle başa çıkmaya ve yeni yükselen siber güvenlik sorunlarının üstesinden gelmeye yönelik çalışmalar gerektirmektedir [7].

Moreno ve diğerleri., (2015) makalelerinde, kablosuz/telsiz haberleşmesi sayesinde demiryollarında ERTMS-European Rail Traffic Management System (Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi) sisteminin metrolarda da CBTC sistemlerinin uygulanabildiğini, bu sayede taşımacılığın; verimli, güvenli ve kârlı duruma geldiğini vurgulamışlardır. Bu amaçla yapılan uygulamalardan birisi de aynı hat üzerinde birbirini takiben seyir yapan yük trenlerine “sanal küplör - virtual coupling” uygulanmasıdır. Bu radyo haberleşmesi teknolojisi sayesinde trenler “tek bir katar gibi” kabul edilerek, birbirlerini “fren mesafelerinden de kısa” bir takip mesafesiyle izlemekte ve böylece hat kapasitesi (tren/gün) artmaktadır [8].

Xun ve diğerleri., (2022) çalışmalarında “sanal küplörün - virtual coupling (VC)” uygulanabilirliğini incelemişlerdir. VC uygulamasında trenden trene veri aktarımıyla, hattın kapasitesini arttırmak amaçlanmıştır. Makale ilk önce; tren takibi, geri bildirim kontrolü, optimum kontrol ve hesaplamalı akıllı yöntem olarak dört kategoriye ayrılan tren operasyon kontrolü hakkındaki mevcut teorik araştırmayı incelemiş, daha sonra “senaryo analizi yöntemine dayalı olarak” Avrupa ve Çin'deki projeler incelenmiş olup risk sermayesi operasyonunun tüm sürecinde beş genel senaryo ve iki acil durum senaryosu sıralanmıştır. Daha sonra ise farklı senaryolarda VC'nin performansını değerlendirmek için performans göstergelerinin (PI'ler) listesi önerilmiştir [9].

Bešinović ve diğerleri., (2021) makalelerinde Yapay Zekanın (AI), temel kavramlarını ve olası uygulamalarını demiryolu akademisyenlerine ve uygulayıcılara tanıtmayı amaçlamışlardır. Bu yöntemle araştırmacılara ve uygulayıcılara rehber olacak bir taksonomi (sınıflandırma sistemi) sunulmaktadır. Hem genelde hem de demiryolu uygulamalarıyla ilgili yapay zeka teknikleri, araştırma alanları, disiplinleri ve uygulamaları otonom sürüş, bakım ve trafik yönetimi gibi demiryollarında Yapay Zeka'nın açıklanabilen önemli yönleri tanıtılmaktadır [10].

Ning ve diğerleri., (2004), “Computers in Railways IX” adlı makalelerinde, CTCS (Çin Tren Kontrol Sistemi) kavramını teknik olarak değerlendirmişlerdir. Ülkede 71.500 kilometreyi aşan demiryolu şebekesinde, altıdan fazla tür demiryolu sinyal sistemi bulunmakta olup bu durum işletme zorlukları doğurmaktadır. Tıpkı AB (Avrupa Birliği) ülkelerinde olduğu gibi, ETCS sistemine benzer bir ortak sinyal sisteminin temel gereklilikleri, sinyal yönetim sisteminin teknik standardı incelenmiştir. Sonuçta CTCS sisteminin Level 0-4 arası 5 farklı sistemle yapılması gerektiği belirtilmiştir. Level 0 sistemi konvansiyonel hatlarda uygulanmakta, ray devreleri, sinyal lambaları ve kabin içi bilgilendirme elemanlarından oluşmakta ve 120 km/sa hızın altındaki taşımalarda kullanılmaktadır. Level 1 sisteminde, balizler ve ATP elemanları bulunur ve sistem 120 km/sa - 160 km/sa hızlar arasında uygulanır. Sistemde hat yanındaki sinyal ışıkları yoktur, trenin yönetimi ve hızların uygulanması ATP sistemi tarafından yapılır. Level 2 işletimi 160 km/sa hızı aşan demiryollarında uygulanmaktadır. Balizler ve ATP elemanlarıyla birlikte sayısal devre elemanları bulunur. Trenler arası mesafe, hız ve fren komutları ATP tarafında tayin edilir. Level 3 işletiminde, balizler, ATP, sayısal devre elemanları ve GSM-R bulunur. Tren bilgi ve

kontrollerini GSM-R yönetir. Sistemde “sabit blok” uygulaması geçerlidir. Level 4 uygulaması en gelişmiş sistem olup, ardışık trenlerin “kayar blok” şeklinde yönetimine dayanır. Sistemi GSM-R yönetir ve ray devreleri yalnız istasyonlarda kullanılır [11].

Singh ve diğerleri., (2021) çalışmalarında otonom trenlerdeki (OT) eğilimler ve karşılaşılan zorlukları incelemişler, otonom tren uygulamalarında görülen olguların; artan yolcu ve yük taşımacılığı talebi, güvenlik sorunları, insan hataları ve artan sıklığı şeklinde oluştuğunu görmüşlerdir. OT'nin uygulanabilmesi için gerekli teknik donanımın; yüksek hızlı internet (5G) teknolojisi, nesnelerin interneti, özel kısa menzilli iletişim, dijital video algılama kameraları ve yapay zekâ tabanlı yöntemler gibi yapılardan oluşması gerektiğini belirtmişlerdir [12].

Kera ve diğerleri (1999) makalelerinde, 21. Yüzyılın demiryolu taşımacılığı trendleri araştırmalarında; güvenli ve verimli taşımacılık, yüksek ticari etkinlik, artan müşteri memnuniyeti, çevreye uyumluluk, yüksek taşıt teknolojisi, ileri haberleşme ve sinyalizasyon sistemleri, yüksek verimli güç sistemleri konularında yoğunlaşma tespit etmişlerdir. Bu araştırmalarla çerçevelenen demiryolu taşımacılığında, “ATOS - Autonomous Decentralized Transport Operation Control System” adıyla “otonom desentralize operasyon kontrol sistemi” mantığı öne çıkmıştır. Bu yaklaşım, önce Shinkansen trenlerinde Computer-Aided Traffic Control (COMTRAC) adıyla uygulanmış, daha sonra da 21. Asır için COSMOS (Computerized Safety, Maintenance and Operation Systems of Shinkansen) adıyla geliştirilmiştir. Bu sistemler sayesinde hem yüksek taşıma verimi hem de depremsellik tehlikesi karşısında güvenli bir tren seyri sağlanmaktadır [13].

Muniandi (2020) “Blockchain-enabled virtual coupling of automatic train operation fitted mainline trains for railway traffic conflict control” başlıklı makalesinde, blockchain uyumlu sanal kuplör uygulamasıyla otomatik tren işletiminin esaslarını incelemiştir. Araştırmada blockchain veri tabanı ve yedi farklı sanal kuplör varyansları sayesinde otomatik tren işletimi sanal olarak eşleştirilmiş ve senkronize edilmiştir. Son olarak, simülasyon sonuçları ve teorik önerilen sistem ve yöntemin yeterliliğini doğrulamak için çeşitli vaka çalışmaları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir [14].

Singh ve diğerleri., 2022, makalelerinde nesnelerin internetinin (IoT) yardımıyla 21. Asır tren operasyonlarında, yönetiminde, bakımında, video gözetiminde ve hemzemin geçitlerde güvenlikte kullanılacak çeşitli IoT teknolojilerinin kapsamlı bir bütünsel araştırmasını gerçekleştirmektedir. IoT internet teknolojisi aracılığıyla küresel olarak birbirine bağlanan ve ilgili verileri toplayıp paylaşabilen çok sayıda cihazı belirtmektedir. Bu sayede IoT, uzun vadeli evrim (LTE) teknolojisi, beşinci nesil (5G) teknolojisi, kablosuz sensör ağları (WSN) ve diğerleri gibi sensörler, ağlar ve iletişim teknolojileri alanında önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Teknolojik gelişmelerin yanı sıra, IoT'nin tamamen gömülü çalışabilmesi, gerçek zamanlı veri toplaması, fiziksel parametreleri tahmin etmesi, toplanan verilere dayalı karar vermeyi kolaylaştırması, çeşitli ağların (örn. ağlar (LAN), düşük güçlü geniş alan ağı (LPWAN), hücreli LPWAN), demiryolu endüstrisindeki ve diğer uygulamaları için büyük fırsatlar sağlamıştır [15].

Zhong, ve diğerleri., 2021, “Internet of things for high-speed railways” isimli makalelerinde, nesnelerin internetinin (IoT) yüksek hızlı demiryollarına (HSR) entegre edilmesini incelemişlerdir. HSR işletiminin daha da gelişebilmesi için IoT bağlamında bir sistem mimarisi önermektedirler. IoT'nin HSR üzerinde uygulanabilmesi için sayısallaşmış taşımacılık teknolojisi, iletişimi şebekesinde karşılıklı etkileşim ve akıllı işletim sistemi olmak üzere 3 temel fonksiyona ihtiyacı vardır. Taşımacılık teknolojisinin sayısallaşması, HSR donanımını, işletim fonksiyonlarını, hat özelliklerini ve çevresel durumu gerçek şartlarda canlandırmaktadır. Şebeke elemanlarının karşılıklı etkileşimi ise insan, teknik donanım ve çevresel ortam arasında etkili iletişim kurarak, güvenli tren işletimi ve bakımını sağlar. Akıllı tren işletim sistemi sayesinde;

büyük veri (big data), AI, mikro servis mimarisi ve diğer teknolojilerle uygulamaların yapılması mümkün olur [16].

Wajima ve diğerleri., 2005, “Leading-edge Solutions for Next-generation Railway Systems” isimli makalelerinde, bilişim teknolojisi - BT kullanarak, daha gelişmiş tren uygulamalarını Nanakuma Metro Hattı sistemini ve Tsukuba Ekspres demiryolu sistemi bağlamında araştırmışlardır. Daha gelişmiş bir demiryolu sistemi için A tipi geliştirilmiş tren (The Evolving A-train) ve geliştirilmiş BT sistemine sahip yapı (B-system) gibi iki ana donanım gereklidir. A tipi geliştirilmiş tren konsepti İngilizce 4A olan; Advanced (Gelişmiş), Amenity (Rahatlık), Ability (Kabiliyet) ve Aluminum (Alüminyum) kavramlarının trendeki bileşimidir. Bu bileşim BT ve ileri kontrol sistemleriyle birleşince, daha yüksek kabiliyetli Broadband Era-geniş bant iletişim sistemi tren işletimi gerçekleşecektir. Bu iki konsept sinyal sisteminde D-ATC-Digital Automatic Train Control (Dijital Otomatik Tren Kontrolü) ve elektronik işletim konsolları donanımlarıyla birleşince, tam otomatik tren sistemi uygulanabilecektir [17].

Junting ve diğerleri., 2016, makalelerinde, 5 seviyeli Avrupa Tren Kontrol Sistemleri (ETCS) ile Çin Tren Kontrol Sistemlerini (CTCS) karşılaştırarak, gelecekteki Çin tren kontrol sisteminin gelişme yönüne dikkat çekmektedirler. Bu amaçla önce ETCS sisteminin kapsamındaki; NGTC, SHIFT2RAIL, Pozitif Tren Kontrolü, Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi-Bölgesel ve Urbalis Fluence sistemlerinin yapısı ve özellikleri analiz edilmiştir. Daha sonra, yeni nesil Çin tren kontrol sistemi (NGCTCS) incelenmiştir. Bu sistem hareket eden bloktan oluşan üç temel teknolojiye ve trenden tren bilişim radyo (CRT2T) iletişimi ve birleşik konumlandırmadan oluşmaktadır. NGCTCS'nin yapısı içinde bir sistem şeması, kombine konum teknolojisine dayalı bir tren merkezli tren kontrol sistemi ve CR-T2T iletişim sistemi önerilmiştir [18].

Fraga-Lamas ve diğerleri., 2017, çalışmalarında, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti teknolojisi (IIoT) ve iletişim teknolojilerinin tren otomasyonlarındaki uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Otomasyonlu trenler için LTE, 5G, IEEE 802.11ad gibi geniş bant iletişim sistemleri ile Kablosuz Sensör Ağlarının (WSN'ler) kullanımı gereklidir. Bu teknolojik uygulamalara ilaveten, kestirimci bakım, akıllı altyapı, gelişmiş varlık izleme, video gözetim sistemleri, demiryolu operasyonları, yolcu ve yük bilgi sistemleri (PIS/FIS), sinyalizasyon sistemlerinde siber güvenlik ve enerji verimliliği de gerekli olmaktadır [19].

Küçük (2019), Demiryollarında Arıza Durumunda Otonom Trenler için Yedek Sistem Tasarlanması isimli makalesinde, ATO sisteminin seçilen arızalar için şimdiki ve gelecekteki “Yedek Sistem” yöntemlerini tanımlamıştır. Bu amaçla olası arızaların bir listesi yapılarak, bunların işletmeye olan etkileri analiz edilmiş, mevcut sistem ile otonom trenler için yedek sistemin nasıl tasarlanıp, ne şekilde kullanılacağı UML-Unified Modelling Language (Birleşik Modelleme Dili) diyagramları ile tanımlanmıştır. ATO sistemi için gerekli değişiklikler de bu çalışmada incelenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre bugünkü sisteme kıyasla ATO sistemine gelecekte daha teknolojik yeni parçaların eklenmesi gerekmekte olduğu, ayrıca tren sürücüsü tarafından üstlenen bazı görevlerin büyük bir kısmının sensörler yardımıyla ATO sistemine aktarılabilmesi tespit edilmiştir. Ancak çelişkili durum ve insana özgü deneyimlerin sisteme aktarılabilmesi için bir tür “yapay zekâ” algoritmaları kullanılarak yazılım geliştirilmelidir [20].

Arlı (2013), Otomatik metro sistemleri, isimli bildirisinde metro otomasyon sistemlerini, sinyal korumalı (ATP), yarı otomatik (ATO), denetimli tam otomatik (DTO) ve denetimsiz tam otomatik (UTO) olarak 4 kategoride belirtmiştir. Ulaştırma sisteminin bütününe yöneten ATS sistemi (automatic train stopping), mevcut tarifeye göre, sistem çalışmasını iyileştirmek ve dengelemek amacıyla tren hareketlerini izleyen ve yöneten sistemdir. Sistemin işletim ve denetimi, tüm metro ray ağını, onu diğer ağlarla birleştiren tüm bağlantı ve arayüzler ile görüntüler Tren Kontrol Merkezinde (TCC) görülmektedir. ATP sisteminin ana görevi çerçevesinde güvenle ve hatasız bir usulle trenleri kumanda etmek ve sadece uygun bir İlerle Komutu tarafından

yetkilendirildiğinde, trenlerin hareket ettirilebilmesi sağlanmaktadır. ATO istasyona yaklaşan trenin nerede duracağını belirler. Bu sistem ATP, ATO ve ATS sistemlerinin bileşiminden oluşan ve dünyada otomatik olarak işletilen demiryolu mimarisini tanımlamak için kullanılan bir kontrol sistemidir. DTO sisteminde araçlarda veya peronlarda tren görevlisi bulunur. Aracın hızlanma, hızlı seyir, tahriksiz ilerleme, hız kesme, durma, kapı açma ve kapama işlevleri otomatik olarak yapılır. Olumsuz bir durumda işletme ve tren arızalarına müdahale, kontrol merkezinden trafik operatörünce gerçekleştirilir. UTO sistemi tam otomatik sürücüsüz bir metrodur. Aracın hızlanma, hızlı seyir, tahriksiz ilerleme, hız kesme, durma, kapı açma ve kapama işlevleri otomatik olarak yapılmaktadır. Olumsuz durumda işletme ve tren arızalarına müdahaleyi, trafik operatörü yapmaktadır. Otomasyon işlemi metrolarda; treni hareket ettirme, durdurma, kapı komutları ve aksaklık durumunda işletme olarak 4 türde gerçekleşir. Bu durumun tam otomatik metro veya tren işletmesine uygulanabilmesi için Engel algılama, Yangın algılama, Acil durum freni (EB) Başlatma ve Resetleme, Trenin durum ve alarm bilgisinin TCC'ye iletilmesi, Yolcu tahliyesi, Kritik Cihazların Yedekliliği, Otomatik canlandırma ve test, Platform kapılar (PSD), otomatik araç yıkama, Araç üstü CCTV sistemi, Merkezi telsiz kontrol sistemi, Araç üstü çift yönlü telefon haberleşme sistemi gibi donanımlar da gereklidir [21].

Demir (2014) yüksek lisans tezinde, Radyo Frekanslı Kimlik Tanımlama (RFID) Sistemi ile Tren Konum Tespiti üzerine çalışmıştır. Raylı sistemlerde tren işletimi, “güvenli tren ayırımı” yapmaya yarayan, sistemdeki trenlerin pozisyonları, hattaki önceden tanımlanmış ekipmanlar ve tren üzerinde bulunan araç üstü sinyal donanım yardımıyla gerçek zamanlı olarak tespit edilmektedir. Sistem ardışık Tren1 ve Tren2'nin hız ve konum bilgileri ışığında, Tren2'ye bir hedef noktası verir. Tren2, VCC'den aldığı bu komut doğrultusunda ilgili alana geldiğinde yavaşlamaya başlar ve kendisine verilen hedef noktasında, bir güvenlik mesafesinde durur. Güvenlik mesafesi; gerçek işletme hızlarına, frenleme eğrilerine ve trenlerin tahsisli yoldaki yerlerine göre dinamik olarak hesaplanır. Araçlar arasında her zaman bir güvenlik mesafesi bulunur. Bu mesafe, bir trenin komut verilen durma noktası ile öndeki trenin arkasının doğrulanmış konumu arasındaki mesafedir. Bu mesafe, birkaç tane en kötü durumun peş peşe ortaya çıkması hâlinde dahi, güvenli işletmenin yapılabilmesine imkân sağlayacak şekildedir [22].

Yüksel ve Erçoşkun (2023) “Akıllı ulaşım sistemlerinde otonom araçlar ve kente etkileri” isimli çalışmalarında, bu teknolojinin kullanılmasının kentsel yararları etüt edilmiştir. Örnek olarak kentlerde bünyesindeki bilgisayar yazılımı ve donanımı sayesinde “sanal ray” denilen beyaz çizgiler üzerinde tekerlekleriyle hareket eden, sensörler ile yolun boyutlarını algılayan ve otonom bir şekilde kendi rotasını oluşturabilen bir otonom raylı hızlı transit (ART) belirtilmiştir. Bu sistemlerin donanımı ve yazılımı; sabit ve hareketli nesnelere algılayan “LİDAR”, araçları, çevredeki cisimleri ve hızlarını algılayan “kısa ve uzun menzilli radarlar”, geniş görüş açısında hareketli objeleri algılayan “çevre radarı” ve görüntü işleme ile cisimleri sınıflandıran “video kamera” ile donatılmıştır [23].

Rodriguez (2015) makalesinde kentsel raylı sistemlerdeki ATO işletiminde, tren yük değişimi ve gecikmelere bağlı olarak sağlıklı ve enerji verimli hız profiline tasarlanmasını araştırmıştır. Önce tren yükündeki değişiklikler için ATO hız profillerinin optimal Pareto analizi çalışma süresi ve enerji tüketimi için oluşturulur. Sağlam bir optimizasyon tekniği ile de hız profillerinin şeklinin korunmasına (model sağlamlığı) dayanan alternatif bir yöntem karşılaştırılmıştır. Her iki prosedür de MOPSO (Çok Amaçlı Parçacık Sürü Optimizasyonu) algoritmasını kullanır. Daha sonra ATO ekipmanında programlanacak hız profilleri seti, bir optimizasyon modeli aracılığıyla sağlam Pareto cephesinden seçilir. Bu model, hattaki gecikmelerle ilgili istatistiksel bilgileri dikkate alarak toplam enerji tüketimini en aza indiren bir Parçacık Sürü Optimizasyon algoritmasıdır (PSO). Bu prosedür bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Sonuçlar, yolcular için daha rahat olan şekiller hakkında bilgi sağladığından, desen sağlamlığının sağlam optimizasyon tekniğine göre daha kısıtlayıcı ve anlamlı olduğunu göstermiştir. Önerilen seçim modeli tarafından gecikmelerle ilgili istatistiksel verilerin kullanılması, % 3-14 arasında ek enerji tasarrufu sağlamaktadır [24].

Brenna ve diğerleri (2016.) çalışmalarında elektrikli demiryolu taşımacılığında uygulanan sürücüsüz metrolardaki; ATC, ATP ve ATO otomasyon sistemleri genetik algoritmalar yönünden incelemiştir. Genetik algoritmalar, sezgisel arama ve yinelemeli stokastik yöntemler olup optimizasyon problemlerine kesin veya yaklaşık çözümler bulmakta kullanılan hesaplama yöntemleridir. Burada optimizasyon süreci hesaplanmış ve özel bir Matlab kodunun uygulanması yoluyla Milano'daki gerçek bir metro hattında test edilmiştir. Bu şekilde tanımlanan algoritma sayesinde, tren hareketi optimize edilmiş, böylece enerji tüketimi asgariye indirilerek, trenin saat tarifi düzenlenmiştir [25].

Miyatake ve Ko, (2010) tarafından yapılan çalışmada demiryolu sistemlerinin enerji tüketimini asgariye indirecek optimum bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İlk olarak bazı enerji tasarrufu sağlayan tren hız profillerinin bulunmasına yönelik önlemler özetlenmiştir. Daha sonra optimal kontrol teorisine dayalı tam optimizasyon gözden geçirilmiştir. Bu amaçla, dinamik programlama (DP), gradyan yöntemi ve sıralı ikinci dereceden programlama (SQP) yöntemleri tanıtılmıştır. Son iki yöntem aynı zamanda enerji depolama cihazlarının şarj durumunu (SOC) da kontrol edebilmektedir. Sonuçta simülasyonların sayısal sonuçlarında, sadece optimal hız profillerinin değil, aynı zamanda optimal SOC profillerinin çözülmesinin önemi ortaya konulmuştur [26].

Thomas, (2016), “The feasibility case for converting existing heavy metro systems to driverless operation”, başlıklı makalesinde, bir metro işletmesini sürücüsüz sisteme dönüştürmek için gerekli fizibilite incelemiştir. Bu amaçla asgari gereklilikler; sistemden beklenen operasyonel ve hizmet faydaları, emniyet riski ve müteakip kontrol tedbirleri ve sistemin kamuoyu algısı ve kabulü olarak 3 başlık halinde tanımlanmıştır [27].

Wang ve diğerleri. (2015), makalelerinde, kentsel demiryolu toplu taşıma ağı için tren planlama problemini analiz etmişlerdir. Analizde, kalkış, varış ve yolcu geliş oranları incelenmiştir. Ayrıca yolcuların yürüme süreleri ve transfer süreleri de modelde dikkate alınmaktadır. Bu model, doğrusal olmayan, gerçek değerli, dışbükey olmayan bir modeldir. Bu tren planlama problemini çözmek için genetik algoritmalar örneği gibi yaklaşımların tren tarifeleme amaçlı kullanılabilirliği ortaya konulmuştur [28].

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle konvansiyonel ve hızlı tren hatlarında kullanılan sinyalizasyon sistemlerinde de gelişme yaşanmıştır. Daha öncelerde yaygın olarak kullanılan mekanik sistemler yerine artık elektronik ve bilgisayar ağırlıklı sistemler daha fazla kullanılmaktadır [29]. Ancak Türkiye’de halen anahatlarda çalışan sürücüsüz tren sistemi mevcut değildir. Metro sistemlerinde ilk otomatik sürücüsüz trenler İstanbul’da M5 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Hattında kullanılmaya başlanmıştır. M5 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy sürücüsüz metro hattında CITYFLO 650 sinyalizasyon sistemi kullanılmaktadır. CITYFLO 650, yeni veya mevcut toplu taşıma uygulamaları için Bombardier Transportation tarafından geliştirilen son teknoloji ürünü bir CBTC hareketli blok çözümdür [30]. İlk etabı Üsküdar-Yamanevler olarak 15 Aralık 2017’de, ikinci etabı ise Çekmeköy’e kadar olan tüm kesimi kapsayacak şekilde 21 Ekim 2018’de hizmete giren Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Hattı Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği UITP tarafından Avrupa’da birinci, Dünya’da ise üçüncü seçilerek ödül almıştır [31]. Bunun dışında Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey metrosu (M7) ve Bostancı-Dudullu metrosu (M8) da yine tam otomatik sürücüsüz olarak işletilebilmektedir. Ayrıca Türkiye’de ilk yerli ve milli sürücüsüz metro aracı da çalışmaya başlamıştır. Gebze OSB-Darıca Sahil Metro Hattı için özel tasarlanan yerli ve milli sürücüsüz ilk metro aracı 24 Eylül 2023’te raylara indirilmiştir. TÜBİTAK tarafından desteklenen, ASELSAN ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı çalışmasında ise yerli sürücüsüz sinyalizasyon sistemleri geliştirilmektedir. [32].

3. Bulgular

3.1. Sürücüsüz trenlerin avantajları, fırsatlar

Kabul edildiği gibi [33] demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin kullanıldığı 150 yıl boyunca insan hataları birçok kazaya neden olmuştur. İnsan ölümlerini azaltmak için bugüne kadar çeşitli sürücü uyarı sistemleri geliştirilmiştir. Pek çok tren koruma sistemi devreye alınmış olup bunlardan biri de artık tüm dünyada yaygın olarak kullanılan ATP sistemidir.

ATP Sistemi, sürücülerden kaynaklanan tehlikeleri azaltmasının yanı sıra tren servislerinin sıklığını da artırmaktadır. Ayrıca yoğun saatlerde ilave olarak daha fazla trene hizmet verilebilmektedir. Sadece bir düğmeye basılarak daha iyi hizmet sıklığı sağlamak için herhangi bir tren normal tarife eklenebilmekte olup depodan otomatik olarak rotaya gönderilebilme imkânına sahip olmaktadır. Ayrıca bilgisayarlı sistemin kullanılması sonucunda insan işgücü maliyetinin düşeceği öngörülmekte, bu da daha fazla fayda sağlanması anlamına gelmektedir.

Ayrıca tam otomasyonlu trenler daha az enerji tüketmektedir. Dakiklik artıp, mesafe süreleri kısalıp güvenlik sorunları iyileşirken, insanlar trenleri daha fazla kullanma eğiliminde bulunmaktadır. Daha az enerji tüketimi, daha fazla yolcu, daha az işçilik maliyeti, tren hizmetlerinden daha fazla gelir sağlanmasının yanı sıra karbon emisyonunun azalmasına da katkıda bulunmaktadır.

3.2. Sürücüsüz trenlerin dezavantajları, tehditler

Sürücüsüz tren çalıştırmanın birçok avantajı olmasına rağmen bazı kısıtlamaları da mevcuttur. Öncelikle bilgisayarlar çoğu zaman bir dâhiden daha akıllı olabilmekte, ancak bazen bir insanın tahmin edebileceği durumun tehlikesini görememektedirler. Örneğin Mart 2012'de bir çocuk, peron kenarı ile tren arasında sıkışıp kaldığında tren makinistinin yardımıyla hayatta kalmıştır. Bu olayda otomatik sistem açık sinyal vermekte olup kabinde bulunan sürücünün çocuğu görmesiyle birlikte trenin gitmesine izin vermesi, bir hayatın kurtulmasına yardımcı olmuştur. Böyle bir olayda trenin sürücüsüz olması durumunda bir felaketin yaşanabilmesinin olasılığı yüksek bulunmaktadır.

Ayrıca çoğu hükümetin endişe duyduğu sorunlardan biri de işçi sendikalarının tepkisidir. Tamamen sürücüsüz demiryolu sistemleri uygulanırsa çok sayıda tren makinisti ve kabin içi çalışanın işini kaybetme tehlikesi vardır. Ayrıca yolcular genellikle trenlerde resmi görevlilerin yanında kendilerini daha rahat hissetmektedirler. Sürücü görünmediğinde yolcular tedirgin olabilmektedir. Acil durumlarda yolcuları yönlendirme ve sakinleştirmede eğitilmiş kaptanların rolü büyüktür [34].

Ana hat demiryollarında ise kazaya neden olabilecek daha tehlikeli faktörler bulunmaktadır. Bunlar hattın dışındaki bir hayvan ya da insan olabilmektedir. Her ne kadar tam otomatik sistemler engel algılama özelliğine sahip olsa da demiryolu hattı etrafındaki potansiyel tehlikeyi tahmin edemeyebilirler. Ancak eğitilmiş ve deneyimli sürücüler bunu tahmin edebilmektedir. Ayrıca, 1970'li yıllarda ABD'de sürücüsüz tren sistemi bir ana hat demiryolunda uygulanmaya çalışıldığında güvenli görülse de kısmen faydasız görülmüştür. Hat üzerindeki "bira kutusu" bile engel algılama sistemi tarafından tehlike olarak algılanmıştır. Yani durmaya gerek olmayan bir durumda bile, hat üzerinde herhangi bir nesne tespit ettiğinde acil fren sistemini çalıştırıp, hemen duruş sistemini aktifleştirmektedir. Bu nedenle bilgisayar sistemlerinin çok akıllıca tasarlanması gerekmektedir.

Demiryolları, devam eden teknolojik gelişmeler nedeniyle giderek daha dijital hale gelmekte ve bu da kaçınılmaz olarak operatörler için yeni güvenlik kaygılarını beraberinde getirmektedir.

Bilgisayar korsanları bir trenin güvenlik açısından kritik sistemleri arasındaki veri alışverişini hedefleyebilirler. "Ortakı adam saldırısı", üçüncü bir tarafın, gönderen ile alıcı arasında gönderilen verilere müdahale etmesi, bilgilerin değiştirilmesi, geciktirilmesi ve hatta hedeflenen alıcıya ulaşmasını engellemesidir. ATO, varlıklarının coğrafi olarak trenlere ve güzergâh altyapısına dağılmış olması ve diğer sistemlerle etkileşimi nedeniyle daha geniş bir tehlike yüzeyine sahiptir ve bu da onu siber saldırılara karşı potansiyel olarak savunmasız hale getirmektedir. Yüksek çözünürlüklü, gerçek zamanlı tren belirleme bilgilerini yol kenarı, tren ve kontrol merkezi arasında taşıdığı için bu hassas verilerin güvenliğini korumak çok önemlidir. Ne yazık ki, tren ağının güvenli çevrimiçi iletişime yönelik hazırlıkları hâlâ optimum gelişme aşamasında olmaktan çok uzaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Yeni teknolojilerin yardımıyla trenler daha az insan destekli hale gelmekte ve bu sayede ölümcül kazaların sayısı azalmaktadır. Sürücüsüz metro tren sistemleri gün geçtikçe yaygınlaşırken, bu sistemlerin yakın zamanda ana hat demiryollarında da hayata geçirilmesi düşünülmektedir. Ancak sürücüsüz ana hat tren sistemlerinin kısıtlamalarına ilişkin hâlâ bazı hususlar bulunmaktadır.

Sürücüsüz tren sistemleri sürücülerden kaynaklanan tehlikeleri azaltmasının yanı sıra servislerin sıklığını da artırmaktadır. Ayrıca yoğun saatlerde ilave olarak daha fazla trene hizmet verilebilmektedir. Sadece bir düğmeye basılarak, daha iyi hizmet sıklığı sağlamak için herhangi bir tren normal tarifeyle eklenebilmektedir. Bunun yanı sıra tam otomasyonlu trenler daha az enerji tüketmektedirler. Daha az enerji tüketimi, daha fazla yolcu, daha az işçilik maliyeti, tren hizmetlerinden daha fazla gelir sağlanmasının yanı sıra karbon emisyonunun azalmasına da katkıda bulunmaktadır.

Bilgisayarlı sistemleri güvenli olarak algılasak da ATO, varlıklarının coğrafi olarak trenlere ve güzergâh altyapısına dağılmış olması ve diğer sistemlerle etkileşimi nedeniyle daha büyük bir tehlike potansiyeline sahiptir ve bu da onu siber saldırılara karşı potansiyel olarak savunmasız hale getirmektedir. Ayrıca çoğu hükümetin endişe duyduğu kısıtlamalardan biri de işçi sendikalarının tepkisidir. Tamamen sürücüsüz demiryolu sistemleri uygulanırsa çok sayıda tren makinisti ve kabin içi çalışan işini kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca yolcular genellikle trenlerde resmi görevlilerin yanında kendilerini daha rahat hissetmektedirler.

Şu anda tam otomatik ana hat tren sistemlerinin çok az örneği olduğundan, uzmanlar biraz deneyim kazanmak ve gelecekteki iyileştirmeler hakkında doğru karar vermek için metro sistemleri ve yeni teknoloji örneklerini incelemektedirler. Örneğin Türkiye’de Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosu (M5), Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey metrosu (M7) ve Bostancı-Dudullu metrosu (M8) tam otomatik sürücüsüz olarak işletilebilmektedir. Metrolarda gözetimsiz sistemler düzgün bir şekilde çalışmakta ve ana hat boyunca çatılı metal platformların inşa edilmesi durumunda ana hat demiryollarında da uygulamaya geçilebileceği düşünülmektedir. Bu yapılar tünele benzer bir şekilde sahip olabilmektedirler fakat bu tür tünellerin yapımı çok maliyetli olacağından daha detaylı analizler gerekmektedir. Bu nedenle, öngörüye dayalı bir karar almak için biraz zamana ihtiyaç vardır ve daha fazla deneyime göre ana hat demiryolları daha iyi işletilebilecektir.

Kaynakça

- [1] WSP. “Challenges and opportunities for automation of rail operations.” *Thornhill: Transport Canada*, 2022.
- [2] S. Rangra, W. Schön, M. Sallak, & F. Belmonte, “Risk and safety analysis of main line autonomous train.” *21e Congrès de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement λμ21 Reims 16-18 octobre 2018*.

- [3] Railway Technology “Justifying automation,” 2011 [Online] Available: <https://www.railway-technology.com/features/feature127703/?cf-view> (Erişim tarihi: 29.03.2023)
- [4] Siemens, “Fact sheet”. *Corporate Communications and Government Affairs*, Siemens AG, München, 2012.
- [5] Wikipedia “Automatic Train Operation,” 2023 [Online] Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Train_Operation - (Erişim tarihi: 29.03.2023)
- [6] CNN “World’s first 350km-per-hour driverless bullet train goes into service in China,” 2020 [Online] Available: <https://edition.cnn.com/travel/article/driverless-bullet-train-china/index.html> (Erişim tarihi: 29.03.2023)
- [7] R. Tang L. De Donato N. Besinović, F. Flammini R. M. Goverde, Z. Lin, R. Liu, T. Tang, V., Vittorini, Z. Wang, “A literature review of artificial intelligence applications in railway systems”, *Transportation Research Part C (Emerging Technologies)*, 140, 2022, Article 103679.
- [8] J. Moreno, J. M. Riera, L. de Haro, and C. Rodríguez, A,”Survey on future railway radio communications services: challenges and opportunities,” *IEEE Communications Magazine*, October 2015.
- [9] J. Xun, Y. Li, R. Liu, Y. Li, & Y. Liu, “A survey on control methods for virtual coupling in railway operation,” *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 3, 838-855, 2022.
- [10] N. Bešinović, L. De Donato, Flammini, F. ve diğerleri. (7 more authors) Artificial intelligence in railway transport: taxonomy, regulations, and applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23 (9). pp. 14011-14024. ISSN 1524-9050, 2021.
- [11] B. Ning, T. Tang, K. Qiu, C. Gao & Q. Wang, “Computers in Railways”, WIT Press, ISBN 1-85312-715-9, 2004.
- [12] P. Singh, M. A. Dulebenet, J. Pasha, E. D. R. Santibanez Gonzalez, Yui-Yip Lau, and R. Kampmann, “Deployment of autonomous trains in rail transportation: Current trends and existing challenges,” *IEEE Access*, Volume 9, 2021.
- [13] K. Kera, E. Isobe, S. Kawahata, Hitachi’s initiatives in addressing the challenges of 21st century railway systems, *Hitachi Review* Vol. 48, No. 3, 1999.
- [14] G. Muniandi, “Blockchain-enabled virtual coupling of automatic train operation fitted mainline trains for railway traffic conflict control,” *IET Intell. Transp. Syst.*, Vol. 14 Iss. 6, pp. 611-619, 2020.
- [15] P. Singh, Z. Elmi, V. K. Meriga, J. Pasha, M. A. Dulebenets, “Internet of things for sustainable railway transportation: Past, present, and future,” *Cleaner Logistics and Supply Chain* 4, 2022, 100065.
- [16] G. Zhong, K. Xiong, Z. Zhong, and B. Ai, “Internet of things for high-speed railways,” *Intelligent and Converged Networks*, 2(2): 115-132, 2021.
- [17] T. Wajima, K. Bekki, D. Eng., Y. Yokosuka, “Leading-edge solutions for next-generation railway systems,” *Hitachi Review* Vol. 54, No. 4, 2005.
- [18] L. Junting, D. Jianwu, and M. Yongzhi, NGCTCS: “The next generation chinese train control systems,” *Journal of Engineering Science and Technology Review* 9 (6), 122- 130, 2016.
- [19] P. Fraga-Lamas, T. M. Fernández-Caramés, and L. Castedo, “Towards the internet of smart trains: a review on industrial iot-connected railways,” *Sensors*, 17, 2017, 1457; doi:10.3390/s17061457.
- [20] S. Küçük, “Demiryollarında arıza durumunda otonom trenler için yedek sistem sistemin tasarlanması”, *Demiryolu Mühendisliği*, 2019, (10):38-60. 38.
- [21] V. Arlı, “Otomatik Metro Sistemleri,” 2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE’13), 9-11 Ekim 2013, Karabük, Türkiye.
- [22] M. Demir, “Radyo frekanslı kimlik tanımlama (rfid) sistemi ile tren konum tespiti,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2014.
- [23] S. Yüksel, Ö. Y. Ercoşkun, “Akıllı ulaşım sistemlerinde otonom araçlar ve kente etkileri,” *Ekonomik Devrim, Blockchain Chapter 7*, 2023.
- [24] A. Fernandez-Rodriguez, A. Fernandez-Cardador, AP. Cucala, AP. Dominguez, M., Gonsalves T., “Design of robust and energy efficient ATO speed profiles of metropolitan lines considering train load variations and delays.” *IEEE Trans Intell Transp Syst* 16(4):2061–2071, 2015
- [25] M. Brenna, M. Foadelli, M. Longo, “Application of genetic algorithms for driverless subway train energy optimization,” *International Journal of Vehicular Technology*, 1-14, 2016.
- [26] M. Miyatake, H. Ko, “Optimization of train speed profile for minimum energy consumption.” *IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng.* 5 (3), 263–269, 2010.
- [27] P. Thomas, “The feasibility case for converting existing heavy metro systems to driverless operation,” *WIT Transactions on The Built Environment*, 88, 363-372, 2006.
- [28] Y. Wang, M. Zhang, J. Ma, X. Zhou, “Survey on driverless train operation for urban rail transit systems,” *Urban Rail Transit*, 2(3-4):106–113, 2016.

- [29] S. Karayanık, “Marmaray Sinyalizasyon Sistemleri.” *Demiryolu Mühendisliği*, 2016, 4: 71-77.
- [30] E. Çekerek, M. Demir, “İstanbul metrolarında yolcu konforunun artırılması: sinyalizasyon sistemi ile otomatik anons kontrol uygulaması,” *Demiryolu Mühendisliği*, no. 14, pp.110-121, July. 2021. doi: 10.47072/demiryolu.932732
- [31] NTV “Türkiye'nin ilk sürücüsüz metro hattı Avrupa birincisi seçildi” 2018 [Online] Available: <https://www.ntv.com.tr/video/ekonomi/turkiyenin-ilk-surucusuz-metro-hatti-avrupa-birincisi-secildi,gXzFT2MZ10yYeAMLx6kX5g> (Erişim tarihi: 09.11.2023)
- [32] NTV “İlk yerli ve milli sürücüsüz metro aracı raylara indirildi” 2023 [Online] Available: <https://www.ntv.com.tr/galeri/ntvpara/ilk-yerli-ve-milli-surucusuz-metro-araci-raylara-indirildi,OD6IEHuEf0OBW8sphM8JPA/PJd9cvtPMUW49THQOL4rWA> (Erişim tarihi: 09.11.2023)
- [33] P. Connor, F. Schmid, & C. Watson, “A review of train protection systems”, *Railway Technical*, 2012
- [34] C. Lo, “Driverless train technology and the london underground: the great debate,” 2012. [Online] Available: <https://www.railway-technology.com/features/featuredriverless-train-technology/>, (Erişim tarihi: 27.10.2023)

Özgeçmiş



Üsâme EKİCİ

1989 yılında Ankara’da doğmuştur. Ankara Atatürk Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra lisans eğitimini Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, yüksek lisans eğitimini Birmingham Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği, doktora eğitimini ise Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği (Ulaştırma) bölümünde tamamlamıştır. 2014 yılında çalışma hayatına TCDD Genel Müdürlüğü Etüt Proje ve Yatırım Dairesinde başlayan Ekici, 2016 yılından beri Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığında görev yapmaktadır. İlgili alanlarına giren araştırma konuları Ulaşım planlaması, Demiryolları yolcu taşımacılığı, Talep tahmini ve Demiryolu işletmeciliğidir.

E-Posta: usameekici@gmail.com



Mehmet Emin AKAY

1952 yılında İzmir’de doğdu. Gazi Üniversitesi Otomotiv Eğitimi Bölümünde 1975’te lisans, 1996’da yüksek lisans ve Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD’de 2005’te doktora eğitimini tamamlamıştır. 1987 -2009 arası Kırıkkale Üniversitesinde öğretim görevlisi, 2009 – 2011 arası Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde, 2011 – 2015 yılları arasında Kırıkkale Üniversitesinde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yaptı. Uzmanlık alanları; İçten Yanmalı Motorlar ve Taşıtlar, Yakıtlar, Yanma ve Emisyon Kontrolü, Raylı Taşıt Tekniği ve Demiryolu İşletmeciliği olarak sıralanabilir. Yazarın ulusal ve uluslararası olmak üzere yayınları vardır. 2015 yılından bu yana KBÜ Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği Program Başkanı olarak görev yapmaktadır.

E-Posta: eminakay@karabuk.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Üsâme EKİCİ: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazma-orijinal taslak hazırlama, Kaynaklar. Mehmet Emin AKAY: Literatür Taraması, Kaynaklar, Doğrulama, Kontrol, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme.