

Demiryolu endüstrisinde akıllı ulaştırma sistemleri ve Türkiye'deki uygulama örnekleri

Yasin Sarıkavak^{1,*}

¹ Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey

*Correspondence: ysarikavak@ybu.edu.tr

Özet: Ulaştırma insan ve toplumlar üzerinde sosyal ve ekonomik anlamda önemli bir yere sahiptir. Ulaştırmanın etkili bir biçimde kullanılabilmesi akıllı ulaştırma sistemlerinin adaptasyonu ile mümkündür. Diğer ulaştırma alanlarında olduğu gibi raylı sistemlerde de akıllı sistemler kullanıma devam etmekte ve hızla gelişimini sürdürmektedir. Raylı sistemlerde tren istasyonu, demiryolu hattı, araç üstü ekipman ve merkezi yönetim alt sistemlerinde akıllı ulaştırma sistemleri uygulama alanı bulmaktadır. Tren kontrol ve sevkiyat, müşteri servis, acil kurtarma ve yönetimde akıllı sistemler mevcut altyapının ve üstyapının güvenli, verimli ve etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada demiryolu endüstrisinde kullanımda olan ve geliştirilen temel akıllı ulaştırma sistemleri incelenmiş ve ülkemizde kullanımları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Raylı sistemler, akıllı ulaşım sistemleri, demiryolu hattı, demiryolu aracı

Abstract: Transportation has an important role on societies in context of social and economic impacts. The effective usage of transportation depends on the adaptation of intelligent transportation systems. Intelligent systems are applicable and rapidly improving its development in railway industry as in other transportation systems. Intelligent systems are applicable in sub systems such as; train station, railway line, on board equipment of rolling stock and central management system. Application of systems on train control and shipping, client service, emergency rescue and management enables secure, efficient and effective operation of infrastructure and superstructure. In this study, the major applications of intelligent systems under operation and under development were investigated and their usage in the country was evaluated.

Key words: Rail systems, intelligent transportation systems, railway line, rolling stock

1. Giriş

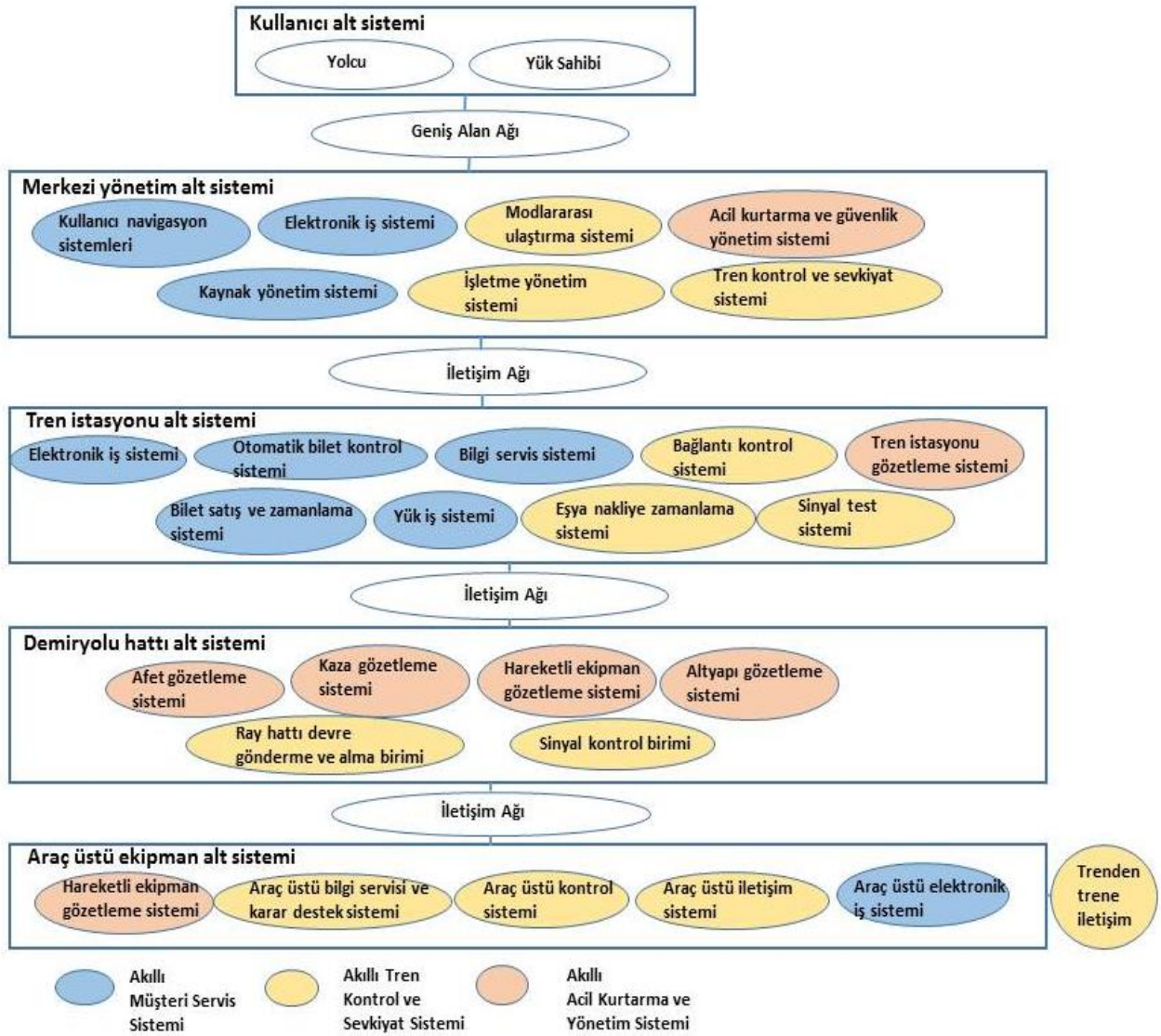
Ulaştırma, insan hayatı üzerinde sosyal ve ekonomik etkileri göz önüne alındığında önemli bir role sahiptir. Verimli, uygulanabilir, esnek, güvenli ve çevre dostu sistemler ulaştırmada kilit başlıklardır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Avrupa gibi gelişmiş ülkeler ve bölgeler 90'lı yıllarda altyapı ağlarını tamamlamış ve akıllı ulaştırma sistemleri konusunda araştırma ve geliştirme çalışmalarına başlamıştır [1,2]. Ülkemizde ise son yıllarda ulaştırma alanında altyapı yatırımları çoğalmış, gelişim stratejisi göz önüne alınarak, geleceğe yönelik akıllı ulaştırma sistemlerinin entegrasyonu önemli hale gelmiştir. Akıllı ulaştırma sistemleri için ilk altyapı yatırımları pahalı ve gelecekte yapılabilecek yatırımlar olarak değerlendirilmektedir. Ancak kararlı ve sürdürülebilir gelişim için entegre edilecek yeni teknolojilerin uygun olanlarının dikkatli bir şekilde belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir.

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) insan kaynaklı hataları en aza indirgeyerek, sistemlerin verimli ve güvenli çalışmasını sağlar. Gelişen teknoloji ile pek çok alanda uygulama imkânı bulan akıllı ulaşım sistemleri, raylı sistemlerde de etkin olarak kullanılmakta ve gelişimine devam etmektedir. Demiryolu araçları, altyapı, üstyapı, işletme ve bakım teknolojileri, kontrol ve sinyal sistemleri alanlarında teknik uygulamaları mevcuttur. Bilgisayarlar, elektronik ekipmanlar, uydular ve sensörler bu sistemlerin önemli parçalarıdır. AUS'da temel yenilik mevcut teknolojilerin entegrasyonu ile yeni hizmetler ortaya koymaktır. Bu hizmetler sonucu, kapasite artışı, emniyet ve güvenlikte iyileşme, müşteri hizmet seviyesinde iyileşme, yüksek enerji verimliliği ve düşük zararlı gaz salınımı gibi önemli teknolojik ve ekonomik iyileştirmelere ulaşmak amaçlanmaktadır.

2. Raylı sistemlerde AUS

2.1. Genel yapı

Raylı sistemler; demiryolu yönetimi, araç üstü ekipmanlar, demiryolu hattı, tren istasyonu, sistem ve yönetim merkezi gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Şekil 1'de raylı sistemlerin tamamında akıllı ulaştırma sistemleri mimarisi ve ana bileşenleri yer almaktadır. Sistem müşteri hizmetleri, tren kontrol ve sevkiyat hizmetleri, acil kurtarma ve güvenlik yönetimi başlıklarını içeren üç temel kategoride sınıflandırılmıştır [1].



Şekil 1. Akıllı raylı ulaşım sistemleri mimarisi ve temel bileşenleri [1]

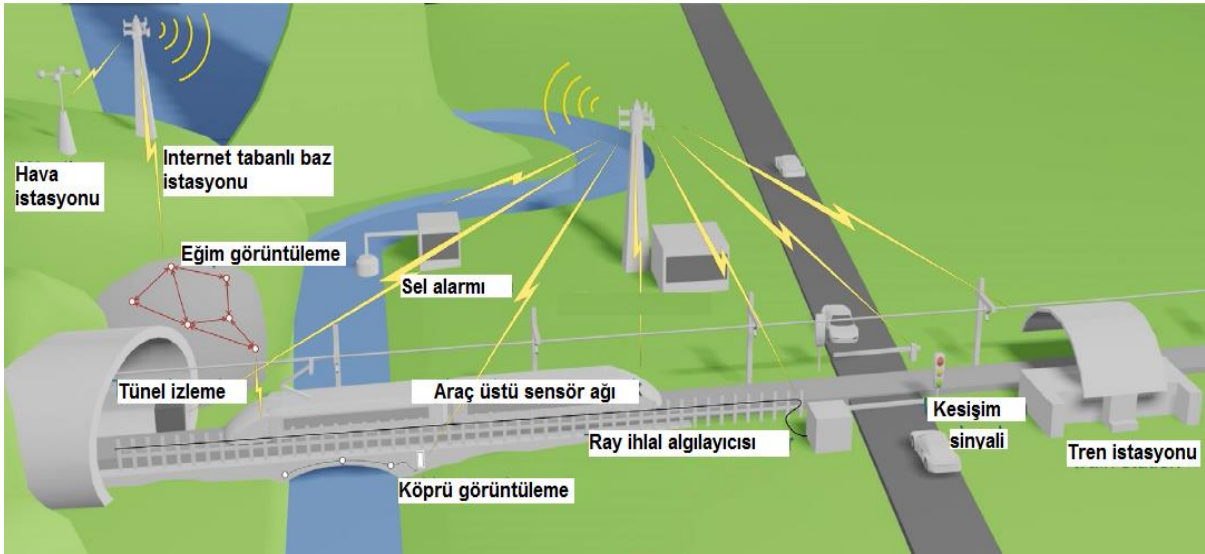
3. Raylı sistemlerde AUS uygulamaları

3.1. Kaynak yönetim sistemi

Demiryollarında altyapı yatırımlarının artması, demiryolu ağının ve araç filolarının da çoğalmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Demiryolu altyapısı ve araçlar birçok alt sistemin birbiriyle etkileşimi ile çalışan karmaşık sistemlerdir. Farklı bakım ve muayene tekniklerinin, değişik periyotlarda uygulanması gerekmektedir. Ray ve ray bağlantı elemanları, traversler, sinyal ve kontrol ekipmanları, katener hattı, demiryolu araçları ve aksamalarının bakım ve muayenelerinin, olası hata periyotları da göz önüne alınarak optimum sıklıkta ve personelle kontrolü; insan, zaman, maliyet açısından kaybı önlemek adına oldukça önemlidir. Bu konuda çeşitli metodolojiler kullanılarak tasarlanmış bakım ve işletme planlama sistemleri demiryollarında verimliliği artıran akıllı ulaşım sistemlerinden sadece bir tanesidir [3].

3.2. Demiryolu hattı alt sistemleri

21. yüzyılda demiryolları; havaalanları ve diğer devlet binaları gibi terör saldırıları ve vandalizme açık hedef haline gelmiştir. Bu nedenle demiryolu işletmecileri tesislerini, çalışanlarını ve yolcuları korumak için çeşitli güvenlik önlemleri almaktadırlar. Son yıllarda, artan taleplere paralel olarak, uzun demiryolu hatlarında güvenlik ihlallerine karşı denetleme ve tespit sistemleri geliştirilmiştir. Bu çok modlu pasif infrared, optik fiber ve mikrodalga sensörleri kullanılarak tespit sağlayan sistemler, hat üzerine onaylanmayan girişleri tespit edebilmekte ve işletme güvenliğini sağlamaktadır [4]. Taşımacılıkta güvenliği artırmak için doğal afetler dâhil tüm risk faktörlerini değerlendiren ve çıkabilecek olumsuz sonuçları bertaraf edecek çeşitli akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları da kullanılmaktadır [5,6,7]. Özellikle yüksek hızlı hatlarda bu güvenliğin sağlanması telafisi güç olumsuzlukların önüne geçmektedir. Şekil 2’de bu senaryoları dikkate alan algılayıcı akıllı sistemler yer almaktadır [7].



Şekil 2. Akıllı demiryolu sistemleri [6]

3.3. Modlararası ulaşım ve sevkiyat sistemi

Yük taşımacılığında kütleli etki göz önüne alındığında, kentsel bölgelerde çevre için negatif etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu olumsuz etkiyi en aza indirebilmek ve verimliliği artırabilmek için mobil cihazların kullanıldığı trafik yönetim sistemleri önemli uygulanabilir AUS’leri arasındadır. Ulaşım sisteminde verimli trafik akışını sağlamak oldukça karmaşık olduğundan fonksiyonel tasarlanmış pek çok parametreyi dikkate alan AUS tercih edilmektedir. Altyapı, araçlar, yönetim, yoğunluk, trafik, güvenlik ve enerji sarfiyatı gibi pek

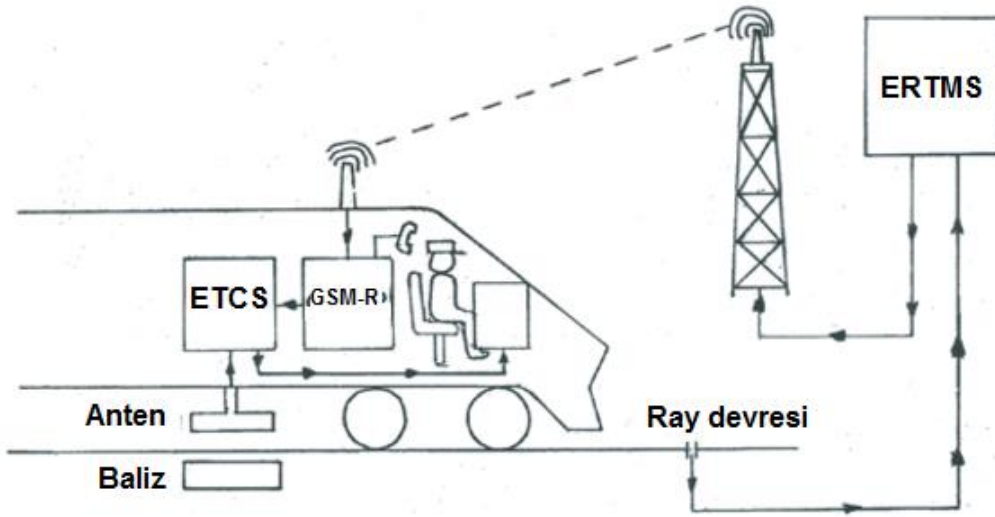
çok girdiyi dikkate alan, özel taşımacılık işletmeleriyle koordine, birden fazla ulaştırma modunu değerlendiren ileri seviye telematik bilgi sistemleri yük taşımacılığında önemli bir bileşendir [8]. Yük taşımacılığında kullanılacak AUS, verimliliği artırıp maliyetlerin düşmesini sağlayacaktır. Çevresel olumsuzlukların en aza indirilmesinin yanı sıra, güvenli nakliye konusunda da gelişimlere neden olacaktır. Gelecekte çok modlu taşımacılığın şekillenmesinde gerçek zamanlı veri akışını içeren AUS önemli bir paya sahip olacaktır [9].

3.4. Uluslararası projeler ve elektronik tren-trafik kontrol, sinyal ve bilgi sistemleri

Avrupa Birliği çeşitli projelerle raylı sistemlerde akıllı ulaştırma sistemlerinin yaygınlaşması için teknik projelere destek vermektedir. Avrupa Birliği'nin 2020 yılı ve ulaştırma politika stratejilerine uygun olarak, demiryolu ürünlerinde araştırma ve geliştirme olanakları sağlayacak ve bu araştırma geliştirme neticesinde ortaya çıkacak gelişmiş yeni teknoloji ürünlerin sistemlere entegrasyonunu sağlayacak yeni projeleri desteklemektedir. Shift2Rail kamu ve özel sektör ortaklarının dâhil olduğu geleceğin demiryolu sistemlerinin inşasına odaklanmış bir Avrupa Birliği programıdır. Bu program sayesinde maliyet açısından verimli, güvenilir, yüksek kapasiteli ve yüksek hızlı trenlerin üretilmesi hedeflenmektedir. Bu teknolojilerin uzun vadeli sonuçları olarak, demiryolu sistemlerinde yolcu konforunun iyileştirilmesi dışında, %15 kapasite artışı, işletme güvenliği ve zamanında ulaşım konusunda %50 iyileşme, sistemlerin enerji verimliliği konusunda %30 iyileşme, araç ve hat bakım maliyetlerinde %40 düşüş beklenmektedir. Bu projeler ile yeni elektronik bileşenler kullanılarak, yüksek hız için motor tekerlek ekipmanlarını içeren yeni çekiş teknolojileri geliştirmek, kablosuz iletişim teknolojileri kullanılarak trenlerin birbirine bağlanması ve ayrılmasını içeren esnek ve güvenilir demiryolu araçlarının oluşturulmasını sağlamak, oluşan gürültüyü kaynağında yok eden tasarımlar, yolcu, yük ve şehir içi trenlerin işletilmesi için enerji verimliliği sağlayan sistemlerin tasarımı programın temel amaçları arasındadır [10].

Sinyalizasyon ve araç kontrolü konularında, Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi (ERTMS) ve Avrupa Tren Kontrol Sistemlerinin (ETCS) gelişimi için Avrupa Birliği çeşitli projelerle 2007-2013 periyodunda bir milyar Euro'nun üzerinde destek vermiştir [11]. Günümüze yüksek hızlı trenler farklı navigasyon sistemleri ile donatılmıştır. Bu sistemler hem yer kaplamakta, hem de farklı ülkelere giden trenler için sinyal ve kontrol sistemlerinde uyumsuzluklara neden olmaktadır. 20'den fazla tren kontrol sisteminin varlığı ve her birindeki teknik farklılıklar Avrupa'da uluslararası demiryolu taşımacılığının önünde engel teşkil etmiştir. İletişimi sağlayan ayrı bir şebeke olan GSM-R, ERTMS ve ETCS ile ulusal kontrol ve kumanda sistemlerinin yerine, Avrupa'da tek bir sistem ile kesintisiz Avrupa raylı

sisteminin oluşumu büyük ölçüde sağlanmıştır. Bu sistemler seviye 1, seviye 2 ve seviye 3 olarak hızın denetiminden, makinistin hata yapmasını önleyen kontrol ve uyarı sistemlerine kadar işletme ve altyapı gerekliliklerini iyileştiren sistemler olarak bilinmektedir ve halen gelişimine devam etmektedir [12]. Şekil 3’de bu sistemlerin bileşenleri şematik olarak görülmektedir [13]. Çin’de ise yüksek hızlı tren hatlarında Avrupa’daki sisteme benzer üç seviyeden oluşan CTCS tren kontrol sistemini geliştirmiştir [14]. Ülkemizde ise mevcut yüksek hızlı tren hatlarında GSM-R, ERTMS ve ETCS sistemleri faaliyet göstermektedir. Konvansiyonel hatların pek çoğunda ise mevcut sinyal sisteminin tamamlayıcısı olan, ATS olarak bilinen otomatik tren durdurma sistemi mevcuttur. Bu sistem demiryolu üzerinde güvenli tren trafiğini sağlamak amacıyla geliştirilmiş ve işletme altındaki sisteme entegre edilmiştir.

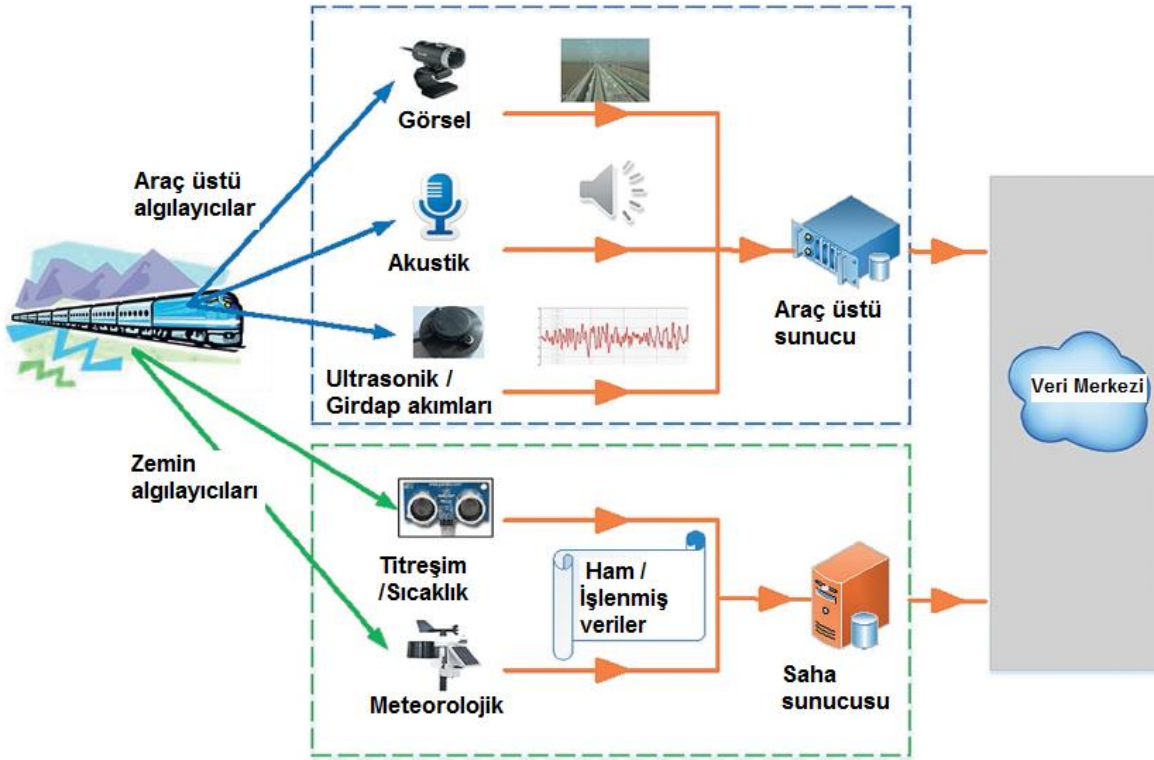


Şekil 3. ETCS ve ERTMS sistem ekipmanları [13]

3.5. Altyapı ve tren hattı gözetleme sistemleri

Modern demiryolu sistemleri klasik karmaşık fiziksel sistemlerdir ve bu fiziksel sistemler bilgisayar tabanlı algoritmalarla kontrol edilmektedir. Örneğin tren kontrol sistemleri sadece kendi cihaz ve ekipmanları ile veri toplayan cihazlar değil aynı zamanda trenler arasında bilgi alışverişi sağlayan ve eş zamanlı işletme durumlarını kontrol merkezleriyle paylaşan, birbiriyle bağlantılı iletişim merkezleridir. Demiryollarında en temel bileşen olan rayın muayenesi güvenilir işletmecilik için oldukça önemlidir. Ray muayenesi yüzey ve yüzey altı kusur tespitini, ray geometrisinde oluşan bozulmaları, bağlantı elemanlarındaki kusurları içermektedir. Bu sistemler ultrasonik muayene cihazlarını, girdap akımları ile muayene cihazları, yüksek çözünürlüklü kameralardan oluşan görsel muayene cihazları, akustik

emiyon cihazları, titreşim ve sıcaklık ölçüm cihazları gibi çeşitli cihazların bireysel ve koordineli çalışmasıyla oluşan sistemlerdir [7]. Bu sistemler Şekil 4’de özet olarak verilmiştir.



Şekil 4. AUS tabanlı ray ve hat muayene sistemleri [7]

Bu sistemlerin bir kısmını kapsayan test ve ölçüm treni Piri Reis, TCDD envanterinde yer almakta ve mevcut işletme altındaki hatlarda ve işletmeye alınacak hatlarda ölçümler almaktadır. Uluslararası standartlara uygun olarak ölçümler alan, yüksek çözünürlüklü kameralar, ivmeölçer ve yük ölçer gibi çeşitli sensörleri içeren, yol ve katener hattı ölçüm ekipmanları ve dinamik muayene sistemini içeren yüksek hızda 50’den fazla veri toplayan ölçüm treni Şekil 5’de yer almaktadır.



Şekil 5. TCDD YHT hatlarında test ve ölçüm yapan Piri Reis treni [15]

Son yıllarda hızla gelişen akıllı ulaştırma sistemleri sonucu farklı kaynaklardan pek çok veri toplanmakta ve bu veriler işlenerek farklı paydaşların kullanımına sunulmaktadır. Toplanan çok miktardaki veri, konvansiyonel akıllı ulaştırma sistemlerinde gelişmelere neden olmaktadır. Konvansiyonel teknolojik sistemler; daha kuvvetli, çok fonksiyonlu, kendi kendine öğrenen algoritmalar içeren ve gelişen, veriye dayalı sonuçlar çıkartan daha akıllı ulaştırma sistemlerine devinmektedir [16].

4. Sonuçlar

Ulaşım alanındaki gelişmeler, bölgelerin ekonomik ve sosyal gelişimine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Diğer ulaştırma sistemlerindeki yükü dengelemek ve daha az enerjiyle daha çok ulaştırma imkânı sunmak amacıyla raylı sistemler gelişmiş devletlerin pek çoğunda tercih edilmektedir. Rekabetçi sektör göz önüne alındığında raylı sistemlerin desteklenmesi uzun vadede kararlı ve sürdürülebilir yapıların oluşumuna katkı sunacaktır.

Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC) saatte en az 250 km hız yapabilen demiryolu araçlarını hızlı tren olarak sınıflandırmış ve ülkemizde de bu teknoloji ilk kez 2009 yılında Ankara-Eskişehir hattında işletmeye alınmıştır. Ülkemizde altyapı yatırımlarının artmasıyla hızla yaygınlaşan yüksek hızlı tren teknolojisi yukarıda bir kısmının teknik ayrıntılarının açıklandığı pek çok akıllı ulaştırma sistemlerini içermektedir. Bu teknolojilerin etkin ve verimli olanlarının doğru şekilde seçilebilmesi için hükümetlerin ve politikacıların karar vermesini desteklemek amacıyla uzmanlar ve araştırma enstitüleri yeni teknolojilerin anlaşılması ve geliştirilmesi noktasında araştırmalar ortaya koymalıdır.

Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde altyapı yatırımlarıyla eşzamanlı olarak akıllı ulaştırma yatırımları da gelişmeli ve uygun olan yatırımlar için stratejiler geliştirilmelidir. Akıllı ulaştırma sistemlerinin gelişimi sadece ulaştırma sektörüne değil, birçok yüksek teknoloji iş kollarında da potansiyel uygulama alanı bulup cazip yatırımlar haline gelecektir.

Her ülke kendi ihtiyaçları ve öncelikleri doğrultusunda AUS teknolojilerini geliştirmelidir. Uygulanabilirlik ve ürünün sektör tarafından kabul görmesi en temel değerlendirme kriterleri olmalıdır. Ülkemiz için yukarıda sıralanan sistemlerden bir kaç özelliikle yeni yapılan ve işletmeye alınan yüksek hızlı tren hatlarında uygulama imkânı bulmuştur. Yüksek hızlı hatların yanında, konvansiyonel hatlarda dahil edilerek, fayda maliyet analizi dikkate alınarak sıralanan sistemlerin mevcut hatlara ve inşası devam eden hatlara entegre edilmesi ülkemizde demiryolu sektörünün kararlı ve sürdürülebilir şekilde gelişimine katkı sağlayacaktır.

Bu sistemlerin uygun şekilde entegrasyonu için belirli ölçülerde uluslararası işbirliklerine de ihtiyaç vardır. Ulusal ve uluslararası stratejileri gözeten AUS için disiplinler arası çalışmaların ve uluslararası işbirliğinin, pratik uygulanabilirlik ve süreklilik anlamında önemi açıktır.

Kaynaklar

- [1] Ning, B.; Tang, T.; Gao, Z.; Yan, F.; Wang, F.Y.; Zeng, D. Intelligent Railway Systems in China, *IEEE Intelligent Systems*, 2006, 80-83.
- [2] Wang, X.; Zhang, F.; Li, B. ve Gao J. Developmental pattern and international cooperation on intelligent transport system in China, *Case Studies on Transport Policy*, **2017**, 5, 38–44.
- [3] Garambaki, A.H.S.; Thaduri, A.; Seneviratne, A.M.N.D.B. ve Kumar, U. Opportunistic inspection planning for Railway eMaintenance, *IFAC-PapersOnLine*, **2016**, 49-28, 197–202.
- [4] Catalano, A.; Bruno, F.A.; Galliano, C.; Pisco, M.; Persiano, G.V.; Cutolo, A.ve Cusano, A. An optical fiber intrusion detection system for railway security, *Sensors and Actuators A*, **2017**, 253, 91–100.
- [5] Ehlers, U.C.; Ryeng, E.O.; McCormack, E.; Khan, F. ve Ehlers, S. Assessing the safety effects of cooperative intelligent transport systems: A bowtie analysis approach, *Accident Analysis and Prevention*, **2017**, 99, 125–141.
- [6] Janušová, L. ve Čičmancová, S. Improving Safety of Transportation by Using Intelligent Transport Systems, *Procedia Engineering*, **2016**, 134, 14 – 22.
- [7] Li, Q.Y.; Zhong, Z.D.; Liu, M. ve Fang W.W. Smart Railway Based on the Internet of Things, *Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence*, Chapter 14, 2017.
- [8] Małeckı, K.; Iwan, S. ve Kijewska, K. Influence of Intelligent Transportation Systems on reduction of the environmental negative impact of urban freight transport based on Szczecin example, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **2014**, 151, 215 – 229.
- [9] Mondragon, A.E.C.; Lalwani, C.S.; Mondragon, E.S.C; Mondragon, C.E.C; Pawar, K.S. Intelligent transport systems in multimodal logistics: A case of role and contribution through wireless vehicular networks in a sea port location, *Int. J. Production Economics*, **2012**, 137 165–175.
- [10] Peris, E. ve Goikoetxea, J. Roll2Rail: new dependable rolling stock for a more sustainable, intelligent and comfortable rail transport in Europe, *Transportation Research Procedia*, **2016**, 14, 567 – 574.
- [11] <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility/cef-transport/projects-by-transport-mode/ertms>
- [12] <https://www.railengineer.uk/2017/04/25/ertms-level-3-a-possible-way-forward/>
- [13] <http://www.christianbruun.dk/ERTMS.html>
- [14] Dong, H.; Ning, B.; Cai, B.; Hou, Z. Automatic Train Control System Development and Simulation for High-Speed Railways, *IEEE Circuits and Systems Magazine*, **2010**, 10 2 6-18.

[15] <http://www.tcdd.gov.tr/haberler/BAKAN%20YILDIRIM;%20ANKARA-KONYA%20YHT%20HATTININ%20TEST%C4%B0N%C4%B0%20-%C4%B0R%C4%B0%20RE%C4%B0S-%20YAPACAK/313>

[16] Zhang, J.; Wang, F.Y.; Wang, K.; Lin, W.H.; Xu, X.; Chen, C. Data-Driven Intelligent Transportation Systems: A Survey, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **2011**, 12, 4, 1624-1639.