



Araştırma Makalesi / Research Article

**RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA RAMS VERİLERİNİ VE
TEKNİKLERİNİ KULLANARAK, ARAÇ PERFORMANSINI, BAKIM VE
ARIZA GİDERLERİNİ İYİLEŞTİRMEK***

**IMPROVING ROLLING STOCK MAINTENANCE PERFORMANCE BY USING RAMS
DATA AND TECHNICS**

Turgay KADIOĞLU¹

Tuncer TOPRAK²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
turgay.kadioglu@metro.istanbul

Geliş Tarihi / Received
30.04.2020

Kabul Tarihi / Accepted
03.06.2020

Öz

Bu çalışmada, Bakım kavramının anlamı ve bakım süreçleri detaylı olarak incelenmiş, uluslararası literatürde ve raylı sistem pratik uygulamalarında bakım süreçleri nasıl takip ediliyor konusu detaylandırılmıştır. İngilizce kelimelerin baş harflerinden oluşan RAMS kavramı, Güvenilirlik (R), Kullanılabilirlik (A), Sürdürülebilirlik (M) ve Emniyet (S) olarak adlandırılmaktadır. RAMS yönetimi, EN 50126 standardına uygun olarak ortaya çıkan taleplerin yerine getirilmesiyle ve yerine getirilen performansın sayısal olarak ispatlanmasıyla yapılır. Bakım yöntemlerinin bir çıktısı olarak şehir içi raylı sistem araçlarında oluşan arızaların, RAMS yöntemleri ile elde edilen istatistiki verileri incelenerek, elde edilen bu veriler sistem bazlı detaylandırılarak ve arızaların kök sebepleri bulunarak anlamlı hale getirilmiş, bakım ve arıza giderlerini azaltabilmek amacıyla verilerin nasıl kullanılacağı, örneklerle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci bakım, metro, periyodik bakım, RAMS, raylı sistemler.

Abstract

In this study, investment models for rolling stock final assembly facility installation that can be performed in Turkey were analyzed. In the investment models, the processes starting from Carbody Final Assembly until the provisional acceptance by the customer were taken into the consideration for metro sets consisting of four metro vehicles. The infrastructure and investment costs of the Carbody Final Assembly Facility, which should be built depending on the production speed of the metro vehicle, were calculated. Annual production amounts, total production times and total production amounts required to cover the investment to be made were analyzed financially for six different scenarios. As a result of the study, it is aimed to determine the most appropriate facility infrastructure and total investment cost if decision is taken for establishment of Carbody Final Assembly Facility for the metro vehicle production.

Keywords: Metro, RAMS, rolling stock, predictive maintenance, periodical maintenance.

*Bu çalışma, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan "RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA RAMS VERİLERİNİ VE TEKNİKLERİNİ KULLANARAK, ARAÇ PERFORMANSINI, BAKIM VE ARIZA GİDERLERİNİ İYİLEŞTİRMEK" başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. turgay.kadioglu@metro.istanbul, [Orcid.org/0000-0002-5619-6634](https://orcid.org/0000-0002-5619-6634).

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. ttoprak@ticaret.edu.tr, [Orcid.org/0000-0002-0931-4087](https://orcid.org/0000-0002-0931-4087).

1. GİRİŞ

Günümüz teknoloji çağının en büyük fenomeni, big data olarak adlandırılan büyük verinin analiz edilmesi ve bu verinin hedefler doğrultusunda kullanılmasıdır.

Çevremizde, dijital ortamda, internet ortamında, içinde bilgisayar olan her yerde anlık binlerce veri üretilmekte veya oluşmaktadır. Fakat bu aşamada en önemli sorun, üretilen verilerin anlamlı hale getirilerek, yorumlanması ve faydalı işler için kullanılmasıdır.

Aynı şekilde raylı sistem araçlarında da, anlık olarak birçok veri üretilmekte ve oluşmaktadır. Örneğin, araç hızı, frenleme sayısı, motor akımı, motor hızları, tekerlek hızları, yolcu kapısı kapanma ve açılma sayısı, kapıların açılıp kapanma süreleri, klima çalışma süreleri, kompresör çalışma süresi, araçların aldığı yol, anlık araç hızları, motor akımları, ortam sıcaklıkları, toplam arıza sayıları, arızanın ne zaman oluştuğu, arızanın nerde oluştuğu, arıza oluştuğunda diğer ekipmanların durumu, aracı kimin kullandığı gibi binlerce veri anlık olarak akıp gitmektedir.

Araçlarda oluşan teknik sorunları çözmek için, araç mimarisine ve aracı oluşturan sistemler üzerinde derin bir bilgiye sahip olmak gerekir. Ancak bu derin bilgi ve tecrübe ile arzu edilen etkinlikte, araçlarda oluşacak teknik sorunlar çözülebilmektedir. Bir sorunu çözmek için; parça bazlı arızayı analiz etmenin yanında, aracın üzerindeki tüm sistemleri bütüncül bir yaklaşımla bakmak da gerekmektedir.

Bir bakım-arıza ekibinin teknik başarısından bahsedilebilmesi için arzu edilen hedef, arızaya ilk müdahale edildiğinde etkin, hızlı ve tekrar etmeyecek şekilde sorunları çözebilmektir. İşte bu başarının hesabında kullanılan yöntemlerin başında RAMS performans kriterleri gelmektedir.

Son 15 yılda ülkemize alınan raylı sistem araçlarının teknik şartnamelerinde, araç performansını ölçmek için Uluslararası Standart, EN 50126 Demiryolu Uygulamaları Güvenilirlik, Elde Edilebilirlik, Bakım Yapılabilirlik ve Emniyet (RAMS) Tarifler ve Gösterimler referans olarak alınmakta ve bu kriterlere göre araçlardan veriler toplanmakta ve kayıt edilmektedir. Toplanan ve kayıt edilen bu veriler, sınıflandırılır, süzülür ve anlamlı hale getirilir.

Raylı sistemde, sözleşmelerle alınan araçların veya sistemlerin performanslarını ispat etmeleri için standarda uygun olarak belirlenen RAMS kriterlerini geçmeleri gerekmektedir. RAMS kriterlerini geçebilen araçlar veya sistemler artık kendilerini ispatlamış sayılırlar, artık istenen seviyede performans verebilir durumdadırlar. Kendini ispat etmek kavramının RAMS’da karşılığı ise, istenen süre içinde belirlenmiş sayısının üzerinde arıza vermemek, ihtiyaç duyulduğunda hizmet verebilir durumda olmak, belirlenen süreler içinde tamir ve bakım yapılabilir olmak ve operasyonları belirli güvenlik kriterlerini yerine getirerek emniyetli bir şekilde sağlayabilmektir.

1.1.RAMS Kavramı

RAMS kavramı, Fonksiyonel Güvenlik süreçlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. RAMS’ın temelinde; belirli işlemlere göre tutarlı yaklaşımlarla güvenilir olma, emre amade/çalışır durumda olma, bakım yapılabilme ve emniyet gibi 4 ana madde bulunmaktadır. RAMS ise İngilizce 4 kelimenin baş harflerinin birleşimidir. Bunlar aşağıdaki kelimelerden oluşmaktadır;

- Reliability (Güvenilirlik)
- Availability (Hazır bulunma/ emre amadelik)
- Maintainability (bakım yapılabilirlik)
- Safety (Emniyet)

Bunlar sırasıyla bir sistemin ne kadar sıklıkla arızalanıyor? Ne kadar sistem çalışır durumda? Yeniden işler hale gelme ne kadar zaman almakta? Arızalar ile bağlantılı riskler nelerdir? Sorularına cevap arayan, verilere ve analizlere dayalı yöntemler topluluğudur.

Demiryollarında emniyet ve güvenlik kriterleri sistemin planlama, tasarım ve işletmesinin her aşamasında önemli bir yer tutmakta ve uygulaması için ilgili uluslararası standartlarda detaylı olarak yer almaktadır. Bu kriterleri uygulamanın amacı, uygulamada emniyet ve güvenlikle ilgili olası her türlü tehlike ve kaza riskini belirlemek ve gerekli tedbirleri alarak uygulama aşamasında bu riskleri kabul edilebilir düzeye indirmektir (Toprak, 2010).

RAMS, bir sistemin ömrü boyunca oluşturulan mühendislik kavramları, metotları, vasıtaları ve tekniklerinin uygulanmasıyla sağlanan uzun vadeli işletmesine ait bir karakteristiğidir. Bir sistemin RAMS'ı sistem veya sistemi oluşturan alt sistemler veya bileşenlerin, belirtildiği şekilde görev yapması ve elde edilebilir ve hem de güvenli olması için güvenilirlik derecesinin bir nicel ve nitel göstergesi olarak karakterize edilebilir. Bir demiryolu sisteminin amacı belirli bir zamanda demiryolu trafiği için belirlenen bir seviyeyi güvenli bir şekilde başarmaktır. Demiryolu RAMS'ı sistemin bu amacın başarılmasını garanti edebileceği güveni tarif eder (Gündoğdu ve Dal, 2011).

Pratikte RAMS uygulamalarında EN 50126-1 (Demiryolu uygulamaları - Güvenilirlik, Elde Edilebilirlik, Bakım Yapılabilirlik ve Emniyet (RAMS) Tarifler ve Gösterimler) standardı referans alınır ve bu standardın önerdiği yöntemler ile RAMS süreçleri takip edilir. Bu standart, RAMS uygulamaları için tam bir yol göstericidir. RAMS yaşam döngüsü üzerine genel görüşleri değerlendirir. RAMS yönetiminin nasıl yapacağını anlatır. Sistematik süreçleri tarifleyerek farklı koşullar için takip edilebilir bir RAMS süreci kurulmasını sağlar. RAMS süreçlerinde üretici ile müşteri (işletmeci) arasında yaşanacak anlaşmazlıklara yol gösterir. Bu standartta talep edilen raylı sistemle ilişkili sertifikasyon işlemlerinin kurallarını oluşturur. Bu süreçleri takip edecek, raylı sistem paydaşları için bir onay süreci oluşmasını sağlar. Bu standart sistem hiyerarşisinin oluşturulmasını da sağlar. RAMS'in parçalarını ve uygulama alanlarını belirler. Özellikle RAMS'in takibi için arız sınıflandırılması (failure categories) yapılmasına yardımcı olur. Raylı sistemlerde RAMS isterlerinin tanımlanmasını sağlar, risk azaltıcı stratejileri belirler. Standartın temel fonksiyonu, raylı sistemlerde RAMS yönetiminin nasıl yapılacağını belirlemesidir.

Ekler bölümünde ise, RAMS planının nasıl yapılacağını temel örnekler vererek RAMS süreçleri için bir yol gösterici olduğunu ispatlamış olur.

1.2.Bakım Kavramı

Bir sistemin, talep edilen fonksiyonel yükümlülüklerini korumak, fonksiyonel durumunu eski konumuna getirmek veya muhafaza etmek amacıyla idari, yönetsel ve teknik tedbirlerin bir araya gelmesiyle oluşan çabaların tamamına bakım denir (DIN 31051, 2012).

Günümüzde bakımı; sistem ve cihazları etkin, verimli ve güvenilir bir şekilde çalışır durumda tutmak için yapılan çabaların toplamı olarak da tanımlayabiliriz.

Özellikle raylı sistem sektöründe mevcut filoların yaşlanması, sistemlerin ve ağların gün geçtikçe büyümesi, bakıma ihtiyaç duyan ekipman ve sistemlerin sayısını arttırmış ve ortaya çıkan bakım maliyet kalemlerinin şirketlerin bütçelerinde ciddi yer etmeye başlaması, sistemlerin çalışır durumdan arıza duruma geçip, şirket hizmet performansını ve verimini olumsuz etkilemesi, bakım faaliyetlerinin önemini daha da arttırmıştır.

Bu maliyetleri azaltmak adına yıllar içinde birçok çalışma yapılmış, her geçen sürede yeni yeni bakım yöntemleri ve stratejileri geliştirilmiştir.

Bakım yönetimi temelde 2 gruba ayrılır (Mobley, 2004).

- a) Sistem arızaya düştüğünde yapılan bakım
- b) Sistem arızaya düşmeden yapılan bakım

DIN 31051'e göre bakım dört ana gruba ayrılır.

1) Periyodik Bakım;

Mevcut aşınma rezervinin tükenmesini geciktirmek için alınacak önlemlerin tümü (DIN 31051, 2012). Servis formlarının oluşturulması, bakım planının oluşturulması, bakım güvenlik tedbirlerinin alınması, hazırlıkların ve güvenlik tedbirlerinin gözden geçirilmesi, bakım uygulaması, fonksiyon testi, geri dönüşlerin alınması.

2) Kontrol-Muayene:

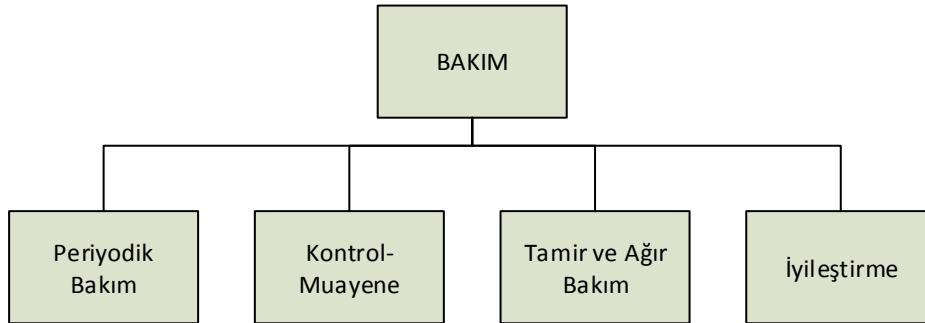
Mevcut durumun denetlenmesi ve değerlendirilmesi (DIN 31051, 2012).

3) Tamir ve Ağır bakım:

Bir sistemi, fonksiyonel olarak yeterli duruma geri getirmek (DIN 31051, 2012). Arızalı bir ekipmanın/ürünün fonksiyonunu tekrar yerine getirebilmesi için yapılan fiziksel aktiviteler.

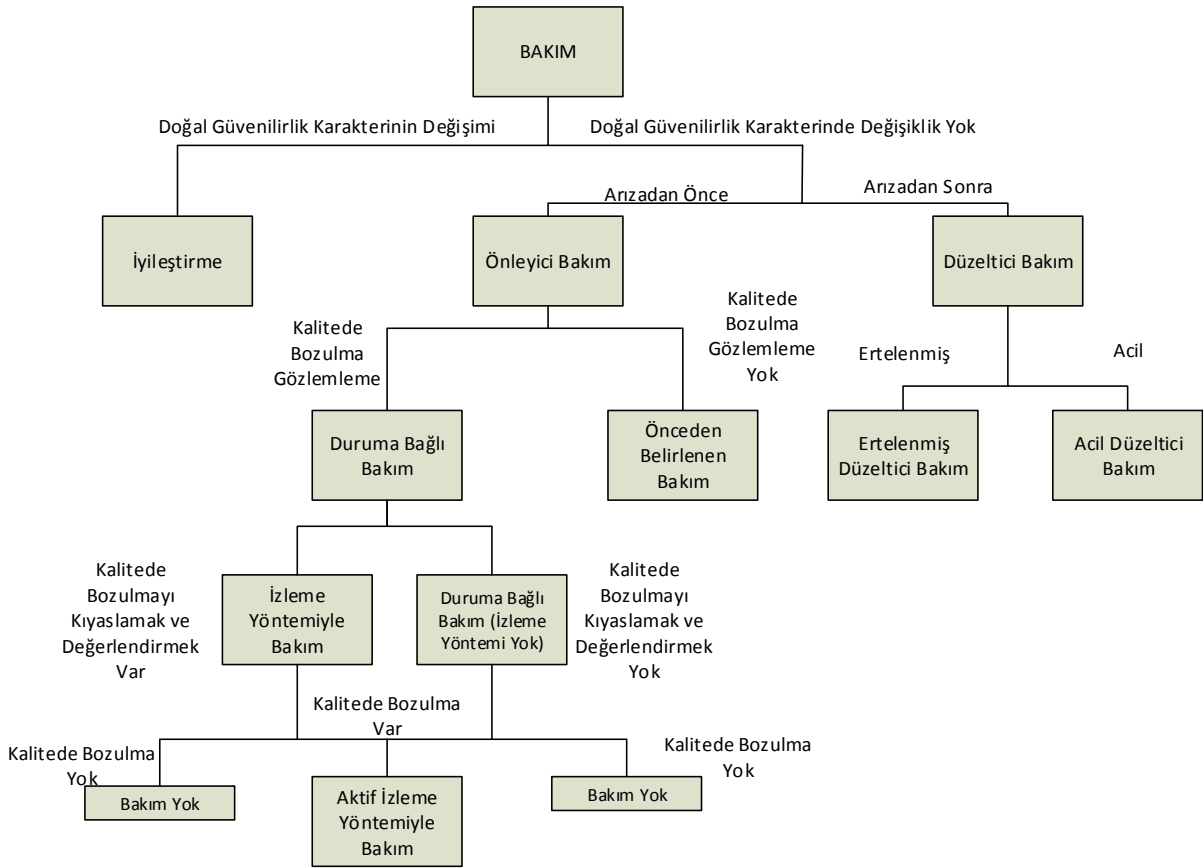
4) İyileştirme:

Sistemin fonksiyonlarında değişiklik olmadan güvenilirliğin (reliability) ve/veya bakım yapılabilirliğin (maintainability) ve/veya emniyetin (safety) iyileştirilmesi için alınan idari, yönetimsel ve teknik tedbirlerin tümünü kapsar (DIN 31051, 2012).



Şekil 1. Bakımın Tanımı ve Gruplandırılması (DIN 31051, 2012)

EN 13306 Bakım - Terimler ve tarifler standardında da, bakıma bakış 2 temel maddeye ayrılmış ve daha sonra bu bakımları çeşitlendirmiştir. 2017 yılında güncellenen EN 13306 Standartı ile bakım sınıflarına iyileştirme maddesi eklenerek, ana bakım sınıfları 3 gruba ayrılmıştır.



Şekil 2. Bakım Tipleri (EN 13306, 2017)

Geleneksel olarak sistematik, düzenli ve yaygın olarak yapılan bakımları temelde 3 gruba ayırabiliriz. Bunlar;

- Periyodik Koruyucu Bakım
- Düzeltilici Bakım
- İzleme Yöntemiyle Bakım

1.2.1. Periyodik koruyucu bakım

Bir parça ya da sistemde arıza oluşmadan önce, oluşacak arızayı önlemek için yapılan bakımdır. Parçanın arıza olasılığını ya da işleyişinin bozulmasının önlenmesi amaçlanan ve önceden belirlenen aralıklarla ya da önceden tanımlanan ölçüte uygun olarak yapılan bakımdır (EN 13306,2017). Bakımın kriterleri belirlenirken sistemin arıza istatistikleri çok önemlidir. Arıza sıklığına göre bakım periyotları, öne çekilebilir veya sistem uzun süre izlenerek bakım periyotları uzatılabilir. Bu çalışma için de arıza verilerinin işlenmesi ve tecrübe gereklidir.

1.2.2. Düzeltilici bakım (Arıza giderme)

Arıza oluştuğundan sonra, ekipman veya sistemi tekrar çalışır duruma getirmek için yapılan işlemlerdir. Arıza yapan bir parçanın veya bir sistemin gerekli işlevini yerine getirebilir duruma getirmek amacıyla ve kusurun tanımlanmasından sonra yapılan bakımdır. Arıza giderme en temel bakım faaliyetidir. Bu işlemi yapabilmek için yeterli yedek parçaya, yeterli fiziki altyapıya sahip olmakla birlikte belirli bir seviye üzerinde teknik bilgiye de sahip olmak gerekmektedir.

1.2.3. İzleme yöntemiyle bakım

Duruma bağlı olarak, parçanın bozulmasında etkili olan önemli parametrelerin değerlendirilmesi ve bilinen özelliklerden veya tekrarlanan analizlerden alınan tahminler takip edilerek yapılan bakımdır.

İzleme yöntemiyle bakımda temel amaç, sistemde veya ekipmanda bozulmaları takip ederek ve arıza yapma potansiyeli olan noktaları izleyerek arıza oluşmadan zamanında müdahale edebilmektir. Sistemde veya ekipmanda bir bozulma başlangıcı tespit edildiğinde algılayıcılar ve uyarıcılar (sensörler, ölçüm değerleri v.s.), kullanıcılara bilgi verir. Genelde, sınır değerlere ulaşıldığında gözlemlenen parça veya ekipman tamir edilir veya değiştirilir.

Her ne kadar standart çevirilerinde izleme yöntemiyle bakım, kestirimci bakım olarak anılsa da, bakım yapılacak zaman bilimsel ve deneysel verilere dayandığı için izleme yöntemiyle bakım olarak adlandırmak daha doğru olacaktır.

1.3. Dünyada Benzer Çalışmalar

2018 yılında CoMET and Nova grubu tarafından “bakımları geliştirmek için verilerin kullanılması” çalışması başlatılmıştır. CoMET and Nova grubu, İmperial College London Üniversitesi'ne bağlı olan ve dünya çapında metro işleten 39 farklı şehrin üye olduğu dünya metrolarını karşılaştırma yapmak (benchmarking) ve bilgi paylaşmak amacıyla kurulmuş bir çalışma grubudur. CoMET and Nova grubu tarafından veri toplama ve değerlendirme aşaması devam etmektedir. CoMET and Nova grubunun çalışmasında bakımı geliştirmek için kullanılan veriler, daha çok sistemlere eklenen sensörler ile sağlanmaktadır. Bu çalışmadaki amaç, işletmelerin sorumluluğu altındaki varlıkların (trenler, asansörler, yürüyen merdivenler, elektrik hatları, ray ve altyapı v.b.) takip edilmesi ve elde edilen verilerin bakımları geliştirmek için kullanılmasıdır. Elde edilen veriler ve sonuçlar üye işletmeler arasında paylaşılmaktadır ve grup izni olmadan üyeler dışında yayınlanmamaktadır.

Ayrıca, raylı sistem altyapılarında RAMS ve LCC (Life Cycle Cost) analizlerini kullanarak bakım kararlarının desteklenmesi konulu doktora tezi 2010 yılında yayınlanmıştır. Bu teze göre, geleneksel yöntemde bakım kararları, geçmiş tecrübeler sonucu alınmaktadır ve bu tez ile etkin bakım planlamasının RAMS analizlerinin uygulanması ile yapılabileceği gösterilmiştir (Patra, 2010). Bu çalışmada ray kırıkları ve ray altyapısı irdelenmiş ve RAMS ve LCC analizleri ile tren altyapısı bakım kararlarının geliştirilmesi sağlanmıştır.

Bunların yanında geniş kapsamlı bilgisayar programları (Reliasoft-AssetWise v.s.) güvenilirliği arttırmak ve bakım optimizasyonu sağlamak için kullanılmaktadır. Bu programlar üretim, tasarım ve bakım optimizasyonu için yapılmış olup güvenilirlik mühendisliği (reliability engineering) çalışma alanında yer alan faaliyetleri içermektedir. Çoğunlukta büyük üretim tesisleri, enerji santralleri, petrol platformları, yüksek güvenilirlik gerektiren askeri üretim tesisler, ülke çapında raylı sistem altyapısı gibi alanlarda kullanılmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İştirak Şirketi, Metro İstanbul A.Ş. tarafından işletilen T1 Tramvay hattında yer alan 55 adet Bombardier marka tramvay aracının 3 yıllık (2015-2016-2017) arıza verileri, bu incelemede kullanılmıştır. T1 tramvay hattı, Kabataş ile Bağcılar arasında

işletilmekte olup günlük yaklaşık 420.000 yolcu ile dünyanın en kalabalık tramvay hattıdır. Tek yönde 19km uzunlukta olup, toplam 31 istasyondan oluşmaktadır. İlgili tramvay araçları yaklaşık olarak yıllık toplam 4.250.000 km yol yapmaktadırlar. Bu kadar yolcu yoğunluğunun olduğu ve çalışma performansının maksimum beklendiği tramvay hattında, arızalara müdahale hızlı olmalı, arızalar çabuk çözülmeli ve araçlar mümkün olduğu kadar az arıza yapmalıdır.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada, RAMS teknikleri ile elde edilmiş veriler sayesinde en çok arızaya sebep olan raylı sistem araç sistemleri belirlenmiştir. Daha sonra bu sistemlerde arızaya sebep olan kök nedenler araştırılmıştır. Bazı sistemlerde arızaya sebep olan kök sebepler net olarak bulunmuş ve maliyet hesabı ile birlikte araç performansında iyileştirme yapmayı sağlayacak çözüm önerileri sunulmuştur.

Araçların performansını ölçmek için elde edilmiş RAMS dataları temel veri kaynağı olarak alınmıştır. RAMS yöntemiyle toplanan arızaların verileri, LRU (Line Replacable Unit) seviyesindedir (EN 50126-3, 2008). Bu çalışmada, RAMS verileri detaylandırılmıştır. Bu veri setinden faydalanılarak arıza-kök sebep ilişkisi kurulmuştur.

Araç üzerinde yapılacak iyileştirmeler ile oluşan arızaların istatistiği karşılaştırılmıştır. Arızanın kök sebebine odaklanarak, yapılacak iyileştirmenin maliyet açısından çıktıları bulunmuştur. Yapılması planlanan iyileştirmelerin mali açıdan uygulanabilir olup olmadığı araştırılmıştır.

Bu çalışmada;

1. Metro İstanbul'un işletmekte olduğu T1 Tramvay hattındaki tramvay araçlarında, 3 yıl süreyle ve RAMS yöntemleri ile elde edilen arıza verileri tek tek incelenmiştir.
2. 6396 adet veri (arıza satırı) manuel olarak gruplandırılmış ve arızalara alt -sınıflara ayrılmıştır (Tablo 1).
3. Araçların performansını bozan en kötü sistemler tespit edilmiştir.
4. Her sistemin en çok arızaya neden olan komponenti/parçası ya da imalat veya tasarımsal özelliği detaylı olarak analiz edilmiştir.
5. İncelenen her sistem için, sistemin dolayısıyla aracın performansını arttıracak öneriler sunulmuştur.

Tablo 1. Üç Yıllık Arıza Listesinden Arıza Kök Sebeplerinin Tespiti

Hat Id	Arıza	Araç Adı	Arıza Id	Arıza Tanımı	Arıza Tarihi	Arıza Sebebi	İş Emri Açıklama	Rapor Sistem Adı
2431	740 nolu vagonunda 619 nolu arıza aktif.	740 BOMBARDIER ARAÇ	660	Fren Bilgisayarı Fkütü De Küçük Arıza.	27.12.2017 20:33	Fren hortum	HPU kısa hortum değişti	Fren Sistemi
2431	726 nolu vagon 631 nolu arızayı verip geçiyor.	726 BOMBARDIER ARAÇ	672	Komut Olmadan A Bogi Ray Freni Uygulandı	27.12.2017 16:45	Ray fren kablo	Yapılan kontrollerde A Bogi sağ ray fren kablosu Bogi üzerindeki kablo tutucu dibinden kopuk olduğu görüldü kablo onarıldı.	Fren Sistemi
2431	704 nolu aracın 8 nolu kapısı açılmıyor.	704 BOMBARDIER ARAÇ	448	8. Kapı Arızalı.	27.12.2017 12:52	KKÜ	Kapı kontrol ünitesi değiştirilerek arızası giderildi.	Kapılar
2431	739 nolu aracın 4 nolu kapısı kapanmamaktadır.	739 BOMBARDIER ARAÇ	466	4. Kapı Arızalı.	27.12.2017 07:38	Mekanik hasar	Kapı acil musluğunun tam kapanmadığı tespit edildi. Musluk kapatılarak arızası giderildi.	Kapılar
2431	751 nolu aracın 6 nolu kapısı açılmıyor.	751 BOMBARDIER ARAÇ	460	6. Kapı Arızalı.	27.12.2017 06:07	KKÜ	Ünite değiştirildi.	Kapılar
2431	725 nolu aracın 5 nolu kapısı açılmıyor.	725 BOMBARDIER ARAÇ	465	5. Kapı Arızalı.	25.12.2017 13:52	KKÜ	Kapı kontrol ünitesi değiştirildi.	Kapılar
2431	709 vagonunda 624 ve 625 nolu arızalar aktif.	709 BOMBARDIER ARAÇ	665	B Kısım Yük Sensörü Ölçüm Sınırı Dışında	24.12.2017 23:50	Fren konektör pin	Nolu aracın 624-625 nolu arızasına bakıldı. B yük sensörü konektörleri ve pinleri değiştirildi.	Fren Sistemi
2431	3 nolu kapı arızalı.	734 BOMBARDIER ARAÇ	459	3. Kapı Arızalı.	24.12.2017 00:00	KKÜ	Kapı kontrol ünitesi değiştirildi.162470	Kapılar
2431	728 vagon 6 nolu kapı arızalı açılmıyor.	728 BOMBARDIER ARAÇ	460	6. Kapı Arızalı.	23.12.2017 13:00	KKÜ	Kapı kontrol ünitesi değiştirildi.162469	Kapılar
2431	728 vagon 6 nolu kapı arızalı.	728 BOMBARDIER ARAÇ	460	6. Kapı Arızalı.	20.12.2017 11:32	KKÜ	Kapı kontrol ünitesi değiştirildi.	Kapılar

Araç performansı, MDBF değerinin yükseltilmesi ile artar. Bunun için formül (2.1)'de yer alan "Bu süre içinde ortaya çıkan arıza sayısı"nı en azda tutmak gerekir.

$$MDBF = \frac{\text{Araçların yaptığı toplam km değeri}}{\text{Bu süre içinde ortaya çıkan arıza sayısı}} \quad (2.1)$$

Bunun yanında, A (Elde Edilebilirlik-Emre Amadelik/Hazır Bulunma Availability) değeri de yüksek tutmak bir diğer performans parametresidir. Denklem (2.2)'de görüleceği gibi MTTR değeri düşük tutmak, yani arızaları çok hızlı şekilde tamir etmek ve/veya MTBF değeri yüksek tutmak, performansı arttıracak bir diğer yöntemdir.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (2.2)$$

Dolayısıyla araç performansını iyileştirme için, araçlar daha az arıza yapmalı ve eğer arıza yapacak olursa çok hızlı tamir edilmelidir.

Tablo 2'de verilen 3 yıllık MDBF (Arızalar arası geçen ortalama mesafe değeri (Mean Distance Between Failures)) gözükmemektedir. Aşağıdaki tabloda görüleceği üzere arıza yapma sıklığı giderek artmakta ve araçların performansı düşmektedir. Bu sonuç analiz ve iyileştirme yapmak gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 2. T1 hattı tramvay araçları 3 yıllık MDBF verisi

MDBF(km)-BTA 2015												
MDBF (km)	Oca.15	Şub.15	Mar.15	Nis.15	May.15	Haz.15	Tem.15	Ağu.15	Eyl.15	Eki.15	Kas.15	Ara.15
Gerçekleşen	3850	2873	3835	4448	5488	4716	3378	3628	3491	4334	4440	4266
Hedef	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482
MDBF(km)-BTA 2016												
MDBF (km)	Oca.16	Şub.16	Mar.16	Nis.16	May.16	Haz.16	Tem.16	Ağu.16	Eyl.16	Eki.16	Kas.16	Ara.16
Gerçekleşen	3170	4341	3268	4107	4311	2867	3628	3276	3337	3751	2785	3230
Hedef	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482
MDBF(km)-BTA 2017												
MDBF (km)	Oca.17	Şub.17	Mar.17	Nis.17	May.17	Haz.17	Tem.17	Ağu.17	Eyl.17	Eki.17	Kas.17	Ara.17
Gerçekleşen	3339	3825	2812	4477	2257	2315	2326	2218	2677	3458	2364	3034
Hedef	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482	2482

MDBF değeri yüksek olması araç performansının iyi olduğu, MDBF değeri düşük olması araç performansının kötü olduğu anlamına gelmektedir. Örneğin; Bazı aylarda değerler yükselmesine rağmen Aralık 2015, Aralık 2016 ve Aralık 2017 değerlerini değerlendirdiğimizde, 4266km-3230km-3034km değerlerini görürüz. Buradan anlayacağımız, araçların arıza yapma ortalama km değeri düşmektedir ve araçlar daha sık arıza yapmıştır. Yani aracın arızasız çalışma performansı gitgide düşmektedir.

3. UYGULAMA

Tramvay aracının 3 yıllık RAMS verileri değerlendirilerek en çok arıza yapan sistemleri tespit edilmiştir. Bunlar arasında Yolcu kapıları, Fren sistemi ve Aydınlatma sistemi, CCTV sistemi ve Yolcu Klima sistemidir.

Tablo 3. RAMS Verileri ile Elde Edilen En Çok Arıza Yapan 5 Sistem

2015 Yılı En Çok Arıza Yapan Sistemler ve Arıza Sayıları												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hız.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Ka.	Ar.
Yolcu Kapısı	16	25	8	5	11	9	13	12	9	10	13	14
Aydınlatma Sistemi	20	9	12	10	11	4	12	13	12	8	7	20
Fren Sistemi	22	17	15	16	11	5	10	15	10	10	9	8
Yolcu Klima	6	5	13	12	14	6	15	15	10	12	5	5
CCTV Sistemi	22	10	4	3	6	10	9	4	7	4	5	8
2016 Yılı En Çok Arıza Yapan Sistemler ve Arıza Sayıları												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hız.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Ka.	Ar.
Yolcu Kapısı	14	15	7	10	13	18	13	22	17	13	16	22
Aydınlatma Sistemi	8	9	14	10	30	8	10	11	8	15	18	11
Fren Sistemi	11	16	20	17	19	21	8	21	12	8	10	11
Yolcu Klima	11	4	15	16	7	48	37	22	12	12	7	16
CCTV Sistemi	7	7	4	6	4	6	5	4	5	8	2	2
2017 Yılı Çok Arıza Yapan Sistemler ve Arıza Sayıları												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hız.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Ka.	Ar.
Yolcu Kapısı	11	12	17	4	22	12	20	15	16	11	17	16
Aydınlatma Sistemi	11	12	13	13	7	6	11	9	3	10	6	12
Fren Sistemi	27	15	18	27	15	17	25	14	9	9	9	7
Yolcu Klima	11	6	11	7	28	41	36	46	32	15	21	7
CCTV Sistemi	5	3	1	2	1	1	3	1	1	1	2	2

Arıza sayılarının artması MDBF değerlerine, dolayısıyla araç performansına olumsuz yansımaktadır. Bu arızaların azaltılmasını sağlanabilir ve arıza yapma sıklığının süresini uzatılabilirse, araçlar daha az arıza sebebiyle düzeltici bakıma daha az gelecekler, daha çok zamanda servise hazır bulunacaklardır ve emre amadelik performansları da artacaktır.

3.1. Yolcu Kapıları Arızaları Üzerinden Veri Analizi

2015-2016-2017 yılları arasında T1 Tramay hattında çalışan Bombardier araçlarının Yolcu kapıları arızaları detaylı incelendiğinde, arızaların %50,28'inin "kapı kontrol ünitesi" kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. T1 tramvay hattı araçları 3 yıllık kapı arızaları

3 Yıllık Kapı Arızaları	Arıza adedi	Yüzde
Kapı Kontrol ünitesi	270	50,28
Kilit Bobini	13	2,42
Kapı Ayarı	92	17,13
Light Barrier	36	6,70
Mekanik hasar	13	2,42
Sonsuz Dişli ve Motor	27	5,03
Push Button	6	1,12
Kapı Motoru	12	2,23
Konnektör	12	2,23
Switch/sensör	5	0,93
Kapı Lastiği	49	9,12
Kapı Acil Açma Kolu	2	0,37
Toplam	537	100

Örnek çalışma sonucunda, arızaların %50,28'inin Kapı Kontrol ünitelerinden kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır. Kapı kontrol ünitelerinde yapılacak iyileştirme çalışması ile, Kapı kontrol ünitesi kaynaklı arızalara son verilirse sistem üzerinde %50,28'lik bir iyileştirme sağlanacaktır. Böylece yolcu kapı arızaları neredeyse yarı yarıya azalacaktır.

Bu iyileştirmelerin sonucunda arıza ve bakım gideri ciddi oranda düşecektir. Aynı zamanda araç performansı da olumlu olarak etkilenecektir.

3.2. Yolcu Kapıları Arızaları Maliyet Analizi

Her oluşan arıza işçilik, malzeme, ekipman tamirat giderinin yanında raylı sistemlerde araçların seferden çekilmesine sebep olmaktadır. Araçların seferden çekilmesi, kurum prestijinin kaybına sebep olmakta, müşteri memnuniyetini de oldukça azaltmaktadır. Bu psikolojik kayıplar maddi olarak ölçülememekle birlikte, bunun yanında sefer kayıpları planlanandan daha az yolcu taşıdığı için maddi kayıplara da doğurmaktadır.

Maliyet çalışmasında, arızadan kaynaklı aracı hattan çekme maliyeti (enerji gideri, manevracı makinist maliyeti) gibi maliyetler hesaba katılmamıştır. Yolcu geliri de öğrenci ve tam ücret tutarları üzerinden daha önce elde edilen değerlerle karşılaştırılacak yaklaşık değer olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki yapılan hesapta, kişi başı yolcu geliri ortalama 1,9 TL olarak alınmıştır. Her dizili tramvay 1 seferinde ortalama 640 yolcu taşımakta olduğu varsayılmıştır. Servise mani olan ve yolcu boşaltmayı gerektiren her arıza da dizili tramvay başına en az 2 sefer kaybı demektir.

Tablo 5. Bir Adet Yolcu Kapı Kontrol Ünitesi Arıza Maliyeti

1 Ünite Arızası Maliyeti	Açıklama	Maliyetler	Toplam Maliyetler
1 Kapı Kontrol Ünitesi Değişimi İşçilik Gideri	2 adam saat 1 adam saat 13,6€	2x13,6€	27,20 €
1 Arıza İşletme Kaybı Maliyeti	1 sefer 640 yolcu, her arıza 2 sefer kaybı, yolcu geliri ort. 1,9TL 1,9TL=0,3€	640x2x0,3	384 €
1 Kapı Kontrol Ünitesi Tamiratu ve Lojistik	Tamirat= 50€ Lojistik Giderler=10	50€+10€	60 €
1 Kapı Kontrol Ünitesi Arızasının Toplam Maliyeti			471,20 €

Aşağıdaki hesaplamada, kapı kontrol ünitesinden kaynaklanan yıllık arıza maliyetleri çıkartılmıştır. Eğer tüm filoda ünite değişimi yapılırsa yapılacak yatırımın ne kadar sürede geri döneceği hesaplanmıştır. Bu hesaplamada araçların seferden çekilmesinin prestij kaybına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olan bedeli yansıtılmamıştır. Tablo 6' e göre bu yenileme maliyeti tüm filo için 8,8 senede kendini amorti edecektir.

Tablo 6. Tüm Kapı Kontrol Ünitelerinin Değişmesi Maddi Geri Dönüş Süresi

Geri Dönüş Süresi Hesabı	Açıklama	Maliyetler	Maliyetler TL
1 Adet Yeni Tip Kapı Kontrol Ünitesi Maliyeti	850€ Ünite	850 €	850 €
Eski Tip 1 Kapı Kontrol Ünitesi Arıza Maliyeti	Ünite Tamiri İşçilik Sefer Kaybı	471,20 €	
1 yıllık arıza sayısı	270 adet / 3 yıl		90 adet/yıl
1 yıllık arıza maliyeti	90x 471,2		42.408 €
55 araçlık Yeni Ünite Maliyeti	55araç x 8 Kapı x 850€		374.000 €
Geri Dönüş Süresi	374.000/42.408		8,8 yıl

T1 hattındaki tramvay araçlarının en az 20-25 sene daha kullanılacağı varsayılarak, bu revizyonun yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Eğer kapı kontrol ünitesi de ayrı bir ekipman olarak düşünülürse, bu elektronik kutunun da bir çok komponentten oluştuğu bilinmektedir. MTBF hesabı yapılırken, sistem içinde kullanılan her bir komponentin λ (Lambda) değeri bulunup, sistemin veya ürünün toplam MTBF değeri tespit edilir. Bu kapı kontrol ünitesi için de detaylı analiz yapıldığında arıza yapan parçaların hep aynı komponentler olduğu görülmüştür. O halde ürün değiştirmek yerine ürün içerisinde sorunlu parçayı değiştirerek veya fonksiyonunda iyileştirme yaparak yüksek maliyetlere girmeden sistemde iyileştirme yapmak mümkündür.

3.3. Fren Sistemi Arızaları Üzerinden Veri Analizi

2015-2016-2017 yılları arasında T1 Tramay hattında çalışan Bombardier araçlarının fren sistemi arızaları analiz edilmiştir.

Tablo 7. 3 Yıllık Fren Sistemi Arızaları Detay Çizelgesi

3 Yıllık Fren Sistemi	Arıza	Yüzde
Fren Hidrolik Hortum	103	20,04
Hidrolik Güç Ünitesi	96	18,68
Fren Kontrol Bilgisayarı	71	13,81
Yük Sensörü	71	13,81
Fren Kaliper	36	7,00
Hız Sensörü	36	7,00
Fren Konnektör	19	3,70
ren bağlantı kutusu	17	3,31
Röle-Kontaktör	16	3,11
Fren balata	13	2,53
Ray Freni	12	2,33
Fren Sigortası	12	2,33
Fren Disk	4	0,78
Buton-Diyot-muhtelif	8	1,56
Toplam	514	100

Yapılan bu analize göre, fren hortumlarının bağlantılarında ortaya çıkan hidrolik yağ kaçaqları, fren sistemi arızalarının %20'sini oluşturmaktadır.

Ayrıca Hidrolik Fren sisteminin kalbinde yer alan “Hidrolik Güç Ünitesi” arızaları da toplam fren sistemi arızalarının %19'una denk gelmektedir.

Arızaların detayına inildiğinde; fren hortumları arızaları, hidrolik güç ünitesi arızaları yeniden tanımlanacak bir periyodik bakımla önlenabilir gözükmemektedir.

Sistemsel olarak yapılacak iyileştirmeler veya uygulanacak bakım teknikleri ile bu arızalar oluşmadan gerekli tedbirler alınabilir.

Yapılacak iyileştirmeler ile fren sisteminde %39'luk bir iyileştirme sağlanabilir. Arız maliyet bölümünde hangi bölümde ne kadar iyileştirme yapılacağı ve bunun maddi kazançları belirtilmiştir.

3.4. Fren Sistemi Arızaları Maliyet Analizi

Tramvay araçlarında fren sistemi, en kritik sistemler arasında yer almaktadır. Bir tramvay aracının ortalama boş ağırlığı 35-45 ton arasındadır. Eğer tramvay araçlarının frenlemesi çalışmazsa araçlar çok yüksek hızlara ulaşır, önüne çıkana çarparak çok büyük maddi ve can kayıplarına sebep olabilir. İşte bu sebeple fren sistemi ters etkili çalışmaktadır.

Ters etkili fren; arabalarda bulunan fren sisteminin tersi olarak, tramvay araçları fren sistemi fren kaliperlerinde bulunan yaylar aracılığı ile sürekli frenleme sağlar. Araç gitme isteğinde, fren sistemine frenleri çözmesi emri gönderir.

Hidrolik sistemde hidrolik yağın etkisiyle, pnömomatik sistemde hava basıncının etkisiyle yay kuvveti yenilir ve fren balataları açarak aracın harekete başlaması için ortadaki durdurma gücü kalkar. İşte yüksek güçlerin ve kontrol sisteminin kullanıldığı fren sisteminde oluşacak arızalar, hem trenin hareketine engel olur hem de İşletme'nin sürekliliğini ve emniyetini tehlikeye sokabilir.

Bu sebeple Fren Sistemi, raylı sistem araçlarında en kritik sistemler arasında yer almaktadır.

Tablo 8. Bir Hidrolik Hortum Arızasının Yaklaşık Maliyeti

1 Fren Hidrolik Hortum Arızası Maliyeti	Açıklama	Maliyetler	Toplam Maliyetler €
Hortum değişimi	2 adam saat 1 adam saat 13,6€	2x13,6€	27,20 €
1 Arıza İşletme Kaybı Maliyeti	1 sefer 640 yolcu, her arıza 2 sefer kaybı, yolcu geliri ort. 1,9TL 1,9TL=0,3€	640x2x0,3	384 €
1 Fren Hidrolik Hortum Maliyeti ve Lojistik Maliyetler	Yeni Hortum= 20€ Yağ+ Lojistik Giderler=10€	20€+10€	30 €
1 Fren Hidrolik Hortum Arızasının Toplam Maliyeti			441,20 €

Tablo 9. Bir Adet Hidrolik Güç Ünitesi Arızası Yaklaşık Maliyeti

1 Fren Hidrolik Güç Ünitesi Arızası Maliyeti	Açıklama	Maliyetler	Toplam Maliyetler €
Ünite Değişimi	4 adam saat 1 adam saat 13	4x13,6€	54,40 €
1 Arıza İşletme Kaybı Maliyeti	1 sefer 640 yolcu, her arıza 2 sefer kaybı, yolcu geliri ort. 1,9TL 1,9TL=0,3€	640x2x0,3	384 €
1 HPU Tamir Maliyeti ve Lojistik Maliyetler	Yeni Valf-Motor-Sensör-Pompa tamir maliyeti	1200€	1200 €
1 Fren Hidrolik Güç Ünitesinin Arızasının Toplam Maliyeti			1638,40 €

Tablo 10. Hidrolik Hortum Revizyonu Maddi Geri Dönüş Süresi

Maddi Geri Dönüş Hesabı	Açıklama	Maliyetler	Maliyetler TL
Hortum arızanın maliyeti	441,2€	441,2€	441,2€
1 yıllık arıza sayısı	103 adet / 3 yıl	103/3	34,33 adet/yıl
1 yıllık arıza maliyeti	34,3x441,2 €		15.133 €
Hortum Bakım Maliyeti Hortum değişimi ve İşçilik	55araç x 3 hortum x (20€+27,2€)		7788 €
Geri Dönüş Süresi			0,5 yıl

Fren hortumlarında yapılacak revizyon ve iyileştirme ile, çok kısa sürede yapılacak yatırım kendini telafi edecek ve yaklaşık %20'lik arıza ve performans iyileştirmesine sebep olacaktır.

Tablo 11. Hidrolik Güç Ünitesi Revizyonu Maddi Geri Dönüş Süresi

Maddi Geri Dönüş Hesabı	Açıklama	Maliyetler	Maliyetler TL
Hidrolik Güç Ünitesi arızasının maliyeti	1638,40€	1638,40€	1638,40€
1 yıllık arıza sayısı	96 adet / 3 yıl		32 adet/yıl
1 yıllık arıza maliyeti	32adet x1638,4 €		52428 €
HPU Bakım Ortalama Maliyeti	55araç x 3 HPU x 1000€		165000 €
Geri Dönüş Süresi			3,14 yıl

Fren sisteminde her oluşan arıza, parça maliyeti ve sefer kayıp maliyetinin yanında, gözükmeyen mali kayıplara sebep olmaktadır. Gözükmeyen kayıpları şu şekilde sıralayabiliriz, kurumsal prestij kaybı, araç transferi için gereken iş gücü kaybı, kumanda merkezi-trafik dispeçerliği ve sorunun bilgilendirildiği üst yönetimin iş gücü kaybı, arızalı araç manevra riskleri v.b. sayılabilir. Bu giderlerle karşılaşmamak adına fren sisteminde aşağıdaki tedbirler alınabilir.

Hidrolik güç ünitelerinin, düzenli periyodik bakımlarının uzman fren sistemi atölyelerinde, ağır bakım süreci gelmeden tamir ve testlerinin yapılması bunların başındadır. Hidrolik hortum kırılmalarının görüldüğü bağlantı noktalarının incelenmesi ve arıza oluşmadan iyileştirilmiş bir tasarım ile düzenli değişimlerinin yapılması gerekmektedir. Hem hidrolik hortum, hem de güç ünitesinde yapılacak iyileştirme ile Fren sistemi üzerinde yaklaşık %38'lik iyileştirme sağlanacaktır.

3.5. Aydınlatma Sistemi Arızaları Üzerinden Veri Analizi

2015-2016-2017 yılları arasında T1 Tramay hattında çalışan Bombardier araçlarının aydınlatma sistemi arızaları analiz edilmiştir. Bu analizde açıkça far ampullerinin 3 yıllık süre içinde tamamının değiştiğini görebiliriz.

Tablo 12. T1 Hattı Tramvay Araçları,
3 Yıllık Aydınlatma Sistemi Arızası Kök Sebep Yüzdeler Oranları

3 Yıllık Aydınlatma Arızaları	Arıza adedi	Yüzde
Far Ampül	282	69,98
Kabin lambası	44	10,92
Yolcu Bölümü Aydınlatması	34	8,44
Aydınlatma İnvörtörü	25	6,2
Sinyal Lambası	11	2,73
Panel Lambası	4	0,99
Dış İşaret Lambası	3	0,74
Toplam	403	100

Tablo 12'de açıkça görüleceği üzere, Aydınlatma sistemi arızalarının yaklaşık %75'i far ampülünden kaynaklanmaktadır. Tramvay filosu içinde, yaklaşık olarak her 3 günde 1 defa far ampülü patlamaktadır. Tramvay araçlarında kullanılan far ampülü halojen tip ampüldür. Teknolojideki gelişmeler sonucu olarak, son yıllarda halojen lamba yerini LED teknolojiye lambalar almaktadır. Bu lambaların ön büyük özelliği düşük enerji harcamakla birlikte, halojen ampullere göre uzun ömürlü olmasıdır. Bu durumda, far ampül dönüşümü yapıldığında, Aydınlatma sisteminin arızaları büyük oranda azalacaktır.

Tablo 13. Günlük Far Çalışma Saati Hesabı

	Açıklama	Değer
3 Yıllık Toplam km	Toplam km 55 araç - 3 yıl	12655536
Yıllık Toplam km	3 Yıllık toplam km / 3	4218512
Günlük Toplam km	Yıllık toplam km / 365 gün	11557,57
Araç başı günlük km	Günlük toplam km / 55 araç	210,1376
Araç başı günlük çalışma saati	km / ortalama işletme hızı	12,36103
Far çalışma saati	Araç başı çalışma saati / 2	6,180517

Tablo 13’de görüldüğü üzere, tramvay araçları günde 12,36 saat çalışmaktadır.

Her tramvayda 2 kabin vardır. Araçlar 2’li dizi olarak çalışmaktadır. Bu çalışma saatinin yarısını bir yönde (Bağcılar yönü), öteki yarısını diğer yönde (Kabataş yönü) çalışarak geçirmektedir. Dolayısıyla far çalışma süresi günde 6,18 (6 saat 11 dakika) saattir.

Mevcut halojen far ampullerinin teknik ömrü 6000 saat olarak kataloglarda geçmektedir. Bizim far ampülü arıza sıklığımız incelendiğinde, halojen far ampullerinin teknik ömürleri yaklaşık olarak katalog değerlerine yakındır.

LED far ampullerinin ömrü ise LED ampül kalitesine göre 30.000 saat ile 50.000 saat arasında olmaktadır. Halojen far ampülünden LED far ampülü dönüşümü yapıldığında 5 ile 8,3 kat uzun ömür beklenmektedir.

Yeni teknoloji LED ampullerde de çok değişik marka ve model bulunmaktadır. LED aydınlatmaların ömrünü kısaltan en büyük etken, LED aydınlatmanın bulunduğu yerdeki aşırı ısınmadır. Bu sebeple alınacak LED lamba, MTBF değeri yüksek ve kaliteli bir soğutma sistemine sahip olan bir ürün olarak seçilmelidir. Ayrıca LED lambaların bir diğer dezavantajı da gerilim dalgalanmalarından etkilenmesidir. Bu sebeple, LED lamba ve gerekirse lambanın invertörü çok iyi seçilmelidir.

3.6. Aydınlatma Sistemi Arızaları Maliyet Analizi

Far arızası, aracın servisine mani bir arıza değildir. Yani kapı arızası veya fren arızası gibi far arızası olduğunda araç servisten çekilmez. Genelde gün sonunda veya aracın başka bir sebeple atölyeye geldiğinde veya garaj sahasında parklanma yapılırken bu arızaya bakılır.

Fakat yine de far arızası olduğunda, emniyet riski doğmaktadır. Görsel uyarı ve gece sürüşlerinde makinistin görüşü de azalmaktadır. Dolayısıyla far arızası istenmeyen ve sürüş güvenliği riski oluşturan bir arızadır.

Tablo 14. Far Arızasının Maliyeti

1 Far Arızasının Maliyeti	Açıklama	Maliyetler	Toplam Maliyetler €
Far Ampül Değişimi	0,2 adam saat 1 adam saat 13,6€	0,2x13,6€	2,72 €
1 Far Ampul Fiyatı	1 Far Ampül	3€	3 €
1 Far Ampül Arızası Toplam Maliyeti			5,72 €

Tablo 15. Halojen Far - LED Far Dönüşümü Maddi Geri Dönüş Süresi Hesabı

Maddi Geri Dönüş Hesabı	Açıklama	Maliyetler	Maliyetler TL
1 Far Ampül Arızası Toplam Maliyeti	5,72 €		
1 yıllık arıza sayısı	282 adet / 3 yıl		94 adet/yıl
1 yıllık arıza maliyeti	94 adetx5,72 €		537,68 €
Tüm Far LED Dönüşüm maliyeti	55araç x 4 LED x 15€		3300 €
Geri Dönüş Süresi			6,13 yıl

Tablo 15’de yer alan basit maliyet hesabıyla yaklaşık 6 yılda, halojen lamba’dan LED far lambaya dönüşümü sağlamak kendini amorti edecek ve araçların arıza yapma ihtimali azalacaktır. Böylece sistemde hissedilir bir iyileştirme sağlanmış olacaktır.

4. SONUÇ

Araç performansı yani daha az arıza yapma durumu, RAMS verileri yardımıyla elde edilecek sonuçlar doğrultusunda, sistem üzerinde gerekli iyileştirmeleri yaparak artırılabilir.

Aynı şekilde arıza maliyeti, RAMS verileri yardımıyla elde edilecek sonuçlar doğrultusunda sistem üzerinde gerekli iyileştirmeleri yaparak iyileştirilebilir.

Düzenli bakımın yapıldığı işletmelerde, bakım yapılan sistem üzerinde geliştirme ve iyileştirme yapmak kaçınılmazdır. Yoğun bakım yapılan işletmelerde sistem geliştirme ve iyileştirme üzerine sistematik çalışmalar yapılmalı ve işletmenin ölçeğine bağlı olarak iyileştirme ve geliştirme birimi kurulmalıdır.

Bu örnekte gözüktüğü üzere, data toplamanın önemini bir kez daha ortaya çıkmıştır. Big data içinden anlamlı verilerin çekilmesi ve bunun faydalı amaçlar için kullanılması, sistemlerin, cihazların, araçların v.s. endüstride kullanılan ürünlerin yaşam döngüsü boyunca fayda oranlarını arttıracaktır.

Düzenli bakım yapılan sistemlerde, sadece önerilen aralıklarla bakım yapmak, toplam fayda açısından yetersizdir. Bunun yanında sistemden sürekli geri dönüşler almak gerekir. Bu sistemde ne kadar iyileştirme yapılabilir, neler iyileştirilebilir konusunun sürekli araştırılması gerekmektedir. Bu işlem için RAMS verileri kullanılabilir.

Arıza tamir işlemini gerçekleştirdikten sonra kurumsal bir veri depolama yöntemiyle, örneğin ERP programlarında veri girmek ve bu verileri arşivlemek, ileride oluşacak arızaları önlemek ve sistemi iyileştirip maliyetleri azaltmak adına önemlidir ve bu işlemler için de kullanılabilir.

Arıza kayıt sistemleri, takip edilen ekipmanlar veya sistemler için detaylı ve gruplandırılabilir bilgilere sahip olması gerekmektedir. Veriler doğru sistemlere girilmeli, her arıza ait olduğu sistem veya ekipmana atanmalıdır.

Önemli ekipmanlar, performanslarını takip etmek adına bir seri numarası ile takip edilmelidir.

Detaylı takibini yapmak için kritik sistemler belirlenmelidir. Maliyeti ve riski düşük, arıza yaptığında etkisi fazla olmayan sistemler üzerinde yoğunlaşmaya gerek yoktur. Standartlarda tariflediği gibi, önemli sistemler ve çok arıza yapan sistemler veya ekipmanlar üzerinde iyileştirme yapmak için yoğunlaşmak gerekmektedir.

Bu çalışmanın ilerletilmesi ile, arızalar için harcanan personel gideri, araçları işletmeden çekmenin maliyeti ve ekipman teknik ömrü boyunca ortaya çıkan maliyetler (Life Cycle Cost) hesaplanıp, sistemler veya teknik birimler üzerine yatırım yapılabilirlik kararları verilebilir.

Bu yöntem ile anlamlı hata getirilen raylı sistem araçları RAMS verileri ile araç performansını, bakım ve arıza giderlerini iyileştirmek için kullanılabilir. Bazen küçük bir iyileştirme, çok daha büyük faydalara sebep olabilmektedir.

Bu konu üzerine yeterli Türkçe kaynak bulunmamaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi adına bu konu üzerine akademik çalışmalar yapılmalı, yapılan bu çalışmalar büyük maliyetli projelerde uygulanabilecek düzeyde olmalıdır. Ülkemizde RAMS konusunda uzman personel yetiştirilmelidir.

Gerek yıllar içinde oluşan maliyetlerdeki artma veya azalma yönündeki değişiklikler gerekse teknolojik ilerlemeler, her sistemde iyileştirmeye açık bir alan doğurmaktadır. Her sistem de muhakkak iyileştirilecek bir alan vardır. Bu teknolojik gelişmenin doğal sonucudur.

KAYNAKÇA

DIN 31051, (2012), Fundamentals of maintenance, Grundlagen der Instandhaltung, 15, Deutsche Norm.

EN13306, (2017), Maintenance - Maintenance Terminology, 98, BSİ.

EN50126-1, (2017), Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), BSİ.

EN50126-3, (2008), Railway Applications -The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) -Part 3: Guide to the Application of EN 50126-1 for Rolling Stock RAM, 62, BSİ.

Gündoğdu, F., Dal, E., (2011), Demiryolu Projelerinde Rams Yönetimi Ve LCC (Life Cycle Cost) Kavramı, Transist 2011 4. Ulaşım Sempozyumu, İstanbul.

Holmberg, K., Adgar, A., Arnaiz, A., Jantunen, E., Mascolo, J., Mekid, S., (2010), E-Maintenance, 531, Springer.

IEC 60050, (2014), Uluslararası Elektroteknik Sözlük, International Electrotechnical Vocabulary, 41.

IEEE 610, (1990), IEEE Standard Computer Dictionary, 1991. A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries, in IEEE Std 610,1-217.

Kadioğlu, T., Altay, M., (2012), Raylı Sistem Araçlarında RAMS Analizine Giriş Örnek Çalışmalar, TOK 2012, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı.

McLinn, J. CRE., (2010), A Short History of Reliability, 7, ASQ Fellow.

Mobley, R. K., (2002), An Introduction to Predictive Maintenance, 459, Elsevier Butterworth-Heinemann.

Mobley, R. K., (2004), Maintenance Fundamentals, 425, Elsevier Butterworth-Heinemann.

Patra, A.P., (2010), Maintenance Decision Support Models for Railway Infrastructure Using RAMS & LCC Analyses, 128, Luleå University of Technology.

Rapolu, B., (2015), Big Data on Rails, 28.12.2019, <https://dataconomy.com/2015/04/predictive-maintenance-big-data-on-rails/>.

Toprak, T., (2010), Hızlı Tren Uygulamasında Emniyet ve Güvenlik Yönetimi, (En 50126 - Rams) T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü 2. Bölge YHT Bölge Müdür Yardımcılığı.

TS-EN 50126, (2000), Güvenirlilik, Elde Edilebilirlik, Bakım Yapılabilirlik ve Güvenlik (RAMS) Şartnamesi, 64, TSE Türk Standardı.