



Araştırma Makalesi / Research Article

DEMİRYOLU ARAÇLARININ BAKIM MASRAFLARININ RAMS ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ*

EVALUATION OF MAINTENANCE COSTS OF RAILWAY VEHICLES BY RAMS ANALYSIS

Hamit Murat GEYİK¹

Yalçın EYİĞÜN²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1150121>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
hmurat.geyik@metro.istanbul

Geliş Tarihi / Received
28.07.2022

Kabul Tarihi / Accepted
09.09.2022

Öz

Bu çalışmada bakım kavramının anlamı detaylıca anlatılmış ve raylı sistem araçlarında yapılan bakım çeşitleri örneklenerek gösterilmiştir. RAMS kavramı ile ilgili literatür incelenmiştir. RAMS hesaplama yöntemleri, detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Özellikle risk kavramı üzerinde durulmuş ve risk değerlendirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Metro İstanbul A.Ş. bünyesinde bulunan farklı araç üreticileri ve farklı araç modelleri için farklı yıllardaki bakım maliyetleri ve RAMS hesaplamaları karşılaştırılarak bu iki kavram arasındaki ilişki yorumlanmıştır. 2019 yılına ait veriler ağırlıklı olmak üzere 2020 ve 2021 yıllarına ait güncel veriler kullanılmasına özen gösterilmiştir. Araçların periyodik bakım ve düzeltici bakımlarında sarf edilen ve malzeme maliyetleri ele alınarak RAMS verileri ile anlamlı sonuçlar aranmıştır. Ayrıca farklı üreticilere, yaşlara, ekipman ve teknolojilere sahip araçlarda da maliyet ile performans açısından anlamlı sonuçlar aranmıştır. Alınan veriler araç tipleri ve araçların çalışma koşulları göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. T5 Eminönü – Alibeyköy tramvay hattı ve depo sahası'nın inşaat, elektromekanik ve araç alım işi ihalesinin teknik şartnamesinde bulunan ilgili bölümlerden örnekler verilerek demiryolu araç alımı etüt projelerinde RAMS ile bakım maliyetlerini kapsayan çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakım, bakım maliyeti, metro, RAMS, tramvay.

Abstract

In this study, the meaning of maintenance is explained thoroughly and the types of maintenance performed on rail system vehicles are shown with examples. The literature on the concept of RAMS has been reviewed. RAMS calculation methods are explained in detail. Principally, the concept of risk is emphasized and risk assessment methods are mentioned. The relationship between these two concepts is interpreted by comparing the maintenance costs and RAMS calculations in different years for different vehicle manufacturers and vehicle models in Metro İstanbul. Care has been taken to use up-to-date data for the years 2020 and 2021, with predominance data for 2019. Significant results were sought with RAMS data by considering the material costs and expenditures in the periodic maintenance and corrective maintenance. Ancillary, significant results were sought respecting cost and performance for vehicles of different manufacturers, ages, equipment and technologies. The obtained data were compared considering the vehicle types and the working conditions. It is aimed to shed light on studies covering maintenance costs with RAMS in railway vehicle purchase survey projects by giving examples from the relevant sections in the technical specifications of the T5 Eminönü-Alibeyköy tram line and warehouse area construction, electromechanical and vehicle procurement work tender.

Keywords: Maintenance, maintenance cost, RAMS, subway, tram.

*Bu yayın Hamit Murat GEYİK isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. hmurat.geyik@metro.istanbul, Orcid.org/0000-0002-3796-938X.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. yeyigun@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-9931-8294.

1. GİRİŞ

Toplumsal yaşamın ve ticaretin gelişmesiyle ulaşım ve taşımacılık faaliyetleri oluşmuştur. Sanayileşme sonucunda imalatın artması taşımacılık ihtiyacını arttırarak ulaşım sektörünü en önemli sektörlerden biri haline getirmiştir. Ulaşım da bölgelerin coğrafi, beşeri, fiziki ve ekonomik özelliklerine göre farklı dallara Türkiye için de ulaşım sistemleri ayrı bir önem arz etmektedir. Türkiye ulaşım sistemlerini ağırlıklı olarak karayolu ulaşımı oluşturmaktadır. Demiryolu sanayisinin gelişimiyle yüksek hız ve konfora sahip araç üretilebildiğinden son yıllarda Türkiye’de doğu Asya ve Avrupa’nın tercihi olan demiryolu ulaşımına yönelik yatırımlar yapılmaktadır. Demiryollarında ve diğer sektörlerde yatırımların amortisman sürelerini etkileyen parametrelerden biri de hiç kuşkusuz bakımlardır. Önleyici ve düzeltici bakımların kalitesi yatırım maliyetlerini etkilediği gibi güvenlik, güvenilirlik ve konfor açısından da oldukça önemli bir etkidir. Demiryolu araçları, farklı fonksiyonları yerine getiren birbirinden bağımsız ya da bir birleriyle koordineli olarak çalışan alt sistemlerden oluşur. Demiryolu taşıtlarının cari hatta hizmet vermeden önce sahip olması gereken emniyet kriterleri uluslararası standartlarla belirlenmiştir. CENELEC ve IEC adlı kuruluşların belirlemiş olduğu bu standartlar ülkemizde de kabul edilmiştir. CENELEC (Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi)’in yayımlamış olduğu EN 50126 demiryolu uygulamalarında güvenilirlik, emre amadelik, sürdürülebilirlik ve güvenlik kriterlerini, EN 50128 demiryolu uygulamalarında haberleşme, sinyalizasyon ve işleme sistemlerinde demiryolu kontrol ve koruma sistemleri için yazılım ve EN 50129 demiryolu uygulamalarında İletişim, sinyalizasyon ve işleme sistemlerinin sinyalizasyon için güvenlikle ilgili elektronik sistemler numaralı standartları raylı sistemlerdeki emniyet proseslerinin ana iskeletini oluşturur. EN 50126, Avrupa Birliği Demiryolu İdareleri’nin RAMS kısaltması ile gösterilen Reliability (güvenirlilik), Availability (emre amadelik), Maintainability (sürdürülebilirlik) ve Safety (güvenlik) yönetiminin uluslararası standart olarak uygulanmasını mümkün kılan bir işlem sağlar. Bu standardın ana konuları RAMS şartlarının belirtilmesine ait işlemleri açıklar.

Bu çalışmada Metro İstanbul A.Ş.’nin işletmesini yaptığı hatlardaki tramvay, hafif metro ve metro araçlarına ait RAMS-reliability, availability, maintainability, safety- verileri ile bakım maliyetleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Ek olarak Metro İstanbul bünyesinde bulunan Alstom, CAF, Rotem, Bombardier, Durmazlar gibi farklı araç üreticilerinin metro, hafif metro ve tramvay araçlarının RAMS verileri tablolararak araç tipinin RAMS’ a etkisi, araç yaşının RAMS’ a etkisi, araç teknolojisinin RAMS’ a etkisi gibi karşılaştırmalar yapılmıştır.

1.1. Sistemler ve RAMS Kavramı

Sistem, istenen sonuçları oluşturabilmek için birden fazla parçanın bir araya getirilip entegre bir şekilde çalıştırılarak oluşturulan mekanizmalardır (Kapurch, 2010). Sistem olgusu son yıllarda yönetim alanında sistem mühendisliğinin bir prensibi olarak kullanılmaktadır. Uçak ve raylı sistemler gibi birçok sistem, alt sistem ve bileşen içeren karmaşık makinalarda sistem kavramı kullanılmaktadır.

RAMS İngilizcede reliability, availability, maintainability ve safety kelimelerinin baş harfleri ile oluşturulmuş bir terimdir. RAMS yönetimi sistemin özelliklerine ve fonksiyonlarına bağlı olarak yaşam döngüsü ve içindeki görevlere dayanan sistem gereksinimleri belirleyen ve bu gereksinimleri karşılamadaki performanslarını ortaya koyan bir süreçtir. RAMS yönetimi sistem ile ilgili; “ne kadar sıklıkla arızalanıyor?”, “Sistem ne kadar süre çalışabilir durumda?”, “Ne kadar sürede bakım yapılabilir?”, “Sistemin fonksiyonelliğinde meydana gelen bir aksaklık durumunda oluşabilecek riskler nelerdir?” Sorularına cevap arar. Bu sorulara bulunduğu cevapları derleyerek sistem hakkında çeşitli öngörülerde bulunur. Yapılan öngörülere dayanarak sistemin çeşitli açılardan performans kritiğini yapar. Sistemde yapılacak revizyonlar, bakım maliyetini

azaltacak çalışmalar ve risk azaltıcı iyileştirme çalışmaları bu bilgiler ışığında planlanabilir (Stapelberg, 2009).

1.1.1. Güvenilirlik

Bir sistemin belirli bir zaman aralığında ve belirli koşullar altında fonksiyonlarını yerine getirebilme yeteneğidir. Güvenilirlik değerleri düzeltici bakımın değerlendirilmesi için temel oluştururken kritik güvenilirlik rakamları, sistemin ya da ekipmanın, takılı oldukları aracın servisini nasıl etkilediğini gösterir. Metro İstanbul’ da güvenilirlik hesabı iki arıza arasındaki ortalama mesafe MDBF (Mean Distance Between Failures) ile ifade edilir. Araçlarda meydana gelen arızalar aracın servis durumuna etkisine göre servise mani arıza ya da servise mani olmayan arıza olarak sınıflandırılır. Eğer arıza etkisiyle araç servise devam edemiyorsa servise mani arıza sınıfına girer. Arızanın sistemin devamlılığına olan etkisini inceleyebilmek için MDBSF (Mean Distance Between Service Failures, servise mani iki arıza arasındaki ortalama mesafe) değeri de hesaplanır. Belli bir dönemdeki MDBF değeri; araçların kat ettiği toplam kilometrenin toplam arıza sayısına bölünmesiyle bulunur. MDBSF değeri ise araçların kat ettiği toplam kilometrenin servise mani arıza sayısına bölünmesiyle bulunur. MDBF ve MDBSF değerlerinin birimi kilometredir. MDBF ve MDBSF değerleri ortalama işletme hızına bölünürse saat cisiminden MTBF (Mean Time Between Failures) ve MTBSF (Mean Time Between Service Failures) elde edilir.

1.1.2. Emre amadelik

Emre amadelik, bir aracın, sistemin ya da ekipmanın istenilen fonksiyonunun, istendiği zaman gerçekleştirilip gerçekleştirilememesinin bir ölçütüdür. Emre amadelik performansı, doğrudan güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik performanslarından etkilenir. Dolayısıyla güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik oranı yükseldikçe emre amadelik oranının yükselmesi beklenir. Raylı sistem araçlarının emre amadelik oranı gerçekleşen sefer sayısının planlanan sefer sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada yalnızca tren arızalarından dolayı yaşanan sefer iptalleri ve tehirlere hesaba katılır. Araç, RAMS hesabı kapsamına girmeyen sebepler yüzünden servis dışı kalmış ise Emre Amadelik (Availability) hesabına katılmaz. Yani emre amadelik oranının hesaplanması, doğrudan araç sistemi veya bileşenlerin arızalanmasından kaynaklanmayan vandalizm, operatör hatası, kaza nedeniyle sistemin kullanılmamasını kapsamaz. . Örneğin; 30 araçlık filo yolculuğu işletmede ikili diziler halinde çalıştırıldığı durumda bir dizi kaza, arıza, bakım yedeği olarak ayrılmaktadır. Geriye kalan 14 dizinin emre amadeligi (Availability) pik saatlerde Metro İstanbul için minimum %99,6 olmalıdır (Anonim, 2016).

1.1.3 Bakım Yapılabilirlik

Sistemin bakım yapılabilirliği, belirli bir bakım periyodunda ve belirli bakım koşullarında sistemi çalışma şartlarına uygun seviyeye getirilebilme yeteneğidir. Amaç, maliyetleri ve gecikmeleri azaltmak ve sistemin kullanılabilirliğini artırmaktır. Bakım yapılabilirlik, kolaylıkla temin edilebilen materyallerin uygulanması, bileşen alışverişinin kolaylığı, filodaki araçların standart olması (özel aksine), açık ve kapsamlı el kitaplarının, çizimlerinin, bakım prosedürlerinin ve bakım talimatlarının kullanımı dâhilinde gerçekleştirilir. Her sistemin, bakımı, işletmesi, temizlenmesi ve tamir edilebilirliği kolay olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu durum iç giydirmeye ve vandalizme yatkın diğer öğelerin tasarımını da kapsar. Tüm temel ekipmanların ve aşınan parçaları kolay ve erişilebilir olmalıdır. Bu ekipmanların ve aşınan parçaların kolay değiştirilebilirliği, sistemin duruş zamanını azaltarak emre amadeligi artırır. Araç tasarımlarının ve bakım politikalarının LRU (Line Replacement Unit)’lara dayalı yapılması emre amadelik oranını ve bakım yapılabilirlik oranını yükseltir.

Raylı sistemler için bakım yapılabilirlik ortalama onarım süresi olarak değerlendirilir ve toplam harcanan fiili işin arıza sayısına bölünmesiyle hesaplanır.

1.1.4. Güvenlik

Emniyetin amacı, sistem elemanının, yolcuların ve kişilerin fiziksel bütünlüğünü muhafaza etme kapasitesi şeklinde ifade edilmektedir. Raylı sistem araçlarının emniyeti, felaket ve kritik olayların ortaya çıkma riskini kabul edilebilir bir seviyeye düşürmektir. Araçlar tasarım aşamasında iken risk değerlendirmelerine tabi tutulur. Risk değerlendirmesi, tehlikeleri tespit etmek, zararlı faktörleri analiz etmek ve olası sonuçları belirlemek, bir sistemin riskini tahmin etmek ve makul güvenlik önlemleri önermek için kullanılan bir uygulamadır (Zhou, 2020). Bu risk değerlendirmelerinde riskler EN 50126 standardına göre şiddetlerine ve sıklıklarına sınıflandırılarak risk matrisleri oluşturulur. Oluşturulan risk matrislerinde kabul edilemeyen riskler, istenmeyen riskler, tolere edilebilir riskler ve önemsiz riskler belirlenir. Kabul edilemeyen riskler kesinlikle ortadan kaldırılır. İstenmeyen riskler araç üreticisi tarafından düşük bütçeli revizyonlarla giderilir. Tolere edilebilir ve önemsiz riskler için idare ve araç üreticisi uzlaşmaya varırlar.

Araçlar yolculu işletmeye alınmadan önce güvenlik açısından eksiklikleri giderilir ve işletme yapmasına engel bir durumun olmadığı belgelenir.

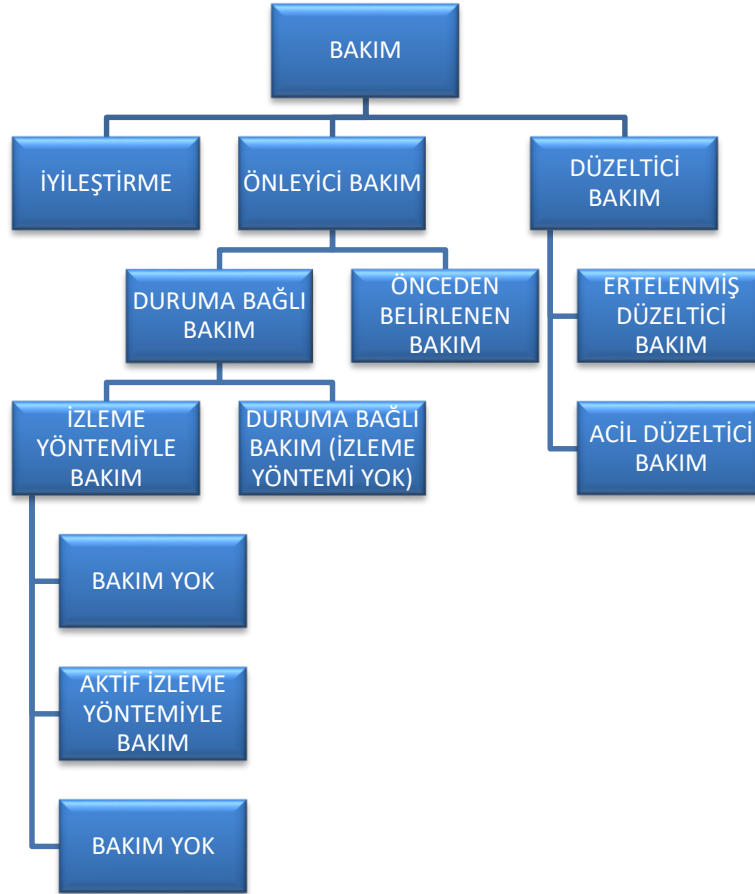
1.2. Bakım ve Bakım Çeşitleri

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 (Anonim, DIN 31051 , 2012).

İşletmelerdeki sistemlerin çalışır ve kullanıma hazır durumda olması için harcanan çabalar maliyet doğurur. Bakım ilk bakışta başlı başına bir maliyet olarak görülebilir. Sistemlerin bakımı için personel, teknolojik cihazlar, kullanılan sarf malzemeler önemli maliyet kalemleridir. Bakımı yapılmayan sistemlerin üretimin devamını engelleyecek arızalar vermesi, arızalanan sistemlerin devreye alınması için harcanacak çabalar yapılan bakım maliyetlerinden çok daha fazla maliyet doğurabilir.

Raylı sistem araçlarında bakım eksikliğinden kaynaklı meydana gelebilecek arızalarda araçların yolda kalması, güzergâhı kapatması binlerce yolcunun mağduriyetine ve kent için önemli maliyetlere neden olabilir. Yaşanabilecek olumsuzlukları bertaraf etmek için uygun bakım planlarını belirlemek ve bakım periyotlarına uymak oldukça önemlidir. Raylı sistemlerde kullanılan sistemlerin bakım periyotlarının ve uygulanacak bakımların belirlenmesi için birçok kriter mevcuttur. Sistemlerin bakımları belirlenirken ilk etapta sistemleri üreten üreticilerin önerileri ön planda tutulur. Araç üreticileri ürettikleri trenlerin bakımlarının hangi tip olması gerektiğini, hangi aralıklarla yapılması gerektiğini belirtir. Sistem üreticileri genellikle ilgili sistemlerin bakımlarını kilometreye bağlı ya da zamana bağlı olarak belirler. Trenler birçok sistemin bir araya gelmesiyle oluşur. Üretici firmalar araçlarda yapılması gereken bakımları bir arada aynı anda yapmak dışında bazı sistemler için ayrıca farklı kilometre ya da farklı zaman periyodu belirlemektedirler. Bu belirlemeler ilgili sistemlerin çalışmasının kritik olup olmamasına bağlanabilir. Üreticilerin dışında sistemlerin bakımları, sistemin işletmesini yapan işletmeciler tarafından da belirlenebilir. Sistemi kullanan işletmeciler, sistemlerin çalıştığı çevre koşullarına göre bakım sürelerini ve bakım kilometrelerini belirler ya da revize edebilirler. Sistemin çalıştığı çevre şartları bakım süreçlerini belirlemede önemli yer edinir. İşletmedeki tecrübeler ve gelişen teknoloji ile beraber bakım sürelerinde ve bakım yöntemlerinde değişiklikler ve yeni stratejiler oluşturulmaktadır.

Bakımlar ile ilgili kapsamlı terminolojik bilgiler EN 13306 Bakım-Terimler ve Tarifler Standardında yer almaktadır. Bu Avrupa Standardı, 9 Temmuz 2010 tarihinde CEN (European Committee for Standardization) Avrupa Standartlaştırma Komisyonu tarafından onaylanmıştır. CEN Avrupa da geçerli olan ve Avrupa’ da birçok ülkeyi kapsayan standartları inceleyen ve onaylayan bir kuruluştur. 2017 Yılında EN 13306 standardında güncelleme yapılmış olup ana bakım sınıfları belirlenmiştir. Ana bakım sınıfları 3 (üç) ana başlıkta toplanmıştır.



Şekil 1. EN 13306' ya Göre Bakıma Genel Bakış: Bakım Tipleri (Anonim, EN 13306, 2017)

1.2.1. Düzeltici bakım

Sistemde veya ekipmanda meydana gelen arızayı gidermek için yapılan bakımdır. Arıza yapan, fonksiyonlarını yerine getiremeyen sistemlerde ilgili sistemin tekrar çalışır ve fonksiyonunu yerine getirmesi için düzeltici bakım yapılır. Düzeltici bakım da bakım periyodu yada bakım zamanı söz konusu değildir. Arızanın oluştuğu zaman düzeltici bakım aktivitesine ihtiyaç duyulur. Sistemde meydana gelen arızanın düzeltici bakımının yapılması için öncelikle ilgili sistemin yedek parçalarının hazır bulunması önemlidir. Ayrıca arızaya müdahale için mümkün olduğunca fiziki şartların elverişli olması gerekmektedir. Düzeltici bakımlar da öncelik arızanın tespit edilmesidir. Arızayı tespit etmede sistemin kullanıcıları önemli yer tutar.

1.2.2. Önleyici bakım

Parçanın arıza olasılığını ya da işleyişinin bozulmasının önlenmesi amaçlanan ve önceden belirlenen aralıklarla ya da önceden tanımlanan ölçüte uygun olarak yapılan bakımdır (Anonim, EN 13306, 2017). Bir sistemde arıza oluşmadan önce, meydana gelebilecek arızayı önlemek adına yapılan bakımdır. Sistem bakımları ve bu sistemlerin bakımında kullanılan ekipmanlarda belirli

periyotlarda, önceden belirlenen aralıklarla yapılmaktadır. Sistemlerin ve ekipmanların Önleyici Bakımlarını tanımlayan, içeriğini oluşturan ve belirleyen öncelikli olarak sistem üreticileridir.

1.2.3. İyileştirme

İyileştirme son yıllarda bakım metodu olarak yerini almıştır. Sistemlerin işleyişi esnasında tespit edilen aksaklıklar olumsuzluklar üzerinde yapılan revizyonlar/iyileştirmeler temel bakım maddelerinden biridir. Sistemin doğal karakterinde değişiklik meydana gelmişse ve bu değişiklik sıklıkla sistemin çalışmasına engel oluyorsa ya da sistemin verimli çalışmasına engel oluyorsa sistemdeki bu kusuru gidermek için yapılan revizyonlar/iyileştirmeler bakım içerisinde yer almaktadır. Burada sistemin işlevi değiştirilmemektedir. İşlevin değiştirilmesi durumunda farklı bir sistem ortaya çıkarılır ki bu durumu iyileştirme olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım değildir. Sistemler çalışma esnasında arıza veriyorsa, verimliliği etkiliyorsa, güvenlik riskleri doğuruyorsa, sistemin sürekliliğinin sağlanmasına engel oluyorsa ilgili sistemlerde iyileştirme yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus sistemde revizyon/iyileştirme gerektiren ekipman revizyon maliyetinden daha ucuzsa ekipmanı değiştirmek daha makul bir çözüm olabilir.

Raylı sistemlerde temel bakım türleri olan düzeltici bakım, önleyici bakım ve iyileştirme çalışmaları dışında mevsimsel bakım, dış kaynak kullanılarak yapılan bakım, izleme yöntemiyle bakım, fırsat bakımı, modernizasyon ve operatör bakımı gibi farklı bakım türlerinden de yararlanılmaktadır. (Kadioğlu, 2020).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İştirak Şirketi, Metro İstanbul A.Ş. tarafından işletilen T1 Kabataş Bağcılar, T4 Topkapı Habibler, T5 Eminönü Alibeyköy, M1 Yenikapı Atatürk Havalimanı Kirazlı, M2 Yenikapı Hacıosman, M3 Kirazlı Başakşehir Metrokent, M4 Kadıköy Tavşantepe, M5 Üsküdar Çekmeköy hatlarında çalışan Alstom, Bombardier, Siemens, Rotem, İstanbul tramvay aracı, ABB, CAF marka raylı sistem araçlarının bakım maliyetleri ve arıza verileri ve bakım maliyetleri incelenmiştir. RAMS güvenilirlik hesabında kullanılan arıza sayısı ve kilometre değerleri şirketin kullanmakta olduğu ERP sisteminden alınmıştır. Yine bakım maliyetlerine ilişkin veriler ERP sisteminde bulunan maliyetlerdir.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada T1, T4, T5, M1, M2, M3, M4 ve M5 hatlarında yolculu işletmede kullanılan T1 Alstom, T1 Bombardier, T4 İstanbul, T4 Köln tramvay araçlarına, M1 ABB ve T4 Rotem hafif metro araçlarına ve M2 Rotem 1, M2 Rotem 2, M2 Alstom 1, M3 Alstom 2, M4 CAF 1 ve M5 CAF 2 metro araçlarına ait EN 50126 standardına göre hesaplanan RAMS değerleri ve EN 13306 bakımları yapılan araçların bakım maliyetleri bir araya getirelerek anlamlı ilişkiler aranmıştır.

3. UYGULAMA

Uygulama bölümünde farklı hatlarda işletme yapmakta olan farklı araç markalarına göre ayrı ayrı hesaplama yapıldığından hat-arac eşleştirmesi yapılmıştır.

Tablo 1. Hat-Araç Eşleştirmeleri

HAT	GÜZERGAH	KISA AD	ARAÇ
T1	Kabataş-Bağcılar	ATA1	Alstom tramvay aracı
		BTA1	Bombardier tramvay aracı
T4	Topkapı-Habibler	İTA1	İstanbul tramvay aracı
		RHM1	Rotem hafif metro aracı
		KTA1	Köln tramvay aracı
M1	Yenikapı-Atatürk Hava Limanı-Kirazlı	ABB1	ABB hafif metro aracı
M2	Yenikapı-Hacıosman	AMT1	Alstom metro treni 1
		RMT1	Rotem metro treni 1
		RMT2	Rotem metro treni 2
M3	Kirazlı-Başakşehir	AMT2	Alstom metro treni 2
M4	Kadıköy-Tavşantepe	CMT1	CAF metro treni 1
M5	Üsküdar-Çekmeköy	CMT2	CAF metro treni 2

Metro hatları; kendilerine ait yolları bulunan ve diğer sistemler ile hiçbir şekilde kesişmeyen yüksek yolcu kapasitesine sahip 2-10 vagon arasında değişen araç tipleridir. İşletme hızı tramvay ve hafif metrolara göre genellikle daha yüksektir.

Tramvay araçları genellikle 1-4 arası vagon sayısı ile işletme yapan yolcu kapasitesi ve ortalama işletme hızı metro araçlarına göre daha düşük olan araçlardır. Tramvayların kendilerine ait yollarının olmasına rağmen hat boyu hemzemin geçitler ve kavşaklar bulunabilir.

Hafif metrolar ise genelde şehir dışında bulunan tren duraklarındaki yolcuları şehir merkezine taşıma amacıyla inşa edilen tramvayların modernleşmiş halidir. Yolcu kapasitesi tramvay araçlarından daha fazla metro araçlarından ise daha azdır (Toparlı, 2021).

3.1. Tramvay ve Hafif Metro Araçlarında Bakım Maliyeti ve RAMS İlişkisi

Demiryolu araçlarında bakım maliyetleri; araçların teknolojileri, yaşları, önleyici bakım periyotları, düzeltici bakım sayıları, araçların ortalama kat ettiği kilometreler, araçların günlük ortalama çalışma saatleri gibi parametrelere bağlıdır. Ayrıca aracın bakım yapılabilirliği de işçilik maliyetlerini önemli derecede etkilemektedir.

Bu kısımda tramvay ve hafif metro araçlarında yolculu işletme yapan farklı, marka, yaş ve teknolojilere sahip araçların bakım maliyetleri ile RAMS analizleri arasındaki ilişki etraflıca değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

3.1.1. T1 hattı Alstom tramvay aracı incelemesi

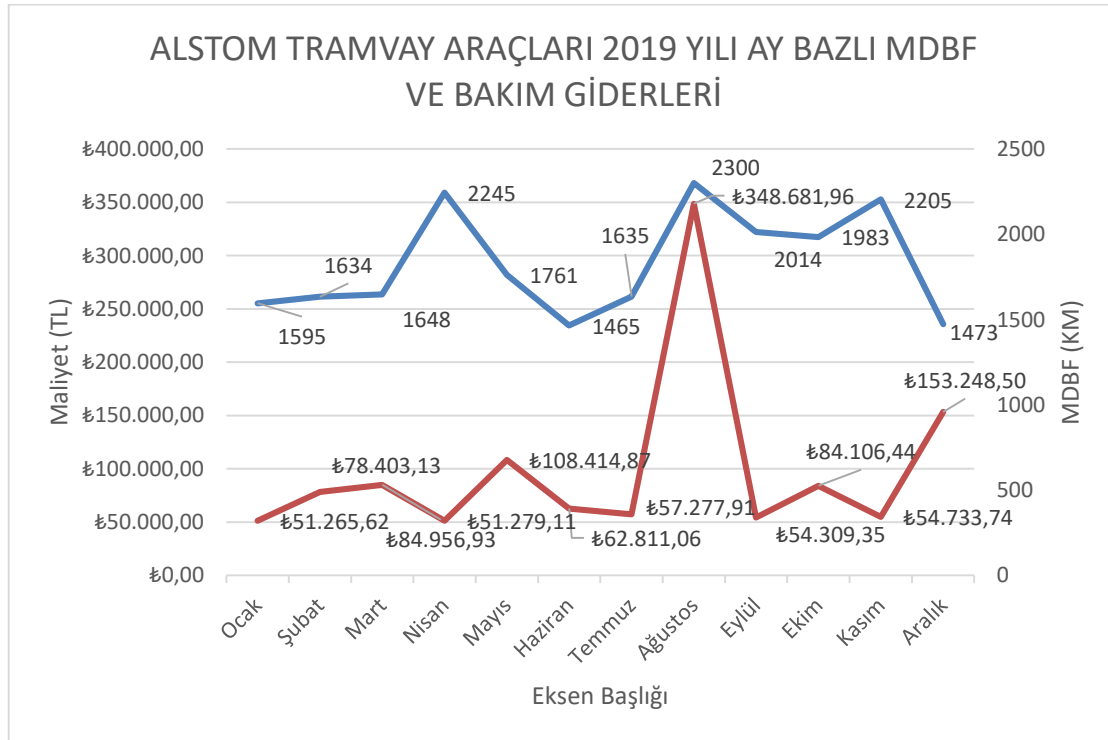
Alstom marka tramvay araçları 2009 yılında T1 Kabataş-Bağcılar hattında 2009 yılından bu yana hizmet vermektedir. Toplam 37 araçtan oluşan Alstom tramvay filosu ikili diziler halinde işletme yapmaktadır. Alstom araçlarına ait 2019 yılı MDBF değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Araç performans hesaplamalarında MDBF değeri 37 aracın toplam arıza sayısının yine 37 aracın

toplam kat ettiği kilometreye bölünmesi ile bulunmuştur. Birimi kilometredir. Buradan yola çıkarak MTBF değeri; MDBF değerinin hattaki ortalama hıza bölünmesi ile elde edilmiştir. T1 hattında yaklaşık 16 km/h ortalama hız ile işletme yapılmaktadır.

Tablo 2. 2019 Yılı Alstom Tramvay Araçları Aylık Bakım Maliyetleri ile MDBF Değerleri Tablosu (T1)

AYLAR	Toplam Bakım Maliyeti (TL)	MDBF (KM)
Ocak	₺51.265,62	1595
Şubat	₺78.403,13	1634
Mart	₺84.956,93	1648
Nisan	₺51.279,11	2245
Mayıs	₺108.414,87	1761
Haziran	₺62.811,06	1465
Temmuz	₺57.277,91	1635
Ağustos	₺348.681,96	2300
Eylül	₺54.309,35	2014
Ekim	₺84.106,44	1983
Kasım	₺54.733,74	2205
Aralık	₺153.248,50	1473

Bakım maliyetleri ile MDBF değerleri yukarıdaki tabloda bir araya getirilmiştir. Tabloda 2019 yılı için her aya karşılık gelen bakım maliyeti ve araç performansı gösterilmiştir.



Şekil 2. Alstom Araçları 2019 Ay Bazlı MDBF ve Bakım Giderleri Grafiği

Araçların ay bazlı MDBF ve toplam bakım maliyetleri aynı tabloda gösterildiğinde yukarıdaki grafik oluşmaktadır. Grafiği yorumladığımızda Ocak ayından Mart ayına kadar MDBF değerleri ile bakım maliyetleri paralel olarak artmaktadır. Mart ayı boyunca toplam bakım maliyetleri

azalırken MDBF değerleri artmaktadır. MDBF iki arıza arasındaki kilometre olduğundan yola çıkılarak MDBF değerinin yükselmesi ve aracın günlük kat ettiği kilometre değerinin sabit kaldığı da göz önüne alındığında MDBF değerinin yükselmesi yapılan düzeltici bakım sayısının azalması anlamına gelmektedir. Bakımda sarf edilen malzemelerin masrafları, araçların bakım yapılabilirliği gibi parametreler göz ardı edilirse; MDBF değerleri ile bakım masraflarının Mart ayından Mayıs ayına kadar olduğu gibi ters orantılı olması beklenir. Ancak Mayıs ayından Temmuz ayına kadar eğrilerin yine paralel davrandığı gözlenmektedir. Özellikle Ağustos ayında bakım maliyetinin pik yaptığı görülmektedir. Bunun nedeni Ağustos ayında yapılan malzeme satın almalarıdır. Eylül ayından sonra ise yılsonuna kadar eğriler birbirlerine ters yönde hareket etmişlerdir.

Tablo 3. 2019 Yılı Alstom Tramvay Araç Başına Ortalama Bakım Maliyeti

ARAÇ SAYISI	TOPLAM ARIZA VE PERİYODİK BAKIM MALİYETİ	ARAÇ BAŞINA ARIZA VE PERİYODİK BAKIM MALİYETİ
37	₺1.189.488,62	₺32.148,34

T1 Kabataş Bağcılar hattında yolculu işletmede çalışan Alstom tramvay araçlarının araç başına sarf edilen toplam bakım maliyeti 2019 yılında yaklaşık 32000 TL olduğu görülmektedir.

3.1.2. T1 hattı Bombardier tramvay aracı (BTA1) incelemesi

T1 hattında Alstom tramvay araçları ile birlikte işletme yapan Bombardier tramvay araçları Alstom araçlarından önce 2002 yılında işletmeye başlamıştır.

Tablo 4. Bombardier Tramvay Araçları 2019 Yılı Aylık Bakım Maliyetleri

Aylar	Toplam Bakım Maliyeti (TL)	MDBF (km)
Ocak	₺76.731,51	1917
Şubat	₺87.428,87	1811
Mart	₺164.946,35	2628
Nisan	₺119.953,90	2646
Mayıs	₺181.088,72	2350
Haziran	₺321.191,19	1957
Temmuz	₺129.624,74	1622
Ağustos	₺205.352,17	2105
Eylül	₺161.435,63	2422
Ekim	₺89.508,08	2043
Kasım	₺298.624,04	2535
Aralık	₺163.393,62	2160
Genel Toplam	₺1.999.278,82	2183

Bombardier tramvay araçları RAMS performansı ve bakım maliyetleri arasında Mart-Haziran ayları arasında beklenen ilişki kurulabilmektedir. Aynı şekilde Eylül ayının ortalarında Ekim ayına kadar kısmi olarak beklenen ilişki kurulabilir. Ancak genel tabloya bakıldığında tabloya zıt yönlü bir ilişki hakimdir.

Sistemden çekilen bakım maliyetleri verilerine göre Bombardier markalı tramvay araçlarının Alstom marka tramvay araçlarının bakım maliyetlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni T1 hattında çalışan 55 adet Bombardier marka tramvay aracı varken 37 adet Alstom

marka tramvay aracı bulunmaktadır. Alstom ve Bombardier markalı araçlarda sağlıklı bir karşılaştırma yapılması için araç başına düşen bakım maliyetlerine bakmak doğru olacaktır.

Tablo 5. T1 Hattı Alstom ve Bombardier Araçları 2019 Yılı Bakım Maliyetleri Karşılaştırması

Araç markası	Bombardier	Alstom
Üretim tarihi	2002	2009
Araç başı işçilik maliyeti (TL)	₺9.694,00	₺11.379,00
Araç başı malzeme maliyeti (TL)	₺26.655,00	₺20.769,00
Araç başı toplam bakım maliyeti (TL)	₺36.350,00	₺32.147,00

Alstom ve Bombardier tramvay araçları aynı hat üzerinde ve aynı çalışma şartlarında işletme yapmakta olan araçlardır. Tablodan görüleceği üzere beklenenin aksine 2002 yılında üretimi yapılan Bombardier marka tramvaylarına harcanan araç başına işçilik maliyeti, üretimi 2007' de yapılan ve daha üst seviyeli teknolojik ekipmanlarla donatılmış Alstom araçlarına göre daha azdır. Bunun nedeni Alstom tramvayların elektrik tesisatının karmaşık yapısı, malzeme sökme takma işlemlerinin uzun sürmesi ve bakım yapılabilirlik açısından Bombardier tramvayların gerisinde kalmasıdır.

Teknolojik olarak Alstom' un gerisinde olan Bombardier tramvay araçlarının araç başına düşen ortalama bakım maliyeti 35.615,45 TL iken Alstom tramvay araçlarının araç başına düşen bakım maliyeti 32.148,34 TL olduğu görülmüştür.

Yine 2009 yılında üretimi yapılan Alstom marka tramvay araçlarının malzeme maliyeti, üretimi 2002 yılında yapılan Bombardier marka tramvay araçlarına göre daha azdır. Bunun nedeni Bombardier marka araçlarda 15 yıl ömür tavsiye edilen kompresör ya da rulman gibi bazı ekipmanların değişimi olabilir.

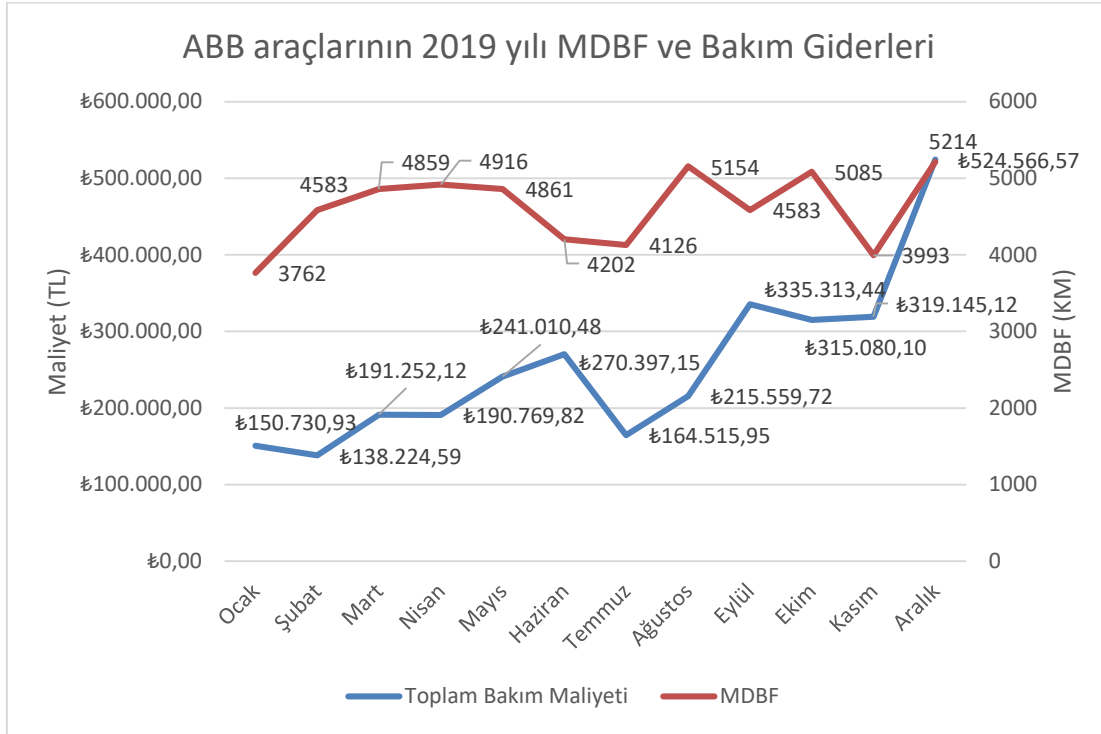
3.1.3. M1 hattı ABB hafif metro aracı (ABB1) incelemesi

M1 hattımız Metro İstanbul' un yolculu işletme yaptığı ilk hattıdır. ABB markalı hafif metro araçları ile Yenikapı-Atatürk Hava Limanı (M1 A) ve Yenikapı-Kirazlı (M1 B) arasında çalışmaktadır.

Tablo 6. ABB Hafif Metro Aracı 2019 Yılı Aylık Bakım Maliyeti-MDBF Tablosu

Aylar	Toplam Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	₺150.730,93	3762
Şubat	₺138.224,59	4583
Mart	₺191.252,12	4859
Nisan	₺190.769,82	4916
Mayıs	₺241.010,48	4861
Haziran	₺270.397,15	4202
Temmuz	₺164.515,95	4126
Ağustos	₺215.559,72	5154
Eylül	₺335.313,44	4583
Ekim	₺315.080,10	5085
Kasım	₺319.145,12	3993
Aralık	₺524.566,57	5214

Tabloda verilen aylık veriler ile aşağıdaki grafik oluşturulmuştur. Grafiğe göre yılbaşından Nisan-Mayıs aylarına kadar her iki çizgi de artan değerleri izlemektedir.



Şekil 3. ABB Araçları 2019 Ay Bazlı MDBF ve Bakım Giderleri Grafiği

Nisan ayından Temmuz ayına kadar zıt yönlü hareket etmişlerdir. Grafıklere göre de bakım maliyetleri ile MDBF değerleri arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır.

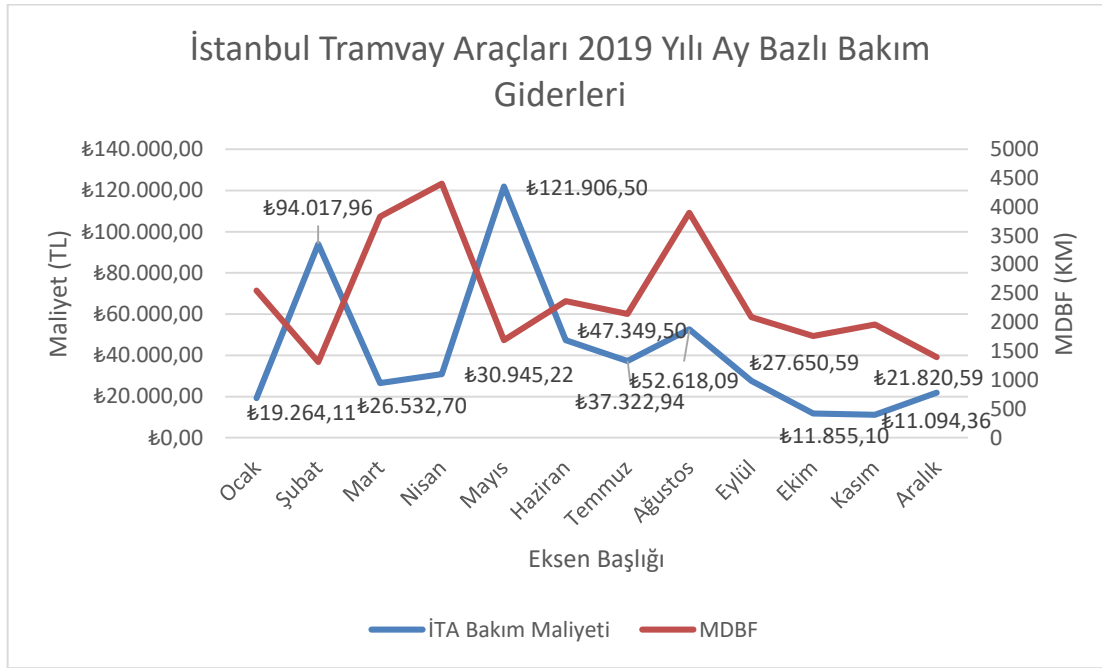
3.1.4. T4 hattı İstanbul tramvay aracı (İTA1) incelemesi

İstanbul tramvay araçları (İTA) üretimi 2015 yılında Metro İstanbul tarafından üretilen ve T4 Topkapı Habibler Mescid-i Selam hattında işletme yapan yüksek tabanlı tramvaylardır. 18 araçtan oluşan filo üç araçlık diziler halinde işletme yapmaktadır.

Tablo 7 İTA Araçları 2019 Yılı Bakım Maliyeti ve MDBF Değerleri

Aylar	İTA Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	19.264,11	2550
Şubat	94.017,96	1313
Mart	26.532,70	3832
Nisan	30.945,22	4406
Mayıs	121.906,50	1692
Haziran	47.349,50	2369
Temmuz	37.322,94	2144
Ağustos	52.618,09	3901
Eylül	27.650,59	2090
Ekim	11.855,10	1764
Kasım	11.094,36	1965
Aralık	21.820,59	1396

İstanbul tramvay araçlarının RAMS değerleri ortalama değerlerde seyretmiştir. 2019 yılında araçlardan yüksek performans alınamamıştır.

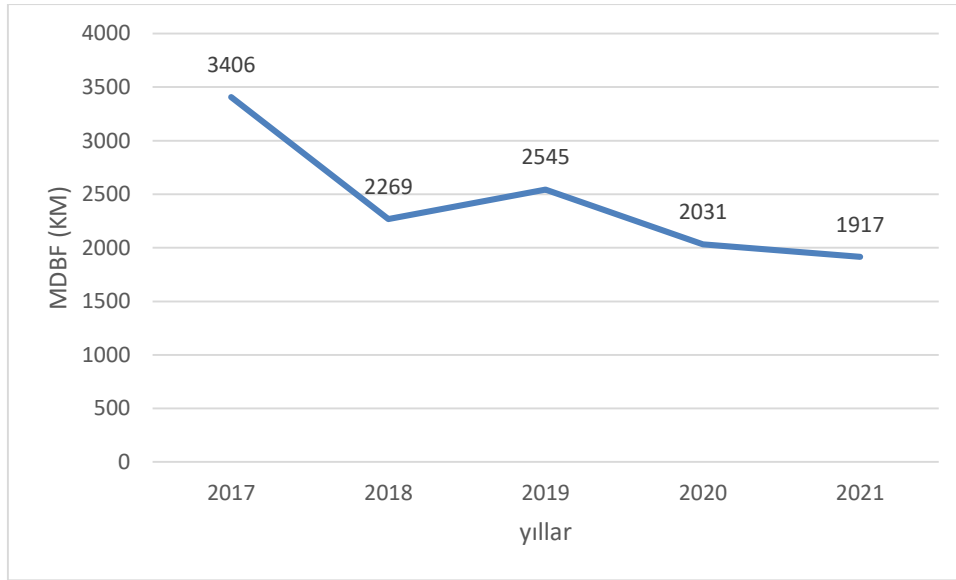


Şekil 4. İTA Araçları 2019 Ay Bazlı MDBF ve Bakım Giderleri Grafiği

Haziran ayına dek İstanbul tramvay araçlarında MDBF değerleri ve maliyet grafikleri beklendiği gibi seyretmiştir. Haziran-Ekim ayları arasında grafik çizgileri paralellik gösterse de Ekim ayından yılsonuna kadar grafik çizgileri toparlanmıştır. Haziran-Ekim arasındaki 4 aylık dönem de bakım maliyetleri ile RAMS verileri arasında bir ilişkinin olmadığı bu dönem dışında bakım maliyetleri ile RAMS verileri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

3.1.5. T4 hattı Köln tramvay aracı (KTA1) incelemesi

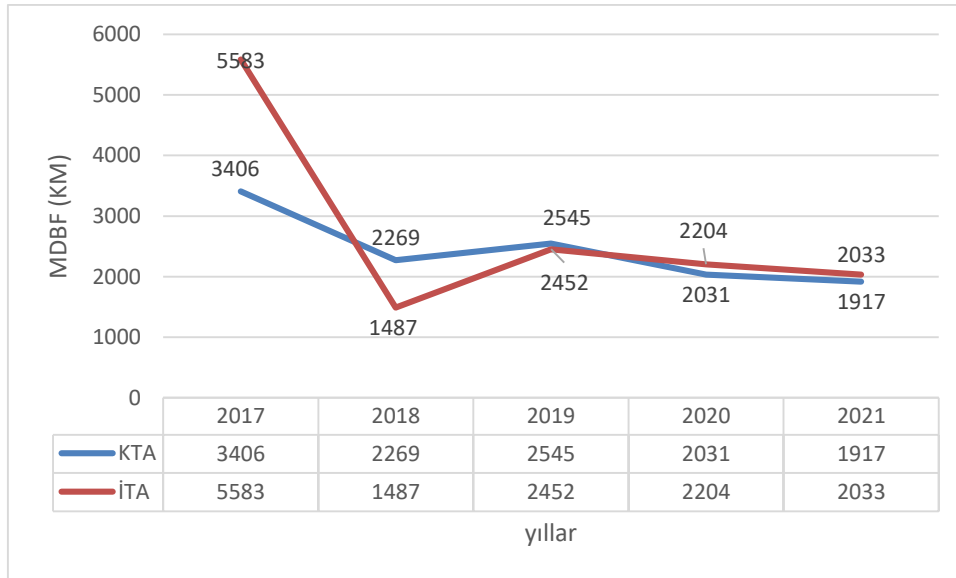
T4 Topkapı-Habibler hattında çalışan Köln tramvay aracı olarak adlandırdığımız araçlar; 1976 yılında Siemens, Duewag ve Kiepe firmalarının ortaklığı ile yapılmıştır. Önceleri Almanya'nın Köln şehrinde işletme yapan araçlar 2007 yılında Metro İstanbul tarafından ikinci el olarak satın alınmıştır. Araçlar Metro İstanbul araç envanterinin en yaşlı araçları olarak halen T4 Topkapı Habibler hattında işletme yapmaktadır.



Şekil 5. T4 KTA Araçlarının 2017-2021 Yılları Arası MDBF Değerleri

T4 Topkapı-Habibler hattında işletme yapmakta olan KTA araçlarının 2017-2021 yılları arasında ait MDBF değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Yukarıdaki grafiğe bakıldığında 1976 yapımı olan ve 45 yılını dolduran araçların MDBF değerleri azalan eğilimle seyretmektedir. Bunun nedeni araçta bulunan malzeme ve ekipmanların kullanım ömrünü doldurması olarak yorumlanabilir. Aracın çeşitli sistemlerde iyileştirici revizyonlar yapılmasına rağmen MDBF değerleri düşmeye devam etmektedir.

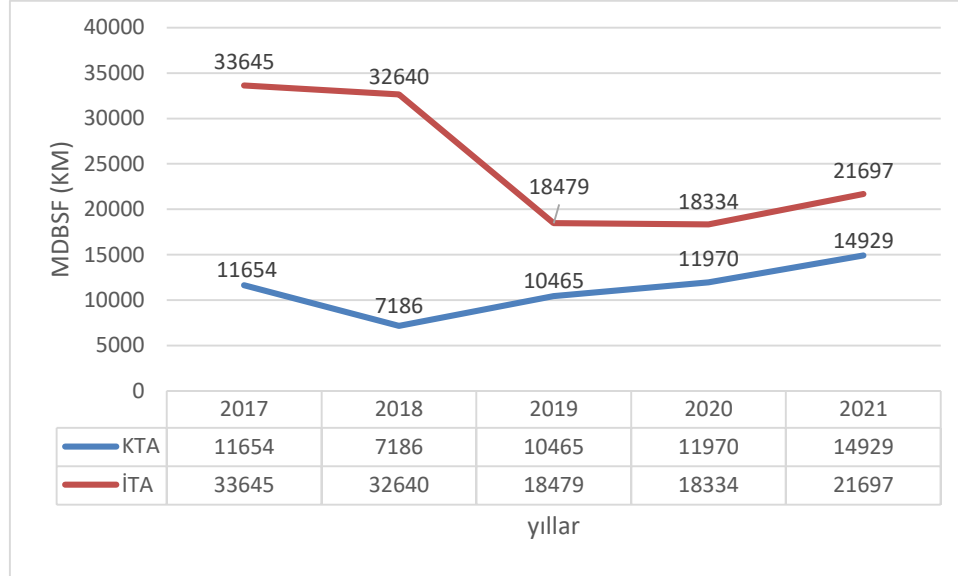
KTA araçlarını yine T4 Topkapı-Habibler hattında aynı çevresel koşullara maruz kalan çalışan İTA araçlarıyla karşılaştığımızda aşağıdaki grafiği elde ederiz.



Şekil 6. T4 İTA ve KTA Araçlarının 2017-2021 Arası MDBF Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil incelendiğinde 2018 yılında her iki aracın da performansındaki düşüş göze çarpmaktadır. 2018 yılından 2021 yılının sonuna kadar araçların MDBF değerleri birbirine yakın seyretmektedir. Bu grafikten araçların yaşlarına bağlı MDBF değerleri değişmeyebilir yorumu yapılabilir. Bunun nedeni KTA araçlarında çeşitli revizyonların yapılması ve sıvı yağlama, yangın algılama, sürücü

kabin kliması, yolcu bilgilendirme gibi sistemlerin olmamasıdır. Bu arızalar işletme için sürüşü mani değildir. Fren sistemi, cer sistemi, pantograf gibi sistemlerde meydana gelen arızalar arızanın niteliğine göre sürüşü mani olabilirler. Bu sistemler çeşitli değişiklikler gösterebilir de iki araçta da var olan sistemlerdir. Bu yüzden araçların MDBF yerine MDBSF verileri karşılaştırılırsa daha gerçekçi sonuçlar elde edilecektir. İlgili hatlara ait 2017-2021 yılları arasındaki MDBSF değerleri hesaplanarak aşağıdaki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 7. T4 KTA ve İTA 2017-2021 Arası MDBSF Karşılaştırması

Grafikte 1975 model KTA araçları ile 2014 model İTA araçlarının MDBSF değerleri karşılaştırılmıştır. Grafik; İTA araçlarında iki servise mani arıza arasındaki ortalama kilometre değerinin KTA araçlarına oranla daha iyi seviyelerde olduğunu açıkça göstermektedir.

Tablo 8. 2019-2020 Yılları KTA ve İTA Bakım Maliyeti Karşılaştırması

Araç tipi	Yıl	Araç sayısı	Toplam işçilik maliyeti	Toplam Malzeme maliyeti	Toplam maliyet	Araç başına toplam maliyet
KTA	2019	30	₺350.954,54	₺180.838,73	₺531.793,27	₺17.726,44
İTA	2019	18	₺133.170,77	₺366.168,82	₺499.339,59	₺27.741,09
KTA	2020	30	₺315.453,52	₺179.103,47	₺494.556,99	₺16.485,23
İTA	2020	18	₺130.135,55	₺241.851,33	₺371.986,88	₺20.665,94

KTA ve İTA araçlarının 2019 ve 2020 yıllarına ait periyodik ve düzeltici bakım maliyetleri karşılaştırıldığında yukarıdaki tablo oluşmaktadır. Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere hem 2019 yılında hem de 2020 yılında araç başına sarf edilen maliyet KTA' larda daha fazladır.

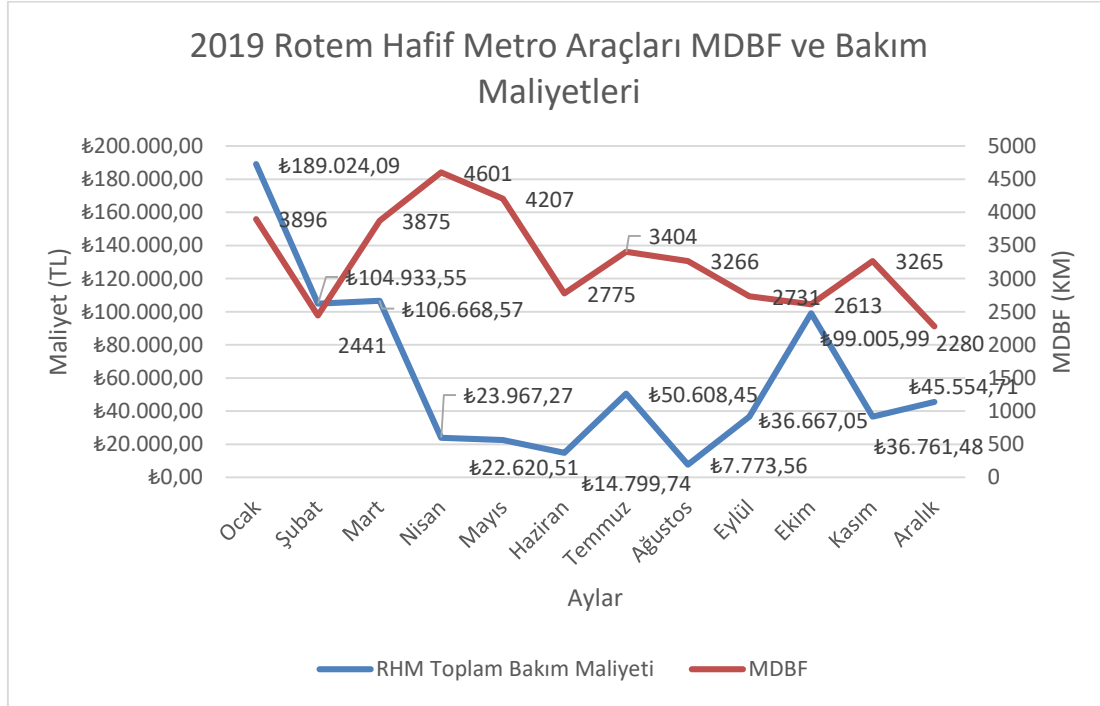
3.1.6. T4 hattı Hyundai Rotem hafif metro aracı (RHM1) incelemesi

Hyundai Rotem markalı hafif metro araçları 2008 yılında yılında T4 Topkapı Habibler hattında işletmeye başladı. Rotem hafif metro araçlarının araç başı bakım maliyetleri değerlendirildiğinde periyodik bakım ve düzeltici bakım maliyetleri toplamı 22.147 TL olduğu görülmektedir.

Tablo 9. Rotem Hafif Metro Araçlarının 2019 Yılı Bakım Maliyetleri ve RAMS Değerleri

Aylar	RHM Toplam Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	₺189.024,09	3896
Şubat	₺104.933,55	2441
Mart	₺106.668,57	3875
Nisan	₺23.967,27	4601
Mayıs	₺22.620,51	4207
Haziran	₺14.799,74	2775
Temmuz	₺50.608,45	3404
Ağustos	₺7.773,56	3266
Eylül	₺36.667,05	2731
Ekim	₺99.005,99	2613
Kasım	₺36.761,48	3265
Aralık	₺45.554,71	2280

RHM1 araçlarının MDBF ve toplam bakım maliyetleri bir araya getirilerek yukarıdaki tablo oluşturulmuş ve grafiğe dökülmüştür.



Şekil 8. RHM 2019 Yılı Bakım Maliyetleri ve MDBF Değerleri Grafiği

Grafik yorumlandığında beklenenin aksine yılbaşından yılın ortalarına kadar çizgiler paralel ilerlemiştir. Ağustos ayından yılsonuna kadar ise MDBF oranları ile bakım maliyetleri bir birlerine zıt yönde hareket etmişlerdir.

3.2. Metro Araçlarında Bakım Maliyeti ve RAMS İlişkisi

Bu kısımda Metro İstanbul'da yolculu işletmede çalışan metro araçlarının bakım maliyeti ile RAMS arasındaki ilişki incelenmiştir. İncelemede farklı tip metro araçları değerlendirilmeye alınmıştır.

3.2.1 M2 hattı Hyundai Rotem metro treni (RMT1) incelemesi

Rotem Metro Araçları (RMT1) M2 Yenikapı-Hacıosman Hattı'nda işletme yapmakta olan araçlardır. Filo toplam 92 araçtan oluşmaktadır. 2008 Yılında yolculu işletmede kullanılmaya başlanmıştır.

Tablo 10. 2019 Yılı Aylara Bağlı Bakım Maliyeti ve MDBF Değerleri

	BAKIM MALİYETİ	MDBF (km)
Ocak	120.688,00 ₺	22678
Şubat	78.898,00 ₺	19067
Mart	86.647,00 ₺	17644
Nisan	111.788,00 ₺	22783
Mayıs	99.643,00 ₺	31805
Haziran	124.518,00 ₺	18175
Temmuz	54.656,00 ₺	15028
Ağustos	37.712,00 ₺	15832
Eylül	107.788,00 ₺	16826
Ekim	104.391,00 ₺	18721
Kasım	120.904,00 ₺	16275
Aralık	117.171,00 ₺	29096

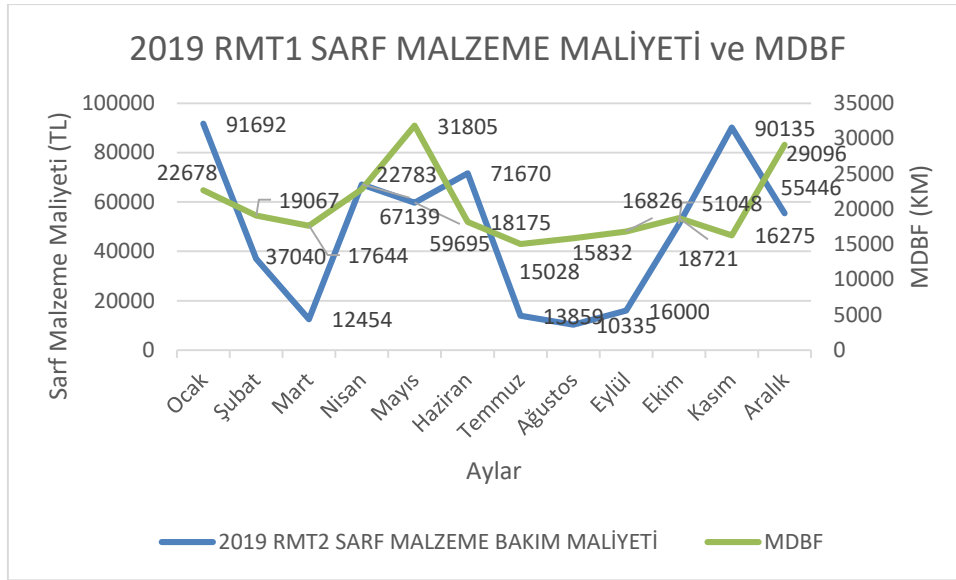
Tablodan bakım maliyeti (işçilik ve malzeme) ile RAMS arasında doğrudan bir ilişki olmadığı görülmektedir. Bazı aylarda bakım maliyeti azalmasına rağmen MDBF düşmüştür. Bakım maliyetinin az olması aracın daha az arızalanacağı anlamına gelir bu durumda RAMS değerlerinin yüksek olması beklenir. Örneğin 2019 Şubat ayında bakım maliyetinin düşmesine rağmen MDBF değeri de düşmüştür.

Benzer inceleme işçilik maliyeti çıkarılarak sadece sarf malzemeler üzerinden yapılmıştır.

Tablo 11. 2019 Yılı RMT1 Sarf Malzeme ve MDBF Tablosu

Aylar	Sarf malzeme maliyeti	MDBF (km)
Ocak	₺91.692,00	22678
Şubat	₺37.040,00	19067
Mart	₺12.454,00	17644
Nisan	₺67.139,00	22783
Mayıs	₺59.695,00	31805
Haziran	₺71.670,00	18175
Temmuz	₺13.859,00	15028
Ağustos	₺10.335,00	15832
Eylül	₺16.000,00	16826
Ekim	₺51.048,00	18721
Kasım	₺90.135,00	16275
Aralık	₺55.446,00	29096

Tablo 11' deki veriler grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 9. 2019 Yılı RMT1 Sarf Malzeme ve MDBF Grafiği

Yukarıda görüleceği üzere sarf malzeme maliyeti ile MDBF arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Örneğin 2019 Şubat ayında bakım maliyeti düşerken MDBF değeri de düşmüştür. Benzer şekilde bakım maliyeti Nisan 2019'da artarken MDBF değeri de artmıştır.

3.2.2. M2 hattı Alstom metro treni (AMT1) metro aracı incelemesi

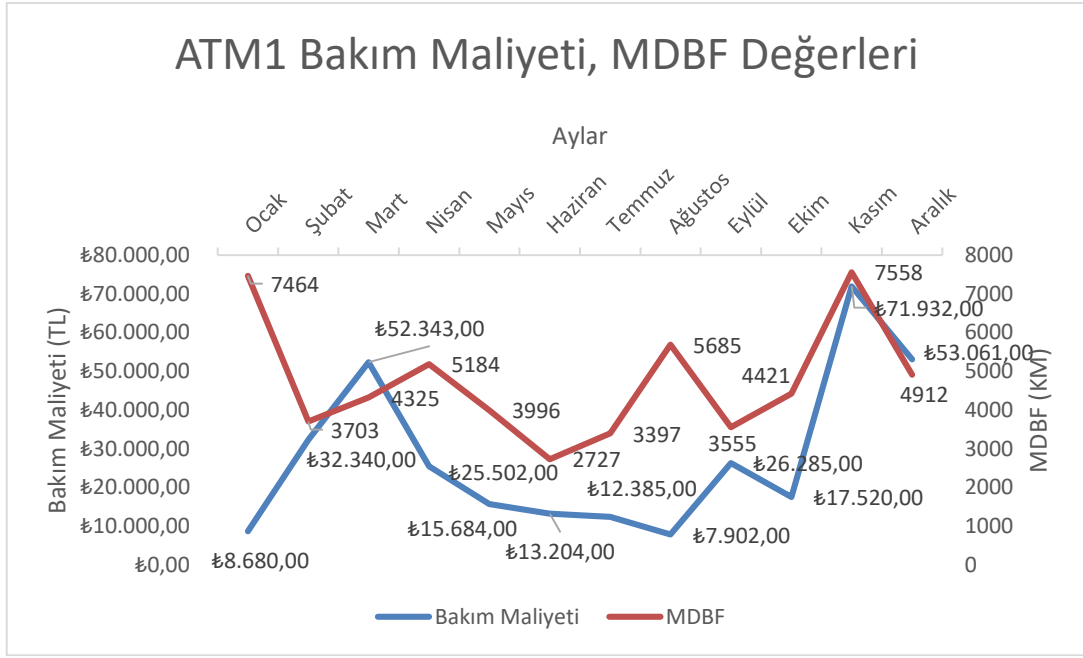
AMT1 araçları Metro İstanbul'un M2 Yenikapı-Hacıosman hattında işletme yapmaktadır. Filo toplam 32 araçtan oluşmaktadır. 1999 Yılında hizmete alınmıştır.

2019 yılı toplam harcama değerleri ile 2019 yılı RAMS değerlerinin MDBF verileri ortak bir tabloya işlenmiş, aralarındaki ilişki değerlendirilmiştir. Burada bakım maliyeti işçilik ve malzeme maliyeti toplamı değerlendirmeye alınmıştır. RAMS Hesaplamalarından MDBF verileri değerlendirilmek üzere alınmıştır.

Tablo 12. AMT1 Bakım Maliyeti ve MDBF Tablosu-2019

ATM1 Bakım Maliyeti, MDBF Değerleri		
	Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	8.680,00 ₺	7464
Şubat	32.340,00 ₺	3703
Mart	52.343,00 ₺	4325
Nisan	25.502,00 ₺	5184
Mayıs	15.684,00 ₺	3996
Haziran	13.204,00 ₺	2727
Temmuz	12.385,00 ₺	3397
Ağustos	7.902,00 ₺	5685
Eylül	26.285,00 ₺	3555
Ekim	17.520,00 ₺	4421
Kasım	71.932,00 ₺	7558
Aralık	53.061,00 ₺	4912

Toplam bakım maliyetleri ve MDBF verileri grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 10. ATM1 Bakım Maliyeti, MDBF Değerleri

Yukarıdaki grafikte görüleceği üzere 2019 Şubat ayında MDBF değeri düşerken bakım maliyeti artmıştır. Mart ayında MDBF değeri artarken bakım maliyeti de artmıştır. Mayıs ayında MDBF değeri düşerken bakım maliyeti de düşmüştür. Kasım ayında MDBF değeri artarken bakım maliyeti de artmıştır. MDBF ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmektedir.

3.2.3. M3 hattı Alstom metro treni (AMT2) incelemesi

2. Alstom metro araçları M3 Kirazlı-Metrokent hattında işletme yapmakta olan araçlardır. Filo 80 araçtan oluşmaktadır. AMT2 (2. Alstom Metro Araçları) 2009 yılında hizmete alınmıştır.

Tablo 13. M3 Hattı Yıllara Bağlı Maliyet Giderleri

YIL	İŞÇİLİK MALİYETİ	MALZEME MALİYETİ	TOPLAM
2019	₺404.818,00	₺289.626,00	₺694.444,00
2020	₺433.611,00	₺603.398,00	₺1.037.009,00
2021	₺700.653,00	₺1.467.708,00	₺2.168.361,00

Yukarıda AMT2 aracına ait yıllara bağlı bakım maliyet tablosu paylaşılmıştır.

Tablo 14. Yıllara Bağlı RAMS Verileri

RAMS VERİLERİ				
	MDBF (km)	MDBSF (km)	MTBF (saat)	MTBSF (saat)
2019	10996	444954	281	11407
2020	17618	565001	451	14486
2021	14844	252018	380	6462

AMT2 Aracının yıllara bağlı rams verileri yukarıda tabloda paylaşılmıştır. Toplamda 80 araç mevcuttur. Araç başına yıllık maliyet aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 15. Araç Başına Maliyet

	Araç Başına Maliyet	MDBF (KM)
2019	₺ 8.680,55	10996
2020	₺12.962,61	17618
2021	₺27.104,51	14844

Yukarıdaki tabloda görüleceği üzere araç başına maliyet 2020 yılında artmıştır, MDBF değeri de 2020 yılında artış göstermiştir. 2021 Yılında araç başına bakım maliyeti artarken, MDBF değeri düşüş göstermiştir. Burada görüleceği üzere yıllara bağlı RAMS verileri ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

3.2.4. M4 hattı CAF metro treni (CMT1) incelemesi

M4 hattında çalışan 144 araçtan oluşan CAF Metro filosu 2011 yılında hizmete alınmıştır.

Tablo 16. M4 Hattı CAF Metro Aracı Yıllara Bağlı Maliyet Giderleri

YIL	İŞÇİLİK MALİYETİ (TL)	MALZEME MALİYETİ (TL)	TOPLAM (TL)
2019	₺161.457,00	₺853.938,00	₺1.015.395,00
2020	₺2.969.122,00	₺7.608.023,00	₺10.577.145,00
2021	₺579.138,00	₺1.098.437,00	₺1.677.575,00

CAF metro aracının yıllara bağlı rams verileri yukarıda tabloda paylaşılmıştır. Toplamda 144 araç mevcuttur. Araç başına yıllık maliyet aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 17. CAF Metro Aracı Araç Başına Maliyet

	Araç Başına Maliyet	MDBF (KM)
2019	₺7.051,35	19835
2020	₺73.452,40	21639
2021	₺11.649,83	16054

Yukarıdaki tabloda görüleceği üzere araç başına maliyet 2020 yılında artmıştır, MDBF değeri de 2020 yılında artış göstermiştir. 2021 Yılında araç başına bakım maliyeti artarken, MDBF değeri düşüş göstermiştir. Burada görüleceği üzere CAF metro aracında yıllara bağlı RAMS verileri ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

3.2.6. Araç genel durum kıyaslaması

Tablo 18. Araç Genel Kıyas Tablosu

	M3 AMT2	M4 CAF	M5 CAF	M2 RMT2	M2 AMT1
Üretim yılı	2009	2011	2017	2008	1999
Araç sayısı	80	144	126	34	32
2019 MDBF (KM)	10996	19835	12208	19530	4728
2020 MDBF (KM)	17618	21639	17054	31230	8816
2021 MDBF (KM)	14844	16054	13208	29539	4407
Son 3 yıla ait ortalama MDBF (KM)	14486	19176	14157	26766	5984

Son 3 yıl verileri incelendiğinde MDBF değeri en yüksek olan araç RMT2'dir. En düşük araç ise AMT1 aracıdır. Araçların yaşı ile MDBF değerleri arasında anlamlı bir ilişki göze çarpmaktadır. Aracın yaşı 1-4 yılları arasında ise MDBF değerinin arttığı anlaşılmaktadır. Bu durum araç yeni olduğu için bir takım arızaların oluşması, sistemler üzerinde revizyon yapılması muhtemeldir. Araç yaşı 10 yıl -13 yıl arasında ise MDBF değeri yüksek çıkmaktadır. Sistemler stabil hale geldiği için arıza sayısı düşmektedir. Araç yaşı 20 yıldan fazla ise çoğu ekipman ömrünü doldurmaya başladığı için arızalar sıklığı artmaktadır. Sistemlerde revizyon ihtiyaçları doğmaktadır. Yolcu konforunu etkileyen sistemlerde revizyonlar gerektiğinden bakım maliyetleri de artmaktadır.

Raylı sistem işletmelerinde en önemli veriler arasında bakım maliyeti ve RAMS verileri yer almaktadır. Bakım maliyetini düşürmek, RAMS verilerini arttırmak için işletmeler sürekli analiz yaparlar. En çok arıza veren sistemler RAMS verileri incelenerek tespit edilip, kök neden bulunur. Kök nedenleri bulunan arızalara kalıcı çözümler getirilir. Arıza sayısını düşürmek aracın işletmede daha uzun süre kalmasını sağlayacağından, ekonomik, konfor, memnuniyet gibi parametrelere etkisi olur.

Bakım maliyeti ile MDBF arasında anlamlı bir ilişki yoktur. Bunun temel sebebi dönemsel olarak yapılan ağır bakım çalışmaları, mevsimler bakımları, revizyon ve iyileştirmelerdir. İşletmelerde lojistik desteklerin yeterli olmadığı durumlar da söz konusu olabilir. Örneğin, depo farklı bir konumda atölye farklı bir konumda olabilir. Bu durumlarda arızalı araca müdahale etmek için hazırda malzeme bulundurma ihtiyacı doğabilir. Depodan alınan malzemeler masraf olarak o ayki mali tabloya yansır.

Bazı arızaların arıza giderilme maliyetleri yüksek olabilir. Örneğin fren sistemini, anons sistemini kontrol eden elektronik kartlar, araç kontrol sistemi kartları pahalı ekipmanlar olduğu için bunlarda meydana gelecek arızaların maliyeti de yüksek çıkabilir. Bu tür sistemlerde arıza sayısı az olmasına rağmen diğer sistemlere göre maliyetler yüksek olacaktır. Bu sebeplerle RAMS değerleri ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişkinin oluşması beklenmez.

Farklı araç tiplerinin bakım maliyetleri ve RAMS değerlerinin karşılaştırılması için uygulama başlığı altında bulunan farklı üreticilere sahip araçların bakım maliyetleri ve MDBF değerleri derlenerek aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 19. Metro, Hafif Metro ve Tramvay Araçlarının
2018, 2019 ve 2020 MDBF Değerlerinin Karşılaştırılması

Araç tipi	Araç Üreticisi	2020 Yılı Ortalama MDBF (km)	2019 Yılı Ortalama MDBF (km)	2018 Yılı Ortalama MDBF (km)
METRO	M2-ROTEM2	50063	18782	7724
	M5-CAF2	14855	11536	1048
	M4-CAF1	18486	19350	19726
	M3-ALSTOM2	15419	10970	11650
	M2-ROTEM1	27265	20327	21730
	M2-ALSTOM1	7773	4744	5858
Metro Araçlarının Ortalama Mdbf Değerleri		22310	14285	11289
HAFİF METRO	T4-ROTEM	2438	3279	2852
	M1-ABB	4612	4612	4422
Hafif Metro Araçlarının Ortalama Mdbf Değerleri		3525	3945	3637
TRAMVAY	T1-ALSTOM	2558	1830	2059
	T1-BOMBARDİER	2563	2183	2221
	T4-ITA	2204	2452	3338
	T4-KTA	2031	2545	2269
Tramvay Araçlarının Ortalama Mdbf Değerleri		2339	2252	2472

Yukarıdaki tabloda bazı metro, hafif metro ve tramvay araçlarının 2018, 2019 ve 2020 yıllarına ait ortalama MDBF değerleri karşılaştırılmıştır. Metro araçlarında 2018, 2019 ve 2020 yıllarının ortalama MDBF değeri yaklaşık 16.000 kilometre iken hafif metroların ortalama MDBF değeri 3702 kilometre, tramvay araçlarının 3 yıllık ortalama MDBF değerleri ise yaklaşık 2354 kilometre olduğu görülmektedir. Karşılaştırma sonucunda metro araçlarının MDBF değerlerinin hafif metro ve tramvayların MDBF değerlerine göre oldukça yüksek olduğu ve hafif metroların performanslarının tramvay araçlarından çok az daha fazla olduğu göze çarpmaktadır.

Benzer bir karşılaştırma da bakım maliyetleri için yapılmış ve aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo20. Bakım Maliyetleri Karşılaştırılması

Araç tipi	Araç Üreticisi	2019 Yılı Bakım Maliyetleri	2019 Yılı Araç Başına Düşen Bakım Maliyetleri
METRO	M4-CAF	₺1.015.395,00	₺7.051,35
	M3-ALSTOM	₺694.444,00	₺8.680,55
	M2-ROTEM1	₺1.164.804,00	₺12.660,91
	M2-ALSTOM	₺1.469.538,00	₺45.923,06
METRO ARAÇLARININ ORTALAMA ARAÇ BAŞINA DÜŞEN BAKIM MALİYETİ			₺18.578,97
HAFİF METRO	T4-ROTEM	₺753.016,34	₺22.147,54
	M1-ABB	₺3.056.565,99	₺29.110,15
HAFİF METRO ARAÇLARININ ORTALAMA ARAÇ BAŞINA DÜŞEN BAKIM MALİYETİ			₺25.628,85
TRAMVAY	T1-ALSTOM	₺1.189.488,62	₺32.148,34
	T1-BOMBARDİER	₺1.999.278,82	₺36.350,52
	T4-ITA	₺499.495,75	₺27.749,76
	T4-KTA	₺531.793,27	₺17.726,44
TRAMVAY ARAÇLARININ ORTALAMA ARAÇ BAŞINA DÜŞEN BAKIM MALİYETİ			₺28.493,77

Tablodan görüleceği üzere metrolar için 2019 yılında araç başına harcanan bakım maliyeti ortalaması yaklaşık 18.579 TL iken hafif metrolarda yaklaşık 25.628 TL, tramvaylarda ise 28.493 TL' dir. Araç başına düşen bakım maliyetleri değerlendirildiğinde en yüksek bakım maliyetlerinin tramvaylarda sonra hafif metrolarda ve en son metro araçlarında olduğu görülmektedir. Metroların MDBF değerlerinin tramvaylara göre 6.34 kat fazla olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu uçurumun maliyetlere yansımadağı görülmektedir.

Bakım maliyetleri ve MDBF' ler birlikte ele alındığında metro araçlarının hem hafif metro araçlarına hem de tramvaylara göre daha düşük bakım maliyeti ve daha yüksek performansla işletme yaptığı görülmektedir. Ancak yatırım maliyetleri de tramvay ve hafif metro hatlarına göre yüksektir.

Araç yaşının bakım maliyetlerine ve RAMS' a etkisini incelemek için en iyi örnek M2 Yenikapı Hacıosman hattında çalışan 2008 model RMT1 (Rotem metro trenleri 1) ve 2017 model RMT2 (Rotem metro trenleri 2) araçlarının karşılaştırmak olacaktır. Çünkü bu araçlar aynı araç üreticisinin ürünüdür ve aynı hatta çalışmaktadırlar. Her iki araç da sürücülü şekilde ATC (Automatic Train Control) modunda ve manuel olarak çalıştırılabilmektedir.

Araç yaşının güvenilirliğe etkisini karşılaştırmak için uygulama başlığı altında RMT1 ve RMT2 için verilen MDBF verileri derlenerek aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 21. RMT1 ve RMT2 Araçlarının MDBF Karşılaştırma Tablosu

MDBF (Km)	M2-ROTEM 2	M2-ROTEM 1
Araç Üretim Yılı	2017	2008
2018 Yılı Ortalama MDBF (km)	7724	21730
2019 Yılı Ortalama MDBF (km)	18782	20327
2020 Yılı Ortalama MDBF (km)	50063	27265
2021 Yılı Ortalama MDBF (km)	38011	28582
4 Yılın Ortalama MDBF (km)	28645	24476

2018, 2019 ve 2020 yıllarına ait MDBF verileri incelendiğinde ilk göze çarpan özellikle RMT2 araçlarının yıldan yıla artan güvenilirlikleridir. 2018 yılında 7724 km ile başlayan MDBF değeri yapılan revizyonlar ve iyileştirme faaliyetleri ile 2019 yılında 18782 km' ye ve 2020 yılında 50063 km' ye kadar çıkmıştır. Buna paralel olarak RMT1 araçlarının MDBF değeri 20000 kilometrelerde stabil olarak hareket etmektedir. RMT 2 araçlarının güvenilirliği 2020 yılında RMT1 araçlarını geride bırakarak büyük bir başarıya ulaşmıştır. 2021 yılında RMT2 araçlarının ortalama MDBF değeri kısmen düşse de RMT1 araçlarının önünde tamamlamıştır. Dolayısıyla araç yaşı arttıkça güvenilirliği azaldığı ve araç yaşının güvenilirlikle ters orantılı olduğu kolaylıkla söylenebilir.

RMT1 ve RMT2 araçlarının emre amadelik oranlarını karşılaştırmak hayli zordur. Emre amadelik planlanan sefer sayısının gerçekleştirilen sefer sayısına oranıdır. RMT1 ve RMT2 araçları aynı hatta işletme yaptıkları için bir aracın arızalanması durumunda diğer araçla işletme yapılabilmektedir. Örneğin; RMT1 treni arızalanması durumunda depoda yedek olarak bekletilen RMT2 treni ile sefere çıkılabilmektedir. Seferler araç markalarına göre planlanmadığından emre amadelik araçtan araca değişmemektedir. Planlanan ve gerçekleşen sefer sayıları her iki aracı da kapsamaktadır.

RAMS' in alt başlıklarından bir diğeri de bakım yapılabilirliktir. Raylı sistem araçlarında bakım yapılabilirlik; araçlarda düzeltici bakım yapılırken harcanan toplam iş yükünün arıza sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır. MTTR (Main Time To Repair) kısaltmasıyla gösterilir. Araç bazında değerlendirildiğinde araç yaşı arttıkça MTTR değerinin azalması beklenmektedir. Bunun nedeni bakım ekibinin yapmış olduğu standart zaman çalışmaları ve iyileştirici revizyonlardır.

Araç teknolojisinin bakım maliyetlerine ve RAMS' a etkisini incelemek için M4 Kadıköy Tavşantepe hattında çalışan 2011 model CMT1 (CAF metro trenleri 1) ve M5 Üsküdar Çekmeköy hattında sürücüsüz olarak çalışan 2017 model CMT2 (CAF metro trenleri) araçları karşılaştırılabilir.

Tablo 202. CMT1 ve CMT2 Metro Araçlarının MDBF Güvenilirlik Karşılaştırılması

Araç Üreticisi	M4-CAF (CMT1)	M5-CAF (CMT2)
2018 Yılı Ortalama MDBF (km)	19726	1048
2019 Yılı Ortalama MDBF (km)	19350	11536
2020 Yılı Ortalama MDBF (km)	18486	14855
2021 Yılı Ortalama MDBF (km)	19000	17012

Yukarıdaki tabloda M4 CMT1 (CAF Metro Treni 1) ve M5 CMT2 (CAF Metro Treni 2) araçlarının güvenilirlik karşılaştırılması yapılmıştır. 2017 yılında hizmete açılan M5 hattında çalışan CMT2 araçlarının 2018 yılındaki ortalama MDBF değeri 1048 kilometredir. Ancak 2018 yılından itibaren yapılan iyileştirme çalışmaları ile araçların güvenilirlikleri yıldan yıla artmıştır. Yukarıdaki tabloda da CMT1 araçlarının MDBF değerleri ortalama yaklaşık 19000 kilometrelerde

hareket ederken CMT2 araçlarında yukarı doğru artan bir performans izlenmektedir. M2 Yenikapı Hacıosman hattında yine 2017 yılında hizmete giren RMT2 araçlarında da benzer bir durumla karşılaşmıştır. RMT2 araçları hizmete girdikten 3 yıl sonra başarılı bir güvenilirlik oranı yakalamıştır. 2020 ve 2021 yılları baz alındığında CMT2 araçları CMT1 araçlarının gerisinde güvenilirlik oranına sahiptir. Kesin ifadeler kullanabilmek için ilerleyen yıllarda hesaplanacak MDBF verilerine ihtiyaç olacaktır ancak mevcut tabloya göre araç teknolojisi arttıkça araçlarda kullanılan sistemler, ekipmanlar ve komponentler arttığından araçların güvenilirliği azalmaktadır.

M4 Kadıköy Tavşantepe ve M5 Üsküdar Çekmeköy hatlarına ait emre amadelik oranı kolaylıkla karşılaştırılabilir. Bunun nedeni araçların farklı hatlarda ve tek tip olmasıdır. Emre amadelik oranlarını doğru bir karşılaştırma için 2022 yılına ait güncel veriler alınarak aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 23. CAF1 ve CAF2 Araçlarına Ait Emre Amadelik Oranlarının Karşılaştırılması

		M4	M5
Oca.22	Planlanan Sefer Sayısı	11448	11099
	Gerçekleşen Sefer Sayısı	11448	11099
	Amadelik Oranı (%)	100	100
Şub.22	Planlanan Sefer Sayısı	10508	10112
	Gerçekleşen Sefer Sayısı	10508	10111
	Amadelik Oranı (%)	100	99,99
Mar.22	Planlanan Sefer Sayısı	11766	11129
	Gerçekleşen Sefer Sayısı	11755	11119
	Amadelik Oranı (%)	99,9	99,91

Tablodan görüldüğü üzere 2022 yılında her iki aracın da emre amadelik oranı %100 ya da bu değere çok yakın seyretmektedir. Bu başarının yakalanmasının en büyük nedeni Metro İstanbul'un uzun yıllardır süregelen işletme ve bakım tecrübesidir. Bu tabloya göre araç teknolojisinin emre amadelik oranı ile anlamlı bir ilişkisi gözükmemektedir.

Araçların bakım yapılabilirlik açısından karşılaştırılması için yine 2022 yılına ait güncel veriler ile aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 24. 2022 Yılı Verileri

		M4	M5
Ocak	Fiili İş Süresi (dk)	9959	12895
	Toplam Arıza Sayısı	65	103,00
	MTTR (dk)	153,21	125,19
	MTTR (h)	2,55	2,08
Şubat	Fiili İş Süresi (dk)	11146,60	13007
	Toplam Arıza Sayısı	82	145,00
	MTTR (dk)	135,93	89,70
	MTTR (h)	2,26	1,49
Mart	Fiili İş Süresi (dk)	10911	18296
	Toplam Arıza Sayısı	69	161
	MTTR (dk)	158,13	113,63
	MTTR (h)	2,63	1,89

Tabloya göre 2022 yılının ilk 3 ayında da M5 CAF2 yüksek teknolojlili sürücüsüz metro araçlarının M4 CAF1 metro araçlarına göre bakım yapılabilirlik açısından daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Bunun nedeni teknolojik gelişmelerin etkisiyle çalışılan araç tasarımları ve LRU (Line Replaceable Unit) politikası ile yapılan bakımların etkisidir.

RAMS parametrelerinden güvenlikle ilgili kısım bütün projelerde üzerinde en çok tartışılan ve zaman harcanan süreçlerden biridir. Özellikle sürücüsüz metrolar için güvenlik olgusu sık sık gündeme gelmektedir. Projelerde İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi) araç üreticileri ve işletmeci firma olan Metro İstanbul güvenlik üzerine çeşitli çalışmalar ve risk analizleri yaparlar. Risk analizlerinde olası bir kaza, ihmal ya da aksaklık durumunda sistemin insana, çevreye ve sistemin kendisine verebileceği riskler ortaya konulur. Ortaya konulan riskler şiddetleri, frekansları gibi bir takım özellikleri kullanılarak farklı metotlarla risk matrisleri oluşturulur. Risk matrislerinde kabul edilemez riskler kesinlikle elimine edilir. İstenmeyen riskler ise teknik altyapının izin verdiği ölçüde giderilir. Kabul edilmesi için araç üreticisi ile idare arasında anlaşmaya varılır. İnsana, çevreye ve sisteme zararı yok denecek kadar az olan riskler ise anlaşmasız kabul edilebilir.

4. SONUÇ

Metro İstanbul tarafından işletmesi yapılan T1 Kabataş Bağcılar, T4 Topkapı Habibler, T5 Eminönü Alibeyköy, M1 Yenikapı Kirazlı Atatürk Havalimanı, M2 Yenikapı Hacıosman, M3 Kirazlı Başakşehir Metrokent, M4 Kadıköy Tavşantepe ve M5 Üsküdar Çekmeköy hatlarına ait raylı sistem araçlarının ağırlıklı olarak 2019 yılı olmak üzere 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait bakım maliyetleri ve RAMS verileri incelenmiştir. Yapılan incelemelerde bakım maliyetleri ile RAMS performansları arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. RAMS ile bakım maliyetleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamasının çeşitli nedenleri bulunmaktadır. Bunların başında önleyici bakımlar hem maliyetleri hem de RAMS performanslarını arttırırken düzeltici bakımlar yalnızca maliyetleri arttırmaktadır. Bakım ekipleri önleyici bakımlarda kritik ekipmanlara ait komponentlerde pahalı parça değişimleri yapabilirken kritik olmayan ekipmanlarda kaynakların verimli kullanılması açısından parça değişimine gerek duymazlar. Bu da RAMS performansları ile maliyetler arasındaki ilişkiyi anlamsızlaştırır. RAMS ile maliyetler arasındaki ilişkiyi anlamsızlaştıran başka bir durum ise pahalı ekipmanlar ve bileşenlerdir. Bu komponentlerde meydana gelen az sayıdaki arızalar maliyetleri çok fazla arttırabilmektedir. Bunların yanında araçlardaki iyileştirici revizyonlar, çevresel etmenler, ray ve hat geometrisi, aracın enerji beslemesi, önleyici bakım periyotları, mevsimsel koşullar, yolcu sayısına bağlı araçlara düşen ağırlık bakım maliyetleri ile RAMS performanslarını etkileyen diğer faktörlerdir.

Çalışma kapsamında tramvay, metro ve hafif metro raylı sistem araç tiplerinin bakım maliyetlerine ve RAMS güvenilirliğine etkisi incelenerek analiz edilmiştir. İncelemelerde tramvay araçlarından ATA1, BTA1, İTA1 ve KTA araçlarına hafif metro araçlarından RHM1 ve ABB araçlarına metro araçlarından ise RMT1, RMT2, CMT1, CMT2, AMT1 ve AMT2 araçlarına ait bakım maliyetleri ile RAMS performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda metrolara ait RAMS performans verilerinin hafif metro ve tramvaylara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine metro araçlarının araç başına düşen bakım masraflarının daha düşük olduğu görülmektedir. Hafif metro araçlarının bakım maliyetleri ve RAMS performansları da tramvay araçlarına yakın değerlerdedir. Bakım maliyetleri tramvay araçlarının altında RAMS performansları ise tramvay araçlarının üstündedir.

KTA1-İTA1 araçlarının karşılaştırılmasında görüldüğü üzere araçlarda bulunan sistem ve ekipman sayısının az olması MDBF performansının yüksek gözükmesine neden olabilir. Ancak bu durum

araçların MDBSF performansı üzerinde pek etkili değildir. Bunun nedeni cer sistemi, fren sistemi gibi kritik sistemlerin ve ekipmanların her iki araçta da bulunmasıdır.

Araç yaşlarının RAMS performanslarına etkisi incelenmiştir. İncelemeler neticesinde araçların ilk devreye alındığı dönemlerde RAMS performanslarının düşük olduğu, yapılan iyileştirme ve revizyon çalışmalarıyla performanslarında hızlı bir artış olduğu görülmüştür. Yine benzer şekilde 30 yıl işletme ömrünü doldurmaya yakın araçların RAMS performanslarının yavaşça düştüğü gözlemlenmektedir. Ancak profesyonel bakım faaliyetleri bu düşüşü yavaşlatmaktadır.

Araç teknolojilerinin RAMS performanslarına etkisini incelemek için M5 CMT2 sürücüsüz metro aracı ve M4 CMT1 metro aracı verileri incelenmiştir. İnceleme sonucunda CMT1 araçlarının performanslarının sürücüsüz CMT2 araçlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. CMT2 araçları Türkiye’de kullanılan ilk sürücüsüz metro hattı olması ve fazla bir geçmişi bulunmaması nedeniyle kesin ifadeler kullanılması için daha çok zamana ve veriye ihtiyaç vardır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmada kullanılan verilerin temini için Metro İstanbul A.Ş.’ye teşekkürlerini sunar.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Anonim, DIN 31051 (2012). Fundamentals of maintenance, *German Institute for Standardisation*, Berlin.

Anonim, (2016). T5 Eminönü Alibeyköy yapım işi ve araç alım işi teknik şartnamesi. T5 Eminönü Alibeyköy hat inşaat, elektromekanik ve araç alım işi teknik şartnamesi. *İstanbul Büyükşehir Belediyesi*, İstanbul.

Anonim, EN 13306 (2017). European Norm. Maintenance terminology. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5af77559-ca38-483a-9310-823e8c517ee7/en-13306-2017> adresinden 20 Temmuz 2022 tarihinde alınmıştır.

Kadıoğlu, T. (2020). *Raylı sistem araçlarında Rams Verilerini ve tekniklerini kullanarak, araç performansını, bakım ve arıza giderlerini iyileştirmek, izleme yöntemiyle bakım*. [Yüksek lisans tezi], İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Kapurch, S. (2010). NASA systems engineering handbook. *DIANE Publishing*. UK.

Stapelberg, R. F. (2009). Handbook Of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design. *Springer*. Almanya.

- Toparlı, F. (2021). *Kabataş-Bağcılar tramvay hattı araç gürültü ölçümleri ve değerlendirmesi*. [Yüksek lisans tezi], İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Zhou, G. R. (2020). Modeling and application of risk assessment considering veto factors using fuzzy petri nets. *Journal Of Loss Prevention In The Process Industries*.67, 1,11.