

Bir Hafif Raylı Ulaşım Sisteminde Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi Uygulaması

Selin SABUNCU¹, Eda YILDIRAK¹, Ceren TOPAL¹, Başak BIYIK¹, Zeynep CEYLAN^{1*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye
*(zeynep.dokumaci@omu.edu.tr)

Özet – Günümüzde, kentsel nüfus hızla artmakta ve bu artışın sonucu olarak toplu yaşam alanlarında ulaşım önemli bir problem haline gelmektedir. Özellikle, büyük şehirlerde nüfusun hızlı artışı, enerji kaynaklarında sınırlamalar ve hava kirliliği gibi sorunlar ulaşım da hafif raylı sisteme geçişi kaçınılmaz hale getirmiştir. Hafif raylı sistemler, hızlı, güvenilir, konforlu ve yüksek yolcu kapasitesiyle en çok tercih edilen toplu taşıma sistemidir. Bu sistemlerin verimli şekilde hizmet verebilmesi için araçların arızasız ve sorunsuz bir şekilde sefere hazır olması gerekir. Arızalar nedeniyle meydana gelen olumsuzluklar, birim maliyetlerde artışa, zaman kaybına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Bu nedenle etkin hizmet sağlamak için arızalara hızlı ve güvenli çözüm getirmek arıza oluşumunun önlenmesi için önemli bir hale gelmiştir.

Bu çalışmada, bir hafif raylı ulaşım sisteminde Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi (BHTEA) incelenmiş ve arıza kayıtları(hatalar) üzerinde çalışılmıştır. Ulaşım da büyük önem taşıyan toplu taşıma sistemlerinde meydana gelen arızalar sonucunda oluşan kayıplar üzerinde durulmuştur. HTEA ve bulanık mantık birlikte kullanılarak belirsizlik ve kararsızlık durumlarında daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir. Kullanılan yöntemde hata olasılığı, şiddeti ve saptanabilirliği kriterleri tanımlanmış ve hataların önem katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar BHTEA’da tanımlı olan tablolar yardımıyla puanlara çevrilerek riskler için risk öncelik sayıları (RÖS) belirlenmiştir. Başvurulan çözüm yöntemleri sonucu önleyici bakım politikaları önerilmiştir. Böylelikle, hesaplanan önleyici bakım maliyetleri sayesinde iyileştirme sağlanmış ve RÖS değerleri önemli ölçüde düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Bulanık Mantık, Hata Türü ve Etkileri Analizi, Karar Ağacı, Risk Öncelik Sayısı

Application of Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis in a Light Railway Transit System

Abstract – Nowadays, the urban population is increasing rapidly and as a result of this increase, transportation becomes an important problem in public living areas. In particular, the rapid growth of the population in big cities, limitations in energy resources and air pollution have made the transition to a light railway system inevitable. Light rail systems are the most preferred public transportation system with fast, reliable, comfortable and high passenger capacity. In order to serve efficiently of these systems, vehicles must be ready for faultless and trouble-free operation. The adversities caused by malfunctions lead to an increase in unit costs, loss of time and customer dissatisfaction. Therefore, providing fast and safe solutions to malfunctions in order to provide effective service has become an important factor in preventing malfunction.

In this study, Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FFMEA) in a light railway transportation system was examined and fault records (errors) were studied. Losses as a result of failures in public transportation systems which are of great importance in transportation are emphasized. It is aimed to obtain more realistic results in cases of ambiguity and uncertainty by using FMEA and fuzzy logic. In this method, error probability, severity and detectability criteria were defined and the significance coefficients of the errors were obtained. These coefficients were converted to scores by means of tables defined in FFMEA and Risk Priority Numbers (RPN) were determined for risks. Preventive maintenance policies were proposed as a result of the solution methods applied. As a result, with the aid of calculated preventive maintenance costs an improvement has been achieved and RPN values have been significantly reduced.

Keywords – Fuzzy Logic, Failure Mode and Effect Analysis, Decision Tree, Risk Priority Number

I. GİRİŞ

Özellikle büyük kentlerde artan nüfus nedeniyle ulaşım büyük bir sorun haline gelmektedir. Ulaşımın karmaşık bir duruma düşmesini önlemek amacıyla teknolojik gelişmeleri ve modern uygulamaları göz önünde bulundurarak verimli, ekonomik ve toplumsal faydayı sağlayan ulaşım sistemleri geliştirilmektedir [1]. Günümüzde hafif raylı ulaşım sistemleri yaşanan trafik sorununu hafifletmeye yardımcı olan ve çoğu

ülkede yaygın kullanılan bir ulaşım biçimidir. Raylı sistemler sadece insan taşımacılığı değil aynı zamanda yük taşımacılığı için de hız ve ekonomik açıdan en verimli sistemlerdir. Bu nedenle ulaşım türleri içinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Bunu sahip olduğu yüksek kapasite, belirlenmiş, düzenli ve karayollarından ayrılmış bir rota kullanımı sayesinde gerçekleştirmektedir.

Hafif raylı sistemlerinin en önemli görevi, yolcularına emniyetli, konforlu ve güvenilir bir hizmet sunmaktır. Sunulan hizmetin kalitesinin ve yolcu memnuniyetinin artırılması için bu sistemde olabilecek tüm potansiyel hatalar önceden tespit edilmelidir. Bu çalışmada, hafif raylı ulaşım sistemlerinde meydana gelecek olası hataların önceden fark edilmesi için mevcut hataların sebeplerinin ve etkilerinin belirlenmesi, risk önceliklerine göre değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması ile bu sistemin daha etkin kullanılmasına yardımcı olunması hedeflenmektedir. Bunun sonucu olarak, maliyetlerin azaltılması, iş süreçlerinde verimliliğin artırılması, topluma sunulan hizmet kalitesinin artırılması ve daha güvenilir bir hizmet ile müşteri memnuniyetinin üst seviyeye çıkarılması hedeflenmektedir.

Bu amaçlar doğrultusunda, bu çalışmada bir hafif raylı ulaşım sisteminde meydana gelmiş arıza kayıtları incelenmiş ve kalite ve süreçlerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan önemli bir risk analizi tekniği olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi kullanılmıştır. HTEA tekniği uluslararası ismiyle Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), riskleri tahmin ederek olası hataları önlemek amacıyla en öncelikli olanından başlayıp sistemin bütünü iyileştirmeyi hedefleyen etkili bir yöntemdir [2]. Yöntemde hata olasılığı, şiddeti ve saptanabilirliği gibi kesin sayılar ile ifade edilemeyen belirsiz kavramlar ve karar vericilerin bilgilerinin aktarımı bulanık mantık ile sağlanmış ve böylece daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır. Literatürde, HTEA tekniğinin sanayi [3] otomotiv [4], sağlık [5,6], inşaat [7], eğitim [8] gibi farklı sektörde uygulandığı pek çok çalışmaya rastlanırken ulaşım sektöründe uygulandığı oldukça az çalışmaya rastlanmıştır. Bu yönüyle, bu çalışmanın literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi (BHTEA)

BHTEA tekniğinin uygulanmasında izlenen yol klasik HTEA yönteminden izlenen yoldan farklı olmamakla birlikte genel olarak mevcut sistemin belirlenmesi ve hedefin tanımlanması, çalışma ekibinin oluşturulması, çalışma yapılacak sistem, servis veya sürecin incelenmesi, hata türlerinin, etkilerinin ve nedenlerinin belirlenmesi, risk değerlendirmesi ve düzeltici önlemler alınması gibi adımlardan oluşmaktadır.

Risk değerlendirmesi, belirlenen üç kriter üzerinden yapılan derecelendirme ile bu derecelendirme ile ulaşılan üç risk puanından genel bir risk puanı hesaplama sürecidir. Hata türlerinin ortaya çıkmasına neden olan hata nedenlerinin meydana gelme olasılığının riskine “olasılık puanı (OP)”, saptanabilme güçlüğüne ilişkin riske “saptanabilirlik puanı (SP)”, hatanın nedeninin ortadan kaldırılamadığı durumda oluşabilecek hasarın şiddetine ilişkin riske ise “şiddet puanı (ŞP)” denilmektedir.

Genel kritikliği belirleyen ölçüt ise Risk Öncelik Sayısı (RÖS) olarak ifade edilmektedir. Bu sayı yukarıda belirtilen olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin çarpımından elde edilmektedir: $RÖS = Şiddet (ŞP) \times Olasılık (OP) \times Saptanabilirlik (SP)$. BHTEA'nın ilk adımı olan verilerin

bulanıklaştırılmasında grafiksel üyelik fonksiyon tanımlamaları kullanılmaktadır. Bu işlem yapılırken Tablo 1'den yararlanılmaktadır.

Tablo 1. Grafiksel üyelik fonksiyon tanımlamaları

Dilsel İfade	Üçgensel Bulanık Sayı
Çok düşük (ÇD)	(0, 1, 3)
Düşük (D)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Yüksek (Y)	(5, 7, 9)
Çok Yüksek (ÇY)	(7, 9, 10)

BHTEA yaklaşımında, klasik HTEA yönteminden farklı olarak RÖS hesaplanması için gerekli olan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik puanlarının verilmesinde karar vericiye net veriler yerine daha sözel verilerle işlem yapma kolaylığı sağlanmıştır.

Bu ifadelerin belirlenmesinde Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'den yararlanılır.

Tablo 2. BHTEA olasılık tablosu

Arıza Olasılığının Betimlenmesi	Arızalar Arası Ortalama Süre	Değer	Oran (%)
Çok düşük	> 5 yıl	1	< 0.01
Düşük	2-5 yıl	2-3	0.01-01
Orta	1-2 yıl	4-6	0.1-0.5
Yüksek	3-6 ay	7-8	0.5-1
Çok yüksek	<3 ay	9-10	> 1

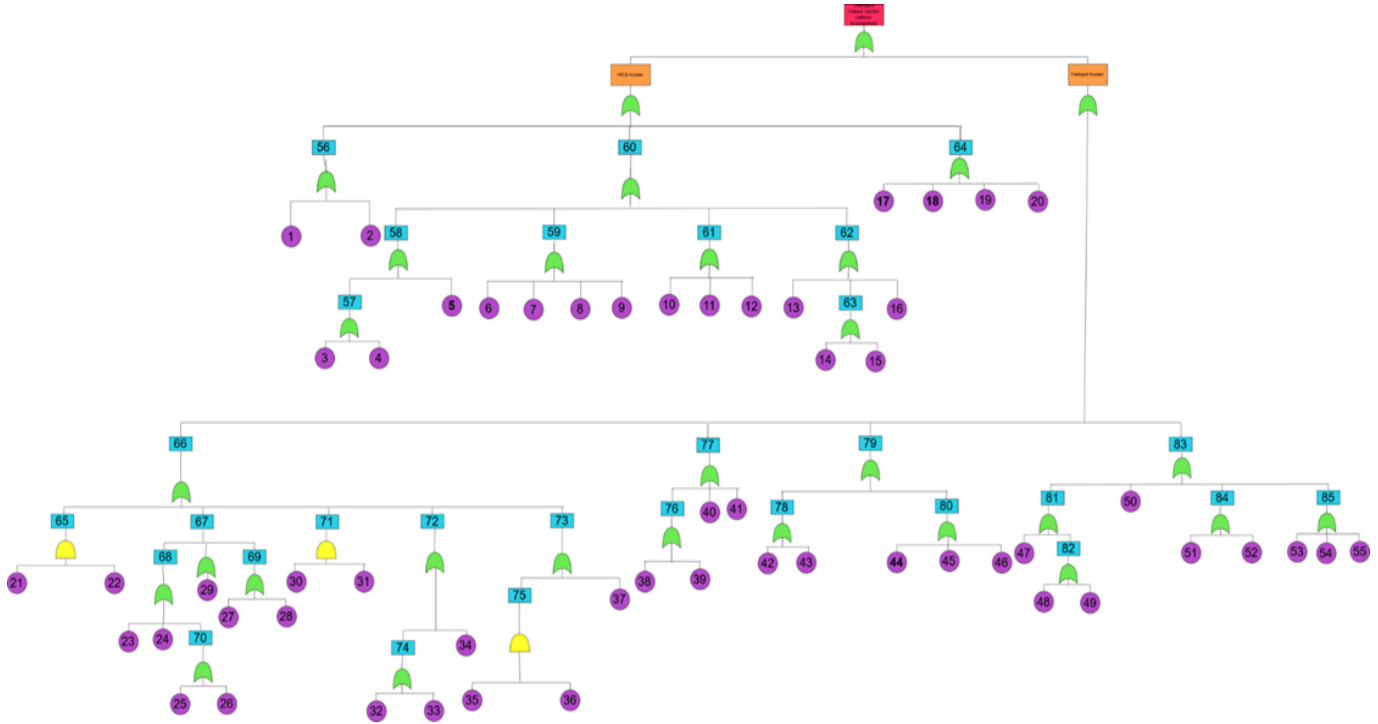
Tablo 3. BHTEA şiddet tablosu

Şiddeti	Dilsel İfade	Anlamı
1	Çok düşük	Onarım süresi > 1 saat
2-3	Düşük	Onarım süresi > 1 gün
4-6	Orta	Onarım süresi > 1-4 gün
7-8	Yüksek	Onarım için dış müdahale gerekli
9-10	Çok Yüksek	Hat kapanması ya da üretim kaybı

Tablo 4. BHTEA saptanabilirlik tablosu

Dilsel İfade	Değer	Algılama Olasılığı (%)
Çok düşük	1	0-5
Düşük	2	6-15
	3	16-25
Orta	4	26-35
	5	36-45
	6	46-55
Yüksek	7	56-65
	8	66-75
	9	76-85
Çok yüksek	10	86-100

Her hata için RÖS değeri bulunduktan sonra hatalar sıralanır ve RÖS değerleri değerlendirilerek önlem alınacak hata türleri ve belirlenecek önlemler üzerinde durulur. Öncelikle hataları sistematik olarak analiz etmek ve süreci kolaylaştırmak için HTEA tablosu oluşturulur.



Şekil 1. Tramvay yüksek gerilim hattının arızalanmasına ait hata ağacı

HTEA’da temel amaç yüksek RÖS değerlerini mümkün olduğunca aşağıya çekmektir. Bu işlem ise daha önce belirlenen olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerini düşürmek ile sağlanabilir. Olasılık değerini düşürmek için tasarımlar, korumalar, üretim yönetimi değişiklikleri yapılabilir. Saptanabilirliğin düşürülmesi için ise kontrol yönetimleri üstünde durulabilir. Şiddeti düşürmek ise bazı durumlarda mümkün olmayabilir. Son aşamada ise kritik RÖS değerleri ortadan kaldırılıncaya kadar çözümler incelenir ve değerlendirilir.

III. UYGULAMA

Bu çalışmada, BHTEA tekniğinin uygulaması için bir hafif raylı sistem işletmesi ele alınmıştır. Hafif raylı ulaşım sisteminde meydana gelen arızaların tespiti için işletmede kullanılan bakım yönetim sistemi detaylı incelenmiş ve mevcut arızalar kaydedilmiştir.

Ana arıza nedeni “tramvayın yüksek gerilim hattının arızalanması” olarak belirlenmiştir. Bu arızanın alt nedenlerine inilerek kök nedenin tespiti için draw.io programından yararlanılarak hata ağacı oluşturulmuş ve hatalar numaralandırılmıştır. (Şekil 1).

RÖS değerinin hesaplanması için gerekli olan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin belirlenmesi için şirketteki bilir kişiler ile birlikte hata tablosu oluşturulmuştur. Oluşturulan hata tablosunda olasılık, şiddet ve saptanabilirlik dereceleri çarpılarak her riskin bulanık RÖS değeri bulunmuş ve $\tilde{a} = (a_1 + 4a_2 + a_3) / 6$ formülü uygulanarak durulaştırılmış RÖS değerleri elde edilmiştir.

Elde edilen durulaştırılmış RÖS değerleri ile pareto analizi yapılmış ve öncelikle hangi hatalarda iyileştirme yapılması gerektiği saptanmıştır. Belirlenen hatalar Tablo 5’ de belirtilmiştir. Yapılan pareto analizleri sonucu HSCB ve pantograf kaynaklı arızaların etkileri üzerinde durulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 5. Pareto analizi sonucu belirlenen hata nedenleri

Hata No	Hata Nedeni
1	Fren sistemlerinden birinin arızalanması
19	Kontrol kartı arızası
42	Yabancı cisimlerden kaynaklı arızalar
43	Kontrol yetersizliğinden kaynaklı arıza
45	Bağlantı civatalarının gevşemesinden kaynaklı arıza
10	PIA kartı arızası
57	Kontaktör arızaları
3	Yardımcı kontakt arızası
44	Aşırı kuvvetten kaynaklı arızalar
38	Pantograf motoru arızası
39	Sınır switch arızası
55	Kontrol butonu arızası
63	İzolasyon arızası
14	Su sızmasından kaynaklı arızalar
6	IGBT sürücü kartı arızası
18	Piston arızası
53	Gösterge ikonlarının arızası
11	Güç kartı arızası
13	Sensor arızası
4	Mekanik aşınma kaynaklı arıza
17	Yay kırılması arızası
2	Besleme sistemi kaynaklı arızalar
47	Kataner teliyle bağlantı sağlanamamasından kaynaklı arıza

IV. TARTIŞMA

A. Önleyici Bakım Planının Oluşturulması

Pareto analizi ile öncelikli hata nedenleri belirlendikten sonra şirketteki bilir kişiler, uzmanlar ve mühendisler ile beyin fırtınası yapılmış ve çözüm önerileri konusunda fikir alışverişi yapılmıştır. Genel olarak, çözüm önerileri arasından görüş birliği ile en etkili çözümün önleyici bakım politikalarının

geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmış ve pareto sonucu çıkan tüm arızalar için önleyici bakım planı oluşturulmuştur.

İşletme için en uygun bakım planının seçilmesinde en önemli kriter maliyetlerdir. Bu nedenle, bakım planının oluşturulması için gerekli işçilik, malzeme ve hizmet maliyetleri ve arıza sayıları ve arızalar arası ortalama süre gibi bilgiler işletmenin bakım yönetim sisteminden sağlanmış ve Tablo 6'da yer alan formüller kullanarak bazı hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 6. Bakım planının oluşturulması için gerekli maliyet türleri ve formüller

Maliyet	Formül
Önleyici Bakım Maliyeti	(Net Çalışma Saati/Önleyici Bakım Periyodu) * Birim Önleyici Bakım Maliyeti
Tamir Maliyeti	(Net Çalışma Saati/Önleyici Bakım Periyodu) * Bir Sonraki Önleyici Bakımdan Önce Arıza Olasılığı * Birim Tamir Maliyeti
Toplam Maliyet	Önleyici Bakım Maliyeti + Tamir Maliyeti

Net çalışma saati 250 gün/yıl olarak hesaba katılarak pareto analizi ile belirlenen her hata nedeni için önleyici bakım periyotları hesaplanmıştır. Örnek olarak, Tablo 7'de 39 hata numarasına ait sınır switch arızasının önleyici bakım politikasına ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 7. 39 Nolu Hata için (Sınır Switch Arızası) Maliyetlerin Hesaplanması ve Periyotların Belirlenmesi

Önleyici Bakım Periyodu	Yıllık Önleyici Bakım Adeti	Bir Sonraki Önleyici Bakımdan Önce Arıza Olasılığı	Önleyici Bakım Maliyeti (TL)	Tamir Maliyeti (TL)	Toplam Maliyeti (TL)
25	10	0.03	1840	1076	2916
50	5	0.07	920	1255	2175
75	3	0.12	613	1399	2012
100	3	0.18	460	1632	2092
125	2	0.28	368	2023	2391
150	2	0.39	307	2343	2650
175	1	0.52	263	2664	2927
200	1	0.66	230	2936	3166
225	1	0.80	204	3188	3392
250	1	1.00	184	3586	3770

Toplam maliyetin azalıştan artışa geçtiği noktadaki en düşük maliyet seçildiğinde önleyici bakım maliyeti tamir maliyetinden daha düşük ise önleyici bakım planı önerilebilir. Plan içerisinde, kaç günde bir bakım yapılacağı, yıllık kaç adet bakım yapılacağı her hata nedeni için ayrıca belirlenmiştir. Örnekteki, sınır switch arızası için bakım periyodu 25 gün ele alınarak hesaplamalar yapılmıştır ve 100. Gün periyodunda toplam maliyetin yükseldiği gözlenmektedir. Tablo 7' de görüldüğü gibi önleyici bakım maliyetleri tamir maliyetlerinden düşük çıkmıştır. Bu durum, işletmenin önleyici bakım planlarını uygulamasının, daha karlı olduğu sonucunu göstermektedir.

B. Yeni RÖS Değerlerinin Hesaplanması

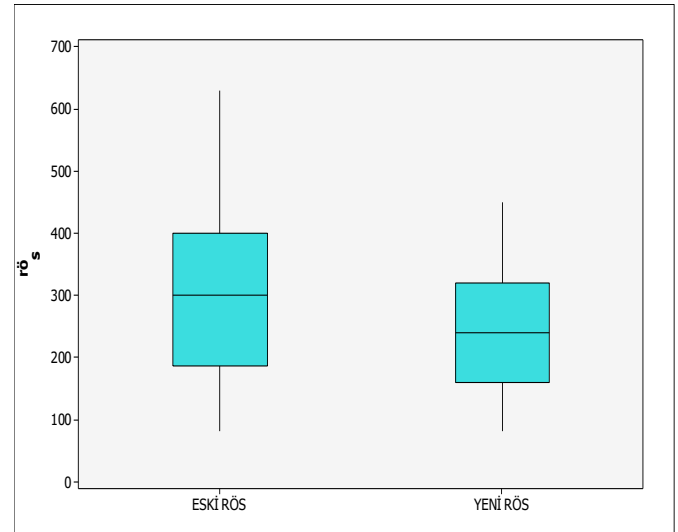
Pareto analizi ile belirlenen her hata nedeni için iyileştirme sonrası yeni RÖS değerleri hesaplanmıştır. BHTEA yöntemi ile hesaplanan eski RÖS değerleri ile iyileştirme sonrası

hesaplanan yeni RÖS değerleri karşılaştırılması Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Yeni ve Eski RÖS değerlerinin karşılaştırılması

Arızalar (Hatalar)	Yeni RÖS Değeri	Eski RÖS Değeri
1	450	500
19	180	210
42	320	400
43	400	630
45	320	450
10	360	480
57	280	320
3	288	336
44	280	400
38	280	300
39	210	300
55	240	300
63	320	400
14	224	240
6	224	240
18	320	400
53	100	180
11	168	192
13	192	216
4	96	160
17	150	180
2	100	100
47	120	100

Şekil 2'de kutu diyagramı ile eski RÖS ve yeni RÖS değerleri görselleştirilmiştir.



Şekil 2. Kutu Diyagramı

Kutu diyagramında, önleyici bakım planı ile RÖS değerlerinin düştüğü ve değişkenliğin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, mevcut durum ve önerilen durum sonrası oluşan farklılığın anlamlılığının tespiti için MINITAB istatistik programında paired-t testi yapılmış ve test çıktısı Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Paired-t Testi Sonucu

	Mean	StDev	SE Mean
Eski RÖS	300.6	139.4	27.9
Yeni RÖS	242.5	102.4	20.5
Fark	58.1	53.2	10.6

t -Value= 5.46, p -Value= 0.000

Paired t- testi sonucu ile de p-değerinin 0,05'den düşük çıktığı yani kutu diyagramında görsel olarak ifade edilen bu farklılığın anlamlı olduğu çıkarılmaktadır.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, bir hafif raylı sistem işletmesinde kalite ve süreçlerin iyileştirilmesinde önemli bir kalite aracı olan hata türü ve etkileri analizi (HTEA) incelenmiştir. İşletme yönetim sistemindeki arıza kayıtları ve kök nedenleri detaylı ele alınmıştır. Teknik durumların anlaşılması için işletmeden alınan arıza formları ve bilir kişilerle gerçekleşen görüşmeler sonucu hata ağacı kullanımı tercih edilmiş ve ana arıza nedeni "tramvayın yüksek gerilim hattının arızalanması" olmasına karar verilmiştir. Oluşturulan hata ağacı sayesinde arızaların nedenleri ve alt nedenlerine inilerek mevcut durum kapsamlı hale getirilmiştir.

Klasik HTEA yaklaşımdan farklı olarak kök nedenlerin meydana gelme olasılıkları, saptanabilirlikleri ve şiddet kriterlerinin belirlenmesinde bulanık mantık (dilsel ifade) kullanılarak daha doğru sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu üç kriter değerlendirilerek her hata nedeni için BHTEA'da tanımlı olan tablolar yardımıyla risk öncelik sayıları (RÖS) hesaplanmıştır. Pareto analizi ile kök nedenler içerisinde arızaya asıl sebep veren hatalar belirlenmiş ve HSCB ve pantograf kaynaklı arızaların etkileri üzerinde daha fazla durulması gerektiği kararlaştırılmıştır. İşletmedeki uzman, bilirkişiler ve mühendisler ile gerçekleştirilen beyinfırtınası sonucu temel çözüm yönteminin önleyici bakım politikaları geliştirilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Yapılan önleyici bakım maliyetleri hesaplamasında pareto analizi sonucu belirlenen her bir hata için uygulanması gereken bakım periyotları hesaplanmış ve önleyici bakım politikası önerilerek firma içi maliyetlerde iyileştirme sonuçları elde edilmiştir. Tespit edilen arızaların düzeltilmesi halinde yüksek maliyet ve zamandan kazanç sağlanması, verimliliğin üst seviyeye çıkarılarak mutlu çalışan ve dolayısıyla mutlu müşteri çıktılarının elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede ülkemizdeki refah seviyesinin artması ve uyumlu çalışan-yönetici, kolay ve güvenli ulaşım sağlanması hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Gündüz, A. Y., Kaya, M., & Aydemir, C. (2011). Kentiçi Ulaşımında Karayolu Ulaşımına Alternatif Sistem: Raylı Ulaşım Sistemi. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 2(1), 134-151.
- [2] Çevik, O., & Aran, G. (2007). Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA)* ve Piston Üretiminde Bir Uygulama. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 8(16), 241-265.
- [3] Türedi, A. T., & Bircan, D. A. (2016). Endüstriyel Robotik Otomasyon Sistemlerinde Görülen Hataların ve Sistem Güvenilirliğinin Hata

- Türleri ve Etkileri Yöntemi ile Analizi. Engineer & the Machinery Magazine, (672).
- [4] Sönmez, Y., & Unğan, M. C. (2016). Hata Türü Etkileri Analizi ve Otomotiv Parçaları Üretiminde Bir Uygulama. İşletme Bilimi Dergisi, 5(2), 217-245.
- [5] Soykan, Y., Kurnaz, N., & Kayık, M. (2014). Sağlık İşletmelerinde Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Bulaşıcı Hastalık Risklerinin Derecelendirilmesi. Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 6(1), 172-183.
- [6] Aydan, M., & Kaya, S. (2017). Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA): Üniversite Hastanesinde Bir Uygulama. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 20(4), 475-502.
- [7] Toptancı, Ş., & Erginel, N. (2017). Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Kalite Fonksiyon Yayılımı ile Bir İnşaat Firması İçin Risk Değerlendirmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5, 189-199.
- [8] Özfirat, P. M. (2014). Bulanık önceliklendirme metodu ve hata türü ve etkileri analizini birleştiren yeni bir risk analizi yöntemi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(4).