



Raylı Sistem Araçlarında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi

Eren Aksu^{1*}, Mahmut Kaplan²

^{1*} Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5147-401X), erenaksu1994@gmail.com

² Gaziantep Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal teknolojileri Bölümü, Gaziantep, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2675-9229), mahmutkaplan@gantep.edu.tr

(3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, July 20-23, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1140257)

ATIF/REFERENCE: Aksu, E., Kaplan, M. (2022). Raylı Sistem Araçlarında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (39), 63-70.

Öz

Trafik, fosil artığı yakıtlardan kaynaklanan çevresel sorunlar ve bunlara bağlı ekonomik sorunlar nedeniyle tramvay, hafif raylı sistem ve metro gibi raylı toplu ulaşım sistemlere talep hem ülkemizde hem de tüm dünyada hızla artmaktadır. Raylı toplu taşıma sistemleri büyük güç gerektirdiğinden raylı sistemlerde enerji verimliliği büyük önem taşımaktadır. Tramvay hatlarında tüketilen enerji dağılımları farklılık göstermektedir. Bu nedenle özellikle büyükşehirlerde kullanılan tramvay ve metrolarda elektrik tüketimine neden olan etkenler dikkatle incelenmeli ve raylı ulaşım sistemlerinde enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ile ilgili yöntemler geliştirilmelidir. Bu çalışmada Samsun'da şehir içi toplu taşıma sisteminde hizmet veren SAMULAŞ A.Ş. işletmesine ait 2 adet CNR marka tramvay için farklı sürüş stillerini içeren testler yapılmıştır. Test sonuçları, cer gücü ve enerji tüketimi-araç ağırlığı ilişkisi bakımından Concerto Maintenance programı kullanılarak analiz edilmiştir. Benzetim sonuçları önerilen sürüş senaryolarıyla benzer ağırlık değerlerinde yapılan pratik sürüşlere göre %20 oranında enerji tasarrufu elde edildiğini göstermişti. Örneğin, Samsun'da raylı toplu ulaşım sistemleri için yılda ortalama yaklaşık 14 milyon kWh enerji tüketilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen bulguların şehir içi raylı sistemlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Raylı Sistemler, Enerji Verimliliği, Sürüş Stilleri, Cer Gücü, Frenleme.

Enhancing Energy Efficiency in Rail System Vehicles

Abstract

Over the years, due to traffic, environmental problems associated with fossil fuels and related economic problems, the demand for urban rail transit system such as trams, light rail systems and metro has increasing rapidly not only in our country but also all over the world. Since rail public transportation systems require high power, the energy efficiency of the railway system is of great importance. The energy consumption on tram lines is different. Therefore, the factors affecting electricity consumption of trams and metro, especially in metropolitan cities should be examined carefully and the new methods for enhancing energy efficiency of the rail transportation systems should be developed. In this study, tests including different driving styles were carried out for 2 CNR railway vehicles owned by SAMULAŞ A.Ş., which serve in the urban public transportation system in Samsun. The test results were analyzed in terms of traction power and relationship between energy consumption and vehicle weight using the Concerto Maintenance program. The simulation results showed that 20% energy saving was achieved by using the suggested driving scenarios, compared to practical driving at similar vehicle weight. For example, an average of 14 million kWh of energy is consumed annually for rail public transportation systems in Samsun. For this reason, it is thought that the findings obtained in this study will contribute to the reduction of energy consumption of urban rail systems in Turkey.

Keywords: Rail Systems, Energy Efficiency, Driving Styles, Traction Power, Braking.

* Sorumlu Yazar: erenaksu1994@gmail.com

1. Giriş

Raylı ulaşım sistemleri yoğun nüfusun talebini karşılaması, gürültü ve hava kirliliğinin azaltılması, yolcu başına enerji tüketiminin az olması, konforlu, güvenilir ve emniyetli taşımacılık sağlaması gibi nedenlerle büyük şehirlerdeki ulaşım sorunun çözümünde büyük önem taşımaktadır (Elbert ve ark., 2019; Su ve ark., 2015; Pan ve ark. 2018) Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği şehir içi raylı toplu ulaşım sistemlerinde enerjinin verimli kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yapmaktadır (Mineta, 1997). Ana hat ve şehir içi raylı ulaşım sistemlerinde çalışma ve besleme şartları genel olarak birbirine benzemektedir ve bir hat için yapılan uygulama küçük değişikliklerle başka bir hat için kullanılabilir (Açıkbaş, 2008). Kentsel raylı sistemlerde hizmet kalitesi düşürmeden enerjinin etkin bir şekilde kullanılabilmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Yuan ve Frey, 2020; Gao ve Yang, 2019; Wang ve ark. 2021, Jin ve ark., 2021).

Raylı sistem araçlarında genellikle hidrolik fren sistemi kullanılmaktadır. Ani ve yüksek kademede yapılan hızlanma ve frenleme sürüş yöntemi teker-ray sürtünme değerinin aşılmasından dolayı araçta olumsuz etkiler göstermektedir (Öge 2015). Yeterli sürtünme karşılanmadığı için kayma kızaklama koruma fonksiyonlarının devreye sıklıkla girmesi ve gereksiz kumlanma yapılması ile karşı karşıya kalınmaktadır.

Frenleme mesafesi artışı ve teker hasarı oluşması riski artırmaktadır. Sürücülerin araçta sıklıkla ve ani biçimde uyguladığı cer-fren-cer geçişleri yüksek enerji sarfiyatına ve verimsiz rejeneratif frenleme yapılmasına neden olmaktadır (Günay ve ark., 2020). Aracın fren sistemi daha çok devreye girmekte ve sistemde ömür azalmasına neden olmakta ve arıza riskini artırmaktadır. Bu sürüş biçimi yolcu için konforsuz sürüşe araç için ise yüksek enerji tüketimine neden olur. Yüksek ivmeli hızlanma ve frenleme kaza ihtimalini artırmaktadır.

Bu çalışmada Samulaş işletmesine ait iki adet CNR aracına uygulanan farklı sürüş testi yöntemlerinin bu araçlarda enerji verimini artırmaya etkisi sayısal olarak değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Testler yüksek enerji sarfiyatı nedeniyle Samulaş işletmesine ait 5517 ve 5519 numaralı iki farklı CNR aracı kullanılarak Yurtlar – Tekkeköy (HAT1) ve Tekkeköy – Yurtlar (HAT2) seferlerinde aynı ayrı yolculu sürüş testleri gerçekleştirilmiştir.

Testlerle ilgili verileri alabilmek için Concerto Maintenance programı kullanılmıştır. Bu programda tramvay üzerinden anlık enerji tüketimi, rejeneratif frenleme ile kazanım kullanıcın ivmelenme oranı, cer kolu kullanım oranı gibi birçok parametre hesaplanabilmektedir. Farklı sürüş yöntemleri uygulanarak araçlarda ortaya çıkacak farklılıklar incelenecektir. Düşük ivmeli sürüş test ile araçlarda sağlanacak konforlu sürüş biçimi ve bu sayede araç enerji sarfiyatı değişimi analiz edilecektir. Bu çalışmada ana hatta ulaşılacak azami hızlar ve hız limitleri ile ilgili bir talimat verilmemiştir. Bu konuda halihazırda uygulanmakta olan azami hız değerlerindeki sürüş şekliyle testlere devam edilmiştir.

Şekil 1 ve Şekil 2’de, 5517 ve 5519 numaralı CNR araçlarının güzergah saatleri görülmektedir.

UÇ İSTASYONLAR	SAAT	UÇ İSTASYONLAR ARASI HAREKET SÜRESİ	UÇ İSTASYONLARDA TOPLAM BEKLEME SÜRESİ
TEKKEKÖY	VARILDI	06:05	
	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	06:09	00:05
	HAREKETE BAŞLANDI	06:10	
YURTTLAR	VARILDI	07:30	01:20
	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	07:31	
	HAREKETE BAŞLANDI	07:33	01:24
TEKKEKÖY	VARILDI	08:57	
	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	08:58	00:02
	HAREKETE BAŞLANDI	08:59	
YURTTLAR	VARILDI	10:32	01:33
	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	10:34	
	HAREKETE BAŞLANDI	10:36	01:28
TEST	VARILDI	12:04	
	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	12:05	00:02
	HAREKETE BAŞLANDI	12:06	01:26
YURTTLAR	VARILDI	13:32	
	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	13:36	00:05
	HAREKETE BAŞLANDI	13:37	
TEKKEKÖY	VARILDI	15:10	01:33
	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	15:12	
	HAREKETE BAŞLANDI	15:13	01:24
YURTTLAR	VARILDI	16:37	
	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	16:38	00:03
	HAREKETE BAŞLANDI	16:40	

Şekil 1. 5517 numaralı tramvayın güzergâh saatleri

UÇ İSTASYONLAR	SAAT	UÇ İSTASYONLAR ARASI HAREKET SÜRESİ	UÇ İSTASYONLARDA TOPLAM BEKLEME SÜRESİ
YURTTLAR	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	07:20	
	HAREKETE BAŞLANDI	07:23	01:20
	VARILDI	08:43	
TEKKEKÖY	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	08:45	00:03
	HAREKETE BAŞLANDI	08:46	01:23
	VARILDI	10:09	
YURTTLAR	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	10:10	00:06
	HAREKETE BAŞLANDI	10:15	01:26
	VARILDI	11:41	
TEST	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	11:42	00:02
	HAREKETE BAŞLANDI	11:43	01:28
	VARILDI	13:11	
YURTTLAR	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	13:17	00:07
	HAREKETE BAŞLANDI	13:18	01:20
	VARILDI	14:38	
TEKKEKÖY	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	14:39	00:02
	HAREKETE BAŞLANDI	14:40	01:29
	VARILDI	16:09	
YURTTLAR	YURTTLAR İSTASYONUNA KABİN DEĞİŞİMİ	16:11	00:03
	HAREKETE BAŞLANDI	16:12	01:20
	VARILDI	17:32	
TEKKEKÖY	TEKKEKÖY İSTASYONUNDA KABİN DEĞİŞİMİ	17:33	

Şekil 2. 5519 numaralı tramvayın güzergâh saatleri

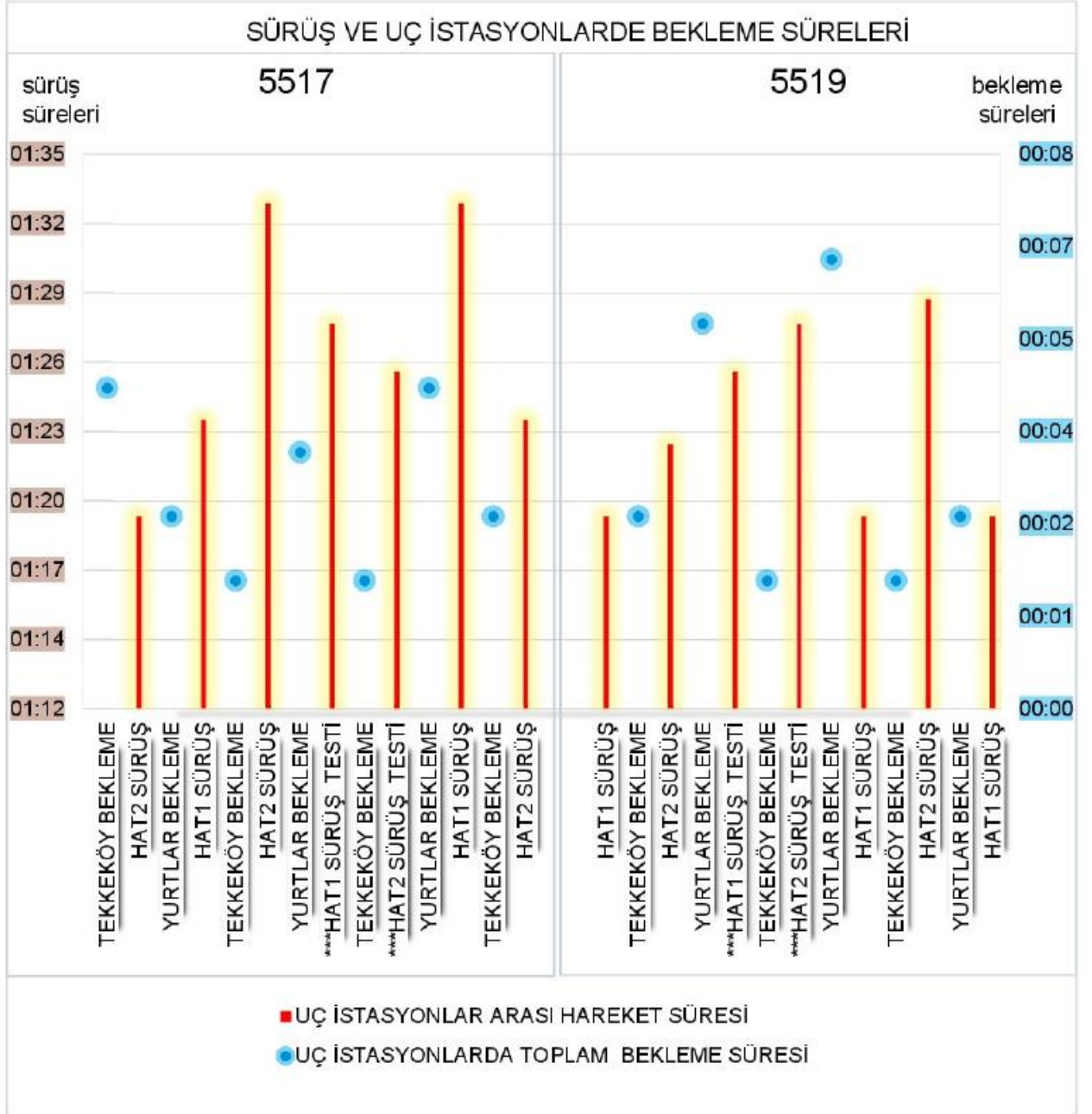
5517 numaralı CNR aracı Şekil 1’de görüldüğü gibi 19.02.2022 tarihinde 10:36’da Yurtlar istasyonundan harekete başlamış 13:32’de test tamamlandıktan sonra yeniden başladığı istasyon olan Yurtlar istasyonuna ulaşmıştır. 5519 numaralı CNR aracı Şekil 2’de görüldüğü gibi 18.02.2022 tarihinde 10:15’de Yurtlar istasyonundan harekete başlamış 13:11’de seferini tamamladıktan sonra yeniden Yurtlar istasyonuna ulaşmıştır.

Aşağıdaki talimatlara göre test sürüşleri gerçekleştirilmiştir.

1. İstasyon bölgelerindeki sürüşleri için kalkışlarda cer kolu ile %70’den fazla tahrik ve duruşlarda %70’den fazla frenleme kademelerinin kullanılmaması.

2. Tırmanma eğiminde olmayan istasyonlarda kalkışlarda cer kolu ile ani yüksek kademede ivme verilmemesi.
3. İstasyon duruşlarında cer kolu ile ani ve yüksek kademelerde frenleme isteği verilmemesi.
4. Cer kolu ile anlık süreler için hızlanma-frenleme-hızlanma şeklinde sürüş yapılmaması.

Şekil 3'de her iki aracın HAT1 ve HAT2'deki test süreleri verilmiştir.

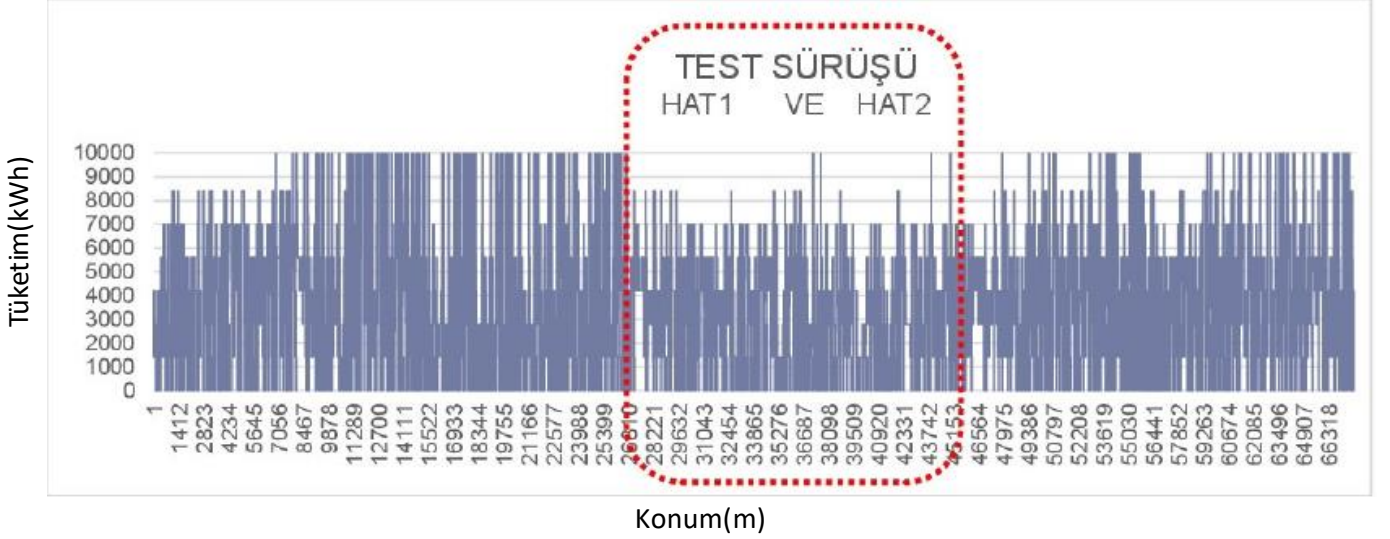


Şekil 3. Her iki aracın HAT1 ve HAT2'deki test süreleri

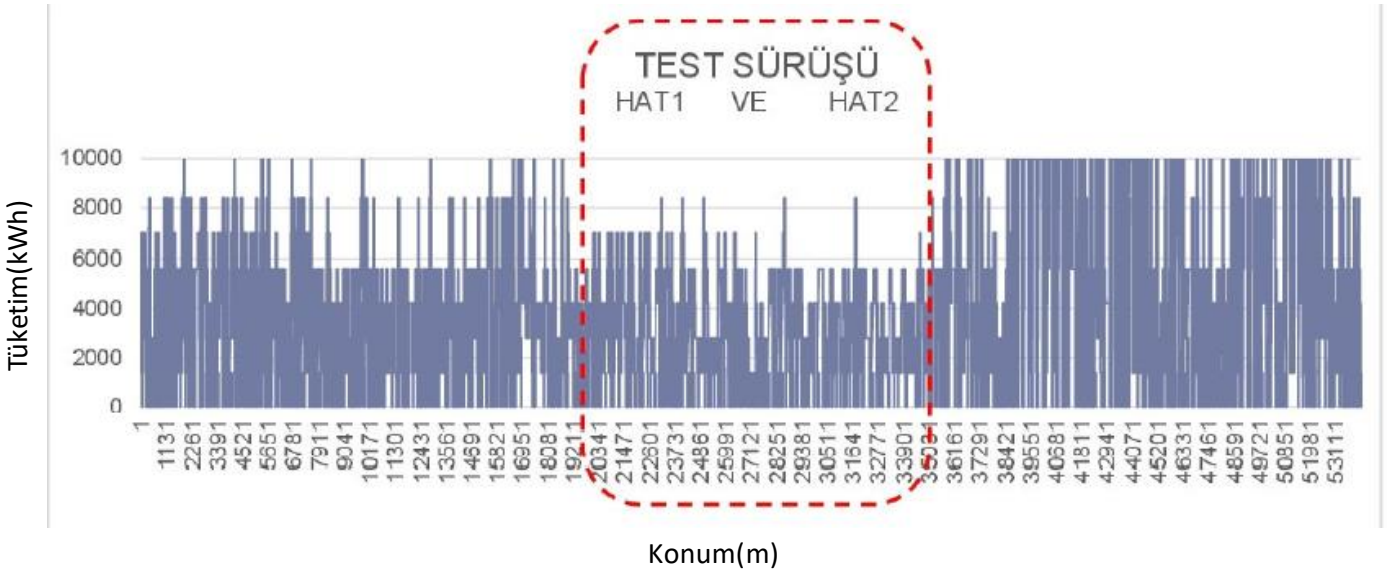
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde test sonuçlarından elde edilen benzetim sonuçları cer kolu ile uygulanan tahrik seviyeleri, anlık sarfiyat – araç ağırlığı ilişkisi ve tüketim / araç ağırlığı oranı yönünden analiz edilmiştir.

Şekil 4 ve 5'de 5517 ve 5519 araçlar için belirtilen tüm sürüş süresince tahrik edilen cer kolunun kullanma sıklıkları görülmektedir. Sürücülerin test sırasında yüksek cer kademeleri kullanmadığı görülmektedir. Azami %60-70 değerleri ile tahrik isteği verilmiştir.



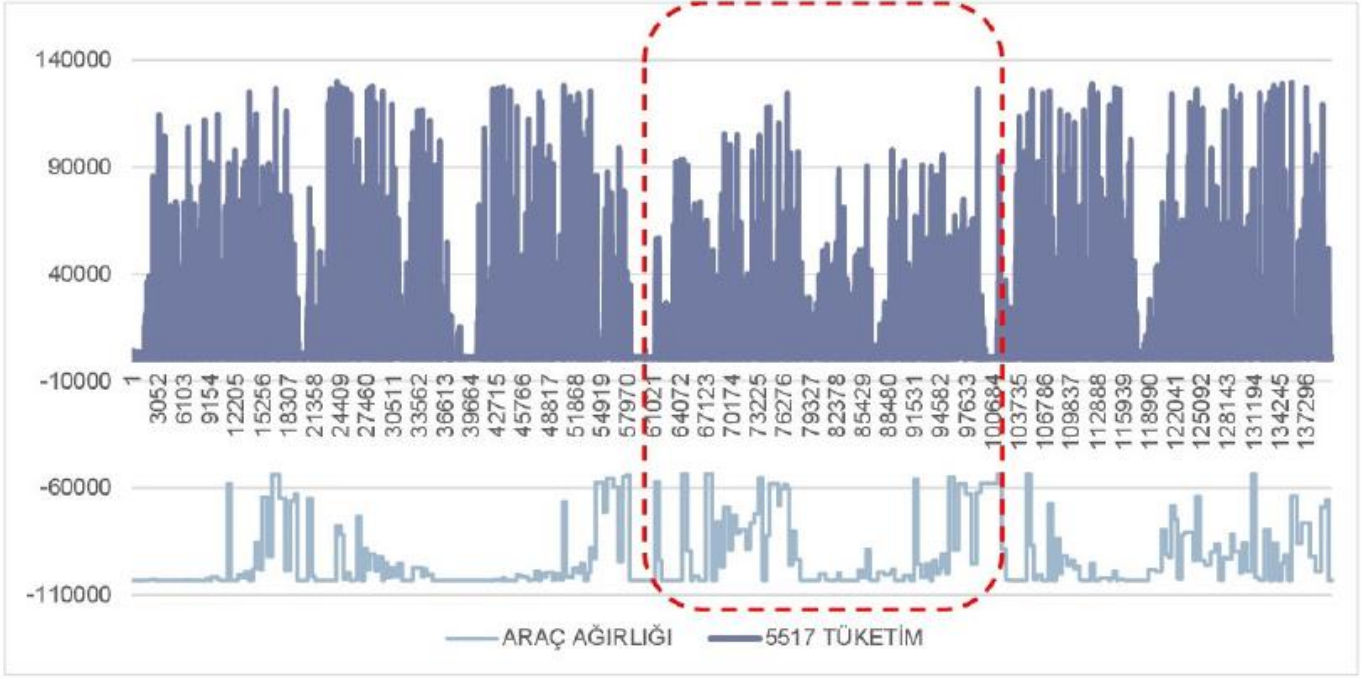
Şekil 4. 5517 numaralı aracın tüm sürüşlerdeki cer kolu kullanımı



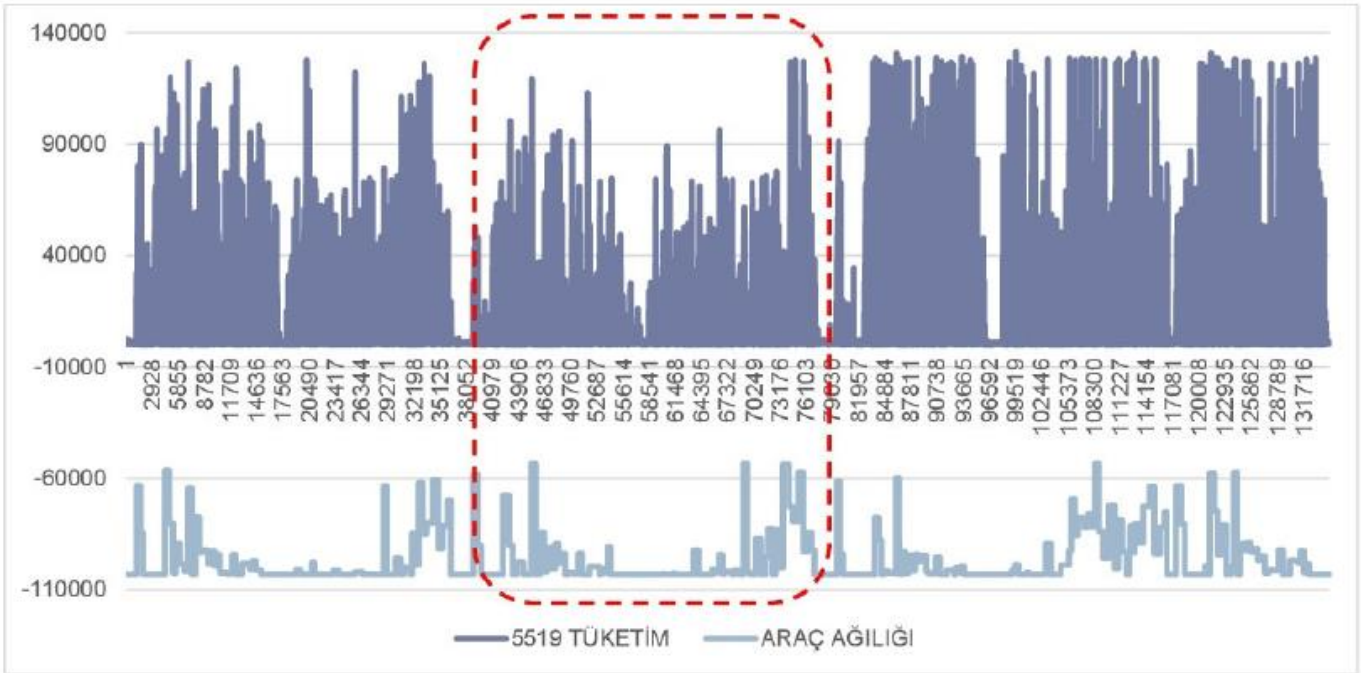
Şekil 5. 5519 numaralı aracın tüm sürüşlerdeki cer kolu kullanımı

Şekil 6 ve 7'de 5517 ve 5519 araçlar için belirtilen tüm sürüş süresince anlık enerji sarfiyatı ve araç ağırlığı ilişkisi görülmektedir. Kesikli çizgilerle gösterilen alanlar, test sürüşlerinin yapıldığı zaman aralıklarıdır. Şekil 6 ve 7'de

görüldüğü gibi diğer kısımlardaki sürüşlerde araç ağırlığı düşük olduğu zamanlarda bile enerji sarfiyatının yüksek olabildiği görülmektedir. Bu nedenle araç yükü az iken yüksek ivmelenme isteğinin yüksek enerji sarfiyatına neden olduğu anlaşılmaktadır.



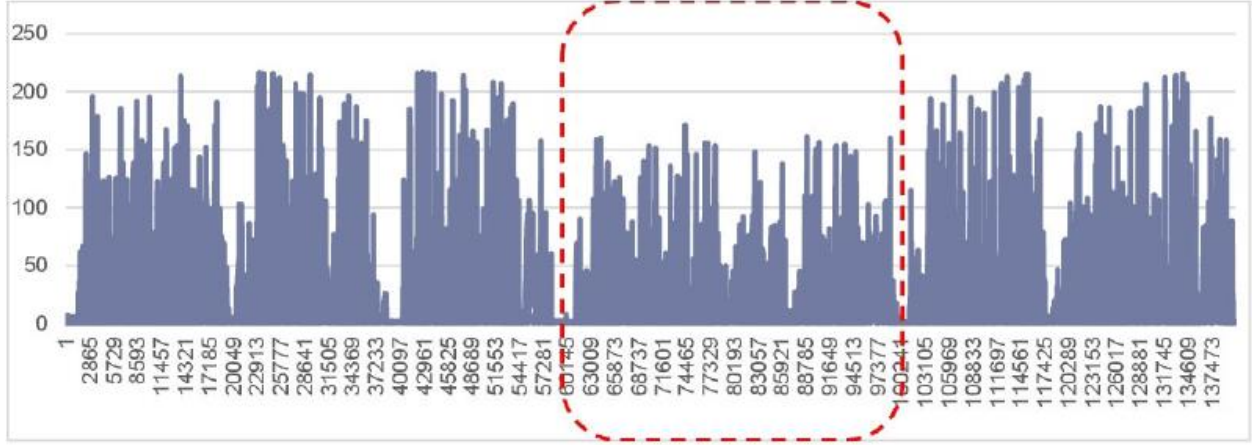
Şekil 6. 5517 CNR araçlarının anlık enerji sarfıyatı ve araç ağırlığı ilişkisi



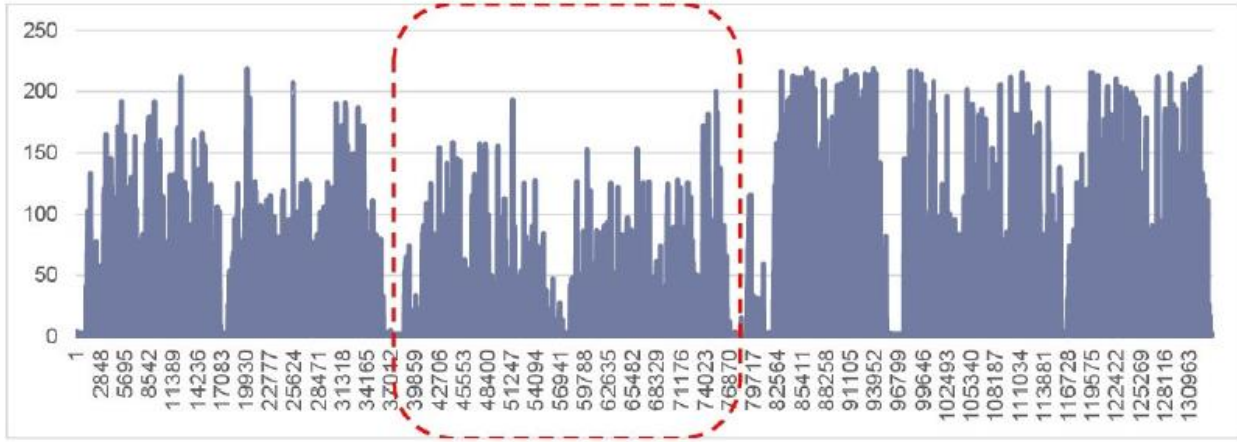
Şekil 7. 5519 CNR araçlarının anlık enerji sarfıyatı ve araç ağırlığı ilişkisi

Şekil 8 ve 9'da 5517 ve 5519 araçlar için anlık sarf edilen enerjinin araç toplam ağırlığına oranını görülmektedir. Şekil 8 ve 9'da görüldüğü gibi kesikli çizgilerle gösterilen test

zamanlarında birim ağırlık için sarf edilen enerji değeri diğer sürüşlerden düşüktür.



Şekil 8. 5517 Tüketim/Araç Ağırlığına Oranı Grafiği



Şekil 9. 5519 Tüketim/Araç Ağırlığına Oranı Grafiği

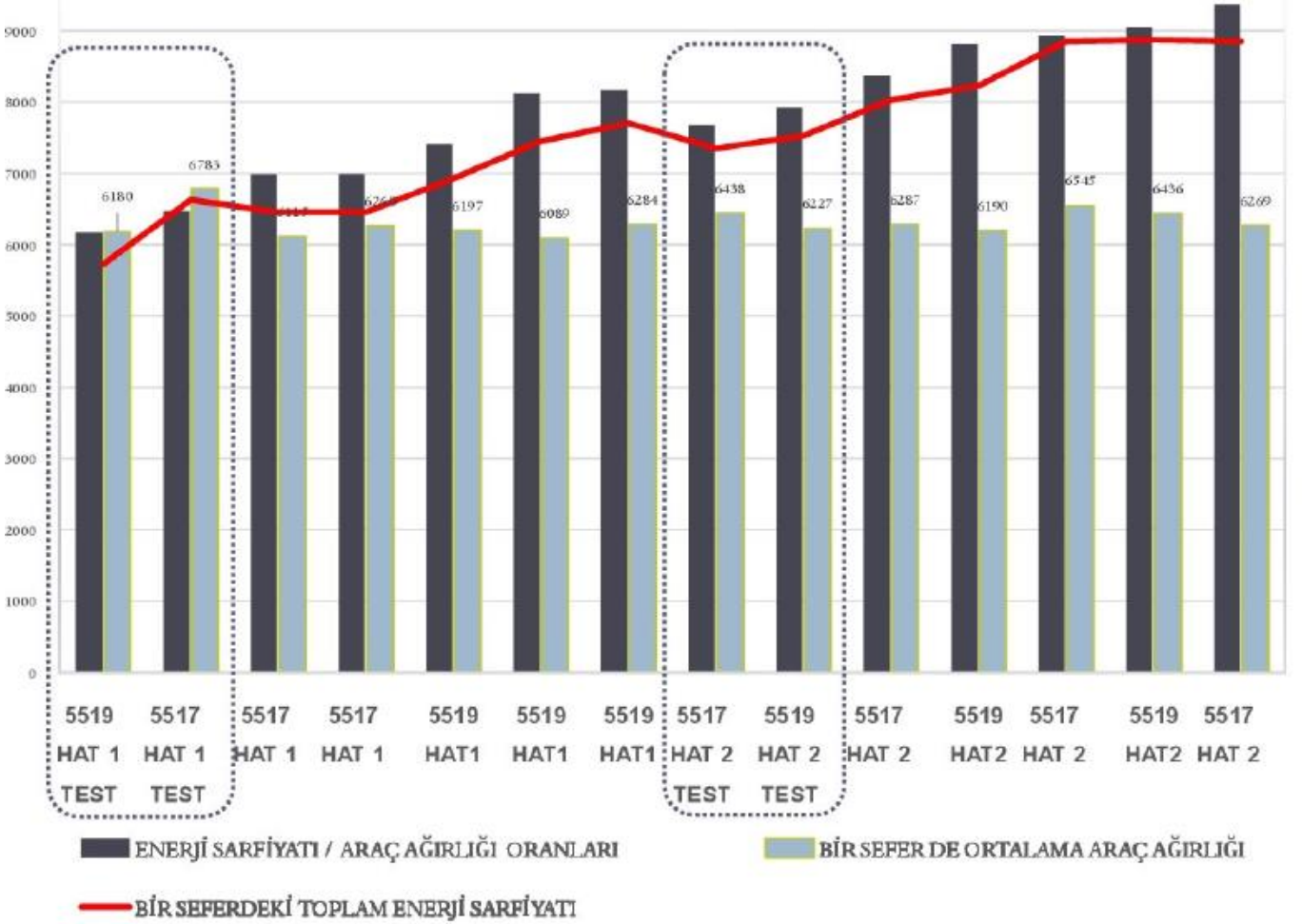
Tablo 1'de 5517 ve 5519 araçların HAT1 ve HAT2'deki ağırlığı ve bir seferde toplam tüketim ile ilgili bilgiler enerji sarfiyatı / araç ağırlığı, bir seferde ortalama araç verilmiştir.

Tablo 1. HAT1 ve HAT2 Karşılaştırılması

ARAÇ	SÜRÜŞE BAŞLAMA SAATİ	ENERJİ SARFIYATI / ARAÇ AĞIRLIĞI ORANI	BİR SEFER DE ORTALAMA ARAÇ AĞIRLIĞI T	BİR SEFER DE TOPLAM TÜKETİM. X. kWh
5519 HAT 1 TEST	10:10	370210	6180	2.29
5517 HAT 1 TEST	10:34	388234	6783	2.65
5517 HAT 1	07:31	419157	6115	2.58
5517 HAT 1	13:35	419295	6260	2.58
5519 HAT1	07:20	444527	6197	2.77
5519 HAT1	13:17	487083	6089	2.98
5519 HAT1	16:11	490037	6284	3.08
5517 HAT 2 TEST	12:05	460340	6438	2.94
5519 HAT 2 TEST	11:42	475306	6227	3.01
5517 HAT 2	08:58	502175	6287	3.21
5519 HAT2	08:45	528615	6190	3.29
5517 HAT 2	15:02	535927	6545	3.54
5519 HAT2	14:39	543024	6436	3.55
5517 HAT 2	06:10	561864	6269	3.54

Şekil 9'da kullanılan araçlara ve sürüş hattına göre enerji sarfiyatı ve araç ağırlığı ile ilgili değerler gösterilmektedir. Test sürüşlerinde oransal olarak hesaplanan en düşük tüketim değerlerine ulaşılmıştır. Belirtilen tüketim değeri net değildir ve hesaplamalar diğer sürüşlerle karşılaştırılarak elde edilen oransal değerlere göre yapılmıştır. Şekil 9'da kesikli çizgilerle gösterilen test sürüşleridir. Siyah sütunlar enerji sarfiyatı / araç ağırlığı

oranını göstermektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi tüm hatlarda en düşük değerlerin test sürüşleri ile elde edildiği görülmektedir. Ayrıca test sürüşlerinde araçların taşıdığı ağırlık değerleri diğer sürüşlere göre yakın ya da daha yüksektir. Buna rağmen bu seferlerdeki toplam enerji sarfiyatı, test sürüşlerinde daha düşük olmuştur.



Şekil 9. Test Sürüşlerinde ki Araç Oranları

Test sırasında istasyonlar arasındaki ana hat sürüşlerindeki maksimum hız değerleri ve boşta sürüş yapılması gibi değişkenler için sürücülere bir talimat verilmemiştir. Sürüşte bu konuda düzenlemeler yapılması tasarruf miktarını arttıracaktır ve sürüş sürelerinde artış olacağından optimizasyon yapılması gerekecektir.

Güzergahlara daha fazla sayıda hız tabelası ilave edilerek optimum hız değişimi gerçekleştirilebilir. Güzergahlarda araç boşta sürüş noktalarının tespit edilmesi düşük ivmeli yavaşlamaya ve konforlu duruşlara neden olacaktır. Hızın azaltılması veya duruşlardan önceki yavaşlama için uygulanacak frenlemenin yüksek kademelerden yapılmaması üretilen hareket enerjisinden maksimum faydalanmayı sağlayacaktır. Bu durum seferde ek olarak yapılacak gereksiz tahrik hızlanma isteği sayısını azaltacak ve toplam enerji sarfiyatını düşürecektir.

Aracın boşta giderken tekrar ek tahrik isteği ile hızlanma ihtiyacı oluşmaması için, aracın düşük hız değerlerinde olmaması gerekmektedir. Eğimden aşağı inişte hız artışına izin

verilir ya da tahrik isteği verilip hız limiti aşılar ise mekanik frenleme devreye girecek ayrıca ekipmanlarda ömür kısalması, arıza ihtimali, fren diski ısınması, teker hasarı, balata aşınması, verimsiz rejeneratif frenleme ve konforsuz sürüş gibi sonuçlarla karşılaşma ihtimali olacaktır.

4. Sonuç

Bu çalışma SAMULAŞ A.Ş işletmesine ait 2 adet CNR marka tramvaya farklı sürüş senaryolarıyla testler yapılmıştır ve makinistlerin alışlagelmiş sürüşleri karşılaştırıldığında önerilen yumuşak ivmelenmeli sürüş yöntemiyle benzer araç ağırlıklarında %20 oranında enerji tasarrufu elde edildiği gözlemlenmiştir. görülmektedir. Kayda değer bir enerji tasarrufu sürüş yöntemi değiştirilerek yapılabilir. Düşük ivmelenme uygulamasından dolayı aracın kayma kızaklama uygulaması test sürelerinde daha azdır. Kayma kızaklamanın az olmasından dolayı tramvay tekerlek bandajlarında aşınmanın az olacağı, fren mekanik ekipmanlarının ömrünün daha uzayacağı,

ivmelenmenin daha az olmasından dolayı kurp bölgelerindeki sarsıntının daha az olacağı ve tramvaylardaki süspansiyon elemanlarının ömrünün uzayacağı öngörülmektedir.

Test sürüşlerinde uç istasyonda bekleme sürelerinde ve uç istasyonlar arası toplam hareket sürelerinde diğer sürüşlere göre büyük süre farklılıkları yoktur. Sürüş yöntemi değiştirilerek daha konforlu yolculuk yapılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmayı yaparken sayın danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Mahmut Kaplan, SAMULAŞ A. Ş.'de çalışan meslektaşlarım Onur Köseoğlu, Serkan Salmaz ve Erdi Yıldırım'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Göstermiş oldukları destek ve hoşgörü ile bu çalışmanın sonuçlanmasını sağlayan Samsun Proje Ulaşım İmar İnşaat Yat. San. ve Tic A.Ş. yönetimine ve çalışma arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Elbert R., Friedrich C., Boltze M., Pfohl H. C. 2019. Urban, Freight Transportation Systems. 1st ed., Elsevier.
- Su S., Tang T., Chen L., B. Liu, (2015). Energy-efficient train control in urban rail transit systems, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 229(4), 446-454.
- Pan D., Zhao L., Luo Q., Zhang C., Chen Z., (2018). Study on the performance improvement of urban rail transit system, Energy, 161, 1154-1171.
- Mineta N. Y. (1997). Public Transpport: The environment and economic efficiency, Part 2, UITP 52 International Congress, Stuttgart, Germany.
- Açıkbaş S. (2008). Çok hatlı çok araçlı raylı sistemlerde enerji tasarrufuna yönelik sürüş kontrolü,” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yuan W., Frey H. C. (2020). Potential for metro rail energy savings and emissions reduction via eco-driving, Applied Energy, 268, 114944.
- Gao Z., Yang L. (2019). Energy-saving operation approaches for urban rail transit systems, Frontiers of Engineering Management, 6, 139-151.
- Wang J., Ghanem A., Rakha H., Du J., (2021). A rail transit simulation system for multi-modal energy-efficient routing applications, International Journal of Sustainable Transportation, 15(3), 187-202.
- Jin B., Feng X., Wang Q., Sun P., Fang Q., (2021). Train Scheduling Method to Reduce Substation Energy Consumption and Peak Power of Metro Transit Systems, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2675(4), 201-212.
- Öge F., Hafif raylı sistem araçlarında bakım iyileştirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, Haziran 2015.
- Günay M., Korkmaz M. E, Özmen R., (2020). An investigation on braking systems used in railway vehicles, Engineering Science and Technology, an International Journal, 23(2), 421-431.