

RAYLI SİSTEMLERDE ENERJİ VERİMLİLİK POTANSİYEL DEĞERLENDİRMESİ

Dr.Beyhan KILIÇ

bkilic@istanbul-ulasim.com.tr

Selçuk TUNA

tuna@istanbul-ulasim.com.tr

ÖZET

Enerji, küresel ısınma ve enerji arz güvenliği gibi iki temel sebepten dolayı uluslararası gündemin öncelikli konusu olmuştur. Enerji kaynakları açısından dışarıya bağımlı ülkelerin temel önceliği, etkin enerji kullanıma geçmek ve bölgesel enerji kaynaklarının kullanımına odaklanmaktır. Sürdürülebilir gelişme çağdaş kuşakların yaşamsal aktiviteleri için gerekli tüketimleri yaparken sonraki kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri amacıyla kaynakların ve çevrenin korunması olarak tanımlanır. Taşımacılık ve enerji politikaları insan yaşamı üzerinde doğrudan dominant bir etkiye sahiptir. Ulaşım kent yaşamının en önemli unsurlarından biridir. Kent içi yolculuklarda toplu taşıma araçlarının kullanım oranı uygarlık düzeyinin bir simgesi olarak kabul edilmektedir. İstanbul'da gerçekleştirilen günlük kent içi yolculuğun %8.6'sı raylı sistemler tarafından karşılanmaktadır. Türkiye'nin en büyük kent içi raylı sistem işletmecisi olan İstanbul Ulaşım A.Ş. (İUAŞ) Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği'nin (UITP) Sürdürülebilir Gelişme Beyannamesini imzalamıştır. Bu bağlamda, İstanbul Ulaşım A.Ş. elektrikli raylı sistem taşımacılığı ile 74 km toplam uzunluğa sahip olan hatlarında günde 868 bin yolcu taşımaktadır. 2008 yılı elektrik enerjisi tüketimi 82 milyon kWh olarak gerçekleşmiştir. 2012 yılına kadar raylı sistem ağının 125 km'ye çıkarılması planlanmaktadır. İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin işletmeciliğini yaptığı hatlarda enerji verimliliği stratejileri ve enerji tasarrufu çalışmaları doğrultusunda birçok uygulama hayata geçirilmiştir. Kayıpları azaltıcı önlemler, enerji verimli sürüş tekniklerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar, istasyon aydınlatmalarında enerji verimliliği uygulamalar yapılmıştır. Bu bildiride raylı sistemlerde enerji verimlilik potansiyel değerlendirilmesi yapılacaktır.

1. GİRİŞ

Taşımacılık ve enerji politikaları her insan yaşamı üzerinde doğrudan etkilidir. Yaş ve aktivitesi ne olursa olsun enerji ve mobilite insan yaşamı üzerinde temel bir rol oynar. Mobilite yaşam kalitesinin anahtarıdır, ekonominin belkemiğidir, farklı üretim zincirleri arasında bağ teşkil eder. Taşımacılıkta çevresel performans son yıllarda artan bir ilgiye sahip olmuştur. [1]. Taşımacılıkta enerji sektörünün payı artış göstermektedir. Çoğu ülkelerde bina enerji tüketimlerinden daha büyük bir çevresel etkiye sahip olmaktadır. Taşımacılık sektörü, emisyon salımının %30'undan sorumludur [2]. Raylı sistem taşımacılığı en çevre dostu taşımacılık modudur

Avrupa taşımacılık sektörünün final enerji tüketimi toplam Avrupa enerji tüketiminin %31'ini oluşturmaktadır. Railenergy projesi, 2020'ye kadar raylı sistemlerde spesifik enerji tüketimlerin %6 oranında azaltmayı hedeflemiştir [3]. Primer enerjinin raylı sisteme girişi %100 kabul edilirse, raylı sistemlerde tüketilen enerjinin %85'i elektrikli araç cer kısmı için geri kalanı (%15) binalar için harcanmaktadır. Raylı sistemlerde cer enerjisi için tüketilen %85'lik enerjinin %5-10'u katenerlerde kaybedilmektedir [4].

Sürdürülebilir enerji geleceğini başarmak için en etkin çözüm enerji verimliliğidir. Enerji verimliliğindeki iyileştirmeler enerji altyapısı için gereken yatırım bedelini azaltabilir [4]. İstanbul'da gerçekleştirilen günlük kent içi yolculuğun %8.6'sı raylı sistemler tarafından, %87.9'u karayolu taşımacılığı ile ve %3.5'i denizyolu ile sağlanmaktadır [5]. Türkiye'nin en büyük raylı sistem işletmecisi olan İstanbul Ulaşım A.Ş., toplamda 74 km uzunluğuna sahip hatlarda günlük 868 bin yolcu taşımaktadır. 2008 yılı elektrik enerjisi tüketimi 82.080.202 kWh olarak gerçekleşmiştir [6]. 2012 yılına kadar raylı sistem ağının 125 km'ye çıkartılması hedeflenmektedir. Aynı yılda enerji tüketimlerinin 184 milyon kWh'e ulaşacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada cer ve yardımcı fonksiyonlar için yapılan tüketimlere enerji verimliliği açısından genel bir bakış sunulması hedeflenmektedir. Farklı hatların tüketimleri analiz edilecek ve tasarruf potansiyelleri değerlendirilecektir.

2. RAYLI SİSTEM ELEKTRİFİKASYON BİLEŞENLERİ

Dünya genelinde farklı tip raylı sistem cer elektrik gücü kullanılmaktadır. Sistem seçimi tren servis ihtiyaçları, tren tipleri, coğrafik altyapı ve yerel şebeke durumuna göre farklılık gösterir. Raylı sistem elektrifikasyon yükü elektrik şebekeleri için en zor yüklerdendir. Farklı raylı sistemlerin güç talepleri de farklı olmaktadır. Light rail train (LRT) sistemlerinin güç talebi MW mertebesinde dir. Bu değer yük trenleri ve yüksek hızlı trenlere göre düşüktür [7]. Bir LRT aracı genellikle kent içi mekanlarda kullanılır

ve sık sık durur; hızlı ivmelenme ve duruş ihtiyacı vardır. Bu trenlerin güç ihtiyacı MW mertebesinin altındadır. LRT sistemleri düşük gerilimli DC sistemleri ile beslenebilir. Bir raylı sistem elektrifikasyonu dağıtım noktalarından alınan enerjiyi trafo merkezleri vasıtası ile hareket halindeki trene ulaştırır. Bu süreçte yer alan bileşenler aşağıda tanımlanmıştır [8].

2.1 ÇEKİCİ ARAÇLAR

Lokomotifler AC veya DC ile beslenebilirler. Araçlar gelişmiş cer karakteristikleri sahip olarak üretilmektedir. Rejeneratif frenleme imkanı ile enerji tasarrufu sağlar. Raylı sistem cer gücü konfigürasyonları aşağıdaki gruplara ayrılabilir: Alçak gerilimli sistemler 750/1500/3000 V DC aralığındadır. Kent içinde kullanılan LRT hatları için uygun bir seçimdir. MW mertebesi altındaki güç taleplerinde tercih edilir. Genellikle 750 V veya 1500 V DC ile beslenir. Besleme katener veya 3. ray üzerinden yapılır. Orta gerilim 15/25 kV, 60/50 Hz aralığındadır. Orta güç seviyeleri 4-6 MW yükler için uygun bir seçimdir. Yüksek gerilim AC 50 kV, 60/50 Hz 8-20 MW yükler için uygun bir seçimdir [8].

2.2 CER GÜCÜ TRAFÖ MERKEZLERİ

Trafo merkezi güç talebi tren yüküne, tren sefer sıklığına, bu merkezden beslenen ray hattı sayısına bağlı olarak değişir. Trenin çektiği enerji ise, trenin hızına ve ray profillerine bağlı olarak değişir. Ray ağı üzerinde trafo merkezlerinin doğru pozisyonlarını bulmak için ayrıntılı analiz gerekir. Çalışma gerilimi değerine karar verildikten sonra trafonun pozisyonu belirlenir. Bu karar güç sisteminin teknik performansına göre belirlenir. Trafo merkezi yerleşimi, sistem verimi ve tren işletiminde ciddi bir etkiye sebep olmayacak ölçüde tolere edilebilen, gidiş ve dönüş iletkenleri dahil iletken sisteminde maksimum izin verilen gerilim düşümleri ve cer yükleri tarafından belirlenir. DC cer sistemlerinde %15-30 arasındaki değerlerde gerilim düşümlerine izin verilebilir [9]. Trafo merkezleri arasındaki mesafe ortalama olarak 2.2 km civarındadır. Bir trafo merkezi ortalama olarak iki istasyonu beslemektedir [10]

2.3 KATENER SİSTEMLERİ

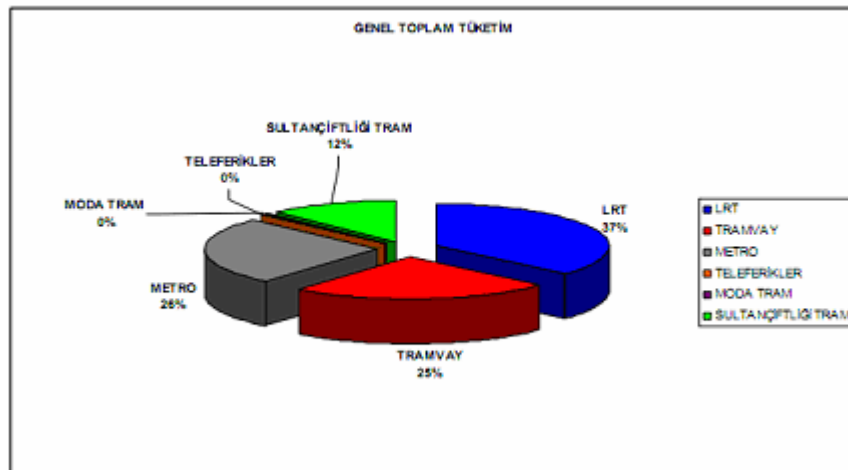
Doğru akım ve alternatif akım raylı taşımacılığında cer trafo merkezlerinden aldığı enerjiyi, demiryolu hattı boyunca araçlara ulaştıran havai hat sistemine “katener” adı verilir. Katener telleri bakır veya bakır kadmiyum iletkeninden oluşmuştur. Genellikle alçak gerilim DC sistemlerinde toplam enerji maliyetleri içinde enerji kayıpları önemli bir pay tutar. Sistem gerilimi azaldıkça kayıplar artar. Tren ceri güç kaynak ağındaki

toplam enerji kayıplarının %7-8'ini yaklaşık olarak katener kayıpları oluşturmaktadır[11]. Cer gücü arttıkça, daha yüksek akımlar ve daha güçlü katener sistemleri gerekecektir. Raylı sistem seçiminde en düşük genel elektrifikasyon maliyeti, elektrik enerji maliyeti ve inşaat mühendislik maliyetini veren optimum raylı sistem elektrifikasyonunu tercih etmek gereklidir.

3. İUAŞ ELEKTRİKLİ RAYLI HATLARDA MEVCUT DURUM

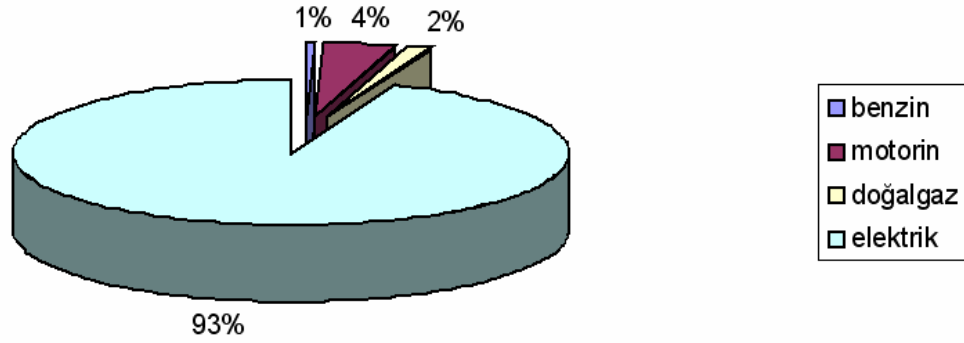
İUAŞ metro, hafif metro, tramvay, teleferik ve finüküler olmak üzere beş farklı sistemde toplamda 74 km uzunluğundaki hatlarında hizmet vermektedir. Bu hatlarda toplam 271(metro:54,lrt:80,tramvay:32 olmak üzere, diğer hatlarla birlikte) adet araç hizmet vermektedir. Bu hatlar içinde yolculuk yükünün en büyük kısmını taşıyan hatlar sırasıyla Aksaray-Havalimanı LRT(light rail transit) hattı, Zeytinburnu-Kabataş tramvay hattı ve İstanbul Metrosu hattıdır. Şekil 1'de bu hatların yüzde olarak yolculuk yükleri ve Şekil 2'de 2008 yılı elektrik enerji tüketimleri görülmektedir.

Raylı sistemlerde taşımacılık prosesinin girdisi yolculardır. Sisteme giriş yapan yolcular istasyon turnikelerinde sayılmaktadır. Yolcu taşıma sistemi sabit tesisler ve hareketli sistem olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Sabit tesisler yolcuların taşınması, aktarılması ve bu süreç içinde gerçekleşen bütün güvenlik, haberleşme, işletme, bakım, onarım gibi hizmetlerin görülmesi için harcanan enerji “yardımcı güç” olarak adlandırılır. Bu tüketim taşınan yolcu sayısından bağımsız olarak hizmet sürekliliği bakımından gerçekleştirilir. Enerji tüketimi de benzer olarak yardımcı tesisler enerji tüketimi ve tren cer gücü enerji tüketimi olarak iki gruba ayrılır. Tren işletimi için kullanılan enerji “cer enerjisi” olarak adlandırılır ve taşınan yolcu sayısı ve taşıma mesafesine bağlı olarak önemli oranda değişir.



Şekil 1. Raylı sistemlerde elektrik enerjisi tüketiminin yüzde olarak dağılımı

Alman raylı sistem işletmecisi Deutsche Bahn enerjisinin çoğunu tren işletimi için harcamaktadır. Primer enerji tüketiminin %85'i tren ceri, geri kalan kısmı, istasyon ve işletme tesislerinde tüketilmektedir. Primer enerjinin sisteme girmesinden lokomotif kadar olan enerji zincirinin verimi %33 civarındadır. Çeşitli taşımacılık modlarını karşılaştırabilmek için her modun spesifik primer enerji tüketimini göz önüne almak gerekir. Son enerji tüketiminin (veya uç enerji tüketiminin) aksine, primer tüketim tüm enerji kayıplarını içerir. Primer ve uç enerji tüketimlerine göre veriler farklı olacaktır [12].



Şekil 2 İUAŞ 2008 yılı enerji tüketimleri(TEP)

Bu dağılıma göre %93 ağırlıkla elektrik enerjisi tüketimi olduğu görülmektedir. 7522.36 TEP olan toplam tüketimin 7057.67 TEP'i elektrik enerjisi olmuştur.

İstanbul Ulaşım AŞ'ye ait tüm hatlarda araçlar 750 V DC ile çalışmaktadır. Sistemde enerji akışı 34.5 kV orta gerilim düzeyinden kuruma ait trafo merkezleri ile enerji alınarak katener hatları vasıtası ile araçlara iletilerek gerçekleşmektedir. Trafo merkezlerinden sisteme giriş yapan enerjinin büyük bir kısmı trenlerin ceri için kalan kısmı yardımcı ihtiyaçlar için tüketilmektedir. Araçlarda harcanan enerji ise, cer enerjisi olarak adlandırılır. Trafo merkezlerinden alınan enerji herhangi bir formdaki (katener veya 3. ray sistemi) kablo sistemi ile trenlere iletilir. Enerji sabit hatta temas eden hareketli pantograflar vasıtası ile trene alınır. Trenlerde bulunan elektrikli ekipmanlar, gücün sürekli ve belli değer aralıklarında sağlanması durumunda fonksiyonlarını yürütürler [8]. Bu enerji kendi içinde sabit konfor fonksiyonları tüketimi ve araç cer tüketimi olarak sınıflandırılır.

Cer enerjisi ve istasyon ihtiyaç tüketim oranları yer altı ve yer üstü metro istasyonları için farklılık göstermektedir. İşletme türlerine göre cer ve yardımcı güçlerin dağılımı Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1.İUAŞ İşletme türlerine göre kurulu güç dağılımı

İşletme Türü	Cer Gücü		Yardımcı Güç		Toplam Kurulu Güçler		Güç Oranı	Toplam İstasyon Sayısı	Hat uzunluğu (km)	Birim Uzunluk Başına Kurulu Güç (MVA / km)	
										yedekli	yedeksiz
METRO (M2)	52,80	MVA	40.000	kVA	92,80	MVA	43,1%	6	8	3,56	2.81
LRT (M1)	38,40	MVA	10.150	kVA	48,55	MVA	20,9%	18	20	1,21	1.21
TRAM (T1-2)	25,00	MVA	350	kVA	25,35	kVA	1,4%	24	19.7	0,64	0.64

Bu tabloya göre birim uzunluk başına en fazla kurulu gücün metro sisteminde olduğu görülmektedir. Metro sistemlerinin yer altı ve/veya yer üstü yapılar olması ve işletme kapasitelerine göre altyapı tesis ihtiyaçları farklılık göstermektedir. Metro sistemi hafif metro sisteminden yaklaşık iki kat daha fazla kurulu güce ihtiyaç göstermektedir. Tüm sistemlerin cer trafoları sıcak yedekli olarak çalışmaktadır. Güvenlik ve hizmetin sürekliliği bakımından tercih edilen bu durum %33 oranında daha fazla enerji tüketilmesine sebep olmaktadır [13]. Benzer şekilde yangın pompaları, havalandırma fanları, acil aydınlatmalar gibi yüklerin beslendiği yardımcı güç trafoları da kritik durumlar için sıcak yedekli olarak çalışmaktadırlar.

4. RAYLI SİSTEMLERDE ENERJİ TÜKETİM KRİTERLERİ

Raylı sistemler elektrikli araçlar ve ray bakımından değişiklik gösterirler. Potansiyel tasarrufları değerlendirmek ve öngörmek zordur [14].

Metodolojik yaklaşımda enerji ile ilgili içsel ve dışsal faktörlerin belirlenmesi, enerji verimliliği ile ilgili kriterlerin sınıflandırılması, enerji tüketimlerini ve emisyonlarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi gereklidir. Böylece farklı bağlamlardaki enerji verimlilik parametre varyanslarının sayısal göstergelerini belirlemek mümkün olacaktır.Bu yaklaşımla elde edilmiş enerji tüketim kriterlerinin listesi Tablo 2’de görülmektedir [15].

Avrupa Birliği araştırma projesinde(MALTESE) bu bileşenlerin enerji tüketimlerini katkıları oranında sınıflandırılmıştır [15]. Buna göre enerji tüketiminde en yüksek etkiye sahip olanlar sırasıyla, yer altı sistemlerde yer altı istasyonları, aydınlatma ve ventilasyon, cer/frenleme, tren ağırlığı, işletme sıklığı, depo alanı konumu, olduğu tespit edilmiştir.

Isıtma,havalandırma ve aydınlatma gibi araç konfor fonksiyonları tüketimleri her metropoliten raylı sistem işletmecisinin kendine özgü iklim şartlarına bağlı olarak değişir.İklim bölgelerine göre %5–30 arasında farklılık göstermektedir.

Tablo 2. Enerji tüketim kriterleri

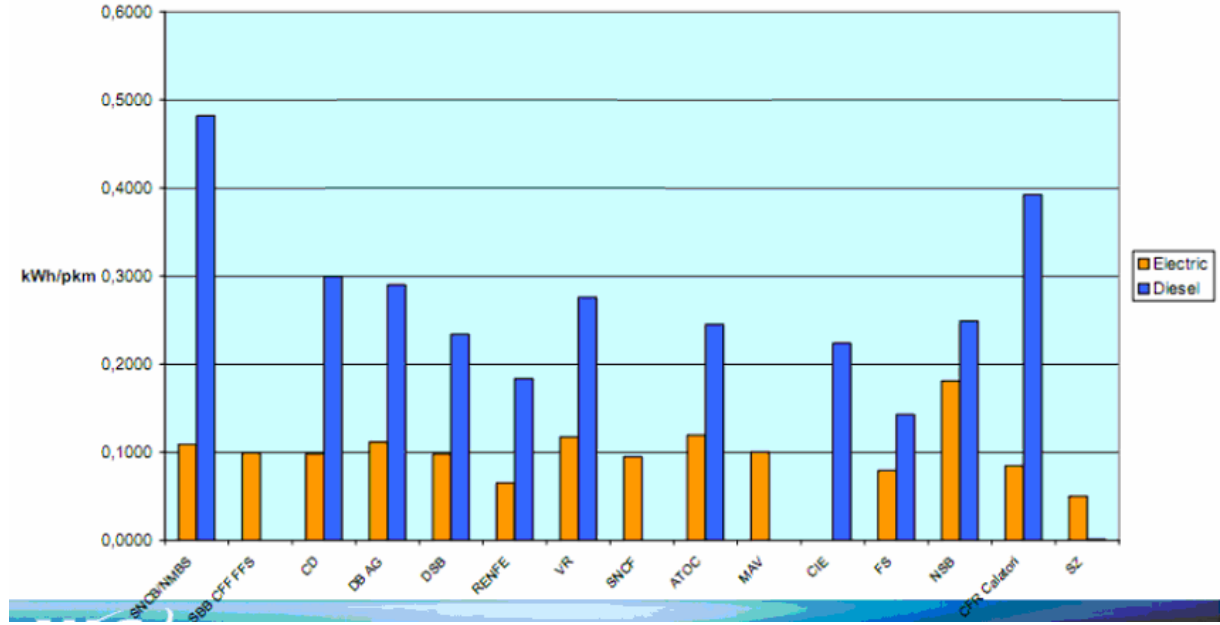
Hat Karakteristikleri	İşletme Karakteristikleri	Araç Karakteristikleri	Talep Karakteristikleri
Uzunluk Gradyen/ Kurplar İstasyon sayısı İstasyonlararası mesafe Tünellerin uzunluğu Hemzemin geçitler Manevra alanı	İşletme frekansı İşletme hızı Süzülme mesafesi Kapı açılımı	Motor Karakteristikleri (güç) /Aracın boş ağırlığı/ Kabin boyutu/kapasite/ Rejeneratif frenleme/ Kapıların sayısı ve boyutu//Pencere açılımı Kabin aydınlatma/ Hava koşullandırma/ Ventilasyon ısıtma	Yolcu sayısı Yolcu.km Yük hacmi
İstasyon karakteristikleri	Sabit Tesis Karakteristikleri		İklim Karakteristikleri
Yüzey aydınlatma Yer altı aydınlatma Yüzey elektronik ekipman Yer altı elektronik ekipman Elektromekanik ekipman	Kablolardaki kayıplar(dirençler) Raylardaki kayıplar(dirençler) Anahtar ısınması Ray sinyalizasyonu		Ortalama sıcaklık Don yapan günlerin sayısı Nem oranı

Cer elektroniği,cer motorları,frenlemeden kaynaklanan kayıplar aracın spesifik kontrüksiyonuna ve sürüş performansına ve durma sıklığına, yolcu sayısına bağlı olarak değişir.Değişim oranı %15 ile %36 arasındadır[10].

5. ELETRİKLİ TREN İŞLETİMİNDE SPESİFİK ENERJİ TÜKETİMİ

Taşımacılıkta enerji talebi hesaplanırken primer ve sekonder enerji talepleri arasındaki farka dikkate etmek gereklidir. Raylı sistemlerde spesifik ikincil enerji talebi havai hat kontak telinden ölçülür ve [Wh/yolcu.km] olarak ifade edilir. Enerji talebi rotaya bağlı olarak büyük değişiklik gösterdiğinden varolan ray bağlantıları için simülasyon yapılabilir. 590 koltuklu araç için 25 Wh/yolcukm enerji talebi simülasyonlar sonunda bulunmuştur (hız 160 km/h'dir.)Primer enerji talebi, her araç için sekonder enerji talebi verisine göre hesaplanır. Burada, enerji dağıtımı ve dönüşümü ile ilgili enerji kayıpları ve çeşitli enerji verimlilikleri göz önüne alınır [16]. Burada trendeki kayıplar, katenerdeki ve istasyonlardaki kayıplar dahildir. Tren tüketimleri izlemek için bir araç-üstü enerji analizörü ve iletişim cihazı araç üstüne monte edilir. Okunan değerler merkeze gönderilir. ASHRAE 14'e göre izleme,

doğrulama planı enerji tasarruf ölçümlerinin ilk adımıdır.



Şekil 4. Avrupa'daki çeşitli raylı sistem işletmelerinin spesifik enerji tüketimleri

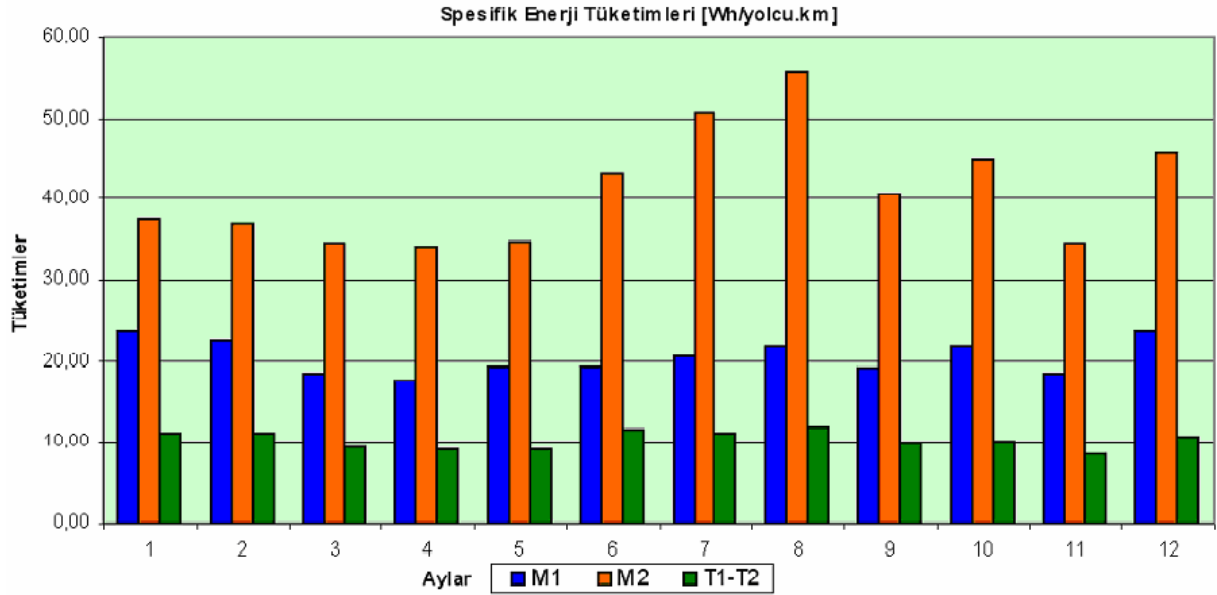
Kaynak:International Union of Railways,2008 ,[20]

[17]. ASHRAE 14 enerji kullanımı ve bağımsız değişkenlerin korelasyonunu kurmak için lineer regresyon kullanır.

Elektrikli raylı sistemlerde spesifik elektrik enerjisi tüketimi [kWh/tren.km] veya [Wh/koltuk.km] ya da [Wh/yolcu.km] olarak tanımlanabilir. Enerji tüketimleri aşağıdaki seviyelerde ölçülebilir:

- Tren giriş seviyesi olan pantograftan
- Trafo merkezi seviyesi, raylı sisteme giriş noktası
- Güç tedarik seviyesi; enerjinin üretildiği santralden trenin tekerleklerine kadar olan süreçteki kayıplar gözönüne alınır.
- Park sahasındaki tren tüketimleri, istasyonda araç ısıtma, tamamlayıcı çalışmalar, araç bakımı, alt-yapı ihtiyaçları vs dahil olabilir.

Farklı trenler arasında karşılaştırma yapabilmek için aynı seviyedeki tüketimleri baz almak ve aynı tanımlar ile ifade etmek gerekir.Primer enerji tüketimi, trafo merkezi seviyesinde Wh/yolcu.km olarak ifade edilir.Bu tüketime trendeki, katener sistemdeki ve istasyonlardaki kayıplar ,park halindeki tren tüketimleri de dahildir ama, istasyon ısıtma, tüketimleri dahil değildir [18].



Şekil 5. İUAŞ Spesifik primer enerji tüketimi [Wh/yolcu.km]

Analizler göstermiş ki; ortalama olarak raylı sistemler $\text{CO}_2/\text{yolcu.km}$ olarak, arabaların ürettiği salımın yarısı, uçakların ürettiği salımın $\frac{1}{4}$ 'ü kadar CO_2 üretmektedirler. Elektrikli trenlerin salımlarını $\text{CO}_2/\text{yolcu.km}$ olarak hesaplamak için gözönüne alınan faktörler spesifik enerji tüketimleri ve enerji üretimindeki karışım miktarı yani, hidroelektirik, nükleer ve kömür santrallerinden hangi oranlarda enerji alındığıdır [19].

Avrupa'daki çeşitli raylı sistem işletmecilerinin primer spesifik enerji tüketimleri Şekil 4'te, İstanbul Ulaşımına ait hatlardaki spesifik enerji tüketimleri ise şekil 5'te görülmektedir. Ancak, farklı referans verileri kullanan cer enerji tüketimleri ve farklı birçok etkin faktör ve kısıtlar (bakınız tablo2) nedeniyle yer altı sistemler için enerji verimliliği bakımından kıyaslama yapmak mümkün değildir.

6. FRENLEME SIRASINDA ENERJİ GERİ KAZANIMI

Tipik olarak düz coğrafik bir alanda iki istasyon arasındaki görev profili dört çalışma fazı ile tanımlanabilir:

1. Araç ivmelenmesi 1 m/s^2 , 10 ile 20 sn arasında
2. Costing (süzülme) cer akım yoktur.
3. Frenleme 1 m/s^2 civarında, kinetik enerji rejenerasyon sağlar.
4. İstasyon duruşu 20 s

Bu durum bir raylı sistem aracı tarafından çekilen gücün önemli ölçüde değişiklik gösterdiğini ortaya koyar. Etkin bir rejeneratif frenleme sistemi ile enerji tasarruf potansiyeli mevcuttur. Süzülme kontrolü ile enerji yönetimi istasyonlar arası mesafe,

eğimler, işletme programı ve yolcu yükü gibi birçok değişkene bağlıdır. Regeneratif frenleme sistemi, kalkmak üzere olan başka bir aracın kullanması için enerjiyi hatta geri verir. Elektrik güç kaynağı tersinir kapasitede tasarlanmamışsa, katenerde yükselen gerilim, araç çatısına yerleştirilmiş bir rezistansta harcanır [21]. Bu hem çevresel, hem de ekonomik açıdan bir kayıptır. Bugün enerji depolama sistemleri, fazla enerjiyi depo eder ve ivmelenen bir araç talep edene kadar muhafaza eder. Enerji depolama sistemleri katener hattı gerilimini de stabilize eder. Bu enerji tepe güç talebi olduğunda kullanılır [22]. Frenleme sırasında oluşan enerjinin katener sistemine geri verilmesi prosesi de kayıplara maruz kalmaktadır. Bu kayıplara rağmen modern bir elektrik tahrikli tren, bir trenin ivmelenme sırasında ihtiyaç duyduğu enerjinin %60-70'i kadar bir enerjiyi frenleme sırasında(çok düşük hızlar hariç) üretebilir [23].

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji raylı sistem işletmeciliğinin en temel maliyeti olmuştur. Avrupa Birliği altyapı yönetimini ve işletme yönetimini ayırmayı önermiştir. Tüm maliyetler içinde en önemli maliyetlerden biri enerji maliyetidir. Raylı sistem altyapı yöneticileri raylı sistemlerde elektrik enerjisi maliyetlerini ayırmak zorundadır. Enerji verimliliğini iyileştirmek entegre teknik ve teknolojik çözümler, yeni kavramlar ve bütüncül çerçeve yaklaşımı ile mümkün görünmektedir. Bunun için gelişmiş ve daha ucuz raylı sistemler tercih edilmelidir.

Sürdürülebilir toplu taşımacılık ilkelerine uygun bir şekilde daha az enerji tüketen, kısıtlı kent mekanlarını etkin kullanan İUAŞ, 2005 yılında UITP uluslararası toplu taşımacılar birliği ile sürdürülebilir gelişme beyannamesi imzalamıştır. Bu bağlamda raylı sistemlerde yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmak alınacak enerji verimlilik tedbirleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Gelişme ve tedarik fazlarında raylı sisteme ait alt sistem ve bileşenlerinde olası enerji tüketimlerini hesaplamak için standart bir metodoloji geliştirmek
- Enerji tüketimleri ve yaşam döngüsü maliyetleri için bir entegre simülasyon aracı kullanmak
- Trafik yönetimi, altyapı ve tren için stratejik enerji verimlilik hedefleri geliştirmek
- Raylı Sistem Enerji Yönetimi için enformasyon sistemi oluşturulması. Enerji yönetimi için enformasyon sistemi ,raylı sistemlerin cer ve altyapı ünitelerinde tüketilen enerjinin incelenmesi ve veri tabanı oluşturmayı sağlayacaktır. Web tabanlı yazılımla istasyonlar ve bina tüketimleri izlenecektir.

- Yeni entegre yaklaşımla geliştirilmiş, hat boyu, araç üstü, alt sistemler ve ekipmanlar için enerji etkin teknolojilerin geliştirilmesi yönelik çalışmalar
- Politika, fiyatlandırma ve teşvikler için stratejiler geliştirilmesi.
- Raylı sistemlerde cer teknolojisi, personel eğitimi vs. için finansal destek gerekmektedir.
- Farklı abone tarife tanımlamasının yapılması
- Bu amaçla spesifik enerji tüketimlerini azaltmak için aksiyon planı hazırlanmalıdır.

Enerji tarifesı cer sistemi ekonomisinde hayati bir rol oynar. EPDK'ya elektrikle çalışan raylı sistemler için mevcutlardan farklı bir abone grubu tanımlaması talebinde bulunmak elzem olmuştur. Bu tedbirler arasında kısa vadede sonuç alınabilecek olanlar, rejeneratif frenleme ile enerji geri kazanım, süzölme kontrolü ve enerji tarifesinde gerçekleştirilecek bir değişikliklerdir. Sürdürülebilir enerji geleceğini başarmak için maliyet etkin çözüm enerji verimliliğidir. Enerji verimliliğindeki iyileştirmeler enerji altyapısında yatırım ihtiyacını azaltacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] "Environmental Guideline for the procurement of new rolling stock, outcome of the UIC project",PROSPE R, Henning Schwatz, DB AG.
- [2] DG TREN website, www.ec.europa.eu
- [3] "Innovative Integrated Energy Efficiency for Railway Rolling Stock,rail infrastructure and train operation" ,www.railenergy.org
- [4] "Rail Transport and Environment", Facts anda Figures, June UIC, 2008,
- [5] "İstanbul'da Ulaşım Problemleri ve Çözüm Önerileri"Sunum",İBB,Ulaşım Planlama Müdürlüğü, Kasım 2008
- [6] "İşletme Faaliyet Raporu,Yönetici Özeti", İstanbul Ulaşım A.Ş. Şubat 2009
- [7] "The IET Professional Development Course on Electric Traction Systems",3-7 November 2008,Manchester,UK.
- [8] "Railway Electrification Systems and Configürations",Bharat Bhargava,Souther California Edison CO. Rosemead,CA 91770,IEEE 1999
- [9] "Railway Electrification Infrastructure and Systems", The 3rd IET Professional Development Course , Birminhgam UK.,14-18 May 2007

- [10] "Reducing Energy Consumption in Underground Systems,International Metropolitan Railways Committe, Amalgamated Report,UITP,www.uitp.org, 1995
- [11] "Optimal Reduction of Energy Losses in Catenery wires for dc railway systems",July, Europan Copper Instutite(ECI), ,Author J.F.Groeman (KEMA), 2000
- [12] www.deutchbahn.com
- [13] "Energy Audit of Railway Traction Distribution System",case study EA-254 www.letsconserve.org
- [14] "Monitoring and Evaluation Methodology for Railways", Gregor Hriber,Third UIC EE Conference, 19 September, Slovenia, 2007
- [15] "Public Transport:Energy Efficiency of light train systems",Stefan Krug www.ivv-aachen.de.
- [16] www.vr-transport.de
- [17] "Guideline to Measurement Energy and Demand Savings", www.ashrae.org
- [18] "Energy Efficiency of High-Speed Rail",Dr.Piotr Lukaszewicz,Prof.Evert Anderson,UIC 6th World Congress on High Speed Rail, Amsterdam, 17-19 March, 2008
- [19] "Baseline energy statement-energy consumption and Carbon dioxide emissions on the railway" ATOC ,March 2007
- [21] Environment Indicator and U.I.C Database,IEA Paris, www.uic.asso.fr,Railway 29.01.2008
- [20] "Electrical Energy saving for urban and suburban guided transport system", Gerard Coquery,2nd UIC Railway Energy Efficiency Conference, Paris, 4-5 February,2004
- [22] "Efficient Improvement of Mass Transit Power Supply" ,Christion Godbersen, Siemens ,2nd UIC Railway Energy Efficiency Conference - Paris, 4-5 February 2004
- [23] "Energy consumption and related air pollution for Scandinavian Electric Passenger Trains",Evert Anderson,Piotr Lukaszewicz,Report KTH,Royal Intsitute of Technology, Sweden, 2006.