



Türkiye’de Dizelli Tren İşletmeciliğinde Enerji Verimliliği ve Emisyonların Araştırılması

Mehmet Emin AKAY*¹, Veli ÇELİK²

¹KBÜ Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Programı, Karabük, Türkiye
²Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Ankara, Türkiye

*eminakay@karabuk.edu.tr

(Alınış/Received: 04.07.2023, Kabul/Accepted: 22.07.2023, Yayınlama/Published: 31.07.2023)

Öz: Bu çalışmada Türkiye’de dizelli lokomotiflerle yapılan yük ve yolcu taşımacılığı kaynaklı enerji verimliliği ve yıllık emisyon miktarları hesaplanmıştır. Verimlilikte ana kriter hamton.km olarak alınmış, 2013-2017 yıllarını kapsayan 5 yıllık dönem için 1 hamton.km seyir için harcanan yakıt ve 1 litre yakıt ile gidilen hamton.km değerleri hesaplanmıştır. Dönem sonuna göre, 1 hamton.km seyir için harcanan yakıt miktarının azaldığı ve 1 litre yakıt ile gidilen hamton.km değerinin arttığı görülmüştür. HC, CO, NO_x ve PM₁₀ kirleticilerinden oluşan emisyon toplamının 2014 yılında zirve yaptığı, sonraki yıllarda azaldığı gözlenmiştir. CO ve NO_x emisyonları en yüksek miktar olmuştur. Çözümler olarak; elektrikli loko kullanımının artırılması, maden cevheri vb. ağır tonajlı taşıma yapılan işletme bölgelerinde taşımaların E lokolarla yapılması, enerji giderinin ve emisyonların azaltılmasında TSİ sisteminin yaygınlaşması ile, yoğun yük taşımacılığı yapılan bölgelerde çift hat yapımına öncelik verilmesi önerileri yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Demiryolu taşımacılığı, Dizelli taşıtlar, Enerji verimliliği, Emisyonlar, Türkiye

Energy Efficiency in Diesel Train Management and Modeling of Emissions in Türkiye

Abstract: Energy efficiency and annual emissions from freight and passenger transportation with diesel locomotives in Turkey have been calculated. The main criterion in efficiency was taken as gross.ton.km, and the fuel spent for 1 gross.ton.km cruising and the gross.ton.km traveled with 1 liter of fuel were calculated for the 5-year period covering the years 2013-2017. Compared to the end of the period, it was observed that the amount of fuel consumed for 1 gross.ton.km cruising decreased and the value of gross.ton.km traveled with 1 liter of fuel increased. It was observed that the total emissions of HC, CO, NO_x and PM₁₀ pollutants peaked in 2014 and decreased in the following years. CO and NO_x emissions were the highest. The highest amount of pollutants belongs to CO and NO_x emissions. As solutions; increasing the use of electric loco, especially for ore transport and heavy hauls. Suggestions were made to give priority to the construction of double lines in regions with heavy cargo transportation, with the widespread use of the CTC system to reduce energy costs and emissions, and to carry out the transportation in the operating regions where heavy tonnage transportation is carried out.

Keywords: Rail transport, Diesel vehicles, Energy efficiency, Emissions, Türkiye

1. Giriş

Dünyada demiryoluyla yolcu ve yük taşımacılığı düşük enerji tüketimi, yüksek seyir güvenliği, çevre dostu elektrikli tren işletmesi gibi nedenlerde büyük öneme sahiptir. 1950’li yıllardan beri ihmal edilen demiryolu taşımacılığı 2003 yılından itibaren yeniden devlet politikası olmuş ve yatırımlar başlatılarak; şebeke iyileştirme, çeken-çekilen araç yenilemelerle reformlar da uygulamaya konulmuştur. Bu reformların başında 6461 sayılı Demiryolu Taşımacılığının Serbestleşmesi Kanunu” gelmekte olup, bununla sektörde liberalleşme yapılmıştır. Türkiye AB üyeliğine aday olmasıyla, AB’nin kurumsal müktesebatına (acquis communautaire) uyum

Atıf için/Cite as: M.E. Akay, V. Çelik, “Türkiye’de dizelli tren işletmeciliğinde enerji verimliliği ve emisyonların araştırılması,” *Demiryolu Mühendisliği*, no. 18, pp. 162-170, July 2023. doi: 10.47072/demiryolu.1322615

amacıyla, demiryolu taşımacılığının hukuki durumu ve işletme yapısı yeniden tanımlanmıştır. Kanuna göre, demiryolu hizmetleri tekeli kaldırılmakta, TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü “altyapı operatörü” olarak tanımlanmaktadır. Kurumun bünyesinden; yolcu, yük ve cer daireleri ayrılarak, yeni kurulan TCDD Taşımacılık AŞ’yi (TCDDT) oluşturmuştur. Kurum demiryolu tren işletmecisi (DTİ) olarak tanımlanmaktadır. Kanun demiryolu sektöründe ruhsat alan özel sektöre de tren işletme hakkı tanımaktadır. Ayrıca KHK ile Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü (UHDGM) kurulmuştur ve bu kurum sektörde düzenleyici ve denetleyici görev yaparak, kurumlara sektördeki çeşitli faaliyetler için, tren işletme lisansı verecektir [1].

Demiryolu emisyonlarının modellenmesinde daha önce aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

Dincer and Elbir, çalışmalarında Türkiye’de 2000-2005 dönemi demiryolu taşımacılığı kaynaklı emisyonları hesaplamışlardır. Çalışmanın ana girdisi DE lokomotiflerin ve DMU araçlarının lokomotif kilometre ve çalışma saatleridir. 6 yıllık dönemi kapsayan çalışmada, azot oksitler, hidrokarbonlar, karbon monoksit, partikül madde, kükürt dioksit ve karbon dioksit kirletici miktarları hesaplanmıştır. Sonuçlar gram/yolcu.km ve gram/ton.km cinsinden, HC, CO, PM₁₀, CO₂, SO₂ ve NO_x gibi 6 tür kirletici açısından bulunarak, farklı ülkelerle karşılaştırılmıştır [2].

Biliaiev et al. çalışmalarında, demiryolu istasyon aktivitelerinde oluşan egzoz kirleticilerinin, 3 boyutlu dağılımın matematik modeliyle dağılımının bulunarak, atmosferik kirlenmesini modellemiştir. Girdi olarak; rüzgâr yönü ve 10 m yüksekte rüzgâr hızı, lokomotif seyir hızı ve ortam ozonu konsantrasyonu kullanılmış, Euler metoduyla kirleticilerin NO, NO₂ formlarına dönüşümü ile, istasyon bölgesini çevreleyen yerleşim alanlarındaki etkisi bulunmuştur [3].

Cansız ve Ünsalan, makalelerinde, yapay sinir ağları (YSA) yardımıyla demiryolu taşımacılığında kaynaklanan CO₂ emisyonu tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Çalışmada Türkiye’de demiryolu ulaşım modu kullanımının yıllara göre değişimi incelenmekte ve demiryolu taşımacılığı için yapay sinir ağları metoduyla, tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Tahmin modellerinde, demiryolu hattı uzunluğu, yolcu sayısı ve yük miktarı, tren-kilometre, yolcu-kilometre ve ton-kilometre verileri girdi olarak; 2, 3, 4, 5 ve 6’lı kombinasyonlarla kullanılmıştır. Tahmin modellerinin hem performansın artırılması hem de kullanılan altı değişkenin etkisinin de modele girdirilmesi amacıyla temel bileşen analizi (TBA) ile yeni girdiler oluşturulmaktadır. Modellerin performans değerlendirildiğinde, en iyi tahmin modeli 2 değişkenli NPFA çıkmaktadır. Modelin hataların karesinin ortalaması (HKO) $6,48 \times 10^{-5}$, ortalama yüzde hata (OYH) %0,125 ve korelasyon katsayısı (R) %99,65’tir. Sonuçta TBA’nın modeller üzerine kayda değer etkileri görülmüştür [4].

Heinold makelesinde emisyon modellemesinde 4 farklı yöntemin bir değerlendirmesini yapmıştır. Bu modeller; Meet, Artemis, EcoTransit World ve Mesoscopic model olarak adlandırılmaktadır. Meet modeli bir trenin enerji tüketimini iki nokta arasındaki mesafeye ve trenin ortalama hızının bir fonksiyonu olarak kabul ederken, Artemis modeli ise, seyir yapılan mesafedeki trenin seyir direncinin entegrasyonu ile katarın enerji tüketimini hesaplamaktadır. Mesoscopic model, Artemis modeli gibi mikroskobik modellerden elde edilen fiziksel ilkeleri, Makroskopik modellerden elde edilen ampirik verilerle birleştirip, sonuçlandırmaktadır [5].

Kim et al, Kore’de DE lokomotiflerin anahat seyir şartlarında CO₂, N₂O ve CH₄ kaynaklı emisyonlar Tier 3 bağlamında hesaplanmıştır. CO₂ emisyonu relantide 282 g/kWh ve tam gazda 701 g/kWh olduğu bulunurken, CH₄ için relantide 0,0394 g/kWh ve tam gazda 0,0103 g/kWh ve N₂O relantide 0,0181 g/kWh ve tam gazda 0,0107 g/kWh olmuştur [6].

Bıyık ve Civelekoğlu, makalelerinde, Emisyon hesaplamalarında IPCC’nin Tier 1 ve Tier 2 hesaplama metodolojisi ile Isparta iline kayıtlı motorlu araçlarının 2010-2016 yılları arasındaki

karbon ayak izini hesaplamışlardır. Modelleme sonucunda, Tier 1 yöntemiyle hesaplamada 2010-2016 yılları arasında %34'lük bir artış gösterdiği, Tier 2 yöntemi ile hesaplanan karbon ayak izi hesabında ise, aynı dönemde %43'lük bir artış gözlenmiştir [7].

Annadanam and Kota, çalışmalarında demiryolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonların envanteri için, yukarıdan-aşağıya ve aşağıdan-yukarıya tespit yöntemlerinin verimliliğini karşılaştırmışlardır. Sektördeki yakıt tüketimi istatistikleri kullanılarak yukarıdan-aşağıya yöntemle hesaplanan emisyon envanterlerinde; taşıt yaşı, gücü ve loko tipi gibi farklı, yaş, güç ve lokomotif tipi gibi farklı parametreler, sonuçta büyük belirsizlikler içerdiği görülmüştür. Bunu yerine, aşağıdan-yukarıya bir yaklaşım yöntemi denenmiştir. Sonuçta yukarıdan-aşağıya yönteminin diğerine göre NOx emisyonlarının, yolcu trenlerinde %246 azaldığını, yük trenlerinde de %36 arttığı bulunmuştur [8].

Jiang et al, "Mobil kaynakların emisyon envanterlerine yönelik son gelişmeler ve perspektifler: Derleme yaklaşımları, veri toplama yöntemleri ve vaka çalışmaları" başlıklı makalelerinde, yukarıdan-aşağıya ve aşağıdan-yukarıya yöntemleriyle emisyon envanteri hesaplama metodlarını karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Karayolu motorlu taşıtlar için geliştirilmiş bir trafik akış modeli ve hıza bağlı emisyon faktörleri ile aşağıdan-yukarıya yöntemi yüksek çözünürlüklü bir emisyon envanteri geliştirmektedir. Yol dışı mobil kaynaklar ve demiryollarında ise, yakıt tüketimine veya güce dayalı yukarıdan-aşağıya bir yaklaşım benimsenmenin daha doğru sonuç verdiği görülmüştür. Daha sonra da emisyon azaltma potansiyeli, maliyet-fayda modeli yaklaşımları değerlendirilmiştir [9].

E. Lindgreen, S. C. Sorenson hazırladıkları raporda, "Demiryolu taşımacılığında Artemis emisyon modelleme metoduyla enerji tüketimi ve emisyonlarının hesaplanma metodlarını" açıklamışlardır. Metot trenlerini hareket şartlarına etkileyen; yuvarlanma, aerodinamik, yerçekimi ve hızlanma dirençlerini hesaplamak amacıyla, çalışma koşulları, hızlar ve ivmeler matrisi kullanılmaktadır. Emisyonlar, ortalama yakıt bazlı emisyon faktörleri ve elektrik üretimi emisyon faktörleri kullanılarak enerji tüketiminden hesaplanmaktadır. Sonuçlar, modelleme yaklaşımından elde edilen enerji tüketiminin, bilinen çalışma yöntemlerine göre %10'dan daha iyi sonuç verdiğini olduğunu göstermektedir [10].

2. Türkiye'de Demiryolu Taşımacılığı

2.1. TCDD Şebekesi

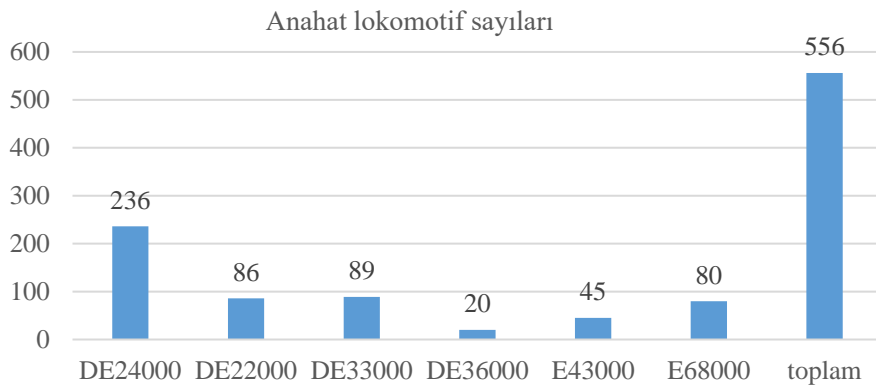
2023 yılı başında konvansiyonel TCDD şebekesi uzunluğu 11.668 km olup, Ankara-Sivas hattının da 26 Nisan 2023'te hizmete girmesiyle, uzunluğu 1.646 km'ye çıkan YHT şebekesi vardır. Konvansiyonel şebekenin 219 km'si hızlı hat olup, şebeke %87,6 oranında (11.500 km) tek hatlı, %55,1 oranında sinyalli (7.235 km) ve %47,6 (6.244 km) oranında da elektrikli [11]. TCDD şebekesinde, 14,543 km uzunluğunda 24 viyadük, 180 km uzunluğunda 764 tünel, 24.710 köprü vardır. Mevcut 2909 hemzemin geçidin 2.090 adedi kontrollüdür. Demiryollarının gelişimi için 2003-2017 döneminde hükümetlerin ayırdığı mali kaynak 71 milyar TL olmuştur [11].

TCDD'nin en önemli darboğazı, şebekenin "geometrik standardının düşüklüğü" olup, tek hatlı işletmecilik, dar kurlar ve yüksek eğim şeklinde tren işletimine yansıyan bu durumda, katarlar buluşmak ve öne geçmek için birbirlerini istasyonda beklemek zorunda kalmaktadır. Plansız gecikmelerin de doğmasıyla, hat üzerinde çalışan tüm tren seferleri aksamakta, trenlerin seyir sürelerinin de uzamasıyla, yaygın olan dizelli tren işletmesinin de etkisiyle aşırı yakıt tüketimi ve egzoz gazı emisyonu doğmaktadır [12].

2.2. Çeken taşıtlar envanteri

2017 yılında tüzel kişilik kazanan TCDD Taşımacılık AŞ'nin lokomotif envanterinin incelenmesiyle, emisyon modellemesi hakkında bir ön bilgi verilebilir. Bu amaçla kurumun 2023 yılı başında anahat lokomotif mevcudu türlerine göre Şekil 1'de gösterilmiştir.

Toplamı 431 olan DE lokoların, kurum envanterindeki oranı %77,5 iken, 125 adetli E lokoların oranı da %22,5 dur. TCDD şebekesindeki 2023 yılı elektrikli hat oranı %47,6 (6.244 km) iken, E lokomotif mevcudunun %22,5 gibi düşük oranda kalması, elektrikli hatlarda daha dizelli işletmeciliğe sebep olmakta, bu nedenle de daha düşük işletme verimli dizel yakıtı harcanmakta ve egzoz emisyonları da kaçınılmaz olarak artmaktadır. Şekil 1'den görüleceği gibi, kurumdaki mevcut 456 adet anahat lokomotifinin 322 adedi (DE24000 ve DE22000), yani %70,6'sı verimli taşıt ömrü olan 30 yaşın üzerindedir. Özellikle DE24000 lokomotifleri, yüksek işletme ve enerji gideri ile sıklıkla arıza yapmakta ve yüksek emisyonlar doğurmaktadır.



Şekil 1. TCDDT'nin anahat lokomotif mevcudu [11]

2.3. Enerji tüketimi ve emisyonlar

Cer araçlarının; anahat seyri, ranfor, tek loko seyri ve manevra gibi farklı çalışma şartları vardır. Dizelli raylı taşıtların çalışma şartları, rölanti ve seyir olarak iki gruptan oluşur. DE loko motoru istasyonlarda yolcu alırken ve buluşma halinde, rölanti şartlarında çalışırken, seyir şartlarında, hattın durumuna göre farklı gaz kademelerinde dizel motorunun ve ona aküple alternatörün cer motoru için ürettiği cer akımı çalışır. [13].

Dizel motorlu taşıtlarında yanma sonucunda, tam yanma ürünü CO₂ ve NO_x oluşurken, eksik yanma sonucu CO, PM₁₀ ve HC da doğmaktadır [14]. NO_x'ler hem ozon öncülleri doğururken, diğer yandan da atmosferde nitrik asit oluştururlar. Yer seviyesinde ozon ve PM₁₀ solunması akciğer dokuları zarar vermekte ve kalp rahatsızlıklarını da arttırmaktadır [15]. Taşıma modları arasında, atmosfere atılan kirletici miktarlarına göre bir mukayese yapıldığında, İngiltere'de yapılan bir araştırmaya göre, bir yükün demiryoluyla 1 ton.km taşınmasıyla 30 gram CO₂ havaya atılırken, karayolunda bu rakam 120 gram CO₂ değerine çıkmaktadır [16]. Bu durum demiryolu taşımacılığının, karayoluna göre atmosferi daha az kirlettiğine bir örnektir. Dizelli taşıtlarda 10 ppm kükürtlü Eurodizel5 kullanılması nedeniyle emisyonlarda SO₂ dikkate alınmamaktadır.

Raylı sistemde yolcu ve yük taşıma verimliliği ve enerji tüketimi hamton.km kriteriyle değerlendirilir. Bu değer 1 brüt ton ağırlığındaki trenin 1 km götürülmesiyle harcanan enerjiyi temsil eder. Enerji değeri dizelli taşıtlarda hamton.km/litre yakıt olarak hesaplanırken, elektrikli taşıtlarda ise hamton.km/kWh birimiyle ifade edilir. TCDDT'nin taşıma verileri Tablo 1'de dizelli taşıtlar için de, Tablo 2'de elektrikli taşıtlar için verilmiştir.

Tablo 1. Dizelli taşıtlarla yolcu ve yük taşıma verileri [18]

	Motorin (litre)	Yolcu taşıma hamton.km	Yük taşıma hamton.km	Toplam taşıma hamton.km	Enerji gideri litre/hamton.km
2013	142.018	3.109.789	11.828.160	14.937.949	0,010
2014	157.216	3.386.947	15.560.999	18.947.946	0,008
2015	134.951	3.414.894	14.010.220	17.425.114	0,008
2016	126.839	2.648.774	14.036.721	16.685.495	0,008
2017	122.245	2.898.609	15.499.069	18.397.678	0,007
Ortalama	136.654	3.091.803	14.187.034	17.278.836	0,008

Tablo 1'deki dizelli taşımacılığın 5 yıllık enerji giderleri ortalamasının 0,008 litre/hamton.km olduğu görülmekte olup, 1 hamton.km taşıma için 0,008 litre yakıt harcanıyor demektir. Aynı durum Tablo 2'te verilen elektrikli taşıma incelendiğinde, ortalamanın 0,031 kWh olduğu görülmüştür. Yani 1 hamton.km değerinde bir taşıma için 0,031 kWh enerji harcanmaktadır.

Tablo 2. Elektrikli taşıtlarla yolcu ve yük taşıma verileri verileri [17]

	Elektrik (kWh)	Yolcu taşıma hamton.km	Yük taşıma hamton.km	Toplam taşıma hamton.km	Enerji gideri kWh/hamton.km
2013	172.729	974.391	2.721.728	3.696.119	0,047
2014	192.320	2.642.448	3.427.706	6.070.154	0,032
2015	196.475	2.993.897	3.977.181	6.971.078	0,028
2016	217.492	3.653.884	5.167.009	8.820.893	0,025
2017	228.653	3.941.914	5.536.058	9.477.972	0,024
Ortalama	201.534	2.841.307	4.165.936	7.007.243	0,031

EPA'ya göre dizelli taşıt emisyon faktörleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, lokoların imal yıllarına göre emisyon miktarlarının azaltılması öngörülmektedir.

Tablo 3. Lokomotif emisyon faktörleri (gram/litre) [2]

Lokomotif imal yılı	Loko tipi	HC	CO	NO _x	PM ₁₀
Tier 0 (1973 – 2001)	Anahat	2,64	7,03	47,01	1,77
	Manevra	5,55	10,06	69,21	2,43
Tier 1 (2002 – 2004)	Anahat	2,59	7,03	36,72	1,77
	Manevra	5,55	10,06	53,36	2,43
Tier 2 (2004 →)	Anahat	1,43	7,03	27,21	0,95
	Manevra	2,91	10,06	40,15	1,14

3. Materyal ve Yöntem

Emisyon modellemesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- ~ Enerji tüketiminde yük ve yolcu taşıması birlikte değerlendirilmiştir.
- ~ Analize esas taşıma ölçüsü hamton.km/litre birimidir.
- ~ Modellemede kullanılan girdiler, TCDD Taşımacılık AŞ'den alınmıştır.
- ~ Araçların yaş ortalaması yüksek olduğundan, Emisyon faktörleri Tier 0'a göre alınmıştır.

Modellemede geçerli emisyon faktörleri yolcu ve yük trenleri için Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan emisyon faktörleri (gram/litre) [2]

DE lokomotif	Emisyon faktörleri (g/litre)			
	HC	CO	NO _x	PM ₁₀
	2,64	7,03	47,02	1,77

Bir trenin seyri esnasında açığı çıkan emisyonlar Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$E = E_f \times F_y \times 1/1.000.000 \quad (1)$$

Emisyon faktörleri (E_f) 1 litre yakıt için gram kirletici olarak verilmektedir. Bu eşitlikteki ögeler; E_f emisyon faktörünü (gram/litre), F_y yakıt miktarını (litre), 1/1.000.000 katsayısı da emisyonları (ton/yıl) olarak dönüştürmekte kullanılmaktadır.

4. Sonuçlar, Değerlendirme ve Öneriler

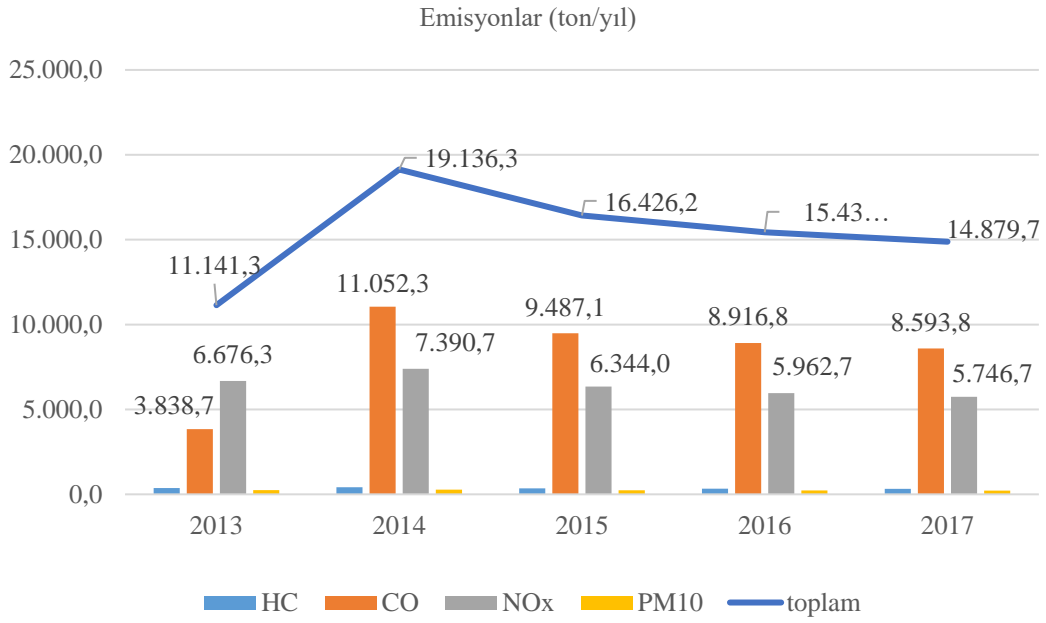
Demiryolu taşımacılığının enerji tüketimi dizelli taşıtlarda; hem 1 litre yakıtla taşınan hamton.km olarak, hem de 1 hamton.km taşıma için tüketilen yakıt olarak incelenirken, elektrikli taşıtlar için de 1 kWh enerjiyle gidilen hamton.km ve 1 hamton.km için harcanan kWh enerji hesaplaması yapılmış ve sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir. 5 yıllık dönemde 1 hamton.km taşıma için de ortalama 0,008 litre yakıt harcanırken, 1 litre yakıtla ortalama 106 hamton.km taşınabilmektedir. 1 litre yakıtla taşıma mesafesi yıllar içinde artmıştır. Elektrikli taşımada ise, 1 hamton.km taşıma için ortalama 0,029 kWh enerji harcanırken, 1 kWh enerjiyle gidilen mesafe yıllar içinde artarak, 41 hamton.km değerine kadar yükselmiştir.

Tablo 5. Dizelli ve elektrikli taşımada verimlilik

	Dizelli taşıma		Elektrikli taşıma	
	Enerji gideri litre/hamton.km	Gidilen mesafe hamton.km/litre	Enerji gideri kWh/hamton.km	Gidilen mesafe hamton.km/kWh
2013	0,010	105	0,047	21
2014	0,008	121	0,032	32
2015	0,008	129	0,028	35
2016	0,008	132	0,025	41
2017	0,007	150	0,024	41
Ortalama	0,008	126	0,029	35

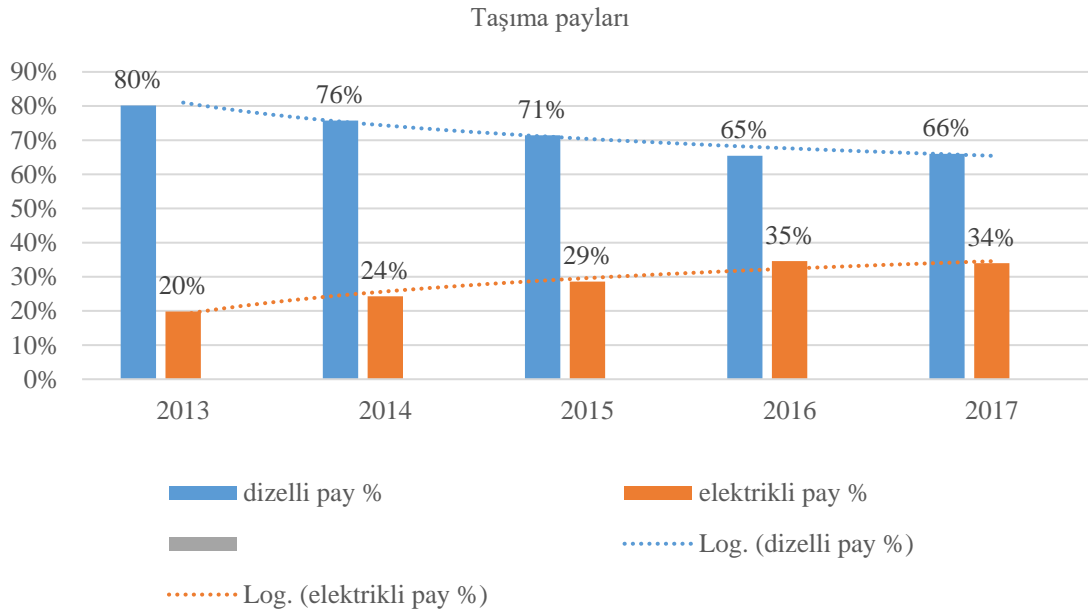
Emisyon modelleme için incelenen 5 yıllık dönemde hamton.km cinsinden yıllık taşıma verilerine göre emisyonlar Şekil 2'de gösterilmiştir. Taşımacılık 2014 yılında 18.947.946 hamton.km değerle zirve yaptığı yıl olup, toplam emisyonlar da 19.136,3 ton olarak en yüksek değerde çıkmıştır. Takip eden yıllarda taşıma değeri azalırken, emisyonlar da düşmüştür.

Taşımacılıkta atmosfere atılan kirleticileri toplam değeri Şekil 2'de çizgisel olarak gösterilmiştir. Buna göre emisyonların toplamı 19.136,3 ton ile 2014'te zirve yapmıştır. Benzer şekilde CO ve NO_x emisyonları da sırasıyla 11.052,3 ton ve 7.390,7 ton ile en yüksek noktalarına ulaşmışlardır.



Şekil 2. Dizelli demiryolu taşımacılığında emisyonlar (ton/yıl)

Türk demiryolu emisyonlarının ana kaynağı, dizelli demiryolu araçlarının yaygın kullanımındır. Şekil 3'te araştırılan 2013-2017 dönemindeki dizelli ve elektrikli cer karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.



Şekil 3. Yolcu ve yük taşımacılığında dizelli ve elektrikli taşıma payları [9].

İncelenen dönemde dizelli cer %80'den %66'ya düşerken, ona paralel olarak da elektrikli tahrik %20'den %36'ya yükselmiştir. Ancak halen elektrikli hatlarda dahi, yeterli E loko olmadığından veya kötü tren planlama sonucu dizelli trenlerin çalıştırıldığı gözlenmektedir. Bu durumda Şekil 1'de vurgulanan "yaşlı lokomotif varlığı" ve ranforlu yük treni çalıştırma ihtiyacı gibi "yüksek yakıt tüketimi" ve "emisyonları doğurması" kaçınılmaz olmaktadır.

Trenlerin işletilmesinde daha enerji verimli işletmecilik yapmak ve atmosfere atılan egzoz emisyonlarının azaltılması ve TCDDT'nin yakıt tüketimi ile taşıtların yüksek arıza yüzdelere kadar kaynaklanan “yüksek işletme” giderleri sorunun temelini oluşturmaktadır. Sorunların asgariye indirilmesi için aşağıdaki öneriler yapılmıştır:

- ~ Dizelli taşıt emisyonlarının daha rasyonel tespiti için, yapay sinir ağları (YSA) yardımıyla modelleme yapılabilir, Meet, Artemis, EcoTransit World ve Mesoscopic modelleri kullanılması faydalı olacaktır.
- ~ TCDDT elektrikli lokomotif tedarikini hızlandırmalı ve lokomotif imalatçısı TÜRASAŞ da bu tedarik zincirine imal edeceği lokomotiflerle katkıda bulunmalıdır. İlk prototipi kullanıma sunulan E5000 lokosu buna bir örnek olup, bu tür loko imalatı hızlandırılmalıdır.
- ~ Maden cevheri vb. ağır tonajlı taşımaların yapıldığı II., IV., V., VI. ve VII. İşletme bölgelerinde şebekenin elverdiği ölçüde taşımalar E lokolarla yapılmalıdır.
- ~ 2023 yılı itibarıyla TCDD'nin 11.668 km olan konvansiyonel hattının 7.142 km'si elektrikli. Bu oran konvansiyonel hat için %62'ye denk gelmektedir. Dolayısıyla E lokoların tahsis önceliği, yolcu trenleri yerine yük trenleri olmalıdır.
- ~ Enerji giderinin ve emisyonların azaltılmasında TSİ sisteminin yaygınlaşmasının da önemi vardır. Bu sayede trenler istasyonlarda daha az bekleme yapacaklardır.
- ~ Yoğun yük taşımacılığı yapılan bölgelerde çift hat yapımına öncelik verilmelidir.

Kaynakça

- [1] Resmi gazete, “Türkiye’de demiryolu ulaştırmasının serbestleştirilmesi hakkında kanun,” 1.5.2013 tarih ve 28634 sayılı, 2013
- [2] F. Dincer and T. Elbir, “Estimating national exhaust emissions from railway vehicles in Turkey,” *Science of the Total Environment*, vol. 374, pp. 127–134, 2007. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.12.043
- [3] M. M. Biliaiev, T I Rusakova, V A Kozachyna, O V Berlov, V M Poltoratska, and Z M Yakubovska, “Simulation of environmental pollution from diesel locomotive”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 985, 012019, 2020
- [4] Ö. F. Cansız, K. Ünsalan, “Türkiye demiryolları karbon ayak izinin temel bileşen analizi destekli yapay sinir ağları yöntemi ile tahmini,” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 11(1), pp. 314-324, 2021
- [5] A. Heinold, “Comparing emission estimation models for rail freight transportation,” *Transportation Research Part D* vol. 86, 102468, 2020
- [6] Y. K. Kim, J. Y. Lee, Y. Rhee, Y. Y. Chun, “Country-specific greenhouse gas emission factors of diesel-electric locomotive in Korea,” *Transportation Research Part D* vol. 57, pp. 74–83, 2017
- [7] Y. Bıyık ve G. Civelekoğlu, “Isparta ilinde karayolu kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması,” *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, vol. 4, iss. 2, pp. 78-87, 2020
- [8] S. K. Annadanam and S. H. Kota “Emission of greenhouse gases and criteria pollutants from railways in India estimated using a modified top-down approach,” *Journal, of Cleaner Production*, vol. 213, 610e617, 2019
- [9] H. Jiang, H. Zhang, M. Fu, Z. Huang, H. Ni, H. Yin, Y. Ding, “Recent advances and perspectives towards emission inventories of mobile sources: Compilation approaches, data acquisition methods, and case studies,” *Journal of Environmental Sciences* vol. 123, pp. 460-475, 2023
- [10] E. Lindgreen and S. C. Sorenson, *Simulation of Energy Consumption and Emissions from Rail Traffic Evaluation*, Workpackage 700: Emission estimating methodology for rail transport, assessment and reliability of transport emission models and inventory systems, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 2005.
- [11] TCDD resmi web sitesi, 2023. <https://www.tcdd.gov.tr/kurumsal/hakkında> [Erişim 05.06.2023]
- [12] M. E. Akay and A. Ustaoglu “Energetic, exergetic, and environmental evaluation of railway transportation by diesel and electric locomotives”, *Environ Prog Sustainable Energy*, 41:e13804, 2022
- [13] M. E. Akay ve H. Aygün “Karabük-Zonguldak hattında demiryolu hat kapasitesinin modellenmesi,” *Politeknik Dergisi*, vol. 25(4), pp. 1817-1825, 2022. doi: 10.2339/politeknik.884305

- [14] M. E. Akay, “Kırıkkale metropoliten ortamında taşıt, konut ve endüstri kaynaklı hava kirliliği araştırması”, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2004
- [15] J. Kean, R. F. Sawyer, and R. A. Harley, “A fuel-based assessment of off-road diesel engine emissions,” *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 50, Nov. 2000
- [16] B. M. Graver and H. C. Frey, “highway vehicle emissions avoided by diesel passenger rail service based on real-world data,” *Urban Rail Transit*, vol. 2(3-4), pp. 153-171, 2006
- [17] T. Esters and M. Marinov, “An analysis of the methods used to calculate the emissions of rolling stock in the UK”, *Transportation Research, Part D* vol. 33, pp. 1-16, 2014
- [18] TCDD, “TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü istatistik yıllığı 2010-2014 ve 2014-2018,” 2018. [Erişim 08.06.2023]

Özgeçmiş



Mehmet Emin AKAY

1952 yılında İzmir’de doğdu. Gazi Üniversitesi Otomotiv Eğitimi Bölümünde 1975’te lisans, 1996’da yüksek lisans ve Kırıkkale Üniversitesinde 2005’te doktora eğitimini tamamlamıştır. 1987 – 2009 arası Kırıkkale Üniversitesinde öğretim görevlisi, 2009 – 2011 arası Bartın Üniversitesinde, 2011 – 2015 yılları arasında Kırıkkale Üniversitesinde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yaptı. Uzmanlık alanları; İçten Yanmalı Motorlar ve Taşıtlar, Yakıtlar, Yanma ve Emisyon Kontrolü, Raylı Taşıt Tekniği ve Demiryolu İşletmeciliği olarak sıralanabilir. Yazarın ulusal ve uluslararası olmak üzere çok sayıda yayını vardır. 2015 yılından bu yana KBÜ Raylı Sistemler Mühendisliğinde Program Başkanı olarak görev yapmaktadır. E-Posta: eminakay@karabuk.edu.tr



Veli ÇELİK

1960 yılında Amasya’da doğdu. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde 1980’de lisans eğitimini tamamladı. Yüksek lisansını İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD’de 1983 yılında, doktorasını da aynı kurumda 1989 yılında tamamladı. SAÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde 1990 – 1996 yıllarında Yrd. Doç. Dr. ve Doç. olarak çalıştı. Profesör olarak atandığı Kırıkkale Üniversitesinde 1996 – 2014 yılları arasında Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi ve Dekan olarak görev yaptı. Halen Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak göreve devam etmektedir. E-Posta: vcelik@aybu.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Yazar katkıları belirtilmemiştir.