
Araştırma Makalesi / Research Article

Yüksek Hızlı Trenlerin Enerji Tüketiminin Analizi

Gülüstan Tuğçe ALVALI¹, Sena KABAVE KILINÇARSLAN², Abdulkadir ORAK³,
Şeyma KORKMAZ³, M. Hüseyin ÇETİN^{2*}

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 06010, Ankara

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

³Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük
(ORCID: 0000-0003-0315-506X) (ORCID: 0000-0001-7302-4554) (ORCID: 0000-0001-6611-4535)

(ORCID: 0000-0002-6871-980X) (ORCID: 0000-0003-0429-5507)

Öz

Yüksek hızlı trenler yüksek enerji verimine sahip olsa da işletilmesi için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi miktarı dikkat çekici değerlerdedir. Bu sebeple günümüzde ve gelecekte ihtiyaç duyulacak enerji miktarının analiz edilmesi ve enerji tüketim politikalarının bu doğrultuda geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, yüksek hızlı trenlerin (YHT) enerji ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla güç tüketim parametreleri tespit edilmiştir. Bu parametreler; aerodinamik hava direnci, tekerlek- ray yuvarlanma direnci ve araç içi konfora yönelik tüketim olarak belirlenmiştir. Trenlerin ağırlık parametresi olarak üç farklı seviyede hesaplama yapılmış (150 kişi, 200 kişi, 250 kişi), hız parametresi olarak da sabit 250 km/sa. işletme hızı dikkate alınmıştır. Oransal analiz yapıldığında, toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %68'ini aerodinamik direnç, %30'unu ray-tekerlek etkileşimi ve %2'sini klima, aydınlatma vb. gibi iç konfor unsurları oluşturmaktadır. 250 km/sa. hız için gerekli güç ihtiyacı 1530 kW olarak hesaplanmıştır. Referans alınan hatlar arasındaki etkileşim incelendiğinde ise Ankara – İstanbul hattında %44, Ankara – Konya hattında %22, Konya – İstanbul hattında %21, Ankara – Eskişehir hattında ise %13 oranında enerji tüketildiği belirlenmiştir. Türkiye içindeki mevcut hatlar dikkate alındığında yıllık enerji tüketimi 71,24 milyon kWh miktarındadır. Bu değer Türkiye'nin yıllık elektrik enerjisi tüketimi değerinin %0,02'sini oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Hızlı Tren (YHT), Enerji, Aerodinamik Direnç.

Analysis of Energy Consumption of High Speed Trains

Abstract

Although high-speed trains have high energy efficiency, the amount of electrical energy needed to operate is remarkable. For this reason, it is necessary to analyse the amount of energy required today and in the future and to develop energy consumption policies in this direction. In this study, power consumption parameters are determined to identify the energy needs of high-speed trains (HST). These parameters are aerodynamic air resistance, wheel-rail rolling resistance and in-car comfort. The weight parameters of the trains are calculated at three different levels (150 persons, 200 persons, 250 persons), and the speed parameter is also considered as 250 km/h operating speed. When the interaction between the reference tracks were analysed, it was determined that energy consumption was 44% in the Ankara - Istanbul, 22% in the Ankara - Konya, 21% in the Konya - Istanbul, and 13% in the Ankara - Eskisehir. The amount of energy consumed per day is determined by multiplying the amount of energy needed and the total run times of high-speed trains that working on existing lines in the borders of Turkey. When a proportional analysis is made, approximately 68% of the total need is aerodynamic resistance, 30% is the rail-wheel interaction, and 2% is air conditioning, lighting, etc. as well as interior comfort elements. The power requirement for the speed of 250 km/h is calculated as 1530 kW. Considering the current lines in Turkey's annual energy consumption amount is 71.24 million kWh. These values constitute 0.02% of Turkey's yearly electricity consumption.

Keywords: High Speed Train, Energy, Aerodynamic Resistance.

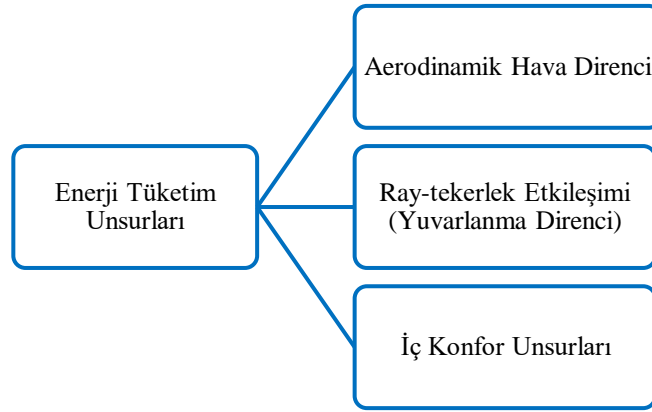
*Sorumlu yazar: hcetin@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi: 11/02/2020 Kabul Tarihi: 28/02/2020

1. Giriş

Yüksek hız (~250 km/sa.) ve yüksek kütle (~450 ton) sahip yüksek hızlı trenlerin (YHT) kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır [1]. Yüksek hızlı trenlerin enerji tüketimi; hava direnci, yuvarlanma direnci ve iç konfor unsurlarından dolayı oluşan direnç parametrelerine bağlıdır [2].

Yüksek hızlı trenlerin enerji tüketiminde, aerodinamik hava direnci en etkili parametredir. Aerodinamik hava direnç bağıntısı yüzey alanı, hız, hava yoğunluğu ve hava sürtünme direnç katsayısı faktörleri ile hesaplanmaktadır (Denklem 1). Aerodinamik etkiden kaynaklı enerji tüketiminde en etkili parametre ise, karesel olarak etki etmesi sebebiyle hız parametresidir [3]. Hız artışına bağlı olarak enerji tüketim artışı, hızlı tren işletmeciliğinde yönetilmesi gereken en önemli faktörün enerji olduğunu göstermektedir [4-7].



Şekil 1. Enerji Tüketim Unsurları

Ray-tekerlek etkileşimi sonucunda oluşan enerji tüketiminde ise tüketimi arttıran temel parametre ağırlık faktörüdür. Yüksek hızlara emniyetli bir şekilde ulaşılabilmesi için boji üzerinde sistem ağırlığını arttıran ilave süspansiyon sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum enerji tüketiminin de artmasına sebep olmaktadır.

Yüksek hızlı trenler yalnızca yolcu taşımacılığına hizmet eden sistemlerdir. Bu sebeple havalandırma, klima, aydınlatma vb. gibi unsurlar da ergonomi ve konfor açısından önem taşımaktadır [8]. Bu unsurların da enerji tüketimindeki payının belirlenmesi, toplam enerji ihtiyacının tespit edilmesi ve doğru bir enerji politikası geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

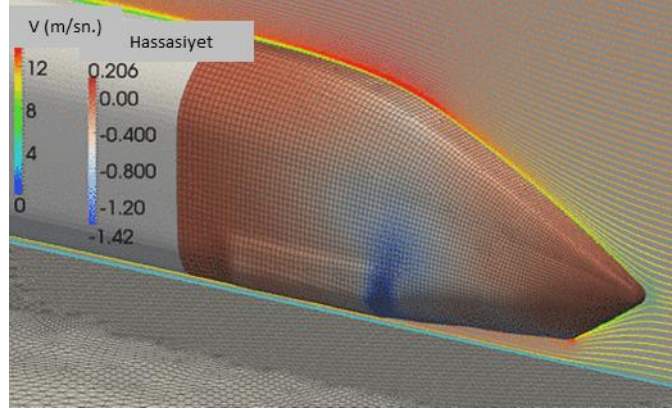
Bu çalışmada, yüksek hızlı tren setlerinin enerji ihtiyacı sistematik bir şekilde hesaplanmış ve toplam enerji tüketim değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca ihtiyaç duyulan hızlara göre YHT'lerin ihtiyaç duyacağı minimum motor güçleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler YHT setlerinin teknik parametrelerinin belirlenmesi aşamasında ve işletme esnasında enerji ihtiyaçlarının planlanmasında kullanılabilir niteliktedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Aerodinamik Hava Direnci Hesabı

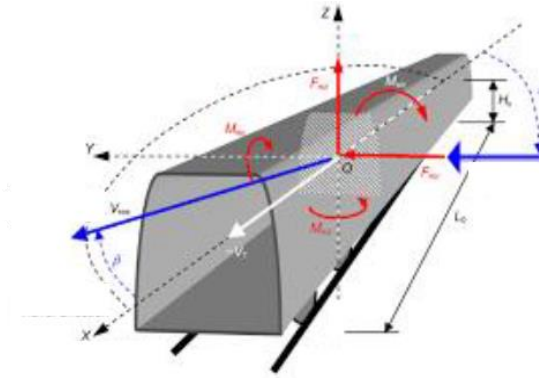
Yüksek hızlı trenlerin kullandığı güç parametrelerinden biri olan aerodinamik hava direnci, elektrik enerjisinin tüketilmesine sebep olan en etkili parametredir. Tren hızı arttıkça, aerodinamik hava direnci belirgin bir şekilde artmaktadır ve toplam direncin %85'i aerodinamik direnç sebebiyle oluşmaktadır [9]. Günümüzde yürütülen birçok çalışma, aerodinamik açıdan trenlerin tasarımını düzenlemeye ve bu direnci minimize etmeye yöneliktir. Özellikle araç burun tasarımı aşamasında aerodinamik hava direnci

en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Burun kesit alanı ne kadar küçük olursa trenlerin karşıladığı rüzgâr o kadar az olacak ve aerodinamik direnç de buna bağlı olarak daha düşük olacaktır.



Şekil 2. Akış Alanı ve Hassasiyet Analizi [10]

Şekil 2’de yüksek hızlı bir trenin, aerodinamik hava direnci gösterilmiştir. Aerodinamik hava direnci optimum seviyeye ulaşana kadar hassasiyet analizleri yapılmaya devam edilmiştir. Optimizasyon işlemi sırasında yüzey ağının deformasyonuna dair ayrıntılı bir simülasyon görünümü verilmiştir [10].



Şekil 3. Araç Üzerine Etkiyen Aerodinamik Kuvvetler [11]

Araç etrafında oluşan aerodinamik dış akış şeması Şekil 3’de gösterilmiştir. Araç hızından dolayı oluşan aerodinamik hava direnç kuvveti aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$F_1 = \frac{\rho \cdot A \cdot c_p \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

Denklem (1) de; “ F ” aerodinamik kuvveti, “ ρ ” hava yoğunluğunu, “ A ” aracın kesit alanını, “ c_d ” değeri hava sürtünme direnç katsayısını, “ v ” ise aracın hızını ifade etmektedir. Hesaplamalar yapılırken, “ c_d ” değeri ortalama 0,4 olarak seçilmiştir [12,13].

2.2. Ray-Tekerlek Etkileşimi Hesabı

Bir yüzeyde yuvarlanan bir cismin hareketine direnen kuvvete yuvarlanma direnci denir [14]. Demiryollarında, tekerlek ray arasındaki etkileşim sonucu yuvarlanma direnci meydana gelir.

Yuvarlanma direnci, aracın hareket edebilmesi için aşması gereken sürtünme kuvvetine eşittir. Yuvarlanma direnci, Denklem 2’de gösterilen Newton bağıntısı ile hesaplanır.

$$F_2 = m.g.c_w \quad (2)$$

Denklem 2’deki; “ F ” kuvveti yuvarlanma direncini, “ m ” araç kütleini, “ g ” yerçekimi ivmesini, “ c_w ” ise yuvarlanma direnç katsayısını ifade eder.

Bu çalışmada, yuvarlanma direnci üç koşul altında incelenmiştir. Bu koşullar; aracın 150 kişi, 200 kişi ve 250 kişi taşıma durumuna göre oluşturulmuştur. Ortalama insan kütlesi 75 kilogram olarak dikkate alınmıştır [12]. Aracın boş ağırlığı ise 439 ton (8 Vagonlu araç) olarak hesaba katılmıştır [9]. Yuvarlanma direnci katsayısı, sürtünme oluşan yüzeylerin malzeme yapısına bağlıdır. Bazı malzemeler arasındaki yuvarlanma direnç katsayısı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bazı malzemeler arasında ki yuvarlanma direnç katsayıları [15]

Malzeme	Yuvarlanma Direnç Katsayısı (C_w)
Çelik ray- çelik tekerlek	0,001-0,002
Beton-otomobil lastiği	0,001-0,015
Asfalt- otomobil lastiği	0,03
Katı kum-otomobil lastiği	0,04-0,08
Gevşek kum-otomobil lastiği	0,2-0,4

Tablo 1’de çelik ray- çelik tekerlek arasındaki katsayı 0,001 – 0,002 olarak belirtilmiştir. Hesaplama yapılırken yuvarlanma direnç katsayısı değeri ortalama 0,0015 olarak alınmıştır.

2.3. İç Konfor Unsurları Hesabı

Trenlerin içerisinde klima, ışıklandırma, bilgilendirme ekran panelleri gibi iç konfor unsurları bulunmaktadır. YHT işletmesinde kullanılan araçların iç konfor unsurları için belirlenen ortalama güç ihtiyacı 20 kW olarak belirlenmiştir.

2.3.1. Klima Kullanımı

Elektrikli araçların klima kullanımı sürüş süreleri dikkate alınarak hesaplanır. Kışın buz çözme prosesleri dikkate alınmadan gereken soğutma veya ısıtma yükü vagon başına 2,5 kW olarak varsayılabilir [16].

$$P_{klima} = 2,5. 10^3 \text{ [Watt/Vagon]} \quad (3)$$

Denklem 3’de; P_{klima} klima için harcanan gücü, $2,5. 10^3$ Watt soğutma veya ısıtma yükünü ifade eder.

2.3.2. Aydınlatma Kullanımı

Elektrikli araçlar katener hattından aldıkları 25 kV voltaj ile beslenirler. Işıklandırma ve bilgilendirme ekran panellerinin kullandıkları LED'lerin her biri 1,2 W güç harcıyarak çalışırlar [15]. Hesaplamalar, ışıklandırma ve bilgi panolarının toplamı olarak yaklaşık 50 LED kullanıldığı varsayılarak yapılmıştır.

$$P_{aydinlatma} = 1,2 \cdot n \text{ [Watt]} \quad (4)$$

Konfor unsurları için gereken güç Denklem 5'te verilen bağıntı ile elde edilmiştir.

$$P_{konfor\ unsur} = P_{klima} + P_{aydinlatma} \quad (5)$$

$$P = (2,5 \cdot 10^3) + (1,2 \cdot n) \text{ [Watt]}$$

2.4. Toplam Tüketim Modeli

Yüksek hızlı trenlerin güç parametrelerini aerodinamik hava direnci, ray-tekerlek yuvarlanma direnci ve araç içi konfor unsurlarına yönelik tüketim oluşturmaktadır. Aerodinamik hava direnç kuvveti ve tekerlek-ray etkileşimi hız ile çarpılarak harcanan güç bulunur.

$$P = [F_1 \cdot v] + [F_2 \cdot v] + P_3 \quad (6)$$

Bu bağıntılar açık bir şekilde yazıldığında Denklem 7 elde edilir.

$$P = \left[\left(\frac{\rho \cdot A \cdot c_d \cdot v^2}{2} \right) \cdot v \right] + [(m \cdot g \cdot c_w) \cdot v] + P_{iç\ unsurlar} \quad (7)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Hesaplanan Sonuçlar ve Tartışma

3.1.1. Aerodinamik hava direnci

$F_1 = \frac{\rho \cdot A \cdot c_d \cdot v^2}{2}$ olarak ifade edilmiştir. Türkiye'de bulunan yüksek hızlı trenlerin ortalama hızı 250 km/sa. baz alınarak hız (v) değeri 69,44 m/s, hava yoğunluğu (ρ) değeri 1,225 kg/m³, araç kesit alanı 12,8 m² ve hava direnç katsayısı ise ortalama 0,4 olarak hesaba katılmıştır. Belirlenen verilere göre aerodinamik hava direncinin oluşturduğu kuvvet 15,12.10³ N olarak hesaplanmıştır.

Aerodinamik hava direnci için harcanan güç ise Denklem 8'e göre hesaplanmıştır. Denklem 8'e göre harcanan toplam güç 1050,03 kW olarak belirlenmiştir.

$$P_1 = F_1 \cdot v \quad (8)$$

3.1.2. Ray-tekerlek etkileşimi hesabı

$F_2 = m \cdot g \cdot c_w$ olarak ifade edilmiştir. Bu hesaplamada; yuvarlanma direnç katsayısı (c_w) değeri 0,015, yerçekimi ivmesi (g) değeri 9,81 m/s² alınmıştır. Ağırlık için ise üç farklı parametre belirlenmiş ve ortalama insan kütlesi 75 kilogram (kg), aracın boş ağırlığı 439 ton olacak şekilde hesaba katılmıştır.

Belirlenen ağırlık parametreleri yolcu sayılarına göre oluşturulmuştur. Aracın hızı sabit olup 69,44 m/s olarak belirlenmiştir.

- Yolcu sayısı 150 kişi için yuvarlanma direnç kuvveti Denklem 9'a göre, yuvarlanma direncine harcanan güç ise Denklem 10'a göre elde edilmiştir.

•

$$F_{2_1} = [(150) \cdot (75) + 439000] \cdot (9,81) \cdot (0,0015) = 6,625 \text{ kN} \quad (9)$$

$$P_{2_1} = (69,44) \cdot (66,25) = 460,069 \text{ kW} \quad (10)$$

- Yolcu sayısı 200 kişi için yuvarlanma direnç kuvveti Denklem 11'e göre, yuvarlanma direncine harcanan güç ise Denklem 12'ye göre elde edilmiştir.

•

$$F_{2_2} = [(200) \cdot (75) + 439000] \cdot (9,81) \cdot (0,0015) = 6,680 \text{ kN} \quad (11)$$

$$P_{2_2} = (69,44) \cdot (66,8) = 463,901 \text{ kW} \quad (12)$$

- Yolcu sayısı 250 kişi için yuvarlanma direnç kuvveti Denklem 13'e göre, yuvarlanma direncine harcanan güç ise Denklem 14'e göre elde edilmiştir.

$$F_{2_3} = [(250) \cdot (75) + 439000] \cdot (9,81) \cdot (0,0015) = 6,735 \text{ kN} \quad (13)$$

$$P_{2_3} = (69,44) \cdot (6,73) = 467,73 \text{ kW} \quad (14)$$

3.1.3. İç konfor unsurları hesabı

$F_3 = (2,5 \cdot 10^3) + (1,2 \cdot n)$ olarak ifade edilmiştir. LED sayısı (n) yaklaşık olarak her vagon için 50 adet, bir tren setinde ise 400 adet olarak hesaplamalar yapılmıştır.

$P_3 = [(8) \cdot (2,5 \text{ kW})] + [(1,2 \cdot 400) \cdot 10^{-3} \text{ kW}] = 20,48 \text{ kW}$ olarak bulunur.

3.1.4. Tahrik ünitesi için toplam güç hesabı

Aerodinamik güç gereksinimi (P_1), sürtünme güç gereksinimi (P_2) ve konfor unsurları güç gereksinimi (P_3) değerlerinin toplamı kullanılacak tahrik ünitesinin (YHT seti için gerekli elektrik motoru gücü) kapasitesini belirlemektedir. Hesaplanan değerlere göre 150- 200- 250 kişilik yolcu ve 250 km/sa. hız için gereken toplam güç değerleri sırasıyla 1530,579 kW, 1534,41 kW ve 1538,24 kW'dır.

3.2. Çalışan Hatların Enerji Tüketimi

Çalışan YHT hatlarının enerji tüketim değerlerinin hesaplanmasında güncel işletme verileri dikkate alınmıştır. Hesaplama yaklaşık yolculuk süresi ve günlük sefer sayısı verileri kullanılmıştır.

3.2.1. Ankara-İstanbul hattı

Hat süresi ortalama 4 saattir ve gidiş-geliş toplam 14 sefer yapılmaktadır. Bu durumda günde ortalama 56 saat enerji tüketimi meydana gelmektedir. Ortalama yolcu sayısı 200 olarak belirlenmiştir. İşletme verileri dikkate alınarak aerodinamik direnç, teker – ray etkileşimi ve iç konfor unsurlarından

kaynaklanan enerji tüketim miktarları Denklem 15-18’de hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji miktarları yüzdesel olarak Şekil 4’te verilmiştir.

Ankara- İstanbul hattında aerodinamik direnç için harcanan enerji miktarı;

$$E_{1_1} = (1050,38 \text{ kW}). (56) = 58821,28 \text{ kWh} \quad (15)$$

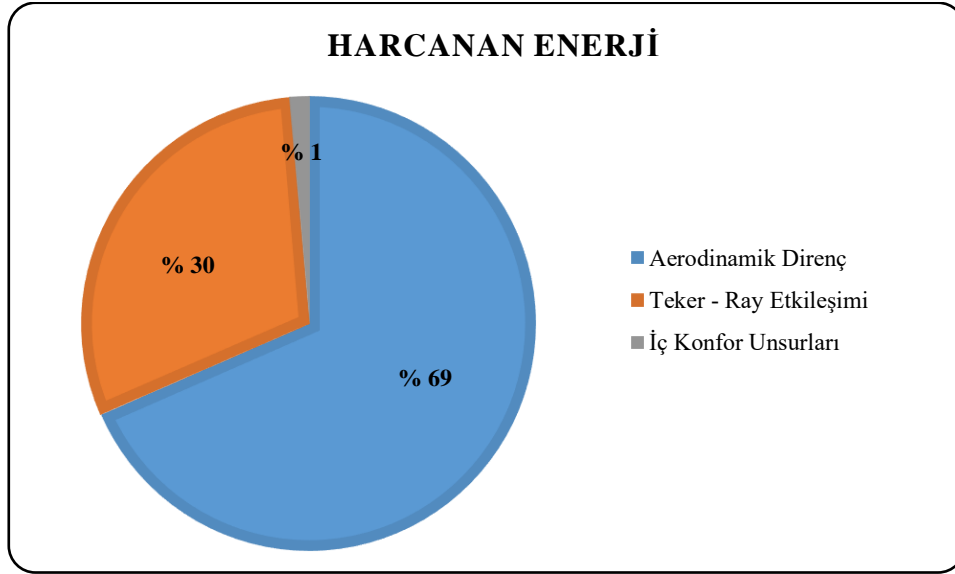
Tekerlek-ray etkileşimin harcadığı enerji;

$$E_{1_2} = (463,901 \text{ kW}). (56) = 25978,456 \text{ kWh} \quad (16)$$

İç konfor unsurlarının harcadığı enerji;

$$E_{1_3} = (20,48 \text{ kW}). (56) = 1146,88 \text{ kWh} \quad (17)$$

$$E_{1_{toplam}} = 85946,616 \text{ kWh} \quad (18)$$



Şekil 4. Ankara – İstanbul hattında harcanan enerji miktarları

3.2.2. Ankara-Eskişehir hattı

Hat süresi ortalama 1 saat 40 dakikadır ve gidiş-geliş toplam 10 sefer yapmaktadır. Bu durumda günde ortalama 16,6 saat enerji tüketimi meydana gelmektedir. Ortalama yolcu sayısı 200 olarak belirlenmiştir. İşletme verileri dikkate alınarak aerodinamik direnç, teker – ray etkileşimi ve iç konfor unsurlarından kaynaklanan enerji tüketim miktarları Denklem 19-22’de hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji miktarları yüzdesel olarak Şekil 5’te verilmiştir.

Aerodinamik direncin harcadığı enerji;

$$E_{2_1} = (1050,38). (16,6) = 17437 \text{ kWh} \quad (19)$$

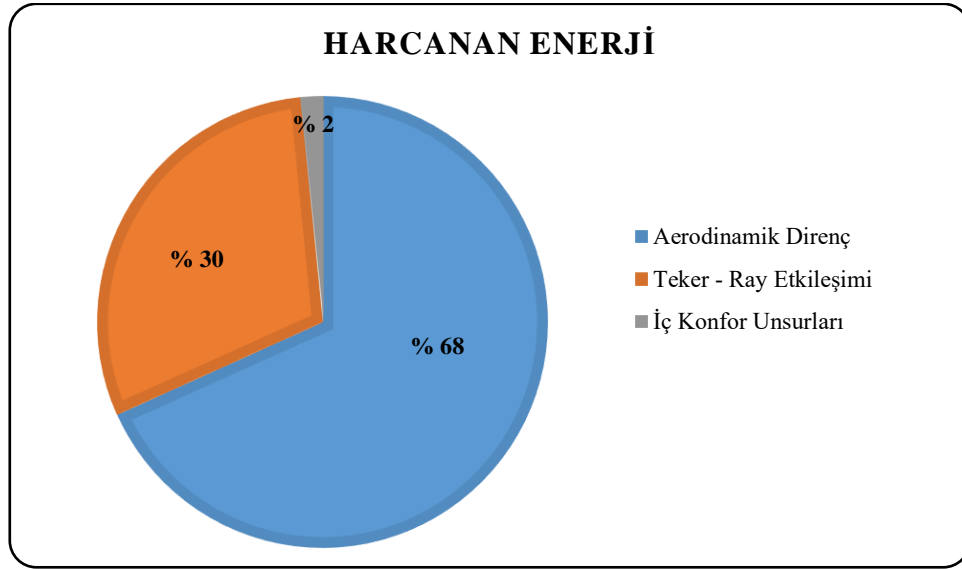
Tekerlek-ray etkileşimin harcadığı enerji;

$$E_{2_2} = (463,901). (16,6) = 7700,756 \text{ kWh} \quad (20)$$

İç konfor unsurlarının harcadığı enerji;

$$E_{2_3} = (20,48). (16,6) = 399,96 \text{ kWh} \quad (21)$$

$$E_{2_{toplam}} = 25537,716 \text{ kWh} \quad (22)$$



Şekil 5. Ankara – Eskişehir hattında harcanan enerji miktarları

3.2.3. Ankara-Konya hattı

Hat süresi ortalama 2 saattir ve gidiş-geliş toplam 14 sefer yapmaktadır. Bu durumda günde ortalama 28 saat enerji tüketimi meydana gelmektedir. Ortalama yolcu sayısı ise 200 olarak belirlenmiştir. İşletme verileri dikkate alınarak aerodinamik direnç, teker – ray etkileşimi ve iç konfor unsurlarından kaynaklanan enerji tüketim miktarları Denklem 23-26’da hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji miktarları yüzdesel olarak Şekil 6’da verilmiştir.

Aerodinamik direncin harcadığı enerji;

$$E_{3_1} = (1050,38). (28) = 29402 \text{ kWh} \quad (23)$$

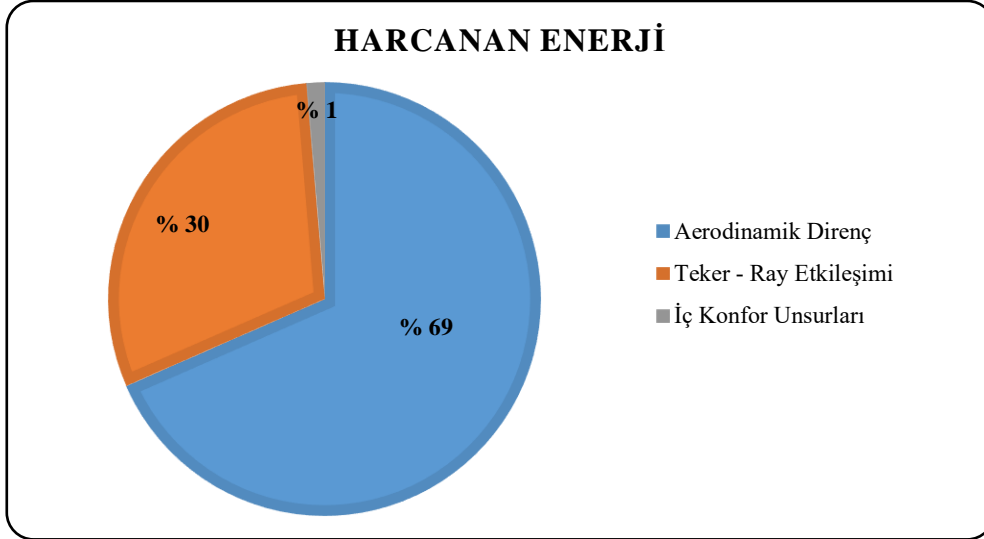
Tekerlek-ray etkileşiminin harcadığı enerji;

$$E_{3_2} = (463,901). (28) = 12989,228 \text{ kWh} \quad (24)$$

İç konfor unsurlarının harcadığı enerji;

$$E_{3_3} = (20,48). (28) = 573,44 \text{ kWh} \quad (25)$$

$$E_{3_{toplam}} = 42964,668 \text{ kWh} \quad (26)$$



Şekil 6. Ankara – Konya hattında harcanan enerji miktarları

3.2.4. Konya-İstanbul hattı

Hat süresi ortalama 4 saat 20 dakikadır ve gidiş-geliş toplam 6 sefer yapmaktadır. Bu durumda günde ortalama 26 saat enerji tüketimi meydana gelmektedir. Ortalama yolcu sayısı 200 olarak belirlenmiştir. İşletme verileri dikkate alınarak aerodinamik direnç, teker – ray etkileşimi ve iç konfor unsurlarından kaynaklanan enerji tüketim miktarları Denklem 27-30’da hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji miktarları yüzdesel olarak Şekil 7’de verilmiştir.

Aerodinamik direncin harcadığı enerji;

$$E_{4_1} = (1050,038). (26) = 27310 \text{ kWh} \quad (27)$$

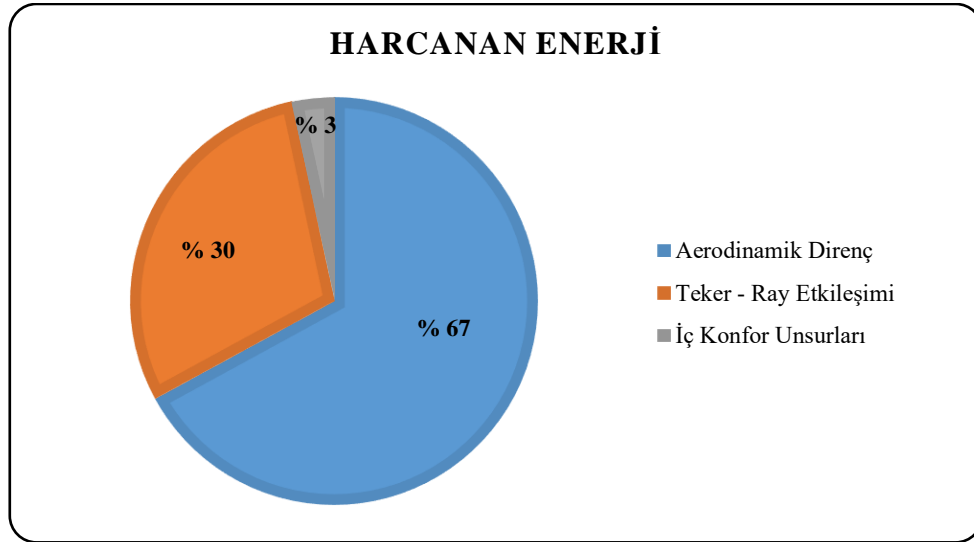
Tekerlek-ray etkileşiminin harcadığı enerji;

$$E_{4_2} = (463,901). (26) = 12061,426 \text{ kWh} \quad (28)$$

İç konfor unsurlarının harcadığı enerji;

$$E_{4_3} = (20,48). (26) = 1361,92 \text{ kWh} \quad (29)$$

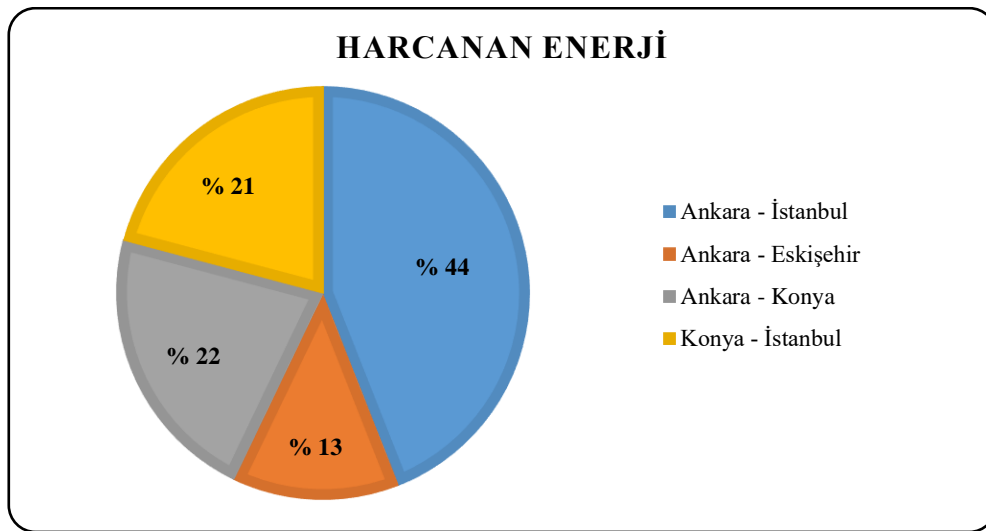
$$E_{4_{toplam}} = 40733,346 \text{ kWh} \quad (30)$$



Şekil 7. Konya – İstanbul hattında harcanan enerji miktarları

Yapılan hesaplamalar sonucu, yüksek hızlı tren hatları için gerekli olan günlük enerji miktarları tespit edilmiştir. 4 hat için gereken günlük enerji miktarı toplamı 195182,346 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık enerji ihtiyacı ise 71,24 milyon kWh olarak belirlenmiştir. 4 hat için enerji tüketimine sebep olan faktörlerin etkisi incelendiğinde; aerodinamik direncin ortalama % 68, teker – ray etkileşiminin %30, iç konfor unsurlarının ise ortalama %2 toplam enerji tüketimine etkisinin oranında olduğu görülmektedir. Etki oranlarının bütün hatlar için uyumluluk göstermesi, referans alınan matematiksel modellerin ve bu modellerden elde edilen sonuçların doğruluğunu desteklemektedir.

Hatların toplam enerji tüketim miktarlarının yüzdesel oranları Şekil 8’de verilmiştir. Hatların toplam enerji tüketim miktarları arasındaki etkileşim incelendiğinde (Şekil 8); Ankara – İstanbul hattında %44, Ankara – Konya hattında %22, Konya – İstanbul hattında %21, Ankara – Eskişehir hattında ise %13 oranında enerji tüketildiği belirlenmiştir. Hatların uzunluğu ve TCDD tarafından belirlenen sefer sayıları dikkate alındığında Şekil 8’de verilen oranlar ile TCDD verileri arasında pozitif bir korelasyonun varlığından söz edilebilir.



Şekil 8. Hatların toplam enerji tüketim miktarları arasındaki etkileşim

4. Sonuçlar ve Öneriler

YHT'lerin enerji ihtiyacının %68'ini aerodinamik hava direncinin, %30'unu ray-tekerlek yuvarlanma direnci, %2'sini ise iç konfor unsurlarının oluşturduğu hesaplanmıştır.

- YHT'lerin enerji tüketimi büyük oranda aerodinamik tasarımlarıyla ilgilidir. Araçların rüzgâra karşı dik konumdaki kesit alan tasarımlarında yapılabilecek iyileştirmeler büyük oranda enerji tasarrufu sağlayabilir. Fakat bu aşama ancak YHT setlerinin yeniden tasarım ve imalatı ile sağlanabilir.
- Mevcut YHT setlerinde (500 yolcu için) kullanılan tahrik motorlarının gücü 7000 ile 8500 kW arasında değişmektedir. 250 km/sa. hız ve 250 kişi yolcu (ortalama kapasite) ile hareket eden bir hızlı trenin güç ihtiyacı 1540 kW'dır. Elde edilen değerler, motorların güç yeterliliği açısından yaklaşık 6 kat emniyetli olduğunu göstermektedir. Bu emniyet değeri kot farklarından kaynaklı ilave güç ihtiyacını karşılayabilecek yeterliliktedir.

Kaynaklar

1. Bosquet R., Vandanjon P.O., Coiret A., Lorino T. 2013. Model of High-Speed Train Energy Consumption, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering, 7: 767–771.
2. Su R., Gu Q., Wen T. 2014. Optimization of high-speed train control strategy for traction energy saving using an improved genetic algorithm, Journal of Applied Mathematics, 1-7.
3. Tian H. 2009. Formation mechanism of aerodynamic drag of high-speed train and some reduction measures, Journal of Central South University of Technology, 16: 166–171.
4. Wong K.K., Ho T.K. 2004. Coast control for mass rapid transit railways with searching methods, IEE Proceedings-Electric Power Applications, 151: 365-376.
5. Lukaszewicz P. 2000. Driving techniques and strategies for freight trains, Advances in Transport, 7: 1065–1073.
6. Acıkbas S., Soylemez M.T. 2008. Coasting point optimisation for mass rail transit lines using artificial neural networks and genetic algorithms, IET Electric Power Applications, 2: 172-182.
7. Cucala A.P., Fernández A., Sicre C., Domínguez M. 2012. Fuzzy optimal schedule of high speed train operation to minimize energy consumption with uncertain delays and drivers behavioral response, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25: 1548–1557.
8. Song Y., Song W. 2016. A Novel Dual Speed-Curve Optimization Based Approach for Energy-Saving Operation of High-Speed Trains, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 17: 1564–1575.
9. Yang M., Du J., Li Z., Huang S., Zhou D. 2017. Moving model test of high-speed train aerodynamic drag based on stagnation pressure measurements, PLoS ONE, 12: 1–15.
10. Jakubek D., Herzog S., Wagner C. 2012. Shape Optimization of High Speed Trains using Adjoint-based Computational Fluid Dynamics, IJRT, 1: 67–88.
11. Bacak S., Gökoğlu M., Tekir M., Gedik E. 2016. Yüksek Hızlı Bir Trenin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Aerodinamik Analizi, 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'16), 13-15 Ekim, Karabük.
12. Urlu C. 2014. Raylı Sistemler Dinamiği Ders Notu.
13. Akbayır Ö., Çakır F.H. 2017. Enerji Verimliliği İçin Tren Direnci Hesaplamaları, 11-13 Mayıs, 4. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal Ve Teknik Bilimler Kongresi, Burdur.
14. Owsalou G.R. 2012. Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
15. M.E.B. 2013. Raylı Sistem Araçlarının Yardımcı Devre Elektrik Sistemleri, Ankara.
16. Jiang L., Wang R.Z., Li J.B., Wang L.W., Roskilly A.P. 2018. Performance analysis on a novel sorption air conditioner for electric vehicles, Energy Conversion and Management, 156: 515–524.