



Lokomotif Çekerleri Hesaplama Yöntemi

Hüseyin Eren BENİ 

*TCDD Genel Müdürlüğü, Kapasite Yönetim Dairesi Başk., Kapasite Geliştirme Şube Müd.,
Ankara, Türkiye*

h.erenbeni@hotmail.com

(Alınış/Received: 16.11.2020, Kabul/Accepted: 09.12.2020, Yayınlama/Published: 31.01.2021)

Öz: Bu çalışmada genel olarak demiryolu hatlarında trene etki eden dinamik kuvvetler anlatılmıştır. Trenlerin seyir dirençleri lokomotif ve vagonlar olmak üzere iki ana faktör üzerinde incelenerek demiryollarında kullanılan formüllerden bahsedilmiştir. Aynı şekilde hat üzerinden gelen kurp ve rampa dirençlerinin trenler üzerinde etkisini gösteren Uluslararası formüllerden bahsedilmiştir. Daha sonra, trene etki eden dirençlerin yenilebilmesi için gerekli olan tekerlek kuvvetinin nasıl hesaplanacağına değinilmiştir. Tüm bu dirençler anlatıldıktan sonra lokomotifin çekebileceği yükün nasıl hesaplanacağı anlatılarak bazı firmaların hesapladığı lokomotif çekerlerinin karşılaştırılması yapılarak hangi formüllerin kullanılmasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tren Direnci, Seyir Direnci, Lokomotif, Çeker

Locomotive Tractive Calculation Method

Abstract: In this study, dynamic forces that affect train on railway lines are explained in general. running resistances of trains are analysed on two factors as locomotive and wagons and the formulas used in developed countries for railways are mentioned. Likewise, international formulas that show the effect of the curve and ramp resistances coming from the line on trains are mentioned. Later on, mentioned on how to calculate the needed wheel force to overcome the resistances that affect the train. After all these resistances are explained, the calculation of tractive force of the locomotive is clarified and it is explained that which formulas would be beneficial by comparing locomotive tractions in some companies.

Keywords: Train Resistance, Running Resistance, Locomotive, Haulage

1. Giriş

Ülkemizde taşımacılığın sürekli geliştiği bu dönemde taşımacılık açısından demiryollarına talepte her geçen gün artmaktadır. Bu talebin karşılanması için demiryollarında taşıma kapasitesi açısından güçlü bir demiryolu ağına sahip olunması gerekmektedir. Ülkemizin coğrafik konumu nedeniyle eğimli arazilerimiz dolayısıyla eğimli demiryolu hatlarımız mevcuttur. Bu eğimli hatlar lokomotifin çekme kapasitesini oldukça etkilemektedir.

Lokomotifin çekme kapasitesini birçok faktör etki etmektedir. Hareket ettirilmek istenen bir tren; harekete karşı koyan bir dizi sınırlamalar ve etkenlerle karşı karşıya kalır. Trenin hareketinin sağlanmasında ve seyirinde istenilen hızlara ulaşmak, istenilen yükleri çekmek ve istenilen güçlere çıkmak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle trene etki eden dirençleri yenebilecek tekerlek kuvvetinin sağlandığı güç kadar lokomotifler yük çekebilecektir.

Bu çalışmada, lokomotif ve vagonlara etki eden dirençler incelenmiştir. Bu kapsamda uluslararası kabul edilen bazı formüller ve formüllerde hangi parametrelerin dikkate alındığı gösterilmiştir. Yapılan çalışmada lokomotiflerin çekme kapasitesinin ideale yakın şekilde hesaplanması ve formüllerin birbiri ile kıyaslanarak hangi formülün çekme kapasitesine nasıl etki ettiğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Atıf için/Cite as: H.E. Beni, "Lokomotif çekerleri hesaplama yöntemi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 13, pp. 122-133, Jan. 2021. doi: 10.47072/demiryolu.826780

2. Metot

Demiryollarının yük taşımacılığındaki öneminin artması ile birlikte lokomotiflerin ne kadar yük çekebileceğinin doğru bir şekilde hesaplanması gerekliliği doğmuştur. Pek çok önde gelen ülke demiryollarındaki trenin çekme kapasitesini belirlemek için geliştirdikleri formüller ve yöntemler vardır.

Trenitalia ve SNCF firmasının kullanmış olduğu tüm direnç formüller belirtilmiştir. Söz konusu direnç formüllerin yenilebilmesi için gerekli tekerlek kuvvetinin hesabının nasıl yapılacağı açıklanmıştır. Lokomotif çekerleri doğru bir şekilde kıyaslayabilmek için örnek bir dizel örnek bir lokomotif ile her bir rampa değerinde çekebileceği tonajlar hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

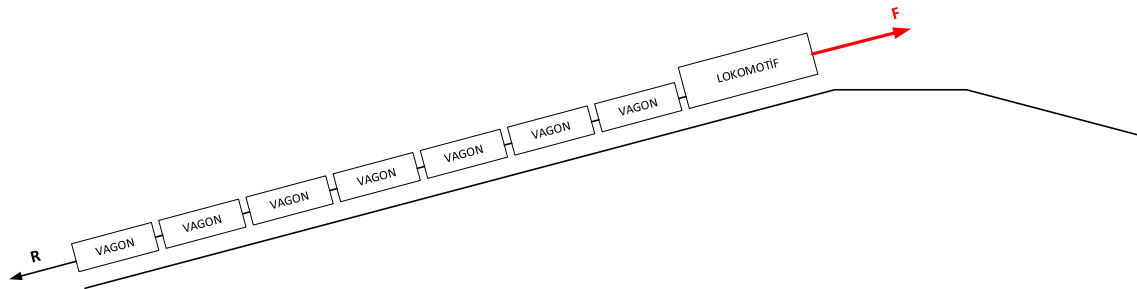
2.1. Tren hareketi

Trenin hareketini etkileyen unsurlar;

- Trenin hareketine karşı koyan ve trenin V sabit hızı ile seyretmesine engel olan zıt kuvvetler (dirençler),
- Dirençleri yenecek cer kuvveti ile kalkışta aderansın getirdiği sınırlamalar,
- Lokomotif güçleri ve bu güçlerin tekerleklere aktarılması esnasındaki kayıplar,
- Cer kuvvetine gelen sınırlamalar,
- Kanca mukavemetinden gelen sınırlamalardır [1].

Trenin hareket edebilmesi için yenmesi gereken dirençler aşağıda belirtilmiştir;

- Lokomotif Seyir Direnci R_L ,
- Vagon Seyir Direnci R_V ,
- Kurp Direnci R_k ,
- Rampa Dinenci R_r ,
- Akselerasyon Direnci R_a [1].



Şekil 1. Trenin hareketi

Trenlerin hareket edebilmesi için yukarıdaki dirençleri yenmesi gerekmektedir. Bu dirençlerin toplamı; $R = R_L + R_V + R_r + R_k$ olarak ifade edilir. Lokomotifin cer gücü toplam direnci yenmesi halinde duran bir trenin hareketi, hareket ediyorsa hızlanabilmesi sağlanır. Lokomotifin çekme kuvvetine (cer gücüne) F dersek;

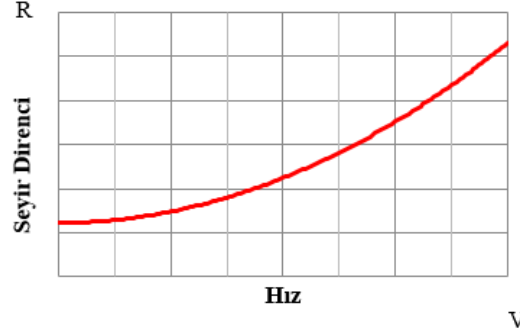
$R > F$ ise trenin hareketi sağlanamaz veya hareket halinde ise yavaşlar ve durur.

$R = F$ ise hareket halindeki bir tren belirli bir V hızı ile seyrine devam eder.

$R < F$ ise hareket sağlandığı gibi aynı zamanda tekerlek kuvveti-direnç farkı ($F - R$) kadar olan kuvvet farkından dolayı bir ivme (akselerasyon) kazanır. Yani tren gittikçe hızlanır [1].

2.2. Tren direnci

Tren direnci trenin hareketine zıt yönde etki eden dirençlerdir. Harekete karşı koyan dirençler, genel olarak Şekil 2.'de görüldüğü gibi hıza bağlı olmakla birlikte hızdan başka; lokomotiflerin tipine, tekerlek ile ray arasındaki sürtünmelere, dingil başlarının (muyluların) dingil kutusu içerisinde sürtünmesine, hava direncine, hat ile araçların bakım koşullarına, hattın teknik özelliklerine ve rayların kalitesine bağlıdır.



Şekil 2. Hızın seyir direncine olan etkisi

Demiryollarında tren direnci ile ilgili çalışmalar incelendiğinde deneysel verilere dayalı tren direnci ile ilgili formülleri ilk olarak Schmidt (1910) tarafından yayınlanmıştır ve geliştirilmiştir. [2-4]. Daha sonraki zamanlarda formüller Strahl (1913) ve Davis (1926) tarafından geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda Tren direnci hıza bağlı ikinci derece bir fonksiyonla ifade edilmektedir. Aşağıdaki eşitliğe genel olarak Davis eşitliği denilmektedir. Literatürde bu eşitliğe; von Borries Formel, Leitzmann Formel, Barbier eşitliği de denilmektedir [5].

$$R=A+B \times V+C \times V^2 \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte; V tren hızını göstermekte ve birimi m/s dir. A, B, C ampirik katsayılarıdır ve birimleri sırasıyla N, Ns/m ve Ns²/m² dir. A, B ve C katsayıları; hıza, dingil basıncına, dingil ve aks sayısına, vagon sayısına, tren uzunluğuna, yol tipine, lokomotif tipine göre belirlenmektedir [5].

İlk terim olan A mekanik direnci ifade eder; hızdan bağımsızdır, dingil basıncı, dingil ve aks sayısı, tren uzunluğu, araç tipi, yol tipi ile değişmektedir. A terimi özellikle dingil basıncı ve dingi sayısı ile lineer olarak artmaktadır. A terimi yani mekanik direnç, dingil ve aks kutusu içindeki yataklardaki rulmanların direncini ve tekerlek ile ray arasındaki temas nedeniyle meydana gelen sürtünmeyi ifade eder [5].

İkinci terim BV, ampirik B katsayısı ve hız ile değişmektedir. B katsayısı; tren uzunluğu veya dingil ve aks sayısı gibi boyutsal etkiler ile değişmekte olup dingil basıncının etkisini içermemektedir. Dingil basıncının etkisinin olmaması, BV teriminde mekanik direncin olmadığı anlamına gelmektedir. BV terimi üçüncü terimle ifade edilen hava direncinin bir bölümünü de içerir. Tren yükünden ziyade uzunluğunun bir fonksiyonudur [5].

Üçüncü terim olan CV², C katsayısı ve hızın karesi ile değişmektedir. CV² terimi lokomotifin ve vagonların ön ve arka alanına etki eden aerodinamik dirençleri ve trenin uzunluğu ile lineer olarak artan aerodinamik dirençlerin toplamını ifade eder [5].

2.3. Lokomotif seyir (çeken aracın) direnci

Lokomotif seyir direncini (R_L) etkileyen unsurlar;

- Lokomotifin ağırlığı
- Lokomotifin dingil sayısı
- Dingil başlarının (muyluların) dingil kutusu içinde sürtünmesi (muylu direnci)
- Tekerlek ray arasındaki sürtünme direnci
- Lase hareketleri (mekanik hareketlilik ile yatay ve dikey titreşimler)
- Lokomotifin ön yüzüne dikey doğrultuda etki eden hava direnci (rüzgar direnci).

Lokomotif seyir direnci için deneysel olarak belirlenmiş birçok formül mevcuttur;

Her tip çeken ve çekilen araca uygulanabilen 1926 yılında Davis tarafından bulunan formüldür. [6].

$$r_s = 0,65 + \frac{13,13}{p} + 0,00932 \times V + \frac{0,004526}{p \times n} \times A \times V^2 \quad (2)$$

$$R_s = r_s \times G \quad (3)$$

Bu formüllerde;

- V =Aracın hızı(km/h)
- p = Aracın dingil yükü (ton)
- n =Aracın dingil sayısı
- A =Aracın ön yüzey alanı
- G =Aracın ağırlığı
- r_s =Bir tona etki eden seyir direnci (daN/ton)
- R_s =Aracın seyir direnci (daN) ifade eder [7].

Standart hat olarak tanımlanan 1435 mm'lik hatlarda, araçların ön yüzey alanları $A \approx 10,5 \text{ m}^2$ dir. Fransız Demiryolları SNCF, Davis formülünü bu değerlere uygulamış ve aşağıdaki şekilde geliştirmiştir.

$$R_L = 0,65 \times G_L + 13 \times n + 0,01 \times G_L \times V + 0,045 \times V^2 \quad (4)$$

Bu formülde;

- V =Aracın hızı(km/h)
- n =Aracın dingil sayısı
- G_L =Lokomotifin ağırlığı (ton)
- R_L =Lokomotifin seyir direnci (daN) ifade eder [7].

Ayrıca lokomotif seyir direnç formülleri için lokomotifi üreten firmaların deney ve testler sonucu bulunduğu formüller de kullanılabilir.

2.4. Vagon seyir (çekilen aracın) direnci

Vagon seyir dirençlerini etkileyen faktörler;

- Vagonun ağırlığı
- Vagonun dingil sayısı

- Dingil başlarının dingil kutusu içinde sürtünmesi (muylu direnci)
- Tekerlek ray arasındaki sürtünme direnci
- Lase hareketleri (mekanik hareketlilik ile yatay ve dikey titreşimler) [7].

Vagon seyir dirençleri hesaplanırken birim olarak 1 (ton) vagon yüküne göre seyir direnci hesaplanır ve bu r_{vs} ile gösterilir. Vagon ağırlıkları G_V (ton) olduğundan, vagonların seyir direnci;

$$R_v = r_{vs} \times G_V \text{ (daN)} \quad (5)$$

olarak bulunur.

Fransız Demiryolları (SNCF) çeşitli vagonlar için aşağıdaki formülleri kullanmaktadır;

Ağırlığı 41-46 ton arasında olan bojili yolcu vagonları;

$$r_{vs} = 1,5 + \frac{V^2}{4500} \text{ (daN/ton)} \quad (6)$$

Ağırlığı 46-56 ton arasında olan bojili yolcu vagonları;

$$r_{vs} = 1,25 + \frac{V^2}{6300} \text{ (daN/ton)} \quad (7)$$

Hızı 100 km/h olan ve tamamı aynı tip kapalı vagonlardan oluşan yük trenleri;

$$r_{vs} = 1,5 + \frac{V^2}{4200} \text{ (daN/ton)} \quad (8)$$

Yükü ve darası toplamı 80 ton olan spesifik vagonlar;

$$r_{vs} = 1,2 + \frac{V^2}{4500} \text{ (daN/ton)} \quad (9)$$

olarak ifade edilir [7].

Alman demiryolları (DB) aşağıdaki formülleri kullanmaktadır;

Ağırlığı 40-45 ton arasında olan bojili yolcu vagonları;

$$r_{vs} = 1,8 + \frac{V^2}{3500} \text{ (daN/ton)} \quad (10)$$

Yük vagonları;

$$r_{vs} = 1,5 + \frac{V^2}{1200} \text{ (daN/ton)} \quad (11)$$

Strahl formülü aşağıdaki şekilde kullanmaktadır;

$$r_{vs} = 2 + 0,057 \times \frac{V^2}{100} \text{ (daN/ton)} \quad (12)$$

olarak ifade edilir [8].

2.5. Trenitalia firmasının tren dizileri için kullandığı seyir direnci

Yük ve yolcu trenlerinin seyir direncinin hesaplamasında Trenitalia'nın kullandığı formüller deneysel yöntemlerle bulunmuştur.

Yük treni seyir direnci;

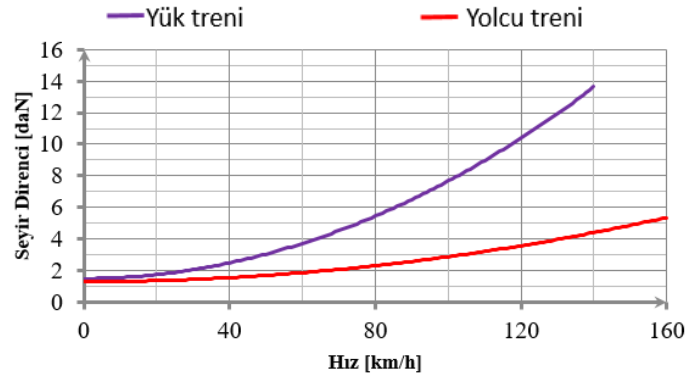
$$r = 1,5 + 0,00064 \times v^2 \quad (13)$$

Yolcu treni seyir direnci;

$$r = 1,3 + 0,000162 \times v^2 \quad (14)$$

Bu formüllerde;

- V =Aracın hızı(km/h)
- r =Tren dizisinin direnci (daN/ton) ifade eder.



Şekil 3. Yük ile yolcu trenlerinin seyir dirençlerinin karşılaştırması

(13) ve (14) numara ile verilen formüllere göre yük ve yolcu trenlerinin seyir dirençlerinin karşılaştırılması Şekil 3.'te gösterilmiştir.

2.6. Kurp (viraj) direnci

Kurp Direnci trenin kurptan geçerken lokomotifin aşması gereken ilave dirençtir. Demiryolu güzergâhının coğrafik ve geometrik koşulları nedeniyle oluşan kurplar trenin hareketini olumsuz yönde etkiler. Bu olumsuzlukları azaltmak ve trenin hareketi esnasında V hızına bağlı olarak meydana gelen merkezkaç kuvvetini dengelemek için yola dever verilmektedir. Ülkemizde maksimum 130 mm'ye kadar dever uygulanmaktadır [7].

Trenlerin verilen dever ölçüsüne göre hesaplanan hızlarda seyretmesi gerekir. Verilen dever hızına uygun hızlarda seyredilmemesi hâllerinde tekerlek bodenleri raya yaslanır ve bir direnç oluşur. Dever ölçüsüne uygun hızlarda kurptan geçilmediğinde oluşan bu dirençler tekerlek bodenlerini ve rayı aşındıran bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Kurp üzerindeki trenin direncini hesaplamak için uluslararası kabul edilen aşağıdaki formüller kullanılmaktadır [7].

Protopadakis formülü aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır;

Ekartman açıklığı 1435 mm lik hatlarda;

Yaz mevsimi için;

$$r_k = \frac{232,2 + 103,4 \times a}{\rho} \quad (15)$$

Kış mevsimi için;

$$r_k = \frac{175 + 77,6 \times a}{\rho} \quad (16)$$

Bu formüllerde;

- r_k : Birim kurp direnci (daN/ton)
- ρ : Kurp yarıçapı (m)
- a : Dingiller arası rijit uzunluk (m) ifade eder. [7].

Röckl formülü aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır;

Alman demiryolları Deutsche Bahn tarafından aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

Ekartman açıklığı 1435 mm lik hatlarda;

$$r_k = \frac{650}{\rho - 55} \text{ (daN/ton)} \quad (17)$$

SNCF formülü aşağıdaki şekilde kullanılmaktadır;

$$r_k = \frac{800}{\rho} \text{ (daN/ton)} \quad (18)$$

Trenitalia demiryolları tarafından da SNCF formülü kullanılmaktadır. Birim tona etki eden kurp direnci r_k 'dir. Kurp üzerindeki trenin direnci;

$$R_k = r_k \times (G_V + G_L) \text{ (daN)} \quad (19)$$

olarak ifade edilir [9].

2.7. Eğim (rampa) direnci

Hattın eğimi (rampalar) demiryollarında binde olarak gösterilir. Rampa direnci hat üzerinde yukarı yönlü eğimin üstesinden gelme kuvvetidir. Hızdan bağımsızdır.

Rampa üzerinde etki eden tren direnci için Uluslararası alanda aşağıdaki formüller çok yaygın olarak kullanılır;

$$R_r = r_r \times (G_V + G_L) \quad (20)$$

$$r_r = i \quad (21)$$

Bu formüllerde;

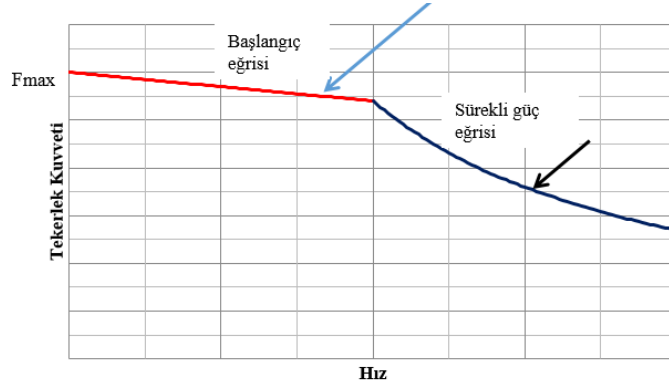
- i = Hattın eğimi

- r_r =Rampa birim direnci (daN/ton)
- R_r =Rampa direnci (daN) ifade eder.

2.8. Tekerlek kuvveti hesabı

Tekerlek kuvveti lokomotifin aracın tahrikli tekerleklerinin tamamındaki çekme kuvvetini ifade eder.

$$P=(F \times V)/360 \text{ (kW)} \quad (22)$$

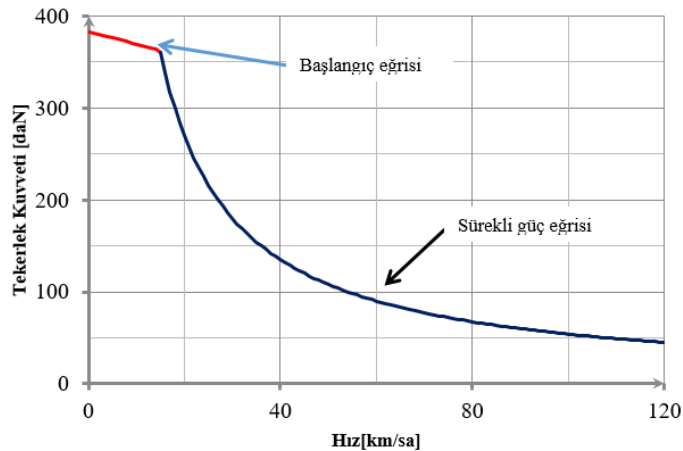


Şekil 4. Elektrikli lokomotifteki tekerlek kuvvetinin hız ile değişimi

Tahrikli kuvvetin tekerleklere uygulanması gereken güçte lokomotifin gücü olup, P ile gösterilmiştir. Lokomotifin tekerlek kuvveti F (daN), lokomotifin hızı V (km/s) olarak tanımlanır. Örnek olarak verilen dizel ve elektrikli lokomotiflerin güç eğrileri Şekil 4. ve 5'te gösterildiği gibi iki bölgeyi gösterir;

- Başlangıç eğrisi
- Sürekli güç eğrisi

Başlangıç aşamasında maksimum çekiş gücü motorların sürtünme ve maksimum sürüş torku ile sınırlıdır. Bu aşamada lokomotifler sadece sınırlı bir süre boyunca çalışabilir. Sürekli güç aşamasında ise sınır lokomotifin kendi gücü ile sınırlıdır. Lokomotif bu bölgede eğri üzerindeki kuvvetle zaman sınırı olmadan çalışabilir. Başlangıç eğrileri elektrikli lokomotiflerde dizellere oranla daha yüksek hızlara ulaşabilmektedir.



Şekil 5. Dizel lokomotifteki tekerlek kuvvetinin hız ile olan değişimi

Bir hattın ortalama eğim hesabı yapılırken o hatta çalışan en uzun trenin uzunluğu içinde kalan değerler dikkate alınır. Bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama eğim bulunur.

2.9. Çekilebilecek yük hesabı

Lokomotifin çekeceği yük, arkasına bağlı olan vagonların ağırlığının toplamıdır. Bu kapsamda lokomotifin çekeceği yük aşağıdaki parametrelere bağlıdır;

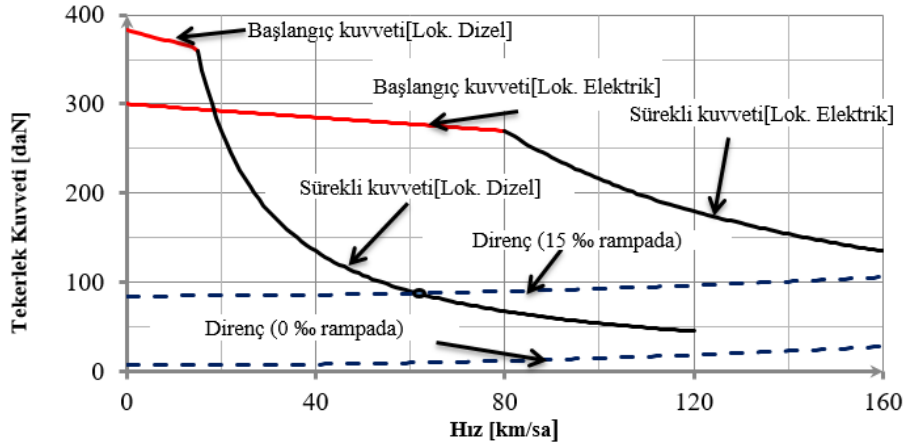
- Trenin hızına,
- Kurp ve rampa direncine,
- Lokomotif ve vagonların direncine,
- Koşum takımlarının mukavemetinden gelen sınırlamalara,
- Aderansın getirdiği sınırlamalara,
- Tekerlek kuvvetine dolayısıyla tekerlek gücüne,

Bağlı olup, her lokomotif tipine göre çekilecek yükler farklı olarak hesaplanır.

Şekil 6.'da Örnek bir elektrikli ile dizel lokomotifin düz bir yolda ve 15 % rampadaki direncin trenin hızına olan etkisini görüyoruz.

Trenlerin hareket edebilmesi için yukarıda formülleri verilen dirençleri yenmesi gerekmektedir. Bu dirençlerin toplamı;

$$F_{SÜR} = R_L + R_V + R_r + R_k \quad (23)$$



Şekil 6. Elektrikli ve dizel lokomotiflerde tekerlek kuvvetinin belirli bir rampada hıza olan durumunu gösteren grafik

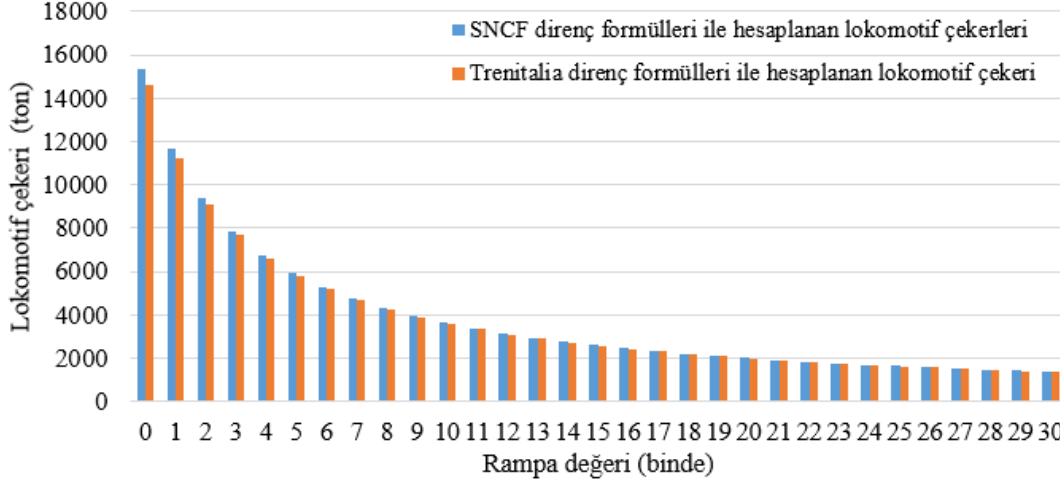
Trenin çekebileceği yükü hesaplarırken tekerlek kuvvetinin sürekli olmaya başladığı nokta seçilir. Bu noktada lokomotif eğrideki tekerlek kuvvetini sürekli olarak uygulayabilir. Başlangıç kuvvetinin olduğu eğrideki belirtilen tekerlek kuvveti o gücü sürekli olarak sağlayamaz. Demiryolları literatürlerinde kurp ve rampa direncinin toplamına eşdeğer direnç (R_e) denmektedir. (23) numaralı denklemden çekilecek yük hesabı yapmak için;

$$G_V = \frac{F_{SÜR} - R_L - r_e \times G_L}{r_v + r_e} \quad (24)$$

denklemini elde edilir.

3. Bulgular

Lokomotif çekeri için dirençleri hesaplarırken lokomotifin etki eden en büyük direnç, rampa direnci olmaktadır. Bu nedenle her eğimde lokomotifin ne kadar yük çekebileceğinin hesaplanması gerekmektedir. 129 ton ağırlığında, 2750 kW güce sahip ve sürekli kuvveti uygulayabildiği hızı 20 km/s olan bir dizel lokomotifin ortalama yarıçapı 500 metre olan bir hatta çekebildiği yük aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 7. Lokomotif çekerlerinin karşılaştırılması

SNCF lokomotif seyir direnci için (4), vagon seyir direnci için (8) numaralı formüller kullanılmıştır. Şekil 7. ve Tablo 1. incelendiğinde direnç formüllerinin ampirik katsayıları ne kadar büyükse lokomotifin çekebileceği yük miktarının da düşeceğini gözlemlenir. Şekil 7. ve Tablo 1. İçin hesaplanan lokomotif çekerleri için düz olan yollarda veya rampadan inişlerde SNCF firmasının kullandığı yöntem ile lokomotiflerin daha fazla tonaj çekebileceği görülmektedir. Rampa değeri arttıkça firmalar arasında lokomotif çekerlerinin çekebileceği tonaj farkının kapandığı gözlemlenmektedir.

Tablo 1. Rampaya (eğime) göre hesaplanan lokomotif çekerleri

Rampa (binde değeri)	SNCF direnç formülleri ile hesaplanan lokomotif çekerleri(ton)	Trenitalia direnç formülleri ile hesaplanan lokomotif çekerleri(ton)
0	15362	14621
1	11670	11235
2	9399	9113
3	7861	7659
4	6750	6600
5	5911	5795
6	5254	5162
7	4726	4651
8	4292	4230
9	3930	3877
10	3622	3577
11	3358	3319
12	3129	3094

13	2927	2897
14	2750	2723
15	2591	2568
16	2450	2428
17	2322	2303
18	2206	2189
19	2101	2085
20	2005	1990
21	1917	1903
22	1836	1823
23	1761	1749
24	1691	1680
25	1627	1617
26	1566	1557
27	1510	1502
28	1458	1450
29	1408	1401
30	1362	1355

4. Sonuç

Türkiye'nin coğrafik konumu nedeniyle demiryolu hatları iniş ve çıkışları çok olan eğimli arazilerden geçmektedir. Bu eğimli araziler demiryolunda trenlerin çekme kapasitesini oldukça düşürmektedir. Ancak son zamanlarda demiryolu hat yapımlarında tünel, viyadük, köprü yapımlarının artması nedeniyle eğim oranı mümkün olduğunca düşük tutulmaktadır. Bu nedenle yeni hatlarda trenlerin çekme kapasitesi eski hatlara oranla daha yüksektir.

Günümüzde demiryollarında farklı güçte ve farklı kuvvetlerde birçok lokomotif bulunmaktadır. Gelişen teknoloji ile yeni lokomotiflerde tekerlek kuvveti artmış olup, çekme kapasitesi daha yüksektir. Lokomotiflerin çekebileceği yük hesaplanırken deneylerle elde edilmiş birçok formül bulunmaktadır. Bu formüllere göre lokomotifin çekebileceği yük miktarı değişkenlik gösterir.

Yapılan deneyler sonucu bulunan bu formüllerde ampirik katsayıların büyük olması durumunda dirençlerin büyük olacağından dolayı lokomotiflerin çekme kapasitesi düşük olacaktır. Trenitalia'nın deney ve testler sonucu bulmuş olduğu (13) ve (14) numaralı formülde tren uzunluğundan dolayı oluşabilecek dirençleri etkisinin çok az olması nedeniyle yok varsayılmıştır. Ayrıca lokomotiflerin ve vagonların dirençlerini ayrı ayrı hesaplamak yerine trenlerin seyir dirençlerini hesaplayarak dirençlere etki edebilecek parametreleri azaltmışlardır.

Bu çalışmada lokomotif çekerleri ile ilgili SNCF ile Trenitalia firmalarının kullanmış olduğu direnç formüllerine değinilmiş olup, bu iki firma tarafından kullanılan lokomotif çekerlerinin karşılaştırılması yapılarak hangi eğimde hangi çeker formülünün avantajlı olduğu gözlemlenmiştir. Demiryollarında öncü birçok Ülkenin kullanmakta olduğu direnç formüllerinin, aderansın getirdiği sınırlamaların ve kanca çekerinden dolayı gelen sınırlamaların hesaplamalara katılması, bu çalışmanın içeriğini genişletebilir.

Kaynakça

- [1] *Tren Dinamiği ve Tekerlek Kuvvetleri*. Ankara, Turkey: Megep Yayınları, 2014.
- [2] E. Schmidt, *Freight train resistance: its relation to car weight*. University of Illinois: Engineering Experiment Station, vol. 31, no. 48, 1910.
- [3] E. C. Schmidt, F. W. Marquis, *The effects of cold weather upon train resistance and tonnage rating*. University of Illinois: Engineering Experiment Station, vol. 59. no. 25, 1912.
- [4] E. Schmidt, *Freight train curve resistance on a one-degree curve and on a three-degree curve*. University of Illinois: Engineering Experiment Station, vol. no. 45, 1927.
- [5] Ö. Akbayır, F. H. Çakır, “Enerji verimliliği için tren direnci formüllerinin karşılaştırılması,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 112-126, 2017.
- [6] W. J. Davis, *The tractive resistance of electric locomotives and cars*. Schenectady. N.Y.: General Electric, 1926.
- [7] C. Urlu, *Demiryolu araçlarının ileri dinamiği*. Ankara, Turkey: TCDD Yayınları, 1999.
- [8] G. Strahl, “Verfahren zur bestimmung der belastungsgrenzen der dampflokomotiven,” *Z. Des. Vereins Dtsch. Ing.* vol. 57, pp. 251, 1913.
- [9] S.Y. Sapronova, V.P. Tkachenko, O.V. Fomin, I.I. Kulbovskiy E.P. Zub, *Rail vehicles: the resistance to the movement and the controllability*. Duit state university of infrastructure and technology, 2017.

Özgeçmiş**Hüseyin Eren BENİ**

1988 yılında Bursa’da doğdu. 2010 yılında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği’ni bitirdi. INVENT TR firmasında beş ay kontrol mühendisi olarak görev yaptı. Almanca B2 sertifikasına sahiptir. 2014 Temmuz ayında 64 Yol Bakım Onarım Müdürlüğü’ne makine mühendisi olarak atanmıştır. 2017 tarihi Aralık ayında Kapasite Yönetim Dairesine nakli yapıldı. Halen bu görevi sürdürüyor.

E-Posta: h.erenbeni@hotmail.com

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.