

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

RAYLI SİSTEMLER TEKNOLOJİSİ

**TREN DİNAMİĞİ VE TEKERLEK
KUVVETLERİ**

ANKARA,2014

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	ii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	2
1. TREN HAREKETİ.....	2
1.1. Lokomotif Seyir Direnci	2
1.2. Vagon Seyir Direnci.....	6
1.3. Kurp (Viraj) Direnci.....	7
1.4. Rampa Direnci	9
1.5. Akselerasyon (Hızlanma) Direnci.....	12
UYGULAMA FAALİYETİ	13
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	16
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	18
2. HAREKET DENKLEMİ	18
2.1. Harekete Başlayan Trenin Denklemi	18
2.2. Hareket Hâlindeki Trenin Denklemi.....	19
UYGULAMA FAALİYETİ	20
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	25
ÖĞRENME FAALİYETİ-3	26
3. ADERANS KAVRAMI VE PATİNAJ OLAYI	26
3.1. Aderans Değeri ve Aderansın Değişimi.....	28
3.2. Aderansa Etki Eden Faktörler	28
3.3. Lokomotif Ağırlığı ile Cer Kuvveti Arasındaki Bağını	29
3.4. Cer Kuvvetinin Aderansa Olan Bağlılığı.....	30
UYGULAMA FAALİYETİ	31
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	33
ÖĞRENME FAALİYETİ-4	34
4. ÇEKEN ARAÇLARIN GÜÇ HESABI	34
4.1. Lokomotif Gücünün Hesabı.....	34
4.2. Düşük Güç ile Çekilecek Yükün Hesabı.....	36
4.3. Soğuk Araçların Hareketi.....	36
4.4. Koşum Takımı Hesapları	37
UYGULAMA FAALİYETİ	39
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	42
MODÜL DEĞERLENDİRME	43
CEVAP ANAHTARLARI.....	44
KAYNAKÇA	45

AÇIKLAMALAR

ALAN	Raylı Sistem Teknolojisi
DAL	Raylı Sistemler Makine, İşletme
MODÜL	Tren Dinamiği ve Tekerlek Kuvvetleri
MODÜLÜN TANIMI	Raylı sistem araçlarının hareketine etki eden direnç kuvvetleri, hareket denklemi, aderans kavramı ve patinaj olayı ile çeken araçların güç hesaplarını yapabilme becerisinin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
SÜRE	40 / 32
ÖN KOŞUL	Bu modülün ön koşulu yoktur.
YETERLİK	Tren hareketi hesaplarını yapmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Gerekli ortam sağlandığında tren dinamiği ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. Amaçlar 1. Tren hareketine etki eden dirençlerin hesabını yapabileceksiniz. 2. Tren hareket denklemini kurabileceksiniz. 3. Aderans kavramı ve patinaj olayı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz. 4. Çeken araçların güç hesabını yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Raylı sistem araçları, atölye, sınıf ve laboratuvar ortamı Donanım: Bilgisayar, tepegöz, projeksiyon, hesap makinesi, eğitim CD'leri, konuyla ilgili resim ve materyaller
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modülün içinde yer alan her faaliyetten sonra verilen ölçme araçları ile kazandığınız bilgileri ölçerek kendi kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (test, çoktan seçmeli, doğru-yanlış vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Günümüzde hızla gelişen ulaşım sektöründe raylı sistemler alanı önemli bir yer teşkil etmektedir.

Raylı sistemler teknolojisindeki gelişmelerin sonucu olarak bu sistemlerde kullanılan araç ve donanımlar da hızla gelişmektedir. Raylı sistemlerde kullanılan çeken ve çekilen araçlar da son yıllarda hızlı bir gelişim göstermiştir. Raylı sistem araçlarının hareketi sırasında etki eden direnç kuvvetleri aracın hareketini engellemeye çalışmaktadır. Ayrıca raylı sistem araçlarının seyri sırasında oluşan aderans ve patinaj olayları da bu araçların hareketlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Raylı sistem araçlarının hareketine etki eden kuvvetlerin hesaplanması ve buna göre bu araçların tasarlanması, bu araçların güvenliği açısından önem taşımaktadır.

Bu modül ile raylı sistem araçlarının hareketine etki eden kuvvetleri ve bu kuvvetleri yenmek için gerekli güç hesaplarını yapabilecek becerileri kazanacaksınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Bu faaliyet sonunda gerekli ortam sağlandığında tren hareketine etki eden dirençlerin hesabını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Çevrenizdeki ulaşım faaliyetlerinde kullanılan raylı sistem araçlarının çeşitlerini araştırınız.
- Hareket hâlindeki cisimlere etki eden kuvvetler hakkında araştırma yapınız.
- Yaptığınız araştırmanın sonuçlarını rapor hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınıza ve öğretmenlerinize sununuz.

1. TREN HAREKETİ

1.1. Lokomotif Seyir Direnci

Hareket ettirilmek istenen bir tren, harekete karşı koyan bir dizi sınırlamalar ve etkenlerle karşı karşıya kalır. Tren hareketinin sağlanmasında ve seyrinde istenilen hızlara ulaşmak, istenilen yükleri çekmek ve istenilen güçlere çıkmak her zaman mümkün olmamaktadır. Tren hareketinin koşulları konusu, tren dinamiği prensipleri içinde incelenir. Tren dinamiği adı altında toplanan konular ve sınırlamalar aşağıda belirtildiği gibi ortaya çıkarlar.

- Trenin hareketine karşı koyan ve trenin V hızı ile seyretmesine engel olan zıt kuvvetler yani dirençler,
- Dirençleri yenecek cer kuvveti ile kalkışta aderansın getirdiği sınırlamalar,
- Lokomotif güçleri ve bu güçlerin cer kuvvetine aktarılması,
- Trenin belirli bir V hızı ile seyrini sağlayan cer kuvvetine gelen sınırlamalar,
- Çeken aracın kancasına uygulanan ve vagonları çeken kanca kuvveti ile koşum takımlarının kopma direncindeki sınırlamalardır.

Lokomotif ve vagonlardan oluşan bir trenin hareket edebilmesi;

- Lokomotif direncinin (R_L) yenilmesi,
- Vagon direncinin (R_V) yenilmesi,
- Rampa direncinin (R_r) yenilmesi,
- Kurp direncinin (R_k) yenilmesi şartlarının yerine getirilmesi gerekir.

Bu dirençlerin toplamı:

$$R=R_L+R_V+R_r+R_k$$

olarak ifade edilir. Lokomotifin cer gücü bu toplam direnci yenmesi hâlinde trenin belirli bir V hızıyla seyretmesi sağlanır. Lokomotifin çekme kuvvetine (cer gücüne) F dersek;

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

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

$R < F$ ise hareket sağlandığı gibi aynı zamanda $F - R$ kadar olan kuvvet farkından dolayı bir ivme (akselerasyon) kazanır. Yani tren gittikçe hızlanır.

Bir trenin hareketine etki eden kuvvetleri hesaplayabilmek için “kuvvet” kavramının ne olduğunu bilmeniz gerekir.

- **Kuvvet:** Duran bir cismi harekete geçirmek veya hareket hâlindeki bir cismi durdurmak veya hızını düşürmek için bir etken gerekir ki bu etkene denir.

Hesaplamalarda iki türlü kuvvet birimi kullanılmaktadır. Bunları aşağıdaki gibi tarif edebiliriz:

1 (kg)'lık bir kütleye $1(m/sn.^2)$ lik bir ivme veren kuvvete 1(Newton) (1N) denilir.

$$F(1N)=m(1kg).a. 1(m/sn.^2) \text{ dir.}$$

$$F_G=mg$$

$$F_G=\text{Ağırlık kuvveti (10N)}$$

$$M=\text{Kütle (kg)}$$

$$g=\text{Yer çekimi ivmesi (9.81 m/sn.^2)}$$

$$F_G=mg= 1kg \cdot 9.81 m/sn.^2=9.81 kgm/sn.^2$$

$$F_G=9.81 N \quad F_G \approx 10 N$$

$$1kgf=1kp=10N=1 daN$$

Yukarıda tarif edilen kuvvet birimleri arasında aşağıdaki ilişkiler vardır.

$$1kgf=10 \text{ Newton}$$

$$10(N)=1(daN)(dekaNewton)=1kgf=1kp(\text{kilopont})$$

Lokomotif seyir dirençlerini:

- 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 (rüzgâr direnci) oluşturmaktadır.

Lokomotif seyir direnci denemelerle elde edilmiş formüllerle bulunur. Bunun için değişik formüller vardır. Ancak biz bunlardan 1435 mm'lik standart hatlarda kullanılan lokomotifler için geçerli olan SNCF formülünü kullanacağız.

$$R_L = 0,65 \cdot G_L + 13 \cdot n + 0,01 \cdot G_L \cdot V + 0,03 \cdot V^2 \text{ (daN)}$$

Bu formülde: R_L : Lokomotif direnci (daN),
 G_L : Lokomotif ağırlığı (ton),
 n : Lokomotif dingil adeti,
 V : Hız (km/saat) dir.

Örnek 1:

100 ton ağırlığında ve 6 dingilli bir lokomotifin 40,50,60 km/saat hızlardaki direncini bulunuz.

Çözüm:

$$G_L = 100 \text{ ton}$$

$$n = 6$$

$$V = 40, 50, 60 \text{ km/saat}$$

$$R_L = ?$$

$$R_L = 0,65 \cdot G_L + 13 \cdot n + 0,01 \cdot G_L \cdot V + 0,03 \cdot V^2$$

$$R_L = 0,65 \cdot 100 + 13 \cdot 6 + 0,01 \cdot 100 \cdot V + 0,03 \cdot V^2$$

Formül sadeleştirilirse;

$$R_L = 65 + 78 + V + 0,03 \cdot V^2$$

$$40 \text{ km/saat için; } R_L = 143 + 40 + 0,03 \cdot 40^2 = 231 \text{ (daN)}$$

$$50 \text{ km/saat için; } R_L = 143 + 50 + 0,03 \cdot 50^2 = 268 \text{ (daN)}$$

$$60 \text{ km/saat için; } R_L = 143 + 60 + 0,03 \cdot 60^2 = 311 \text{ (daN) bulunur.}$$

Örnek 2:

Bir motorlu trenin ağırlığı 115 tondur. Motorlu tren iki başta birer motris ve ortada bir römorktan meydana gelmektedir. Yani tekerlek düzeni (B'o 2 2 2 B'o) dur. Trenin azami hızı 140 km/saatir. Motorlu trenin bu hızdaki direncini hesaplayınız.

Çözüm:

$$R_L = 0,65 \cdot 115 + 13 \cdot 12 + 0,01 \cdot 115 \cdot 140 + 0,03 \cdot 140^2 = 800 \text{ (daN) dir.}$$

Lokomotif seyir direncini bulmak için aşağıdaki formülü de kullanabiliriz. Kuvvet birimi olarak K_p =kilopont kullanılmıştır. Burada $K_p = Kgf$ (kilogramkuvvet)=1daN (dekanewton) olmaktadır.

$$\text{(Birim direnç)} r_L = 0.65 + \frac{13.15}{P} + 0.00932 \cdot V + \frac{0.004526 \cdot A \cdot V^2}{P \cdot N} \text{ (daN/ton)}$$

$R_L = r_L \cdot G_L$ formülü daN olarak seyir direncini verir.

Formüllerde;

r_L = Birim direnç (daN/ton),

P = Ortalama dingil basıncını (ton),

N = Dingil sayısını,

V = Hızı (km/h),

A = Lokomotif ön görüş alanını (m^2),

G_L = Lokomotif ağırlığını (ton),

R_L = Lokomotif seyir direnci (daN) dir.

Örnek:

Ön görüş alanı 12 metrekare, hızı 60 km/saat, dingil basıncı 20 ton olan 6 dingilli bir lokomotifin seyir direncini hesaplayınız.

$$A = 12 \text{ m}^2$$

$$P = 20 \text{ ton}$$

$$V = 60 \text{ km/saat}$$

$$N = 6$$

$$R_L = ?$$

$$r_L = 0,65 + \frac{13,15}{P} + 0,00932 \cdot V + \frac{0,004526 \cdot A \cdot V^2}{P \cdot N} \text{ (daN/ton)}$$

$$r_L = 0,65 + \frac{13,15}{20} + 0,00932 \cdot 60 + \frac{0,004526 \cdot 12 \cdot 60^2}{20 \cdot 6} = 3,495 \text{ daN/ton}$$

$$G_L = 20 \cdot 6 = 120 \text{ ton}$$

$R_L = r_L \cdot G_L$ olduğundan,

$$R_L = 3,495 \cdot 120$$

$$R_L = 419,4 \text{ daN' dir.}$$

1.2. Vagon Seyir Direnci

Vagonların seyir dirençleri; vagonların tiplerine göre ayrı formüllerle hesaplanır. Bu formüllerden çıkan sonuçlar ton başına birim dirençler olup bunlar hesaplanan birim direnç vagonların ağırlığı ile çarpıldıktan sonra toplam vagon direnci bulunur.

Vagon seyir dirençlerini:

- Vagonun ağırlığı,
- Vagonun 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) oluşturmaktadır.

Vagon seyir direncini bulmak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$R_v = r_v \cdot G_v \text{ (daN)}$$

R_v = Vagon direnci (daN),
 r_v = Birim direnç (daN/ton),
 G_v = Vagon toplam ağırlığı (ton) dır.

Formüldeki r_v değeri;

Yük vagonları için ;

$$r_v = 2 + 0,057 \cdot \frac{V^2}{100} \text{ (daN/ton)}$$

Yolcu vagonları için;

$$r_v = 1,986 + 0,00932 \cdot V + 0,000161 \cdot V^2 \text{ (daN/ton)}$$

Formülleri yardımı ile bulunur. Formüllerdeki;

V = Trenin hızını (km/h) gösterir.

Örnek 1:

40 km/saat hızla giden 1500 ton ağırlığındaki bir yük treninin vagon seyir direncini hesaplayınız.

$$r_v = 2 + 0,057 \cdot \frac{V^2}{100} \text{ (daN/ton)}$$

$$r_v = 2 + 0,057 \cdot \frac{40^2}{100} \text{ (daN/ton)}$$

$$r_v = 2,912 \text{ daN/ton}$$

$$R_v = r_v \cdot G_v$$

$$R_v = 2,912 \cdot 1500$$

$$R_v = 4368 \text{ daN}$$

Örnek 2:

100 km/h hızla giden 500 ton ağırlığındaki bir yolcu treninin vagon seyir direncini hesaplayınız.

$$\begin{aligned} r_v &= 1,968 + 0,00932 \cdot V + 0,000161 \cdot V^2 \\ &= 1,968 + 0,00932 \cdot 100 + 0,000161 \cdot 100^2 \\ &= 4,51 \text{ daN/ton} \end{aligned}$$

$$r_v = r_v \cdot G_v$$

$$r_v = 4,51 \cdot 500$$

$$R_v = 2255 \text{ daN'dir.}$$

1.3. Kurp (Viraj) Direnci

Demiryolu güzergâhının coğrafik ve geometrik koşulları nedeniyle demiryolu hattının inşasında istenmeyen birtakım kurpların oluşması tren hareketlerini 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 verilmektedir. Kurplardan kaynaklanan dirençlerin meydana geliş nedenleri çeşitlilik arz etmektedir. Bunlar:

- Trenlerin verilen dever ölçüsüne göre hesaplanan hızlarda seyretmesi gerekir. Verilen dever hızına uygun hızlarda seyredilmemesi hâllerinde tekerlek bodenleri raya yaslanır ve bir direnç oluşur:
 - Kurpta yola dever verilmemiş veya hıza göre az dever verilmiş ise dış rayda seyreden tekerleğin bodeni raya yaslanır.

- Yola, hıza göre fazla dever verilmiş ise bu kez iç rayda seyreden tekerleğin bodeni iç raya yaslanır.

Dever ölçüsüne uygun hızlarda kurptan geçilmediğinde oluşan bu dirençler tekerlek bodenlerini ve rayı aşındıran bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Kurplarda dış raya verilen dever nedeniyle bu dever yüksekliğine ulaşıncaya kadar bir dever rampası oluşur. Dolayısıyla bu dever rampası da bir direnç meydana getirir.
- Kurplardan geçişte iç rayda seyreden tekerlekler, yarıçaplarına uygun mesafeler kat edemezler. Bunun sonucu olarak kaymalar ve kızaklamalar meydana gelir ve dirençler oluşur.
- Kurplarda, araçların lase hareketi dediğimiz yanal hareketlerinden ve titreşimlerinden dolayı hat eksenine dik olarak yanal sürtünmeler sonucu dirençler meydana gelir.
- Kurplarda, lokomotifin kancasındaki çekim kuvvetinin ray ekseninde olması, arkadaki vagonların aynı doğrultuda olmaması kurp direncini artırıcı bir etken olmaktadır. Ayrıca arkadan ranforlu trenlerde arkadan dayanan lokomotif ve vagonların gücü, kurplarda tek tampon aracılığıyla iletilir. Buna bağlı olarak uygulanan gücün büyük bir kısmı ray doğrultusunda olmadığından güç kaybı oluşmaktadır.
- Kurplarda, tekerleklerin raya uyum sağlamak için dönüşlerinde, boji göbek yastıklarının ve boji göbeğinin sürtünmesinden dolayı bir direnç oluşmaktadır.
- Kurplarda, araçları birbirine bağlayan cer tertibatları gerildiğinden bir direnç oluşturmaktadır.

Hareket hâlindeki bir araç, kurba ilk olarak birinci tekerleği yani kılavuzluk yapan tekerleği girdiğinden bu tekerlek, aracı hattın eksenine doğru taşımaya çalışır. Dolayısıyla takip eden tekerlekler birinci tekerleğe göre daha yönlü (yumuşak) olarak girerler. Bu nedenle kılavuz tekerlerin kurplardaki sürtünmesi dolayısıyla boden aşınması diğer tekerleklere nazaran daha fazla olur. Kurp direncinin hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

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

$$R_k = r_k \cdot (G_L + G_V) \text{ (daN)}$$

Bu formüllerde;

R_k =Kurp direnci (daN),

G_L =Lokomotif ağırlığı (ton),

G_V =Vagon ağırlığı (ton),

r_k = Birim kurp direnci (daN/ton),

R =Verilen kurpların içindeki en küçük yarıçap değerli kurptur.

Örnek 1:

A ve B istasyonları arasındaki düz yolda 350 ve 400 m yarıçaplı kurplar mevcuttur. Lokomotifin ağırlığı 120 ton, vagonların ağırlığı 900 ton olan bir trenin kurplardan dolayı karşılaşıcağı direnç nedir?

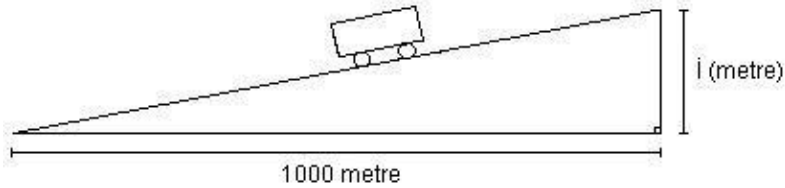
$$r_k = \frac{650}{R - 55} \text{ olduğundan,} \quad r_k = \frac{650}{350 - 55} \quad r_k = 2,20 \text{ daN/ton bulunur.}$$

$$R_k = r_k \cdot (G_L + G_V)$$

$$R_k = 2.20 \cdot (120 + 900) = 2244 \text{ daN'dir.}$$

1.4. Rampa Direnci

Demiryolunun geçtiği arazinin coğrafi yapısı nedeniyle zorunlu olarak oluşan rampalar ve bu rampaların eğim derecelerinin büyüklüğü, tren hızına ve yüküne bir sınır getirdiği gibi lokomotif ağırlığı ve gücünün büyümesine etki eden en önemli faktördür. Çıkışta negatif olarak etki eden bu faktör, inişlerde pozitif olarak kendini gösterir. Frenleme işleminde ise bunların tamamen zıddı olur. Yani çıkışlarda pozitif, inişlerde negatif olarak etki eder. Bilindiği gibi rampalar 1000 m'deki yükselme (m) olarak ölçülmektedir.



Şekil.1.1: Rampa direnci

Birim rampa direnci (bir ton için) $r_r = i$ (daN/ton) = m olarak rampa yüksekliğidir.

Rampa direnci ise;

$$R_r = r_r \cdot (G_L + G_V) \text{ (daN) formülü ile bulunur.}$$

Rampa direnci de kurp direnci gibi hıza bağılı olmayan, yolun geometrik yapısına bağılı olan bir direnç olduğundan hesaplamalarda bu iki direnç toplanır ve toplamdan elde edilen dirence (R_e) eş değer direnç (muadil direnç) denir. Yani rampa üzerinde kurp direnci varsa;

$$R_e = R_r + R_k \text{ (daN) olur.}$$

Formülü açarsak;

$$R_e = r_e \cdot (G_L + G_V) \text{ (daN) olur.}$$

Buradaki 're' değeri;

$$r_e = r_r + r_k \text{ (daN/ton) olur.}$$

Formüllerdeki;

i = Hakiki rampa değerini (1000 m mesafedeki metre olarak yükseklik),

r_e = Eş değer rampa değeri (daN/ton),

R_e = Eş değer rampa direncini (daN),

G_L = Lokomotif ağırlığını (ton),

G_V = Vagonların toplam ağırlığını (ton) gösterir.

Çeken araç güç ve ağırlıkların hesabı yapılırken rampa direnci olarak çeken araçların çalışacağı güzergâhtaki en yüksek eş değer direnç dikkate alınır. Ancak bir hat güzergâhında, trenin seyir yönünde birbirini izleyen rampalar, arazinin coğrafik yapısı nedeniyle çok değişik uzunluklarda olmaktadır. Bu faktörler dikkate alındığında karşımıza yeni bir rampa terimi ortaya çıkar ki, buna **itibari rampa** adı verilir.

İtibari rampa hesaplanırken birbirini takip eden rampalar ve o hatta çalışacak en uzun trenin uzunluğu içinde kalan değerler dikkate alınır. Bu değerlerin ortalaması alınarak itibari rampa hesaplanır. Ancak bu hesaplamalarda sadece rampa değeri değil, ayrıca o rampalardaki kurp direnci dâhil eş değer rampa değeri dikkate alınmalıdır. Trenin uzunluğu, en yüksek değerli rampanın uzunluğuna eşit veya küçük ise hesaplamalarda en yüksek eş değer rampa değeri alınır. Şayet trenin uzunluğu en yüksek değerli rampanın uzunluğundan fazla ise, rampa değeri olarak itibari rampa değeri alınır.

Örnek 1:

A ile B istasyonları arasındaki yolda % 016 rampa ve bu rampalar üzerinde 350 ve 600 m yarıçaplı kurplar bulunmaktadır. Bu iki istasyon arasındaki yolda 120 ton ağırlığındaki bir lokomotif ile 1000 ton ağırlığındaki bir tren çekilecektir.

- Eş değer rampa değerini
- Eş değer rampa direncini bulunuz.

$$r_k = \frac{650}{R-55} \text{ olduğundan,}$$

$$r_k = \frac{650}{350-55} = 2,20 \text{ daN/ton bulunur.}$$

$$\begin{aligned} r_e &= r_r + r_k \\ &= 16 + 2,20 \\ &= 18,20 \text{ daN/ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_e &= r_e \cdot (G_L + G_v) \\ &= 18,20 \cdot (120 + 1000) \\ &= 20384 \text{ daN'dir.} \end{aligned}$$

Örnek 2:

Ağırlığı 100 ton, boyu 22 m olan bir lokomotif tarafından çekilen bir trende vagonların toplam boyu 1013 m, ağırlığı 900 tondur. A ile B istasyonları arasındaki ardışık rampa uzunlukları ve eş değer rampa değerleri aşağıda verilmiştir. Buna göre A-B istasyonları arasındaki

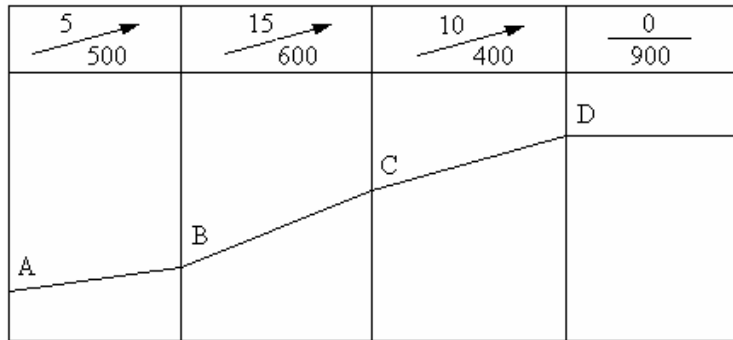
- İtibari rampa değerini
- Eş değer rampa direncini bulunuz.

Eşdeğer rampa %0 olarak

+ 5,0
+ 15,0
+ 10,0
0,0

Rampanın uzunluğu metre olarak

500
600
400
900



Önce tren uzunluğunu hesaplayalım. $S = 1013 + 22 = 1035 \text{ m}$

En yüksek değerli eş değer rampa (%015) uzunluğu 600 m olup tren uzunluğundan kısa olduğu için itibari rampa hesaplanacaktır. Tren uzunluğu 600 m'ye eşit ya da küçük olsaydı bu değer dikkate alınacaktı. İtibari rampa değerini bulmak için değişik noktalardan inceleme yapılır.

Trenin baş tarafının C noktasında olması hâlinde; $\dot{r}_1 = \frac{600.15 + 435.5}{1035} = 10,79 \text{ daN / ton}$

Trenin sonunun B noktasında olması hâlinde; $\dot{r}_2 = \frac{600.15 + 400.10 + 35.0}{1035} = 12,56 \text{ daN / ton}$

Trenin sonunun A noktasında olması hâlinde; $\dot{r}_3 = \frac{500.5 + 535.15}{1035} = 10,16 \text{ daN / ton}$

Trenin başının D noktasında olması hâlinde; $\dot{r}_4 = \frac{400.10 + 600.15 + 35.5}{1035} = 12,72 \text{ daN / ton}$

Bulunan bu değerlerden en yükseği olan 12,72 Kp/ton değerine itibari rampa denir. Buna göre eş değer rampa;

$$R_e = r_e \cdot (G_l + G_v)$$

$$R_e = 12,72 \cdot (100 + 900) = 12720 \text{ daN}$$

olarak bulunur. Bu değer trenin karşılaştığı gerçek rampa direncidir. Ancak rampa direnci hesaplanırken emniyet bakımından en yüksek değerli olan eş değer rampa değeri alınarak

$$R_e = 15 \cdot (100 + 900) = 15000 \text{ daN olarak bulunur.}$$

1.5. Akselerasyon (Hızlanma) Direnci

Buraya kadar incelediğimiz dirençler; lokomotif seyir direnci, vagon seyir direnci, kurp direnci ve rampa direnci olup bu dirençlerin yenilmesi trenin belirli bir hızda seyrinin sağlanması için yeterli olmaktadır. Bu dirençleri yenecek olan kuvvet, tekerlek kuvvetidir. Tekerlek kuvvetine 'T' dersek;

$$T = R$$

olduğunda tekerlek kuvvetinin dirençlerin toplamına eşit olduğu ve belirli bir hızdaki trenin seyrine devam ettiği anlaşılır. Burada trenin hızlanması söz konusu olmadığından a (ivme) = 0 olur. Ancak trenin belirli bir S mesafesinde belirli bir V1 hızından belirli bir V2 hızına ulaşabilmesi için bir ivme (akselerasyon) kazanması gerekir ve bunun için de ilave bir kuvvete gereksinim vardır. Yani;

$$T > R$$

şartının sağlanması gerekir. O hâlde;

$$R = R_L + R_v + R_k + R_r + R_a$$

şeklinde bir denklem ortaya çıkar ki burada Ra değerine akselerasyon direnci (kuvveti) adı verilir. Akselerasyon direncine; trenin ilk kalkışı için havalanma (koparma) direnci ve dönen (tekerlekler, cer motorları, transmisyon elemanları gibi) kütlelerin atalet dirençleri de dâhildir. Akselerasyon direncinin bulunması ileri derecede hesaplamalar gerektirdiğinden ders konusu içinde incelemeye alınmamıştır.

UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA 1

Ön görünüş alanı 10 m², hızı 50 km/saat, dingil basıncı 18 ton olan 6 dingilli bir lokomotifin seyir direncini hesaplayınız.

Çözüm:

$$A=10 \text{ m}^2$$

$$P=18 \text{ ton} =$$

$$V=50 \text{ km/saat}$$

$$N=6$$

$$R_L=?$$

$$r_L = 0,65 + \frac{13,15}{P} + 0,00932 \cdot V + \frac{0,004526 \cdot A \cdot V^2}{P \cdot N} \quad (\text{daN/ton})$$

$$r_L = 0,65 + \frac{13,15}{18} + 0,00932 \cdot 50 + \frac{0,004526 \cdot 10 \cdot 50^2}{18 \cdot 6} = 2,894 \text{ daN/ton}$$

$$G_L=18 \cdot 6=108 \text{ ton}$$

$$R_L = r_L \cdot G_L \text{ olduğundan,}$$

$$R_L = 2,894 \cdot 108$$

$$R_L = 312,5 \text{ daN'dir.}$$

UYGULAMA 2

Vagonların ağırlığı 45 ton olan ve 8 vagondan oluşan bir yolcu treninin 120 km/saat hızdaki vagonlarının seyir direncini hesaplayınız.

$$r_v = 1,968 + 0,00932 \cdot V + 0,000161 \cdot V^2$$

$$r_v = 1,968 + 0,00932 \cdot 120 + 0,000161 \cdot 120^2$$

$$r_v = 5,404 \text{ daN/ton}$$

$$G_v=8 \cdot 45=360 \text{ ton}$$

$$R_v = r_v \cdot G_v$$

$$R_v = 5,404 \cdot 360$$

$$R_v = 1945 \text{ daN'dir.}$$

UYGULAMA 3

1500 tonluk yükle yüklü bir trenin vagonlarının 50 km/saat hızındaki seyir direncini hesaplayınız.

$$r_v = 2 + 0,057 \cdot \frac{V^2}{100} \quad (\text{daN/ton})$$

$$r_v = 2 + 0,057 \cdot \frac{50^2}{100} \quad (\text{daN/ton})$$

$$r_v = 3,43 \text{ daN/ton}$$

$$R_v = r_v \cdot G_v$$

$$R_v = 3,43 \cdot 1500$$

$$R_v = 5137,5 \text{ daN'dir.}$$

UYGULAMA 4

Vagonların ağırlığı 1000 ton ve lokomotif ağırlığı 120 ton olan bir trenin 700 metrelik kurp yarıçapındaki bir yoldaki kurp direncini hesaplayınız.

$$r_k = \frac{650}{R - 55} \text{ olduğundan,} \quad r_k = \frac{650}{700 - 55} \quad r_k = 1,007 \text{ daN/ton bulunur.}$$

$$R_k = r_k \cdot (G_l + G_v)$$

$$R_k = 1,007 \cdot (120 + 1000) = 1127,84 \text{ daN'dir.}$$

UYGULAMA 5

Lokomotif ağırlığı 80 ton ve vagonların ağırlığı 620 ton olan bir tren dizisinin %018 rampadaki rampa direncini hesaplayınız.

Birim rampa direnci (bir ton için) $r_r = i$ (daN/ton) = m olarak rampa yüksekliğidir.

Burada: $r_r = 18$ daN/ton olarak alınacaktır.

$$R_r = r_r \cdot (G_l + G_v)$$

$$R_r = 18 \cdot (80 + 620) = 12600 \text{ daN'dir.}$$

UYGULAMA 6

A ile B istasyonları arasındaki yolda % 018 rampa ve bu rampalar üzerinde 350 ve 600 m yarıçaplı kurplar bulunmaktadır. Bu iki istasyon arasındaki yolda 120 ton ağırlığındaki bir lokomotif ile 900 ton ağırlığındaki bir tren çekilecektir.

- Eş değer rampa değerini
- Eş değer rampa direncini bulunuz.

$$r_k = \frac{650}{R-55} \text{ olduğundan,}$$

$$r_k = \frac{650}{350-55} = 2,20 \text{ daN/ton bulunur.}$$

$$\begin{aligned} r_e &= r_r + r_k \\ &= 18 + 2,20 \\ &= 20,20 \text{ daN/ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_e &= r_e \cdot (G_L + G_v) \\ &= 20,20 \cdot (120 + 900) \\ &= 20604 \text{ daN'dir.} \end{aligned}$$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Duran bir cismi harekete geçirmek veya hareket hâlindeki bir cismi durdurmak veya hızını düşürmek için bir etken gerekir. Bu etkene verilen ad, aşağıdakilerden hangisidir?
A) Direnç
B) Kuvvet
C) Kütle
D) Güç
2. “1 kg’lık bir kütleye 1 m/sn²’lik bir ivme veren kuvvetedenilir.” Bu cümlede boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi getirilmelidir?
A) 1 Newton
B) Pascal
C) Kuvvet
D) Bar
3. Bir motorlu trenin ağırlığı 100 tondur. Motorlu tren iki başta birer motris ve ortada bir römorktan meydana gelmektedir. Yani tekerlek düzeni (B’o 2 2 2 2 B’o) dir. Trenin azami hızı 120 km/saattir. Motorlu trenin bu hızdaki direnci aşağıdakilerden hangisidir?
A) 600 daN
B) 850 daN
C) 1200daN
D) 773 daN
4. Lokomotif ağırlığı 100 ton ve vagonların ağırlığı 850 ton olan bir tren dizisinin % 016 rampadaki rampa drenci aşağıdakilerden hangisidir?
A) 12000 daN
B) 13200 daN
C) 15200 daN
D) 14000daN

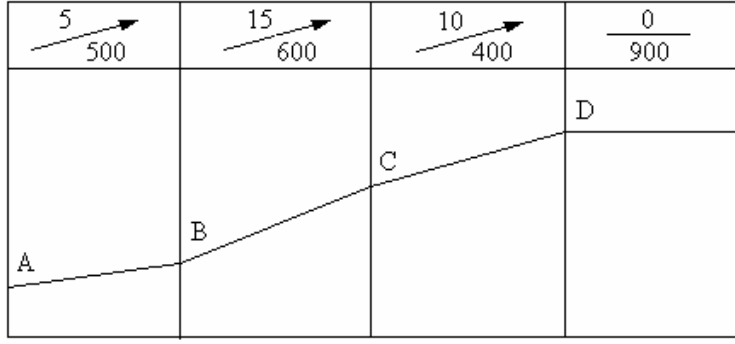
5. Ağırlığı 80 ton, boyu 20 m olan bir lokomotif tarafından çekilen bir trende vagonların toplam boyu 1000 m, ağırlığı 800 tondur. A ile B istasyonları arasındaki ardışık rampa uzunlukları ve eş değer rampa değerleri aşağıda verilmiştir. Buna göre A–B istasyonları arasındaki eşdeğer rampa direncini ne olur?

Eş değer rampa %0 olarak

+ 5,0
+ 15,0
+ 10,0
0,0

Rampanın uzunluğu metre olarak

500
600
400
900



- A) 11193,6-13200daN
B) 12450-15000daN
C) 9800-10000daN
D) 6812-8000daN

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Bu faaliyet sonunda gerekli ortam sağlandığında trenin hareket denklemini kurabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Çevrenizdeki ulaşım faaliyetlerinde kullanılan raylı sistem araçlarının çeşitlerini araştırınız.
- Hareket hâlindeki raylı sistem araçlarına etki eden kuvvetler hakkında araştırma yapınız.
- Yaptığınız araştırmanın sonuçlarını rapor hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınıza ve öğretmenlerinize sununuz.

2. HAREKET DENKLEMİ

2.1. Harekete Başlayan Trenin Denklemi

Bir trenin belirli bir V hızıyla seyrini sağlaması için bir ivmelenmeye gerek olmadığından aşağıda belirtilen dirençleri yennesi yeterli olmaktadır.

$$R=R_s + R_e$$

Formüldeki “Rs”, trenin toplam seyir direnci olup lokomotif ve vagonlardan teşkil edilen bir trenin toplam seyir direnci;

$$R_s=(r_L \cdot G_L) + (r_V \cdot G_V) \text{ daN olarak hesaplanır.}$$

Re = Eş değer direnç olup rampalı ve kurplu bir güzergâhta seyreden bir trenin karşılaşacağı eş değer direnç değeridir.

$$R_e=(r_r + r_k) \cdot (G_L + G_V) \text{ daN olarak hesaplanır.}$$

Kurpsuz düz bir yolda belirli bir V hızıyla seyreden bir trenin karşılaşacağı direnç;

$$R=R_s \text{ olacaktır.}$$

2.2. Hareket Hâlindeki Trenin Denklemleri

Durmakta olan bir trenin belirli bir V hızına çıkabilmesi veya belirli bir V_1 hızından belirli bir V_2 hızına ulaşması için ivmelenmesi gerekmektedir. Bu durumda karşılaşılabilecek toplam direnç;

$$\mathbf{R=R_s+R_e +R_a}$$

formülü ile bulunur.

İvmelenen bir trenin kurpsuz düz bir yoldaki direnci;

$$\mathbf{R=R_s+R_a olacaktır.}$$

Yukarıdaki formüllerle bulunan toplam direnç değeri aynı zamanda tekerleğe uygulanan kuvvete ('T' ye) eşit olacaktır.

$$\mathbf{R=T}$$

Tekerlek kuvvetinin sağlanabilmesi için tekerlek dingillerine bir gücün uygulanması gerekmektedir ki motor gücü (cer motor gücü) olarak tanımlanan bu gücü;

$$P = \frac{T.V}{360} \text{ (KW) formülü ile buluruz.}$$

İvme hesaplarına girmediğimiz için sadece belirli bir V hızıyla seyrini sağlayan trenin karşılaşılabilecek dirençler, tekerlek kuvveti ve motor gücü üzerine örnekler verilecektir.

UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA 1

Lokomotif dâhil uzunluğu 1200 m olan bir yük treninin hamulesi 800 tondur. Bu tren, ön görüş alanı 10 m² olan 120 ton ağırlığındaki 6 dingilli bir lokomotif tarafından 40 km/h hız ile çekilecektir. Trenin çalışacağı A–B istasyonları arasındaki güzergâhta 300 ve 600 m yarıçaplı kurplar olup rampa uzunlukları ve değerleri aşağıda verilmiştir. Buna göre aşağıdaki değerleri bulunuz.

- a) İr b) Rr c) Rk ç) Re d) RL e) Rv f) Rs g) R ğ) T h) P

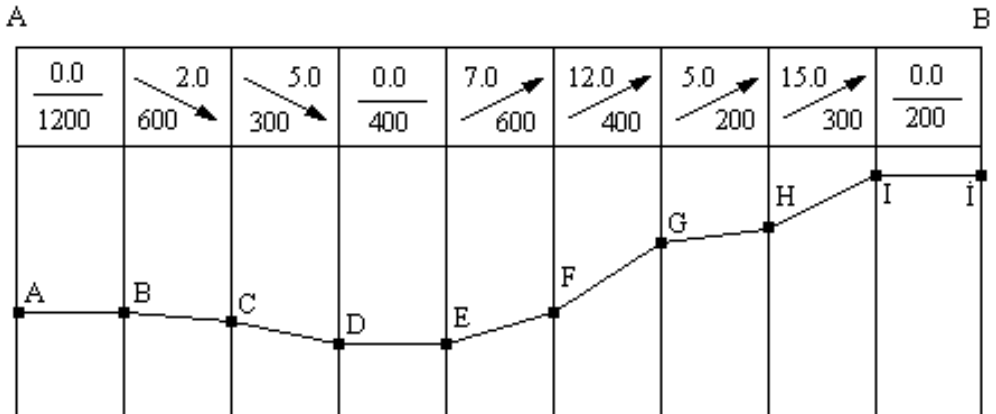
Çözüm:

Hakiki rampa değeri ‰ olarak

0.0
-2.0
-5.0
0.0
+ 7.0
+12.0
+5.0
+15.0
0.0

Rampanın uzunluğu m olarak

1200
600
300
400
600
400
200
300
200



- a) Trenin uzunluğu 1200 m olup en yüksek rampa mesafesinden (‰15 – 300 m) uzun olması, itibari rampa değerinin bulunmasını gerektirir.

➤ **Trenin başı (I) noktasında olursa;**

$$İr1 = \frac{15.300 + 200 + 12.400 + 7.300}{1200} = \frac{12400}{1200} = 10,3 \text{ daN/ton olur.}$$

➤ **Trenin sonu (E) noktasında olursa;**

$$\dot{I}r_2 = \frac{7.600+12.400+5.200}{1200} = \frac{10000}{1200} = 8,3 \text{ daN/ton olur.}$$

$\dot{I}r_1$ değeri yüksek olduğundan $\dot{I}r = 10,3 \text{ daN/ton}$ olarak alınır.

b) Rampa direncini bulmak için en yüksek değerli rampa formülde kullanılır.

$$\begin{aligned} R_r &= r_r \cdot (G_L + G_V) \\ &= 15 \cdot (120 + 800) \\ &= 13800 \text{ daN olur.} \end{aligned}$$

c) Kurp direncini bulmak için en küçük yarıçap değerli kurp formülde kullanılır.

$$r_k = \frac{650}{R-55} = \frac{650}{300-55} = 2,65 \text{ daN/ton}$$

$$\begin{aligned} R_k &= r_k \cdot (G_L + G_V) \\ &= 2,65 \cdot (120+800) \\ &= 2438 \text{ daN olur.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ç)} \quad R_e &= R_r + R_k \\ R_e &= 13800 + 2438 \\ R_e &= 16238 \text{ daN olur.} \end{aligned}$$

d) $P(\text{Ortalama dingil basıncı}) = 120/6 = 20 \text{ ton}$

$$\begin{aligned} r_L &= 0,65 + \frac{13,15}{P} + 0,00932V + \frac{0,004526AV^2}{P.N} \\ &= 0,65 + \frac{13,15}{20} + 0,0093240 + \frac{0,004526 \cdot 10 \cdot 40^2}{20 \cdot 6} = 2,2837 \text{ daN/ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_L &= r_L \cdot G_L \\ R_L &= 2,2837 \cdot 120 \\ R_L &= 274 \text{ daN bulunur.} \end{aligned}$$

e) Yük vagonları için ; $r_v = 2 + 0,057 \frac{V^2}{100}$

$$r_v = 2 + 0,057 \frac{40^2}{100} = 2,912 \text{ daN/ton}$$

$$\begin{aligned} R_v &= r_v \cdot G_v \\ R_v &= 2,912 \cdot 800 \\ R_v &= 2329,6 \text{ daN olur.} \end{aligned}$$

- f) $R_s = R_v + R$ olduğundan $R_s = 2329,6 + 274 = 2603,6$ daN olur.
- g) $R = R_s + R_e$ olduğundan $R = 2603,6 + 16238$ olur ve $R = 18841,6$ daN olur.
- ğ) $R = T$ olduğundan $T = 18841,6$ daN olur.
- h) $P = \frac{T.V}{360}$ (KW) olduğundan $P = \frac{18841,6 \cdot 40}{360}$ olur ve $P = 2093,51$ KW bulunur.

UYGULAMA 2

Bir yolcu treninin hamulesi 300 tondur. Bu tren; ön görüş alanı 10 m² olan 120 ton ağırlığındaki 6 dingilli bir lokomotif tarafından 70 km/h hız ile üzerinde 400 ve 600 m karpur olan bir yolda çekilecektir. Aşağıdaki değerleri bulunuz?

- a) R_k b) R_L c) R_v ç) R_s d) R e) T f) P

Çözüm:

$$a) \quad r_k = \frac{650}{R-55} = \frac{650}{400-55} = 1,884 \quad \text{daN/ton}$$

$$R_k = r_k \cdot (G_L + G_v) = 1,884 \cdot (120 + 300) = 791,28 \text{ daN olur.}$$

$$b) r_L = 0,65 + \frac{13,15}{P} + 0,00932V + \frac{0,004526AV^2}{P.N} \text{ daN/ton}$$

$$r_L = 0,65 + \frac{13,15}{20} + 0,00932 \cdot 70 + \frac{1,004526 \cdot 10 \cdot 70^2}{20 \cdot 6} = 3,807 \text{ daN/ton}$$

$R_L = r_L \cdot G_L$ olduğundan $R_L = 3,807 \cdot 120$ olur ve $R_L = 456,84$ daN bulunur.

$$c) \quad r_v = 1,968 + 0,00932 \cdot V + 0,000161 \cdot V^2$$

$$r_v = 1,968 + 0,00932 \cdot 70 + 0,000161 \cdot 70^2$$

$$r_v = 3,408 \text{ daN/ton}$$

$$R_v = r_v \cdot G_v$$

$$R_v = 3,408 \cdot 300$$

$$R_v = 1022,4 \text{ daN}$$

$$ç) \quad R_s = R_L + R_v = 456,84 + 1022,4 = 1479,24 \text{ daN olur.}$$

d) $R = R_k + R_s$ olduğundan $R = 791,28 + 1479,24$ olur ve $R = 2270,52$ daN bulunur.

$$e) \quad R = T$$
 olduğundan $T = 2270,52$ daN olur.

$$f) \quad P = \frac{T.V}{360} \text{ (KW) olduğundan } P = \frac{2270,52 \cdot 70}{360} \text{ olur ve } P = 441,49 \text{ KW bulunur.}$$

UYGULAMA 3

100 ton 6 dingilli bir lokomotif, 700 tonluk bir cevher trenini 40 km/h hızla götürecektir. Bu trenin bu hızla düz yolda, % 05, % 010, % 015, % 020, % 025 rampalarda tekerlek güçleri ne olur? (Lokomotifin ön görüş alanı verilmezse 10 m² alınır.)

Çözüm:

$$r_L = 0,65 + \frac{13,15}{P} + 0,00932V + \frac{0,004526AV^2}{P.N} \text{ daN/ton}$$

$$r_L = 0,65 + \frac{13,15}{16,66} + 0,0093240 + \frac{0,00452610.40^2}{16,66.6} = 2,535 \text{ daN/ton}$$

$$R_L = r_L \cdot G_L$$

$$R_L = 2,535 \cdot 100$$

$$R_L = 253 \text{ daN} \text{ olarak bulunur.}$$

$$r_v = 2 + 0,057 \frac{V^2}{100} \text{ daN/ton}$$

$$r_v = 2 + 0,057 \frac{40^2}{100} = 2,912 \text{ daN/ton}$$

$$R_v = r_v \cdot G_v$$

$$R_v = 2,912 \cdot 700$$

$$R_v = 2038 \text{ daN}$$

$$R_r = r_r \cdot (G_L + G_v) \text{ olduğundan düz yolda } R_r = 0 \text{ olur.}$$

$$\% 05 \text{ rampalı yolda } R_r = 5 \cdot (100 + 700) = 4000 \text{ daN}$$

$$\% 010 \text{ rampalı yolda } R_r = 10 \cdot (100 + 700) = 8000 \text{ daN}$$

$$\% 015 \text{ rampalı yolda } R_r = 15 \cdot (100 + 700) = 12000 \text{ daN}$$

$$\% 020 \text{ rampalı yolda } R_r = 20 \cdot (100 + 700) = 16000 \text{ daN}$$

$$\% 025 \text{ rampalı yolda } R_r = 25 \cdot (100 + 700) = 20000 \text{ daN}$$

$$R = R_L + R_v + R_r = T \text{ olduğundan}$$

$$\text{Düz yolda } R = R_L + R_v \text{ olur ve } R = 253 + 2038 = 2291 \text{ daN}$$

$$\% 05 \text{ rampalı yolda } R = R_L + R_v + R_r \text{ olur ve } R = 253 + 2038 + 4000 = 6291 \text{ daN}$$

$$\% 010 \text{ rampalı yolda } R = R_L + R_v + R_r \text{ olur ve } R = 253 + 2038 + 8000 = 10291 \text{ daN}$$

$$\% 015 \text{ rampalı yolda } R = R_L + R_v + R_r \text{ olur ve } R = 253 + 2038 + 12000 = 14291 \text{ daN}$$

$$\% 020 \text{ rampalı yolda } R = R_L + R_v + R_r \text{ olur ve } R = 253 + 2038 + 16000 = 18291 \text{ daN}$$

$$\% 025 \text{ rampalı yolda } R = R_L + R_v + R_r \text{ olur ve } R = 253 + 2038 + 20000 = 22291 \text{ daN}$$

$$P = \frac{T.V}{360} \text{ (KW) olduğundan düz yolda } P = \frac{2291.40}{360} = 254,5 \text{ KW}$$

% 05 rampalı yolda P = 699 KW
 % 010 rampalı yolda P = 1143 KW
 % 015 rampalı yolda P = 1587 KW
 % 020 rampalı yolda P = 2032 KW
 % 025 rampalı yolda P = 2476 KW olur.

	%00	%05	%010	%015	%020	%025
R _L (Kp)	253	253	253	253	253	253
R _v (Kp)	2038	2038	2038	2038	2038	2038
R _r (Kp)	0	4000	8000	12000	16000	20000
R = T(Kp)	2291	6291	10291	14291	18291	22291
P (KW)	250	686	1122	1558	1994	2430

Yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi güce etki eden en önemli faktör rampa direncidir.

Dirençler başına düşen cer gücü şu şekilde hesaplanır.

$$\text{Lokomotif seyir direnci için gerekli güç; } P_{LS} = \frac{R_L \cdot V}{360} = \frac{253 \cdot 40}{360} = 28,11 \text{ KW}$$

$$\text{Vagon seyir direnci için gerekli güç; } P_{vS} = \frac{R_v \cdot V}{360} = \frac{2038 \cdot 40}{360} = 226 \text{ KW}$$

$$\text{%05 rampa için gerekli güç; } P = \frac{4000 \cdot 40}{360} = 444 \text{ KW}$$

%010 rampa için gerekli güç P = 888 KW

%015 rampa için gerekli güç P = 1333 KW

%020 rampa için gerekli güç P = 1778 KW

%025 rampa için gerekli güç P = 2222 KW olur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Trenin belirli bir V hızıyla seyrini sağlaması için bir ivmelenmeye gerek yoktur. Buna göre bir trenin aşağıdaki dirençlerden hangisini yenmesi gerekir?
A) $R_s + R_e$
B) $G_L + G_V$
C) $R_s + R_a$
D) R_a
2. Tekerlek kuvvetinin sağlanabilmesi için tekerlek dingillerine bir gücün uygulanması gerekmektedir. Bu güce ne ad verilir?
A) Direnç gücü
B) Eğim gücü
C) Cer motor gücü
D) Aderans
3. Hareket hâlindeki trenin denklemi aşağıdakilerden hangisidir?
A) $R_L = r_L \cdot G_L$
B) $P = \frac{T \cdot V}{360}$
C) $G_L + G_V$
D) $R = R_s + R_e + R_a$
4. Bir yolcu treninin hamulesi 400 tondur. 110 ton ağırlığındaki 6 dingilli bir lokomotif tarafından 70 km/h hız ile üzerinde 350 ve 600 m kurp olan bir yolda çekilecektir. Buna göre kurp direnci aşağıdakilerden hangisidir?
A) 850 daN
B) 1123,7 daN
C) 1200 daN
D) 1254 daN
5. Ön görüş alanı 10 m^2 olan 120 ton 6 dingilli bir lokomotif 800 tonluk bir cevher trenini 60 km/h hızla götürecektir. Bu trenin bu hızla % 010 rampada tekerlek gücü ne olur?
A) 2133,9 KW
B) 1320 KW
C) 1523 KW
D) 1128 KW

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

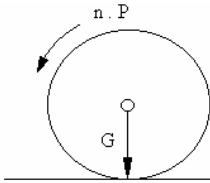
AMAÇ

Bu faaliyet sonunda gerekli ortam sağlandığında aderans kavramı ve patinaj olayı ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Çevrenizdeki ulaşım faaliyetlerinde kullanılan raylı sistem araçlarının çeşitlerini araştırınız.
- Hareket hâlindeki raylı sistem araçlarına etki eden kuvvetler hakkında araştırma yapınız.
- Aderans kavramı ve patinaj olayını araştırınız.
- Yaptığınız araştırmanın sonuçlarını rapor hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınıza ve öğretmenlerinize sununuz.

3. ADERANS KAVRAMI VE PATİNAJ OLAYI



Bir lokomotifin tekerleklerine uygulanan bir 'P' gücünün etkisi ile 'n' devriyle dönen bir tekerlekte bir 'M' döndürme momenti meydana gelir ve tekerlek çemberinde bir 'T' cer gücü oluşur.

Meydana gelen 'T' kuvvetinin tekerlek ağırlığına oranı

$$T / G = \mu$$

aderansı verir. Bir başka ifadeyle

$$T = G_L \cdot \mu \quad \text{olur.}$$

Formülde görüldüğü gibi meydana gelebilecek tekerlek çevre kuvveti yani cer kuvveti aderansa ve lokomotif ağırlığına bağlı olmaktadır. Aderans oranı veya lokomotif ağırlığı cer gücünü değiştiren bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tekerleğin raya dayanan G ağırlığı büyüdükçe tekerleğin raya yapışması da büyüyecektir. Tekerlek çemberindeki T kuvveti belirli bir limitte oldukça yapışma gerçekleşecektir.

Bu limit, T kuvvetinin yapışma ve G ağırlığından büyük olması durumunda aşılacak ve yapışma kopukluğu yaşanacaktır. Yaşanan bu yapışma kopukluğu patinaj olayından başkası değildir. Bir başka deyimle ray üzerindeki tekerleğin kaymaması ve patinaja girmemesi durumunu sağlayan bir karşı kuvvet mevcuttur ki buna **aderans** denir.

Aderans adı verdiğimiz bu değeri istediğimiz bir değerde almamız mümkün değildir. Çünkü bu sayı tekerlek çemberi ile ray arasındaki yapışmaya bağlı olduğu gibi aynı zamanda hızla bağlı olarak da değişmekte ve hız arttıkça değeri düşmektedir. Bu değişim deneyler sonucu elde edilen formüllerle bulunmuş olup bunlardan en önemli olanları aşağıda verilmiştir.

Huiyion-Bernhard Formülü:

$$\mu_v = \mu_{\max} \cdot \frac{8+0,1.V}{8+0,2.V}$$

olup μ_{\max} $V=0$ hâlinde azami 0,33 olmaktadır. O hâlde formül;

$$\mu_v = 0,33 \cdot \frac{8+0,1.V}{8+0,2.V}$$

şeklinde yazılır.

Curtius-Knifler formülü:

$$\mu_v = 0,161 + \frac{75}{44+V}$$

Bu formülden çıkan sonucu tekrar 0,33 ile çarpmaya gerek olmayıp 0,33 sayısı formülün içine dâhildir.

➤ Tekerlek Kuvveti

Daha önce incelediğimiz konularda tekerlek kuvvetini, trenin hareketine karşı olan dirençlerin toplamı olarak yani $T = R$ olarak tanımladık. Tekerlek kuvvetinin oluşturulabilmesi için tekerlek dingillerine bir gücün uygulanması gerekmektedir ki cer motor gücü olarak tanımladığımız bu güç;

$$P = \frac{T.V}{360} \text{ (KW)}$$

formülü ile bulunmaktadır. O hâlde tekerleklerde oluşan güç olarak tanımladığımız tekerlek kuvvetini ;

$$T = \frac{P.360}{V} \text{ (daN)}$$

formülü verecektir. Formülde de görüldüğü üzere tekerlek kuvveti hızın bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. [T = f (V)] Bu noktaya kadar durum, hız azaltarak veya motor gücünü artırarak tekerlek kuvvetini artırabileceğimiz şeklinde görünmektedir. Fakat böyle görünmesine rağmen birtakım etkenler nedeniyle istediğimiz sonuca ulaşamayız. Çünkü tekerleğe uyguladığımız döndürme momentinin yarattığı T kuvveti, tekerlek ile ray arasında bir kavramanın (yapışmanın) oluşması ile etkili olabilecektir. Bu kavrama kuvveti aderanstır. Buradan tekerlek kuvvetinin bağımsız olmayıp aderansa bağımlı olduğu anlaşılır.

3.1. Aderans Değeri ve Aderansın Değişimi

' μ ' aderans katsayısı istenildiği gibi alınacak bir değer değildir. Her şeyden önce birbiri ile temas eden iki malzemenin (ray ile tekerlek) fiziksel özelliklerine bağlıdır. Ayrıca süspansiyondan ötürü meydana gelen titreşimler nedeniyle aderans hıza bağımlı olarak düşmektedir. Bu değer 0 km/h hızda maksimum 0,330 olarak alınmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucu μ değeri 20 km/h hızda 0,275, 40 km/h hızda 0,248, 80 km/h hızda 0,220, 120 km/h hızda 0,206 olarak bulunmuştur. En kötü hâl olarak yağmur başlangıcı, sis ve kırağı gibi doğa olaylarında 0,18 değerine kadar düşebilmektedir. Ancak bu durumlarda, kumlama yapılarak aderansın değeri yükseltilmektedir.

3.2. Aderansa Etki Eden Faktörler

Aderansa etki eden faktörler iki ana bölümde incelenir:

- Yol koşullarından meydana gelen aderans değişimleri;
 - Ray yüzeylerinin durumları aderansı etkileyen faktörlerdendir. Raylar üzerindeki yağ izleri (genelde lokomotifler tarafından bırakılır), ağaçlardan raylar üzerine düşen ağaç yaprakları, havadan kaynaklanan hafif rutubet, yeni başlayan yağmur, kırağı gibi faktörler olup aderansı azaltır. Lokomotifler tarafından raylara yapılan kumlama ve şiddetli yağın yağmur (rayı yıkadığı için) aderansı artırır.

- Ray profillerinin aşınması, bozulması aderansı azaltır.
 - Kurplarda; tekerlek basınçlarının değişmesi ve verilen dever ölçüsüne uygun hızlarda geçilmemesi aderansı azaltır.
 - Rayların birleşme noktalarındaki (conta başı) açıklıkların ve ekartmanın (ray açıklığının) toleransların dışında olması aderansı azaltır.
- Lokomotifin bağlı koşullardan meydana gelen aderans değişimleri:
- Cer kuvvetinin uygulanmasından kaynaklanan havalanma (şahlanma) nedeniyle ortaya çıkan dingil boşalmaları aderansı azaltır.
 - Trenin hareketinde, lokomotifte süspansiyon nedeniyle meydana gelen titreşimler, hız arttıkça aderansı düşürür.
 - Aynı bojide bulunan tekerleklerdeki çap farklılıkları veya bojiler arası tekerleklerdeki çap farklılıkları nedeniyle çapı büyük olan tekerleğin kayması aderansı azaltır.
 - Dingillere gelen sustaların elastikiyetini kaybetmesi veya lokomotifin balansının iyi olmaması aderansı azaltır.
 - Gücün ani değişimi aderansı etkiler. Dizelli sistemlerde dizel motorun taramalı çalışması, elektrikli sistemlerde ise havai hat geriliminde meydana gelen dalgalanmalar özellikle sabah pik saatlerinde kendini hissettirir.
 - Dingillerin ayrı ayrı motorlarla tahriki aderansı etkiler.

3.3. Lokomotif Ağırlığı ile Cer Kuvveti Arasındaki Bağını

Bir lokomotifin ağırlığı ' G_L ' ve belirli bir hızdaki aderansı ' μ_v ' ise, lokomotifin cer kuvveti;

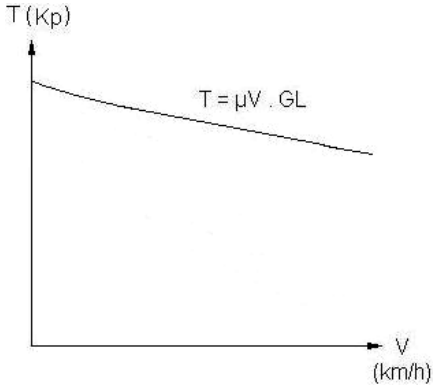
$$T = \mu_v \cdot G_L \text{ olur.}$$

Demek ki bir lokomotifin cer kuvvetini dolayısıyla çekeceği yükü artırmak için lokomotifin ağırlığını artırmak gerekir. Ülkemiz demiryollarında azami dingil basıncı 20 ton olduğundan 6 dingilli bir lokomotifin ağırlığı en fazla 120 ton olmaktadır. O hâlde 120 ton ağırlığındaki bir lokomotifin 0 km/h hızda maksimum adersana bağlı olarak maksimum cer kuvveti

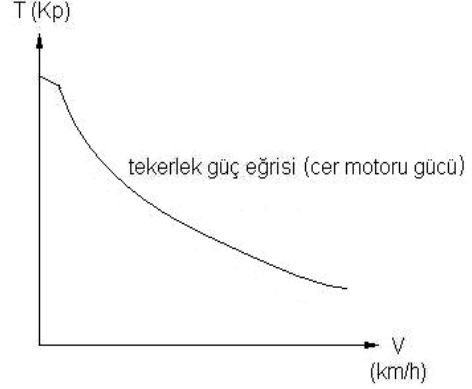
$$T = 0,33.120000 \text{ (Kg)} = 39600 \text{ daN olur.}$$

Bu değer, treni hareket ettirmeye çalışan bir lokomotifin tekerleklerine uygulayacağı maksimum güç olmaktadır. Bunun üzerinde uygulanan güç, yapışma kopukluğuna yani patinaja neden olur. Lokomotifimiz ne kadar güçlü olursa olsun aderansın müsaade ettiği kadar gücü tekerleklere uygulayabiliriz. Çok güçlü olan 4 dingilli E 52500 tipi lokomotiflerin gücünden maksimum faydayı sağlamak için üzerine ağırlıklar bağlanarak ülkemiz dingil basıncının izin verdiği ağırlığa yani 80 tona yükseltilmesi bunun en güzel örneğidir.

3.4. Cer Kuvvetinin Aderansa Olan Bağımlılığı

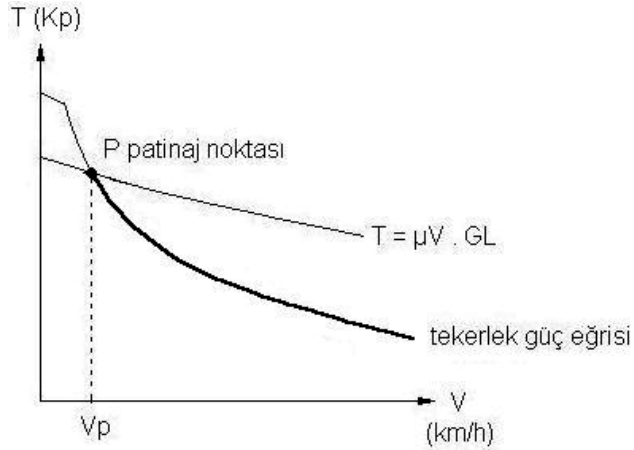


Şekil 3.1:Hıza bağlı olarak aderans değişimi



Şekil 3.2: Cer kuvvetine bağlı olarak aderans değişimi

Soldaki şekilde aderansa bağlı cer kuvveti eğrisi görülmektedir. Sağdaki şekilde ise tekerlek gücüne bağlı olan cer kuvveti eğrisi görülmektedir. Bu iki şekil birbiri üzerine monte edildiğinde ise cer kuvveti-hız (T/V) eğrisi ortaya çıkar.



Şekil 3.3: Cer kuvveti-hız (T/V) eğrisi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi iki eğrinin kesiştiği noktaya 'P' patinaj noktası, bu noktaya karşılık gelen hıza da patinaj hızı denir. Patinaj noktası aynı zamanda gücün başladığı noktadır. Bu noktanın üzerindeki güçlerde lokomotif sürekli patinajda olur. Aderansın cer kuvvetini sınırladığı görülmektedir. Şekil incelendiğinde hız arttıkça cer kuvvetinin düştüğü görülür. Cer kuvvetinin düşmesi ise çekilecek tren yükünü azaltır. O hâlde fazla yük çekilmesi istendiğinde hız düşürülmelidir veya hız artırılacaksa yük miktarı azaltılmalıdır.

UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA 1

120 ton ağırlığında 6 dingilli bir elektrikli lokomotifin gücü 4200 BG'dir. 25 km/h hızdaki kullanılmayan tekerlek cer gücünü hesaplayınız (μ_v değeri 0,285 alınacaktır).

Çözüm:

Elektrikli lokomotif olduğundan lokomotif gücü aynı zamanda cer motorlarının gücüne eşittir.

$$4200 \text{ BG} = 4200 \cdot 0,736 = 3091,2 \text{ KW' dır.}$$

$$T \text{ (lokomotif gücüne göre cer kuvveti)} = \frac{P \cdot 360}{V} = \text{daN formülünden}$$

$$T = \frac{3091,2 \cdot 360}{25} = 44513,2 \text{ daN olur.}$$

T (aderansa göre cer kuvveti) = $\mu_v \cdot G_L$ olduğundan $T = 0,285 \cdot 120000 = 34200$ daN olur.

45378,8 – 34200 = 11178,8 daN kuvvet kullanılmamaktadır. Bu da;

$$P = \frac{T \cdot V}{367} = (\text{KW}) \text{ formülünden } P = \frac{11178,8 \cdot 25}{360} = 776,4 \text{ KW} = 776,4 \times 1,36 = 1055 \text{ BG}$$

olur.

UYGULAMA 2

Ağırlığı 100 ton olan bir lokomotifin gücü 2000 KW'tır. Bu lokomotifin 20 km/saat hızda aderansa bağlı cer kuvvetini ve tekerlek gücüne bağlı cer kuvvetini hesaplayınız.

Çözüm: Aderansa bağlı cer kuvveti;

$$\mu_{20} = 0,161 + \frac{7,5}{44+V} = \frac{7,5}{44+20} = 0,278$$

$$T_{20} = \mu \cdot G_L = 0,278 \cdot 100000 = 27800 \text{ daN olur.}$$

Tekerlek gücüne bağlı cer kuvveti;

$$T_{20} = \frac{P \cdot 360}{V} = \frac{2000 \cdot 360}{20} = 36000 \text{ daN}$$

olur.

UYGULAMA 3

Ağırlığı 120 ton olan bir lokomotifin gücü 4200 BG'dir. Bu lokomotifin 80 km/saat hızda aderansa bağlı cer kuvvetini ve tekerlek gücüne bağlı cer kuvvetini hesaplayınız.

Çözüm: Aderansa bağlı cer gücü;

$$\mu_{80} = 0,161 + \frac{7,5}{44+V} = \frac{7,5}{44+80} = 0,221$$

$$T_{80} = \mu \cdot G_L = 0,221 \cdot 120000 = 26578 \text{ daN olur.}$$

Tekerlek gücüne bağlı cer kuvveti; $P = 4200 \cdot 0,736 = 3091 \text{ KW}$

$$T_{80} = \frac{P \cdot 360}{V} = \frac{3091 \cdot 360}{80} = 13909 \text{ daN olur.}$$

UYGULAMA 4

Hareket hâlindeki bir trene etki eden dirençlerin toplamı 12500 daN'dir. Bu trenin 40 km/saat hızla hareket edebilmesi için gerekli olan tekerlek gücünü hesaplayınız.

Çözüm:

$$R = 12500 \text{ daN}$$

$$R = T = 22500 \text{ daN}$$

$$P = \frac{T \cdot V}{360} = \frac{12500 \cdot 40}{360} = 1388,8 \text{ KW olarak bulunur.}$$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. “Ray üzerindeki tekerleğin kaymaması ve patinaja girmemesi durumunu sağlayan bir karşı kuvvet mevcuttur ki buna denir.”
Bu cümlede boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi getirilmelidir?
A) Yuvarlanma
B) Moment
C) Aderans
D) Direnç
2. Aşağıdakilerden hangisi aderansı azaltan faktörlerden **değildir**?
A) Ray profillerinin aşınması
B) Rayların yağlı olması
C) Kumlamanın yapılması
D) Rayların ıslak ve kaygan olması
3. Aşağıdakilerden hangisi aderansı artıran faktörlerden **değildir**?
A) Kumlamanın yapılması
B) Havanın kuru(nemsiz) olması
C) Rayların kuru olması
D) Rayların yağlı olması
4. Hareket hâlindeki bir trene $R_L=230\text{daN}$, $R_V=1690\text{ daN}$, $R_k=1280\text{ daN}$, $R_r=12600\text{ daN}$ dirençleri etki etmektedir. Bu trenin 50 km/saat hızla hareket edebilmesi için gerekli olan tekerlek gücü aşağıdakilerden hangisidir?
A) 1524,3 KW
B) 3251,2 KW
C) 2194,4 KW
D) 1527,9 KW
5. Ağırlığı 120 ton olan bir lokomotifin gücü 1800 KW'tır. Bu lokomotifin 60m/saat hızda adersansa bağlı cer kuvveti aşağıdakilerden hangisidir?
A) 20140 daN
B) 27960 daN
C) 12890 daN
D) 25890 daN

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-4

AMAÇ

Bu faaliyet sonunda gerekli ortam sağlandığında çeken araçların güç hesaplarını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Çevrenizdeki ulaşım faaliyetlerinde kullanılan raylı sistem araçlarının çeşitlerini araştırınız.
- Hareket hâlindeki raylı sistem araçlarına etki eden kuvvetler hakkında araştırma yapınız.
- Raylı sistemlerde kullanılan çeken araç çeşitlerini araştırınız.
- Yaptığınız araştırmanın sonuçlarını rapor hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınıza ve öğretmenlerinize sununuz.

4. ÇEKEN ARAÇLARIN GÜÇ HESABI

Çeken araçlarda güç tarifi dizelli ve elektrikli sistemlere göre ayrı ayrı 'UIC' tarafından belirlenmiştir. Bunlar:

- Dizel lokomotiflerde; deniz seviyesinde, 20° C muhit sıcaklığında, 736 mm Hg'de ve % 70 bağıl nem şartlarında dizel motorunun şaftının nominal gücüdür.
- Elektrikli lokomotiflerde; nominal hat (katener) geriliminde tekerlek bandajlarındaki nominal güçlerin toplamıdır.

Buna göre hesaplanan tekerlek gücü, elektrikli lokomotiflerin gücünü vermekte fakat dizel lokomotiflerde lokomotif gücünü belirlememektedir. Örneğin DE 22000 tipi lokomotifin gücü 2200 BG olup bu aynı zamanda dizel motorun şaft gücüdür fakat tekerlek gücü değildir. Tekerlek gücü ise aşağıda açıklanan güçlerin lokomotif gücünden düşülmesi ile bulunur. E 43000 tipi lokomotifin gücü 4300 BG olup bu güç aynı zamanda tekerlek gücüdür.

4.1. Lokomotif Gücünün Hesabı

Buraya kadar yaptığımız incelemelerde güç olarak lokomotifin çekme işlevini yapan gücü dikkate aldık. Bu güç, tekerlek gücü (cer motor gücü) olup aracın gerçek gücü değildir. Aracın gerçek gücü dizel lokomotiflerinde dizel motorun, elektrikli lokomotiflerde ise transformatörün gücüdür. Gerçek güç, aşağıda yazılı güçlerin tekerlek gücüne (cer motor gücüne) ilave edilmesi ile bulunur.

➤ **Yardımcı Devre Güçleri**

Yardımcı devre güçleri aşağıda yazılı komponentler tarafından harcanan güçler olup bu komponentler şunlardır:

- Cer motor soğutucuları
- Hava kompresörleri
- Batarya şarj devreleri
- Dizel motor soğutma fanları
- Transformatör, redresör, invertör, vb. devrelerin soğutulmasını sağlayan komponentler
- Çeken araç sistemine bağlı olan diğer komponentler olup bunların harcadıkları güçlere yardımcı devre güçleri denir ve “Py” ile gösterilir.

➤ **Kayıp Güçler**

- Elektrikli sistemlerde transformatörde, dizelli sistemlerde dizel motorundaki kayıplar
- Doğrultucu ve invertörlerdeki kayıplar
- Güç aktaran baralar ve kablolarda kayıplar
- Kontaktörlerde ve enversörlerde kayıplar
- Kardan şaftlarda kayıplar
- Aşırı ısınma sonucu cer motor verimlerinin düşmesi nedeniyle oluşacak kayıplar
- Yüksek rakımlı bölgelerde çalışan dizel motorlarının verimlerinin düşmesi sonucu oluşacak kayıplar
- Dişli grupları vb. kayıplardır. “Pk” ile ifade edilir.

➤ **Aktarma Güçleri**

- Bojiden şasiye kuvvet transferi yapılırken oluşan kayıplar
- Cer dişlisi ile pinyon dişlisi arasındaki sürtünmeden kaynaklanan kayıplardır.

➤ **Çeken Aracın Verimi**

Bir lokomotifin veriminin kayıp güçler, aktarma güçleri ve yardımcı güçler nedeniyle % 100 olması mümkün değildir. Tekerlekteki güç esas olduğundan yapılan hesaplamalar sonucu aracın verimi aşağıdaki gibi yazılır.

- Dizel elektrikli sistemlerde verim = % 72
- Elektrikli sistemlerde verim = % 75

➤ **Ekstra Güçler**

Yolcu trenlerini çeken araçların, yolcu vagonlarının gereksinimi olan ısıtma, aydınlatma, klima, vb. sistemlerinin güçlerini karşılamak için ilave edilen güçler olup tümü “Pex” olarak gösterilir.

➤ Çeken Araçlarda Güç Formülü

Dizel elektrikli lokomotiflerde aşağıdaki gibidir.

$$P \text{ [lokomotif gücü(dizel motor şaft gücü)]} = \frac{P(\text{cer motor güçleri})}{0,72} + P_{ex}$$

$$\text{Elektrikli lokolarda; } P(\text{transformatör gücü}) = \frac{P \text{ [cer motor güçleri(lokomotif gücü)]}}{0,75} + P_{ex}$$

4.2. Düşük Güç ile Çekilecek Yükün Hesabı

Bir lokomotifin cer motoru iptali hâlinde çekilecek yük, iptal edilen cer motoru oranında olmayıp bu orandan daha düşük miktarda olmaktadır. Bunun nedeni iptal edilen cer motorlarının ve tekerleklerinin atalet momentinden dolayı cer gücünden harcayacağı kinetik enerjiden kaynaklanmaktadır.

Aşağıdaki formül cer motoru iptalinde verilebilecek hamule miktarının bulunmasını gösterir.

$$G' = \frac{G}{n} \cdot (n - n') \cdot \frac{1}{k} \quad (\text{ton})$$

- G = Lokomotifin tam güçte çekeceği yük,
- G' = Cer motoru iptalinde çekilebilecek hakiki yük,
- n = Cer motor adedi,
- n' = İptal edilen cer motor adedi,
- k = Katsayı, 1,10 ile 1,30 arasında alınır.

4.3. Soğuk Araçların Hareketi

Çeken araç olarak hizmet veren lokomotifler, servis dışı yani soğuk olarak bir trenle sevki gerektiğinde enerji veren dönel kütleleri, soğuk iken enerji alma durumundadır. Soğuk sevklerinde lokomotiflerin statik ağırlığına dönel kütleleri için gerekli olan kuvvetin karşılığında bir ağırlık eklemek gerekir. Bu ilave ağırlığa G_i , statik ağırlığına G_{st} dersek;

$$G \text{ soğuk} = G_{st} + G_i$$

olacaktır.

Soğuk lokomotif, tren teşkilatı içinde yer alan bir vagon gibi düşünülürse ivmelenme esnasında soğuk lokomotife düşen akselerasyon direnci “Ra soğuk”, seyir direnci “R_L soğuk” ve rampa direnci “Re soğuk” ise lokomotif seyri için gerekli kuvvet;

$$F \text{ soğuk} = R_a \text{ soğuk} + R_L \text{ soğuk} + R_e \text{ soğuk}$$
 olacaktır.

Soğuk lokomotifler genelde yük trenleriyle sevk edilirler. Şayet yolcu treni ile sevk etmek gerekirse bu trenlerin ivmeleri yüksek olduğundan lokomotifin indirgenmiş ağırlığı çok yüksek değerlere çıkar ki bu da trenin tehirini artıran bir faktör olarak karşımıza çıkar.

Bu konuda karşımıza bir sorun daha çıkmaktadır. Bir yük veya yolcu treni çoklu lokomotif ile çalışırken bilhassa yolun rampasız kısımlarında destek lokomotif cer işlemine yardımcı olmadığı takdirde, bu lokomotif soğuk lokomotif olarak düşünmek gerekir. Bunun sonucu olarak lokomotifin itibari ağırlığı artacak seyirden kayıplar meydana gelecektir. Bu bakımdan özellikle kalkış esnasında destek lokomotif, kendi dirençlerini yenecek değerde bir gücü tekerleklerine uygulamalıdır.

Soğuk lokomotiflerin sevkinde yüksek değerlere çıkan itibari ağırlık trenin hızına ve rampa değerlerine göre değişmektedir. Bir treninin takip ettiği güzergâhta değişik değerlikli rampalar olacak ve rampalar dikleştikçe itibari ağırlık da düşecektir. Bu bakımdan güzergâhta en düşük rampalar göz önünde bulundurulur ve hesaplamalarda 0 - % 05'e kadar değerlikli rampalarda bulunan itibari ağırlıklar dikkate alınır.

Trenlerin hazırlanması ve trafiğine ait yönetmeliğe göre bazı tip lokomotiflerin muhtelif rampa değerlerine göre hesaplanan itibari ağırlıkları aşağıda gösterilmiştir.

%0 olarak eşdeğer rampa değeri

<u>Lokomotif tipi</u>	<u>Boş ağırlığı</u>	<u>0 – 5</u>	<u>5.1 – 15</u>	<u>15.1 – den yukarı</u>
43001 – 43....	120 ton	174 ton	141 ton	133 ton
40001 – 40015	76 ton	115 ton	90 ton	84 ton
24001 - 24042	105 ton	154 ton	124 ton	116 ton
22001 – 22000	111,7 ton	163 ton	132 ton	124 ton
18004 – 18017	99 ton	145 ton	90 ton	84 ton
11001 – 11000	64,7 ton	99 ton	77 ton	72 ton
14001 – 14...	118 ton	171 ton	139 ton	131 ton

4.4. Koşum Takımı Hesapları

Buraya kadar yaptığımız incelemelerde ve hesaplamalarda kuvvet olarak tekerleklerdeki kuvvet ele alındı. Ancak lokomotifin vagonları çekerken uygulanan kuvvet, koşum takımları aracılığı ile uygulanan kuvvettir. Tekerlek kuvveti bilindiği gibi dirençler toplamı olarak hesaplanmaktadır. (**T = R**) Bu dirençlerden biride lokomotifin seyir ve eş değer direncidir ve

$$R_L = R_L + (G_L \cdot r_e)$$
 olur. Geriye kalan kuvvet

$$\mathbf{T \cdot R_L = R_L + (G_L \cdot r e) = R v + Gv \cdot r e = F k}$$

ve bu kuvvet lokomotiften sonra ilk vagona uygulanan kuvvettir. Koşum takımı mukavemeti rampa çıkışlarda cer kuvveti müsait olsa bile çekilecek yük miktarını sınırlayan bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat koşum takımı mukavemeti, rampa inişlerinde dikkate alınmaz.

Kancalı, otomatik ve yarı otomatik kavramalı olmak üzere üç tip cer tertibatı vardır. Otomatik kavramalı cer tertibatı genellikle elektrikli ünitelerde kullanılmaktadır. Yarı otomatik kavramalı cer tertibatları ise dizel lokomotiflerde ve bazı tip vagonlarda kullanılmaktadır. Otomatik ve yarı otomatik kavramalı cer tertibatları hem tampon hem de cer kancası görevini yaparlar. Yarı otomatik kavramalı cer tertibatları 200 ton basma, 150 ton çekme mukavemetine sahiptirler. Kancalı tip koşum takımları çekme mukavemetleri cinsinden 100 ton, 65 ton ve 50 ton olmak üzere üç tipte imal edilmektedir.

Koşum takımları mukavemetlerine göre trene verilecek yük miktarları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\mathbf{Gv = \frac{Z}{0,005+re} \quad (ton)}$$

- G = Tren yükü (ton)
Z = Kanca çekme mukavemeti karşılığı (ton)
re = Eş değer rampa değeri (%0)
0,005 = Emniyet kat sayısı

100 ton çekme mukavemetine karşılık Z değeri..... 30 ton
65 ton çekme mukavemetine karşılık Z değeri..... 21 ton
50 ton çekme mukavemetine karşılık Z değeri.....15 ton

UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA 1:

Bir dizel elektrikli lokomotifin yapılan hesaplamalar sonucu cer motor güçleri 30 km/h hızda 1748 KW olarak bulunmuştur. Lokomotif gücünü hesaplayınız.

Çözüm:

$$P \text{ [lokomotif gücü]} = \frac{P(\text{cer motor güçleri})}{0,72} + P_{ex}$$

$$P_{ex} \text{ gücü olmadığından lokomotif gücü } P = \frac{1748}{0,72} = 2427 \text{ KW bulunur.}$$

Beygir gücüne çevrildiğinde $2428 \cdot 1,36 = 3300 \text{ BG}$ olur.

UYGULAMA 2:

Bir dizel elektrikli lokomotifin gücü 2200 BG'dir. 40 km/h hızda cer motor gücünü ve tekerlek cer gücü kuvvetini hesaplayınız.

Çözüm:

$$P \text{ (lokomotif gücü)} = \frac{P(\text{cer motor güçleri})}{0,72} \text{ formülünden}$$

Cer motor güçleri = $P(\text{lokomotif gücü}) \cdot 0,72$ olur. Buradan

$$P = 2200 \cdot 0,72 = 1584 \text{ BG bulunur.}$$

$$\text{KW'a çevirirsek } 1584 \cdot 0,736 = 1165 \text{ KW bulunur.}$$

Bulduğumuz bu değer cer motorlarının gücü olup tekerlek cer gücü kuvveti;

$$T = \frac{P \cdot 360}{V} = \text{daN formülünden } T = \frac{1165 \cdot 360}{40} = 10485 \text{ daN olur.}$$

UYGULAMA 3:

120 ton ağırlığında 6 dingilli bir elektrikli lokomotifin gücü 4300 BG'dir. 20 km/h hızdaki kullanılmayan tekerlek cer gücünü hesaplayınız (μ_v değeri 0,275 alınacaktır).

Çözüm:

Elektrikli lokomotif olduğundan lokomotif gücü aynı zamanda cer motorlarının gücüne eşittir.

$$4300 \text{ BG} = 4300 \cdot 0,736 = 3164 \text{ KW'tır.}$$

$$T \text{ (lokomotif gücüne göre cer kuvveti)} = \frac{P \cdot 360}{V} = \text{daN formülünden}$$

$$T = \frac{3164 \cdot 360}{20} = 56952 \text{ daN olur.}$$

$$T \text{ (aderansa göre cer kuvveti)} = \mu_v \cdot G_L \quad \text{olduğundan} \quad T = 0,275 \cdot 120000 = 33000 \text{ daN olur.}$$

56952 – 33000 = 23952 daN kuvvet kullanılmamaktadır. Bu da

$$P = \frac{T \cdot V}{36} = \text{(KW) formülünden} \quad P = \frac{23952 \cdot 20}{367} = 1330 \text{ KW} = 1330 \times 1,36 = 1809 \text{ BG olur.}$$

UYGULAMA 4:

900 Ton çekerli olan 6 cer motorlu bir lokomotifin 2 cer motoru iptal edilirse kaç ton çeker? (k değeri 1,20 alınacaktır.)

Çözüm:

$$G' = \frac{G}{n} \cdot (n - n') \cdot \frac{1}{k} \quad \text{(ton) formülünden}$$

$$G' = \frac{900}{6} \cdot (6 - 2) \cdot \frac{1}{1,20} = 500 \text{ ton bulunur.}$$

UYGULAMA 5 :

100 ton kanca mukavemetli koşum takımlarından teşkil edilen bir trene 400 ve 700 metre yarıçaplı bir kurp olan %0 20 rampalı bir güzergâhta 1300 ton yük verilecektir. Koşum takımı mukavemetinin müsaade ettiği yük miktarını bulunuz.

Çözüm:

$$r_k = \frac{650}{R - 55}$$

$$r_k = \frac{650}{400 - 55} = 1.88 \text{ daN / ton}$$

$$r_e = 20 + 1.88 = 21.88 \text{ daN/ton bulunur. Bu değer } 0,02188 \text{ daN'a eşittir.}$$

$$Gv = \frac{Z}{0,005 + re} \text{ ton}$$

$$Gv = \frac{30}{0,005 + 0,02188} = 1116 \text{ ton olur.}$$

Not :

- 400 metre yarıçaplı kurbun direnci daha çok olduğu için itibara alınır.
- 100 ton mukavemetli koşum takımının Z değeri 30 ton olduğu için formülde 30 ton kullanılmıştır.
- Lokomotif çeki 1300 ton olmasına karşın koşum takımı mukavemeti, trene 1116 ton yük verilmesine müsaade etmektedir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Çeken araçlarda güç tarifi dizelli ve elektrikli sistemlere göre ayrı ayrı..... tarafından belirlenmiştir.
Bu cümlede boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi getirilmelidir?
A) UIC
B) RIV
C) RTC
D) RIC
2. Aşağıdakilerden hangi yardımcı devre güçlerinden **değildir**?
A) Cer motor soğutucuları
B) Dizel motor soğutma fanları
C) Hava kompresörleri
D) Dizel motoru
3. Yolcu trenlerini çeken araçların, yolcu vagonlarının gereksinimi olan ısıtma, aydınlatma, klima vb. sistemlerinin güçlerini karşılamak için ilave edilen güçlere ne ad verilir?
A) Yardımcı güçler
B) Kayıp güçler
C) Ekstra güçler
D) Aktarma güçleri
4. Bir dizel elektrikli lokomotifin yapılan hesaplamalar sonucu cer motor güçleri 40 km/h hızda 1840 KW olarak bulunmuştur. Lokomotif gücü aşağıdakilerden hangisidir?
A) 1356,2 KW
B) 2555,5 KW
C) 2874,6 KW
D) 2356,9 KW
5. Bir dizel elektrikli lokomotifin gücü 2400 BG'dir. 50 km/h hızda cer motor gücü aşağıdakilerden hangisidir?
A) 1271,8 KW
B) 985 KW
C) 1325,8 KW
D) 1458 KW

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise "Modül Değerlendirme"ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ

Öğrenme faaliyeti kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri “**Evet**” ve “**Hayır**” kutucuklarına (X) işareti koyarak kontrol ediniz.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ		Evet	Hayır
1.	Lokomotif seyir direncini hesapladınız mı?		
2.	Vagon seyir direncini hesapladınız mı?		
3.	Kurp (viraj) direncini hesapladınız mı?		
4.	Rampa direncini hesapladınız mı?		
5.	Tekerlek gücünü hesapladınız mı?		
6.	Tekerlek kuvvetlerini hesapladınız mı?		
7.	Cer motor gücünü hesapladınız mı?		
8.	Lokomotif gücünü hesapladınız mı?		
9.	Tren yükünü hesapladınız mı?		
10.	Koşum takımı hesabını yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” cevaplarınız için öğrenme faaliyetine dönerek ilgili konuları tekrar ediniz. Cevaplarınızın hepsi “**Evet**” ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmenimize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1.	B
2.	A
3.	D
4.	C
5.	A

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1.	A
2.	C
3.	D
4.	B
5.	A

ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1.	C
2.	C
3.	D
4.	C
5.	A

ÖĞRENME FAALİYETİ-4'ÜN CEVAP ANAHTARI

1.	A
2.	D
3.	C
4.	B
5.	A

KAYNAKÇA

- URLU Ceylan, **Lokomotif Bilgisi**, TCDD Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Eskişehir, 1990.
- ÖREKÇİ Özgür, **Bitirme Tezi**, Osmangazi Üniversitesi MMF Makine Mühendisliği Bölümü, 1998.