

Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133)
2015-2016 Güz Yarıyılı

Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoğlu
Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

Ders Bilgileri

Dönemiçi ders planı

Hafta	Tarih	Konu
Hafta1	15.09.2015	Ulaştırma ve Demiryolu Mühendisliğine Giriş
Hafta2	22.09.2015	Demiryolu Araçlarının Özellikleri, Nadal Kuramı
Hafta3	29.09.2015	Demiryolu Araçlarının Çekim Mekanığı
Hafta4	06.10.2015	Demiryolu Araçlarının Çekim Mekanığı
Hafta5	13.10.2015	Geçki Geometrik Özellikleri (Yatay Kurbalar, Dever, Birleştirme Eğrileri)
Hafta6	20.10.2015	Geçki Geometrik Özellikleri (Eğimler)
Hafta7	27.10.2015	Güzergah-Geçki Araştırması ve Etüd, Trafik, Hat Kapasitesi
Hafta8	03.11.2015	Demiryolu Üstyapı Elemanları
Hafta9	10.11.2015	Toprak İşlerine Giriş, Temel Kavramlar, Dönemiçi 1. Sınav
Hafta10	17.11.2015	Toprak İşlerinde Enkesit Alanları ve Hacimleri
Hafta11	24.11.2015	Kütleler Diyagramı ve Toprak Dağıtımı
Hafta12	01.12.2015	Genel Yönteme Göre Toprak Dağıtımı
Hafta13	08.12.2015	Brückner Yöntemine Göre Toprak Dağıtımı
Hafta14	15.12.2015	Kazı Yöntemleri ve Kullanılan Mekanik Araçlar
Hafta15	22.12.2015	Dönemiçi 2. Sınav



Demiryolu Taşıtlarının Çekim Mekanığı

Harekete Karşı Koyan Direnimler

- Harekete karşı koyan direnimler genelde hıza bağılı olmakla birlikte, deney sonuçlarına göre; arabaların türüne ve tipine, arabaların ağırlıklarına, atmosfer koşullarına, kullanılan yağların niteliğine, hat ve arabaların bakım koşullarına, ray boy ve ağırlıklarına, vagon yükleme biçimlerine ve katar kompozisyonlarına göre iç tepkilere bağılıdır. Harekete karşı koyan direnimler, hareket yönüne karşıt yöndedir (-).
- Demiryol arabalarından oluşan bir dizi, eğimsiz ve kurbsuz bir yol kesiminde hareket ediyor olsa da, hareketine karşı koyan bazı direnimler vardır. Ayrıca; hattın eğimi, kurbalar ve tünel vb gibi sanat yapıları da ek direnimlere neden olur. Dolayısıyla direnimler:
 - Doğru ve düzlükteki direnimler,
 - Hat direnimleri (eğim, kurba, tünel direnimleri)



Direnim, Çekim ve Frenleme Kuvvetleri

Direnimler:

- Doğru ve düzlükteki direnimler
 1. Dingil başlarındaki sürtünmeden kaynaklanan direnimler
 2. Yuvarlanma direnimi
 3. Koşum-askı takımlarınca oluşturulan direnimler
 4. Hava direnimi
- Hat direnimleri
 1. Yatay kurb direnimi
 2. Eğim direnimi
 3. Tünel direnimi



Direnimler

1. Dingil Başlarındaki Sürtünmeden Kaynaklanan Direnimler: Demiryol arabalarında şasi, dingile, dingil başlarını yarım daire şeklinde kavrayan yataklar yardımıyla oturur. Dingil döndükçe, yatak çevresindeki yastıkla dingil arasında bir sürtünme kuvveti oluşur ve bu, enerji kaybına neden olur (demerajda enbüyüktür). Bunun nedeni, yağın ısısının düşük olmasıdır. Demerajdan önceki durma evresinin uzun olması durumunda bu direnim büyür.

2. Yuvarlanma Direnimleri dört ayrı nedenle belirlenir:

- Raylar üzerinde yuvarlanmadan kaynaklanan direnimlerin bir kısmı tekerlek ve rayın şekil değiştiğinden kaynaklanır,
- Bandajdaki koniklik nedeniyle, tekerlek-ray teması geniş bir yüzeyde olur. Arabalar her zaman raylara paralel bulunmaz, dolayısıyla, yuvarlanma çaplarının farklı olmasıyla tekerleklerden biri kayar, aşınma ve sürtünme olur.
- Kısa boylu raylı hatlarda conta yerlerinde çarpma direnimi oluşur.
- Araba yörüngesiyle yol yörüngesi gerçekte tamamen çakışmaz. Bununla ray arasındaki teması bağı olarak araçlar sinüsoidal lase hareketi yapar, dolayısıyla, rayla tekerlek arası sürtünme oluşturur.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

Slide 5

Direnimler

3. Arabaların Koşum ve Askı Takımlarının Oluşturduğu Direnimler: Arabaların birbirlerine bağlanmalarını sağlayan düzenek içerisinde varolan metal parçaların birbirlerine sürtünmesiyle, harekete karşı direnim kuvveti doğuran parazit kuvvetler oluşur. Bu direnimler önemli değildir.

4. Hava Direnimi oluşturan olaylar:

- Hava akımının; katarın, dolayısıyla, öndeki lokomotifin ön yüzeyine çarpması,
- Yandaki hava akımlarının, arabanın yan yüzeyine sürtünmesi,
- Arabalar arasındaki boşluklarda oluşan hava hareketleri,
- Havanın, diziye ait son araba arkasında oluşturduğu emme etkisi.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

Slide 6

Direnimler

Doğru ve Düzlükteki Toplam Direnimler

- Teorik olarak belirlenebilecek direnimler, pratikte deneyler sonucu bağıntılarla ifade edilebilirler.
- Doğru ve düzlük direnimleri; çekici ve çekilen arabalar için, çekici arabadaki motorla yürütücü dingiller arasında iletim düzenine bağlı olarak farklıdır (çekicilerde direnim daha büyüktür).
- İki araba tipi için varolan direnim farklılığından dolayı, bağıntılar tipe özgün çıkarılmalıdır.
- Bir lokomotifin ağırlığı biliniyorsa, lokomotifin tümüne karşı koyan toplam direnim:

$$W_0^L = f(V, G_L, G_a) \text{dır.}$$



Direnimler

Doğru ve Düzlükteki Toplam Direnimler

- $W_0^L = f(V, G_L, G_a)$
- Lokomotifte ton başına direnim ' w_0^L ', motor-motris arası iletim düzeninden dolayı vagonlardakine göre büyüktür. Oysa, bir trende lokomotifin kancasında çekilen yük farklı olabileceği için, toplam direnim yerine ton başına düşen ve 'özgül direnim' denilen direnim formüleştirilmelidir. Çoğu zaman çekici ve çekilen arabalardan oluşan trenin tümüne ilişkin özgül direnim bağıntıları yeterli olabilir. Özgül direnim bağıntılarının genel formunda 'b' katsayısı çok küçük olduğu için ihmal edilebilir:

$$w_0 = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \rightarrow w_0 = a + c \cdot V^2$$

Bu durumda katarın ağırlığı ' G ' olmak üzere, $W_0 = w_0 \cdot G$ olur.



Direnimler

Hat Direnimleri: Doğru ve düzlük direnimlerine ek olarak, yatay kurb-eğim-tünel gibi hat özelliklerine göre hat direnimleri söz konusudur.

1. Yatay Kurb Direnimi oluşturan olaylar:

- Tekerlekte bulunan konikliğin, kurb çapına uygun olmamasından dolayı tekerleklerden birinin kayıp aşındırma ve direnim oluşturmaları,
- Dingillerin birbirlerine paralel bulunmasından dolayı, rayları kesme ile direnim oluşturmaları,
- Vagon başına düşen çekim kuvvetinin bir poligon oluşturması sonucu kayıp kuvvetin direnim olarak ele alınması,
- Budenle ray mantarının iç yanakları arasında sürtünmesinden ve tamponların birbirine sürtünmesinden oluşan direnimler.

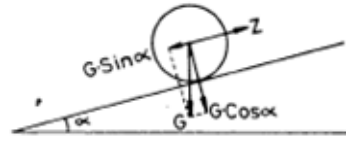


INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 9

Direnimler

2. Eğim Direnimleri: Çıkış yönünde ve tren ağırlığının yuvarlanma yüzeyine paralel bileşeninden oluşur. İniş yönünde çekime katkı sağlar.



- Eğim direnimini belirlemek için, eğimli ve eğimsiz kesimlerin direnimleri ifade etmek gerekir:
$$W = w \cdot G \Rightarrow W' = (w \cdot G \cdot \cos \alpha) + (G \cdot \sin \alpha)$$
- Eğim direnimi: $W_s = W' - W \Rightarrow W_s = (G \cdot \sin \alpha) - w \cdot G \cdot (1 - \cos \alpha)$
- $\alpha \rightarrow 0 \Rightarrow (1 - \cos \alpha) = 0$ ve $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ olur!
- Burada, varsayımlardan kaynaklanan hata oranı $\sim 1\%$.
- eğim $\operatorname{tg} \alpha' \Rightarrow W_s = G \cdot \operatorname{tg} \alpha$
- $w_0 \rightarrow (\text{kg/t})$, eğimin her 1% 'lik değeri için katar ağırlığının tonu başına $1 \text{ kg}'lık$ direnim oluşur



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 10

Direnimler

3. Tünel direnimi:

- katar hızına-uzunluğuna-aerodinamik yapısına
- tünel uzunluğuna-havalandırma koşullarına-iç duvar pürüzlülüğüne
- katar-tünel kesitleri oranına

Kuranyi bağıntısı:

- 'Ç' ve 'C' tünel ve açık havadaki direnim katsayıları,
- 'A' katar enkesit alanı
- 'n' katardeki araba sayısı
- 'S' tünel kesit alanı
- 'q=A/S'
- 'a' ve 'b' aerodinamik yapı katsayıları
- 'L_t' km cinsinden tünel uzunluğu

$$C_t = f(q, L_t) \text{ ve } C = a \cdot \frac{b}{n}$$
$$w_t = 0.193(C_t - C) \cdot A \cdot \frac{n}{G} \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2$$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 11

Direnimler

Toplam direnim

- Doğru ve düzlükteki özgül direnim: $w_0 = \frac{W_0}{G} = \frac{W_0^L + (w_0^w \cdot G_w)}{G}$
- Özgül kurb direnimi: $w_r = \frac{a}{R} \quad (a \rightarrow 700 \approx 800)$
- Özgül eğim direnimi: $w_s = \frac{W_s}{G} = S$
- Özgül tünel direnimi: w_t

$$W = W_0^L + (w_0^w \cdot G_w) + (G(w_r + w_t \pm S))$$

$$W = G(w_0 + w_r + w_t \pm S)$$

Doğru ve düzlükteki direnim kuvvetleri, hızın fonksiyonu olarak ifade edilebilir: $W_0 = F_2(v)$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

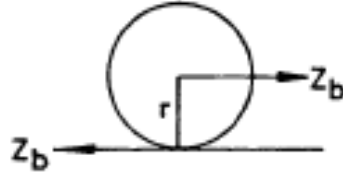
Slide 12

Çekim Kuvveti

Yuvarlanma Hareketinin Oluşumu

- Kara ulaştırma araçları hareketlerini, tekerleklerinin yuvarlanma hareketi yapması ile yapar. Bu hareketi yapabilmek için, tekerleğin temas noktalarında kayma olmaması gerekir (tekerlek ve raydaki temas noktalarının birbirlerine göre hızları sıfır olmalı).

Tekerleğin yuvarlanma hareketi yapabilmesi için; buharlı lokomotiflerde buhar kazanında, elektrikli ve dizelli lokomotiflerde ise motorda üretilen güç yardımıyla tekerlekte 'M' döndürme momenti ve dolayısıyla tekerlek bandajında 'Z_b' çekme kuvveti oluşturulur. 'M' döndürme momenti; biri tekerleğin merkezinde, diğeri de tekerleğin temas noktasında uygulanan bir kuvvet çiftidir.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

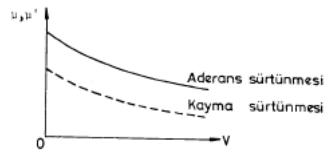
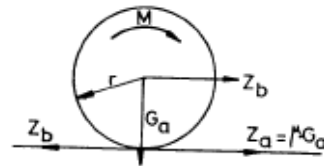
Slide 13

Çekim Kuvveti

Yuvarlanma Hareketinin Oluşumu

- Söz konusu kuvvet çiftinin tekerlekte yuvarlanma hareketini oluşturabilmesi için; bandajdaki 'Z_b' çekme kuvvetinin, tekerleğin rayla temas ettiği noktada kendine ters yönde ve enaz kendisi kadar bir tepki kuvvetinden destek alması gerekir. Gerçekte, bu desteği veren ve tekerleğin yolda kaymaksızın yuvarlanmasını sağlayan bir 'aderans kuvveti' oluşur.

Bu kuvvet; tekerleğe binen yük 'G_a' ile tekerlek-ray arası aderans katsayısı 'μ'nün çarpımından oluşur. 'G_a'ya 'aderans ağırlığı' denir. 'Z_b > μ · G_a' olursa, yuvarlanma hareketi yerine dingillerle birlikte tekerlek kendi etrafında döner (patinaj). Patinajla birlikte aderans sürtünmesi 'μ'nün yerini kayma sürtünmesi 'μ'' alır. 'μ'', 'μ'den oldukça küçüktür. 'Z_b' düşürülmedikçe, patinaj devam eder. 'μ' ve 'μ'', hız arttıkça azalır.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 14

Çekim Kuvveti

- Aderans katsayısı; kaymaya neden olmaksızın tekerleğe uygulanabilecek enbüyük çekim kuvveti ' Z_{bmax} 'ın tekerleğe binen yüke oranı olarak tanımlanabilir.
- Aderans; temas yüzeyinin pürüzlülüğü, kuru-ıslaklığı ve yağlı oluşuyla ilgilidir.
- Aderansın; temas eden yüzeyler arasındaki moleküler çekimle ilgisi olduğu ileri sürülse de, henüz tam olarak ispatlanamamıştır.

Dolayısıyla:

- Bir lokomotifin uygulayabileceği çekim gücü, aderans kuvveti ile sınırlıdır.
- Uygulanabilecek çekim gücünü arttırmak için, kum dökülerek aderans sürtümesi büyütülebilir.



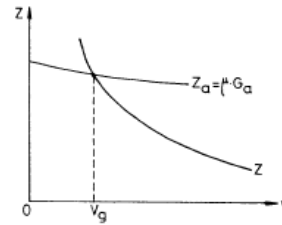
Çekim Kuvveti

Çekim Kuvvetinin Oluşumu

- Hareket; değişik enerji kaynaklarından yararlanarak çalışan motorların, yürütücü tekerleklere ilettiği döndürme momenti ile oluşur.
- ' r ' tekerlek yarıçapı olmak üzere, $M=Z_b \cdot r$ 'dir.
- Güç, çekim kuvveti ve hız arasında $N=Z \cdot v$ bağıntısı geçerlidir.
- Demiryolculukta hız km/sa, çekim gücü de Bb ya da kW ile ifade edilmektedir.
- $1Bb=75kgm/sn$ ve $1kW=1.36Bb$ ise, Bb ve kW cinsinden güç bağıntıları sırasıyla:

$$N_{Bb} = \frac{Z \cdot v}{3.6 \cdot 75} = \frac{Z \cdot v}{270} \quad \text{ve} \quad N_{kW} = \frac{Z \cdot v}{270 \cdot 1.36} = \frac{Z \cdot v}{367}$$

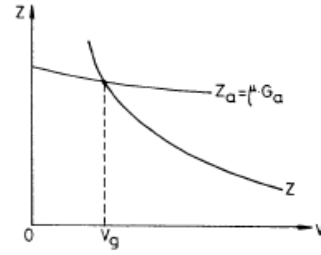
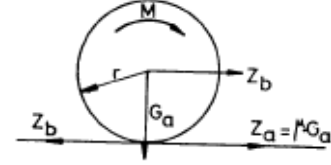
' v_g 'ye kadar aderans kuvveti geçerli olup bu bölgeye 'aderans bölgesi', bundan sonra motorda üretilen çekim kuvvetinin geçerli olduğu bölgeye de 'motor bölgesi' denir. Çekim gücü için de aynı geçerlidir. Sonuçta; çekim kuvveti, hızın fonksiyonudur: $Z=F_1(v)$.



Çekim Kuvveti

Çekim kuvveti:

- Güç: N
- Döndürme momenti: M
- Çekim kuvveti: Z_b
- Aderans kuvveti: Z_a
- Aderans sürtünmesi: μ
- Aderans ağırlığı: G_a



Çekim kuvveti, hızın fonksiyonu olarak ifade edilebilir: $Z = F_1(v)$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 17

Çekim Türleri

Çekim Türleri:

- Buharlı çekim
- Elektrikli çekim
- Dizel çekim

Buharlı çekim: Isı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için ısı veren bir maddenin yakılması, kazandaki suyun buhara dönüştürülerek buhar gücünü buhar makinesinin çalıştırılması..

- Ocağı olan bir kazan kısmı,
- Buhar basıncını mekanik enerjiye çevirecek buhar makinesi,
- Kazan ve buhar makinesini taşıyan şasi,
- Hareketi sağlayan dingil,
- Su ve kömür stoklarını taşıyan 'tender' denilen araba.



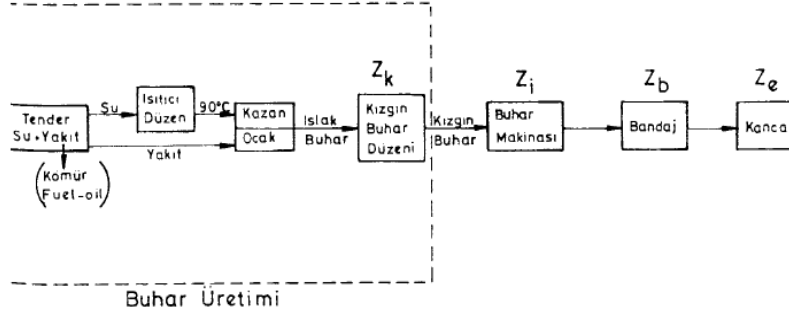
INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 18

Buharlı Çekim

Buharlı lokomotifte 4 ayrı güç (kuvvet):

- kazanda,
- buhar makinesinde,
- bandajda,
- kancada.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 19

Buharlı Çekim

Kazandaki çekim gücü:

- N_k : kazandaki çekim gücü
- C : kazanda bir saatte üretilen buhar (kg)
- c : birim güç (Bb) üretmek için gerekli saatlik buhar miktarı (kg)
- c' : ekonomik hızda birim güç elde etmek için gerekli buhar miktarı
- ξ : düzeltme katsayısı

$$N_k = \frac{C}{c}$$

$$N_k = \frac{C}{(1 + \xi) \cdot c}$$

$$N_{k \text{ maks}} = \frac{C}{(1 + \xi) \cdot c'}$$

Aderans ağırlığının artırılması: **akuple dingiller..**

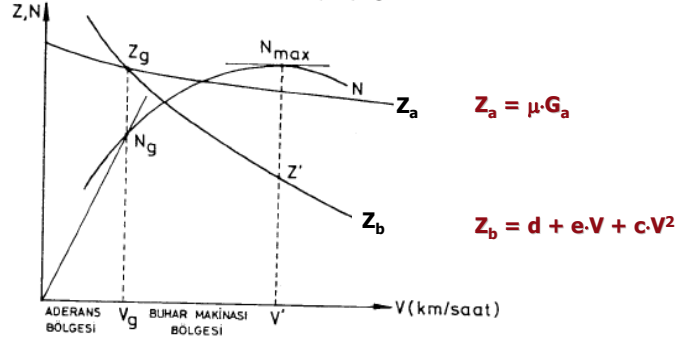


INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 20

Buharlı Çekim

Buharlı Lokomotiflerde (Z-V) ve (N-V) Eğrileri



'Z_a' ve 'Z' eğrilerinin kesişim noktası 'V_g',
 Hız, geçiş hızından küçükse; 0 < V < V_g aderans bölgesi,
 Hız, geçiş hızında büyükse; V_g < V < V_{maks} motor bölgesi.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
 Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
 October 14, 2015

Slide 21

Buharlı Çekim: Buharlı Lokomotiflerde Yakıt Tüketimi ve Verim

- η_k : kazan verimi $\eta_k = \frac{\text{ocakta yakılan yakıtın kazandaki suya geçen kısmı}}{\text{ocakta yakılan yakıtın enerji karşılığı}}$
- η_t : termodinamik verim $\eta_t = \frac{1 \text{ Bb güc karşılığı olan enerji}}{1 \text{ Bb indike güc başına harcanan saatlik (c) kg buhar karşılığı enerji}}$
- η_i : mekanik verim $\eta_i = \frac{\text{bandajda üretilen enerji}}{\text{buhar makinesinde üretilen enerji}}$
- R: ekonomik verim ($R = \eta_k \cdot \eta_t \cdot \eta_i$) $R = \frac{\text{bandajda tüketilen enerji}}{\text{ocakta yakılan yakıtın enerji karşılığı}}$

$\eta_k = 0.79$, $\eta_t = 0.14$, $\eta_i = 0.96$ değerlerine göre; ekonomik verim $R \cong 0.106$ alınabilir.

Lokomotifin çekim gücü; kazan özellikleri; buhar makinesi özellikleri ve aderans kuvveti ile sınırlıdır..



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
 Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
 October 14, 2015

Slide 22

Elektrikli Çekim

- Elektiriğin demiryolu çekiminde ilk kullanımı 1895'te Baltimore-Ohio hattının yeraltından geçen kesiminde olmuştur.
- Yaygınlaşan elektrikli çekim, yoğun trafikli ve eğimli hatlarda uygulandı.
- Trafiğin belirli bir sınırı geçmesinden sonra elektrikleme işleminin ekonomik hale gelmesi; elektriklemenin santral, enerji nakil hatları ve diğer tesisler için yatırımlara gereksinim duymasındandır.
- Elektrik enerjisinin, termik santraller yerine hidroelektrik santrallerde elde edilmesi, elektrikli çekime yönelime neden olmuştur.
- Türkiye'de ilk kez 1956'da Sirkeci-Halkalı (28 km) hattı, sonra 1969'da Haydarpaşa-Gebze (44 km) ve daha sonra Ankara-Sincan (26 km) hattı elektrikleştirilmiştir.
- Tramvay hatlarında esinlenilmi, 500-600 voltu aşamaması ve uzun hatlarda temas hattındaki gerilim düşüklüğünden dolayı farklı çekim türlerine yönelinmiştir.
- Gerilim düşüklüğü; uzaklıkla doğru gerilimin karesiyle ters orantılı olması nedeniyle, gerilimin artırılmasının uygun olacağı düşünüldü. Ancak 600 volt üzerin gerilim üretecek doğru akım motorları üretilmediği için yüksek gerilim için alternatif akımdan faydalanıldı.
- Elektrikli çekimde 3 tür akım: Doğru, Trifaz, Monofaz



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

Slide 23

Elektrikli Çekim

- **Doğru akımla çekim:** Doğru akım uzağa iletmeye elverişli olmadığından, üretilen yüksek gerilimli trifaz akım, transformatörlerle iletim hattı gerilimine yükseltilir, sonra tali santrallerde iletim hattı gerilimine indirgenir ve sonra alternatif akım, doğru akıma dönüştürülür.
- Temas hattı bir nakil tel, ray toprak hattı görevi yapar.
- Doğru akımla çekimde gerilim türleri: Alçak (600-750-800 volt), Orta (1500volt), Yüksek (3000 volt ve üzeri)
- **Trifaz akımla çekim:** Monofaz akım motorları yokken ve 600volt üzeri doğru akım motorları üretileniyorken, 3000 voltgerilimli trifaz akım motorları üretilmiş..
- Trifaz akım sisteminde sabit tesisler, doğru akım çekimdekine benzer, akım dönüşümü yapmaya (tali santrallere) gerek yoktur.
- Temas hattı, yere ve birbirine izole 2 nakil tel ve yere izole 2 sürtücü. Ray toprak hattı görevi yapar.
- 4500-5000-6000 volt gerilimli trifaz akım, motor konstrüksyonu ve iletim ağırları üzerindeki etkilerinden dolayı 16 2/3 alçak frekanstadır
- **Monofaz akımla çekim:** Gerilimler genellikle 15000-25000 volt, kullanılan alçak frekans ise trifaz kullanımına benzer
- Temas hattı bir nakil tel, raylar toprak hattı görevi yapar
- **Karışık akım türleri ile çekim** (mono-trifaz, monokontinü..)



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

Slide 24

Elektrikli Çekim: Elektrikli Lokomotiflerde Verim

- R_T : temas hattı verimi (tali santral-lokomotif arası)
- R_S : tali santral verimi (tali santrale gelen akımın gerekli dönüşüme kadar kayıpları)
- R_N : nakil hattı verimi
- R_I : enerji üretilen santralin verimi

- R_L : asıl verim $R_L = \frac{\text{bandajda elde edilen enerji}}{\text{temas hattından çekilen enerji}} \rightarrow \text{ortalama } 0.85$

- R : toplam verim $R = R_L \cdot R_T \cdot R_S \cdot R_N \cdot R_I$

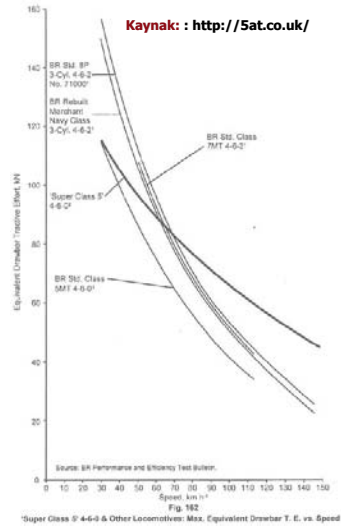
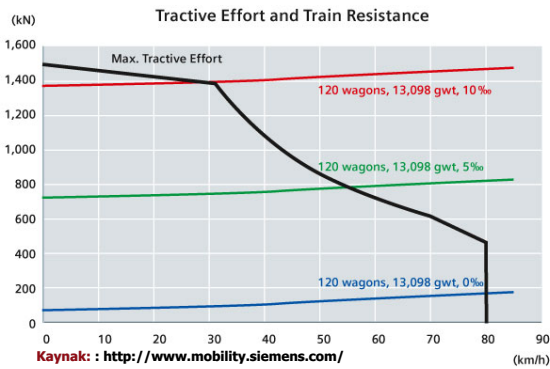
- Termik santrallerde enerji üretilmesi durumunda verim, yakıt harcamasından hesaplanabilir.
- İstatistiklere göre; 100 ton-km başına yakıt tüketimi elektrikli çekimde 2 kg, buharlı çekimde ise 4 kg'dır.



İNS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 25

Elektrikli Çekim: Z-V Eğrileri



İNS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 26

Dizel Çekim

- Daha çok, su kaynakları arası uzaklığın 700km'yi aştığı Avustralya ve Afrika çöllerinde kullanılmış.
- Uzun mesafe dizel lokomotiflerinin güçleri 2000-4250Bb arası değişmekte.
- Diğer lokomotiflere göre farkı, transmisyon düzenidir. Dizel motorunun döndürdüğü ana 'krank' mil, dönел hareketi transmisyon düzeni ile motris dingile iletir. Tender yoktur, motor yakıtı mazot için depo vardır.
- İlk dizel motorları çok silindirlil (6, 8, 10, 12, 16) ve 4 zamanlıdır (en hızlısı 110devir/dakika). Her silindir bir gövde içinde, gövde de içinde hareket eden bir piston ile pistonu bağılı muyludan ibarettir.
- Yapısı, korunması ve çalışmasının ekonomik olması bakımından dizel motorların dakikalık devir sayısı, çok az sınırlar arasında oynamalı ve olabildiğince rejim hızında çalışmalıdır. Dizel motorlar yük altında çalışamaz ve demeraj yapamaz, dolayısıyla, motor rejim hızına erişene dek, krank miliyle motris dingil bağıını çözükle tutup, eriştiğinde kavramayı sağlayacak bir düzene gereksinim duyulur.

- kavrama düzeni
 - şanzıman
- } Transmisyon düzeni



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 27

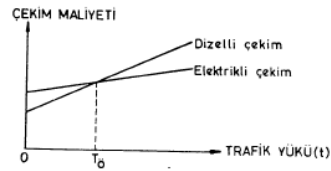
Çekim Türlerinin Karşılaştırılması

Karşılaştırma için ölçütler:

- Tesis
- Çekim gücü
- Hazırlık, bitim işleri ve bakım
- Katedilen yıllık mesafe
- Enerji verimliliği
- Yatırım maliyeti
- İşletme maliyeti

BUHARLI	DIZELİ	ELEKTRİKLİ
Sabit Tesis Yok		Sabit Tesis Var
Çekim gücü, hızlanma ve rampa aşma olanağı		
Hazırlık, bitim hizmetleri ve bakım		
% 5-6	% 26-30	% 26-30
Enerji Verimliliği		
Yatırım Maliyeti		
İşletme Maliyeti		

Gelişmekte olan bazı ülkeler dışında, buharlı çekim terk edilmiştir. Dizel ile elektrikli arasındaki seçim de işletilen hat üzerindeki tonaja, ya da trafik yükü anlamına gelen çekim enerjisine, bağılıdır. Yanda; dizelli ile elektrikli çekimin, maliyet-trafik yükü eğrileri gösterilmiştir. Kesişim noktası, enerji maliyetine bağılı olarak ülkeden ülkeye değişmektedir.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 28

Frenleme Kuvveti

İşletmenin normal gereklerini yerine getirmek, emniyeti sağlamak ve seyir süresini kısaltmak amacıyla kullanılır:

- Kapalı işaret karşısında katarları durdurmak
- İstasyonlarda normal durma
- İnişlerde zararlı eğim olması durumunda frenleme

Çarıklı frenler, fren etkisinin uygulanması yönünden:

- El Frenleri
- Sürekli Frenler (Direkt Frenler, Otomatik Frenler)
- Seri Etkili Frenler
- Ayarlanabilir Frenler

Frenleme etkisinin yaratılması yönünden frenler 2 türdür: i- basınçlı havalı, ii- hava boşaltmalı.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

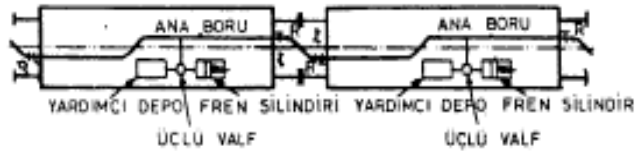
October 14, 2015

Slide 29

Basınçlı Havalı Frenler

Fren, katarı boydan boya kateden bir boru (ana boru), lokomotifteki bir kompresörde üretilen ve 'ana depo' denilen bir depoya basılan basınçlı hava yardımıyla yapılır.

Normal koşullarda (frensiz); vagondaki yardımcı depo, ana depodan gelen ve üçlü valf sayesinde içine giren basınçlı hava ile dolu ve üçlü valf sayesinde fren silindiri (hava ile temasta) ile bağlantısı kesiktir.



- Ana boru
- Ana depo
- Yardımcı depo
- Fren silindiri
- Üçlü valf



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

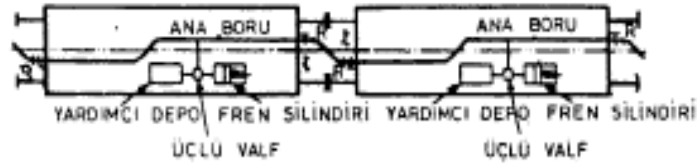
Slide 30

Basınçlı Havalı Frenler

Frenleme anında; lokomotifteki komuta musluğu yardımıyla ana borudaki basınçlı hava boşaltılır, üçlü valfin aldığı yeni durumla fren silindiri (açık hava ile teması kesilir) ile yardımcı depo bağlantısı sağlanır.

Böylece yardımcı depodaki hava genişlerken silindir pistonunu iter, piston koluna gelen basınç kuvveti, manivela fren çubuklarından oluşan bir mekanik düzen aracılığıyla çarıklara geçer ve tekerlek bandajına kuvvet uygulanmış olur.

Bu tür frenle donatılmış bir katarın kopması durumunda ana borudaki hava boşalacağından, frenleme otomatik olarak sağlanır (basınçlı havalı fren bir sürekli otomatik frendir).



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

Slide 31

Fren Kuvveti

Yolcu trenlerinde vagonların tümü, yük trenlerinde vagonların belirli bir kısmı frenlidir. Fren silindirinden gelen kuvvet 'P', her tekerlekteki 2 adet çarığa manivela çubuklar yardımıyla intikal eder. Silindirden geçen kuvvet; manivela kolları oranlarına göre 'i' büyütme katsayısıyla büyütülüp, fren çubuklarındaki sürtünme ve silindir-çarık arası kuvvet kayıplarından dolayı 'η' verim katsayısıyla küçültülür.

Vagon çarıklarının tümüne gelen kuvvet K :

- n: vagondaki çarık sayısı
- F: çarığın bandajla temas yüzey alanı
- k: birim yüzeye düşen basınç

} vagon çarıklarının tümüne gelen kuvvet
/ $K = k \cdot n \cdot F$

Vagon çarıklarının tümüne gelen kuvvet K :

- q: silindir pistonuna gelen basınç
- S: piston yüzey alanı
- i: büyütme katsayısı
- η: verim (küçültme) katsayısı

} $K = i \cdot \eta \cdot q \cdot S$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

Slide 32

Fren Kuvveti

Bandaja ulaşan 'K' kuvvetinden itibaren, çarıkların bandaja sürtünmesinden doğan ve frenlemede harekete karşı kuvvet olan fren kuvveti 'p_f', bandaj çarık arası sürtünme 'μ_f' olmak üzere (kuvvet [kg], alan [cm²], basınç [kg/cm²], sürtünme [kg/t]):

$$p_f = K \cdot \mu_f \Rightarrow p_f = \frac{u \cdot q \cdot n \cdot F \cdot \mu_f}{1000}$$

Sürtünme yüzeylerinin tamamen temiz bulunması durumunda fren kuvvetinde oluşacak küçülmenin %20 dolayında olduğu varsayılarak 'N' adet vagondaki toplam fren kuvveti:

$$\sum_{i \in N} p_f = \frac{\sum_{i \in N} (0.80 \cdot u \cdot q \cdot n \cdot F \cdot \mu_f)}{1000}$$

katarm tonu başına fren kuvveti

$$p_f = \frac{\sum_{i \in N} p_f}{G_L + G_V} = \frac{\sum_{i \in N} (0.80 \cdot u \cdot q \cdot n \cdot F \cdot \mu_f)}{1000 \cdot (G_L + G_V)}$$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 33

Basıncı Havalı Frenler

'q' ve 'μ_f', sabit olan diğer parametrelerin aksine, fren kuvvetinin zamana ve hıza göre değişimini belirler.

Sürekli frenlerde hava basıncı, aniden en büyük değere ulaşamaz.

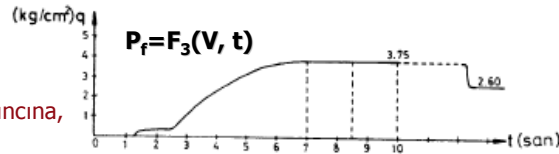
Bu basınç değişimi, grafik olarak ya da bağıntılarla ifade edilebilir.

Örnek olarak Kunze-Knorr freninin $q=f_1(t)$ fonksiyon grafiği verilmiştir.

Çarıkla bandaj arasındaki

'μ_f' sürtünmesi;

- hıza,
- birim alandaki fren basıncına,
- maden sertliğine,
- sıcaklığa,
- hava rutubet durumuna göre değişken



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 34

Fren Yüğü ve Fren Katsayısı

Fren kuvveti, aderans bölgesindeki çekim kuvvetine benzer biçimde, istenildiği kadar büyütülemez.

Çünkü, ağırlığı 'G₁' ton olan vagona uygulanan fren kuvveti p_f=K·μ_f yuvarlanmayı sağlayan G₁·μ kuvvetinden büyük olursa, çarıklar tekerleklerle mihanır ve yuvarlanma hareketi yerini kayma hareketi alır.

Bu durumda, fren kuvveti yerini G₁·μ' gibi yeni bir sürtünme kuvveti alır [(μ' < μ, μ_f): f(V)]. Bu durumda, aşağıdaki eşitsizliğin sağlanma zorunluluğu doğar:

$$\mu_f \cdot K < \mu \cdot G_1 \quad \text{ya da} \quad K < \frac{\mu}{\mu_f} \cdot G_1 \quad \alpha = \frac{\mu}{\mu_f} \Rightarrow \frac{K}{\alpha} < G_1 \quad (\text{fren yükü: } (K/\alpha) = |G_{f1}|)$$

$$\mu = 0.104, \mu_f = 0.15 \Rightarrow \alpha = 0.7 \\ \text{Fren tipi etkisini hesaba almak için } \gamma \text{ kullanılır } (\gamma: f(q)): \quad |G_{f1}| = \gamma \cdot \frac{K}{0.7}$$

$$\beta_1 < 1 \text{ olmak üzere; } \frac{K}{\alpha} < G_1 \rightarrow \frac{K}{\alpha} = |G_{f1}| = \beta_1 \cdot G_1 \quad (\text{fren katsayısı: } \beta_1).$$



Fren Yüğü ve Fren Katsayısı

$$\beta_1 < 1 \text{ olmak üzere; } \frac{K}{\alpha} < G_1 \rightarrow \frac{K}{\alpha} = |G_{f1}| = \beta_1 \cdot G_1 \quad (\text{fren katsayısı: } \beta_1).$$

$$\text{'N' adet vagonadan oluşan katar için: } \sum_{i \in N} (G_{f1})_i = \sum_{i \in N} (\beta_1 \cdot G_1)_i = \beta \cdot G$$

(β katarın tümünün fren katsayısı).

Frenlemede sorun; belirli fren türü, 'q' basıncı ve yol koşullarına göre katarın 'Y' uzaklığında durmasını sağlayacak 'β'yi ya da aynı koşullarda 'β' belirli ise 'Y'yi hesaplamaktır.



Çekim, Direnim, Frenleme

$$Z=F_1(v)$$

$$W_0=F_2(v)$$

$$P_f=F_3(v, t)$$



Öncesi

Taşıt - Yol İlişkisi:

- Demiryolu Taşıtlarının Türleri ve Özellikleri
- Dingil Takımı Özellikleri
- Dingillerin Hat Üzerindeki Davranışları
- Lokomotif Dinamiği
- Çekim, Direnim, Frenleme

$$Z=F_1(v) \quad W_0=F_2(v) \quad P_f=F_3(v, t)$$



Katar Genel Hareket Denklemi

Bağımsız ya da diziler halinde seyreden taşıtlarla yol arasında ilişkiler vardır.

- Sistem türüne,
- Taşıt özelliğine,
- Taşıtların dizi oluşturma biçimine,
- Taşıt – yol arası temas yüzeyinin şekline,

bağlı değişen bu ilişkiler, taşıtın 4 evredeki hareketini belirler.



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

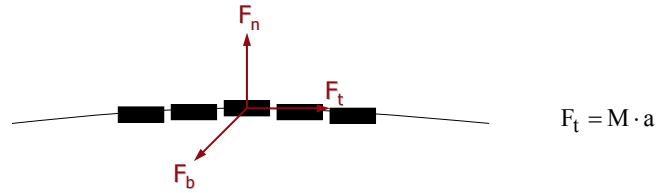
October 14, 2015

Slide 39

Katar Genel Hareket Denklemi

Katarın herbir elemanı, mekanikteki genel yasalara uyar, herbir elemanın denklemi yazıldıktan sonra, ilişkileri ifade eden bağlayıcı denklem yazılıp katarın tümünün hareketi ifade edilir.

Güç ve karmaşık bu işlemde kaçınmak için; katarın tüm kütesinin ağırlık merkezinde toplandığı varsayılarak katar hareketi, maddesel bir noktanın, belirli ve sabit bir yörünge boyunca hareketine indirgenir:



$$\Rightarrow F_t = M \cdot (1 + \xi) \cdot \frac{dv}{dt}$$

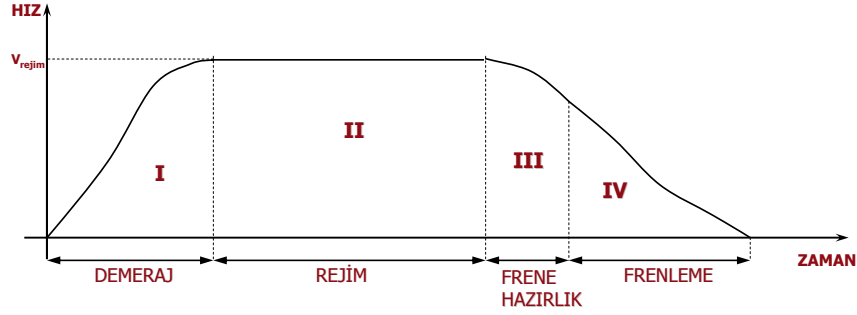


INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu

October 14, 2015

Slide 40

Katar Hareket Evreleri



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 41

Katar Hareket Evreleri: Demeraj

Soru(n)lar:

- İlk hareketin sağlanması denetimi ($Z_a \geq Z_b > W$),
- Belirli taşıt ve yol özelliklerine göre; demeraj süresi t_d , demeraj uzaklığı l_d ve harcanan enerji hesabı,
- Belirli taşıt özellikleri, t_d ve l_d 'ye göre yol özelliklerinin (S, R) belirlenmesi,
- Belirli yol özellikleri (S, R), t_d ve l_d 'ye göre taşıt özelliklerinin belirlenmesi.

$$Z_a \geq Z_b > W \Rightarrow F_t = Z_b - W > 0$$

$$F_t = M \cdot (1 + \xi) \cdot \frac{dv}{dt} = Z_b - W$$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 42

Katar Hareket Evreleri: Rejim

Hat ve katar özelliklerinin seçimi ve denetimiyle ilgili tüm sorunlar bu evre irdelenerek çözümlenir. Soru(n)lar:

- Belirli yol, trafik ve çekim özelliklerine göre belirli bir hızdaki katar ağırlığının belirlenmesi,
- Belirli bir bağlantı için optimum trafik ve çekime ilişkin verilere göre enbüyük ve ekonomik eğimlerin hesabı.

$$Z_a \geq Z_b = W \Rightarrow F_t = Z_b - W = 0$$

$$F_t = M \cdot (1 + \xi) \cdot \frac{dv}{dt} = Z_b - W = 0$$



Katar Hareket Evreleri: Frenlemeye Hazırlık

Yol ve fren özelliklerine bağlı olarak, katarın istenilen noktada durabilmesi için, belirli bir noktadan itibaren hızını belirli bir düzeye düşürmesi sonrası frenleme uygulanabilir. Dolayısıyla, çekme kuvveti uygulanmaz ($Z_b=0$).

$$Z_b = 0 < W \Rightarrow F_t = -W$$

$$F_t = M \cdot (1 + \xi) \cdot \frac{dv}{dt} = Z_b - W = -W$$



Katar Hareket Evreleri: Frenleme

- Belirli taşıt çekim ve yol özelliklerine göre frenleme uzaklığı ' l_f ' ve frenleme süresi ' t_f 'nin hesabı,
- Sinyalizasyona da bağlı olarak, belirli l_f , yol ve taşıt özelliklerine göre fren özelliklerinin belirlenmesi,
- belirli l_f , yol ve taşıt özelliklerine göre, frenlemeye geçilmeden önceki katar hızının hesabı.

$$Z_b = 0 < W \Rightarrow F_t = -P_f - W$$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 45

Sabit Direnimli Hat İlkesi

Belirli bir rejim hızıyla hareket eden katarın hareketine karşı koyan direnimler toplamının sabit kalması, işletme düzeni ve işletme ekonomisi yönünden istenen bir durumdur.

$$\text{Rejim hızında: } (dv/dt) = 0 \Rightarrow Z_b = W$$

$$Z_b = (G_L + G_V) \cdot (w_0 + w_r + w_t \pm S)$$

$$\text{Rejim hızında toplam hat direnimi } 'w_h': \quad w_h = w_r + w_t \pm S$$



INS351 Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendisliği (CRN: 13133), Güz 2015
Prof. Dr. Hilmi Berk Çelikoglu, Araş. Gör. Mehmet Ali Silgu
October 14, 2015

Slide 46

Sabit Direnimli Hat İlkesi

- Kurblu kesim için hat direnimi:

$$S_r = S - w_r \Rightarrow w_h = w_r + S_r \Rightarrow w_h = S$$

- Tüneli kesim için hat direnimi:

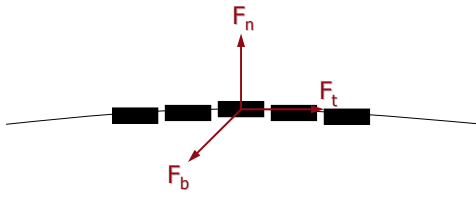
$$S_t = S - w_t \Rightarrow w_h = w_t + S_t \Rightarrow w_h = S$$

- Kurblu ve tüneli kesim için hat direnimi:

$$S_{r,t} = S - w_r - w_t \Rightarrow w_h = w_r + w_t + S_{r,t} \Rightarrow w_h = S$$



Katar Genel Hareket Denklemi



$$Z_b = F_1(v), \quad W_0 = F_2(v), \quad P_f = F_3(v, t)$$

$$F_t = M \cdot (1 + \xi) \cdot \frac{dv}{dt} = Z_b - W = F_1(v) - (F_2(v) + W_h)$$

$$\frac{G}{g}$$

$$\frac{10^3}{g} \cdot (1 + \xi) \cdot \frac{dv}{dt} = z_b - w = f_1(v) - (f_2(v) + w_h)$$

$$\rho$$

