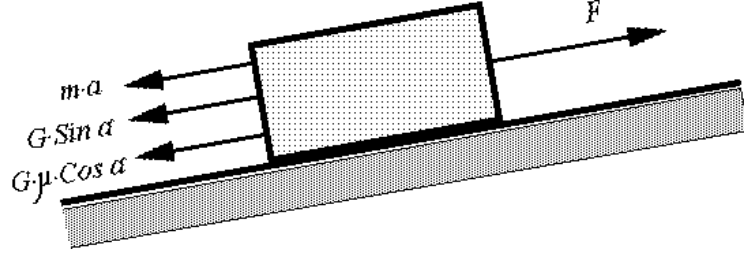


## 1- VAGON HAREKET DİNAMIĞI

Dinamik dersinde eğik düzlem üzerinde bir cismi hareket ettirmek için gerekli kuvveti aşağıda belirtildiği gibi hesaplamıştık;



Şekil 1- Eğik düzlemde hareket

$$F = G \cdot \mu \cdot \text{Cos}\alpha \pm G \cdot \text{Sin}\alpha \pm m \cdot a$$

Lokomotif nakliyatında yol eğimi % 0.5 'ten küçük olduğundan aşağıdaki kısaltmaları yapabiliriz.

$$\text{Cos}\alpha = 1 \quad \text{ve} \quad \text{Sin}\alpha = \text{tg}\alpha = i$$

Bu durumda yukarıdaki bağıntı;

$$F = G \cdot \mu \pm G \cdot i \pm m \cdot a$$
$$F_1 = G \cdot \mu$$
$$F_2 = G \cdot i$$
$$F_3 = m \cdot a$$

şeklini alır. Bu bağıntıda  $F_1$  ile gösterilen kuvvet, sürtünmeler nedeniyle oluşan hareket direncini gösterir ve bu kuvvet daima hareket yönüne ters yönde etkir.  $F_2$  kuvveti, ağırlık kuvvetinin yola paralel bileşenidir ve daima meyil aşağı etkir.  $F_3$  kuvveti ise hareket eden kütlelerin atalet kuvvetidir ve hızlanırken hareket yönüne ters; fren yaparken hareket yönü ile aynı yönde etkir. Şimdi bu kuvvetleri daha yakından inceleyeceğiz.

### 1.1- HAREKET DIRENCİ

Sürtünme kuvvetleri, mühendislik çalışmalarında hesabı en problemlili konular arasında yer alır. Bunun nedeni sürtünme kavramının içinde yatmaktadır. Hemen belirtmek gerekir ki; bizim burada söz konusu ettiğimiz şey cisimler arasındaki yüzeysel sürtünme değil, sürtünme kökenli harekete karşı dirençlerdir. Bu nedenle, bu dirençleri bundan böyle sürtünme değil de "hareket direnci" olarak

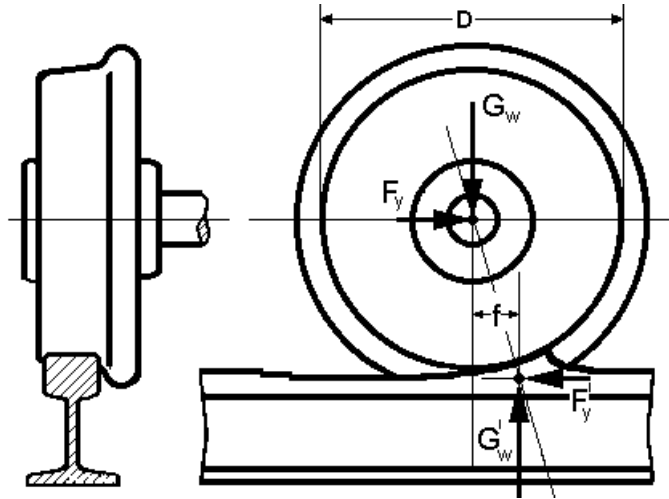
isimlendireceğiz. Hareket direncinin tanımını da şöyle yapacağız: Hareket direnci; bir vagonu yatay ve düz bir yolda sabit hızla hareket ettirebilmek için gerekli kuvvete eşit, hareket yönüne ters yönde etkiyen kuvvetlerin bileşkesidir. Tanımdan da anlaşılacağı gibi; ağırlık kuvvetinin yola paralel bileşkesi ve atalet kuvveti bu kavram içine alınmamıştır.

Vagon hareketi incelendiğinde, hareket direncinin esas olarak aşağıda belirtilen dirençlerden oluştuğu görülür.

- 1- Yuvarlanma direnci
- 2- Aks sürtünmesi
- 3- Buden ile ray arasındaki sürtünme
- 4- Hava direnci

### 1.11- Yuvarlanma Direnci

Teorik olarak tekerlekle ray arasındaki dokunak yüzeyi sonsuz küçük bir yüzey olmalıdır. Bu durumda, vagonu taşıyan tekerleğin bu dokunak yüzeyine uygulayacağı basınç sonsuz büyük değerde olur. Ray malzemesinin mukavemeti bu basıncı



Şekil 2- Yuvarlanma direnci

taşıyamaz ve tekerlek raya gömülür. Tekerek yüzeyinin raya gömülmesi; dokunak yüzeyinin yeterli miktarda büyüyüp, rayın tekerleğin uyguladığı basıncı taşıyabileceği seviyeye kadar devam eder. Tekerek raya gömülü vaziyette ray üzerinde dönerken, tıpkı oklavanın hamur üzerinde döndürülmesinde olduğu gibi, ray malzemesi tekerlek önünde elastik deformasyona uğrar. Tekerek üzerinden geçtikten sonra ray malzemesinin tekrar eski halini alması daha uzun bir sürede gerçekleşir. Bu nedenle, deformasyon bölgesindeki iç sürtünmelerin oluşturduğu bir bileşke kuvvet sürekli olarak harekete ters yönde etkir ( $F'_y$ ). Yuvarlanmanın sağlanabilmesi için bu kuvvete eşit bir kuvveti ( $F_y$ ) hareket yönünde uygulamak gerekir.

Tekerlek önündeki deformasyon tekerlek ile ray arasındaki kuvvet kontağını düşeyden "  $f$  " kadar saptırır.  $f$  'ye yuvarlanma direncini oluşturan moment kolu denmektedir.  $f$  'nin değeri demiryolu nakliyatında ortalama olarak 0.5 mm dir. Bu veri ile yuvarlanma direncinin şiddetini aşağıdaki gibi hesaplamak mümkündür.

$$G_w \cdot f = F_y \cdot D/2 \quad \Rightarrow \quad F_y = \frac{2 \cdot f}{D} \cdot G_w$$

### 1.12- Aks Sürtünmesi

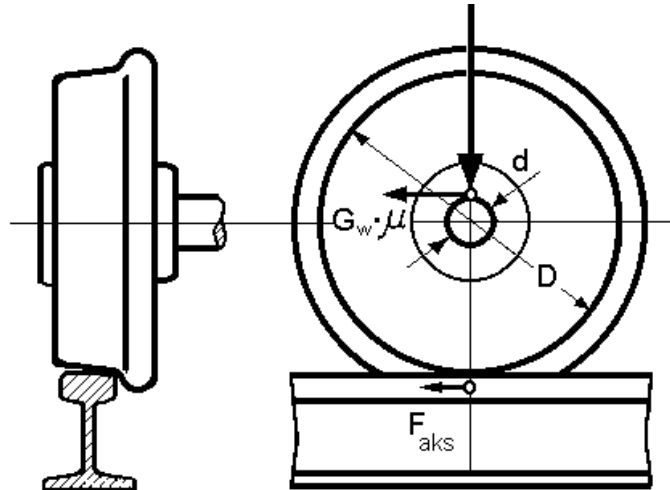
Yeraltı nakliyatında kullanılan vagon tekerlekleri genellikle aks üzerinde serbestçe dönerler. Kullanılan yatak türlerini kaymalı ve rulmanlı yataklar olmak üzere iki kümede toplayabiliriz. Kaymalı yataklara daha çok eski tip vagonlarda rastlamak mümkündür. Bu tür yatakların düşük devirlerdeki sürtünme kayıpları, yüksek devirlerdeki sürtünme kayıplarından çok fazla olmaktadır. Çünkü; düşük devirlerde aks etrafında yeterli yağ film tabakası oluşamamakta ve metaller doğrudan doğruya birbiri üzerinde kaymaktadır. Dolayısıyla, sık sık durup kalkan bir taşıt olan vagon için bu tür yataklar uygun olmamaktadır. Ayrıca bu tür yatakların bakım ve yağlanmaları özel itina gerektirmekte; standart boyutlu ve seri olarak üretilmiş yatakları piyasadan temin etmek pek mümkün olmamaktadır.

Yüksek devirlerde ve sürekli çalışma halinde rulmanlı yataklardaki sürtünme çoğunlukla, kaymalı yataklardaki sürtünmeden daha yüksektir. Ancak, düşük devirlerde sürtünmede bir artış görülmemektedir. Bu nedenle vagon için daha uygun yataklardır. Bakımları kolay, yağ tüketimleri azdır.

Rulmanlı yataklarda sürtünme kayıpları; yatak türüne ( Bilyeli, iğneli, silindirik rulman gibi ), yatak büyüklüğüne, hareket ve yağlanma şartlarına ve yüklenme durumuna göre değişik değerler alabilir. Biz burada sürtünme katsayılarının bazı ortalama değerlerini vermekle yetineceğiz.

Bilyeli yatak	$\mu = 0.0013$
Oynak bilyeli yatak	$\mu = 0.0008$
Silindirik makaralı yatak	$\mu = 0.0010$
Konik makaralı yatak	$\mu = 0.0018$

Aks yatağındaki sürtünmeler nedeniyle oluşan hareket direnci bileşenini ve bu direnci yenmek için gerekli kuvveti aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.



Şekil 3- Aks sürtünmesi

Aks üstüne, dolayısıyla rulmanlara, binen yük; tekerlekler hariç vagonun tüm ağırlık kuvvetidir. Ancak biz burada basite indirgeyip, rulmanların tüm vagon ağırlığı ile yükleneceğini kabul edeceğiz.  $G_w$  yükü altında vagon aksı çevresinde oluşan teğetsel sürtünme kuvveti;

$$F_s = G_w \cdot \mu$$

şeklinde hesaplanır. Hareket; ray üzerinde sağlanacak tepki kuvveti ile gerçekleşeceğinden, bu kuvvetin ray üzerine indirgenmesi gerekecektir. Dolayısıyla aks sürtünmesinin oluşturduğu direnç ray üzerine indirgenmiş şekli ile;

$$F_{as} = G_w \cdot \mu \cdot \frac{d}{D} \quad \text{olur.}$$

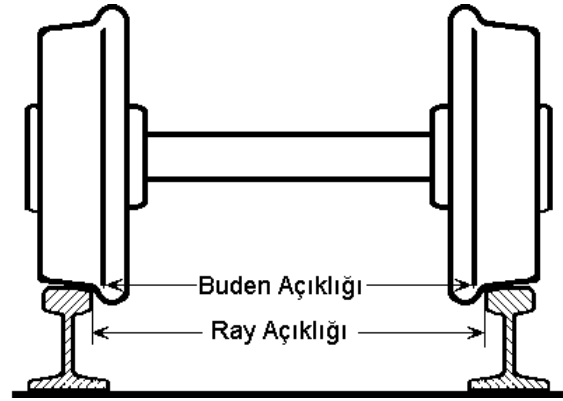
### 1.13- Buden ile Ray Arasındaki Sürtünme

Buden, tekerleğin raydan çıkmadan hareket etmesini sağlayan tekerlek üzerindeki çıkıntıdır. Bir aks üzerinde bulunan iki tekerlek budenleri arasındaki mesafe ray açıklığından biraz küçüktür. Böylece tekerleğin raylar arasına sıkışmadan daha rahat hareket etmesi sağlanmış olur. Özellikle yeraltı demir yollarında rayların hassas bir şekilde paralellikini korumak her zaman mümkün değildir. Ray açıklığının daraldığı yerlerde budenler raylara sürtünmekte, bu da hareket direncinin artmasına neden olmaktadır.

Birbirine paralel varsayılan rayları aynı yatay düzlem üzerinde tutmak da her zaman mümkün değildir. Vagon düşük seviyedeki ray tarafına kayınca, gene buden ray sürtünmesi meydana gelmekte ve hareket direnci artmaktadır.

Buden ray sürtünmesi ile oluşan hareket direnci diğer hareket dirençlerinden oldukça fazladır. Burada yüzeysel sürtünme söz konusudur. Dikkat edilirse yüzeysel sürtünme katsayısı ile rulman sürtünme katsayıları arasında merteye farkı vardır. Buden ray sürtünmesi ile oluşan ve büyük değerlere ulaşan bu hareket direnci nedeniyle, demiryolu bakımını hiç ihmal etmememiz gerekmektedir. Aksi halde hiç fark etmeden aynı taşıma işini daha çok enerji ile daha pahalıya yapmak durumunda kalabiliriz.

Buden ray sürtünmesinin virajlarda doğal bir nedeni de vardır. Bu neden merkezkaç kuvvetidir. Virajlarda oluşan sürtünme kuvveti ise demiryolu genişliği ve akslar arası mesafe ile doğru orantılı, viraj yarıçapı ile ters orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 4- Ray ve buden açıklıkları

## 1.14- Hava Direnci

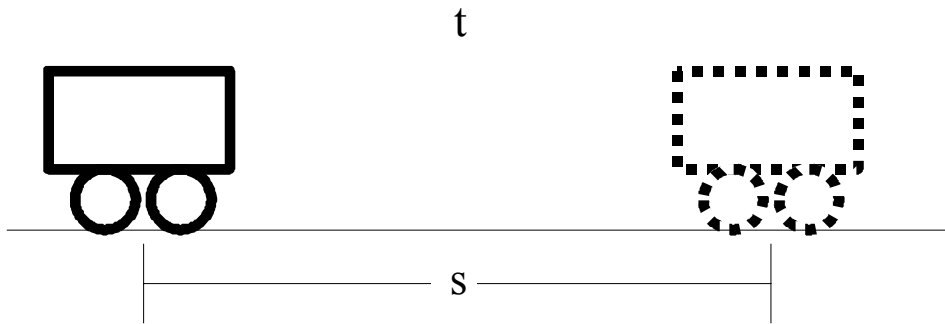
Yeraltındaki alışlagelmiş nakliyat hızlarında, hava direncinin hareket direnci içindeki payı oldukça küçük olduğundan, bu direnç genellikle ihmal edilir.

## 1.2- HAREKET DİRENÇİNİN DENEYSEL YOLLA TESBITİ

Buraya kadar ki açıklamalar hareket direncini analitik yolla hesaplamamanın mümkün olmadığını açıkça göstermektedir. Örneğin; ilk bakışta kolayca hesaplanabileceği sanılan yuvarlanma direncinin bile yeraltı şartları düşünüldüğünde hesabı imkansız hale gelmektedir. Yuvarlanma direncini oluşturan moment kolu  $f$  temiz çelik yüzeyler için 0.5 mm olarak verilmiştir. Yeraltı demiryollarının üstü ise taş tozu, kömür tozu, çamur gibi maddelerle kaplı durumdadır. Bu şartlar için moment kolunun uzunluğunu güvenilir bir şekilde tespit etmek mümkün değildir. Yapılacak ölçümler geniş bir bant aralığında dağılacaktır. Aynı şekilde buden ray sürtünmesi üzerinde duracak olursak; rayların budenlere ne zaman, hangi şiddette baskı uygulayacağını da analitik olarak ifade etmenin mümkün olmadığını görürüz. Bundan önce hareket direncini oluşturan bileşenler üzerinde durmamızın maksadı; demiryolu nakliyatını en az enerji ile nasıl sağlayacağımız konusu üzerinde düşünecek olursak, hangi konuları incelememiz gerektiği hususunda bir ipucu vermektir.

Hareket direncinin analitik ifadesi mümkün olmadığından bu direncin deneylerle tespiti yoluna gidilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuç; nedenleri yukarıda verilen dirençlerin toplamıdır. En iyi deneysel yöntem; vagonları çeken lokomotifin kancasına dinamometre bağlamak ve yatay bir yolda sabit hızla gidilirken kancanın uyguladığı kuvveti doğrudan doğruya ölçmektir. Tabiatı gereği elde edilen sonuçlar birbirinden farklı olacaktır. Dolayısıyla sonuçların istatistiksel değerlendirmesi gerekecektir. Bu yöntem uygulaması biraz külfetli ama sonuçları daha güvenilir olan yöntemdir.

İkinci yöntem daha basit olup, hareket direnci hakkında daha kaba yaklaşımlarda bulunmak için uygun olan bir yöntemdir. Yatay ve düz bir yolda belli bir hıza sahip olan vagon kendi haline bırakıldıktan bir müddet sonra durur. Durmasının nedeni hareket dirençleridir. Durma süresi ve durma mesafesini ölçerek hareket direncini hesaplamak mümkündür.



Belli bir ilk hızla serbest bırakılan vagonun kinetik enerjisi, durma mesafesi boyunca sürtünme ile ısı enerjisine dönüşeceğinden;

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = F_s \cdot s \quad \rightarrow \quad \frac{G \cdot v^2}{2 \cdot g} = G \cdot \mu \cdot s$$

yazılabilir. Buradan;

$$\mu = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot s}$$

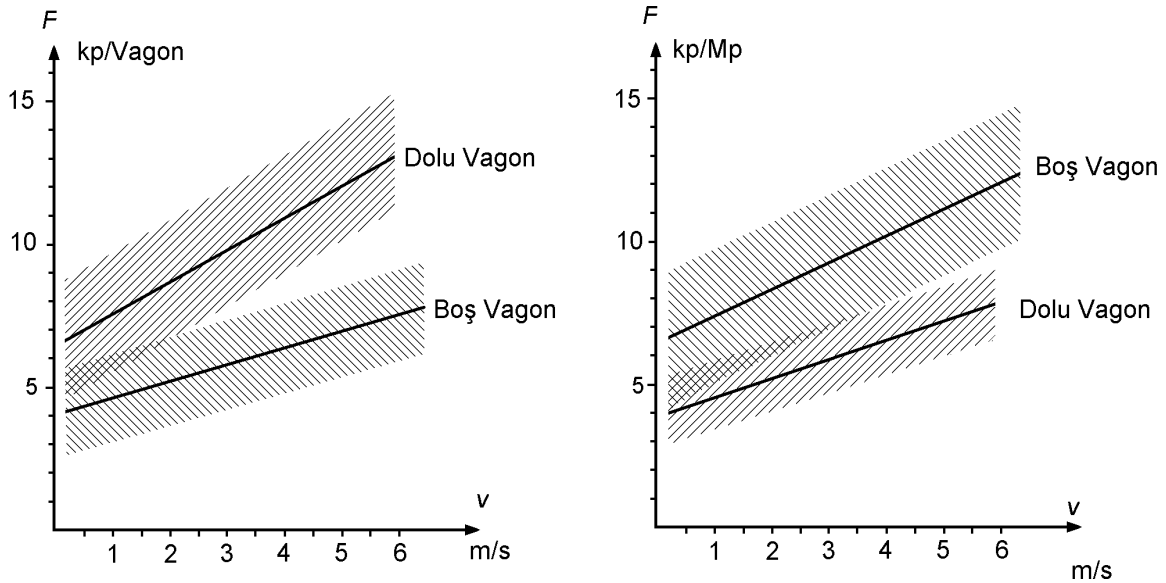
ifadesi elde edilir. Sürtünme kuvvetinin yol boyunca sabit kalacağını kabul edilir ise yavaşlama düzgün değişen hareket olacaktır ve;

$$v = \frac{2 \cdot s}{t} \quad \text{ifadesi ile} \quad \mu = \frac{2 \cdot s}{g \cdot t^2}$$

olur.

### 1.3- HAREKET DİRENÇİNİN ÖZELLİKLERİ

Lokomotif kancasına dinamometre takılarak hareket direncinin doğrudan ölçülmesi yöntemi ile çok sayıda yapılan deneylerin sonucu istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve aşağıdaki şekilde verilmiştir. Soldaki grafikte bir vagonun toplam hareket direnci verilirken; sağdaki grafikte, bu direncin vagon ağırlığına bölünmesi ile elde edilen spesifik hareket direnci [kp/Mp] birimi ile gösterilmiştir.



Şekil 5- Vagon hareket direnci

Hareket direncinin, yukarıdaki şeklin sağ tarafında bulunan spesifik değerleri incelendiğinde şu tespitleri yapmak mümkündür.

1) Spesifik hareket direnci boş ve dolu vagonlar için farklı değerlerdedir. Boş vagonun spesifik hareket direnci dolu vagonunkinden fazladır. Bu durum; dolu vagonların daha durgun, boş vagonların ise sallanarak hareket etmelerinden kaynaklanır. Hareket sırasında fazla sallanan vagonun ray-buden sürtünmesi fazla olacaktır.

2) Spesifik hareket direnci hızla doğru orantılı olarak artmaktadır. Hız fazla olunca vagonun kinetik enerjisi de fazladır. Etki-tepki prensibine göre; aynı sürtünme olayı için kinetik enerjinin yüksek olduğu durumlarda daha büyük tepki yani hareket direnci oluşur.

3) Spesifik hareket direnci geniş bir bant aralığında dağılım göstermektedir. Bunun nedeni demiryolu durumunun ocağın farklı yerlerinde farklı farklı olmasından kaynaklanır. Örneğin kimi yerlerde ray üzeri temiz iken, kimi yerlerde çamur veya kömür tozu ile kaplıdır. Ray açıklıkları yolun her yerinde aynı şekilde düzgün ve muntazam değildir. Bu nedenlerle örneğin 4 m/s hızla hareket edilirken spesifik hareket direnci ocağın kimi yerlerinde 10 kp/Mp olarak ölçülürken kimi yerlerde 14 kp/Mp olarak ölçülebilmektedir.

4) Spesifik hareket direnci aynı ocakta farklılıklar gösterirse tabiidir ki farklı ocaklardaki hareket direnci daha da farklı olacaktır. Demiryollarına ve vagonlarına itina ile bakan işletmelerdeki hareket direnci küçük olurken, bakıma özen göstermeyen ocaklardaki hareket direnci büyük olacaktır. Bu nedenle, bir ocak şartlarında ölçülmüş hareket direncini ikinci bir ocak için kullanmak doğru olmayacaktır. Her ocak kendi şartlarında oluşan hareket direncini ölçmek durumundadır.

#### 1.4- KANÇA KUVVETİ HESABI

Vagonun hareketini sağlamak için uygulanacak kanca kuvveti; vagona etkiyen kuvvetlerin hareket yönüne zıt yöndeki bileşkesine eşit ve hareket yönünde uygulanan bir kuvvettir. Vagona etkiyen kuvvetler ise konumuzun başında da belirttiğimiz gibi;  $F_1$  (hareket direnci),  $F_2$  (ağırlık kuvvetinin yol doğrultusundaki bileşeni) ve  $F_3$  (Atalet kuvveti) dir.

##### 1.41- Hareket Direncinin Hesabı

Hareket direnci hesabı, spesifik hareket direnci yardımı ile fizikten bildiğimiz sürtünme kuvveti hesabına benzer şekilde yapılacaktır. Buna göre:

$$F_1 = G_w \cdot T$$

$F_1$	[kp]
$G_w$	[Mp]
$T$	[kp/Mp]

olur. Burada  $G_w$  vagonun ağırlığını; T ise  $\mu$  sürtünme katsayısına benzer şekilde bir tür hareket direnci katsayısını göstermektedir. Sürtünme katsayısı  $\mu$  birimsiz bir büyüklüktür. Dolayısıyla T 'nin de birimsiz olması gerekir. Ancak biz, hesaplarda kolaylık sağlaması için spesifik hareket direnci kavramından yararlanacağız. Spesifik hareket direnci; vagonun bir ton-kuvvet [Mp] ağırlığı başına düşen ve kg-kuvvet [kp] birimi ile ölçülen hareket direncidir. Böylece vagon ağırlığı ton-kuvvet [Mp] birimi ile girildiğinde kuvvet kg-kuvvet [kp] birimi ile hesaplanmış olacaktır.

#### 1.42- Ağırlık Kuvveti Bileşeni Hesabı

Eğimli yolda hareket edilirken ağırlık kuvvetinin yola paralel bileşeni de hareketi etkileyen kuvvetlerden biridir. Bu kuvveti;

$$F_2 = G_w \cdot i$$

$F_2$	[kp]
$G_w$	[Mp]
$i$	Eğimin binde değeri

şeklinde hesaplayacağımızı görmüştük. Ağırlık kuvveti ton-kuvvet [Mp] birimi ile girildiğinde  $F_2$  'de Mp biriminde olacaktır. Kanca kuvvetini kp birimi ile hesaplamak istediğimiz için formül içinde birim düzeltmesini yapmamız gerekir.

$$F_2 \text{ [kp]} = G_w \text{ [Mp]} \cdot 1000 \text{ [kp/Mp]} \cdot i$$

Yukarıdaki ifadede " 1000*i* " yerine eğimin bin katı olan  $i$  değeri konulacağı hatırla tutulursa  $F_2$  ' hesabında da  $F_1$  'hesabında olduğu gibi vagon ağırlığı Mp birimi ile formüle girilip, kuvvet kp birimi ile hesaplanmış olur.

#### 1.43- Atalet Kuvveti Hesabı

Atalet kuvvetini;

$$F_3 = m_w \cdot a = \frac{G}{g} \cdot a$$

bağıntısı ile hesaplayacağımızı biliyoruz. Bu bağıntıda da vagon ağırlığı Mp birimi ile girdikten sonra  $F_3$  'ün kp birimi ile hesaplanabilmesi için ivme değerlerinin "  $\text{cm/s}^2$  " birimi girilmesi gerekecektir. Buna göre;

$$F_3 = \frac{G_w \text{ [Mp]} \cdot 1000 \text{ [kp/Mp]}}{981 \text{ [cm/s}^2\text{]}} \cdot a \text{ [cm/s}^2\text{]}$$

yazılabilir. Bu ifadedeki " 1000/981 " değeri yaklaşık bir olarak alınır:

$$F_3 = G_w \cdot a$$

$F_3$	[kp]
$G_w$	[Mp]
$a$	[ $\text{cm/s}^2$ ]

olur.



#### 1.44- Toplam Kanca Kuvveti Hesabı

Bir lokomotifin " n " adet vagonu hareket ettirebilmesi için uygulayacağı kanca kuvveti  $F_k$

$$F_k = n \cdot G_w \cdot (T \pm a \pm i)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu kuvvet, hareketi sağlamak için lokomotifin uygulayacağı tüm kuvvet değildir. Lokomotif ayrıca kedisini hareket ettirmek için gerekli kuvveti de uygulamalıdır. Lokomotifin hareketini vagonun hareketine benzetebiliriz. Ancak; lokomotifin hareket dirençleri içinde vagonun hareket dirençlerine ilave olarak motordan tekerlek aksına kadar tüm hareketli kısımların sürtünme dirençleri de vardır ve lokomotif vagona göre oldukça ağırdır. Bu nedenle lokomotifin spesifik hareket direncini, vagonun spesifik hareket direncinden farklı olarak değerlendireceğiz ve onu  $T'$  ile göstereceğiz. Lokomotif dahil tüm katarı hareket ettirecek toplam kuvvet ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$F = G_{lok} \cdot (T' \pm a \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T \pm a \pm i)$$

#### 1.5- MOTOR GÜCÜ HESABI

Dinamik dersimizde güç hesabının aşağıdaki bağıntı ile yapılacağını gördük.

$$P = \frac{F \cdot v}{102 \cdot \eta}$$

$F$	[kp]
$v$	[m/s]
$P$	[kW]

Bu ifadede  $\eta$  lokomotif randımanıdır ve 0.8 ile 0.9 arasında değerler alır. Hidrolik şanzımanlı lokomotiflerde  $\eta$  randıman değeri daha düşük olup 0,6-0,65 dolayındadır.

Yukarıdaki bağıntı ile hesaplanacak motor gücü hareketin sağlanması için gereken güçtür. Lokomotifin diğer ünitelerinin (radyatör pervanesi, aydınlatma vs.) çalışması gene motor tarafından karşılanacaktır. Bu nedenle gücü, hesaplanan değerden % 15-20 daha fazla olan bir motoru seçmek gerekir.

#### 1.6- PATINAJ

Bir katarın demiryolu üzerinde hareketini sağlayan kuvvet; motorun, lokomotif tekerleği ile uyguladığı kuvvete karşı demiryolunun göstermiş olduğu tepki kuvvetidir. Demek ki lokomotif motoru hareketi sağlayan tek ve yeterli etken değildir. Motorun yanında demiryolun da bir tepki kuvveti oluşturması gerekir. Demiryolu tepki kuvvetini, ray ile tekerlek arasındaki sürtünme kuvveti oluşturur. Demiryolunun yağlı olduğu bir yerde lokomotifi harekete geçirmek bu nedenle çok zordur.

Motorun tekerleğe uyguladığı kuvvet ray ile tekerlek arasındaki sürtünme kuvvetinin üzerinde olur ise; demiryolu daha fazla tepki gösteremez ve tekerlek kendi eksenini etrafında dönmeye yani, patinaj yapmaya başlar. Patinaj başlamadan önce, ray ile tekerlek arasında kayma olmaz iken patinaj başladıktan sonra iki yüzey arasında kayma başlar. Yüzeyler arasında kaymanın başlaması sürtünme

katsayısının düşmesine neden olur. Hatırlanacağı gibi; hareketli yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı (dinamik sürtünme katsayısı) durgun yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısından (statik sürtünme katsayısı) daima küçüktür. Sürtünme katsayısının dolayısıyla sürtünme kuvvetinin düşmesi, yolun tepki kuvvetinin yani hareketi sağlayacak maksimum kuvvetin düşmesine neden olur. Böylece hareket patinajdan olumsuz bir şekilde etkilenmiş olur.

Patinajın hareket dinamiği açısından yukarıda belirtilen dezavantajının yanında maden işletmeciliği açısından da olumsuz yanları vardır. Patinaj; kıvılcım çıkmasına, dolayısıyla grizu patlamasına neden olabilir. Patinaj; tekerlek bandajlarında aşınmaya neden olur ki; buda tamir-bakım masraflarının artması sonucunu doğurur. Bu nedenlerle; patinaj yapmadan hareket etmeyi sağlayacak önlemler üzerinde durmamız gerekmektedir.

Ray ve tekerlek arasındaki sürtünme kuvvetinin maksimum değerini aşağıdaki bağıntı ile hesaplayabiliriz. Bu değer yukarıda da belirtildiği gibi hareket için uygulanabilecek maksimum kuvvettir.

$$F_s = 1000 \cdot G_{Lok} \cdot \eta_{st}$$

$$G_{Lok} \cdot (T' \pm a \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T' \pm a \pm i) \leq F_s$$

Bağıntıdan da görülebileceği gibi lokomotif ağırlığı ve sürtünme katsayısı, sürtünmeyi, bir başka ifade ile, motor dışında lokomotifin çekme yeteneğini belirleyen iki önemli faktördür.

Çelik ile çelik arasındaki statik sürtünme katsayısı, yüzeyler arasının ıslak ve kuru olma durumuna göre 0,27 ile 0,38 arasında değişmektedir. Maden işletmelerindeki demiryollarının üzeri taş ve kömür tozu veya çamur ile kaplı olduğundan sürtünme katsayısı oldukça düşmektedir. Bu konu ile ilgili kaynaklarda hesaplar için sürtünme katsayısının 0,17 olarak alınması tavsiye edilmektedir. Yeraltı işletmelerinde demiryollarının temiz ve bakımlı tutulması, lokomotifin patinaj yapmadan çekme yeteneğini artıracaktır. Ayrıca, lokomotiflerde yola kum püskürten tertibatlar yaparak patinaja karşı önlem alınmaktadır.

Lokomotifler boyutlandırılırken motor gücü ile lokomotif ağırlığı arasındaki ilişkiye de dikkat edilmesi gerekmektedir. Güçlü motor taşıyan lokomotiflerde (trolley lokomotiflerinde olduğu gibi); lokomotifin kendi ağırlığı çoğunlukla yeterli olmadığında demir bloklar halinde safa taşınarak lokomotif ağırlığı yapay olarak artırılır. Çok daha güçlü lokomotifler ise aynı motorun tahrik ettiği ikiz lokomotif şeklinde üretilir. Bu önlemlerin tek amacı ray ile tekerlek arasındaki sürtünmeyi artırmaktır.

## 1.7- FRENLEME

Hareket halindeki bir katar kendi haline bırakılırsa bir müddet gittikten sonra durur. Bu hareketin ivmesini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.

$$F = G_{\text{lok}} \cdot (T' \pm a \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T \pm a \pm i) = 0$$

$$a = \frac{G_{\text{lok}} \cdot (T' \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T \pm i)}{G_{\text{Lok}} + n \cdot G_w}$$

Böylece elde edilen ivme değeri genellikle çok küçüktür. Bundan daha önemlisi, bu tür yavaşlamanın tamamen kontrol dışı gerçekleşmiş olmasıdır. Katarı kontrollü bir şekilde durdurabilmek için lokomotifte fren mekanizmasının bulunması gerekir. Fren; harekete ters yönde sürtünme kuvveti oluşturan bir mekanizmadır ve oluşturulan bu kuvvet ayarlanabilir. Fren kuvvetinin de ilavesi ile frenleme döneminde katarı etkileyen kuvvetleri şöyle yazabiliriz:

$$G_{\text{lok}} \cdot (T' \pm a \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T \pm a \pm i) + F_{\text{fr}} = 0$$

Fren mekanizmasının oluşturduğu  $F_{\text{fr}}$  kuvvetinin etkili olabilmesi için bu kuvvetin de sürtünme ile demiryoluna intikal etmesi gerekir. Çünkü; hareketi yavaşlatan asıl kuvvet, fren mekanizmasının oluşturduğu kuvvete demiryolunun gösterdiği tepki kuvvetidir. Fren mekanizması ne kadar güçlü olursa olsun, en fazla tekerleği bloke eder ve tekerlek dönmeden demiryolu üzerinde kaymaya başlar. Bu durumda elde edilen maksimum fren kuvveti

$$F_{\text{fr-max}} = 1000 \cdot G_{\text{Lok}} \cdot \mu_{\text{st}}$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Lokomotifin ray üzerinde kıvılcıklar çıkararak kaymaya başlaması yeraltı işletmelerinde özellikle iş güvenliği açısından istemeyen bir durumdur. Ayrıca yukarıdaki formülle hesaplanan fren kuvveti, frenin çok sert olmasına neden olur. Konu ile ilgili bilimsel kaynaklarda; bu şekildeki sert frenin yeraltı lokomotif nakliyatı için uygun olmadığı belirtilmekte ve maksimum fren kuvvetinin, yukarıdaki bağıntı ile hesaplanan değer yarısı kadar alınması tavsiye etmektedirler. Buna göre:

$$F_{\text{fr-max}} = 1000 \cdot G_{\text{Lok}} \cdot \mu_{\text{st}} / 2$$

bağıntısını kullanmak gerekecektir.

Yeraltı demiryolu nakliyatında katarın maksimum fren mesafesi iş güvenliği tüzükleri tarafından belirlenmiş durumdadır. Tehlikeli bir durum gören lokomotif sürücüsü tüzükte verilen fren mesafeleri içinde durabilmelidir. Bu mesafeler alman iş güvenliği tüzüğüne göre:

$v = 4 \text{ m/s}$	için	$s_f \leq 80 \text{ m}$
$v = 3 \text{ m/s}$	için	$s_f \leq 60 \text{ m}$
$v = 2 \text{ m/s}$	için	$s_f \leq 40 \text{ m}$

Bu mesafelere sürücünün reaksiyon süresi ( yaklaşık 3 sn ) içinde gidilen yol da dahildir.

## 1.8- VAGON SAYISI HESABI

Buraya kadar ki açıklamalar dikkatlice incelenirse, bir lokomotif bağlanabilecek vagonların sayısını sınırlayan üç nedenin olduğu tespit edilir. Lokomotif çekmeye gücünün yeteceği kadar vagon bağlanmalıdır. Vagon sayısı tüzüklerde belirtilen fren mesafesinde durmaya imkan vermelidir. Ve lokomotif patinaj yapmadan katarı harekete geçirebilmelidir. Bu hususları sağlayacak vagon sayısı hesabı aşağıda verilmiştir.

### 1.81- Güç Sınırlamasına Göre Vagon Sayısı

Bundan önceki konularda lokomotif gücü ve hareketi sağlayan kuvvet için aşağıdaki bağıntıları çıkarmıştık.

$$P = \frac{F \cdot v}{102 \cdot \eta}$$

$$F = G_{\text{lok}} \cdot (T' \pm a \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T \pm a \pm i)$$

Motor gücü düzgün hareket ( $a=0$ ) için hesaplandığından, vagon sayısını;

$$n \leq \frac{\frac{102 \cdot P \cdot \eta}{v} - G_{\text{Lok}} \cdot (T' \pm i)}{G_w \cdot (T \pm a \pm i)}$$

formülü ile hesaplayabiliriz.

### 1.82- Patinaj Sınırlamasına Göre Vagon Sayısı

Lokomotifin patinaj yapmadan katarı harekete geçirebilmesi için;

$$F_s = 1000 \cdot G_{\text{Lok}} \cdot \eta_{\text{st}}$$

$$G_{\text{Lok}} \cdot (T' \pm a \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T' \pm a \pm i) \leq F_s$$

olması gerektiğini belirtmiştik. Bu bağıntılardan harekete geçiş dönemi için;

$$n \leq \frac{1000 \cdot G_{\text{Lok}} \cdot \eta_{\text{st}} - G_{\text{Lok}} \cdot (T' + a \pm i)}{G_w \cdot (T + a \pm i)}$$

bağıntısı elde edilir.

### 1.83- Fren Sınırlamasına Göre Vagon Sayısı

İş güvenliği tüzüğüne göre bir katar v hızı ile hareket ederken s mesafesinde duracak ise, düzgün yavaşlayan hareket için ivme değerini;  $a = \frac{v^2}{2 \cdot s}$  bağıntısı ile hesaplayabiliriz. Hız için [m/s] birimi; ivme için [cm/s<sup>2</sup>] birimi kullanılacak ise yukarıdaki bağıntı aşağıdaki şekli alır.

$$a = \frac{50 \cdot v^2}{s}$$

Bu değer ve  $F_{fr-max} = 1000 \cdot G_{Lok} \cdot \mu_{st} / 2$  değeri

$$G_{lok} \cdot (T' \pm a \pm i) + n \cdot G_w \cdot (T \pm a \pm i) + F_{fr} = 0$$

denkleminde yerine konursa;

$$n \leq \frac{-1000 \cdot G_{Lok} \cdot \frac{\eta_{st}}{2} - G_{Lok} \cdot (T' - a \pm i)}{G_w \cdot (T - a \pm i)}$$

formülü elde edilir.

## 2- LOKOMOTIFİN HAREKET DİNAMIĞI

Şimdiye kadar, bir katarı hareket ettirmek için lokomotif tarafından uygulanması gereken kuvvetlerin neler olduğunu gördük. Bu kuvvetleri lokomotifin nasıl uygulayacağı konusuna değinmedik. Lokomotiflerin çekme veya hareket yeteneği sahip oldukları motor tarafından belirlenir. Bundan sonra lokomotifin hareket yeteneğini kanca kuvveti - hız diyagramları üzerinde inceleyerek, hareketin nasıl gerçekleşeceği konusunu anlamaya çalışacağız.

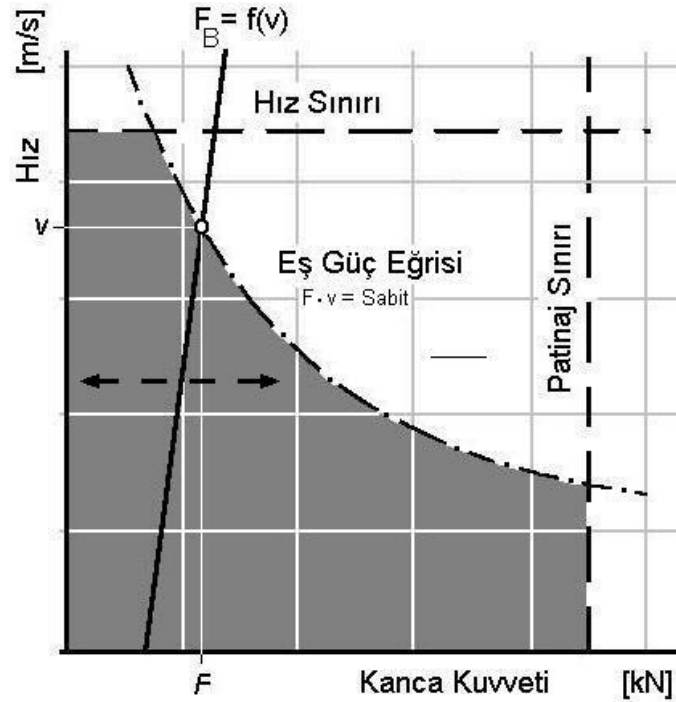
### 2.1- En Uygun Kanca Kuvveti - Hız Davranımı

İdeal bir lokomotif hareket yeteneği nasıl olmalıdır? Bu soruya cevap verebilmek için, bir kanca kuvveti - hız diyagramı üzerine önce katarın toplam hareket direncini gösteren  $F_b$  ( $F_b = n \cdot G_w \cdot T$ ) doğrusu yerleştirilecektir. Hareket direnci T, hıza bağlı olarak değiştiğinden  $F_b$ 'de hıza bağlı olarak değişecektir. Katarın çeşitli hız seviyelerinde sabit hızla hareket etmesini sağlayabilmek için lokomotifin bu doğru üzerindeki her noktada çalışabilmesi gerekir.

Katar meyilli bir yola girdiğinde  $F_b$  doğrusu " $n \cdot G_w \cdot i$ " kadar sağa veya sola kayacaktır. Böylece kanca kuvveti - hız diyagramında bir alan süpürülmüş olur. Katarın çeşitli eğimlerde ve hızlarda hareketini sağlayabilmek için lokomotifin bu alan içindeki her noktada çalışabilmesi lazımdır.

Herhangi bir hız seviyesinde, katar hızını daha da artırabilmek için yukarıda anılan kuvvetlerden başka atalet kuvvetlerini dengeleyecek " $n \cdot G_w \cdot a$ " kadar bir kuvvetin de uygulanabilmesi lazımdır. Bu kuvvete hız ne kadar küçük ise o kadar fazla gereksinme duyulacaktır.

Lokomotifçe uygulanabilse bile, patinaj sınırı ( $G_{Lok} \cdot \mu$ ) üzerindeki kuvvetten hareket için yararlanmak mümkün değildir. Bu nedenle lokomotifin patinaj sınırından ( $G_{Lok} \cdot \mu$ ) fazla kuvvet üretmesinin gereği yoktur.



Şekil 6- İdeal lokomotifin davranımı

Lokomotif nakliyatı ile ilgili emniyet tüzükleri yeraltı nakliyatında 4 m/s 'den fazla hız yapılmasına müsaade etmemektedir. Kısa süreli manevralar için bu hızın bir miktar üstüne çıkılabilir. Ancak, gene de lokomotif hızının bir üst sınırını belirlemek mümkündür. Lokomotifin bu hız sınırının üstünde çalışmasının da anlamı yoktur.

Lokomotiften, gücünün yetmeyeceği bir iş istemek yerinde olmaz. Diyagramda noktalı kesik çizgi ile gösterilen eş güç eğrisidir. Bu eğrinin üstündeki alan, lokomotifin çalışmaya gücünün yetmeyeceği alandır. Ama eş güç eğrisinin altındaki her noktada lokomotifin çalışabilmesi gerekir.

Demiryolu nakliyatı için en uygun lokomotif; kanca kuvveti - hız diyagramında güç sınırı, hız sınırı ve patinaj sınırı ile belirlenen alan içinde her noktada çalışabilen lokomotifdir.

## 2.2- Yeraltı Madenciliğinde Kullanılan Lokomotifler

Yeraltı madenciliğinde kullanılan lokomotifleri elektrikli ve dizel lokomotifler olarak iki ana gruba ayıracağız. Sayıları gün geçtikçe azalan basınçlı hava lokomotiflerini ise burada sadece belirtmekle yetineceğiz.

Elektrikli lokomotifler doğru akım motorları ile çalışırlar. Elektrik enerjisinin kaynağına bağlı olarak bu tür lokomotifleri, trolley veya akülü lokomotifler olarak isimlendirmekte mümkündür.

Dizel lokomotifler ise, hareket davranımı üzerinde belirleyici olan şanzıman türlerine göre; mekanik şanzımanlı ve hidrolik şanzımanlı lokomotifler olarak isimlendirilirler.

Pratik uygulamada lokomotiflerin çekiş kabiliyetini anlatabilmek için güç değerlerinden bahsedilir. Ancak bu değer lokomotifin performansı hakkında pek fazla fikir vermez. Çünkü anılan güç değeri ( $P=F \cdot v$ ), kanca kuvveti-hız diyagramı üzerinde sadece bir noktaya karşılık gelir. Yukarıda tanımladığımız alan içinde sadece bir çalışma noktası bilinen lokomotifin yetenekleri hakkında konuşmak mümkün değildir. Ayrıca elektrikli ve dizel lokomotiflerde anılan güç tanımı da farklı farklıdır. Dizel lokomotif için anılan güç değeri; bu lokomotifin sağlayabileceği maksimum güçtür. Bundan daha güçlü olması mümkün değildir. Elektrikli lokomotifler ise çok kısa süreler için anılan güç değerinin üzerine çıkabilirler. Ama bu durumda motor sargıları hızla ısınmaya başlar. Elektrikli lokomotiflerde güç; soğuk durumda harekete geçen motorun sargılarında, zararlı seviyede ısınma olmadan bir saat süre ile verebileceği maksimum güç değeridir. Bu tür lokomotifler yine sargılarına zarar vermeden çok kısa süreler için alınan güç değerinin üzerine çıkabilirler.

Lokomotif nakliyatında hızlanma süreleri çok kısadır ancak, bu sürede gereksinim duyulan güç fazladır. Bir elektrikli lokomotif, anılan gücünün üzerinde bile olsa, bu süre içindeki aşırı yüklenmeleri rahatlıkla karşılar ve katarı hızlandırıp sabit hareket hızına ulaştırır. Aynı işi aynı güçteki dizel lokomotif başaramaz. Dolayısıyla, elektrikli lokomotifleri sadece güç değerine bakıp dizel lokomotifle karşılaştırmamak gerekir.

## 2.3- Elektrikli Lokomotiflerin Hareket Dinamiği

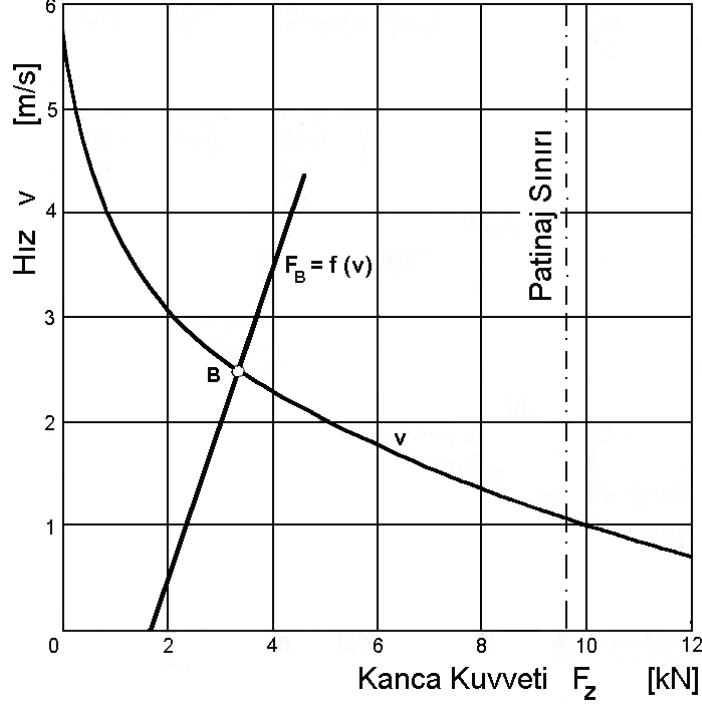
### 2.31- Elektrik Motorunun Lokomotife Uyarlanması

Elektrikli lokomotifin kanca kuvveti-hız davranımını belirleyen doğru akım motoru devir sayısı-döndürme momenti davranımıdır. Motordan alınan dönme hareketi, çevrim oranı değişmeyen bir dişli mekanizmadan geçtikten sonra tekerleklere iletilir. Burada ise dönme hareketi doğrusal harekete dönüştürülür.

Motora anma gerilimi verilip çalıştırıldığında lokomotif aşağıdaki şekilde  $v$  ile gösterilen eğri üzerinde çalışmaya başlar. Bu durum en uygun kanca kuvveti-hız davranımından oldukça farklı bir davranımdır. İdeal bir lokomotifin güç, hız ve patinaj sınırlarının belirlediği alan içindeki her noktada çalışması gerekirken, elektrikli lokomotif sadece bir eğri üzerinde çalışmaktadır. Bu davranımın lokomotif hareketi üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerini şöyle belirleyebiliriz:

$F_B$  doğrusu  $v$  eğrisini bir noktada (B) kesmektedir. Bu noktada lokomotifin uyguladığı kuvvet, hareket dirençlerine eşittir. Dolayısıyla katar, bu noktaya karşılık gelen hızla düzgün hareket yapar. Eğer hız uygun değilse, hızı değiştirmek mümkün değildir.

Bir an için B noktasına karşılık gelen hızın uygun olduğunu kabul edelim. Yol meyli değişecek olursa;  $F_B$  doğrusu paralel olarak sağa veya sola doğru kayacak ve sabit hareket hızı korunamayacaktır.



Şekil 7- Doğru akım motorunun uyarlanması

Şu olumlu durumu gözden kaçırmamak da gerekir; yol durumunun değişmesi halinde lokomotif hızını kendiliğinden değiştirmektedir. Bunun için sürücünün müdahalesine gerek yoktur. Hız değişimi yumuşak bir şekilde olmaktadır.

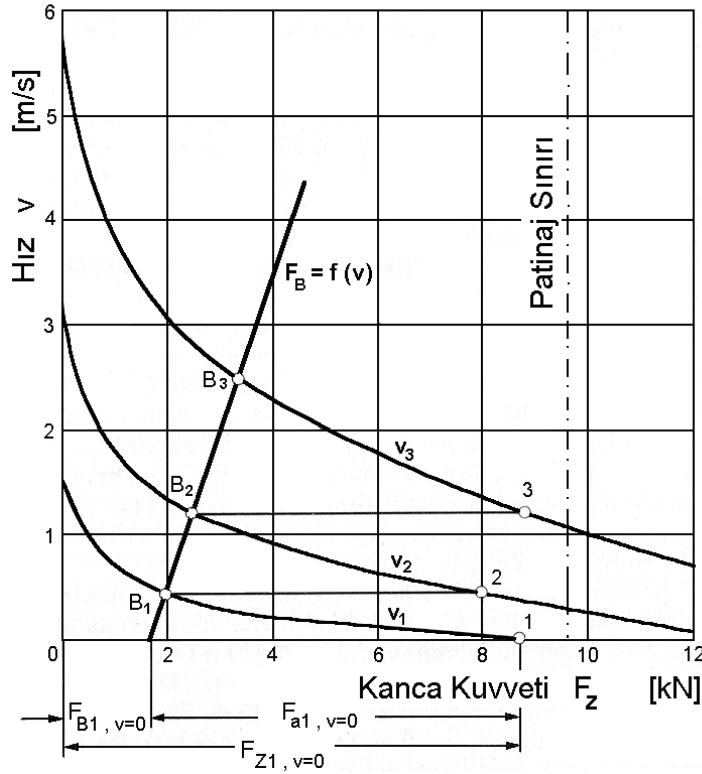
Hız azaldıkça  $v$  eğrisi daha büyük kanca kuvvetleri vermektedir. Duran lokomotif harekete geçerken, teorik olarak sonsuz büyük kanca kuvveti üretilir. Bu kuvvet, patinaj sınırını kolayca aşacağından patinaj olmadan, yumuşak bir ivme ile harekete geçilemeyecektir.

Duran lokomotifin harekete başladığı anda ( $F \rightarrow \infty$ ) motorun çektiği elektrik enerjisi sonsuz büyüktür. Bu enerjinin çok küçük bir kısmı ile mekanik iş yapılır. Enerjinin kalan kısmı motor sargılarının kısa bir sürede aşırı ısınıp yanmasına neden olur. Bu nedenle nominal gerilim ile bir lokomotif harekete geçirmek mümkün değildir.

Yukarıda belirtilen hususlar; bir doğru akım motorunun sadece anma gerilimi verilerek çalıştırılması halinde lokomotif için uygun bir davranım elde edilemeyeceğini gösterir. Bu dezavantajları gidermenin veya yumuşatmanın yolu motora değişik gerilimler uygulamaktır. Böylece,  $v$  eğrisine benzer eğriler üretilmiş, kanca kuvveti-hız diyagramı üzerinde ideal lokomotifin çalışacağı alan, mümkün olduğunca fazla nokta kapsayacak şekilde taranmış olur.

Aşağıdaki şekilde üç değişik gerilimle çalışan bir elektrikli lokomotifin kanca kuvveti-hız davranımı verilmiştir. Duran lokomotif, en küçük gerilim verilince  $v_1$  eğrisi üzerindeki 1 noktasında çalışmaya başlayacaktır. Bu durumda lokomotifin uyguladığı kuvvet  $F_{z1}$  kadardır. Bu kuvvetin patinaj





Şekil 8- Elektrikli lokomotif davranımı

sınırının altında olmasına dikkat etmek ve buna göre ilk gerilim değerini belirlemek gerekir.  $F_{Z1}$  kanca kuvvetinin  $F_{B1}$  kadarı hareket dirençlerini dengeleyecek ve artan kısmı ( $F_{a1}$ ) katarı ivme verecektir. Katarın hızı arttıkça ivme veren kuvvet ve dolayısıyla ivme azalacaktır.  $B_1$  noktasına ulaşıncaya kadar lokomotifin uyguladığı kuvvet ancak hareket dirençlerini karşılayabildiği için katar sabit hızla harekete başlayacaktır. Bu hız seviyesi yeterli değilse ise motora ikinci gerilim uygulanıp, bulunulan hız seviyesinde  $v_2$  eğrisi üzerindeki 2 noktasına atlanacaktır. Bu noktada lokomotifin uyguladığı kuvvet hareket dirençlerinden yine büyüktür, aradaki fark katarı yeniden ivme verir. Hız arttıkça lokomotifin çalışma noktası 2'den  $B_2$ 'ye doğru kaymaya başlar.  $B_2$ 'de ulaşılan hız yeterli değilse, motora üçüncü gerilim verilerek  $v_3$  eğrisine geçilir. Bu eğri üzerinde hızı  $B_3$  noktasına kadar artırmak mümkündür.

### 2.32- Elektrikli Lokomotif Kanca Kuvveti- Hız Davranımının İrdelenmesi

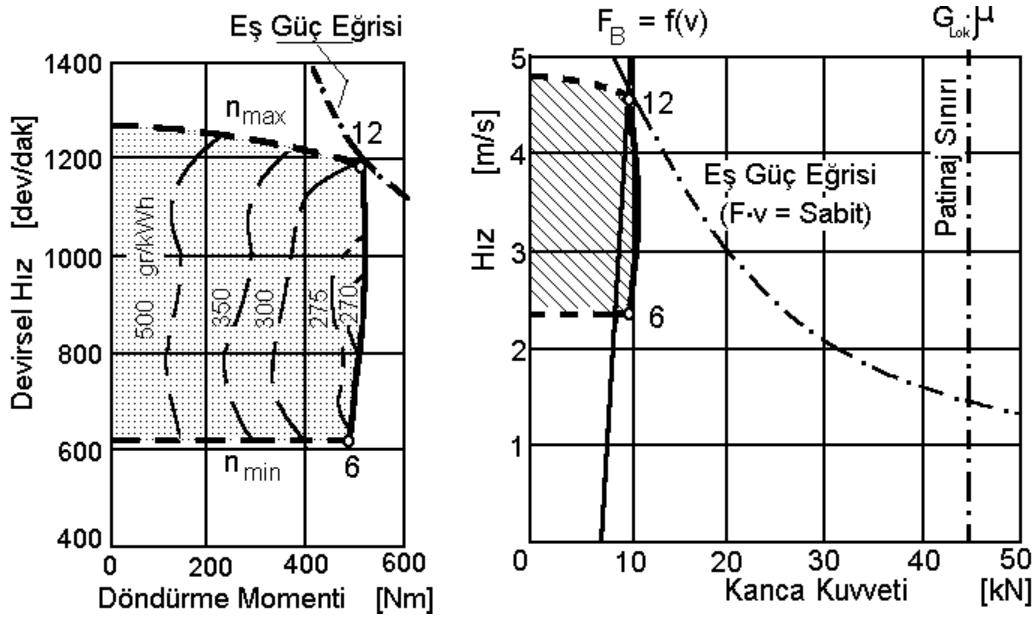
- Yol ve yük şartları değişmediği sürece, her hareket basamağında bir sabit hareket hızı elde edilir. Bu hız değeri çoğunlukla planlanan nakliyat hızına uymaz.
- Motora uygulanan farklı gerilim sayısı ne kadar çok ise planlanan nakliyat hızına o kadar çok yaklaşılır. Çok sayıda gerilim basamağı oluşturmak ise enerji kayıplarını kaçınılmaz hale getirir.
- Bir gerilim basamağında hareket edilirken, yol şartlarındaki değişikliğe bağlı olarak hızda kendiliğinden ve yumuşak bir şekilde değişir. Aşırı yüklenme durumunda patinaj sınırına girilmemesi için lokomotif sürücüsünün dikkatli olması gerekir.
- Bir üst gerilim basamağına geçildiğinde lokomotifin uyguladığı kuvvet aniden ve büyük oranda artar. Katar üzerinde darbe etkisi yapan bu durum, gerilim basamakları sayısını artırarak yumuşatılabilir.

➤ Yeterli hıza ulaşmadan bir üst gerilim basamağına geçilirse, lokomotif kolayca patinaj sınırına girebilir. Gerilim basamaklarının sayısını artırmak bu hususta da olumlu sonuçlar verir.

## 2.4- Dizel Lokomotiflerin Hareket Dinamiği

Dizel lokomotifin kanca kuvveti - hız davranımını belirleyecek olan dizel motorun davranımıdır. Bu nedenle, dizel motorun devir sayısı - döndürme momenti davranımını yakından incelememiz gerekecektir.

Aşağıdaki şeklin sol tarafında dizel motorun devir sayısı - döndürme momenti davranımı görülmektedir. Bu şekilde şu hususları saptamak mümkündür.



Şekil 9- Dizel motor ve lokomotive uyarlanması

- Dizel motor, sadece gaz pedalını ayarlayarak,  $n_{max}$ ,  $n_{min}$  ve maksimum moment (12-6 eğrisi) eğrilerinin sınırladığı alan içerisinde her noktada çalışır. Motorun belli bir alan içinde her noktada çalışabilme yeteneği lokomotif açısından olumludur.

- Dizel motorun minimum devirsel hızın altında çalışmaması olumsuz bir özelliktir. İlk sorun motor çalıştırılırken ortaya çıkar. Motorun harekete geçebilmesi için devirsel hızının  $n_{min}$  'den büyük olması gerekir. Bu amaçla marş motoru denilen bir başka motorla dizel motora ilk hız verilir.

- $n_{max}$  eğrisinde de izlendiği gibi; motor yükü (döndürme momenti) artarken devirsel hız, önce azar azar, ama daha sonra çok büyük miktarda düşer. Motoru kullanan tecrübeli veya dikkatli değilse devirsel hızın kolayca  $n_{min}$  'in altına düşmesi ve motorun stop etmesi mümkündür.

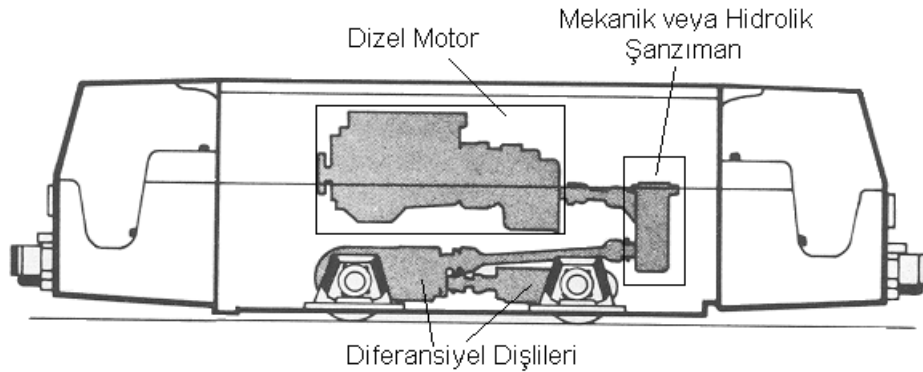
- Devirsel hız ile döndürme momenti çarpımının en büyük olduğu "12" noktası motorun maksimum güçle çalıştığı noktadır. Motor gücü ise bu noktadaki değeri ile anılır. Şekilde de görüleceği gibi dizel motorların anma gücünün üstüne çıkması mümkün değildir ve bu gücü sadece bir çalışma noktasında üretebilir.

- Şekil-9 da kesik çizgi ile gösterilen spesifik yakıt tüketimidir. Spesifik yakıt tüketimi, motorun yaptığı bir kWh 'lik iş için tükettiği yakıt miktarını gram birimi ile

gösteren bir büyüklüktür. Şekilde görüldüğü gibi dizel motorun spesifik yakıt tüketimi, motorun ürettiği moment değeri ile ters orantılıdır. Büyük momentle çalışılırken spesifik yakıt tüketimi küçük, küçük momentle çalışılırken spesifik yakıt tüketimi büyüktür.

Böylesi bir motor, maksimum hareket hızı elde edilecek şekilde sabit bir dişli çevrim oranı ile lokomotifin uyarlanır ise yukarıdaki şeklin sağında görülen kanca kuvveti - hız davranımı elde edilir. Motorun özelliği nedeniyle şekildeki taralı alan içindeki her noktada lokomotif çalışabilir. Örneğin, sabit yük altında sürücü gaz pedalı ile hızını ayarlayabilir veya sabit hızla hareket edilirken hareket dirençleri veya yol meyli değişir ise sürücü gaz pedalı ile kanca kuvvetindeki değişikliğe hemen uyum sağlar ve hızını koruyabilir.

Yukarıda belirtilen olumlu hususlar sadece taralı alan için geçerlidir. Ama bu alan lokomotifin çalışma alanı içinde çok küçük bir yer kaplar. Eş Güç eğrisi ve patinaj sınırının belirlediği alanın diğer kısımlarında lokomotifin çalışması mümkün değildir. Dolayısıyla dizel motor bu şekli ile lokomotif motoru olarak çok yetersiz kalmaktadır. Motorun lokomotive uyumunu sağlayacak düzenlemelere gidilmelidir. Şanzımanlar bu uyumu sağlayan mekanizmalardır. Şanzıman, motor ile aks (diferansiyel) dişlileri arasında yer alır ve motor hareketini çeşitli şekillerde değiştirerek aksa iletir. Yeraltı lokomotiflerinde kullanılan şanzımanları mekanik ve hidrolik şanzıman olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Bu nedenle dizel lokomotifin kanca kuvveti - hız davranımını şanzıman türüne göre ayrı ayrı incelenecektir.

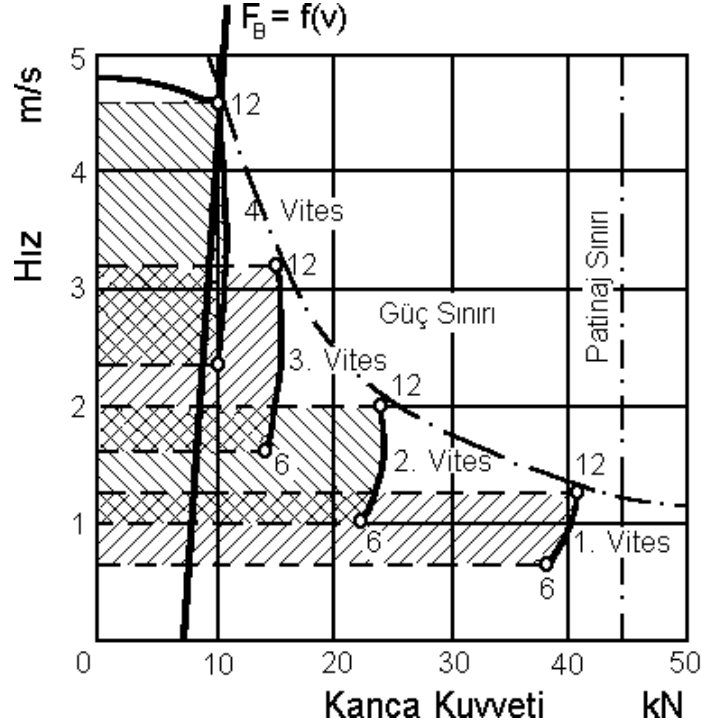


Şekil 10- Dizel lokomotif tahrik sistemi

## 2.42- Mekanik Şanzımanlı Lokomotifin Kanca Kuvveti - Hız Davranımı

Mekanik şanzıman (vites kutusu), dönme hareketini birkaç değişik çevrim oranı ile değiştirebilen dişli mekanizmadır. Dört değişik dişli çevrim oranı ile çalışan (dört vitesli) bir lokomotifin kanca kuvveti -hız diyagramı aşağıdaki şekil 'de verilmiştir. Görüleceği gibi, bir önceki şekilde tek dişli çevrim oranı ile elde edilen alan sayısı burada dörde çıkmıştır. Yani motorun çalışma alanı, lokomotifin çalışma alanına dört değişik şekilde yansıtılmıştır. Unutmamak gerekir ki, herhangi bir çalışma anında bu alanlardan sadece biri canlı olacaktır. Dişli çevrim oranları, alanlar birbirini kesecek şekilde oluşturulmuştur. Böylece bir alandan diğer alana geçme imkanı sağlanmıştır. Ancak, şekilde de görüleceği gibi, harekete yeni başlayacak olan lokomotifin ilk çalışma alanına (1.Vites) doğrudan geçmesi mümkün değildir. Çünkü lokomotifin evvela bu alana girebilecek hıza ulaşması lazımdır. Bu olumsuz durum; dizel motor minimum devir sayısının yüksek olmasından ve bu devrin altında çalışmamasından

kaynaklanmaktadır. İlk alanda çalışılacak hıza debriyaj mekanizması ile ulaşılır. Debriyaj, motor hareketini sürtünme kuvveti ile aksa ileten, böylece lokomotifin ilk hız veren mekanizmadır. Birinci çalışma alanına (1.Vites) geçildikten sonra hız, ikinci alana (2.Vites) geçmeye müsait olana kadar artırılır. Sabit hareket hızı hangi viteste elde edilecek ise o vitese kadar aynı şekilde davranarak bir üst vitese geçilir.



Şekil 11- Dört vitesli dizel lokomotif davranımı

#### 2.43- Mekanik Şanzımanlı Lokomotifin Kanca Kuvveti - Hız Davranımının İrdelenmesi

➤ Değişik dişli oranları kullanmakla oluşturulan çalışma alanları lokomotifin çalışma yeteneğini artırmıştır. Çalışma alanlarının birinden diğerine geçiş mekanik olarak sürücü tarafından gerçekleştirilir. Dolayısıyla bu tür lokomotifler tecrübeli sürücü gerektirir, otomasyona uygun değildir.

➤ Şanzıman, debriyaj ve marş motoru gibi mekanizmalar lokomotifin arızaya daha yatkın olmasına neden olmuştur.

➤ Belli bir çalışma bölgesinde kalmak şartı ile değişen kanca kuvveti veya hız koşullarına uyum sağlamak kolaydır. Bu durumda sürücü, sadece gaz pedalı ile lokomotifin istediği hareketi yaptırabilir.

➤ Kanca kuvvetindeki artış nedeniyle çalışma bölgesinin dışına taşılıyor ise sürücünün olaya zamanında müdahale etmesi ve bir alt çalışma alanına (vites) geçmesi gerekir. Aksi halde motor devri aniden düşür ve motor stop eder.

➤ Kanca kuvvetindeki artış nedeniyle bir alt çalışma alanına (vites) geçildiğinde hız önemli oranlarda düşmüş olur. Özellikle yüksek meyilli yollarda lokomotifin hangi viteste çalışacağını, istenilen hızı sağlayıp sağlamayacağını kontrol etmek gerekir.

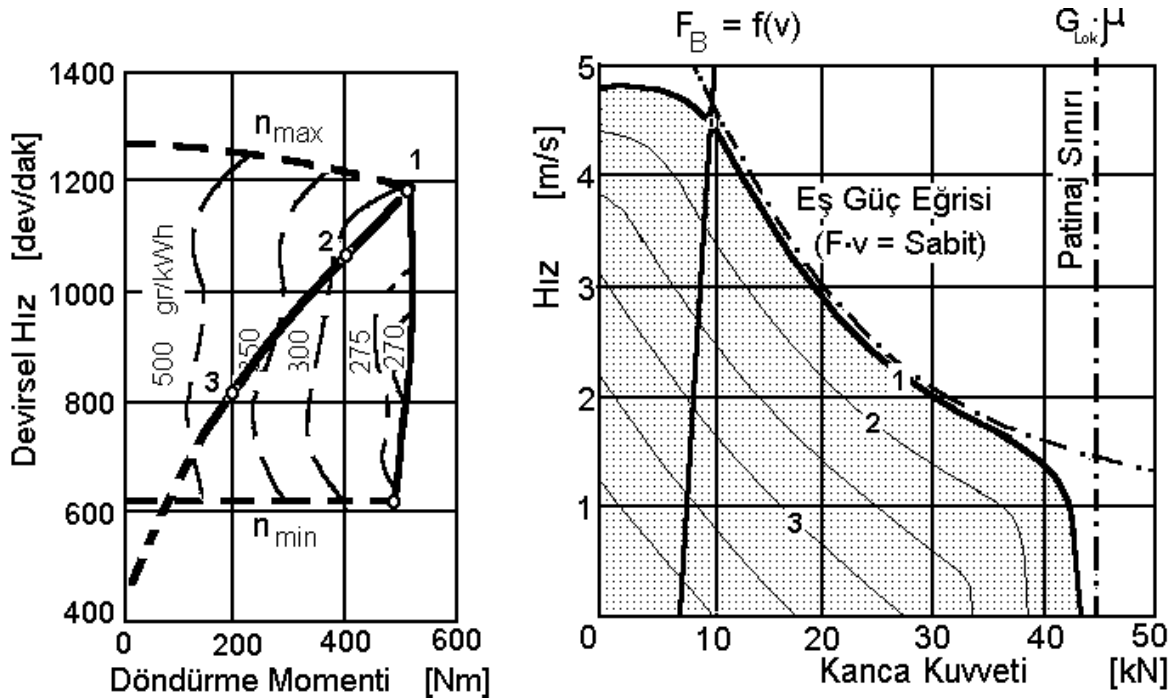
➤ Bir hızı iki değişik vitesle sağlamak mümkün ise, büyük vitesle çalışmak enerji tasarrufu açısından daha uygun olur. Çünkü; aynı kanca kuvveti için, küçük vitesle gidilirken motorun uyguladığı moment küçük, bir üst vitesle gidilirken moment

daha büyük olur. Motor büyük momentle çalışırken spesifik yakıt tüketimi (gr/kWh) daha küçüktür.

➤ Birinci viteste üretilen maksimum kanca kuvveti ile patinaj sınırı arasındaki uyum iyi kurulursa lokomotifin normal şartlarda patinaj yapmada harekete başlaması sağlanmış olur.

## 2.44- Hidrolik Şanzımanlı Lokomotifte Kanca Kuvveti - Hız Davranımı

Hidrolik şanzımanlar çok değişik yapısal özelliklere sahip olabilir. Ama bunları önce hidrodinamik (türbinli) ve hidrostatik (pompalı) şanzımanlar diye iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bu tür şanzımanlar ya kendi yapısal özelliklerinden (hidrodinamik şanzıman) yahut ta yapay olarak (hidrostatik şanzıman) kazandıkları yetenekten dolayı dizel motoru daima bir noktada çalışmaya zorlarlar. Bu çalışma noktası, ilgili gaz basamağında motordan çekilen gücün maksimum olduğu noktadır. Tam gaz durumunda motordan çekilen güç en büyüktür (aşağıdaki motor diyagramında 1 no'lu çalışma noktası). Gaz miktarı azaldıkça motordan çekilen güç de azalır (şeklin 2 veya 3 no'lu çalışma noktalarında olduğu gibi). Gaz miktarını değiştirmekle motorun 1-2-3 eğrisi botunca gezindiği görülür. Bu eğriye hidrodinamik şanzımanlarda türbin eğrisi de denilir. Daha önce dizel motorun,  $n_{max}$ ,  $n_{min}$  ve maksimum moment eğrilerinin sınırladığı alan içerisinde her noktada çalıştığını görmüştük. Eğer motor bir hidrolik şanzıman ile birlikte çalıştırılırsa motorun çalışma noktaları şekildeki 1-2-3 eğrisi (türbin eğrisi) üzerine indirgenmiş olur.



Şekil 12- Hidrolik şanzımanlı dizel lokomotif

Hidrolik şanzıman motorda çektiği gücü, hemen hemen " $F \cdot v = \text{Sabit}$ " olacak şekilde tekerlek aksına iletir. Ancak hızın çok düşük veya çok yüksek olduğu dönemlerde hidrolik randımanlar o kadar düşer ki eğriler hız veya kuvvet eksenlerine kapanmak zorunda kalır. Örneğin, motor tam gazla 1 no'lu nokta üzerinde çalışırken hidrolik şanzımanlı lokomotif, aşağıdaki lokomotif diyagramında gösterilen 1 no'lu eğri üzerinde çalışmaya başlar. Benzer çalışma özelliği 2, 3 veya tüm diğer gaz konumları

için de geçerlidir. Lokomotif diyagramında tam gaz eğrisinin altındaki her noktada, sadece gaz pedali ayarı ile çalışmak mümkündür.

#### 2.44- Hidrolik Şanzımanlı Lokomotifte Kanca Kuvveti - Hız Davranımının İrdelenmesi

➤ Bu tür lokomotiflerde debriyaja gereksinme duyulmaz. Lokomotif istenilen yumuşaklıktaki ivme ile harekete geçirebilir. Motora ilk hareketi verecek marş motoruna ise bu lokomotifde de gereksinme vardır. Genellikle hidrolik marş motorları kullanılır.

➤ Gaz seviyesi sabit iken, yani sürücü lokomotifte müdahale etmez ise, lokomotif değişen yol şartlarına kendiliğinden uyum sağlar. Yol eğimi veya hareket dirençlerinin değişmesi halinde ihtiyaç duyulan kanca kuvveti değişir ( $F_B$  eğrisinin sağa veya sola doğru kayar), lokomotif ise ilgili gaz eğrisi boyunca hızını azaltıp veya artırarak bu değişikliğe anında cevap verir. Hızdaki değişiklik yumuşak bir şekilde gerçekleşir.

➤ Sabit gaz seviyesinde hareket edilirken, lokomotif hızındaki değişiklikler motor hızını etkilemez. Değişen yol şartlarına rağmen motorun aynı hızla çalışması hem motor ömrünü olumlu etkiler hem de çevreyi daha az rahatsız eder.

➤ İstenilen hızla hareket etmek veya hızı korumak için sadece gaz pedalını ayarlamak yeterlidir.

➤ Dizel motorun devrini, minimum devirsel hızın altına düşürerek stop etmesi mümkün değildir.

➤ Kullanması çok basit olduğundan, otomasyona uygun lokomotiflerdir.

➤ Randımanları çok düşük lokomotiflerdir. Dolayısıyla enerji maliyetleri yüksektir.

➤ Hidrolik kumanda elemanları arızaya çok yatkın parçalardır. Hidrolik işçiliği de mekanik işçiliği gibi bol bulunmayan, pahalı bir işçiliktir.