
KANCA KUVVETİ-HIZ DİYAGRAMLARI İNCELENEREK YERALTI MADENCİLİĞİNDE KULLANILAN LOKOMOTİFLERİN İRDELENMESİ

İsmail UĞUR (*)

ÖZET

Lokomotif kanca kuvveti - Hız diyagramları nakliyat planlamasında kullanılan önemli verilerden biridir. Kanca kuvveti - hız davranımı lokomotif türüne göre farklılıklar gösterir. Bu nedenle farklı türden lokomotifler laboratuvar ve ocak koşullarında incelenmiştir. Bu araştırmalardan çıkan sonuçlar, sayısal değerlere bağlı kalmadan, ana hatları ile verilmiş, lokomotif davranımlarının nakliyata uygun olup olmadığı irdelenmiştir.

ABSTRACT

The relationship between locomotive speed and tractive force is one of the most important factors in haulage planning. Different type of locomotives were studied under laboratory and underground conditions since this relationship varies according to locomotive type. The results of this investigations without any numerical detail are briefly outlined below and the suitability of locomotive performance to haulage conditions are discussed.

* Yard. Doç. Dr., İTÜ Maden Fakültesi, İSTANBUL

1. GİRİŞ

Ulaşım sektörü söz konusu edilmez ise madencilik, nakliyatın en yoğun olduğu bir endüstri dalıdır. Lokomotif nakliyatı ise ters yöndeki bir nakliyata, yani üretim noktalarına yapılan işçi ve malzeme nakliyatına, olanak vermesi ve esnek olması nedeniyle yeraltı madencilğinde en yaygın şekilde kullanılan nakliye sistemidir.

Üretim seviyelerinin ve nakliye mesafelerinin artması yeraltı lokomotif nakliyatında darboğazları oluşturan iki önemli etkidir. Bu darboğazların aşılması için nakliyat organizasyonu ve planlaması konularına özellikle eğilmek gerekir.

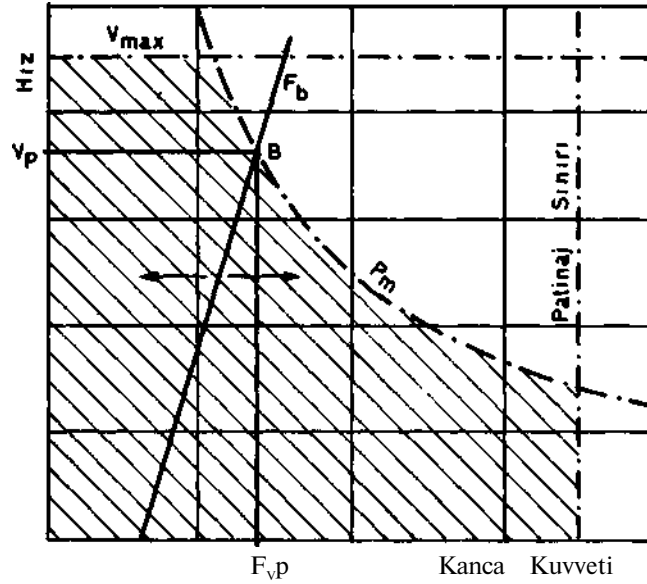
Lokomotif ve vagonların teknik özelliklerini incelemek ve planlama için gerekli verileri hazırlamak, gerçekçi bir nakliyat planlamasının temel taşlarını oluşturur. Bu konuda Almanya Aachen Teknik Üniversitesi Maden ve Metalürji Makinaları Enstitüsünde 1950'li yıllardan bu yana çeşitli araştırmalar sürdürülmüş, vagonların hareket dirençleri ve her türden lokomotif ocak ve laboratuvar koşullarında incelenmiştir. Bu araştırmalardan çıkan sayısal değerleri genelleştirmek mümkün değildir. Gerçekçi bir planlama için her işletmede ki Hamlan vagon ve lokomotiflerin bizzat incelenmesi ve ilgili verilerin saptanması gerekir. Ancak; lokomotiflerin davranımını daha iyi anlamak, onları daha iyi değerlendirmek açısından bu araştırmaların sonuçlarını ana ilkeler çerçevesinde incelemek, yararlı olacaktır.

2. LOKOMOTİF NAKLİYATI İÇİN GEREKLİ KANCA KUVVETİ-HIZ DAVRANIMI

Bir katarı yatay ve düz bir yolda sabit hızla hareket ettirebilmek için katarın harekete karşı göstermiş olduğu direnci yenmek gerekir. Hızla doğru orantılı olarak artan bu direnç Şekil 1'de F_b doğrusu ile gösterilmiştir (2). İstenilen herhangi bir sabit hareket hızının sağlanabilmesi için lokomotifin, bu doğru üzerindeki her noktada çalışabilmesi gerekir. Aksi halde hareket hızı istenilenden farklı olacaktır.

Yol meyli değiştiğinde, katarın sabit hızla hareketini sağlayan kuvvet, katar ağırlık kuvvetinin hareket düzlemine paralel bileşeni miktarında artar ve azalır. Dolayısıyla F_b doğrusu paralel olarak sağa veya sola kayar. Bu durumda sabit hareket hızının korunması isteniyor ise lokomotifin; F_b doğrusunun süpürebileceği alan içersindeki her noktada çalışabilmesi gerekir.

F_b doğrusu teorik olarak Patinaj sınırı ve max hız sınırının belirlediği alan içersinde her noktayı süpürebilir. Bunu sağlayacak lo-



Şekil 1 — Lokomotif nakliyatı için öngörülen kanca kuvveti-hız davranımı

komotifin motor gücü ise gereğinden fazla olacaktır. Lokomotif motor gücü P_m 'in hesabında esas ise planlanan nakliye hızı ve bu hızda uygulanması gerekli kanca kuvvetidir. Dolayısıyla lokomotif, P_m eş güç eğrisinin altında kalan, patinaj ve max hız sınırları ile sınırlanan alan içerisindeki her noktada çalışabilmelidir.

Katar hızının artırılması istendiğinde hareket eden kütlelerin ataletinin yenilmesi gerekir. Bunun içinde F_a gibi ivme veren bir kuvvete gereksinim vardır. Bu kuvvet ne kadar fazla ise hızlanmada o kadar kısa bir sürede gerçekleşmiş olacaktır.

3. YERALTI MADENCİLİĞİNDE KULLANILAN LOKOMOTİFLER

Yeraltı madenciliğinde kullanılan lokomotifleri elektrikli ve dizel lokomotifler olarak iki ana grupta toplamak mümkündür. Sayısı gittikçe azalmakta olan basınçlı hava lokomotifleri ise bu bildirinin kapsamı içine alınmamışlardır.

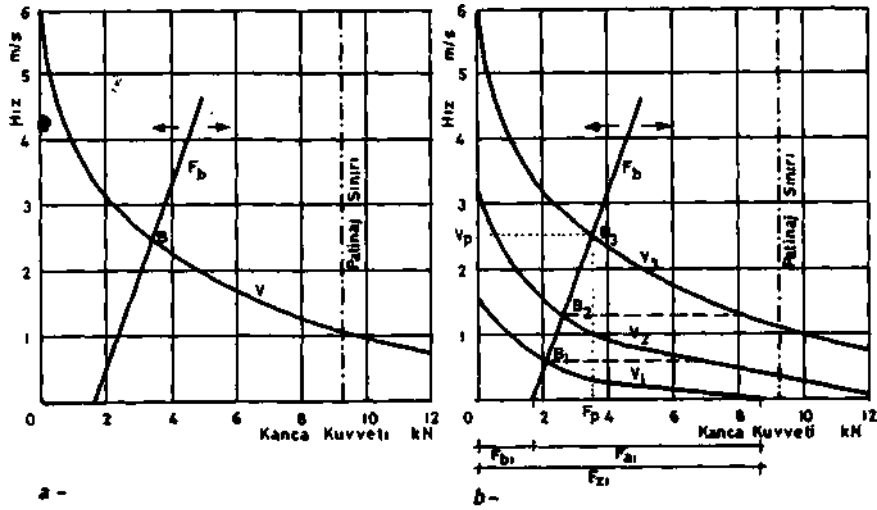
Elektrikli lokomotifler doğru akım elektrik motorları ile çalışırlar. Elektrik enerjisinin temin edilmiş şekline göre trolley veya akülü lokomotiflerden bahsetmek mümkündür.

Dizel motoru ile çalışan dizel lokomotifleri ise bu bildiriye esas olan incelemelere uygun olarak; dişli şanzumanlı, hidrodinamik şanzumanlı ve hidrostatik şanzumanlı dizel lokomotifler olarak üçe ayırmak mümkündür.

Pratik uygulamada lokomotifler genellikle belli bir hız ve bu hızda gerçekleştirilen kanca kuvvetinin tanımladığı güç değerleri ile anılırlar. Bu değer kanca kuvveti-hız diyagramında yalnız bir noktayı gösterir ve lokomotifin kanca kuvveti-hız davranımı hakkında hiçbir bilgi vermez, Örneğin Şekil 1'deki B noktası. Kaldı ki: Elektrikli ve dizel lokomotiflere ait güç tanımlamaları da farklıdır. Dizel lokomotifin gücü, lokomotifin sürekli olarak sağlayabileceği maksimum güç değeridir. Elektrikli lokomotifleri tanımlayan güç değeri ise; soğuk durumdan harekete geçildiğinde, bir saatlik süre içerisinde motor sargılarına zarar verebilecek ısınma oluşmadan lokomotifin sağlayacağı güçtür. Elektrikli lokomotifler kısa bir süre için nominal gücünün üzerinde iş yapabilirler. Dolayısıyla gücünün sayısal değeri küçük diye elektrikli lokomotifleri küçümsemek gerekir.

4. ELEKTRİKLİ LOKOMOTİFLER

Lokomotif nakliyatı için gerekli kanca kuvveti-hız davranım hakkında daha önce bilgi verilmişti. Elektrikli lokomotifin oluşturacağı kanca kuvvet-hız davranımını ise onu çalıştıran elektrik motorunun dönme momenti-devir sayısı özelliği belirler. Bu iki davranım birbirleriyle uyum içinde ise lokomotif nakliyat için "uygun demektir.



Şekil 2 — Elektrikli lokomotiflerde kanca kuvveti-hız davranımı
a - Nominal gerilimle çalışan lokomotif
b - Üç değişik gerilimle çalışan lokomotif

4.1. Kanca Kuvveti - Hız Davranımı

Şekil 2 a'da nominal gerilimle çalışan lokomotife ait kanca kuvveti-hız davranımı verilmiştir. F_b doğrusu ise hareket direncini yenmek için gerekli kanca kuvvetini göstermektedir. Görüleceği gibi; lokomotife üretilen kanca kuvveti yüksek hızlarda az, düşük hızlarda daha fazladır. Eğri süreklilik göstermektedir. Hızlanmayı veya meyilli yollarda hareketi sağlayacak aşırı bir kuvvet mevcuttur. Bu özelliklerine bakıp normal gerilimde sahip olduğu söylenebilir. Ancak şekil dikkatle incelenecek olursa iki önemli özellik hemen dikkati çeker. Bunlardan ilki; bu lokomotif ile durmakta olan katarın harekete geçirilemeyeceğidir. Nitekim şekildeki örnekte, V eğrisi $v = 1$ m/s'nin üzerinde patinaj sınırına ulaşmaktadır. Bu hızın altında üretilen kanca kuvveti o kadar fazladır ki, bu kuvveti patinaj nedeniyle raylara iletmek, mümkün değildir. İkinci husus ise, kanca kuvveti-hız davranımının tek bir eğri ile anlatılmasıdır. Sabit hızla hareket F_b doğrusu ile V eğrisinin kesiştiği B noktasında olacaktır. Buda yük ve yol koşulları değişmedikçe katar hızını ayarlamanın mümkün olmadığını göstermektedir. Ayrıca, yol eğimi arttığında sabit hareket hızı korumak hiç mümkün değildir. Belirtilen bu iki dezavantaj sadece nominal gerilimle çalışan lokomotifin nakliyat için uygun olmadığını göstermektedir.

Yukarıda belirtilen bu dezavantajları hafifletmek V eğrisine benzer eğriler üretmekle olur. Buda motor gerilimini değiştirmekle mümkündür. Şekil 2. b'deki V_1 ve V_2 eğrileri motor gerilimi değiştirilerek elde edilmiş eğrilerdir. Şekil 2. b böylece uç değişik hareket basamağı bulunan bir lokomotifin kanca kuvveti, hız davranımını vermektedir. Hareket basamağı sayısı lokomotiften lokomotive farklılıklar gösterebilir (1).

Dikkat edileceği gibi, en küçük hareket basamağında sağlanan max. kanca kuvveti F_{zi} patinaj sınırının altındadır. Bu hareket basamağı ile durmakta olan lokomotive yol verilince; katara uygulanan F_{z1} kuvveti, hareket direnci F_w 'den çok fazla olacaktır. Dolayısıyla katar, $F_{ai} = F_{zi} - F_w$ değerindeki aşırı kuvvetin etkisiyle harekete geçecek ve hızı V_1 eğrisi boyunca artacaktır. B_1 noktasına gelindiğinde lokomotifin uyguladığı kanca kuvveti, katarın hareket direncine eşit olacak ve katar bu sabit hızla hareketine devam edecektir. Hareket hızının artırılması isteniyor ise ikinci hareket basamağına geçilir. Bu basamakta max hareket hızı B_1 'de oluşacaktır. Bu hızda yeterli değil ise üçüncü hareket basamağına geçilip, hız B_3 noktasına kadar artırılabilir.

4.2. Kanca Kuvveti-Hız Davranımının İrdelenmesi

Planlanan V_p hızında gerekli $F_{,}$ kanca kuvveti lokomotif kanca kuvveti - hız diyagramında B_3 gibi bir noktayı tanımlar. Dolayısı-

la bu verilere uygun güçte seçilecek lokomotifin kanca kuvveti - hız davranımı hakkında bir şey söylemek mümkün değildir. Gerçekçi bir planlama için lokomotiflerin kanca kuvveti-hız davranımının saptanmış olması gerekir.

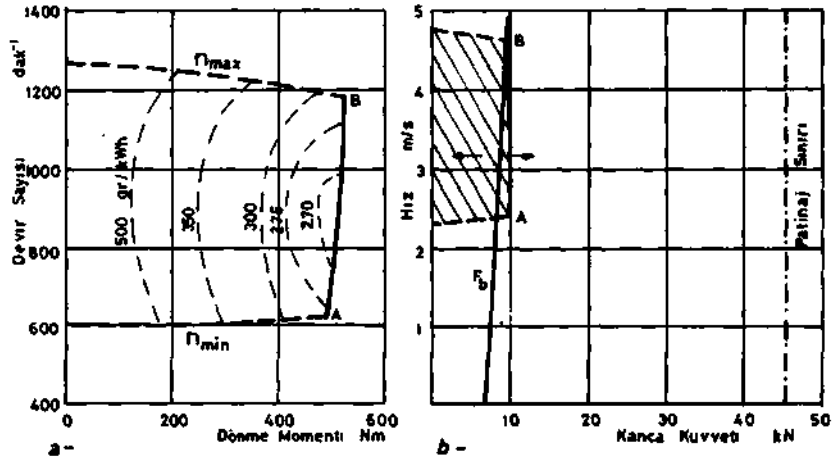
Belli bir hareket basamağıyla hareket sürdürülürken, yol eğiminde meydana gelen değişiklik lokomotif hızını hemen etkileyecektir. Ancak hızda oluşan değişiklik nisbeten az olacak ve lokomotif yeni koşullara sürücünün karışması olmadan kendiliğinden uyum sağlayacaktır.

Belli yükleme ve yol koşullarında sabit hareket hızını isteğe bağlı olarak seçmek mümkün değildir. Şekil 2. b'deki örnekte görüldüğü gibi, hareket hızı ancak hareket basamağı sayısı kadar değiştirilebilir. Planlanan bir nakliye hızının tutturulması isteniyor ise lokomotifin dikkatle tasarımlanmış olması gerekir.

Duran katarın max. hareket hızına ulaşması küçükten büyüğe doğru hareket basamağını değiştirmekle olmaktadır. Bu durumda lokomotifin uyguladığı kanca kuvvetinde ani ve büyük ölçüde artışlar görülür. Bu da katar üzerinde pek istenmeyen darbeli harekete neden olur. Ayrıca hareket basamaklarını artırırken patinaja neden olmak, ancak sürücünün deneyimine kalmış bir konudur.

5. DİZEL LOKOMOTİFLER

Dizel lokomotifler dizel motorları ile çalıştırılan lokomotiflerdir. Dolayısıyla dizel lokomotifin kanca kuvveti-hız davranımı, motor hareketinin tekerlere doğrudan yansıtılması halinde, dizel motorun dön-



Şekil 3 — Dizel motorunun lokomotive doğrudan uyarlanması
a - Dizel motoru devir sayısı-dönme momenti karakteristiği
b - Lokomotif kanca kuvveti-hız davranımı

me momenti devir sayısı karakterine (Şekil 3. a) uygun olacaktır. Maksimum nakliye hızında gerekli" kanca kuvvetini sağlayacak dişli çevrim oranı ile motorun hareketi akslara iletilirse elde edilecek kanca kuvveti-hız davranımı Şekil 3. b'de görüldüğü gibidir. Lokomotif taralı alan içindeki her noktayı, gaz pedalını ayarlamakla, gerçekleştirebilecek durumdadır. Şekilde izlenebileceği gibi; hareket hızı iki sınır değer arasında kalmaktadır ve max. kanca kuvveti hızdan hemen hemen bağımsızdır. Şekil 3. a üzerine, dizel motorun özgül yakıt tüketimi işlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi, momentin max. olduğu bölgede en azdır, moment değeri düştükçe bu değer atmaktadır.

Şekil 3. b incelendiğinde böylesi bir kanca kuvveti-hızı davranımının lokomotif nakliyatı için uygun olmadığı görülür. Nakliyat hızının minimum değerinin altına indirmek mümkün değildir. Dolayısıyla duran katarın lokomotif minimum hızına ulaştırılması olanaksızdır. Yol eğiminin artması sonucu-, Fb doğrusunun paralel olarak sağa kayması halinde motor buna cevap verememekte ve hemen stop etmektedir. Lokomotif nakliyatına uygun kanca kuvveti-hız davranımının elde edilebilmesi için motor ile dingil dişlileri arasına başka bir makina sisteminin yerleştirilmesi gerekir. Dişli şanzumanlar, hidrodinamik veya hidrostatik şanzumanlar uygulamada bu görevi üstlenmiş elemanlardır.

5.1. Dişil Şanzumanlı Dizel Lokomotifler

5.1.1. Kanca Kuvveti-Hız Davranımı

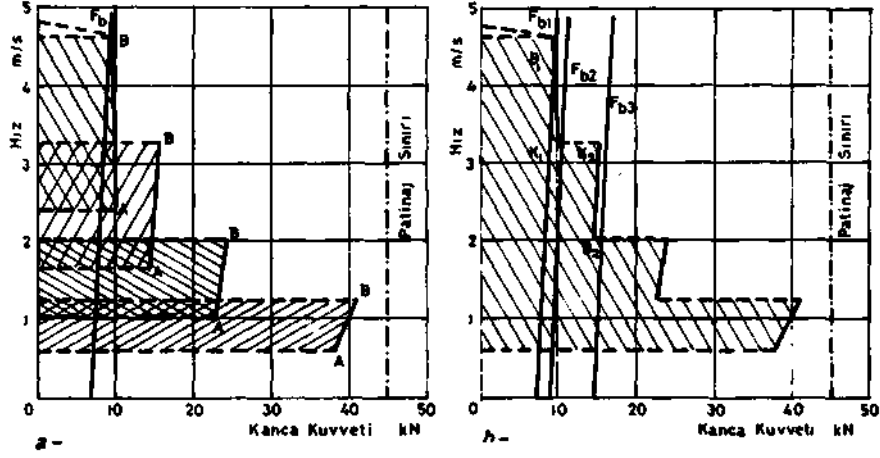
Dişli şanzumanlar motordan aldığı hareketin devir sayısı ve moment değerini farklı dişli çevrim oranları ile değiştirip, dingil dişlerine ileten sistemlerdir. Şekil 3. a'da görülen motor özelliği, şanzumanın değişik dişli çevrim oranları ile, Şekil 3. b'de olduğu gibi, lokomotif kanca kuvveti, hız diyagramına aktarılır. Bu şekilde elde edilmiş, dört değişik dişli çevrim oranına sahip, yani dört vitesli bir lokomotifin kanca kuvveti-hız diyagramı Şekil 4. a'da verilmiştir (3).

Dizel motorları minimum devir sayılarının altında çalıştırmak mümkün olmadığından, dişli şanzumanlı lokomotif hızını sıfırdan başlatıp artırmak mümkün değildir. Birinci vitesle hareket edilebilecek hız seviyesine ulaşmak için duran katarı debriyajla harekete geçirmek gerekir. Sürücünün lokomotifi motora tam gaz vererek kullanması halinde, lokomotif hızı ilgili vitesin A-B eğrisi boyunca artar. B noktasına gelindiğinde motor max. devir sayısına ulaşmış olur. İlgili viteste hız daha fazla artırılamaz ve bir üst vites geçmek gerekir.

5.1.2. Kanca Kuvveti-Hız Davranımının İrdelenmesi

Şekil 4. b'de dört vitesli lokomotifin hareket alanı bir bütün olarak gösterilmiştir. Motora değişik şekilde gaz vererek, bu alan için-

deki her noktada hareket etmek mümkündür. Örneğin 3 m/s hızla giden lokomotifin çalışma noktası K_i de olsun. Yol eğiminin artması sonucu bu nokta K_{fye} ötelensin. Kanca kuvvetinde oluşan bu artış, motora daha fazla gaz vererek,, hız düşüşüne neden olmadan karşılanabilir.



Sfkil 4 — Dişli şanzumanlı dizel lokomotiflerde kanca kuvveti $h > 7$. davranımını
a - Viteslere ait bölgeler
b - Yol eğimindeki artışın hm üzerine etkisi

Şekil 4 a'daki çifte taraflı alanlar iki ayrı viteslede hareketin mümkün olduğu alanlardır. Sabit hareket hızı böylesi alanlara düşüyor ise sürücünün lokomotifini bir üst viteste kullanması daha uygundur. Bir alt viteste çalışılması halinde motorun uygulayacağı dönme momenti, bir üst vitese göre daha küçük değerde olacaktır. Dolayısıyla yapılan aynı iş için harcanan yakıt artmış olacaktır.

Şekil 4. b'de taraflı alanı sınırlayan motorun tam gaz eğrisidir. Kanca kuvvetinde meydana gelen artış hareketin yapıldığı vites sınırlarını aşıyor ise meydana gelecek hız düşüşü oldukça fazladır. Örneğin B_1 noktasında hareket edilirken, yol eğimi artmış ve gerekli kanca kuvveti F_{M1} ile verilmiş olsun. Bu kanca kuvvetini 4. ve 3. viteslerde karşılamak mümkün değildir. Lokomotif, gerekli kanca kuvvetini ancak 2. viteste B_2 noktasında karşılayabilecektir. Görüleceği gibi hareket hızı oldukça büyük bir oranda düşmüş olacaktır.

Yukarıda değinildiği gibi duran katarı bu tür lokomotifle doğrudan harekete geçirmek mümkün değildir. Debriyaj gibi ek bir sisteme gerek vardır.

Vites küçültülürken kanca kuvvetinde ani ve büyük oranlarda artış olur. Bu da katar üzerinde darbe etkisi yapar.

5.2.2. Kanca Kuvveti-Hız Davranımının İrdelenmesi

Yol meylindeki artışın hız üzerine etkisi minimum hale indirilmiştir. Örneğin; belli bir hızla gidilirken lokomotifin çalışma noktası B₁ olsun. Motora gaz verip, sabit hareket hızını koruyarak kanca kuvvetini B₂'ye kadar artırmak mümkündür. Gerekli kanca kuvveti daha da fazla ise hız düşecektir. Ancak bu düşüş, dişli şanzumanlı lokomotifte olduğu gibi sıçramalar yapmayacak, elektrikli lokomotiflerde olduğu gibi aşamalı olacaktır.

Şanzuman olmadan duran katar harekete geçirilebilecektir. İvmelendiren kanca kuvvetini istenildiği gibi ayarlamak mümkün olduğundan elektrikli lokomotiflerde görülen darbeli hızlanma söz konusu olmayacaktır.

Üretilebilecek max. kanca kuvvetinin sınırı bellidir. Doğru bir planlama ile patinaj sınırı max. kanca kuvvetinin üzerinde tutulabilir. Böylece normal koşullarda patinaj yapma sorunuda ortadan kalkmış olur.

6. SONUÇ

Dizel motorun veya nominal gerilimle çalışan elektrik motorunun devir sayısı-dönme momenti değerleri lokomotif nakliyatı için uygun değildir. Gerekli uyum elektrik motorlarında, motor gerilimi değiştirilerek; dizel motorlarda çeşitli şanzumanlar kullanılarak sağlanır.

Planlanan sabit bir nakliye hızını dizel lokomotiflerince sağlamak mümkündür. Elektrikli lokomotiflerde bu olanak her zaman yoktur.

Yol eğimindeki artışlar elektrikli lokomotiflerde aşamalıda olsa hemen hız düşüşüne neden olurlar. Dizel lokomotifler ise kanca kuvvetindeki bu artışa hareket hızını değiştirmeden bir süre cevap verebilirler. Motora tam gaz vermekle de sabit hareket hızı korunamıyor ise oluşan hız düşüşü dişli şanzumanlı lokomotiflerde büyük oranlarda olurken, hidrolik şanzumanlı lokomotiflerde hız aşamalı olarak düşer.

Duran katarın harekete geçirilmesi elektrikli ve hidrolik şanzumanlı dizel lokomotiflerde doğrudan mümkün iken dişli şanzumanlı lokomotiflerde debriyaj kullanılması gerekir.

Elektrikli lokomotiflerde bir üst hareket basamağına geçilirken, dişli şanzumanlı dizel lokomotiflerde vites küçültülürken, kataradan yüksek bir kanca kuvveti uygulanır. Bu da katar üzerinde darbe etkisi yapar.

Elektrikli lokomotiflerle patinaj sınırına düşmemek sürücünün deneyimine kalmış bir konudur. Dizel lokomotiflerde bunu doğru bir planlama ile önlemek mümkündür.

KAYNAKLAR

1. FAUSER, H., Fahrdynamik und Arbeitsverbrauch Elektrischer Grubenlokomotiven, Glückauf 94 (1958) pp. 454/72
2. FAUSER, H., Der Fahrwiderstand von Förderwagen im Zugverband unter Tage, Glückauf 93, (1957), pp. 1014/27
3. SEEL, L., Die maschinentechnischen Grundlagen und die Wirtschaftlichkeit der Diesellokomotivförderung unter Tage, RWTH, Aachen, 1972
4. UĞUR, İ., Untersuchung über die Betriebswerte und die Wirtschaftlichkeit von Grubendiesellokomotiven mit hydrostatischem Getriebe RWTH, Aachen, 1979

