

Demiryolu İşletmeciliği ve Demiryolu Mühendisliği

Şükrü Tayfun KAYA

Demiryolu işletmeciliğini birçok disiplinin bir arada yürütüldüğü bir sistem mühendisliği olarak tanımlayabiliriz. Bu nedenle yapacağımız inceleme ve değerlendirmelerde bu alanların her birinin birlikte dikkate alınması elzemdir. Bu yazımızda bütün etkenlerin birlikte değerlendirilmesi yazı içeriğini fazlasıyla artıracığından bunlardan birkaçının teknik değerlendirilmesi verilmiştir. İşletmecilik için sizlerle paylaştığımız konular tek başına yeterli bir değerlendirmeyi sağlamayacaktır. Konunun teknik yönü yoğun, işletmeciler tarafından daha az dikkate alınan yönlerinden, işletmecilik yapılacak olan hat kesiminin teknik özellikleri ve işletmecilikte kullanılan araçların teknik özelliklerini değerlendirerek sunmaktayız.

1. Demiryolu Hattının Teknik Yapısı

Hattın teknik yapısı kurp, eğim, uzunluk, sayding/istasyon adedi, istasyon yol boyları ve verilebilen hizmetler, sinyalizasyon, elektrifikasyon, hattın müsaade ettiği dingil basıncı vb. gibi özellikleri yapılacak olan tren işletmeciliğini doğrudan etkileyecektir.

1.1. Kurp

Hatta mevcut olan kurp yarıçaplarının küçük olması; çalıştırılacak trenlerin ortalama hızlarını etkilemektedir. Aynı zamanda tren direncine etkisi nedeniyle de lokomotifin göre oluşturulabilecek tren dizisi ağırlığına kısıt getirmektedir. Bir tip lokomotif için genel bir analiz yapılacak olur ise aynı eğimde ve diğer şartlar aynı kalmak koşuluyla 250 metre yarıçaplı kurp ile 1500 metre yarıçaplı kurp arasındaki tren çekerleri farkları kademeli olarak aşağıda görülmektedir.

| | | EĞİM (Binde) | | | | |
|--------------------------|------|--------------|------|-----|-----|-----|
| | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| KURP YARIÇAPI (Metre) | 250 | 1329 | 975 | 760 | 616 | 512 |
| | 500 | 1497 | 1068 | 819 | 657 | 542 |
| | 800 | 1570 | 1107 | 843 | 673 | 554 |
| | 1000 | 1596 | 1121 | 852 | 679 | 558 |
| | 1500 | 1631 | 1139 | 863 | 686 | 564 |

Burada binde 10 rampa olan bir hat kesiminde 250 metre ve 1000 metre kurp yarıçapına sahip iki ayrı noktada tren hamulesinin 267 ton yani %20 civarında etkilendiği görülmektedir. Hattın projelendirilmesi aşamasında kurpların hıza etkisi değerlendirildikten sonra, yük taşımacılığı yapılacak hatlarda taşınacak hamule miktarı da dikkate alınarak yeni bir değerlendirme yapılmalıdır.

1.2. Eğim

Eğiminde kurp gibi hem hıza hem tren çekerine etkisi yönünden değerlendirilmesi gereklidir. Rampanın hamule miktarına etkisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

| EĞİM (Binde) | | | | | |
|--------------|------|------|-----|-----|-----|
| 5 | 10 | 16 | 20 | 25 | 30 |
| 2500 | 1570 | 1043 | 843 | 673 | 554 |

Eğimin bir yönde rampa olması hamuleyi, dönüş yönünde iniş olması nedeniyle de tren hızını etkilemektedir. Altyapı hızları müsaade etmesine rağmen, bu tür coğrafi koşullarda istenilen duruş mesafesinin sağlanabilmesi için işletme hızı eğimin büyüklüğüne bağlı olarak azaltılmaktadır.

1.3. Elektrifikasyon, Sinyalizasyon ve Telemekünikasyon(EST)

İşletme yapılacak hatta EST tesislerinin mevcudiyeti, hat kapasitesi artışından dolayı istenen trenlerin planlanabilmesine, planlama ile gerçekleşme arasındaki farkın azalmasına ve en önemlisi de dizel yakıt ile çekilebilecek bir hamulenin yaklaşık %40 enerji sarfiyatı ile çekilebilmesini sağlayacaktır. Elektrikli lokomotiflerde güç aktarma kaybı az olması nedeniyle aynı güçteki lokomotifler kıyaslandığında aynı hat kesiminde Elektrikli Lokomotif Dizel lokomotive göre yaklaşık %10 fazla yük taşıyabilir.

1.4. Hattın Uzunluğu

İşletme yapılacak hattın uzunluğu araç, personel, bakım planlamaları ve ihtiyaçlarının belirlenmesinde birinci unsurdur. Personel ve araç planlamaları, vagonlarda yükleme boşaltma da dikkate alınarak yapılırken işletmeciliğin yapılacağı hattın gidiş dönüş seyir süreleri bilinmeli ve ihtiyaç analizi bu temelde yapılmalıdır.

1.5. İstasyon Adedi, Yol Boyları ve Verilebilen Hizmetler

Yükleme boşaltma yapılacak yerler, trene vagon eklenecek/kesilecek istasyonlar planlamada belirlendikten sonra bu istasyonlarda verilen hizmetlerin, işletmecilik taleplerini karşılayabileceği, diğer işletmecilerin talepleri de dikkate alınarak planlamayı aksatmayacağı hususunda gerekli analizler yapılmalıdır.

İşletme yapılacak hat kesiminde buluşma yapılabilecek istasyon/sayding adedinin fazla olması hat kapasitesini doğrudan etkileyeceğinden, talep edilecek trenlerin planlanabilmesinde kolaylık sağlayacaktır. Yapılacak işletmecilikte yük artışı planlandığı durumlarda da taleplerin karşılanabilmesine olanak sağlayacaktır.

Hat kesiminde taşınacak yükün cinsi, kullanılacak lokomotif, vagon tipleri ve hattın çeker

miktarı belirlendiğinde hatta bulunan istasyonların yol boyu uzunluklarından kaynaklı tren boyu kısıtı da dikkate alınmalıdır. Aksi halde yapılan planlama uygulamada gerçekleştirilemez durumda olacaktır.

2. İşletmecilikte Kullanılacak Araçlar

Planlanan işletmecilikte teşkil edilecek trenlerden istenen işletme hızı araç seçiminde öncelikli etken olduğundan ilk belirlenmesi gereken kriterdir. Belirlenen işletme hızına uygun teknik özellikteki araçlar seçilerek planlama gerçekleştirilebilir.

Kullanılacak vagonlar öncelikle yükün cinsine göre seçilecektir. Vagonların yükleme kapasiteleri ile hattın dingil basıncı uyumu, trende planlanan işletme hızına uyumluluk ve fren ağırlıkları gibi teknik özelliklerine dikkat edilmelidir. Lokomotif seçiminde ise lokomotifin kullanılacağı tren tipi, çalıştırılacak hat kesiminin özellikleri, lokomotifin teknik özellikleri dikkate alınmalıdır.

2.1. Lokomotif Seçiminde Dikkate Alınacak Hususlar

2.1.1. Tren tipi

Yolcu trenlerinin tonajı ile yük trenlerinin tonajlarının ve işletmecilik parametrelerinin farklı olması nedeniyle kullanılacak lokomotifte aranan özellikler değişkenlik gösterecektir. Yük trenleri için düşük hızlarda yüksek güce ulaşabilecek lokomotifler tercih edilirken, yolcu trenleri için ivmelenmesi yüksek istenilen hızları yapabilecek lokomotifler tercih edilmektedir. Genel olarak yolcu taşımacılığının Demiryolu sektöründe lokomotif ve vagonlardan oluşan diziler yerine bir bütün olarak teşkil edilmiş, dağıtılmış güç kullanarak birçok avantajı da getiren setler ile yapılması yönünde hızlı bir ilerleyiş görülmektedir. Bu nedenle yazımızda yük treni lokomotifini seçilmesinde dikkate alınacak hususlar incelenmiştir.

2.1.2. Çalıştırılacak Hat Kesiminin Özellikleri

Hattın elektrifikasyonu olması durumunda sarf edilecek enerji bakımından bu duruma uygun elektrikli lokomotif seçilmesi uygun olacaktır. Çalıştırılacak hatta müsaade edilen dingil basıncını azami seviyede kullanacak lokomotif seçilmesi aderansa bağlı kuvveti ar-

tıracağından kritik hızda çekilebilecek yükü artıracaktır. Bu nedenle lokomotif seçiminde çalıştırılacak hattın müsaade ettiği dingil basıncını azami seviyede kullanabilecek lokomotif seçilmesi faydalı olacaktır. Lokomotif ağırlığının çekilebilecek yük miktarına olan etkisi lokomotif teknik özellikleri içerisinde değerlendirilmiş ve örneklendirilmiştir.

Lokomotifte gerekli gücün hesaplanabilmesi için trene etkileyen dirençlerin hesaplanması gereklidir. İşletileceği hat kesiminde tren seyir direncini etkileyen faktörler dikkate alındığında oluşacak dirençler toplamını karşılayabilecek tekerlek gücüne sahip lokomotif seçimi gereklidir. Çalıştırılacağı hat kesimindeki eğim (rampa) ve kurp dirençleri tren seyir direncine etki eden en büyük faktörlerdir.

$$F_{rampa} = M \times g \times xi$$

$$F_{direnç} = M_{karp} + F_{rampa}$$

Kurp direnci için çeşitli formüller mevcut olup toplamda eşdeğer dirence etkisi alıyman yol ile 300 metre kurp yarıçapına sahip yol arasında yaklaşık binde 3 rampanın etkisi kadar olmaktadır. Çekilebilecek hamuleye etkisi hattın teknik yapısı içerisinde değerlendirilerek tablo halinde verilmiştir. Kurp direnci araçların teknik özelliklerinin etkisiyle de artabilir. İki dingil arasındaki mesafe, boji merkezleri arasındaki mesafe, aracın boyu gibi etkenler aynı kurpta oluşabilecek direnci değiştirmektedir. Araç temininde bu husus dikkate alınarak toplam direncin minimize edilmesi yönündeki tercihler çekilebilecek hamulenin artması için faydalı olacaktır.

2.1.3. Lokomotifin Teknik özellikleri

Lokomotifte bulunan kompresör; işletmecilik yapılacak hat kesimi dikkate alınarak, oluşturulan tren dizisinin uzunluğuna kısıt oluşturmamalıdır. Planlanan tren dizisindeki hava ihtiyacını frenleme ile ilgili standartlara uygun zamanda temin edebilecek güçte olmalıdır.

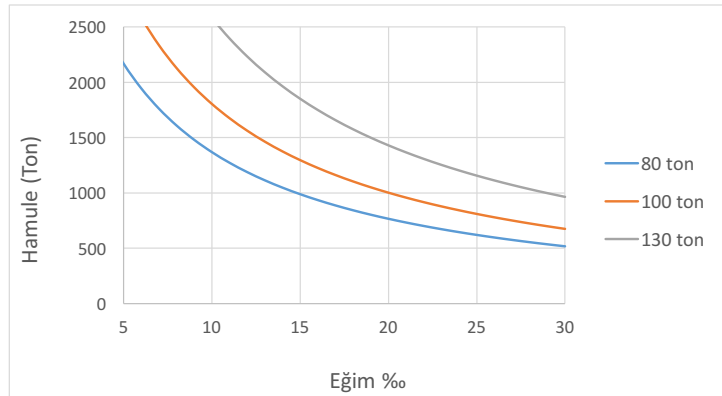
Lokomotif ağırlığı, çekebileceği yük miktarını doğrudan etkilemektedir. Doğru akım cer motorlu lokomotiflerde tekerlek kuvveti Aderansa bağlı kuvvet (F_a) ile sınırlandırılmaktadır.

F_a lokomotif ağırlığı ile doğru orantılıdır.

$$F_a = m \times m \times g$$

Çalıştırılacak hat kesimindeki dingil basıncının müsaade ettiği oranda ağır bir lokomotif alınması F_a kuvvetinin daha yüksek olmasını sağlayacaktır. Dingil basıncı aynı zamanda vagonlara yüklenebilecek yük miktarını doğrudan etkileyecektir.

Lokomotif ağırlığının çekilebilecek yük miktarına olan etkisinin anlaşılabilmesi için; diğer özellikleri aynı olan 80, 100, 130 tonluk doğru akım cer motorlu üç lokomotifin çekebileceği yük miktarları aşağıdaki grafikte kıyaslanmaktadır.



Grafikte de görüldüğü gibi aynı özelliklere sahip sadece ağırlığı farklı lokomotiflerin F_a kuvvetinin değişmesinden kaynaklı çekebileceği yük miktarları da değişmektedir.

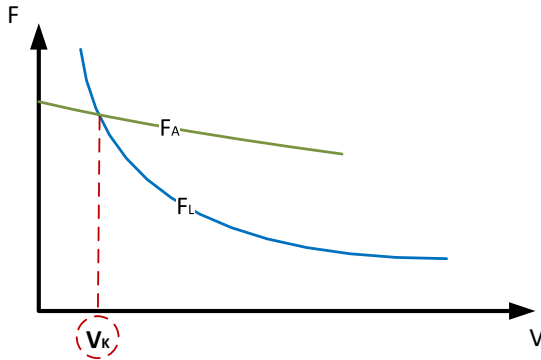
Lokomotifte gerekli gücün hesaplanabilmesi için trene etkileyen dirençlerin hesaplanması gerektiği rampa ve kurp dirençleri hesabı hattın teknik özelliklerinde vurgulanmıştır. Dirençler hesaplanırken lokomotifin ilk hareketi sağlaması esnasında oluşan direnç, hareketi esnasında oluşan muylu ve rüzgar direnci de oluşacağından lokomotif direncinin hesaplanması gerekmektedir. Lokomotif direnci genel olarak;

$$R_l = A + BV + CV^2$$

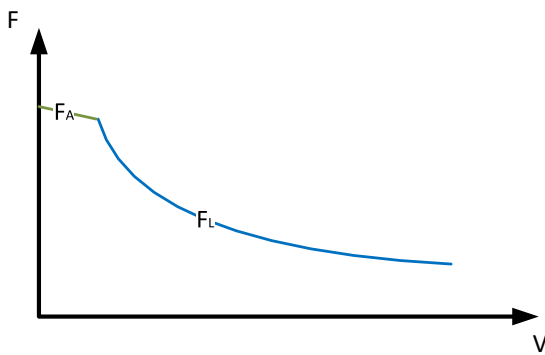
Lokomotif gücünün oluşacak dirençler toplamından fazla olması gerekmektedir. Lokomotif gücünün tekerlere iletilmesi esnasında

bazı kayıplar mevcuttur. Kayıplar sonrası iletilen lokomotifin tekerlek gücünün adersansa bağlı kuvvetten daha büyük olduğu kısımlarda lokomotif tekerlek gücünün tamamı kullanılması mümkün olmayacağından adersansa bağlı kuvvet dikkate alınacaktır. Lokomotif çeker hesaplamalarında lokomotifin tekerlek gücünün adersansa bağlı kuvvete eşit olduğu noktadaki kuvvet dikkate alınır ve bu noktadaki hıza kritik hız denmektedir. Bu nedenle adersansa bağlı kuvvetin yüksek olması yani lokomotif ağırlığının dingil basıncının müsaade ettiği oranda büyük olması lokomotifin çekebileceği yükü doğrudan etkileyecektir.

Asenkron cer motorlu lokomotiflerde; maksimum gücün olduğu noktadaki çekilebilecek yük miktarı, daha düşük teker gücü ile çekilebilecek yük miktarından daha az olabilir. Bu durum lokomotifin ağırlığı nedeniyle oluşacak adersan kuvvetinin düşük hızlarda daha yüksek aynı zamanda düşük hızlarda tren direncinin daha düşük çıkmasından kaynaklanmaktadır.



F_A : Adersansa bağlı kuvvet

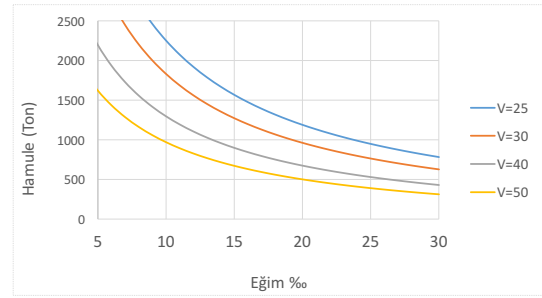


F_L : Lokomotif tekerlek kuvveti

Lokomotifin tekerleklere iletebileceği güç, lokomotifin toplam gücünden yardımcı devre güçleri ve güç aktarma sistemlerindeki kayıplar çıkarılarak bulunur. Lokomotifte güç aktarma kayıpları ve yardımcı devre güçleri lokomotifin çekebileceği yük miktarını etkilediği seçilecek lokomotifte dikkate alınmalıdır.

Lokomotifin ilk maliyeti, bakım maliyeti ve yakıt sarfiyatı gibi işletme maliyetleri dikkate alınmalı ve fayda maliyet analizi yapılmalıdır.

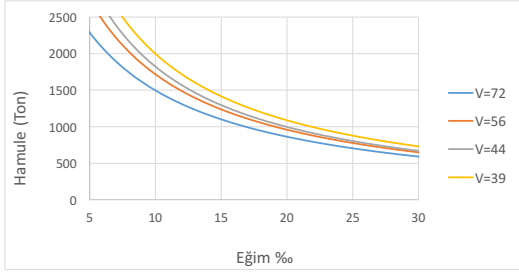
Doğru akım cer motorlu lokomotif seçilmesi durumunda, planlanan işletme hızı lokomotifin Patinaj hızından büyük bir değer olmalıdır. Hızın yüksek belirlenmesi tren direncini artırdığından çekilebilecek yük miktarını düşürmektedir. Doğru akım cer motorlu aynı tip lokomotif ile farklı hızlar için çekebileceği yük miktarları aşağıda verilmiştir.



Doğru akım cer motorlu lokomotiflerde planlanan işletmecilik hızının çekilebilecek hamuleye etkisi

Asenkron cer motorlu lokomotiflerde ise hızın azalması durumunda tekerlek gücünü azaltarak lokomotifin patinaja girmesi engellenir. Bu durumda çekilebilecek hamule hesabında işletme hızı olarak alınan değerdeki hıza ait tekerlek gücü kullanılır. İşletme hızının da bu gücün optimum olduğu hız değerlendirilerek belirlenmesi faydalı olacaktır. Hızın azalması durumunda çekilebilecek hamule artarken, seyir süresini de uzatacağından araç ve personel planlamasında oluşacak kaybın dikkate alınması gerekir. Her iki durum analiz edilerek yapılacak işletmecilik için en uygun sonuç uygulanabilir.

Asenkron cer motorlu bir lokomotifin farklı hızlarda çekebileceği yük miktarlarına bir örnek aşağıda verilmiştir.



Alternatif akım çer motorlu lokomotiflerde planlanan işletmecilik hızının çekilebilecek hamuleye etkisi

2.1.4. Fren Yüzdesi;

Teşkil edilecek trenin fren yüzdesi trenin hızını doğrudan etkileyeceğinden seçilecek vagonların fren yüzdeleri, planlanan işletmecilik hızına uygun olmalıdır. Aksi takdirde

yeterli fren kuvveti olmaması nedeniyle tren hızının bazı noktalarda azaltılmasına neden olacaktır. Tren hızlarının azaltılması rekabet yönünden dezavantaj sağladığı gibi personel ve araç planlamasında ek maliyete de sebep olacaktır.

Genel olarak işletmecilik planlanan hat kesimi, taşınacak yük cinsi, yük miktarı belirlenmesi sonrasında lokomotif seçiminin yapılması için genel kriterler değerlendirilmiştir. Kullanılacak araçların belirlenmesi sonrasında özelliklerine göre seyir süreleri belirlenerek, araç personel adedi ve diğer planlamalar da yapılabilecektir. Birçok disiplinin bir arada bulunduğu ve kendine özgü bir tekniği olan demiryolu işletmeciliği hususunda yapılacak planlama ve analizler Demiryolu Mühendisliği bilgisini gerektirdiği aşikârdır.



**Şükrü Tayfun
KAYA**

1997'de Yardımcı Makinist unvanı ile Kayseri Depo'da göreve başladı. 2003 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2005'te TCDD Behiçbey Lokomotif Bakım Atölyesinde Mühendis olarak göreve başladı. 2007' de Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim dalı Başkanlığında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2010-2016 yılları arasında YHT Bölge Müdürlüğü Emniyet Yönetim Sistemi Servis Müdürlüğü, Trafik Servis Müdürlüğü, Yolcu Servis Müdürlüğünde çalıştı. 2016 yılından bu yana TCDD Genel Müdürlüğü Kapasite Yönetimi Dairesi Başkanlığında çalışmaktadır.