

## Demiryollarında Kapasite Geliştirme

Osman KILIÇ <sup>\*1</sup>, Hüseyin Eren BENİ <sup>1</sup>

*1 TCDD, Kapasite Yönetim Dairesi, Ankara, Türkiye*

*\*osmankilic@tcdd.gov.tr, huseyinerenbeni@tcdd.gov.tr*

*(Alınış: 17.07.2018, Kabul: 18.07.2018)*

**Özet:** Bu çalışmada demiryolu hatlarında kapasite geliştirme çalışması için yapılması gereken adımlar anlatılmıştır. İlk aşamada kapasite geliştirme için iş süreçleri tanımlanmış daha sonra kapasite geliştirmede dikkate alınan kriterler anlatılmıştır. Son olarak örnek bir çalışma ile bir hat kesiminin mevcut durumu ve öneriler sonrası durumunun karşılaştırması yapılarak farklı öneriler için nasıl bir iyileştirme olabileceği açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolları, Kapasite geliştirme, Kapasite, Lokomotif, Çeker

### 1. Giriş

Ulusal ve uluslararası taşımacılığın sürekli geliştiği bu dönemde taşımacılık açısından demiryoluna olan talep de artmaktadır. Bu talebin zamanında karşılanması güçlü ve kapasite açısından yeterli bir demiryolu ağıyla mümkündür. Demiryolu altyapı işletmecileri, gelecek talepleri zamanında karşılayabilmek için kendi demiryolu hatlarında ciddi çalışmalar yapmalı, taşımacılıkta darboğaz oluşturan kesimleri belirlemeli, taşımacılık kapasitesini artırmak için kapasite geliştirme önerileri oluşturmalı ve bu önerileri yatırıma dönüştürmelidir. Yapılacak yatırımların kapasite açısından değerlendirilmesi ile işletmecilikte etkisi olumlu yönde görülebilecektir. Demiryolu altyapı işletmecileri, kapasite geliştirme önerilerini fizibilite analizleri sonucunda öncelik sıralaması yaparak altyapı geliştirme planını oluşturması ve kısa/orta/uzun vadede yapılacak yatırım planlamalarını bu çerçevede yapması ideal bir yatırım programının oluşmasını sağlayacaktır.

Kapasite Geliştirme önerileri yapılmadan önce demiryolu hatlarında bir Kapasite Analizi çalışması yapılmaktadır. Bu analiz; hat kesimindeki eğim, istasyon faydalı yol uzunlukları, lokomotif çekerleri, hattın işletim sistemi, takip mesafesi ve hat kapasitesi dikkate alınarak incelenmektedir.

Kapasite analizinde birbirinin devamı olan hatların ayrı ayrı değerlendirilmesi eksik bir değerlendirmedir. Bir hat kesiminin bütün darboğaz oluşturan bölümlerine birlikte öneri yapılmadığı sürece, bir bölümündeki darboğazlar göz önünde bulundurularak yapılan öneriler de eksik bir değerlendirme olacaktır. Dolayısıyla Demiryolu Şebekesi bir bütün olarak düşünülmelidir.

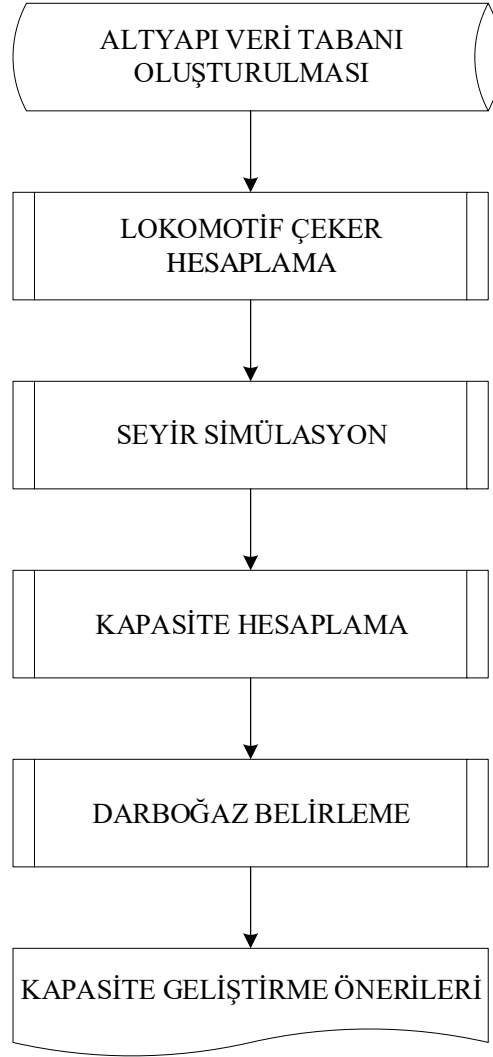
### 2. Kapasite Geliştirme İş Süreçleri

Demiryolu hatları, hem taşıma kapasitesinin yüksekliği hem de taşıma maliyetlerinin düşük olması nedeniyle ulaştırma modları arasında avantajlı bir konumda yer almaktadır. Demiryolunun bu avantajının sürekliliği, demiryolu hattına olan talebin karşılanmasıyla

doğru orantılıdır. Bu nedenle demiryolu hatlarında kısıt oluşturan yerlerin belirlenmesi ve buna yönelik çözüm önerileri sürekli gündemde olması gereken bir konudur.

Demiryolu hatlarında darboğazların belirlenmesi ve buna uygun çözüm önerilerinin yapılması doğru ve gerçekçi iş süreciyle desteklenmelidir. Kapasiteyi etkileyen etmenlerin doğru belirlenmesi, bu etmenlerin birbiriyle olan ilişkilerinin tanımlanması ve kullanılan verilerin net olması yapılacak çalışmada minimum hatayla doğru sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Kapasite Geliştirme iş süreçleri şematik olarak gösterilmiş ve açıklamaları aşağıda verilmiştir;



Şekil 1. Kapasite Geliştirme iş süreçlerinin şematik olarak gösterimi

İş süreçlerinde belirtilen aşamaların her bir istasyon arası için yapılması, yapılacak analizlerin daha dar alanda ve detaylı olarak yapılmasını sağlayacaktır.

Altyapı ile ilgili bilgilerin bulunmaması durumunda lokomotif çekerlerinin hesaplanması mümkün olmadığı gibi, lokomotif çekerlerinin doğru olmaması durumunda ise trenlerin seyir sürelerinin doğru bulunması mümkün olmamaktadır. Kapasite hesabında en önemli

etkenlerden olan trenlerin seyir süresi hesaplamasının tamamlanması sonrasında kapasite hesabı yapılmakta ve yapılan hesaplama sonucunda darboğaz tespiti yapılabilmektedir. Bu nedenle iş süreçlerinin yukarıda belirtildiği gibi sıralanması zorunlu hale gelmektedir.

## 2.1. Altyapı Veri Tabanının Oluşturulması

Veri tabanı; belirli bir amaç için bir arada bulundurulan, birbiriyle ilişkili ve ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilen bilgilerdir. Doğru bir veri tabanı sayesinde sadece ihtiyaç duyulabilen bilgiler bir arada ve doğru formatta bulunduğunda bilgi kirliliğinin de önüne geçilebilmektedir. Aynı zamanda veri akışı sürecinin hızlanmasını sağlayarak zaman kayıplarını engellemektedir. Bir bütün halinde bilgilerin bulunması ve güncellemelerin yapılması ile veri hatası nedeniyle yapılabilecek yanlış işlemler engellenmiş olmaktadır.

Kapasite geliştirme önerilerinin de temel noktası doğru bir veri tabanı ile başlamaktadır. Bu veriler doğru ve güncel olarak bir yerde depolanmalıdır. Altyapı veri tabanı; demiryolu hat kapasitesini doğrudan etkileyen ve aşağıda belirtilen altyapı verilerini kesinlikle içermelidir.

- Hattın Eğim Bilgileri,
- Hattın Kurp Bilgileri,
- Hattın İşletim Tipi,
- Hattın Elektrifikasyon Durumu,
- Sinyalizasyon var ise sinyal blok yerleri,
- İstasyonların konumu, yol sayısı, yolların kullanım amaçları ve faydalı yol uzunlukları,
- Altyapı Hız Verileri.

## 2.2. Lokomotif Çeker Hesaplama

Demiryolu güzergâhı için altyapı verileri oluşturulduktan sonra en önemli nokta bu hatlarda hangi lokomotifin ne kadar yük çekeceğinin belirlenmesidir. Bütün hat kesimlerinde lokomotif tipleri için çekerlerin belirlenerek çeker açısından kısıt oluşturan kısım bulunabilmektedir. Bu hesaplama için kabul edilen formüller kullanılmaktadır.

Lokomotif çeker hesaplamalarında ana kriter hattın oluşturacağı dirençlerin hesaplanmasıdır. Hattın eğim ve kurp bilgilerinin hıza ve ağırlığa bağlı olarak hesaplanmış dirençleri ile lokomotifin teknik özelliklerine göre hıza bağlı olarak gücünün dikkate alınması ile oluşturabileceği tekerlek kuvveti hesaplanmaktadır. Lokomotif özelliklerinde güç, ağırlık, güç üretim tipi, güç aktarım tipi, dingil sayısı gibi özellikler tekerlek kuvvetini etkilemektedir. Hesaplanan dirençler ile lokomotif tekerlek kuvvetinin kullanılması sonucunda belirlenen hatta çekilebilecek yükün hesaplanması mümkün olmaktadır.

Hat ve çeken araçlar ile ilgili verilerin bir arada ve güncel tutulduğu bir veri tabanının olması çalışmaların güvenilir ve işlemlerin hızlı olmasını sağlayacaktır.

### 2.3. Seyir Simülasyon

Altyapı ve araç verilerine göre trenlerin hesaplanan yük miktarı ile hat kesimlerindeki seyir süresi belirlenmektedir. Bu seyir sürelerinin hesaplanmasında çeşitli simülasyon programları kullanılmaktadır. Seyir sürelerinin hesaplanmasında;

- Hattın İşletim Tipi (Sinyalli, Sinyalsiz)
- Altyapı maksimum hızları
- Eğim bilgileri
- Kurp bilgileri
- Tren kompozisyonu
- Tren yük miktarı
- Çeken aracın teknik özellikleri
- Fren tipleri
- Fren yüzdeleri

parametreleri önemlidir. Tren tipine ve özelliklerine göre belirlenen seyir süresi hesaplanmasında UIC standartlarında belirtilen ek süreler mevcuttur. Ek süreler trenin tipi, tonajı ve hızına göre değişkenlik göstermektedir. Aynı zamanda trenin belirtilen tonajdan daha azı ile seyretmesi durumunda hesaplanan süreden daha az zamanda seyredecek olması nedeniyle iki tip süre belirlenmektedir. Bunlardan bir tanesi tabii süredir ve trenin normal tonajı ile seyredeceği süreyi ifade eder. Asgari süre ise trenin seyredebileceği minimum süreyi ifade eder ve minimum tonajlı trene göre belirlenir.

Trenlerde hızlanma ve yavaşlama ivmeleri karayolu araçlarında olduğu gibi büyük değerlere sahip olmadığından hız değişimlerinde gerekli mesafeler daha fazladır. Hattın eğimi, kurbu, aerodinamik etkenler, döner kütlelerin dirençleri gibi karşı kuvvetler de dikkate alındığında bu mesafeler oldukça artmaktadır. Bu nedenle kısa mesafelerdeki hız değişimleri sürüş güvenliğini ve konforu etkilemektedir. Trenlerde yapılacak hızlarda tren kompozisyonunun maksimum hızı, altyapı hızları ile birlikte ivmeler dikkate alınarak trenin verilen hızlarda belirli bir zaman veya belirli bir mesafe kat edebilmesi sağlanır. Böylelikle trenin performansı dikkate alınmış olur.

Seyir süresini etkileyen diğer faktör ise trenin yapacağı duruşlardır. Herhangi bir noktada duracak olan trenin durmak için yavaşlaması ve hareket etmesi sürecinde bazı süre kayıpları meydana gelmektedir. Trenler planlanırken bu süre kayıpları da dikkate alınmaktadır.

### 2.4. Kapasite Hesaplama

Demiryolu hattının kapasitesi tren taleplerinin karşılanması açısından önem arz etmektedir. Hat kapasitesinin hesaplanmasında UIC 405-406 dikkate alınarak hesaplanabildiği gibi başka formüller kullanılarak yapılan çalışmalarda mevcuttur.

Hat kapasitesinin hesaplanmasında;

- İstasyonlar Arası Mesafe
- Seyir Süreleri

- Tren Sayıları
- Tren Tipleri
- Minimum İzleme Süresi
- Sinyal Takip Mesafesi
- İşletme Tipi
- İstasyon Yol Uzunluğu
- Tren Uzunluğu
- Bakım Süreleri
- İstasyon Sayısı

Parametreleri dikkate alınmaktadır.

Güzergahta çalışacak olan tren tipleri, trenlerin tiplerine göre sayıları ve çalışma yönleri ortalama seyir süresini değiştirmektedir. Aynı güzergahta iki tip tren çalıştırılması durumunda iki trenin çıkış yeri, hareket yönü ve tipine göre iki trenin yani bir çift trenin seyir süresi için 16 ihtimal bulunmaktadır. Her bir ihtimale ait seyir süresi ayrı ayrı dikkate alınmalı ve ortalama seyir süresinin hesaplanmasında trenlerin sayısı, çalışma yön ve sıralamaları dikkate alınmalıdır.

#### Örnek:

- A: 1. istasyon  
 B: 2. istasyon  
 P: Yolcu Treni  
 F: Yük Treni

A'dan B'ye giden trenler 1 numaralı, B'den A'ya giden trenler 2 numaralı trenler  
 P1F2: A'dan kalkan Yolcu treninin ardından B'den Yük treninin çıkması

Bu durumda ihtimaller aşağıda verilmiştir.

**Tablo 1. A'dan B'ye, B'den A'ya Trenler**

İki Tren Tipi de A'dan B'ye	İlk Tren A'dan İkinci Tren B'den	İlk Tren B'den İkinci Tren A'dan	İki Tren Tipi de B'den A'ya
P1P1	P1P2	P2P1	P2P2
P1F1	P1F2	P2F1	P2F2
F1P1	F1P2	F2P1	F2P2
F1F1	F1F2	F2F1	F2F2

Hat kapasitesi için kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$N = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \quad (1)$$

$$t_r = t_{fm} * k \quad (2)$$

$$t_{zu} = 0,25 * a \quad (3)$$

$$Ort. t_{fm} = \frac{\sum_{b=1}^x t_{fm} * n_{bf} * n_{bp}}{(\sum_{b=1}^x n_{bf} * n_{bp})} \quad (4)$$

$N$ : Hat Kapasitesi  $\left(\frac{\text{Çift tren}}{\text{Gün}}\right)$

$T$ : Referans Süre (Dakika)

$t_{fm}$ : Ortalama Minimum İzleme Süresi (Dakika) (1 çift trenin seyir süresi dikkate alınmıştır)

$t_r$ : Rahatlama Payı (Dakika)

$t_{zu}$ : Ek Süre (Dakika)

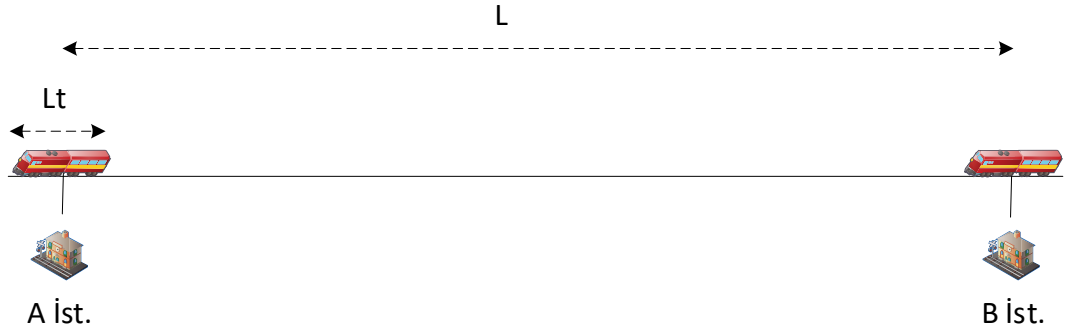
$a$ : Hat Üzerindeki İstasyon Sayısı

$k$ : Rahatlama kat sayısı (İşletmecilik tipine ve çalıştırılan tren tiplerine göre değişkenlik göstermektedir.)

$n_b = T$ en Tipleri

Hat kapasitesi için Trenlerin istasyonlarda duracağı varsayımı ile Sinyalsiz ve Sinyalli tek hat için örnek çalışma yapılmıştır.

#### a-) Sinyalsiz Tek Hatta Kapasite Hesaplanması



Şekil 2. Sinyalsiz Tek Hatta Kapasite Hesaplanması

$L$ : İstasyon Mihver Km. leri Arası Mesafe (Km)

$L_t$ : Ortalama Tren Boyu (Km)

#### Örnek:

A İstasyonu Mihver KM: 0+000

B İstasyonu Mihver Km: 14+500

İstasyonu arası Mesafe (L):14,5 km

Yük Treni Uzunluğu:750 metre

Yolcu Treni Uzunluğu: 250 metre

A ve B istasyonları arasında çalışan tren sayıları ve seyir süreleri aşağıda verilmiştir.

**Tablo 2.** A ve B İstasyonları Arasında Çalışan Tren Sayıları ve Seyir Süreleri

Seyir Süresi (Dk)				Tren Sayısı (Tren/Gün)			
A'dan B'ye		B'den A'ya		A'dan B'ye		B'den A'ya	
Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük
16	20	17	19	7	10	7	9

Bu verilere göre Ortalama Hız istasyonlar arası mesafe dikkate alınarak hesaplanır ve aşağıdaki gibidir.

**Tablo 3.** Ortalama Hız

Tren Hızları (Dk)			
A'dan B'ye		B'den A'ya	
Yolcu	Yük	Yolcu	Yük
54,4	43,5	51,2	45,8

Kapasitede dikkate alınacak mesafe=L+Lt

Lt; tren tipleri sayılarına göre ortalama tren mesafesi olarak dikkate alınmıştır.

Lt=0,54 km olmaktadır.

Toplam Mesafe=14,5+0,54=15,04 km

Yeni mesafeye göre Seyir Süreleri şu şekilde olmaktadır.

**Tablo 4.** Seyir Süreleri

Seyir Süresi (Dk)			
A'dan B'ye		B'den A'ya	
Yolcu	Yük	Yolcu	Yük
16,6	20,7	17,6	19,7

Yeni seyir sürelerine göre ortalama minimum süre şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$t_{fm} = \frac{(16,6 + 16,6) * 7 * 7 + (16,6 + 20,7) * 7 * 10 + \dots + (19,7 + 17,6) * 9 * 7 + (19,7 + 19,7) * 9 * 9}{7 * 7 + 7 * 10 + \dots + 9 * 7 + 9 * 9}$$

16 ihtimal dikkate alınarak yapılan hesaplamada  $t_{fm}$ : 37,8 dakika olmaktadır. (1 çift trenin seyir süresi).

Rahatlama payı 0,67 alındığında  $t_r$ : 25,4 dakika olmaktadır.

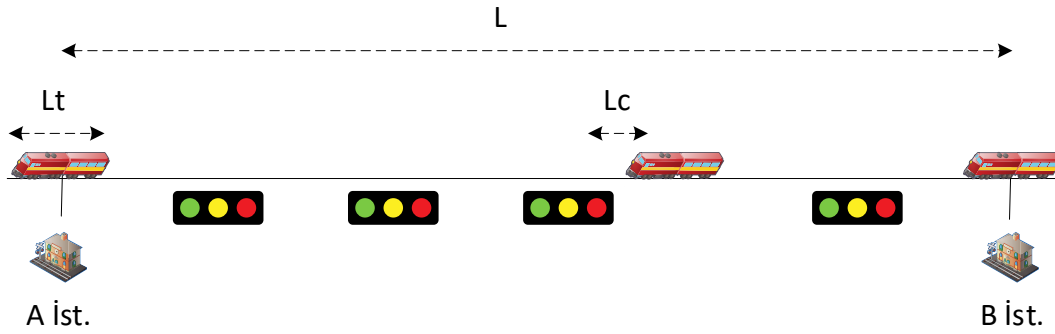
İki istasyon arası hesaplama yapıldığından Ek süre 0 olmaktadır

T: Toplam günlük süreden bakım süresi dikkate alınarak hesaplanır. Bakım süresi 6 saat alındığında bu süre 1080 dakika (18 saat) olmaktadır. Kapasite;

$$N = \frac{1080}{37,8 + 25,4 + 0} = 17 \text{ Çifttren/gün}$$

olmaktadır.

### b-) Sinyalli Tek Hatta İstasyonlarda Trenlerin Durması Durumunda Kapasite Hesaplanması



Şekil 3. Sinyalli Tek Hatta Kapasite Hesaplanması

*Lc: Sinyale Yaklaşma Mesafesi (Km)*

*Lk: Tepki Süresi İçerisinde Alınan Mesafe (Km)*

Tek hat ve sinyalli hatta karşılıklı çalışan trenlerde işletme mantığı TMİ ile aynı alınmıştır dolayısıyla mesafe de TMİ'ye göre aynıdır.

Ancak aynı yönlü trenler için;

Toplam Mesafe= En uzun iki blok mesafesi+Lt+Lc+Lk (Başka çalışmalarda en uzun iki blok mesafesi dışında en uzun tek blok mesafesi+1000 metrede dikkate alınmaktadır)

### Örnek Çalışma:

Yukarıda anlatılan sinyalsiz hattın sinyalli olması durumunda hat kapasitesi aşağıda anlatılmıştır.

En uzun iki blok mesafesi=5300 m, Lt:300 m, Lk=100 m, Lt=540 m alındığında aynı yönlü trenler için dikkate alınacak mesafe=6,24 km olmaktadır.

Bu durumda seyir süreleri;



Tablo 5. Seyir Süreleri

Karşılıklı Trenler İçin Dikkate Alınacak Takip Süresi (Dk)				Aynı Yönlü Trenler İçin Dikkate Alınacak Takip Süresi (Dk)			
A'dan B'ye		B'den A'ya		A'dan B'ye		B'den A'ya	
Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük
16,6	20,7	17,6	19,7	6,9	8,6	7,3	8,2

16 ihtimal dikkate alınarak yapılan hesaplamada Ort  $t_{fm}$ : 26,9 dakika olmaktadır.

Rahatlama payı 0,67 alındığında  $t_r$ : 18 dakika olmaktadır.

Birbirini takip eden istasyonlar olduğundan Ek süre 0 olmaktadır.

$T$ : Toplam günlük süreden bakım süresi dikkate alınarak hesaplanır. Bakım süresi 6 saat alındığında bu süre 1080 dakika (18 saat) olmaktadır. Kapasite;

$$N = \frac{1080}{26,9 + 18 + 0} = 24 \text{ Çift tren/gün}$$

olmaktadır.

Sinyalli hatlarda aynı yönlü trenlerde hızlı trenin yavaş treni takip etmesi durumunda hızlı trenin takip süresi yavaş trenin takip süresi kadar alınmaktadır.

## 2.5. Darboğaz Belirleme

Kapasite geliştirme çalışması güzergâhta kısıt oluşturan kesim dikkate alınarak yapılır. Darboğaz oluşturan kısım hatların doluluk oranı, kapasitesi, çekilebilecek azami yük miktarları değerlendirilerek belirlenmektedir. Kapasite sadece çalıştırılacak tren sayısından ibaret değildir. Özellikle yük treni yoğunluklu çalışılan hat kesimlerinde trenlerin çekebileceği yük miktarı da önemlidir.

Hat kapasitesi bazında değerlendirme tek başına yeterli değildir. İstasyon kapasitesi yeterli olmadığı zaman hat kapasitesinin tamamı kullanılması mümkün olmayacaktır. Bu nedenle istasyon kapasitesi de birlikte değerlendirilmelidir. İstasyon kapasitesinde yapılabilecek yükleme boşaltma miktarı, teşkil edilebilecek tren sayısı, kabul sevk yapılabilecek tren sayısı ve park yapılabilecek yol uzunlukları birbirine etki eden parametreler olabilir. İstasyonların yol sayısı artırma istasyon kapasitesini artırarak istasyonda bekleme sürelerini azaltacaktır. Tren teşkilinde ana hattın kullanılması durumunda hat kapasitesi de olumsuz yönde etkilenecektir. Park halindeki araç sayısı yol meşguliyeti oluşturacak ve tren teşkilini belki de yükleme boşaltmayı olumsuz yönde etkileyecektir.

Bu nedenle istasyon kapasitesi hesabında bu parametrelerin tamamının birlikte değerlendirilmesi gereklidir. Bu çalışmamızda hat kapasitesi değerlendirilmesi yapılmış olup istasyon kapasitesi değerlendirilmemiştir.

## 2.6. Kapasite Geliştirme Önerileri

Birbirinin devamı niteliğindeki güzergâhların tamamının kapasite analizi yapılması sonrasında çalışan trenlerin güzergâh karakteristiği dikkate alınarak darboğazlar belirlenir. Belirlenen darboğazların aşılabilmesi için birden fazla geliştirme önerisi mevcuttur. Bu durumda güzergâhın kapasitesini artırmak istenilen değere çıkarabilecek en uygun maliyetli geliştirme tercih edilmelidir. Demiryolu hatlarında kapasite geliştirme önerilerinde farklı öneriler bulunmakta ve her bir güzergâh için farklı öneriler yapılabilmektedir. Belirlenen darboğazlara göre yapılabilecek iyileştirme olasılıklarının her biri ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Yapılan değerlendirmelerde mevcut duruma göre verimli bulunan olasılıklar dikkate alınmalıdır. Hat kesimlerine ait projeksiyonlar ve projeler dikkate alınarak verimlilik analizi yapılması gereklidir. Birden fazla önerinin bir arada bulunduğu hat kesimlerinde önerilerden birinin yapılıyor ya da yapılamıyor olması diğerini etkilemektedir.

Hat güzergâhları için önerilebilecek kapasite geliştirme önerileri aşağıda sunulmuştur;

- İstasyon Yolu Artırma/Uzatma
- Hatta Lokomotif Çekeri Açısından Kısıt Oluşturan Kesimde Eğimin Azaltılması
- Hattın Elektrifikasyonlu Hale Getirilmesi
- Hattın Sinyalizasyonlu Hale Getirilmesi, Sinyalli Yerlerde Takip Mesafesinin Düşürülmesi
- Sayding Yapılması
- Hat Sayısının Artırılması
- Hız Arttırılması

Söz konusu öneriler için yapılabilecek çalışmalar 3. bölümde anlatılmıştır.

## 3. Kapasite Geliştirmede Dikkate Alınan Kriterler

### 3.1. İstasyon Yol Boyu Uzatma/Artırma

İstasyon faydalı yol uzunlukları yeterli olmayan istasyonlarda buluşma/öne geçme yapılamamaktadır. Bu nedenle istasyon açık durumda olmasına rağmen buluşma/öne geçme yapılamadığından kapasiteyi oldukça düşürmektedir. İstasyon faydalı yol uzunluğunun yeterliliğinin tespitinde, hat kesiminde çalışan trenlerin çekebileceği azami yük miktarlarına göre tren boyu hesaplanmalıdır. Bir istasyonun en uzun yolundaki faydalı yol uzunluğu hesaplanan tren boyundan daha kısa ise, faydalı yol uzunluğunun UIC de belirtilen tren uzunlukları dikkate alınarak uzatılmalıdır.

Ayrıca faydalı yol uzunluğunun fiziki koşullar nedeniyle uzatılamaması durumunda istasyonun çıkışı ile koruma sinyali arası **çift hat** yapılarak buluşma/öne geçme yapılması sağlanabilir.

### 3.2. Eğim Azaltma

Eğim azaltma sonrası seyir sürelerinde de azalma olacağından kapasiteye olumlu etkisi olacaktır. Ayrıca eğim azaltılan bölgelerde lokomotifin çekebileceği yük artacağından

dolayı tren sayısında azalma olup, kapasite açısından doluluk oranı azalacaktır. İşletmecilikte kısa mesafeli tren çekerinin güzergâhın diğer kısmına göre az olduğu yerlerde destek lokomotif verilebilmektedir. Destek lokomotif ile yapılan işletmecilik, trenlerin seyir sürelerini ek süreler nedeniyle artırmaktadır. Lokomotif, yakıt, bakım, personel giderlerini artırarak diğer ulaşım modları ile olan rekabette Demiryolu Tren İşletmecilerini olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda destek lokomotifin rampanın başlangıç noktasına dönmesi esnasındaki tek lokomotif seyri de hat kapasitesinin ek kullanımına sebep olmakta ve doluluğu artırmaktadır. Yapılabilecek bir eğim azaltma ile bu dezavantajların tamamından kurtulmak mümkündür.

### 3.3. Elektrifikasyon

Elektrikli tren işletmeciliği hem çevre hem de maliyet açısından avantajlıdır. Elektrikli tren işletmeciliği yapılan bir hat kesiminde belirli istasyon aralıklarının elektrifikasyonsuz olması trafiği ve işletmeciliği olumsuz yönde etkileyecek, zaman ve maliyetten kayıp oluşacaktır. Bu nedenle elektrifikasyon önerilerinin önceliklendirilmesinde projeksiyonlar dikkate alınırken aynı zamanda bütünlük değerlendirilmesi yapılmalıdır. Elektrifikasyonun bir bütün olarak değerlendirilmesi ile trenlerin işletme güzergâhında lokomotif değiştirmeden seyri sağlanabilmelidir.

Elektrifikasyonun yapılması ile elektrikli lokomotif ve trenler ile işletmecilik yapılması sağlanarak yakıt maliyetlerinde çok önemli bir tasarruf sağlanacaktır. Aynı zamanda ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı dikkate alındığında enerji giderlerinde önemli oranda azalma sağlayacak olan elektrifikasyon yapımı önceliklerimizden olmalıdır. Enerji maliyetleri yanı sıra işletmecilik yapan şirketlerin lokomotif ve tren seti bakım maliyetlerini de önemli oranda etkileyecektir.

### 3.4. Sinyalizasyon

Sinyalli tren işletmenin kapasite artışına doğrudan etkisi vardır. Trenler birbirini sinyalizasyon olmayan bölgede istasyon arası mesafede takip etmektedir. Ancak sinyalli olan bölgelerde tren takip mesafesi 2 blok mesafesi olduğundan trenlerin birbirini takip etme süresi düşecektir. Bu nedenle sinyalizasyon projelerinde hattın durumuna ve beklenen kapasiteye uygun sinyal takip mesafesi belirlenmelidir. Bu durumda kapasitede önemli bir artış sağlanacaktır. Ayrıca mevcut sinyalli hatlarda sinyaller arasındaki mesafe azaltılarak yani ortalama tren takip süresi azaltılarakta kapasite artışı sağlanabilir.

Aynı zamanda sinyalli işletmecilik emniyetli trafik yönetimi açısından da önemlidir. Yeni tip sinyalizasyon sistemlerinde sinyallerin bildirilerine göre tren denetimi hatta kontrolü de yapılmaktadır. Böylelikle trafik emniyeti önemli oranda artmaktadır.

### 3.5. Sayding

İki istasyon arası seyir süresi uzun olan yerlerde kapasite düşük olmaktadır. Bu nedenle iki istasyon arası seyir süresinin fazla olduğu yerlere sayding yapılması kapasiteyi artırmaktadır. Sayding yerinin belirlenmesinde iki istasyon arasındaki seyir süresi dikkate alınarak, seyir süresinin ortasına gelen yer kapasite artışı için en uygun yerdir. Bu nedenle fiziki koşullar dâhilinde seyir süresi olarak orta noktayı kapsayacak yer seçilmelidir.

### 3.6. Çift Hat

Kapasite artışının en fazla olduğu kriter çift hattır. Sinyalsiz bölgelerde çift hat yapımı kapasiteyi %100 oranında, sinyalli bölgelerde çift hat yapımı ise tek yön işletmecilik ile sinyal takip mesafesi ile tren işletilmesi nedeniyle blok mesafelerine bağlı olarak kapasiteyi %100'ün üzerinde dahi artırabilmektedir. Ancak maliyeti sayding ve sinyalizasyona oranla çok daha yüksek olduğundan taşımacılık taleplerinin karşılanması için gerekli kapasitenin diğer alternatifler ile sağlanamaması durumunda tercih edilmelidir.

### 3.7. Hız Artırma

Hat kesimindeki ortalama hızın artması trenlerin seyir sürelerini azaltması nedeniyle kapasiteyi artırmaktadır. Bu nedenle gerekli düzenlemeler yapılarak altyapı hızlarının artırılması kapasite artışı açısından büyük önem arz etmektedir. Aynı zamanda mevcut hız kısıtlamalarının gözden geçirilmesi ve kaldırılması için gerekli çalışmalar yapılması hat kapasitesini olumlu yönde etkileyecektir.

#### Örnek:

Sinyalsiz tek hatta kapasiteyi artırmak için neler yapabildiğimizi inceleyelim. Hattın mevcut durumu aşağıdadır;

**Tablo 6.** Hattın Durumu

Başlangıç İstasyonu	En Uzun İstasyon Yol Boyu(m)	Bitiş İstasyonu	İstasyonlar Arası Mesafe (Km)	Tren Sayısı (Çiftren/Gün)	Kapasite (Çift Tren/Gün)	Takip Mesafesi (Km)	Hattın Kullanım Oranı(%)	Lokomotif Çekeri Gidiş (Ton)	Lokomotif Çekeri Dönüş (Ton)
A	950	B	10,000	20	30	-	67	1650	1650
B	300	C	15,000	20	18	-	111	1100	2250
C	875	D	20,000	20	13	-	133	2250	1190
D	1071	E	15,000	20	20	-	100	1800	1650

Yukarıda belirtilen durumda doluluk oranı %100 ün üzerindedir. Hattımızın doluluk oranı dikkate alınarak sıkışık altyapı olarak tanımlayabiliriz.

#### Hedeflenen kapasite 18 olması durumunda;

B istasyonu faydalı yol uzunluğu çalışan tren boylarına göre çok kısa olduğundan bu istasyonda buluşma/öne geçme yapılamamaktadır. Bu nedenle B istasyonunu kapalı varsayarsak kapasitenin daha da düştüğü (A-C istasyonları arası kapasite 11) öngörülmektedir. Mevcut durumda kapasite olarak darboğazımız A-C istasyonları arasındadır. Hattı bir bütün olarak düşünmenin yararlarını yukarıda belirtmiştik. Bu nedenle öncelikle A-E istasyonları arası elektrifikasyon ve sinyalizasyon (Sinyalizasyon için en uzun iki blok mesafesi hesaplamalarda 8 km. olarak alınmıştır.) yapılmalıdır. Sinyalizasyon yapılırken B istasyonumuzun yolunu trenlerin buluşma/öne geçme

yapacağı şekilde uzatırsak A-E hattının kapasitesi 18'e yükselecektir. Ancak bu öneriler sonrası kapasite sıklığıımız hala devam etmekte olup, doluluk oranı %100 ün üzerindedir.

Ayrıca B istasyonundan C istasyon güzergâhına doğru ortalama eğimin binde 17'den 10'a, D istasyonundan C istasyon güzergâhına doğru ortalama eğimin binde 15'ten 10 düşürülmesi durumunda kapasitemiz seyir süresi düşeceğinden artacaktır. Bununla birlikte eğim azaltılan bölgelerde lokomotifin çekebileceği yük artacağından dolayı tren sayısında azalma olup, hattın kullanım oranı azalacaktır.

Öneriler sonrası istasyonlar arası kapasite aşağıdaki gibidir;

**Tablo 7.** Hedeflenen Kapasite 18 Olması Durumunda Öneriler Sonrası İstasyonlar Arası Kapasite

İstasyon	İstasyon	Mevcut Kapasite	Öneriler Sonrası Kapasite
A	B	30	32
B	C	18	23
C	D	13	18
D	E	20	26

#### **Hedeflenen kapasite 28 olması durumunda;**

Hedeflenen kapasitenin 18 olması durumundaki yaptığımız öneriler yapılmalıdır. Bu önerilere ilaveten sinyalizasyon yapımı sırasında C-D istasyonları arasında seyir süresi olarak orta yere 1'er sayding yapılması ve B-C istasyonları arası en uzun iki blok mesafesi 4,2km. , D-E istasyonları arası en uzun iki blok mesafesi 6 km. olacak şekilde sinyalizasyon yapıldığı takdirde A-E hattının kapasitesi 28'e yükselecektir. Böylece kapasite sıklığı ortadan kalkacak hattın kullanım oranı %133'ten %71'e kadar düşürülecektir.

Ayrıca B istasyonundan C istasyon güzergâhına doğru ortalama eğimin binde 17'den 10'a, D istasyonundan C istasyon güzergâhına doğru ortalama eğimin binde 15'ten 10 düşürülmesi durumunda kapasitemiz seyir süresi düşeceğinden artacaktır. Bununla birlikte eğim azaltılan bölgelerde lokomotifin çekebileceği yük artacağından dolayı tren sayısında azalma olup, hattın kullanım oranı azalacaktır.

Öneriler sonrası istasyonlar arası kapasite aşağıdaki gibidir;

**Tablo 8.** Hedeflenen Kapasite 28 Olması Durumunda Öneriler Sonrası İstasyonlar Arası Kapasite

İstasyon	İstasyon	Öneriler Sonrası Kapasite
A	B	32
B	C	28
C	D	28
D	E	28

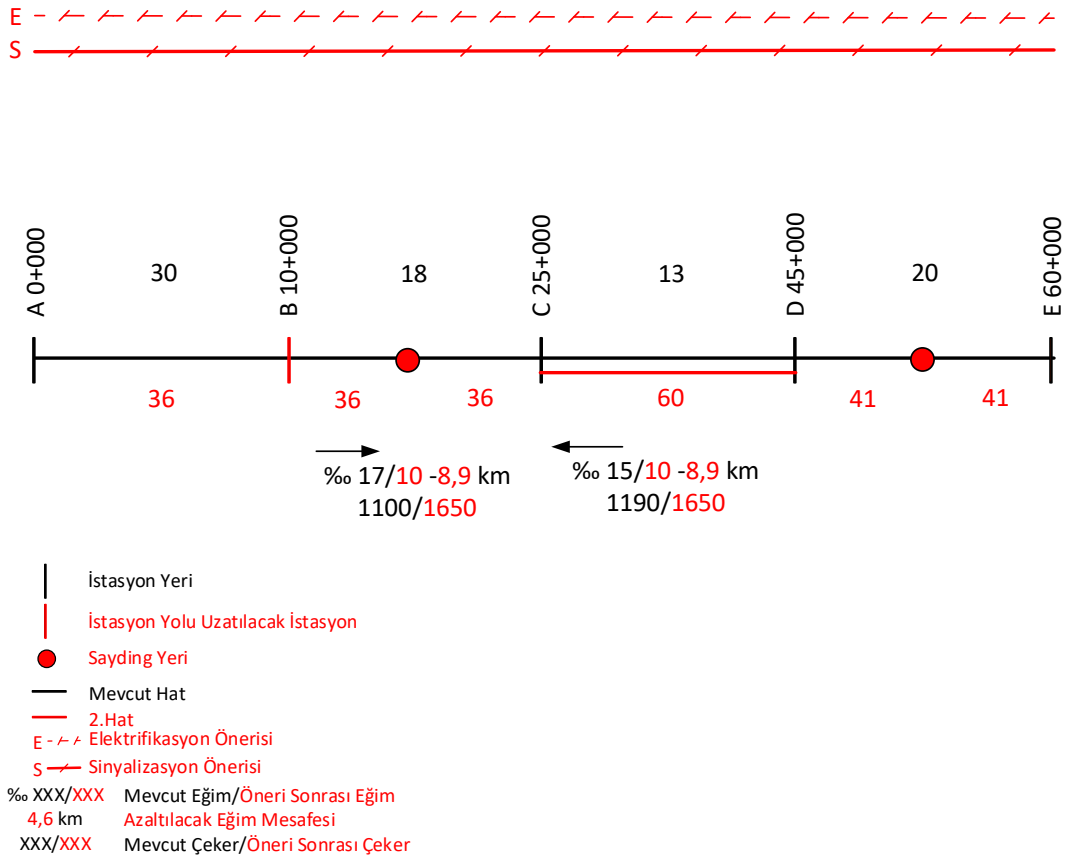
#### **Hedeflenen kapasite 36 olması durumunda;**

Hedeflenen kapasitenin 18 olması durumundaki yaptığımız öneriler yapılmalıdır. Bu önerilere ilaveten sinyalizasyon yapımı sırasında B-C ile D-E istasyonları arasında seyir

süresi olarak orta yere 1'er sayding ve C-D istasyonları arası çift hat yapıldığı takdirde kapasitemiz 36'ya yükselecektir. Böylece kapasite sıkışıklığı ortadan kalkacak hattın kullanım oranı %133'ten %55'e kadar düşürülecektir.

Ayrıca B istasyonundan C istasyon güzergâhına doğru ortalama eğimin binde 17'den 10'a, D istasyonundan C istasyon güzergâhına doğru ortalama eğimin binde 15'ten 10 düşürülmesi durumunda kapasitemiz seyir süresi düşeceğinden artacaktır. Bununla birlikte eğim azaltılan bölgelerde lokomotifin çekebileceği yük artacağından dolayı tren sayısında azalma olup, hattın kullanım oranı azalacaktır.

Öneriler sonrası istasyonlar arası kapasite aşağıdaki gibidir;



Şekil 4. Öneriler Sonrası İstasyonlar Arası Kapasite

**Hedeflenen kapasite 36'dan daha fazla olması durumunda;**

Hedeflenen kapasitenin 18 olması durumundaki yaptığımız öneriler önerilere ilaveten, A-E hattının tamamı çift hat yapıldığı takdirde istenilen kapasiteye ulaşılabacaktır.

## Özgeçmiş



### **Hüseyin Eren BENİ**

1988 yılında Bursa’da doğdu. 2010 yılında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği’ni bitirdi. Askerlik hizmetini yedek subay olarak tamamladıktan sonra INVENT TR firmasında beş ay kontrol mühendisi olarak görev yaptı. Daha sonra 2013 yılında Almanya’da 1 yıl Almanca dil eğitimi gördü. Almanca B2 sertifikasını alarak Türkiye’ye döndü. KPSS genel atamasıyla 2014 Temmuz ayında 64 Yol Bakım Onarım Müdürlüğü’ne makine mühendisi olarak atandı. 2017 tarihi Aralık ayında Kapasite Yönetim Dairesine nakli yapıldı. Halen bu görevi sürdürüyor.



### **Osman KILIÇ**

1981 yılında doğdu. Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü mezunudur. Aynı bölümde Yüksek Lisansını yapmıştır. 2011-2016 yılları arasında Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığında çalışmıştır. 2016 yılından beri Kapasite Yönetim Dairesi Başkanlığı’nda çalışmaktadır.