



Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Sinyalizasyon Blok Mesafelerinin Hesaplanması

Selim YILDIRIM 

TCDD, YHT Bölge Müd ,83 Demiryolu Bakım Müdürlüğü, Konya, Türkiye

yildirimselim42@gmail.com

(Alınış/Received: 28.01.2021, Kabul/Accepted: 02.04.2021, Yayınlama/Published: 31.07.2021)

Özet: Raylı ulaşım sistemlerinin hızlı, güvenilir ve emniyetli olabilmesi için sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç vardır. Sinyalizasyon sistemleri geçmişten günümüze birçok değişikliğe uğramış olmasına rağmen temel prensipler her zaman aynı kalmıştır. Kazaların, can ve mal kayıplarının önüne geçebilmek, güvenli işletme sağlayabilmek için trenler arasında belirli bir zaman ve mesafenin olması gerekmektedir. Bu çalışmada yüksek hızlı tren hatlarında sinyal blok mesafeleri hesaplanarak, Ankara-Eskişehir ile Ankara-Konya YHT (Yüksek Hızlı Tren) hatlarındaki blok mesafeleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç bölümünde blok mesafelerinin hat kapasitesine etkisi, kurulum ve bakım maliyetleri değerlendirilerek tasarım ve uygulama aşamalarına dair önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hızlı tren, Sinyalizasyon sistemi, Blok mesafesi, Fren mesafesi

Calculation of Signaling Block Distances on High Speed Train Lines

Abstract: Signaling systems are needed for the rail transportation systems to be fast, reliable and safe. Although the signalization systems have undergone many changes from the past to the present, the basic principles have always remained the same. In order to prevent accidents, loss of life and property, and to ensure safe operation, there should be a certain time and distance between trains. In this study, signal block distances on high-speed train lines are calculated and the block distances on Ankara-Eskişehir and Ankara-Konya YHT (High Speed Train) lines are compared. In the conclusion part, the effect of block distances on line capacity, installation and maintenance costs are evaluated and suggestions regarding the design and implementation stages are made.

Key Words: High speed train, Signaling systems, Block distance, Braking distance

1. Giriş

Sinyalizasyon sistemi olmayan hatlarda trenler birbirini istasyon mesafesi ile takip ederler. Çünkü iki istasyon arasında trenin hangi konumda olduğu, seyrine devam edip etmediği, ne kadar sürede diğer istasyona geleceği tam olarak bilinemez. Sinyalizasyon uygulaması olan hatlarda ise; trenlerin konum bilgileri anlık olarak izlenir, daha güvenli bir işletme sağlanır ve hat kapasitesi artırılmış olur. Sinyalli hatlarda tren takip mesafesi genellikle iki blok olarak belirlenmiş olup trenlerin birbirini takip süresi daha azdır. Sinyalizasyon sistemi tasarım aşamasında, blok mesafeleri belirlenirken, hattın coğrafi durumuna (Tünel, viyadük, eğim, kurp), işletmede kullanılacak tren tiplerine, maksimum işletme hızına ve kapasite taleplerine uygun bir blok mesafesi belirlenmelidir. Blok mesafelerinin çok uzun olması işletme açısından sıkıntı doğurabileceği gibi, mesafelerin çok kısa olması ise hat üzerinde çok fazla sinyal olmasına, bakım ve işletme giderlerinin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle tasarım aşamasında blok mesafeleri optimum seviyede seçilmelidir. Demiryollarında kapasite analizleri yapılırken UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği) 405-406 normları dikkate alınır [1]. Kapasitenin hesaplanmasında, sinyal takip mesafesi, minimum izleme süresi, istasyonlar arası mesafe gibi birçok etken önemli rol oynamaktadır. Trenlerde ivmelenme düşük değerlerde olduğundan, bir trenin yavaşlaması veya hızlanması için gereken mesafe çok uzun olabilmektedir [1].

Atıf için/Cite as: S. Yıldırım, "Yüksek hızlı tren hatlarında sinyalizasyon blok mesafelerinin hesaplanması," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 14, pp. 14-25, July. 2021. doi: 10.47072/demiryolu.869933

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak, trenler arasında sadece mesafe bırakmanın yanında hız denetiminde yapılması gündeme gelmiştir. Buradan hareketle tren koruma ve kontrol sistemleri ATS (Otomatik Tren Durdurma), ATP (Otomatik Tren Koruma), ATC (Otomatik Tren Kontrol) geliştirilerek hareket ve hız denetimi daha ileri seviyelere ulaşmıştır. Günümüzde konvansiyonel, şehir içi (tramvay, metro) ve yüksek hızlı tren hatlarında ETCS (Avrupa Trafik Control Sistemi) Seviye 1 ve Seviye 2 sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler sayesinde artık trenlerin hızları denetlenmiş ve sabit blok sisteminin yanı sıra, hareketli blok, sanal blok, sürücüsüz sistemler de uygulanmaya başlamıştır.

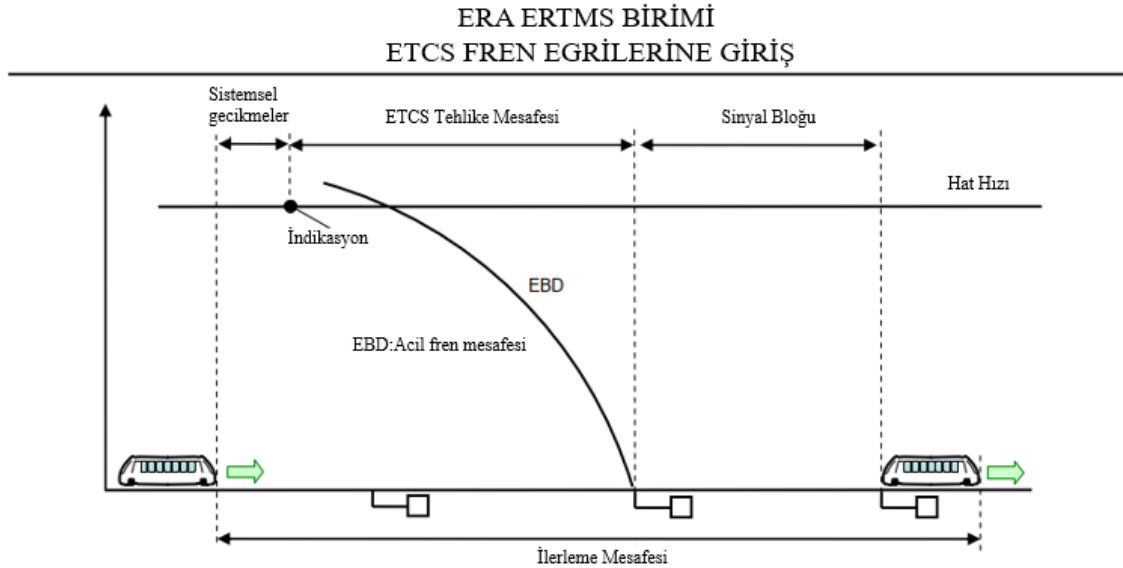
Trenleri birbirinden ayırmanın iki temel prensibi mevcut olup bunlar;

- Zaman aralığı yöntemi
- Mesafe aralık yöntemidir

Aşağıdaki bölümde trenler arasına mesafe koymak için kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

2. Zaman Aralığı Yöntemi (Headway-Time)

Zaman aralığı, düz bir hat üzerinde, hız kısıtlaması olmadan ilerleyen iki tren arasındaki süredir [2]. Maksimum hızda ilerleyen iki tren için en kötü senaryoda bile, trenler arasında güvenli bir mesafenin olması ve 10 dakikanın altında sefer aralığı (Headway-Time) olan sistemlerde trenler arası mesafenin korunması önem arz etmektedir [3]. ERA (Avrupa Demiryolu Ajansı) tarafından, ETCS fren eğrileri hakkında bazı hesaplamalar yapılmış olup, yapılan çalışma sonucu Şekil 1'deki trenler arası mesafe, sistem gecikmeleri dahil olmak üzere, tüm işleme (Anlaşman, Etc's yol boyu sistemler, tren üstü on-board, Gsm-r vb. ekipmanlar arası verilerin işlenmesi) ve iletim gecikmelerini içerecek şekilde verilmiştir. [4].



Şekil 1. Gecikmeler ve frenleme dahil ilerleme durumu [4]

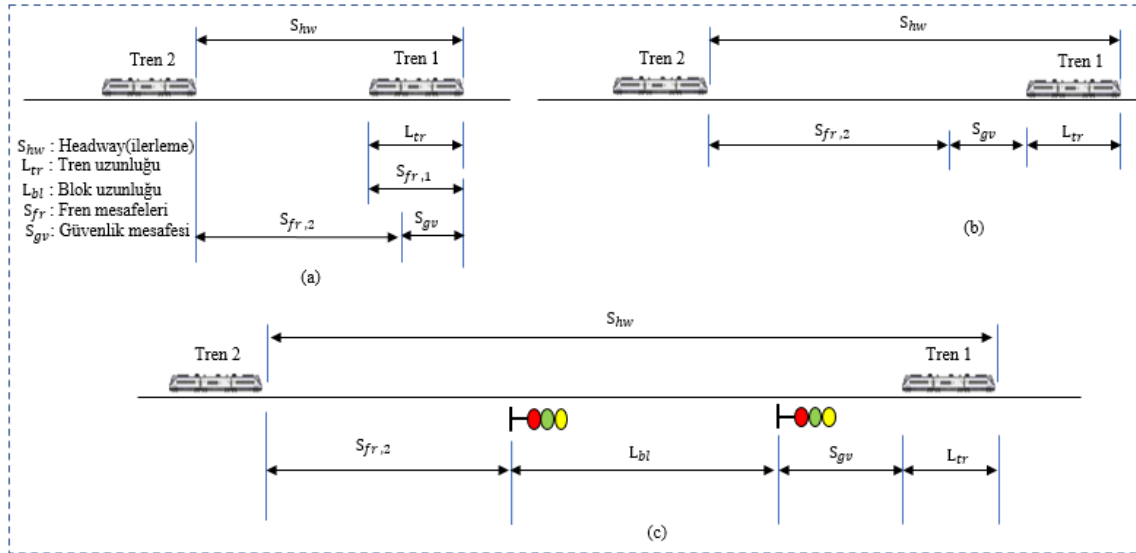
Avrupa yüksek hızlı demiryolu sistemleri, geleneksel sistemler ve ETCS teknolojisi teorik olarak, 300km/h hızla giden trenler için, Headway zamanını 3 dakika olarak belirlemişlerdir. Belçika'da ETCS seviye 2 için 3 dakika (Alstom), Kuzey Fransa'da TGV'de 3 dakika (TVM 30 ile), Hollanda'da ETCS seviye 2 için 3 dakika (Siemens) olarak kabul edilmiştir [2].

3. Mesafe Aralık Yöntemi

Trenler arasında olması gereken mesafe ve zaman aralığı, trenlerin ön uç kısımları referans alınarak hesaplanır [5]. Trenlerin birbirinden ayrılması için üç temel prensip vardır [6].

- Bağlı fren mesafesi
- Mutlak fren mesafesi
- Sabit blok mesafesi

Bağlı fren mesafesi, birbirini takip eden iki tren için, trenlerin frenleme mesafeleri yanı sıra ek bir güvenlik mesafesi gerektirir, aksi halde öndeki tren durur ya da kaza yaparsa, arkadaki tren duramaz. Birbirini takip eden iki trenin aynı tür yavaşlama ivmesine sahip olduğu veya arkadaki trenin daha iyi bir fren performansına sahip olduğu kuralına uygun bir fren mesafesine ilave overlap (güvenlik marjı) olmalıdır (şekil 2-a). Mutlak fren mesafesi, takip eden iki tren arasında, ikinci trenin fren mesafesi artı güvenlik payı artı ilk trenin uzunluğu şeklinde hesaplanır. Mutlak fren mesafesi ile tren ayırma, genellikle en uygun ilke olarak görülür ve bu yöntem hareketli blok olarak da bilinir (şekil 2-b). Sabit blok sisteminde ise, demiryolu hattı ardışık bölümlere ayrılır. Takip eden iki tren arasındaki mesafe; blok uzunluğu, güvenlik payı, ilk trenin uzunluğu artı ikinci trenin frenleme mesafesi şeklinde bulunur (şekil 2-c) [6].



Şekil 2. Tren ayırma yöntemleri [6]

Şekil 2'den hareketle trenler arası olması gereken mesafeyi bulabilmek için en önemli faktör frenleme mesafesidir. Tren uzunluğu, blok uzunluğu, güvenlik payı (overlap) gibi etkenler aslında sabit etkenlerdir.

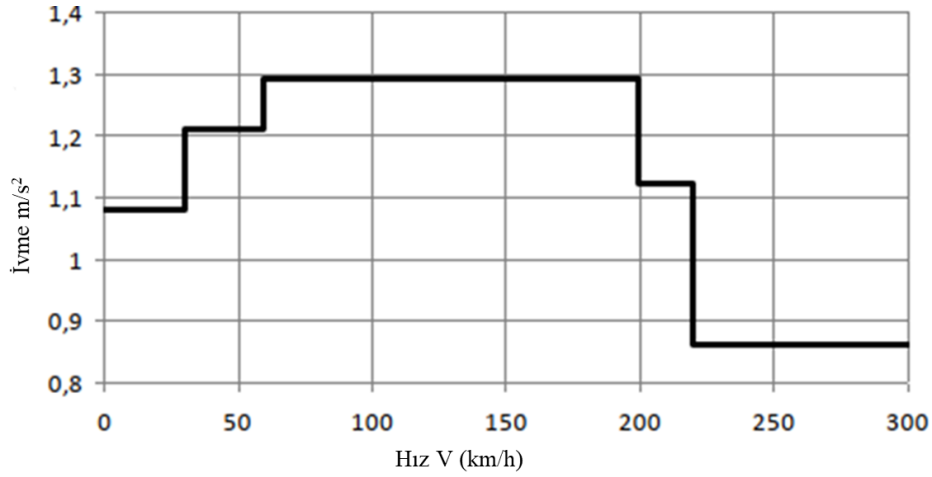
3.1. Fren mesafesinin hesaplanması

Bir trende yer alan ana fren sistemleri, pnömatik fren, elektrikli fren (dinamik fren, rejeneratif fren) ve susta park frenidir. Pnömatik ve elektrikli frenler servis esnasında uygulanan fren tipleri olup, susta park freni trenin hareketsiz halde iken sabit kalmasını sağlayan frendir. Fren sistemi türleri, genellikle tekerlek ve ray arasındaki adezyona dayanmaktadır. İşletme hızının artması ile birlikte adezyon katsayısı azaldığından konvansiyonel fren sistemleri ile yüksek hızlarda düşük frenleme performansı elde edilmektedir. Bunun sonucunda frenleme kuvveti düşmekte ve uzun fren mesafeleri ortaya çıkarak güzargah kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır [7].

Fren mesafesi aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir [7],[8],[5];

$$S = \frac{(V_{max}^2 - V_0^2)}{2 \cdot a} \quad (1)$$

Burada fren mesafesi (S), Maksimum tren hızı (V_{max}), Minimum tren hızı (V_0), trenin yavaşlama ya da hızlanma ivmelenmesi (a) olarak verilmiştir [7],[8],[5]. Fren mesafesinin hesaplanabilmesi için, demiryolu hattında çalışan trenin ivmelenme değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Avrupa demiryolu ajansı (ERA) tarafından yayımlanan “ETCS Fren Eğrilerine Giriş” adlı teknik dokümanda, yüksek hızlı trenler için, genel hız ve ivmelenme tablosu şekil 3’de verilmiştir [4]. Şekil 3’ten hareketle, 300 km/h hız ile hareket eden bir tren için, acil durum fren ivmelenmesi $1,08m/s^2$ olarak kabul edilmiştir [4].



Şekil 3. ERA Nominal acil durum freni yavaşlaması [4]

Ülkemizde TCDD tarafından kullanılan, HT80001 YHT seti işletme hızı olan 300 km/h ile yoluna devam ederken, acil durum freni uygulanması halinde; ivme değeri $1,08 m/s^2$ alınarak gerekli hesaplamalar yapıldığında, fren mesafesi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$S = \frac{(V_{max}^2 - V_0^2)}{2 \cdot a} = \frac{(83,33^2 - 0)}{2 \cdot 1,08} = 3214,76m \quad (2)$$

Uluslararası demiryolları birliği (UIC) tarafından, “ETCS’nin Hat Kapasitesi Üzerindeki Etkisi” adlı çalışmada, aşağıdaki Tablo 1’de, HT80001 numaralı Siemens YHT setine ait ivme tablosu verilmiştir [9].

Tablo 1. HT80001 Numaralı siemens YHT setinin ivme tablosu [2],[9]

Hız V (km/h)	İvme a (m/s²)
0-160	1,1
160-165	1,025
165-175	0,875
175-180	0,8
180-210	0,7
210-300	0,6625

Tablo 1’den anlaşılacağı üzere, yavaşlama ivmelenmesi her hızda sabit değildir, çünkü yüksek hızlarda adezyon katsayısı düşüktür. Bu nedenle, hız arttıkça yavaşlama ivmelenmesi azalacaktır [7]. Ortalama ivme, tablo 1 değerlerinden hareketle hesaplanır ise;

$$a_{ort} = \frac{(1,1 + 1,025 + \dots + 0,6625)}{7} = \frac{5,8125}{7} = 0,83 \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

TCDD tarafından, HT80001 YHT setinin yavaşlama ivmelenmesi 300-0 km/h arasında sürekli olarak ortalama 0,8 m/s² olarak kabul edilmiştir [7]. Yüksek hızlı trenlerin normal işletme koşulları altında acil durum freni uygulaması çok nadir görülür. Konforlu bir yolculuk için servis freni uygulayan bir tren, hızını yavaş yavaş azaltarak sıfıra indirecektir. 300 km/h hızla yol alan HT80001 treninin servis freni uygulaması, Tablo 1’deki değerler kullanılarak hesaplanır ise;

Tablo 2. Hıza bağlı servis freni mesafeleri

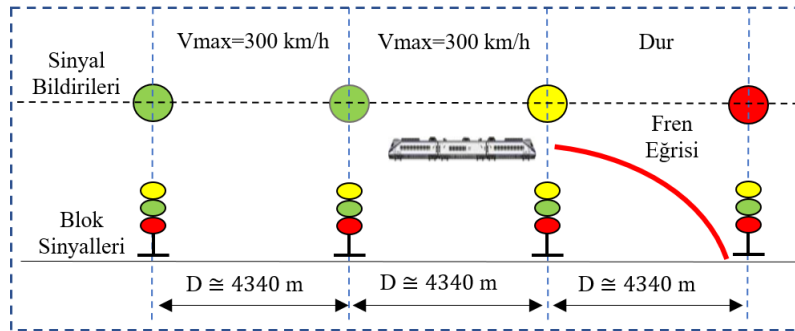
Hız V (km/h)	Hız V (m/s)	İvme a (m/s ²)	Fren mesafesi (m)
300-250	83,33	0,6625	1601,49
250-200	69,44	0,6625	1310,27
200-160	55,55	0,85	653,46
160-0	44,44	1,1	897,68

Toplam servis freni mesafesi 1601,49 + 1310,27 + 653,46 + 897,68 = 4462,9 m olacaktır.

HT80001 yüksek hızlı tren seti için, TCDD’nin 0-300 km/h için kabul ettiği ivme değeri 0,8 m/s² değeri ile servis freni hesaplanır ise;

$$FM = \frac{(V_{max}^2 - V_0^2)}{2 \cdot a} = \frac{(83,33^2 - 0)}{2 \cdot 0,8} = 4339,93 \text{ m} \quad (4)$$

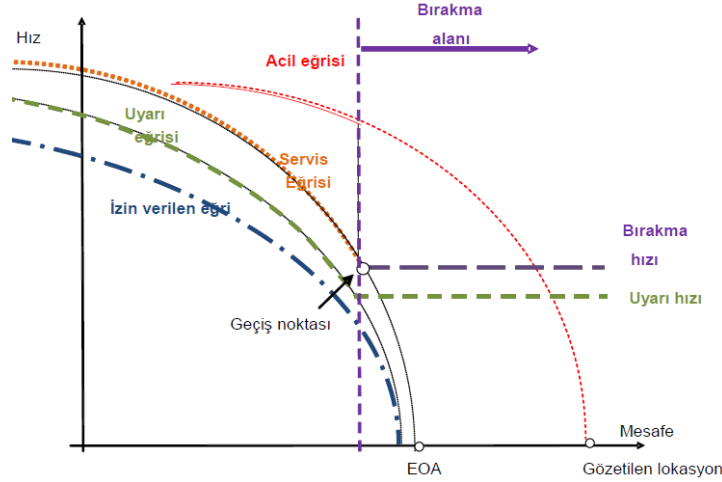
Bu durumda HT80001 YHT seti servis freni mesafesi için, tablo 1’deki farklı ivmelenmeler ile yapılan hesaplama sonucu (4462,9 m) ile, TCDD’nin kabul ettiği ortalama ivme ile yapılan hesaplama sonucu (4339,93m) yaklaşık olarak aynı çıkmıştır. Bundan sonraki bölümlerde yapılacak hesaplamalarda fren mesafesi 4340 m olarak alınacaktır. Sadece hesaplanan fren mesafesine göre bloklar oluşturulur ise;



Şekil 4. Fren mesafesine göre oluşturulan bloklar

Blok mesafeleri belirlenirken sadece trenin hızına ve frenleme mesafesine bakmak yeterli değildir. Çünkü bu teorik hesap, gerçek işletme altında gerçekleşmeyebilir. Sinyalizasyon sistemleri görüldüğünden daha karmaşık bir yapıya sahip olup birçok alt sistemi bünyesinde barındırmaktadır. Bunlar arasında, araç üstü (EVC, JRU, DMI, odometri, takometre, doppler vb.) ile yol boyu sinyalizasyon (anklaşman, ray devresi, sinyal, makas vb.), GSM-R, Transmisyon

ekipmanları sayılabilir. Bu ekipmanlar sahip oldukları verileri, birbirleri arasında (alma-işleme-geri bildirim) gibi birçok işlem gerçekleştirirler ki bu işlemler için sıfır zaman aralığı yoktur. Tüm bu sistemlerin birbiri arasındaki bilgi paylaşımı çok küçük de olsa bir zaman farklılığı ortaya çıkaracak ve bu zaman diliminde tren yol almaya devam edecektir. Hesaplama hataları, geç tepki verme süreleri gibi bazı nedenlerle tren blok mesafesinde duramaz ve kırmızı sinyal ihlali gerçekleşir. Bu durum istenmeyen kazalara, can ve mal kayıplarına yol açabilir. Güvenli bir sürüş için frenleme eğrisi şekil 4'ten farklı olacaktır.



Şekil 5. Fren eğrileri [10]

4. Sabit Blok Mesafesinin Hesaplanması

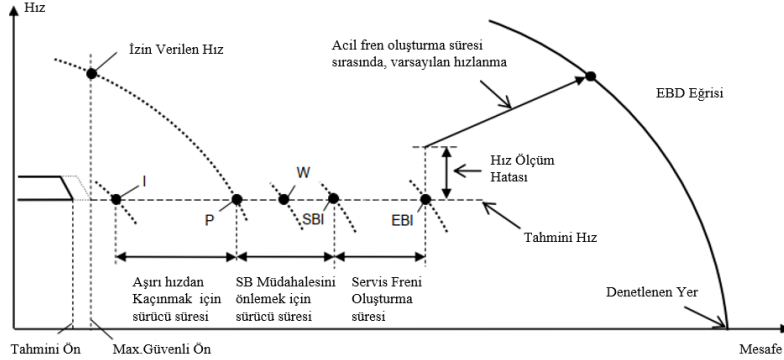
Trenleri birbirinden güvenli bir şekilde ayırmak için, dünyada en çok uygulanan metot, sabit blok mesafeli tren işletmeciliğidir [6]. Bu sistemde demiryolu hattı, trenlerin hızlarına ve frenleme özelliklerine göre belirli kısımlara ayrılır. İşletme durumunda, sadece bir tren bir bloğu işgal edebilir ve arkadaki tren, blok giriş sinyallerinin bildirisine göre hareket eder [8].

ETCS seviye 1 sistemi ile donatılmış hatlarda seyreden trenler için hareket yetkisi (MA) oluşturulur. Hareket yetkisi, oluşturulan güzergahın sağlanmasından, serbest hattın belirtilmesinden ve dolayısı ile trenin varlığının tespit edilmesinden sorumlu olan Anlaşman (Interlocking) tarafından gönderilen bilgiye ve ayrıca denetim için gerekli yol özelliklerine, hız profili (statik ve geçici), eğim profili, geçici hız kısıtlamalarına dayalı olarak hesaplanır. Hareket yetkisi asgari sayıda blok bölgesini kapsar, böylece tren, şartlar elverdiği sürece, hareket yetkisinin önceden bildirimle yenilenmesi suretiyle, izin verilen azami hızda, frenleme eğrisine girmeksizin seyredebilir. Hareket yetkisi yol boyunca teçhiz edilmiş olan ETCS ekipmanları (Değişken balız, LEU) aracılığı ile belirli noktalarda (Sinyaller, konum balızları, infil balızları) trene iletilmektedir. ETCS seviye 1 sistemi, verilerin ayrık ve noktasal iletimine dayandığından, araç üstü ekipmanda yer alan bilgiler sadece eurobalızları üzerinde seyir esnasında güncellenebilmektedir. Alınan bilgiler tren bilgisayarı (EVC-European Vital Computer) da işlenir ve dinamik hız, fren eğrisi vb. anlık olarak hesaplanır. Trenin ne kadar mesafe kat ettiği Odometri tarafından, aracın teker dönüş sayısı ve teker yarıçapı dikkate alınarak hesaplanır. Odometri hataları, belirli aralıklarla yerleştirilmiş olan konumlama eurobalızları tarafından düzeltilir.[11]

ETCS seviye 2'de ise, tren koruma bilgileri aktarımı ve trenle olan iletişim süreklidir. Trenle yapılan bu iletişim, demiryollarına özgü frekanslarda çalışan ve bir GSM teknolojisi olan GSM_R ve Anlaşman üzerinden aldığı bilgileri, GSM_R vasıtasıyla trene ileten, Telsiz blok merkezi (RBC; Radyo Blok Merkezi) den oluşmaktadır. Telsiz Blok Merkezi (RBC), hat boyu ETCS seviye 2 sisteminin kilit unsurunu oluşturmaktadır. Anlaşmandan sürekli olarak alınan bilgilere

dayanarak, telsiz haberleşme ağı vasıtasıyla trenlere hareket yetkisi verir ve onlardan konum raporları alır. RBC hareket yetkileri, ray devresi durumlarına dayalı olup, Ankara-Konya YHT hattında bu yetki 32 km dir [12].

ETCS sistemi, işlevleri arasında hız kontrolüne sahiptir ve trenin tehlike noktasından geçme riski olduğundan acil durum freninin uygulanmasına izin verir. Böylelikle sistem, tehlike noktasının korunmasını garanti etmek için acil durum freninin ne zaman uygulanacağını belirleyen EBI olarak tanımlanmış hız-mesafe düzleminde bir eğri hesaplar. Dikkate alınan durma mesafesi, tehlike noktasını geçme riskinin son derece düşük olacağı şekilde çok güvenli olmalıdır. Bu durum şekil 6'de görülmektedir.



Şekil 6. ETCS fren eğrisi aşamaları [4]

- Servis freni yavaşlatması (SBD), Eşdeğer tepkime süresi (Tbs), Fren eğrisi (SBI),[9]
- Acil durum freni (EBD), Eşdeğer tepkime süresi (Tbe), Fren eğrisi (EBI),[9]
- Tren hızı V_p , [9]
- Sürücü fren yapma uyarı zamanı (I),[4]
- Servis freni harekete geçirme, Fren tetiklemesi (P),[4]
- Sesli ikaz uyarısı zamanı (W),[4]

Servis freni ile acil fren arasında 4 saniyelik bir zaman farkı vardır. İlk durumda servis freni yapılır ise ETCS, SBI fren eğrisini hesaplayacaktır. Eğer fren yapılmaz ve acil frene gidilir ise o zaman ETCS, EBI eğrisini hesaplayacaktır [9]. Tüm hatalar ve tepkime süreleri dahil tren en geç şekil 6'de verilen EBD eğrisinde duracaktır.

Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) tarafından sinyalizasyon sistemlerinin kapasite üzerindeki etkisini araştırmak üzere Aachen Üniversitesi RWTH (Taşımacılık Bilimi Enstitüsü) ne bir çalışma yaptırılmıştır. UIC Code 406 kapasite dokümanı gecikmeleri dikkate almadığı için yeni bir yaklaşımla (Strele Formülü), ile hesaplamalar yapılmış, konvansiyonel, bölgesel ve yüksek hızlı tren hatları için, ETCS seviyeleri arasında aşağıdaki tabloda verilen farklı tepkime süreleri kabul edilmiştir. Bu süreler, birbiri ile bağımlı bileşenlerin iletim ve işleme süreleridir [9].

Tablo 3. Reaksiyon süreleri [9]

	Zaman (s)	ETCS Seviye
LEU	0,7	1
EVC+DMI	1	1
Interlocking-RBC	0,05	2
RBC	1,5	2
RBC-Tren	1,1	2
EVC+DMI	1	2

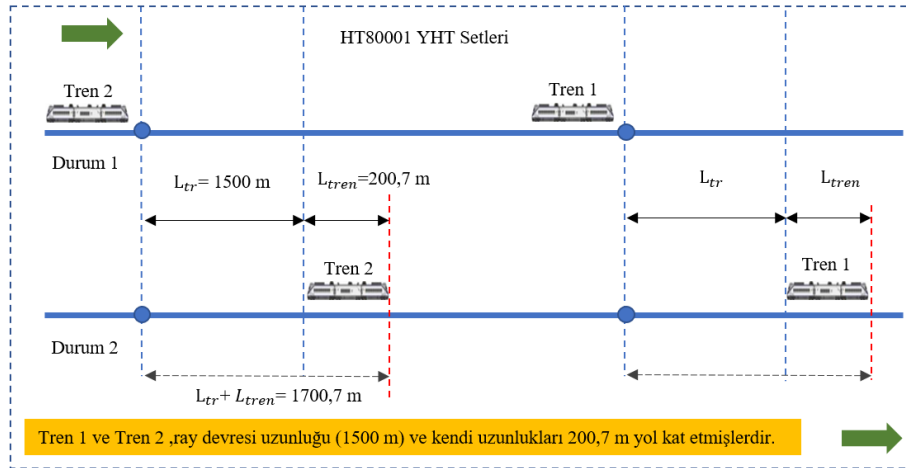
Hesaplama yapılacak parametreler aşağıdaki tablo 4'te detaylandırılmıştır.

Tablo 4. Hesaplama tablosu değerleri [2],[5]

Tanım	Değer
Yavaşlama İvmesi (a)	0,8 m/s ²
Yetki Sonu (EoA) ve Denetlenen yer arasındaki fark (Overlap) (L_{ov})	300 m
Tren Uzunluğu (L_{tren})	200,7 m
Ray devresi parça uzunluğu (L_{tr})	1500 m
Tren algılama sistemi, raporlama gecikme süresi (TD)	2 s
Hareket yetkisi güncelleme zamanı (MA)	2 s
	$T_{MA}=4s$
Tren üstü ekipman ETCS tepkime süresi	1 s
Odometri tepkime süresi	1 s
	$T_{ETCS}= 2 S$
En kötü durumda sürücü tepkime süresi	8 s
Fren sistemi çalıştırma süresi	3 s
	$T_{TEPKI}=11 s$

Tren manuel sürüş modunda iken, sürücü tepkisi 8 saniye içerisinde gelmez ise otomatik tren operasyonu devreye girer ve 3 saniye içinde tepki verir. Tren otomatik sürüş modunda çalışıyor iken, sürücü tepkime süresi dikkate alınmaz. Otomatik tren operasyonu 3 saniye içinde yanıt verir. Hesaplamalarda bu duruma dikkat edilmelidir [2].

Birbirini takip eden iki tren için, ilerleme senaryosu şekil 7'de verilmiştir.



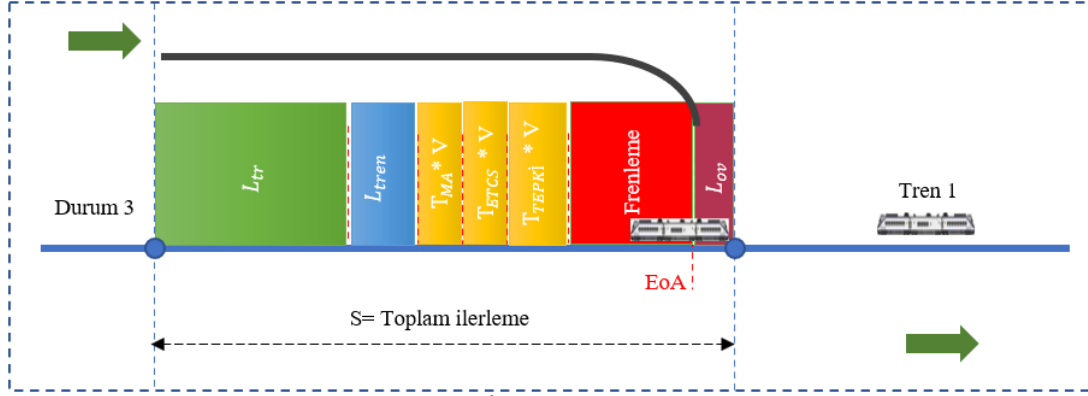
Şekil 7. Trenlerin ilerleme durumu

Trenler yol almaya devam ederken Tren 2, hareket yetkisini 4 saniye içerisinde güncellemeli ve aynı zamanda araç üstü ekipman tren konumunu yeniden tespit ederek 2 saniye içinde tepki vermelidir. Ayrıca fren mekanizmasının tepkimesi ve gerçek frenlemenin yapılmasıyla duruş gerçekleştirilmelidir. Bu durum aşağıdaki şekil 8'da gösterilmiştir.

Tren 2 için toplam gidilen yol;

$$L_{tr} + L_{tren} + L_{ov} + (T_{MA} + T_{ETCS} + T_{TEPKİ}) * V + \frac{V_{max}^2}{2 * a} \quad (5)$$

$$1500 + 200,7 + 300 + (4 + 2 + 11) * 83,33 + \frac{83,33^2}{2 * 0,8} = 7757,24 \text{ m} \quad (6)$$



Şekil 8. İlerleme durumu [2]

Tren 2 için toplam zaman;

$$\frac{(L_{tr} + L_{tren} + L_{ov})}{V} + T_{MA} + T_{ETCS} + T_{TEPKİ} + \frac{V}{2 * a} \quad (7)$$

$$\frac{(1500 + 200,7 + 300)}{83,33} + 4 + 2 + 11 + \frac{83,33}{2 * 0,8} = 93,08 \text{ s} \quad (8)$$

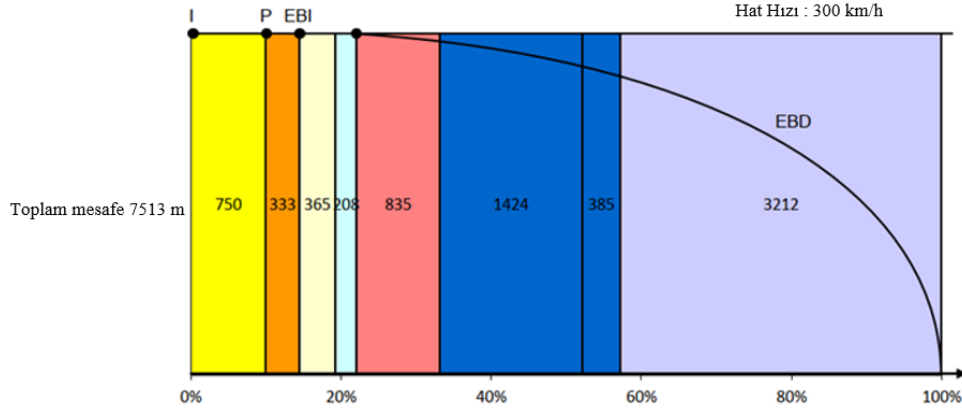
Bulunan toplam zaman için toplam ilerleme mesafesi yeniden hesaplanır ise;

$$93,08 * 83,33 = 7756,35 \text{ m} \quad (9)$$

İlk durumda Denklem 6 ile bulunan ilerleme mesafesini, Denklem 8'de bulunan ilerleme zamanına göre tekrar hesapladığımızda sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır.

$$7757,24 \approx 7756,35 \text{ m} \quad (10)$$

Avrupa Demiryolu Ajansı (ERA), yapmış olduğu hesaplamalar neticesinde 300 km/h hızla giden bir tren için olması gereken mesafeyi, aşağıda verilen şekil 9'da 7513 m olarak vermiştir [4].



Şekil 9. ERA toplam ilerleme mesafesi [4]

İkinci bölümde anlatılan zaman aralığı yöntemi ile ilerleme hesaplanır ise;

$$180 * 83,33 = 14499,4 \text{ m} \quad (11)$$

bulunur. Bulunan değerler aşağıdaki tablo 5'te, karşılaştırma kolaylığı olması açısından verilmiştir.

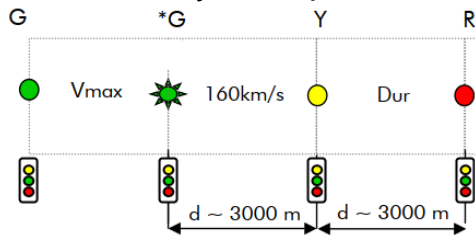
Tablo 5. Blok mesafelerinin karşılaştırılması

Hesaplamalar	Uzunluk (m)	Zaman(s)
Acil Fren Mesafesi	3214,76 m	38,57
Servis Fren Mesafesi	4340 m	52,08
Gecikmeler dahil toplam hesapladığımız	7757,24 m	93,09
Gecikmeler dahil toplam ERA hesaplaması	7513 m	90,15
Headway hesaplaması	14499,4 m	180

Görüldüğü gibi sadece fren mesafelerine dayalı blok oluşturmak, kabul edilen Headway zamanının (3dk) çok altında kalmaktadır. Ayrıca mesafenin kısa olması kaza ve olaylar açısından risk doğurmaktadır. Dünya yüksek hızlı tren işletmeciliğine baktığımız zaman en kısa zaman 3 dakika olarak öngörülmüş olup bu zaman diliminde 300 km/h hız ile seyreden bir tren 14499,4 metre yol kat edecektir. Yani saniyede 83,33 metre yol alan bir tren dakikada 4999,8 metre yol alacaktır. Bu durumda, yüksek hızlı tren hatlarında 5000 metrenin altında blok oluşturulmamalıdır.

5. Ankara-Eskişehir ve Ankara-Konya YHT Hatları Karşılaştırma

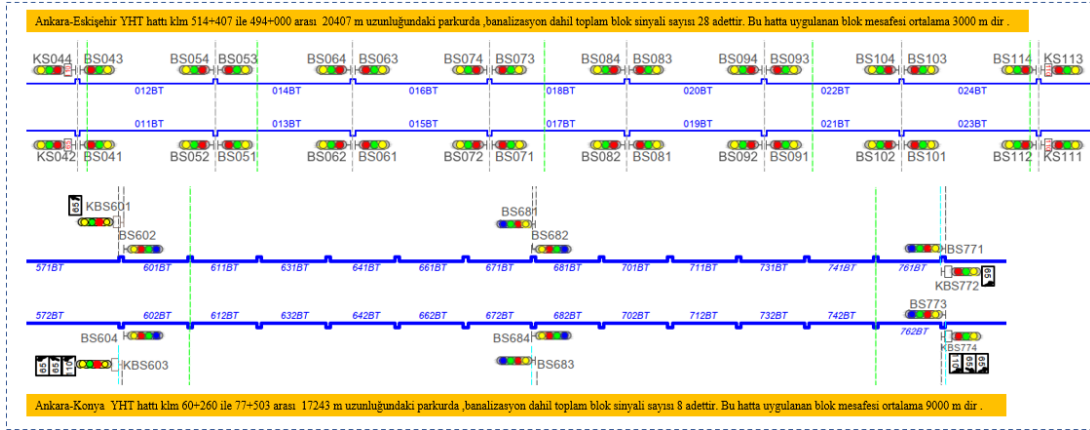
Sabit blok sisteminde trenler arası iki blok boş bırakma ilkesinden hareketle, hesaplanan değerler iki blok mesafede de karşılanabilir. Bu durum Ankara -Eskişehir YHT hattında uygulanmış olup bloklar arası mesafe 3000 metre olarak dizayn edilmiştir.



Şekil 10. Ankara-Eskişehir YHT hattı [13]

Ancak böyle bir dizayn için klasik sinyal mantığında (Yeşil-Sarı-Kırmızı) tren duramaz, çünkü yeterli fren mesafesi yoktur. Onun için bir blok geriden trenin hızının azaltılması gerekir. Eskişehir hattında hız azaltma uyarısı için yeşil flaş sinyali kullanılarak bir önceki sinyalde hız 160 km/h düşürülmüştür. Toplam ilerlemeye baktığımızda durma mesafesi 2 blok yani 6000 metre olarak gerçekleşmiştir [13].

Aşağıdaki Şekil 11’de Konya ve Eskişehir YHT hatlarının bir bölümü verilmiştir. Görüldüğü gibi Eskişehir hattında 20407 metre uzunluğundaki parkurda 28 adet blok sinyali varken, Konya hattında bloklar arası mesafe 9000 metre olup, 17243 metre uzunluğundaki parkurda 8 adet blok sinyali kullanılmıştır. TCDD’nin yayınlamış olduğu 2021 yılı şebeke bildiriminde her iki hattın kapasitesi, çift hat tek yön 81 tren/gün, 4,5 tren/saat tir [14]. Kapasite hesaplamalarında, Headway zamanı ve UIC düzeltme katsayıları kullanıldığı unutulmamalıdır [15].



Şekil 11. YHT Hatları hat boyu sinyalizasyon planları

6. Sonuç

Blok mesafelerinin kısaltılarak hat kapasitesinin artırılması tek başına yeterli bir yöntem değildir. Hat kapasitesinin hesaplanmasında; istasyonlar arası mesafe, seyir süreleri, tren seti sayıları, tren tipleri, minimum izleme süreleri, sinyal takip mesafesi, bakım süreleri gibi birçok etken bulunmaktadır. Hat üzerine her kurulan sinyal için ERTMS sistemlerinin de entegre edilmesi gerekecektir. Dolayısı ile bu durum uzun kablo sistemlerine, hayati kartlara, rölelere, elektronik ekipmanlara olan ihtiyacı artırarak, karmaşık anlaşman yazılımlarının oluşmasına neden olacak ve yüksek maliyetleri de beraberinde getirecektir. Ayrıca yıllar içinde bu kadar fazla ekipmanın bakım ve arızalarının giderilmesi, malzeme stoklarının karşılanması gibi pek çok olumsuz durum ortaya çıkacaktır. Kaldı ki ETCS seviye 2 sistemleri, sinyallere olan ihtiyacı ortadan kaldırmış olup her iki YHT hattına da seviye 2 sistemi entegre edilmiştir. Yaptığımız hesaplamalar neticesinde Yüksek hızlı tren hatlarında, ETCS seviye 1 için, sabit blok mesafelerinin, hattın coğrafi durumu göz önüne alınarak 7500 ile 10000 metre arasında seçilmesinin uygun olacağı yönündedir. Bu durumda tasarım, kurulum, test, devreye alma, malzeme, arıza-bakım, işletme gibi birçok maliyet azalacak, dolayısıyla zaman ve para tasarrufu sağlanacaktır.

Bu çalışmanın içeriği; sinyal blok mesafeleri ve sinyal sayılarının, anlaşman yazılım süreçleri, maliyet analizleri ile arıza-bakım faaliyetlerine etkileri gibi çalışmalarla genişletilebilir.

Kaynakça

- [1] O. Kılıç, H. E. Beni “Demiryollarında kapasite geliştirme,” *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, vol. 18, no. 2, pp. 25-39, 2018.

- [2] Sytra, "HS2 Capacity and reliability," 2011. [Online]. Available: <https://www.whatdotheyknow.com/request/305883/response/797442/attach/4/2011%2010%2020%20Capacity%20Technical%20Note%20Final%201.1%20Private.pdf>. [Accessed November 6, 2020]
- [3] H. Söyler, S. Açıkbaş, "Raylı toplu ulaşımında sinyalizasyon sistemleri," *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı Bildirileri*, İstanbul, 22-25 Eylül 2005
- [4] "Introduction to ETCS Braking Curves," 2020.[Online]. Available: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/introduction_to_etcs_braking_curves_en.pdf. [Accessed November 7,2020]
- [5] "Signalling Headways and Maximal Operational Capacity on High speed Two London to West Midlands Route," 2011. [Online]. Available: <https://www.chiark.greenend.org.uk/~jdamery/tmp/hs2%20minimum%20headway%20august2011%20v3%201%20final.pdf>. [Accessed November 6,2020]
- [6] "Railway Signalling Principles" 2020.[Online].Available: https://www.researchgate.net/publication/341277248_Railway_Signalling_Principles. [November 7,2020]
- [7] B. Işık, A. Cebeci, "Eddy current fren sisteminin Türkiye'deki yüksek hızlı demiryolu hatları ile uyumunun analizi," *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, vol. 11, pp. 86-97, Ocak 2020.
- [8] Y. Gülener, "Bir Raylı Ulaşım Sinyalizasyon Sistemi Gerçekleştirme," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Haziran 2009.
- [9] "Influence of ETCS on Line Capacity Generic Study," 2008. [Online]. Available: [https://secure60.prbsitehosting.co.uk/webdocssl/irsekbase/refviewer.aspx?RefNo=1448125036&document=Influence%20of%20ETCS%20on%20line%20capacity%20%20Generic%20study%20\(Aachen%20University%20202008\).pdf](https://secure60.prbsitehosting.co.uk/webdocssl/irsekbase/refviewer.aspx?RefNo=1448125036&document=Influence%20of%20ETCS%20on%20line%20capacity%20%20Generic%20study%20(Aachen%20University%20202008).pdf). [Accessed November 6,2020]
- [10] TCDD Ankara-Konya YHT hattı Sinyalizasyon projesi, *YHT Araçüstü ERTMS Cihazı Tanıtım Klavuzu*, 2011.
- [11] TCDD Ankara-Konya YHT hattı Sinyalizasyon projesi, *ERTMS Seviye 1 Hat Altsistemleri Fonksiyonel Tanımlamaları*, 2012.
- [12] TCDD Ankara-Konya YHT hattı Sinyalizasyon projesi, *ERTMS Seviye 2 Hat Altsistemleri Fonksiyonel Tanımlamaları*, 2012.
- [13] TCDD Ankara-Eskisehir YHT hattı Sinyalizasyon projesi, *ERTMS/ETCS Genel Bakış*, 2007.
- [14] "TCDD Şebeke Bildirimi," 2021. [Online]. Available: <https://www.tcdd.gov.tr/files/sebekebildirimi/2021/33.pdf>. [Accessed November 7,2020]
- [15] H.E. Beni, "Lokomotif çekerleri hesaplama yöntemi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 13, pp. 122-133, Jan. 2021. doi: 10.47072/demiryolu.826780

Özgeçmiş



Selim YILDIRIM

1983 tarihinde Konya'da doğmuştur. Lisans eğitimini 2011 yılında Anadolu Üniversitesi Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Bölümünü, 2018 yılında Selçuk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü bitirerek tamamlamıştır. 2007 yılında TCDD 7.Bölge Müdürlüğü, Afyon Mekanik sinyal şefliğine Tesisler sürveyanı olarak atanmıştır. 2011 yılında YHT Bölge Müdürlüğü, YHT Konya Sinyalizasyon ve Haberleşme şefliğine nakli yapılmış olup halen bu işyerinde EST Sürveyanı olarak çalışmaktadır. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

E-Posta: yildirimselim42@gmail.com

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.