

ÖZET**DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE TRENLERİN EMNİYETLİ AYRIM
MESAFESİNİ KISALTMAYA YÖNELİK BİR YÖNTEM**

Buluş; demiryolu hattında yolcu ve yük taşımacılığını emniyetli, planlı (zamanında) ve ekonomik bir şekilde işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin tren sefer sıklığını artırmak amacıyla emniyetli tren ayırım mesafesini kısaltmaya yönelik bir yöntem ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. Demiryolu hattında yolcu ve yük taşımacılığını emniyetli, planlı (zamanında) ve ekonomik bir şekilde işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin tren sefer sıklığını arttıran ve emniyetli tren ayırım mesafesinin kısıltılmasını sağlayan bir yöntem **olup, özelliği;**

5

- Tüm hat boyunca sabit bir garanti edilen acil durum fren ivmesi (GEBR) değeri almak yerine hattın belirli bölgelerinde konuma bağlı değişen GEBR değerlerinin alınması,

10

- Tüm hat ve/veya fren bölgesi için tek bir tünel katsayısı (kTünel) değeri kullanmak yerine konuma bağlı değişen tünel katsayıları kullanılması ve

15

- Manuel tren sürüşünde makiniste rehberlik etmek ve sistemin emre amadeliliğini (Availability) artırmak üzere inşai (civil) hız limitlerini optimize ederek sistemin gereksiz acil durum freni uygulamasının önlenmesi

İşlem adımlarını içermesidir.

2. İstem 1' e uygun yöntem **olup özelliği;** inşai hız sınırlarının bir ön işlemde geçirilerek normalize edilmesi işlem adımını içermesidir.

TARİFNAME

DEMİRYOLU SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDE TRENLERİN EMNİYETLİ AYRIM MESAFESİNİ KISALTMAYA YÖNELİK BİR YÖNTEM

Teknik Alan

- 5 Buluş; demiryolu hattında yolcu ve yük taşımacılığını emniyetli, planlı (zamanında) ve ekonomik bir şekilde işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin tren sefer sıklığını artırmak amacıyla emniyetli tren ayırım mesafesini kısaltmaya yönelik bir yöntem ile ilgilidir

Tekniğin Bilinen Durumu

- 10 Günümüzde şehir içi ve şehirlerarası ulaşımında raylı sistemlerin payı artmaktadır. İhtiyacı karşılamak için trenlerin sürücüsüz, tamamen otonom olarak çalışması sağlanarak, hızları ve sefer sıklığı arttırılmaktadır. Demiryolu sinyalizasyon sistemleri, trafik kapasitesindeki artışı emniyetli bir şekilde sağlamak için sürekli gelişmekte ve modernize edilmektedir. Artan insan nüfusu ile birlikte raylı sistemlerin vagon sayısının
- 15 arttırılması veya sefer sıklığının arttırılması gerekmektedir. Vagon sayısı ancak istasyon uzunluğu kadar olabileceğinden raylı sisteme olan taleple birlikte bununda yeterli olamayacağı görülmektedir. Dolayısıyla trenlerin emniyetli ayırım mesafelerinin kısaltılması ve böylelikle sefer sıklığının arttırılması kaçınılmazdır.

- Mevcut durumda, IEEE 1474.1 (CBTC Performans ve fonksiyonel gereksinimler) ve
- 20 IEEE 1698 standartları bir emniyetli fren modelinin sahip olması gereken parametreleri tarif etmekte ve örnek olarak bir emniyetli fren modelini göstermektedir. Bu standartlar emniyetli fren modeli parametrelerini ele alırken, parametrelerin nasıl kullanılacağı ile ilgili bir bilgiye yer vermemektedir. Bu parametrelerin kullanım şekli emniyet ve emre amadelik açısından işletme performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Emniyetli fren
- 25 modeli en kötü durum ve arıza senaryolarının bir kombinasyonunu sağlayarak hareket yetkisi tarafından garanti edilen mesafeye eşit veya daha kısa bir mesafede treni durduracak şekilde tasarlanmaktadır. En kötü durum ve arıza senaryoları, tüm tren kontrol sistemlerinin tasarımı ve kapasitesinin temeli olan tren durma mesafesinin belirlenmesinde en emniyetli yaklaşımlardan biridir. Emniyetli fren modeli, trenin anlık
- 30 hızına göre, her bir çevrim süresinde, en kötü koşulları dikkate alarak emniyetli frenleme eğri profilleri üreterek trenin izin verilen hareket yetkisi dışına çıkmamasını

kontrol eder ve hattın her bir bölümünde izin verilen hız kısıtlamaları içerisinde kalmasını sağlar. İşletmelerde tren sayılarının belirlenmesinde emniyetli fren modelinin etkisi büyüktür.

Konu ile ilgili yapılan araştırma sonucunda US10077033B2 yayın numaralı dokümanla karşılaşılmıştır. Mevcut teknik genel olarak tren kontrol ve fren sistemlerine ve özellikle fren sistemlerine ve bir çalışan tren üzerinde bir frenleme modelinde veya algoritmasında kullanım için dinamik frenleme verilerinin ve bilgilerinin belirlenmesine yönelik yöntemlere ilişkindir. İlgili dokümanda başlangıç güvenlik faktörleri belirlenmekte, beklenen dinamik frenleme kuvvetine veya geciktirme kuvvetlerine göre dinamik frenleme ayarlama katsayısına karar verilmekte ve bunlara göre yeni güvenlik faktörü belirlenmektedir. Önerilen yöntemde trenlerin ayırım mesafelerini kısaltmaya ve böylelikle sefer sıklığının artırılmasına yönelik bir geliştirme söz konusu değildir.

Literatürde karşılaşılan bir başka doküman ise CN102951189A yayın numaralı dokümandır. Mevcut teknik güvenlik aralıklı gerçek zamanlı kalibrasyon gerçekleştirebilen bir operasyon kontrol yönteminden bahsedilmektedir. Bahsedilen yöntem yüksek hızlı trenler için kullanılmakta ve trenler arasında güvenli mesafenin ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde de ihtiyaç duyulan sefer artırma sıklığını ve işletme performansını artırmak mümkün değildir.

Sonuç olarak, yukarıda anlatılan olumsuzluklardan dolayı ve mevcut çözümlerin konu hakkındaki yetersizliği nedeniyle ilgili teknik alanda bir geliştirme yapılması gerekli kılınmıştır.

Buluşun Amacı

Buluş, mevcut durumlardan esinlenerek oluşturulup yukarıda belirtilen olumsuzlukları çözmeyi amaçlamaktadır.

Buluşun ana amacı; demiryolu hattında yolcu ve yük taşımacılığını emniyetli, planlı (zamanında) ve ekonomik bir şekilde işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin tren sefer sıklığını artırmak amacıyla emniyetli tren ayırım mesafesini kısaltmaya yönelik bir yöntem ortaya koymaktır.

Buluşun diğer amacı; olarak trenlerin emniyetli ayırım mesafelerinin kısaltılmasını böylelikle sefer sıklığını ve işletme performansının artmasını sağlamaktır.

Buluşun diğer amacı; bazı hat kesimlerindeki trenler arası sürenin (headway), mevcut yöntemlere göre toplamda 30-40 sn'ye kadar azaltılmasını ve böylelikle işletmelerde kullanılan tren sayılarının artırılmasını sağlamaktır.

5 Buluşun bir diğer amacı; manuel sürürlü sistemlerde acil durum freni uygulama sayısının azaltılması sağlamak ve bunun sonucu olarak sistemin emre amadeliğinin artırılmasını sağlamaktır.

Buluşun bir diğer amacı; acil durum freni ihtiyacının azalması sayesinde bakım onarım maliyetinin düşürülmesini sağlamaktır.

10 Yukarıda anlatılan amaçları yerine getirmek üzere buluş, demiryolu hattında yolcu ve yük taşımacılığını emniyetli, planlı (zamanında) ve ekonomik bir şekilde işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin tren sefer sıklığını arttıran ve emniyetli tren ayırım mesafesinin kısaltılmasını sağlayan bir yöntem olup, özelliği;

- 15 • Tüm hat boyunca sabit bir garanti edilen acil durum fren ivmesi (GEBR) değeri almak yerine hattın belirli bölgelerinde konuma bağlı değişen GEBR değerlerinin alınması,
- Tüm hat ve/veya fren bölgesi için tek bir tünel katsayısı (kTünel) değeri kullanmak yerine konuma bağlı değişen tünel katsayıları kullanılması ve
- 20 • Manuel tren sürüşünde makiniste rehberlik etmek ve sistemin emre amadeliğini (Availability) artırmak üzere inşai (civil) hız limitlerini optimize ederek sistemin gereksiz acil durum freni uygulamasının önlenmesi

İşlem adımlarını içermektedir.

25 Buluşun yapısal ve karakteristik özellikleri ve tüm avantajları aşağıda verilen şekiller ve bu şekillere atıflar yapılmak suretiyle yazılan detaylı açıklama sayesinde daha net olarak anlaşılacaktır ve bu nedenle değerlendirmenin de bu şekiller ve detaylı açıklama göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.

Buluşun Anlaşılmasına Yardımcı Olacak Şekiller

Şekil 1, Acil durum fren fazı için emniyetli fren mesafesi hesabında kullanılabilecek temel algoritma görünümüdür.

Şekil 2, Normalize inşai hız sınırlarının bulunmasına ilişkin önerilen algoritma görünümüdür.

5 **Şekil 3,** Farklı GEBR değerleri için emniyetli fren eğrileri grafik görünümüdür.

Şekil 4, IEC 62290-2 emniyetli fren modelidir.

Şekil 5, IEEE 1474 emniyetli fren modeli grafik görünümüdür.

Şekil 6, Normalizasyon yapılmadığında hız sınırı konum eğrileri grafiğidir.

10 **Şekil 7,** Buluş konusu yöntem kullanılarak normalizasyon yapıldığında hız sınırı konum eğrileri grafiğidir.

Şekil 8, Farklı GEBR değerleri için ATP hız sınırı eğrileri grafiğidir.

Şekil 9, Değişik tünel katsayıları için ATP hız sınırı eğrileri grafiğidir.

Şekil 10, Değişik tünel katsayılarını hız üzerindeki değişim noktasını detaylı gösteren ATP hız sınırı eğrileri grafiğidir.

15 **Şekil 11,** Değişik tünel katsayılarını hız ve mesafe üzerindeki değişim noktasını detaylı gösteren ATP hız sınırı eğrileri grafiğidir.

Buluşun Detaylı Açıklaması

Bu detaylı açıklamada, buluşa konu olan yöntemin tercih edilen yapılanmaları, sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak açıklanmaktadır.

20 Buluş konusu demiryolu hattında yolcu ve yük taşımacılığını emniyetli, planlı (zamanında) ve ekonomik bir şekilde işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin tren sefer sıklığını artırmak amacıyla emniyetli tren ayırım mesafesini kısaltmaya yönelik bir yönetime daırdır.

25 Buluş ile ilgili öncelikli olarak emniyetli fren modeli ve emniyetli tren ayırımı terimleri açıklamak gereklidir. Genel tren frenleme mesafesinin nasıl hesaplandığının basit açıklaması verilerek ardından sinyalizasyon sistemlerinin kullandığı farklı emniyetli fren

modeli standart gereksinimleri verilmektedir. Bu standart gereksinimlerinden farklı olarak buluş konusu kapsamında yapılan çalışmalardan ve bu çalışmaların sağladığı faydalardan bahsedilecektir.

Emniyetli fren modeli:

- 5 Emniyetli fren modeli en kötü durum ve arıza senaryolarının bir kombinasyonunu sağlayarak hareket yetkisi tarafından garanti edilen mesafeye eşit veya daha kısa bir mesafede treni durduracak şekilde tasarlanmaktadır. En kötü durum ve arıza senaryoları, tüm tren kontrol sistemlerinin tasarımı ve kapasitesinin temeli olan tren durma mesafesinin belirlenmesinde en emniyetli yaklaşımlardan biridir. Emniyetli fren
- 10 modeli, trenin anlık hızına göre, her bir çevrim süresinde, en kötü koşulları dikkate alarak emniyetli frenleme eğri profilleri üreterek trenin izin verilen hareket yetkisi dışına çıkmamasını kontrol eder ve hattın her bir bölümünde izin verilen hız kısıtlamaları içerisinde kalmasını sağlar. İşletmelerde tren sayılarının belirlenmesinde emniyetli fren modelinin etkisi büyüktür.
- 15 Emniyetli fren modeli, araç üstünde bulunan “hatada emniyetli – fail safe” yapıdaki (emniyet bütünlük seviyesi 4 – SIL 4) hayati bilgisayarın içerisinde gömülü olarak yer almaktadır. Bu emniyetli fren modeli, hayati bilgisayar tarafından hat boyundaki bilgisayarlardan her çevrimde veri alarak oluşturulur.

Emniyetli tren ayrımı:

- 20 Emniyetli fren modelini kullanarak trenlerin emniyetli bir şekilde ayrılmasını sağlamaktadır.

EN 14531 standardına göre genel tren frenleme mesafesi hesaplaması:

- Standart raylı sistem uygulamaları için ortak bir hesaplama yöntemini tanımlamaktadır. Her türlü tren seti için fren ekipmanının tasarımında ve geçerlemesinde kullanılan
- 25 ortalama değer hesaplamasını ve frenleme performansını kullanan genel formülü açıklamaktadır.

Düz bir hatta temel olarak durma mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$s = v_0 \cdot t_e + \frac{v_0^2 - v_{son}^2}{2 \cdot a_e} \quad (1)$$

Formül 1' de görüleceği üzere 5 farklı değer vardır;

Durma/yavaşlama mesafesi (s),

Toplam eşdeğer tepki süresi (t_e),

Başlangıç hızı(v_0),

5 Son hız (Vson),

Eşdeğer yavaşlama ivmesi(a_e)

Standart ayrıca, hızın bir fonksiyonu olarak farklı tipteki fren sistemleri için anlık sürtünmeli fren kuvvetlerinin nasıl belirleneceğine ilişkin formülasyonları da içerir. Eğimli bir hat için standart, aşağıdaki formülün kullanılmasını önerir:

$$10 \quad s_{grad} = v_0 \cdot t_e + \frac{1}{2} \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e^2 + \frac{\left(v_0 - \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e \right)^2}{2 \cdot a_e} - v_{fin}^2 \quad (2)$$

Formül 2'de görüleceği üzere 9 farklı değer vardır;

s_{grad} Verilen eğimde durma mesafesi, m

t_e Toplam eşdeğer yanıt süresi, s

v_0 Başlangıç hızı, m/s

15 m_{st} Statik yük, kg

m_{dyn} Dinamik yük, kg

g_n Standart ivme, m/s²

i Hattın eğimi

a_e Eğim etkisi ile birlikte eşdeğer yavaşlama, m/s²

IEC 62290-2 standardı; emniyetli fren modelleri için asgari olarak aşağıdaki faktörleri göz önünde bulundurulması gerektiğinden bahsetmektedir (Şekil 4):

- Takip edilen trenin konum belirsizliği,
- Trenin uzunluğu,
- 5 • Sistem tarafından izin verilen aşırı hız,
- Maksimum hız ölçüm hatası,
- Sistemdeki reaksiyon süreleri ve gecikmeleri,
- Sistem tarafından aşırı hız durumu tespit edildiğinde mümkün olan maksimum tren hızlanma oranı,
- 10 • Aşırı hız durumunun tespit edilmesinden sonra tahrik devre dışı bırakmak ve acil durum frenlerini uygulamak için en kötü durum tepki süreleri,
- Acil durum fren değeri.

- 15 IEEE 1474.1 standardı; CBTC performans gereksinimlerini tanımlayan standart, emniyetli fren modellerinin en az aşağıdaki faktörleri göz önünde bulundurması gerektiğinden bahsetmektedir (Şekil 5);

- Onden giden trenin konumundaki belirsizlik (geri kayma payı dâhil),
- Arkadan gelen trenin konumundaki belirsizlik,
- Tren uzunluğu,
- 20 • Tren konfigürasyonları,
- Sistem tarafından izin verilen aşırı hız limitleri,
- Azami hız ölçümündeki hata payı,
- Sistem reaksiyon süresi ve gecikmeler,

- Sistem tarafından aşırı hız durumu tespit edildiğinde mümkün olan maksimum tren hızlanma oranı,

- Aşırı hız durumunun tespit edilmesinden sonra tahrik devre dışı bırakmak ve acil durum frenlerini uygulamak için en kötü durum tepki süreleri,

5 • Garanti edilen acil durum fren ivmesi (GEBR – Guaranteed Emergency Brake Rate),

- Hattın eğimi.

IEEE 1698 standardı; raylı sistem araçlarının fren mesafesinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler verilmektedir.

Hız/Pozisyon Maddesi	IEEE Std 1698	IEEE Std 1474.1
Maksimum giriş hızı	A	X Noktası
Trenin frenleme modeline giriş noktası	B	Y Noktası
Reaksiyon süresi boyunca gidilen mesafe	C	A
Kaçak hızlanma	D	B
Tahrik kesme süresi	E	B
Süzülme (ölü zaman) süresi	F	B ve C bölgesine dahil
Acil durum freni oluşum süresi	G	C ve D
Minimum garanti edilen acil durum freni	H	E
Frenleme oranı faktörleri	I	E bölgesine dahil
Araç gövde çıkıntısı	J	Pozisyon Belirsizliği

Tablo 1 IEEE 1474.1 ve IEEE 1698 fren model karşılaştırması.

İlgili standartlardan görüldüğü gibi demiryolu sinyalizasyon sistemleri için emniyetli frenleme modeli ana prensipleri standartlara göre benzer olmakla birlikte raylı sistem aracının farklı özellikleri ve değişim gösteren hat parametreleri sebebiyle önemli farklılıklar vardır. (Tablo 1’de Şekil 4 ve şekil 5 standartlarının karşılaştırılması verilmiştir.) Bu durumda trenlerin işleyeceği hatta, araç parametrelerine bakılarak emniyetli fren model oluşturulmaktadır.

Buluş konusu emniyetli tren ayırım mesafesini kısaltmaya yönelik sistem ve yöntem:

- 10 Buluş konusu yöntem, emniyetli fren modeli ve emniyetli fren mesafesi olmak üzere iki farklı algorithmadan oluşmaktadır. Bu algoritmalarla ilgili detaylar aşağıda verilmiştir.

Emniyetli Fren Modeli Girdi Parametreleri:

- Minimum Pozisyon: Trenin orta noktasını minimum (pozisyon belirsizliğini minimum olarak belirlenmiş) olası konumu [m]
- Maximum Pozisyon: Trenin orta noktasını maksimum (pozisyon belirsizliğini maksimum olarak belirlenmiş) olası konumu [m]
- Çakışma Noktası Konumu: Bir sonraki çakışma noktasının konumu [m]
- Çakışma Noktası Konum doğruluğu: Bir sonraki çakışma noktasının konumunun doğruluğu [m]
- GEBR Listesi (*): Trenin konumuna bağlı olarak değiştirilebilir Garanti edilen fren ivme tablosu [m, m/s²]
- İnşai Hız Sınırları Listesi (*): Trenin konumuna göre inşai hız sınırlarını içeren tablo [m, m/s]. İnşai hız sınırları tren hızının acil durum koşulları dahil hiçbir şartta aşmaması gereken hız sınırlarını ifade eder.
- İşletme Hız Sınırları Listesi: Trenin konumuna göre operasyonel hız sınırlarını içeren tablo [m, m/s]. İşletme hız sınırları tren çalışma koşulları içinde aşmaması gereken hız sınırlarını ifade eder. Genelde işletme hız sınırları inşai hız sınırlarından daha aşağıda olup acil bir durumda trenin inşai hız sınırlarını geçmemek kaydıyla işletme hız sınırlarının üstüne çıkma ihtimali kabul edilebilir bir durumdur.
- Eğim Listesi: Trenin konumuna göre eğim bilgisini içeren tablo [m, %]
- Kurp Listesi: Trenin konumuna göre kurp bilgilerini içeren tablo [m, m]
- Ktünel Listesi (*): Hat boyunca ktünel faktörlerinin listesi [m, m]

(*) Bu parametreler, standartların tariflediği emniyetli fren modelinden farklı olarak emniyetli tren ayırım mesafesini kısaltma amacıyla kullanılmaktadır.

Emniyetli Fren Modelinin Çıktı Parametresi:

- Acil Durum Fren Hızı: Acil durum freni uygulama hızı. (Bu hız değerini geçtiğimizde acil durum freni tetiklenir.) [m/s]

Trenin konumuna göre (dinamik olarak) değişmeyen parametrelerin modelde gösterilmediğine dikkat edilmelidir.

- 5 Girdi olarak belirtilen inşai hız limitlerinin, Emniyetli fren modelinin kaçak hızlanma aşaması da dahil olmak üzere her koşulda tren tarafından asla aşılmaması gereken hız limitlerini gösterdiğine de dikkat edilmelidir. Buna karşılık, operasyon hız limitleri, trenin nominal operasyon altında aşmasına izin verilmeyen hız limitlerini gösterir (yani, emniyetli fren modelinin kaçak hızlanma sırasındaki durumları içermez). Bu nedenle, emniyetli frenleme eğrisi, eğrinin başlangıç noktası her zaman o noktadaki çalışma hız sınırından küçük veya ona eşit olacak şekilde şekillendirilir ve modelin hiçbir
- 10 bölümünün, aracın önündeki inşai hız sınırlarını aşmaması garanti edilir. İnşai hız limiti, operasyon hız limitinden daha fazla olmalıdır (tren ve hat parametrelerine bağlı olarak, tipik olarak 5-15 km /h). Aksi takdirde, trenin hız sınırı o kadar düşürülecek ki, emniyetli fren eğrisinde erişilecek en yüksek hız inşai hız sınırını geçmeyecektir.

Emniyetli Fren Mesafesi Girdi Parametreleri:

- 15 - Minimum Pozisyon: Trenin orta noktasını minimum (pozisyon belirsizliğini minimum olarak belirlenmiş) olası konumu [m]
- Maximum Pozisyon: Trenin orta noktasını maksimum (pozisyon belirsizliğini maksimum olarak belirlenmiş) olası konumu [m]
- Hız: Trenin anlık hızını göstermektedir. [m]
- 20 - Hareket yetki limiti: Hareket yetkisinin bitiş noktası, [m]
- Hedef Hız: Trenin bir sonraki çakışma noktasında gerekli hızı , [m]
- Eğim Listesi: Trenin konumuna göre eğim bilgisini içeren tablo [m, %]
- Kurp Listesi: Trenin konumuna göre kurp bilgilerini içeren tablo [m, m]
- Ktünel Listesi: Hat boyunca ktünel faktörlerinin listesi [m, m]

25 Emniyetli Fren Mesafesi Çıktı Parametresi:

- Emniyetli Fren Mesafesi: Trenin en kötü koşulda durma mesafesidir, [m]

Farklı standartların emniyetli fren modelleri incelendiğinde (IEC 62290-2 emniyetli fren modeli-IEEE 1474 emniyetli fren modeli ve Tablo 1) modeller içinde farklı bölgeler tarif edildiği görülecektir. Ancak, genel olarak bu bölgeler üç ana kısma ayrılabilir:

Kaçak hızlanma (hyper / runaway acceleration) bölgesi: Bu bölgede cer motorlarının devrede olduğu ve aracın mümkün olabilecek maksimum ivme ile ivmelendiği kabul edilir. Bu bölgede aracın hızı genelde artma eğilimi gösterecektir.

Süzülme (coasting) bölgesi: Bu bölgede cer motorlarının devreden çıktığı ancak henüz fren sisteminin devreye girmediği haliyle aracın süzülme modunda olduğu kabul edilir. Bu bölgede yol eğimi ve karşı kuvvetlere bağlı olarak aracın hızı artabilir veya azalabilir.

Acil durum fren (emergency brake) bölgesi: Bu bölgede aracın acil durum frenlerinin devrede olduğu ve bu frenlerin araç üzerine garanti edilen fren ivmesi (GEBR) karşı düşecek miktarda bir kuvvet uyguladığı kabul edilir. Bu bölgede araç yavaşlayacak olup yolun eğimi ve karşı kuvvetlere bağlı olarak frenleme ivme GEBR değerinin üstünde veya altında olabilir.

Klasik bir otomatik tren koruma (ATP) sistemi tren hareket halindeyken üzerindeki emniyet kritik bilgisayar yardımıyla sürekli olarak yukarıda tarif edilen bölgeleri içeren acil durum fren eğrisini hesap ederek bu fren eğrisinin bir hız sınırını ihlal ettiğini veya trene verilen hareket yetki noktasını (movement authority) aştığını tespit etmesi halinde acil durum fren sistemini devreye alır. Bu sistemin çalışma mantığına göre trenin hızı bulunduğu noktadaki işletme hız sınırından büyük olmamalıdır ve buna ek olarak acil durum fren eğrisi boyunca tren hiçbir zaman için inşai hız sınırlarının üstüne çıkmamalıdır. Buna ek olarak ATP sistemi üzerinde çalıştırdığı bir algoritma yardımıyla acil durum fren eğrisinin hiçbir ihlale sebep olmayacağı izin verilebilecek maksimum hız sınırını da (ATP hız sınırı) sürekli olarak hesaplar. Aslında tren hızının ATP hız sınırının üstünde olması halinde acil durum fren sistemi devreye girmektedir.

Acil durum fren eğrisine yönelik hesaplar yaklaşımlar içeren amprik formüller ile yapılabileceği gibi günümüzde bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmelerin de yardımıyla araçüstü bilgisayarlarda koşan simülasyon programları yardımıyla da yapılabilmektedir. Simülasyon yardımıyla yapılan acil durum frenleme eğrisi hesapları amprik formüllere göre daha kesin ve az konservatif sonuçlar vermektedir. Bu sebeple önerilen yöntemde de simülasyon kullanılarak acil durum fren eğrisi hesabı yapılması

öngörülmüştür. Acil durum fren eğrisinin simülasyonu aşırı hızlanma, süzülme ve acil durum fren bölgelerinin birbiri ardından simülasyonlarının yapılmasından oluşur.

Şekil 1 'de acil durum fren bölgesine yönelik simülasyonun ana adımları gösterilmiştir. Aşırı hızlanma ve süzülme bölgeleri için de çok benzer simülasyon adımları söz konusudur. Ancak acil durum fren eğrisinin en büyük bölümü genelde acil durum fren bölgesinden oluşmaktadır. Buna göre buluş konusu yöntemin var olan yöntemlerden farklılıkları şu şekilde özetlenebilir:

- Onerilen yöntem bütün hat ve/veya fren bölgesi için tek bir garanti edilen acil durum fren ivme (GEBR) değeri kullanmak yerine konuma bağlı değişen GEBR değerleri kullanmaktadır.

- Onerilen yöntem bütün hat ve/veya fren bölgesi için tek bir tünel katsayısı (kTünel) değeri kullanmak yerine konuma bağlı değişen tünel katsayıları kullanmaktadır.

- Onerilen yöntem inşai hız sınırlarının bir ön işlemde geçirilerek normalize edilmesini sağlamaktadır.

Bu farklılıklar aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

❖ Her bir demiryolu hattında farklı GEBR değerinin emniyetli fren modeli üzerindeki etkisi:

Emniyetli fren model formülasyonu farklı araç parametrelerine göre incelendiğinde en fazla etki eden parametrenin garanti edilen acil durum fren değeri olduğu görülmektedir. Garanti edilen acil durum fren ivmesi (GEBR) genelde düz açık hatlarda ve bir trende özel uygulamada var olabileceği tahmin edilebilecek en kötü durumdaki güvenilir fren donanımının sağlayabileceği acil durum fren ivmesi değerini göstermektedir ve genelde araç üreticisi firmalar tarafından sağlanır. GEBR hesabında genel olarak azami yolcu yükü (varsa kar ve buz yükü) ve asgari öngörülen adezyon seviyeleri dikkate alınır. Farklı adezyon oranları için GEBR değerleri de farklı olacaktır. Genelde araç üreticileri farklı adezyon oranları için aracın sağlayabileceği GEBR değerlerini bir tablo olarak sağlayabilmektedir.

Örnek bir metro hattında işletmenin belirlediği adezyon ve tek bir boji sistem kaybında elde edilebilecek GEBR değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu tablodan da görüleceği üzere kuru ray üzerinde GEBR değeri 1.1 m/s² iken bozulan yol koşulları (ıslanma/yağlanma sonucu) 0.5 m/s²’ye kadar düşebilmektedir.

Adezyon Katsayısı	GEBR (Tek bir boji sistem kaybında)
Kuru Rayda (0.14)	1.10
0.13	0.85
0.12	0.79
0.11	0.72
0.10	0.66
0.09	0.56
0.08	0.50

Tablo 2 Adezyon ve tek bir boji sistem kaybında GEBR.

Klasik yöntemlere göre acil durum fren eğrisi hesabı sırasında bütün hat boyunca veya fren bölgesi boyunca olası en düşük adezyon katsayısı göz önünde bulundurularak sabit bir GEBR değeri kullanılmaktadır. Buluş konusu olan yöntemde ise Şekil 1’den de görüleceği üzere hattaki adezyon katsayısı değişimlerine bağlı olarak farklı GEBR değerleri kullanılabilmektedir.

Buluş konusu yöntemin sağladığı faydanın daha iyi anlaşılabilmesi için Türkiye’de çalışmakta olan bir metro aracının verileri kullanılarak çeşitli simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sırasında yatay kurp içermeyen %4 yokuş aşağı eğimli bir hat kesimi göz önünde bulundurulmuştur.

Örnek olarak trenin bulunduğu bölgede yol koşullarından kaynaklı düşük adezyon oluşması ve buna bağlı olarak trenin sağlayabileceği GEBR oranının 0.65 olduğu ancak trenin bulunduğu konumdan 100 m sonra yol koşullarının iyileştiği ve trenin daha yüksek bir GEBR oranı sağlayabildiği bir senaryo göz önünde bulundurulmuştur. Bu örnekte tünel katsayısı sabit ($k_{\text{tunnel}}=1.0$) alınmıştır ve hız sınırlarından kaynaklı bir kısıtlamanın olmadığı varsayılmıştır. Öncelikle klasik yaklaşıma göre bütün fren mesafesi boyunca GEBR değerinin sabit olarak 0.65 olduğu durum için simülasyon yapılmış sonrasında önerilen yöntem uyarınca yol boyunca değişken GEBR değerlerinin göz önünde bulundurulduğu (100m’den sonra GEBR değerinin 0.85 m/s² ve 1.1 m/s² alındığı) iki simülasyon yapılmıştır. Başlangıç hızı 120 km/saat olan bir tren için yapılan simülasyon sonuçları Şekil 3’de verilmiştir. Ayrıca, bu üç simülasyona göre hesap edilen acil durum fren mesafesi Şekil 3’de yer almaktadır. Şekil 3 ve Şekil 5’den görüleceği üzere GEBR değerinin klasik yöntemlere göre sabit alınması ile önerilen

yöntemdeki şekilde değişken alınmasına bağlı olarak sonuçlar önemli ölçüde etkilenecektir. Hesap edilen acil fren mesafesi arasındaki fark 1048 m'yi bulmaktadır. Bunun anlamı göz önünde bulundurulacak hat kesiminde iki tren arasındaki mesafe çok daha kısa olabilecektir. 120 km/saat hızla hareket eden bir trenin 1 kilometreyi 30 saniyede kat ettiği göz önünde bulundurulacak olursa önerilen yöntem ile göz önünde bulundurulacak hat kesimi için trenler arası sürenin (headway) 30 saniye kadar daha aşağı çekilmesi mümkün olacaktır.

Göz önünde bulundurulacak bölgede hız sınırı kısıtlarının olması durumunda Şekil 3' den anlaşılacağı üzere $GEBR=0.65$ kabul edilen klasik yaklaşımda tren çok daha önceden frenleme yapmaya başlayacağı halde önerilen yöntem uyarınca değişken $GEBR$ değerlerinin kullanılması halinde trenin hız sınırına iyice yaklaştıktan sonra frenleme moduna geçmesi mümkün olacaktır.

Söz konusu senaryolar için trene verilen hareket yetkisinin 2200m'ye kadar olduğu varsayılarak 0 – 2200m arasında oluşacak olan emniyetli fren (ATP hız sınırlama) eğrileri Şekil 10'da verilmiştir. $GEBR$ değerini 0.65 olarak sabit kabul etmenin hız sınırları üzerindeki baskılayıcı etkisi bu şekilde net olarak görülmektedir.

Kent içi ulaşımda düşük sefer aralığı hedefleri düşünüldüğünden $GEBR$ değerinin göz ardı edilemeyecek etkileri olduğu görülmektedir. Farklı hat bölgelerinde farklı adezyon seviyeleri olmaktadır. Tünelde veya açık hatta en kötü adezyon değeri aynı olarak alınabilir fakat bu frenleme mesafesinin artmasına ve böylelikle işletme performansında azalmaya sebep olacaktır. Bu nedenle aynı hatta farklı $GEBR$ değerleri girilerek işletmenin daha yüksek performansta çalışması sağlanmaktadır.

❖ Tünel katsayısının emniyetli fren modeli üzerindeki etkisi:

Tren direnci formülü:

Tren direnci formülü, frenleme modeli için tren geciktirme kuvvetlerine dayalı olarak ivmeyi ayarlamak için kullanılabilir. Genel olarak, tren direnci için tercih edilen formüller 3' de gösterildiği gibi yıllardır kabul görmektedir. SI birimlerinde, bir tren direnci denklemi, aşağıdaki gibi tren direncine temel katkıları dikkate alarak genelleştirilmiş bir biçimde ifade edilebilir:

$$F_R = K_{rr}M + F_{coeff}MV + k_{tunnel}(A_{coeff} + S_{coeff}(n-1))AV^2 \quad (3)$$

Davis formülü olarak anılan yukarıdaki formülasyonda kullanılan sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir.

5

- F_R Tren karşı kuvveti, N
- M Trenin kütlesi, kg
- K_{rr} Dönel direnç (Rolling resistance), N/kg
- F_{coeff} Flanş (flange) katsayısı, N/(kg km/sa)
- V Trenin hızı, km/sa
- A_{coeff} Ön alan hava direnci katsayısı, N/(m² (km/sa)²)
- S_{coeff} yüzey etkisi hava direnci katsayısı, N/(m² (km/sa)²)
- n Tren dizisindeki araç sayısı
- A Trenin ön yüz alanı, m²
- k_{tunnel} Tünel katsayısı

10

15

Tren karşı kuvveti doğrudan doğruya trenin hareketine karşı oluşan bir kuvvet olduğundan fren mesafesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Trenler tüneller içinde hareket ettiklerinde piston etkisi denilen bir olay oluşmakta ve tren karşı kuvveti önemli ölçüde artabilmektedir. Tünellerde oluşan bu piston etkisi (3) numaralı formülde tren karşı kuvvetinin hızın karesi ile doğru orantılı olan ve aerodinamik sürtünme kuvvetine karşı gelen kısmına etkiyen k_{tunnel} katsayısı ile ifade edilmiştir. Açık hava koşullarında $k_{tunnel} = 1$ olarak alınmaktadır. Ancak, tünel kesit alanının tren ön yüz alanına oranı gibi değişik faktörlere de bağlı olarak tünel içinde aerodinamik sürtünmelerden gelen karşı kuvvetler 1.5 ila 2 kat kadar artabilmektedir. Konu ile ilgili ayrıntılı bilgilere yüksek lisans tezinden ulaşılabilir [1].

20

25

30

Buna göre k_{tunnel} katsayısı 1 ile 2 arasında değerler alabilmektedir. Mevcut yaklaşımlar incelendiğinde k_{tunnel} katsayısının acil durum fren mesafesi hesabında sabit olarak ve genelde 1 olacak şekilde alındığı görülmektedir. Önerilen yaklaşımda ise tünel katsayısının trenin baş kısmının bulunduğu konuma bağlı olarak değişken alınması bu sayede fren bölgesi içinde tünel olan ve olmayan bölgelerin veya değişik kesitli tünel bölgelerinin olması halinde bu durumun hesaplara yansıtılabilmesi söz konusudur.

Örnek olarak trenin bulunduğu bölgede tünel bulunmadığı ($k_{\text{tunnel}} = 1.0$), ancak trenin bulunduğu konumdan 100 m sonra $k_{\text{tunnel}} = 2$ olacak şekilde bir tünelin bulunduğu senaryo göz önünde bulundurulmuştur. Bu örnekte acil durum fren ivmesi $GEBR=0.85$ sabit alınmıştır ve hız sınırlarından kaynaklı bir kısıtlamanın olmadığı varsayılmıştır.

- 5 Öncelikle klasik yaklaşıma göre bütün fren mesafesi boyunca k_{tunnel} değerinin sabit olarak 1.0 olduğu durum için simülasyon yapılmış sonrasında önerilen yöntem uyarınca yol boyunca değişken k_{tunnel} değerlerinin göz önünde bulundurulduğu (100m'den sonra k_{tunnel} değerinin 2 alındığı) bir simülasyon yapılmıştır. Başlangıç hızı 120 km/saat olan bir tren için yapılan simülasyon sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Ayrıca, bu
- 10 simülasyonlara göre hesap edilen acil durum fren mesafesi Tablo 3'de yer almaktadır. Şekil 8 ve Tablo 3' den görüleceği üzere k_{tunnel} değerinin klasik yöntemlere göre sabit alınması ile önerilen yöntemdeki şekilde değişken alınmasına bağlı olarak sonuçlar önemli ölçüde etkilenmektedir. Hesap edilen acil fren mesafesi arasındaki fark 45 metredir. Bunun anlamı göz önünde bulundurulan hat kesiminde iki tren arasındaki
- 15 mesafe daha kısa olabileceken klasik yöntem ile yapılan hesaplamalar sonucu bu mesafenin daha uzun tutulmasıdır. 120 km/saat hızla hareket eden bir trenin 45 metreyi yaklaşık 1 saniyeden daha uzun bir sürede kat ettiği göz önünde bulundurulacak olursa önerilen yöntem ile göz önünde bulundurulan hat kesimi için trenler arası sürenin (headway) 1 saniye kadar daha aşağı çekilmesi mümkün
- 20 olacaktır.

k_{Tunnel}^*	Emniyetli fren mesafesi [m]
1,0	1252
2	1207

*0-100m arası k_{Tunnel} 1,0 alınmış olup verilen değerler 100m sonrası içindir.

Tablo 3 Değişik tünel katsayıları için emniyetli fren mesafeleri.

- Göz önünde bulundurulan bölgede hız sınırı kısıtlarının olması durumunda Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil11'den anlaşılacağı üzere $k_{\text{tunnel}} = 1.0$ kabul edilen klasik yaklaşımda
- 25 tren daha önceden frenleme yapmaya başlayacağı halde önerilen yöntem uyarınca değişken tünel katsayılarının kullanılması halinde trenin hız sınırına yaklaşık 50m kadar daha yaklaştıktan sonra frenleme moduna geçmesi mümkün olacaktır.

Söz konusu senaryolar için trene verilen hareket yetkisinin 1400m'ye kadar olduğu varsayılarak 0 – 1400m arasında oluşacak olan emniyetli fren (ATP hız sınırlama) eğrileri de verilmiştir. Tünel katsayısını 1.0 olarak sabit kabul etmenin hız sınırları üzerindeki baskılayıcı etkisi bu şekilde görülmektedir.

- 5 Buluş konusu yöntemin bilinen yöntemlerden üçüncü önemli farkı ise inşai hız sınırlarının bir ön işleminden geçirilerek normalize edilmesinin sağlanmasıdır.

❖ Inşai hız sınırlarının normalize edilmesinin etkisi:

- 10 İnşai hız limitlerini optimizasyonu yapılarak frenleme modelindeki acil hız düşümlerini önlemek, manuel tren sürüşünde makiniste rehberlik etmek ve sistemin emre amadeliğini (Availability) artırmak amacıyla, inşai (civil) hız limitlerini optimize ederek sistemin gereksiz acil durum freni uygulamasını önleyen yöntemler tanımlanmıştır.

- 15 Standartların tarif ettiği yaklaşıma göre ATP tarafından verilen hız sınırının hiçbir zaman için işletme hız sınırından büyük olmaması gerekmektedir. Aynı zamanda ATP hız sınırı trenin acil durum frenleme eğrisinin inşai hız sınırlarının üstünde olmamasını sağlayacak şekilde belirlenir. Yani ATP hız sınırı belirlenirken sadece trenin bulunduğu konumdaki işletme hız sınırı kullanılırken trenin önünde bulunan bölge için geçerli olan inşai hız sınırları dikkate alınır. İnşai hız sınırlarının işletme hız sınırları ile uyumlu olarak hesaplandığı veya işletme hız sınırlarına yakın olduğu durumlarda bu durum büyük bir problem yaratmamaktadır. Ancak, inşai hız sınırlarının işletme hız sınırından
- 20 çok daha yüksek olduğu durumlarda (örneğin sisteme geçici hız sınırı konulması sonucunda) işletmesel bazı problemler ortaya çıkabilmektedir.

- 25 Bu durumu daha iyi anlayabilmek için daha önce ele alınan benzer bir hat kesiminde $GE_{BR}=0.85 \text{ m/s}^2$ ve $k_{tunnel}=1.0$ sabit olduğu varsayımıyla bir simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyonda tren hareket yetkisinin 1900m'ye kadar olduğu ve 1200m'den itibaren 50 km/saat işletme hız sınırı uygulamasının olduğu varsayılmıştır. Ayrıca hat boyunca inşai hız sınırı 132 km/sa olarak alınmıştır. Bu durumda tren için hesaplanacak olan ATP hız sınırının konuma bağlı değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere hesaplanan ATP hız sınırı yaklaşık olarak 600. Metreden itibaren 120 km/sa değerinin altına düşmekte ve 1200m'ye yaklaşıldığında 83 km/saat
- 30 civarında olmaktadır. Ancak, 1200 m'de yer alan işletme hız sınırından dolayı ATP hız sınırı ani bir düşme yaparak bu konumda 50 km/sa değerini almaktadır. ATP hız sınırı hesabında 1200 m civarında yaşanan bu ani düşmenin nedeni bu bölgede inşai hız

sınırının işletme hız sınırına göre çok daha yüksek olmasıdır. Yapılan hesaplamalarda 83 km/saat hızında olan bir trenin kaçak ivmelenme ve süzülme sonunda en fazla 90 km/saat hıza kadar çıkabileceği görülmektedir. Bu değer ise verilen inşai hız sınırının altında kalmaktadır. Özellikle elle (manuel) sürüş olan hatlar için tren tarafından ATP hız sınırının ani düşmeler göstermesi işletmesel bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Çünkü araç hızının ATP hız sınırına uyumlu bir şekilde düşürülmeye çalışması halinde çok kısa bir süre içinde araç hızının ani düşmeler yapması (örneğimizde 33 km/saat'lik bir hız düşmesi) mümkün değildir.

Elle sürüş yapılan hatlarda makinist / vatman treni her zaman için ATP tarafından verilen hız sınırının altında tutmak durumundadır. Aksi halde ATP sistemi devreye girerek tren üzerinde acil durum fren uygulaması yapabilir. Bu durum ise işletmede önemli aksamalara neden olur. Çoğu durumda makinistler yol boyunca bulunan işletme hız sınırlarını ezbere bildiklerinden ve/veya önlerindeki panelde bir sonraki hız sınırına ilişkin bilgiler bulunduğu ATP tarafından verilen hız kısıtlaması başlangıcından çok daha önce treni yavaşlatmaya başlarlar ve söz konusu işletme hız sınırına gelmeden hemen önce tren hızının istenilen seviyeye düşmesini sağlarlar. Ancak, bu yaklaşım insan hatalarına açık olup çoğu zaman makinistler treni gereğinden çok daha önce yavaşlatarak yolculuk süresinin uzamasına ve önemli zaman kayıplarına neden olurlar. Diğer taraftan bazı durumlarda ise makinistler treni yavaşlatmada geç kalıp ATP sisteminin acil durum freni yapmasına neden olurlar. Bu durum sistemin genel olarak kullanılabilirliği (availability) üzerinde kötü bir etkiye sebep olmaktadır.

Şekil 7'de verilen algorithmadan da görüleceği üzere önerilen yöntemde acil durum fren eğrisi hesaplamaları sırasında inşai hız sınırlamalarının bir ön işlemde geçirilerek normalize edilmesi söz konusudur. Önerilen yöntem uyarınca yapılacak olan normalizasyon işleminin adımları Şekil 2'de görülmektedir.

Şekil 7' en de görüleceği üzere buluş konusu yöntemde işletme hız sınırları ile uyumlu inşai hız sınırlarının sisteme eklenmesi söz konusudur. Uygun inşai hız sınırı hesaplanırken söz konusu işletme hız sınırının başlangıç konumunda işletme hız sınırında trenin bulunması durumu göz önünde bulundurulur. Bu durum için trenin kaçak hızlanma ve süzülme sonrası ulaşabileceği maksimum hız ve bunun konumu belirlenerek normalize inşai hız sınırı bulunmuş olur. Eğer ilgili bölgedeki inşai hız sınırı hesap edilen değerden yüksek ise hesap edilen değer ile değiştirilerek aşağı çekilmiş olur.

Örnek olarak ele alınan hat kesimi için önerilen yöntem uyarınca inşai hız sınırı normalizasyonu yapılması sonrasında oluşan ATP hız sınırlarının konuma bağlı değişimi Şekil 7’de verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere yapılan normalizasyon işlemi sonunda sisteme 1240 m civarında 58 km/saat’lik bir inşai hız sınırı eklenmiştir.

- 5 Bunun sonucunda oluşan ATP hız sınırı eğrisi 200m civarında 120 km/sa değerinin altına düşmeye başlamış ve 1200m’ye ulaşıldığında tam 50 km/sa değerini almıştır. Simülasyon yapılan hat kesiminde %4 yokuş aşağı eğim olduğu da göz önünde bulundurulursa önerilen yöntem sonucu elde edilen ATP hız sınırı eğrisinin çok daha uygulanabilir olduğu görülmektedir. Bu durum, acil durum freni uygulanmasına olan
- 10 ihtiyacı azaltmaktadır.

Sonuç olarak; buluş konusu kapsamında önerilen yöntem sayesinde güzergâh ve tren parametrelerine de bağlı olarak

- Emniyetli tren ayırım mesafesinin kısaltılması
- Bazı hat kesimlerindeki trenler arası sürenin (headway), mevcut yöntemlere
- 15 göre toplamda 30 sn’ye** kadar azaltılması ve böylelikle işletmelerde kullanılan tren sayılarının artırılması,
- Elle sürüşlü sistemlerde acil durum freni uygulama sayısının azaltılması ve bunun sonucu olarak sistemin emre amadeliğinin artırılması
- Acil durum freni ihtiyacının azalmasının sonucu olarak bakım onarım maliyetinin
- 20 düşürülmesi

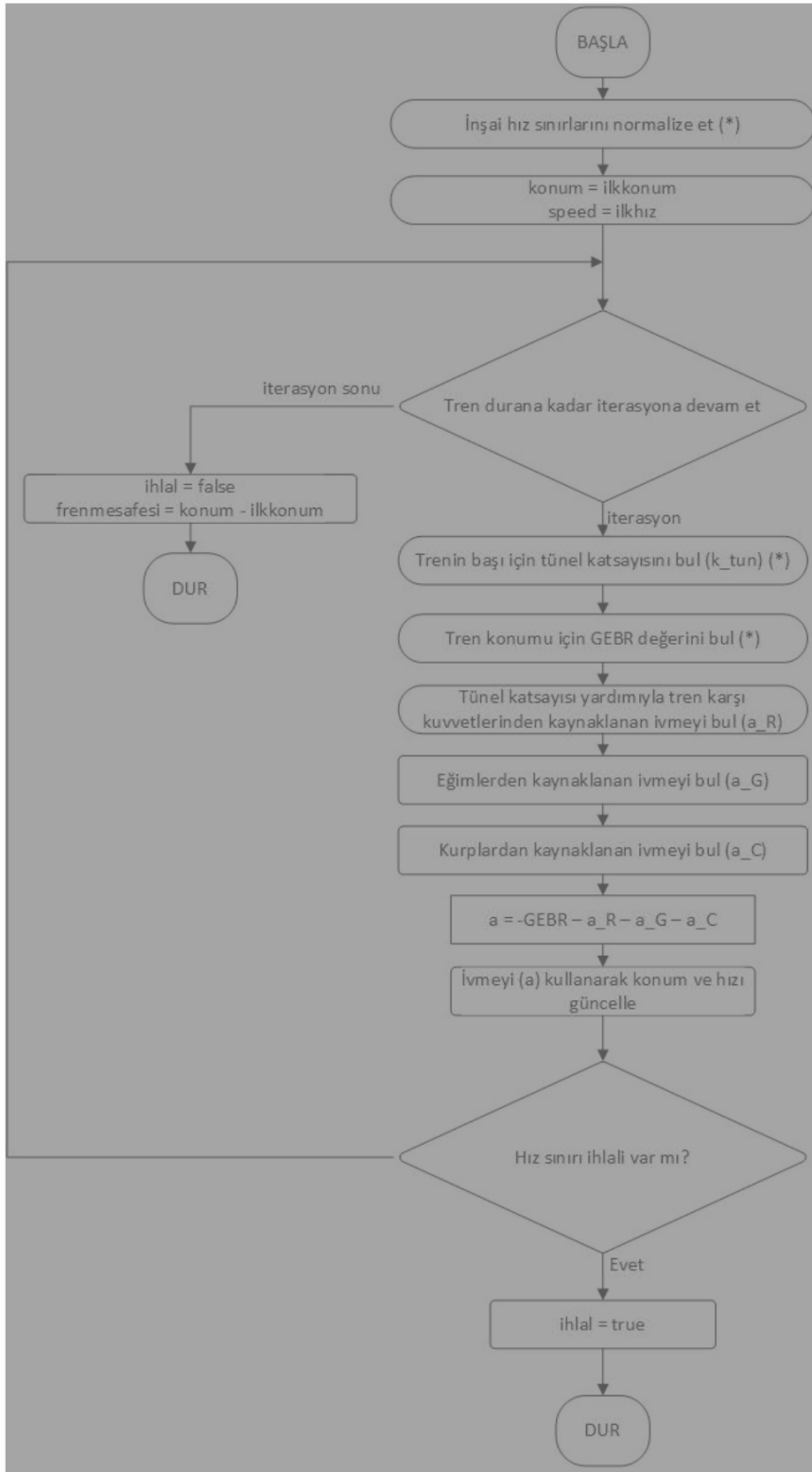
mümkün kılınmıştır. Bu kazanımlar raylı sistem otoritelerini yeni hatlar inşa etmek veya mevcut hatların kapasitelerini maksimize etme çalışmalarında ihtiyaç duyulan sefer sıklığının ve işletme performansının artırılmasına imkan sağlamaktadır.

**120 km/saat hızla hareket eden bir trenin 1 kilometreyi 30 saniyede kat ettiği göz önünde bulundurulacak olursa önerilen yöntem ile göz önünde bulundurulan hat kesimi

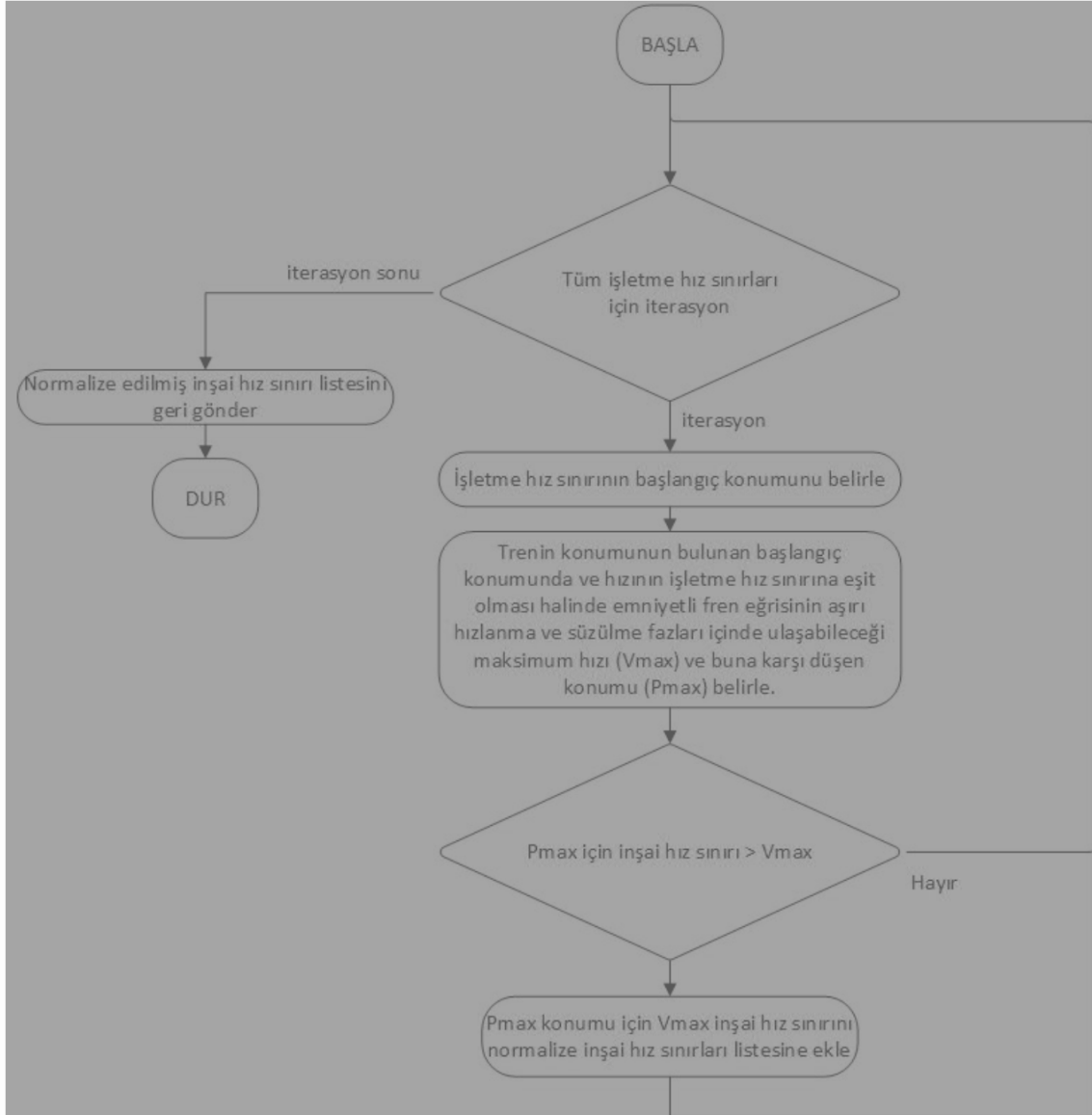
için trenler arası sürenin (headway) 30 saniye kadar daha aşağı çekilmesi mümkün olacaktır.

Kaynakça:

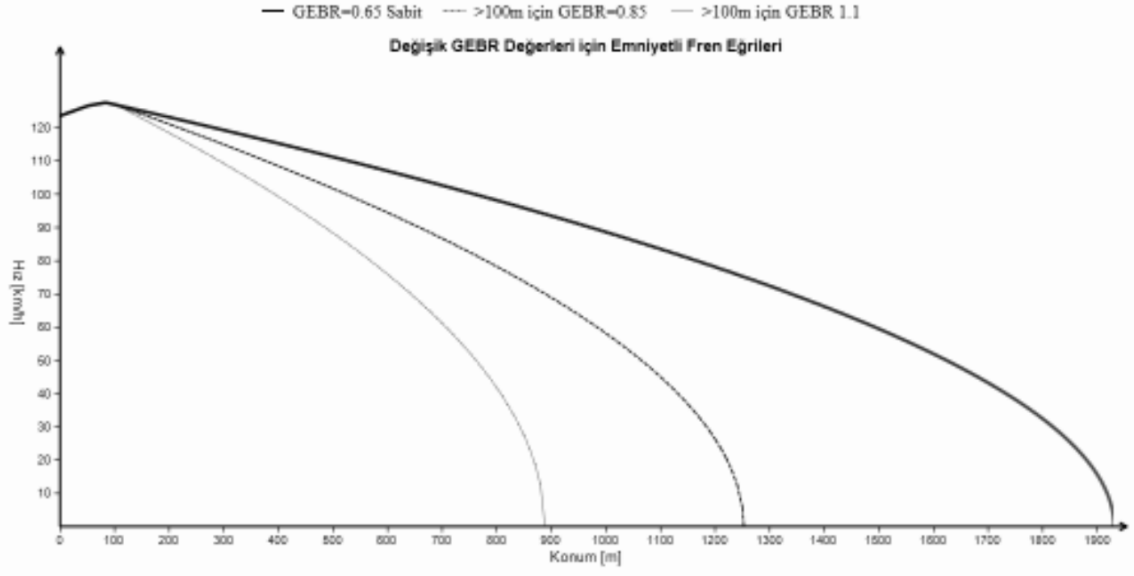
[1] M. Umer Nawaz, 2015, "Estimation of Running Resistance in Train Tunnels", Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology



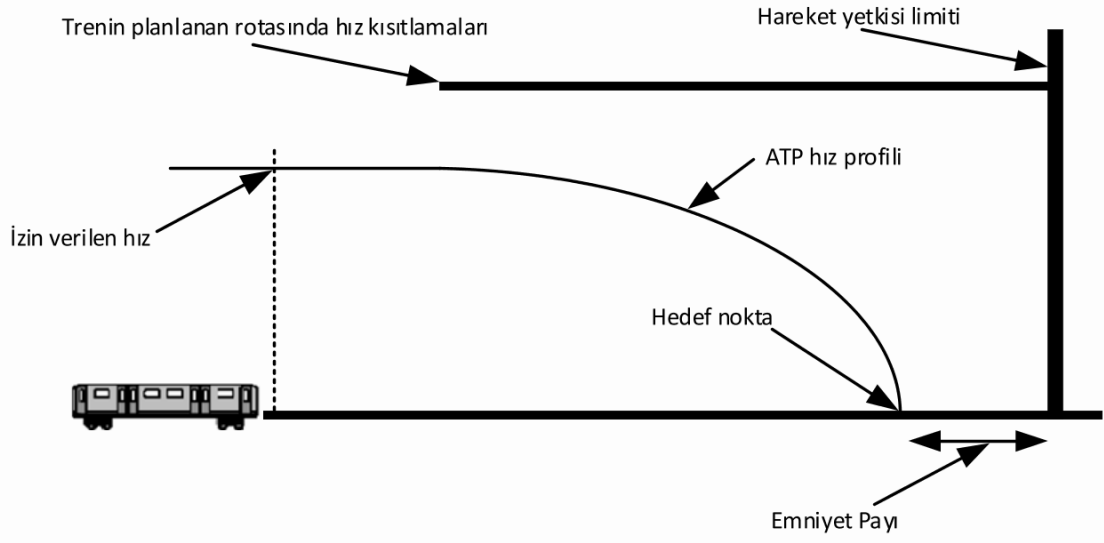
Şekil -1



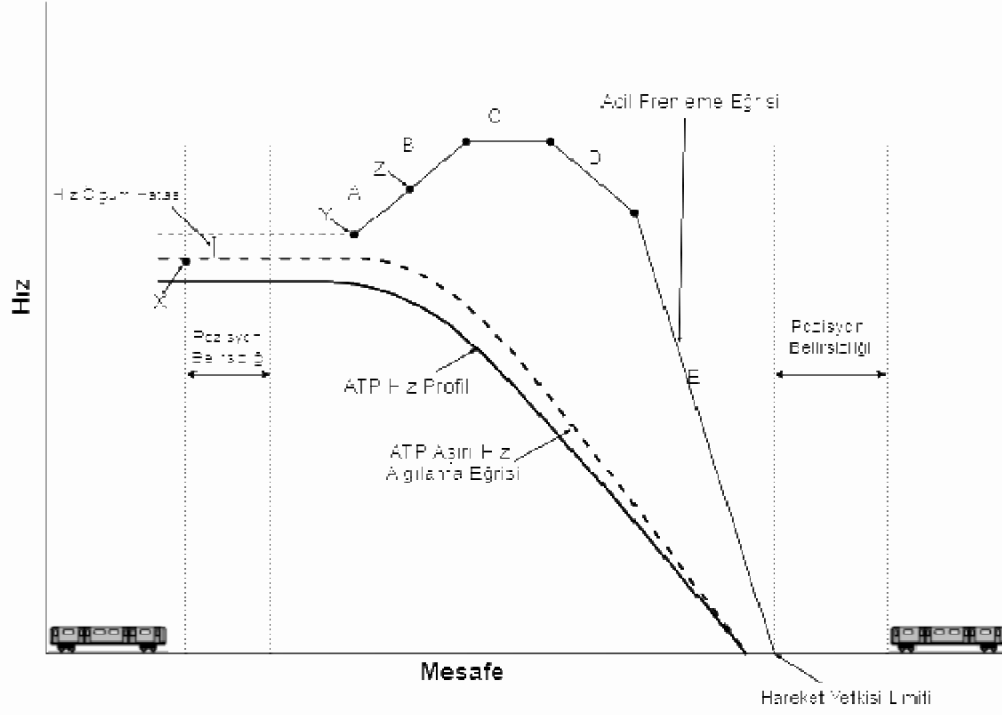
Şekil-2



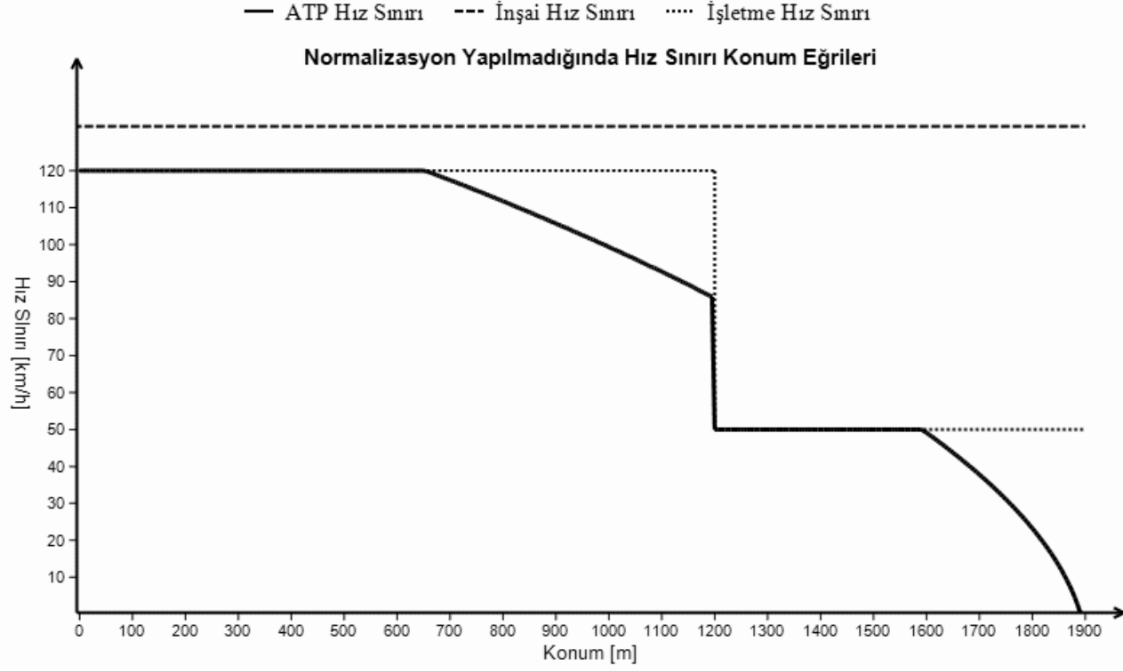
Şekil-3



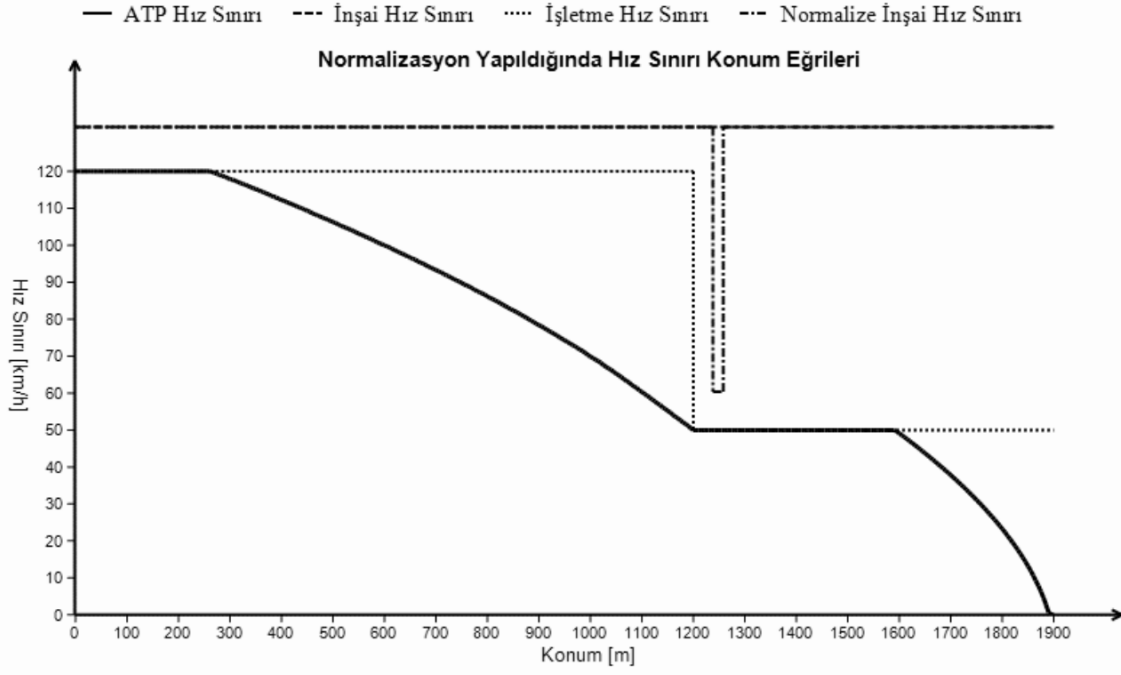
Şekil-4



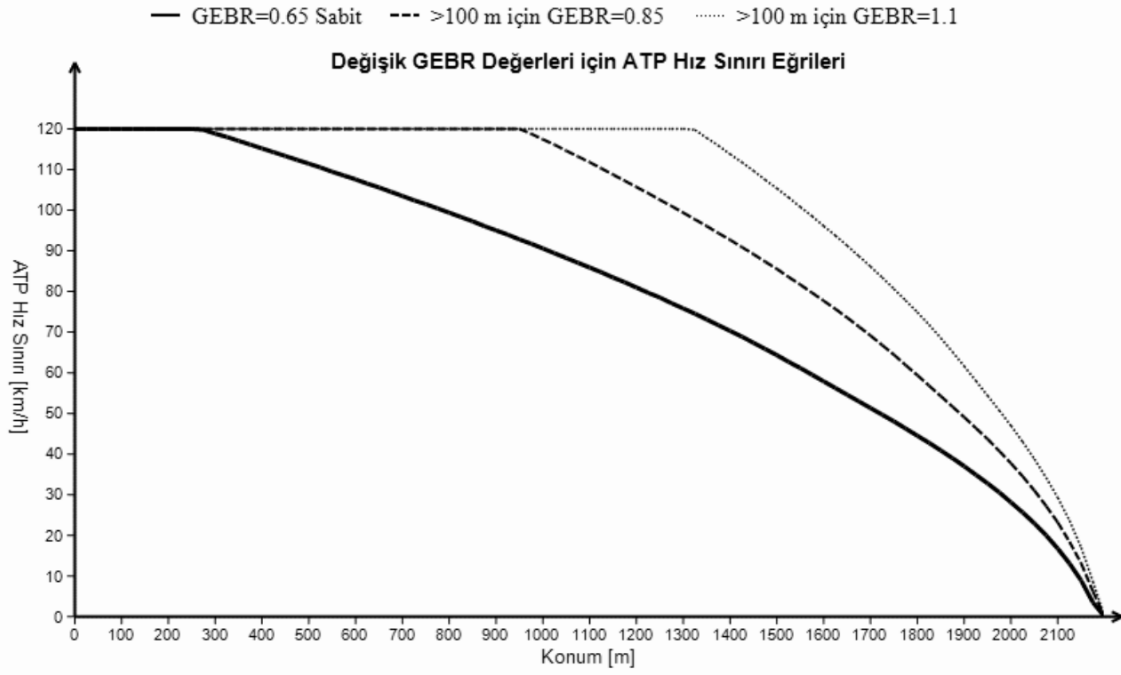
Şekil-5



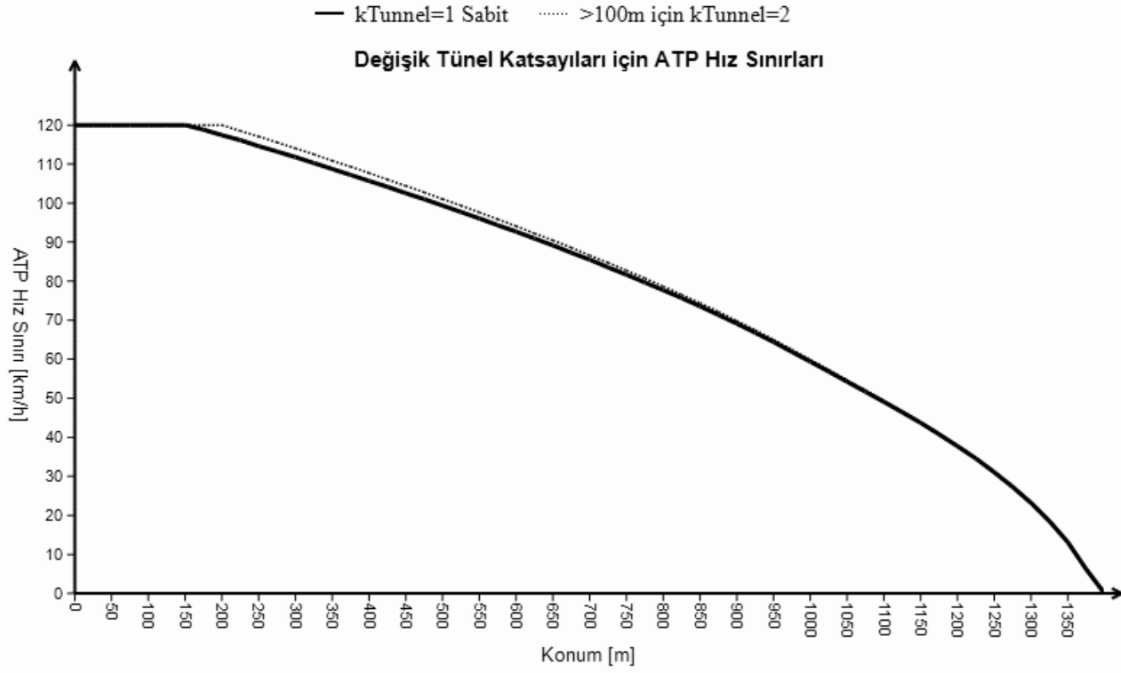
Şekil-6



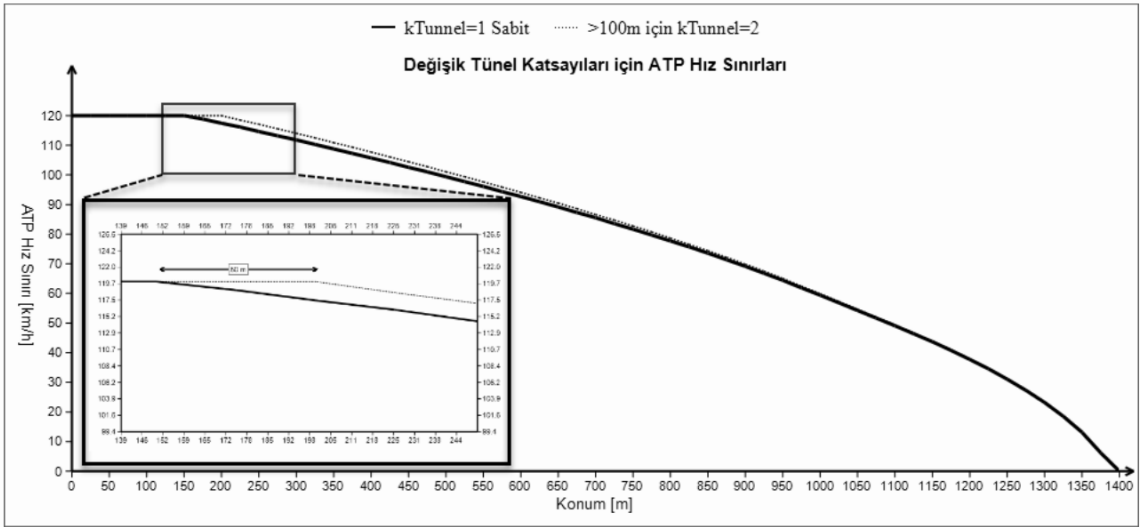
Şekil-7



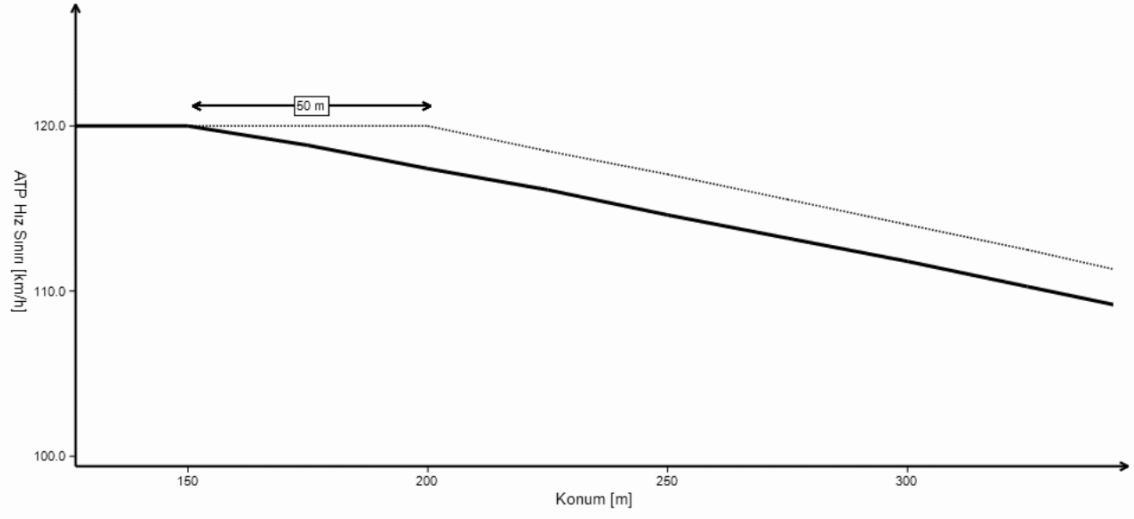
Şekil-8



Şekil-9



Şekil-10



Şekil-11