ÖZET

DEMİRYOLU ARAÇLARININ HAT KAPASİTELERİNİN ARTIRILMASINI SAĞLAYAN BİR BİLGİSAYAR UYGULAMALI YÖNTEM

Bu buluş, demiryolu araçlarının emniyetli sürüş için belirlenen hız limitlerine olabildiğince yakın bir şekilde hareket ettirilerek sefer sürelerinin kısaltılmasını sağlayan bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) ile ilgilidir. Bilgisayar uygulamalı yöntem (100); bir demiryolu aracına ve belirli bir güzergaha ilişkin parametrelerin belirli periyotlarla alınması (102), söz konusu parametrelere göre güzergah boyunca belirli periyotlarla, daha önceden belirlenen bir mesafe için en az bir hız limit değerini içeren bir emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması (104), emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limit değerinin altında, söz konusu hız limit değeri ile arasında önceden belirlenen bir hız farkı olacak şekilde en az bir hız değeri içeren bir ATO hız profilinin (A) oluşturulması ve oluşturulan bu ATO hız profilinin (A) belirli periyotlarla güncellenmesi (106), önceden belirlenen mesafe için emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan hız limit değerlerine göre demiryolu aracının hareket durumlarının tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin ATO hız profiline (A) uygun şekilde kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması (108) adımlarını içermektedir.

İSTEMLER

1. Demiryolu araçlarının emniyetli sürüş için belirlenen hız limitlerine olabildiğince yakın bir şekilde hareket ettirilerek sefer sürelerinin kısaltılmasını sağlayan bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) olup **özelliği**;

bir demiryolu aracına ve belirli bir güzergaha ilişkin parametrelerin belirli periyotlarla alınması (102),

söz konusu parametrelere göre güzergah boyunca belirli periyotlarla, daha önceden belirlenen bir mesafe için en az bir hız limit değerini içeren bir emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması (104),

emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limit değerinin altında, söz konusu hız limit değeri ile arasında önceden belirlenen bir hız farkı olacak şekilde en az bir hız değeri içeren bir ATO hız profilinin (A) oluşturulması ve oluşturulan bu ATO hız profilinin (A) belirli periyotlarla güncellenmesi (106),

önceden belirlenen mesafe için emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan hız limit değerlerine göre demiryolu aracının hareket durumlarının tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin ATO hız profiline (A) uygun şekilde kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması (108) adımlarını içermesidir.

2. İstem 1'deki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) olup **özelliği;** önceden belirlenen mesafe için emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan hız limit değerlerine göre demiryolu aracının hareket durumlarının tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin ATO hız profiline (A) uygun şekilde kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması (108) adımının;

demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde arttırılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması ve ATO hız profilinin (A) oluşturulmaya devam edilmesi (110),

emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitine önceden belirlenen bir seviyede yaklaşılıp yaklaşılmadığının sorgulanması (112) ve hız limitine yaklaşılmaması durumunda demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri

dahilinde arttırılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması (110) adımına geri dönülmesi, hız limitine yaklaşılması durumunda ise sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114),

önceden belirlenen bir mesafe için emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin azalıp azalmadığının sorgulanması (116),

hız limitinin azalmaması durumunda önceden belirlenen bir mesafe için emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin artıp artmadığının sorgulanması (118),

hız limitinin artmaması durumunda sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114) adımına geri dönülmesi, hız limitinin artması durumunda ise demiryolu aracının hız limitinin arttığı bölgeye girip girmediğinin sorgulanması (120),

hız limitinin arttığı bölgeye girilmemesi durumunda sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114) adımına geri dönülmesi, hız limitinin arttığı bölgeye girilmesi durumunda ise demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde arttırılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması (110) adımına geri dönülmesi,

emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin azalması durumunda, söz konusu hız limitinin bulunduğu bir hedef konumdan önce frenlemenin başlatılması için bir frenleme noktasının belirlenmesi (122) ve belirlenen frenleme noktasına ulaşılması durumunda ATO hız profilindeki (A) hız değerine ulaşana kadar frenleme yapılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması (126) alt adımlarını içermesidir.

3. İstem 1 veya 2'deki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) olup **özelliği;** söz konusu parametrelere göre güzergah boyunca belirli periyotlarla, daha önceden belirlenen bir mesafe için çok sayıda hız limit değeri içeren bir emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması (104) adımında, demiryolu aracının önündeki önceden belirlenen mesafe, eğim ve kurpların değişmediği bölgelere ayrılmakta ve her bir bölge için ayrı bir emniyetli fren eğrisi (E) oluşturulmaktadır.

4. Yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) olup **özelliği;** emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limit değerinin altında, söz konusu hız limit değeri ile arasında önceden belirlenen bir hız farkı olacak şekilde en az bir hız değeri içeren bir ATO hız profilinin (A) oluşturulması ve oluşturulan bu ATO hız profilinin (A) belirli periyotlarla güncellenmesi (106) adımında, ATO hız profili (A) bir kullanıcı arayüzü üzerinden girilen bir hız farkı değerine bağlı olarak oluşturulmaktadır.

5. Yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) olup **özelliği;** söz konusu parametrelere göre güzergah boyunca belirli periyotlarla, daha önceden belirlenen bir mesafe için en az bir hız limit değerini içeren bir emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması (104) adımında aşağıda yer alan denklemler kullanılmakta;

$$V'(t) = a_1 + a_2\,\mathrm{V}(t) + a_3\,\mathrm{V}(t)^2$$

$$V(t) = \frac{\sqrt{\Delta}\,\tan\left(\tan^{-1}\left(\frac{2a_3\mathrm{V}_0 + a_2}{\sqrt{\Delta}}\right) + \frac{\sqrt{\Delta}t}{2}\right) - a_2}{2a_3}$$

$$\Delta = 4a_1a_3 - {a_2}^2$$

$$a_1 = a_T - a_B + a_{D1} + a_C + a_G$$

$$a_2 = a_{D2}a_3 = a_{D3}$$

burada;

$V'(t)$: demiryolu aracının hızının diferansiyelini;

$V(t)$: demiryolu aracının zamana göre hızını;

a_1, a_2, a_3: sırasıyla bir birinci katsayıyı, bir ikinci katsayıyı, bir üçüncü katsayıyı;

Δ: bir delta katsayısını;

V_0: demiryolu aracının ilk hızını;

t: zamanı;

a_T: motor tarafından sağlanan ivme değerini;

a_B: fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi değerini;

a_{D1},a_{D2},a_{D3}: önceden belirlenen Davis Formülü katsayılarını;

a_C: kurpdan kaynaklı ivmelenme değerini;

a_G: eğimden kaynaklı ivmelenme değerini temsil etmektedir.

6. İstem 2'deki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) olup **özelliği**; emniyetli fren eğrisindeki (E) bir sonraki hız limitinin demiryolu aracının mevcut hız değerinden düşük olması durumunda, söz konusu hız limitinin bulunduğu bir hedef konumdan önce frenlemenin başlatılması için bir frenleme noktasının belirlenmesi (122) adımında, aşağıda yer alan denklemler kullanılarak, emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan bir sonraki hız limitine göre belirlenen bir hedef hız (V_1) ve bu hedef hıza (V_1) düşülecek hedef konum ile demiryolu aracının mevcut konumu arasındaki uzaklık değeri içerisinden seçilen birden fazla sayıdaki hedef uzaklık (L_{brake}) değerine göre, hedef hıza (V_1) düşülmeden önceki ilk hız (V_0) değerleri belirlenip, söz konusu ilk hız değerleri (V_0) içerisinden emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerini aşmayan en yüksek ilk hız (V_0) değerini sağlayan hedef uzaklık (L_{brake}) değeri frenleme noktası olarak hesaplanmakta;

$$L_{Brake} = \frac{\log\left(\frac{\gamma^2 + \Delta}{\Delta}\right) - \log\left(\frac{\beta^2 + \Delta}{\Delta}\right) - \frac{2a_2\left(\tan^{-1}\left(\frac{\gamma}{\sqrt{\Delta}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\beta}{\sqrt{\Delta}}\right)\right)}{\sqrt{\Delta}}}{2a_3}$$

$$\beta = a_2 + 2a_3 V_0$$

$$\gamma = a_2 + 2a_3 V_1$$

$$\Delta = 4a_1 a_3 - {a_2}^2$$

$$a_1 = a_T - a_B + a_{D1} + a_C + a_G$$

$$a_2 = a_{D2} a_3 = a_{D3}$$

burada;

L_{Brake}: bir hedef uzaklığı;

γ: bir gama katsayısını;

β: bir beta katsayısını;

Δ: bir delta katsayısını;

a_1, a_2, a_3: sırasıyla bir birinci katsayıyı, bir ikinci katsayıyı, bir üçüncü katsayıyı;

V_0: demiryolu aracının ilk hızını;

V_1: hedef hızı;

a_T: motor tarafından sağlanan ivme değerini;

a_B: fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi değerini;

a_{D1},a_{D2},a_{D3}: önceden belirlenen Davis Formülü katsayılarını;

a_C: kurpdan kaynaklı ivmelenme değerini;

a_G: eğimden kaynaklı ivmelenme değerini temsil etmektedir.

7. Yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntem (100) olup **özelliği**; ATO hız profilinde (A) yer alan hız değerlerine göre demiryolu aracının hareket durumlarının tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması (108) adımında, demiryolu aracının hareket durumuna göre önceden tanımlanan bir ivmelenme modu (AM), bir sabit hızla gitme modu (CM), bir süzülme modu (SM), bir yavaşlama modu (YM) veya bir durma modundan (DM) birine geçilmektedir.

8. İstem 1 ila 7'den herhangi birindeki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntemi (100) gerçekleştirmek üzere uyarlanan araçları içeren bir veri işleme aparatı.

9. Bir bilgisayar tarafından yürütüldüğünde bilgisayarın İstem 1 ila 7'den herhangi birindeki gibi bir bilgisayar uygulamalı yöntemin (100) adımlarını gerçekleştirmesine sebebiyet veren talimatları içeren bir bilgisayar programı.

10. Üzerinde İstem 9'daki gibi bir bilgisayar programını saklayan, bilgisayar tarafından okunabilir bir veri taşıyıcı.

11. İstem 1 ila 7'den herhangi birindeki gibi bir bilgisayar uygulamalı yönteme (100) göre kontrol edilen bir demiryolu aracı.

TARİFNAME
DEMİRYOLU ARAÇLARININ HAT KAPASİTELERİNİN ARTIRILMASINI SAĞLAYAN BİR BİLGİSAYAR UYGULAMALI YÖNTEM

Teknik Alan

Bu buluş, demiryolu hattında yolcu ve yük taşımacılığını emniyetli, planlı (zamanında) ve ekonomik bir şekilde işletilmesini sağlayan demiryolu sinyalizasyon sistemlerinde tren sefer sıklığının artırılmasını sağlayan bir bilgisayar uygulamalı yöntem ile ilgilidir.

Önceki Teknik

Günümüzde şehir içi ve şehirlerarası ulaşımda raylı sistemlerin payı artmaktadır. Ulaşım ihtiyacının karşılanması için örneğin tren gibi demiryolu araçlarının sürücüsüz, tamamen otonom olarak çalışması sağlanarak, hızları ve sefer sıklığı artırılmaktadır. 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 veya sefer sıklığının artırılması gerekmektedir. Vagon sayısı (tren uzunluğu) ancak istasyon uzunluğu kadar olabileceğinden raylı sisteme olan taleple birlikte bunun da yeterli olamayacağı görülmektedir. Dolayısıyla demiryolu araçlarının sefer sıklığının artırılması kaçınılmazdır.

Mevcut durumda, IEEE 1474.1 (CBTC Performans ve Fonksiyonel Gereksinimler) standardı otomatik tren işletimi (ATO) fonksiyonunun ivme, fren ve boşta gitmeyi jerk limitleri dahilinde kalarak uygulanması gerektiğini tarif etmektedir. Bu ve benzer standartlar otomatik tren işletimi fonksiyonunu ele alırken, hangi parametrelerin kullanılacağı veya nasıl kullanılacağı ile ilgili bir bilgiye yer vermemektedir. Bu parametrelerin kullanım şekli sistem sefer sıklığı ve operasyonel emre amadelik açısından işletme performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

Demiryolu sinyalizasyon sektöründe birçok firma otomatik tren operasyonunun fonksiyonlarını geliştirmektedir. Böylelikle makinistin yaptığı birçok işlemi otomatik olarak fonksiyonlar sağlamaktadır. Böylelikle işletmeler sefer sıklığını ve işletme performansını artırmaktadır.

Tekniğin bilinen durumunda yer alan WO2017021175 sayılı uluslararası patent dokümanında demiryolu araçları için enerji verimli sürüşün gerçekleştirilebilmesi amacıyla sürüş eğrisinin optimize edilmesine yönelik bir yöntemden bahsedilmektedir. Bu dokümanda istasyon girişlerinde veya demiryolu aracının durması gereken yerlerde süzülme modu kullanılarak yavaşlaması sağlanmaktadır. Ancak söz konusu dokümanda demiryolu araçlarının hat kapasitesinin artırılmasına yönelik herhangi bir işlem gerçekleştirilmemektedir.

Dolayısıyla tekniğin bilinen durumunda demiryolu araçlarının seferlerinin uzun sürmesine bağlı olarak oluşan zaman kayıplarının azaltılarak demiryolu araçlarının hat kapasitelerinin artırılmasını sağlayan bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Buluşun Kısa Açıklaması

Bu buluşun amacı, demiryolu araçlarının emniyetli sürüş için belirlenen hız limitlerine olabildiğince yakın bir şekilde hareket ettirilerek sefer sürelerinin kısaltılmasını sağlayan bir bilgisayar uygulamalı yöntem gerçekleştirmektir.

Bu buluşun amacına ulaşmak için gerçekleştirilen ilk istem ve bu isteme bağlı istemlerde tanımlanan bilgisayar uygulamalı yöntem;

belirli aralıkla bir demiryolu aracına ve önceden belirlenen bir güzergaha ilişkin parametrik verilerin alınması,

alınan verilere göre sürekli olarak, demiryolu aracının önündeki belirli bir mesafe için emniyetli bir sürüş için uyulması gereken maksimum hız limitlerini içeren bir emniyetli fren eğrisinin oluşturulması,

emniyetli fren eğrisindeki hız limitlerini belirli bir hız değeri altında takip edecek şekilde bir ATO hız profilinin oluşturulması ve sürekli olarak emniyetli fren eğrisine göre güncellenmesi,

demiryolu aracının hareket durumuna ve emniyetli fren eğrisinde yer alan hız değerlerine göre demiryolu aracının hareketinin kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması adımlarını içermektedir. Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntem sayesinde, otomatik tren operasyonu, demiryolu aracının başlangıç ve bitiş noktaları arasında mümkün olan en kısa sürede seyahatini tamamlayacak, demiryolu aracına acil durum freni yaptırmayacak ve özelleştirilebilir pek çok parametreye izin verecek şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Otomatik tren işletimi sırasında demiryolu aracının önünde yer alan belirli bir hat kesimi için emniyetli fren eğrisi hızlı bir şekilde oluşturularak emniyetli fren eğrisine mümkün olduğunca yakın bir şekilde demiryolu aracının işletiminin yapılması sağlanabilmektedir. Emniyetli fren eğrisine uygun bir şekilde demiryolu aracının otomatik olarak işletimini sağlayan otomatik tren işletimi fonksiyonu, Otomatik Tren Koruma (ATP) eğrisinin geleneksel yöntemlerdeki gibi sabit 3-5 km/saat altında kalmak yerine değişken olarak kontrol yapan bir yöntem yardımıyla emniyetli fren eğrisine olabildiğince fazla yaklaşarak hat kapasitesinin arttırılması sağlanmaktadır. Otomatik tren işletimi ile işletilen hatlarda emniyetli fren eğrisi altında sabit bir değer belirlenerek geleneksel işletim yapılmakta olup, önerilen yöntem ise bu sabit değer yerine bir ana algoritmaya eklenen ek kontroller ile bu sabit değeri ortadan kaldırarak ATO hız profilini olabildiğince emniyetli fren eğrisi yakınında tutarak işletilmesini sağlamaktadır. Demiryolu aracı içerisinde bulunan ATP sistemine ek olarak önerilen yöntem içerisinde bir alt algoritma kullanılarak emniyetli fren eğrisi tarafından belirlenen hız sınırları belirli mesafe önceden tespit edilerek demiryolu aracının bu hız sınırları üzerine çıkması engellenmekte ve böylece otomatik tren işletimi fonksiyonu altında gereksiz acil durum freni uygulanmasının önüne geçilerek demiryolu aracının işletiminin emre amadeliğinin artırılması sağlanmaktadır. ATO kontrol birimi tarafından yürütülen ana algoritmada tanımlanan bir durum makinesi yardımı ile ivmelenme modu, yavaşlama modu,

sabit hızla gitme modu, süzülme modu, durma modu gibi hareket modlarının her biri ayrı ayrı işlenerek ilgili hareket stratejilerinin de değiştirilebilir olmasına imkan sağlanmaktadır. Ayrıca, durum makinesi kullanılarak oluşturulan ATO hız profilleri sayesinde demiryolu aracının hız kontrol yapısının emniyetli fren eğrisini mümkün olduğunca yakından takip edebilmesi sağlanmaktadır. Demiryolu aracının hareketinden oluşturulan diferansiyel denklemin belirli varsayımlar altında analitik olarak çözülmesi sonucu emniyetli fren eğrisi çok hızlı bir şekilde hesaplanıp ATO kontrol birimi tarafından yürütülen ana algoritmada ve alt algoritmada doğrudan kullanılabilmektedir. Böylece ATO hız profilinin emniyetli fren eğrisini ihlal etmemesi garanti altına alınmaktadır. Buluş konusu yöntemin uygulanması sayesinde yeni demiryolu hatlarının inşa edilmesi veya mevcut demiryolu hatlarının kapasitelerinin artırılması çalışmalarında demiryolu aracının sefer sıklığının ve işletme performansının artırılması mümkün olmaktadır. Ayrıca istenildiği takdirde özelleştirilebilir bir parametre yardımıyla, demiryolu aracının ilgili emniyetli fren eğrisini belli bir km/saat altından (örneğin 3 km/saat) takip etmesi ATO kontrol birimi tarafından yürütülen ana algoritma tarafından sağlanabilmektedir. Bu yöntemin getirdiği en önemli avantaj ise emniyetli fren eğrisine olabildiğince yakın olarak demiryolu aracını sürmek ve bu sayede sefer sıklığı (headway) süresini ciddi oranda azaltmaktır.

Buluşun Detaylı Açıklaması

Bu buluşun amacına ulaşmak için gerçekleştirilen bilgisayar uygulamalı yöntem ekli şekillerde gösterilmiş olup, bu şekillerden;

Şekil 1- Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntemin bir uygulamasının akış diyagramıdır.

Şekil 2- Şekil 1’de yer alan akış diyagramının alt adımlarını içeren bir akış diyagramıdır.

Şekil 3(a)- Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntemin bir uygulamasında emniyetli fren eğrisi ve bu emniyetli fren eğrisini 1 km/saat altında takip edecek şekilde oluşturulmuş bir ATO hız profilini içeren bir hız-konum grafiğidir.

Şekil 3(b)- Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntemin bir uygulamasında emniyetli fren eğrisi ve bu emniyetli fren eğrisini 5 km/saat altında takip edecek şekilde oluşturulmuş bir ATO hız profilini içeren bir hız-konum grafiğidir.

Şekil 4(a)- Önceki teknikte frenleme bölgesinde geleneksel frenleme yaklaşımını gösteren bir hız-konum grafiğidir.

Şekil 4(b)- Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntemin bir uygulamasında frenleme bölgesinde önerilen frenleme yaklaşımını gösteren bir hız-konum grafiğidir.

Şekil 5- Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntemin bir uygulamasında farklı durum modları içeren durum makinesinin akış diyagramıdır.

Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yönteme ilişkin Şekil 1 ve 2'de gösterilen akış diyagramlarında ve bundan sonra gerçekleştirilecek olan açıklamalarda yer alan referans numaraları ve bu referans numaralarının açıklamaları şu şekildedir:

100. Bilgisayar Uygulamalı Yöntem

102. Demiryolu Aracına ve Belirli Bir Güzergaha İlişkin Parametrelerin Belirli Periyotlarla Alınması

104. Söz Konusu Parametrelere Göre Güzergah Boyunca Belirli Periyotlarla, Daha Önceden Belirlenen Bir Mesafe için En Az Bir Hız Limit Değerini İçeren Bir Emniyetli Fren Eğrisinin Oluşturulması

106. Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limit Değerinin Altında, Söz Konusu Hız Limit Değeri ile Arasında Önceden Belirlenen Bir Hız Farkı Olacak Şekilde En Az Bir Hız Değeri İçeren Bir ATO Hız Profilinin Oluşturulması ve Oluşturulan Bu ATO Hız Profilinin Belirli Periyotlarla Güncellenmesi

108. Önceden Belirlenen Mesafe için Emniyetli Fren Eğrisinde Yer Alan Hız Limit Değerlerine Göre Demiryolu Aracının Hareket Durumlarının Tespit Edilerek Demiryolu Aracının Hareketinin ATO Hız Profiline Uygun Şekilde Kontrol Edilmesi için Hareket Kontrol Sinyalleri Oluşturulması

110. Demiryolu Aracının Hızının Daha Önceden Belirlenen İvme Limitleri Dahilinde Arttırılması için Hareket Kontrol Sinyali Oluşturulması ve ATO Hız Profilinin Oluşturulmaya Devam Edilmesi

112. Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limitine Önceden Belirlenen Bir Seviyede Yaklaşılıp Yaklaşılmadığının Sorgulanması

114. Sabit Hızla Hareket Edilmesi için Hareket Kontrol Sinyali Oluşturulması

116. Önceden Belirlenen Bir Mesafe için Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limitinin Azalıp Azalmadığının Sorgulanması

118. Önceden Belirlenen Bir Mesafe için Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limitinin Artıp Artmadığının Sorgulanması

120. Demiryolu Aracının Hız Limitinin Arttığı Bölgeye Girip Girmediğinin Sorgulanması

122. Söz Konusu Hız Limitinin Bulunduğu Bir Hedef Konumdan Önce Frenlemenin Başlatılması İçin Bir Frenleme Noktasının Belirlenmesi

124. Demiryolu Aracının Frenleme Noktasına Ulaşıp Ulaşmadığının Sorgulanması

126. ATO Hız Profilindeki Hız Değerine Ulaşana Kadar Frenleme Yapılması için Hareket Kontrol Sinyali Oluşturulması

A. ATO Hız Profili

AC. İvme Eğrisi

AM. İvmelenme Modu

C. İnşai Hız Sınırı

CM. Sabit Hızla Gitme Modu

D. Durum Makinesi

DM. Durma Modu

E. Emniyetli Fren Eğrisi

G. Eğim

O. Operasyonel Hız Sınırı

SM. Süzülme Modu

YM. Yavaşlama Modu

Demiryolu araçlarının emniyetli sürüş için belirlenen hız limitlerine olabildiğince yakın bir şekilde hareket ettirilerek sefer sürelerinin kısaltılmasını sağlayan buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntem (100);

bir demiryolu aracına ve belirli bir güzergaha ilişkin parametrelerin belirli periyotlarla alınması (102),

söz konusu parametrelere göre güzergah boyunca belirli periyotlarla, daha önceden belirlenen bir mesafe için en az bir hız limit değerini içeren bir emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması (104),

emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limit değerinin altında, söz konusu hız limit değeri ile arasında önceden belirlenen bir hız farkı olacak şekilde en az bir hız değeri içeren bir ATO hız profilinin (A) oluşturulması ve oluşturulan bu ATO hız profilinin (A) belirli periyotlarla güncellenmesi (106),

önceden belirlenen mesafe için emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan hız limit değerlerine göre demiryolu aracının hareket durumlarının tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin ATO hız profiline (A) uygun şekilde kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması (108) adımlarını içermektedir. Buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntem (100) bir otomatik tren işletim fonksiyonu birimi olan ATO kontrol birimi tarafından bir ana algoritmanın yürütülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bir uygulamada ATO kontrol birimi örneğin bir mikroişlemci, bir mikrodenetleyici, bir FPGA (alanda programlanabilir kapı dizileri) gibi bir işlemci birimi veya bunlardan en azından birini ve bir kullanıcı arayüzünü içeren bir araç üstü bilgisayar olabilmektedir. ATO kontrol birimi tarafından işletilen otomatik tren işletiminin sağlanmasındaki en önemli fonksiyon olan otomatik hız düzenleme, ana algoritmanın her bir çevriminde mevcut koşullar için en optimum hız profillerini hesaplamak için altyapı (eğim, kurp, tünel vb.), demiryolu aracı (ivmelenme, yavaşlama, reaksiyon süreleri vb.) ve hareket yetkisinden (emniyetli fren eğrisi (E), ATP hız limitleri vb.) gelen verileri kullanmaktadır. Böylece söz konusu fonksiyon demiryolu aracının otomatik olarak hızlanmasını, boşta gitmesini, frenlenmesini ve istasyonda tam olarak istenilen yerde durmasını sağlamaktadır. Otomatik tren işletimi sırasında kullanılan emniyetli fren modeli ise en kötü durum ve arıza senaryolarının bir

kombinasyonunu sağlayarak hareket yetkisi tarafından garanti edilen mesafeye eşit veya daha kısa bir mesafede demiryolu aracını durduracak şekilde tasarlanmaktadır. En kötü durum ve arıza senaryoları, tüm demiryolu aracı kontrol sistemlerinin tasarımı ve kapasitesinin temeli olan demiryolu aracı durma mesafesinin belirlenmesinde en emniyetli yaklaşımlardan biridir. Emniyetli fren modeli, demiryolu aracının anlık hızına göre, her bir çevrim süresinde, en kötü koşulları dikkate alarak emniyetli frenleme eğri (E) profilleri üreterek demiryolu aracının izin verilen hareket yetkisi dışına çıkmamasını kontrol etmekte ve hattın her bir bölümünde izin verilen hız kısıtlamaları içerisinde kalmasını sağlamaktadır. Söz konusu emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması için buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntemin (100) ilk adımında örneğin motor tarafından sağlanan ivme değeri, fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi değeri, kurpdan kaynaklı ivmelenme değeri, eğimden kaynaklı ivmelenme değeri, her demiryolu aracı için üretici firma tarafından sağlanan Davis Formülü katsayıları, bir GPS cihazı veya bir odometre cihazı üzerinden alınan demiryolu aracına ait konum bilgisi, bir hız sensörü üzerinden alınan demiryolu aracına ait hız değeri, güzergah uzunluğu gibi demiryolu aracı parametreleri, güzergah parametreleri ve özelleştirilebilir diğer parametreler ATO kontrol birimi tarafından giriş parametresi olarak alınarak bir hafıza biriminde kayıt altına alınmakta ve her bir çevrimde alınan söz konusu parametreler güncellenmektedir (102). Davis Formülü katsayıları demiryolu aracının hızına, dingil yüküne, dingil sayısına, vagon sayısına, demiryolu aracının uzunluğuna, yol tipine ve demiryolu aracı tipine göre üretici firma tarafından belirlenen katsayılardır. Söz konusu verilerin bir kısmı hat boyunca yerleştirilen örneğin WI-FI, 3G, 4G, 4.5G, 5G, GSM modül gibi kablosuz veri iletişim modülleri ile kablosuz olarak haberleşen, demiryolu aracının üzerinde konumlandırılan bir kablosuz veri iletişim modülü üzerinden alınabilmektedir. Söz konusu giriş parametreleri yalnızca demiryolu aracı durağan halde iken değil aynı zamanda demiryolu aracı hareketli halde iken de her bir çevrimde örneğin 100ms’lik aralıklarla alınmaktadır. Böylece buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntem (100) tarafından yürütülen ana algoritmanın değişen koşullara ve parametrelere en kısa sürede uyum sağlayabilmesine olanak sağlanmaktadır. Dolayısıyla geçici hız

sınırlamaları gibi aniden gelen isteklere de hızlı bir biçimde cevap verilebilmektedir. Bir sonraki adımda, demiryolu aracının kat edeceği önceden belirlenen bir mesafe için bir emniyetli fren eğrisi (E) oluşturulması amacıyla bir alt algoritma (FastATP) çağrılmaktadır (104). Emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitleri bir demiryolu aracının güzergah boyunca emniyetli bir şekilde sürüş gerçekleştirebilmesi için aşmaması beklenen hız verisini içermektedir. Emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması için dikkate alınan demiryolu aracının önündeki mesafe bilgisi, önceden belirlenen bir mesafe verisi olup, bir kullanıcı arayüzü üzerinden parametrik olarak değiştirilebilmektedir. Emniyetli fren eğrisinin (E) sadece demiryolu aracının önündeki belirli bir mesafe için hesaplanması sayesinde, emniyetli fren eğrisinin (E) hızlı bir şekilde oluşturulması sağlanmakta, dolayısıyla demiryolu aracının hareketi esnasında araç parametrelerinde veya güzergaha ilişkin koşulların değişmesi durumunda, emniyetli fren eğrisinin (E) bu koşullara hızlı bir şekilde adapte olması sağlanmaktadır. Her çevrimde çağrılan bu alt algoritma çeşitli analitik yaklaşımlar ile çok hızlı bir şekilde emniyetli fren eğrisini (E) oluşturmaktadır. Oluşturulan emniyetli fren eğrisi (E) demiryolu aracının izlemesi gereken hızın belirlenmesi için referans alınmakta ve demiryolu aracının güzergah boyunca takip edeceği hız bilgisini içeren bir ATO hız profili (A) oluşturulmaktadır (106). Emniyetli fren eğrisinin (E) ve ATO hız profilinin (A) bir ATO kontrol birimi tarafından oluşturulması sayesinde emniyetli fren eğrisi (E) dahili olarak da elde edildiği için demiryolu aracının emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerinin üstüne çıkmaması garanti altına alınmakta, bu da demiryolu aracının acil durum freni yapmasının ve operasyonel aksaklıkların önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca acil durum freni ihtiyacının azalmasının bir sonucu olarak bakım onarım maliyetinin düşmesi de dolaylı olarak avantaj sağlamaktadır. Bir sonraki adımda ATO hız profilinde (A) belirlenen hız değerlerine göre demiryolu aracının hızlanması, sabit hızla gitmesi, süzülmesi, yavaşlaması ve/veya durması gibi hareket durumları tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin söz konusu hareket durumuna uygun olacak şekilde kontrol edilmesi için ATO kontrol birimi içerisindeki hareket kontrolörleri tarafından hareket kontrol sinyalleri üretilmektedir (108). Üretilen hareket kontrol sinyalleri doğrultusunda ATO

kontrol birimine bağlı olan örneğin demiryolu aracının motor ve fren sistemi işletilerek demiryolu aracının hareketi kontrol edilebilmektedir. Böylece acil durum freni ihtiyacı azaltılarak, buna bağlı olarak bakım onarım maliyetinin düşmesi de dolaylı olarak avantaj sağlamaktadır. Söz konusu ATO hız profilindeki (A) hız değerleri ile emniyetli fren eğrisindeki (E) hız değerleri arasında önceden belirlenen bir hız farkı bulunmakta olup bu sayede emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerinin aşılmadan bu hız limitlerine mümkün olduğu kadar yakın bir hızda hareket edilmesi sağlanmaktadır. Böylece mümkün olduğu kadar emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerine yakın bir hızda demiryolu aracı hareket ettirilerek demiryolu aracı seferlerinin süresinin azaltılması ve hat kapasitesinin artırılması sağlanmaktadır. Bunlara ek olarak yukarıda belirtilen süre kazanımlarının yanı sıra, önerilen yaklaşım ile hat sonları veya depo sahalarında araç düzenlemesi yapılırken hat kapasitesinin yüksek kullanımı sağlanabilmektedir.

Buluşun bir uygulamasında bilgisayar uygulamalı yöntemde (100) yer alan önceden belirlenen mesafe için emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan hız limit değerlerine göre demiryolu aracının hareket durumlarının tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin ATO hız profiline (A) uygun şekilde kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması (108) adımı

demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde arttırılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması ve ATO hız profilinin (A) oluşturulmaya devam edilmesi (110),

emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitine önceden belirlenen bir seviyede yaklaşılıp yaklaşılmadığının sorgulanması (112) ve hız limitine yaklaşılmaması durumunda demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde arttırılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması (110) adımına geri dönülmesi, hız limitine yaklaşılması durumunda ise sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114),

önceden belirlenen bir mesafe için emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin azalıp azalmadığının sorgulanması (116),

hız limitinin azalmaması durumunda önceden belirlenen bir mesafe için emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin artıp artmadığının sorgulanması (118),

hız limitinin artmaması durumunda sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114) adımına geri dönülmesi, hız limitinin artması durumunda ise demiryolu aracının hız limitinin arttığı bölgeye girip girmediğinin sorgulanması (120),

hız limitinin arttığı bölgeye girilmemesi durumunda sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114) adımına geri dönülmesi, hız limitinin arttığı bölgeye girilmesi durumunda ise demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde arttırılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması (110) adımına geri dönülmesi,

emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin azalması durumunda, söz konusu hız limitinin bulunduğu bir hedef konumdan önce frenlemenin başlatılması için bir frenleme noktasının belirlenmesi (122) ve belirlenen frenleme noktasına ulaşılması durumunda ATO hız profilindeki (A) hız değerine ulaşana kadar frenleme yapılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması (126) alt adımlarını içermektedir. ATO kontrol birimi tarafından oluşturulan hareket kontrol sinyalleri doğrultusunda demiryolu aracının hareket kontrolü şu şekilde gerçekleştirilmektedir. ATO kontrol birimi tarafından emniyetli fren eğrisi (E) ve ATO hız profili (A) oluşturulduktan sonra eğer demiryolu aracı durağan halde ise demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde artırılması için hareket kontrol sinyali üretilmekte ve ATO hız profili (A) oluşturulmaya devam edilmektedir (110). Böylece demiryolu aracı ve yol topolojisinin belirlediği ivme limitleri dahilinde demiryolu aracı hızlanmaya başlamaktadır. Bir sonraki adımda, alt algoritma tarafından belirlenip her bir çevrimde yine alt algoritma tarafından güncellenen emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitine önceden belirlenen bir seviyede yaklaşılıp yaklaşılmadığı sorgulanmaktadır (112). Bir uygulamada söz konusu seviye bir kullanıcı arayüzü üzerinden parametrik olarak önceden veya sürüş anında değiştirilebilmektedir. Eğer alt algoritma tarafından oluşturulan emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitine önceden belirlenen bir seviyede yaklaşılmaması durumunda, bir önceki adıma geri

dönülerek demiryolu aracının hızı önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde artırılmaya ve ATO hız profili (A) oluşturulmaya devam edilmektedir. Emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitine önceden belirlenen bir seviyede yaklaşılması durumunda ise demiryolu aracının ivmelenmesinin azaltılması ve ardından sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulmaktadır (114). Bir sonraki adımda sabit hızla giderken demiryolu aracının önündeki önceden belirlenen mesafe için emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin durumu kontrol edilerek söz konusu hız limitinin azalıp azalmadığı sorgulanmaktadır (116). Eğer söz konusu hız limiti azalmıyor ise bu durumda söz konusu hız limitinin artıp artmadığı sorgulanmaktadır (118). Eğer söz konusu hız limiti artmıyor ise sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114) adımına geri dönülerek sabit hızla hareket edilmeye devam edilmektedir. Eğer söz konusu hız limiti artıyor ise bu durumda demiryolu aracının örneğin önü, arkası veya orta noktası gibi önceden belirlenen bir bölümünün hız limitinin arttığı bölgeye girip girmediği sorgulanmaktadır (120). Eğer demiryolu aracının ilgili bölümü hız limitinin arttığı bölgede değil ise bu durumda sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114) adımına geri dönülerek sabit hızla hareket edilmeye devam edilmektedir. Eğer demiryolu aracının ilgili bölümü hız limitinin arttığı bölgede ise demiryolu aracının hızının daha önceden belirlenen ivme limitleri dahilinde artırılması için hareket kontrol sinyali oluşturulması ve ATO hız profilinin oluşturulmaya devam edilmesi (110) adımına geri dönülerek demiryolu aracının hızı ivme limitleri dahilinde artırılmaya ve ATO hız profili (A) oluşturulmaya devam edilmektedir. Emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin azalıp azalmadığının sorgulanması adımında eğer söz konusu hız limiti azalıyor ise ATO kontrol birimi tarafından bir frenleme simülasyonu gerçekleştirilmekte ve böylece frenleme işleminin başlatılacağı bir sonraki hız limitinin başladığı hedef konuma en yakın frenleme noktası hesaplanmaktadır (122). Bir sonraki adımda, demiryolu aracının hesaplanan frenleme noktasına ulaşıp ulaşmadığı sorgulanmaktadır (124). Demiryolu aracının frenleme noktasına ulaşmaması durumunda sabit hızla harekete devam edilmesi için hareket kontrol sinyali oluşturulması (114) adımına geri dönülmektedir. Eğer

demiryolu aracı hesaplanan frenleme noktası üzerinde bulunuyor ise fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi ile emniyetli fren eğrisindeki (E) bir sonraki hız sınırına göre önceden belirlenen bir hız değerine ulaşana kadar demiryolu aracının frenleme ivmesi limitleri dahilinde frenlemesi için hareket kontrol sinyali oluşturulmaktadır (126). Böylece ana algoritmaya eklenen ek kontroller ile ATO hız profili (A) olabildiğince emniyetli fren eğrisinin (E) yakınında tutularak demiryolu aracının otomatik olarak işletilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca emniyetli fren eğrisi (E) tarafından belirlenen hız sınırları belirli bir mesafe önceden tespit edilerek demiryolu aracının bu hız sınırları üzerine çıkması engellenmekte ve böylece otomatik tren işletimi fonksiyonu altında gereksiz acil durum freni uygulanmasının önüne geçilerek demiryolu aracının işletiminin emre amadeliğinin artırılması sağlanmaktadır. Mevcut hız değerinden daha düşük olan bir hedef hıza inilecek konum ile frenleme noktası arasındaki frenleme mesafesinin kısaltılması sayesinde daha geç frenleme gerçekleştirilmekte dolayısıyla frenleme yapılmadan önce daha uzun bir süre boyunca hız limitlerine yakın bir hızla devam edildiğinden demiryolu aracının mümkün olan en kısa sürede seyahatini tamamlaması sağlanmaktadır.

Buluşun bir uygulamasında bilgisayar uygulamalı yöntemde (100) yer alan söz konusu parametrelere göre güzergah boyunca belirli periyotlarla, daha önceden belirlenen bir mesafe için en az bir hız limit değerini içeren bir emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması (104) adımında demiryolu aracının önündeki önceden belirlenen mesafe, eğim ve kurpların değişmediği bölgelere ayrılmakta ve her bir bölge için ayrı bir emniyetli fren eğrisi (E) oluşturulmaktadır. Demiryolu aracının kat edeceği mesafenin önceden belirlenmiş bir kısmının eğim ve kurpların değişmediği bölgelere ayrılarak her bir bölge için ATO kontrol birimi tarafından ayrı ayrı hesap yapılması sayesinde emniyetli fren eğrisinin (E) hızlı bir şekilde oluşturulması sağlanmaktadır. Emniyetli fren eğrisinin (E) hızlı bir şekilde oluşturulması sayesinde de demiryolu aracının hareketi esnasında araç parametrelerinde veya güzergaha ilişkin koşulların değişmesi durumunda,

emniyetli fren eğrisinin (E) bu koşullara hızlı bir şekilde adapte olması sağlanmaktadır.

Buluşun bir uygulamasında bilgisayar uygulamalı yöntemde (100) yer alan emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limit değerinin altında, söz konusu hız limit değeri ile arasında önceden belirlenen bir hız farkı olacak şekilde en az bir hız değeri içeren bir ATO hız profilinin (A) oluşturulması ve oluşturulan bu ATO hız profilinin (A) belirli periyotlarla güncellenmesi (106) adımında ATO hız profili (A) bir kullanıcı arayüzü üzerinden girilen bir hız farkı değerine bağlı olarak oluşturulmaktadır. Böylece söz konusu hız farkı kullanıcı arayüzü üzerinden parametrik olarak değiştirilebilmesi sayesinde, ATO hız profilinin (A) emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerinin aşılmadan bu hız limitlerinin farklı hızlarda takip edilebilmesi sağlanabilmektedir. Dolayısıyla mümkün olduğu kadar emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerine yakın bir hızda demiryolu aracı hareket ettirilerek demiryolu aracı seferlerinin süresinin azaltılması ve hat kapasitesinin artırılması sağlanmaktadır.

Buluşun bir uygulamasında bilgisayar uygulamalı yöntemde (100) yer alan söz konusu parametrelere göre güzergah boyunca belirli periyotlarla, daha önceden belirlenen bir mesafe için en az bir hız limit değerini içeren bir emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması (104) adımında aşağıda yer alan denklemler kullanılmakta olup;

$$V'(t) = a_1 + a_2\,\mathrm{V}(t) + a_3\,\mathrm{V}(t)^2 \quad (1)$$

$$V(t) = \frac{\sqrt{\Delta}\,\tan\left(\tan^{-1}\left(\frac{2a_3\mathrm{V}_0+a_2}{\sqrt{\Delta}}\right)+\frac{\sqrt{\Delta}t}{2}\right)-a_2}{2a_3} \quad (2)$$

$$\Delta = 4a_1a_3 - {a_2}^2 \quad (3)$$

$$a_1 = a_T - a_B + a_{D1} + a_C + a_G \quad (4)$$

$$a_2 = a_{D2}a_3 = a_{D3} \quad (5)$$

burada;

$V'(t)$: demiryolu aracının hızının diferansiyelini;

$V(t)$: demiryolu aracının zamana göre hızını;

a_1, a_2, a_3: sırasıyla bir birinci katsayıyı, bir ikinci katsayıyı, bir üçüncü katsayıyı;

Δ: bir delta katsayısını;

V_0: demiryolu aracının ilk hızını;

t: zamanı;

a_T: motor tarafından sağlanan ivme değerini;

a_B: fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi değerini;

a_{D1},a_{D2},a_{D3}: önceden belirlenen Davis Formülü katsayılarını;

a_C: kurpdan kaynaklı ivmelenme değerini;

a_G: eğimden kaynaklı ivmelenme değerini temsil etmektedir. Emniyetli fren eğrisi (E) Denklem 1'de verilen hareket denklemi kullanılarak elde edilmektedir. Denklem 1'de verilen ikinci dereceden diferansiyel hareket denkleminin analitik çözümü ise Denklem 2'de verilmektedir. Söz konusu hareket denkleminin nasıl elde edildiği aşağıda detaylıca açıklanmaktadır.

Demiryolu araçlarının genel hızlanma/yavaşlama ivmesi aşağıda verilen Denklem 6'ya göre ifade edilebilmektedir.

$$a = a_T - a_B + a_R + a_C + a_G \quad (6)$$

Burada;

a: ivmelenmeyi,

a_T: motor tarafından sağlanan ivmeyi,

a_B: fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesini,

a_R: demiryolu aracının direncinden kaynaklanan ivmelenmeyi,

a_C: kurpdan kaynaklı ivmelenmeyi,

a_G: eğimden kaynaklı ivmelenmeyi temsil etmektedir. Sabit eğim ve kurp için kurpdan kaynaklı ivmelenme (a_C) ve eğimden kaynaklı ivmelenme (a_G) sabit

olmaktadır. Bununla birlikte demiryolu aracının direncinden kaynaklı ivmelenme (a_R), aşağıdaki verilen denklem 7 ile ifade edilebilmektedir.

$$a_R = \mathrm{a_{D1}} + \mathrm{a_{D2}V(t)} + \mathrm{a_{D3}V(t)^2} \quad (7)$$

Burada:

a_R: demiryolu aracının direncinden kaynaklı ivmelenmeyi,

$\mathrm{a_{D1}}$, $\mathrm{a_{D2}}$ ve $\mathrm{a_{D3}}$: her demiryolu aracı için üretici firma tarafından sağlanan Davis Formülü katsayılarını,

$V(t)$: demiryolu aracının zamana göre hızını temsil etmektedir. Emniyetli fren eğrisinin (E) oluşturulması için gerçekleştirilen hesaplamalarda en zaman alıcı bölümlerden birisi demiryolu aracının belirli bir anda acil durum freni uygulamaya başlaması halinde hızının zamana göre nasıl değişeceğinin belirlenmesi ve kaç metre içinde duracağının bulunmasıdır. Denklem 8 ve 9'da gösterildiği üzere acil durum freni yapılması halinde motor tarafından sağlanan ivme (a_T) değeri sıfır olup fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi (a_B) ise önceden belirlenen bir garanti edilen acil durum fren ivmesi (a_{GEBR}) değeri kadar olmaktadır.

$$a_T = 0 \quad (8)$$

$$a_B = a_{GEBR} \quad (9)$$

Burada;

a_T: motor tarafından sağlanan ivmeyi,

a_B: fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesini,

a_{GEBR}: garanti edilen acil durum fren ivmesini temsil etmektedir.

Araç süzülürken denklem 10'da gösterildiği üzere motor tarafından sağlanan ivme (a_T) ve fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi (a_B) değeri sıfır olmaktadır.

$$a_T = a_B = 0 \quad (10)$$

Burada:

a_T motor tarafından sağlanan ivmeyi,

a_B: fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesini temsil etmektedir. Sonuç olarak, bir acil durum fazında garanti edilen acil durum fren ivmesi (a_{GEBR}), kurpdan kaynaklı ivmelenme (a_C) ve eğimden kaynaklı ivmelenmenin (a_G) sabit kaldığı varsayımı altında, Denklem 6-10'nun birleştirilmesi sonucunda Denklem 1'deki eşitlik elde edilebilmektedir. Demiryolu aracının hareketinden oluşturulan diferansiyel denklemin belirli varsayımlar altında analitik olarak çözülmesi sonucu emniyetli fren eğrisi (E) çok hızlı bir şekilde hesaplanabilmekte ve ATO hız profili (A) oluşturulması sırasında kullanılabilmektedir. Emniyetli fren eğrisi (E) dahili olarak da elde edildiği için demiryolu aracının emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerinin üstüne çıkmaması da garanti altına alınmakta, bu da demiryolu aracının acil durum freni yapmasının ve operasyonel aksaklıkların önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır. Yine acil durum freni ihtiyacının azalmasının bir sonucu olarak bakım onarım maliyetinin düşmesi de dolaylı olarak avantaj sağlamaktadır. Söz konusu denklem kullanılarak elde edilen emniyetli fren eğrisi (E) referans alınarak bir ATO hız profili (A) oluşturulmaktadır. Söz konusu ATO hız profilindeki (A) hız değerleri ile emniyetli fren eğrisindeki (E) hız değerleri arasında önceden belirlenen ve kullanıcı arayüzü üzerinden değiştirilebilen bir hız farkı bulunmakta olup bu sayede emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerinin aşılmadan bu hız limitlerine mümkün olduğu kadar yakın bir hızda hareket edilmesi sağlanmaktadır. Böylece mümkün olduğu kadar emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerine yakın bir hızda demiryolu aracı hareket ettirilerek demiryolu araçlarının seferlerinin süresinin azaltılması ve hat kapasitesinin artırılması sağlanmaktadır.

Buluşun bir uygulamasında bilgisayar uygulamalı yöntemde (100) yer alan emniyetli fren eğrisindeki (E) bir sonraki hız limitinin demiryolu aracının mevcut hız değerinden düşük olması durumunda, söz konusu hız limitinin bulunduğu bir hedef konumdan önce frenlemenin başlatılması için bir frenleme noktasının belirlenmesi (122) adımında, aşağıda yer alan denklemler kullanılarak, emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan bir sonraki hız limitine göre belirlenen bir hedef hız (V_1)

ve bu hedef hıza (V_1) düşülecek hedef konum ile demiryolu aracının mevcut konumu arasındaki uzaklık değeri içerisinden seçilen birden fazla sayıdaki hedef uzaklık (L_{brake}) değerine göre, hedef hıza (V_1) düşülmeden önceki ilk hız (V_0) değerleri belirlenip, söz konusu ilk hız değerleri (V_0) içerisinden emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerini aşmayan en yüksek ilk hız (V_0) değerini sağlayan hedef uzaklık (L_{brake}) değeri frenleme noktası olarak hesaplanmakta olup,

$$L_{Brake} = \frac{\log\left(\frac{\gamma^2+\Delta}{\Delta}\right)-\log\left(\frac{\beta^2+\Delta}{\Delta}\right)-\frac{2a_2\left(\tan^{-1}\left(\frac{\gamma}{\sqrt{\Delta}}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{\beta}{\sqrt{\Delta}}\right)\right)}{\sqrt{\Delta}}}{2a_3} \quad (11)$$

$$\beta = a_2 + 2a_3 V_0 \quad (12)$$

$$\gamma = a_2 + 2a_3 V_1 \quad (13)$$

$$\Delta = 4a_1a_3 - {a_2}^2 \quad (14)$$

$$a_1 = a_T - a_B + a_{D1} + a_C + a_G \quad (15)$$

$$a_2 = a_{D2}a_3 = a_{D3} \quad (16)$$

burada;

L_{Brake}: bir hedef uzaklığı;

β: bir beta katsayısını;

γ: bir gama katsayısını;

Δ: bir delta katsayısını;

a_1, a_2, a_3: sırasıyla bir birinci katsayıyı, bir ikinci katsayıyı, bir üçüncü katsayıyı;

V_0: demiryolu aracının ilk (başlangıç) hızını (ATP hızı);

V_1: hedef hızı;

a_T: motor tarafından sağlanan ivme değerini;

a_B: fren sistemi tarafından sağlanan fren ivmesi değerini;

a_{D1},a_{D2},a_{D3}: önceden belirlenen Davis Formülü katsayılarını;

a_C: kurpdan kaynaklı ivmelenme değerini;

a_G: eğimden kaynaklı ivmelenme değerini temsil etmektedir. Denklem 11, frenleme işleminin başlatılacağı frenleme noktasının belirlenmesi için

kullanılmaktadır. Frenleme noktasının hesaplanmasında iki farklı yaklaşım kullanılabilmektedir ancak buluş bununla sınırlı olmayıp frenleme noktası farklı yaklaşımlarla da hesaplanabilmektedir. Bu yaklaşımların ilkinde frenleme noktasının hesaplanması için hedef hıza (V_1) düşülecek konum ile demiryolu aracının mevcut konumu arasındaki mesafe olan hedef uzaklık (L_{Brake}) içerisinden birden fazla sayıda uzaklık değeri otomatik olarak seçilerek seçilen uzaklık değerlerine bağlı olarak Denklem 11'de birden fazla sayıda ilk hız değerleri (V_0) belirlenmekte ve belirlenen ilk hız değerleri (V_0) içerisinden emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerini aşmayacak şekilde en yüksek ilk hız değerini (V_0) sağlayan uzaklık değeri frenlemenin başlatılacağı nokta olan frenleme noktası olarak belirlenmektedir. Diğer bir yaklaşımda ise bir hedef hız (V_1) ve hedef uzaklık (L_{Brake}) için olası en yüksek ilk hız (V_0) yarılama algoritması (bisection algorithm) yardımıyla hızlı bir şekilde bulunmaktadır. Bu yaklaşımda bir birinci hedef uzaklık değeri ve bir ikinci hedef uzaklık değeri seçilerek, seçilen birinci ve ikinci hedef uzaklık değerleri için sırasıyla bir birinci ilk hız değeri ve bir ikinci ilk hız değeri bulunmaktadır. Ardından birinci hedef uzaklık ile ikinci hedef uzaklığın ortalaması alınarak bir üçüncü hedef uzaklık değeri belirlenmekte ve üçüncü hedef uzaklık değeri için Denklem 11'de bir üçüncü ilk hız değeri bulunmaktadır. Üçüncü hedef uzaklık değeri, birinci hedef uzaklık değeri ile ikinci hedef uzaklık değeri içerisinden emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitine en yakın ilk hız değerini (V_0) sağlayan hedef uzaklık değeri ile ortalaması alınarak bir dördüncü ilk hız değeri elde edilmektedir. Benzer şekilde hesaplamalar yapılarak beşinci ve sonraki ilk hız değerleri de elde edilmektedir. Bir diğer ifadeyle emniyetli fren eğrisi (E) tarafından belirlenen hız limitine en yakın ilk hız değerini (V_0) veren hedef uzaklık değeri ile en son belirlenen hedef uzaklık değerinin ortalaması alınarak yeni ilk hız değerleri elde edilmektedir. Ardından elde edilen ilk hız değerlerinin içerisinden emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitini aşmayan en yüksek ilk hız değeri (V_0) tespit edilmekte ve bu ilk hız değerini (V_0) sağlayan hedef uzaklık (L_{Brake}) değeri, hedef hıza (V_1) ulaşmak için frenlemeye başlanacak nokta olan frenleme mesafesi olarak belirlenmektedir. Burada bahsedilen frenleme mesafesi hedef hıza (V_1) inilmesi gereken bir konum ile frenlemeye başlanması gereken bir konum arasındaki

mesafedir. Belirlenen en yüksek ilk hız (V_0) ve hedef uzaklık (L_{Brake}) sayesinde, frenleme ivmesi limitleri dahilinde frenleme işleminin gerçekleştirilerek hedef hıza (V_1) düşülebilecek şekilde, hedef hıza (V_1) düşülecek noktaya en yakın frenleme noktası hesaplanmaktadır. Böylece hesaplanan frenleme noktasından daha önce frene basılmadan frenleme noktasına kadar mevcut hız ile mümkün olduğu kadar devam edilebileceğinden, hedef hıza (V_1) ulaşılması için harcanan frenleme süresi kısaltılmakta, dolayısıyla da demiryolu araçlarının hat seferlerinin süresinin düşürülmesi sağlanabilmektedir.

Buluşun bir uygulamasında bilgisayar uygulamalı yöntemde (100) yer alan önceden belirlenen mesafe için emniyetli fren eğrisinde (E) yer alan hız limit değerlerine göre demiryolu aracının hareket durumlarının tespit edilerek demiryolu aracının hareketinin ATO hız profiline (A) uygun şekilde kontrol edilmesi için hareket kontrol sinyalleri oluşturulması (108) adımı, demiryolu aracının hareket durumuna göre daha önceden tanımlanan bir ivmelenme modu (AM), bir sabit hızla gitme modu (CM), bir süzülme modu (SM), bir yavaşlama modu (YM) veya bir durma modundan (DM) birine geçilmektedir. Bir uygulamada söz konusu hareket modları bir durum makinesinde (D) tanımlanmaktadır. Durum makinesi (D), demiryolu araçlarının hareketlerine ilişkin durumların ve bu durumların arasındaki geçişlerin modellenmesine imkân veren bir matematiksel model olup, demiryolu aracının farklı durumlarını ve bu durumlar arasındaki geçişleri daha rahat ve güvenli bir şekilde modellemeyi sağlamaktadır. Söz konusu durum makinesi (D) ATO kontrol birimi tarafından yürütülen algoritma içerisinde kodlanmakta olup, emniyetli fren eğrisine (E) göre Şekil 5'te gösterilen durum makinesinin (D) de yardımıyla demiryolu aracının nasıl hareket etmesi gerektiğine karar verilerek, ATO hız profili (A) elde edilmektedir. Durum makinesinde (D); ivmelenme modu (AM), sabit hızla gitme modu (CM), süzülme modu (SM), yavaşlama modu (YM) ve durma modu (DM) bulunmakta ancak buluş bununla sınırlı olmayıp ihtiyaca bağlı olarak durum makinesinde (D) bu ana modlara ek ara modlar da tanımlanabilmektedir. Böylelikle demiryolu aracının hareketi durum makinesi (D) yardımıyla daha detaylı modellenebilmektedir. Durum makinesinde (D) bulunan

modların çalışma prensibi şu şekildedir: demiryolu aracı durağan halde iken (örneğin istasyonda) ilk olarak ivmelenme moduna (AM) geçiş yapmakta ve ivme limitleri (araç ve yol topolojisinin belirlediği) dahilinde hızlanmaya başlamaktadır. Demiryolu aracı ilgili ivme değeri ile hızlanmaya devam ettiğinde önündeki belirli bir mesafe için emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitine ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilmekte ve demiryolu aracının mevcut hızından daha yüksek bir hız değerine sahip olan söz konusu hız limitine yaklaşılması durumunda demiryolu aracının ivmelenmesi azaltılmaya başlanmaktadır. Söz konusu hız limitine ulaşıldığında ise demiryolu aracı sabit hızla gitme moduna (CM) geçerek sabit hızla yoluna devam etmektedir. Demiryolu aracı sabit hızla hareketine devam ederken önündeki belirli bir mesafe için emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitinin değişip değişmediği kontrol edilmekte ve demiryolu aracının mevcut hızından daha düşük bir hız değerine sahip olan söz konusu hız limitiyle ilişkilendirilen bölgeye (konuma) ulaşılması durumunda demiryolu aracı yavaşlama moduna (YM) geçmekte ve söz konusu hız limitine uygun olarak demiryolu aracının hızı azaltılmaktadır. Demiryolu aracı ivmelenirken, sabit hızla giderken, süzülerek hareket ederken veya yavaşlarken demiryolu aracının durma noktasına yaklaşması durumunda (örneğin istasyon durma noktası), bir frenleme simülasyonu gerçekleştirilerek bir frenleme noktası hesaplanmaktadır. Frenleme noktasına ulaşıldığında ise demiryolu aracı durma moduna (DM) geçerek demiryolu aracı durana kadar ilgili frenleme ivmesi limitleri dahilinde frenlemeye devam edilmektedir. Bunlara ek olarak, örneğin demiryolu aracının hızının süzülmeye izin verilen hızın üzerinde olması, demiryolu aracının ilgili süzülme bölgesinde bulunması koşulları gibi gerekli koşulların sağlanması durumunda demiryolu aracı süzülme moduna (SM) geçmektedir. Bu yaklaşım sayesinde demiryolu aracının hangi koşullar altında süzülme moduna (SM) geçeceği çok daha rahat bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Durum makinesinde (D) tanımlanan söz konusu modlar sayesinde ivmelenme modu (AM), yavaşlama modu (YM), sabit hızla gitme modu (CM), süzülme modu (SM), durma modu (DM) gibi hareket modlarının her birisi ayrı ayrı ele alınmakta böylece her bir bölgeye ilişkin stratejilerin (özellikle demiryolu aracına ilişkin hız kontrolünü sağlayan ana algoritmada) ayrı ayrı

belirlenebilmesine ve değiştirilebilir olmasına olanak sağlanmaktadır. Parametrik yaklaşım sayesinde giriş parametrelerindeki değişimlere karşın ATO kontrol birimi tarafından yürütülen algoritma hızlı bir şekilde tepki verebilmektedir. Durum makinesi (D) kullanılarak, demiryolu aracının hareket takibi durum makinesi (D) yardımıyla yapıldığından, demiryolu aracının belirli bir anda hangi hareket durumunda olduğu hızlıca anlaşılabilmektedir. Bu sayede, ATO kontrol birimi içerisindeki hareket kontrolörlerinin de demiryolu aracının farklı durumlarına göre davranışını değiştirebilmesi ve optimum kontrolü sağlayabilmesi mümkün hale gelmektedir. Ayrıca durum makinesi (D) yardımıyla demiryolu aracının her bir ayrı hareket modu için (ivmelenme modu (AM), sabit hızda gitme modu (CM), süzülme modu (SM), yavaşlama modu (YM) ve durma modu (DM) gibi) ayrı bir kontrolör mekanizması ve/veya farklı kontrolör parametrelerinin kullanılması mümkün olup, durum makinesi (D) kullanılarak çıkarılan ATO hız profilini (A) ATO kontrol birimi içerisindeki hareket kontrolörlerinin takip edebileceği şekilde uyarlanması sayesinde, emniyetli fren eğrisindeki (E) hız limitlerini mümkün olduğunca aşmayacak ve söz konusu hız limitlerine yakın olacak bir şekilde demiryolu aracının hareketine olanak sağlanmaktadır.

Bu buluş ayrıca yukarıda açıklanan bilgisayar uygulamalı yöntemi (100) gerçekleştirmek üzere uyarlanan araçları içeren bir veri işleme aparatı ile ilgilidir.

Bu buluş ayrıca, bilgisayar tarafından yürütüldüğünde bilgisayarın yukarıda açıklanan bilgisayar uygulamalı yöntemin (100) adımlarını gerçekleştirmesine sebep olan talimatları içeren bir bilgisayar programı ile ilgilidir.

Bu buluş ayrıca yukarıda açıklanan bilgisayar programının saklanabildiği bilgisayar tarafından okunabilir bir veri taşıyıcı ile ilgilidir.

Bu buluş ayrıca yukarıda açıklanan bilgisayar uygulamalı yönteme (100) göre kontrol edilen bir demiryolu aracı ile ilgilidir.

Buluş konusu demiryolu araçlarının emniyetli sürüş için belirlenen hız limitlerine olabildiğince yakın bir şekilde hareket ettirilerek sefer sürelerinin kısaltılmasını sağlayan bilgisayar uygulamalı yöntem (100) sayesinde, günümüzde kullanılan pek çok yaklaşımın aksine, algoritmaya gönderilen çeşitli parametreler yardımıyla teorik olarak sonsuz adet hız profilinin oluşturulması mümkün olmaktadır. Bu sayede anlık ihtiyaca göre farklı hızlanma/yavaşlama stratejilerinin ve bu stratejilere uygun hız limitlerinin kullanımıyla çok hızlı bir şekilde uygun hız profillerinin oluşturulması sağlanmaktadır. Yine farklı süzülme stratejilerinin de uygulanması buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntem (100) ile mümkün hale gelmektedir. Alt algoritma tarafından oluşturulan emniyetli fren eğrisi (E) sayesinde acil durum freni uygulama sayısının azaltılması, bunun sonucu olarak otomatik tren işletim fonksiyonunun emre amadeliğinin artırılması ve acil durum freni ihtiyacının azalmasının sonucu olarak da bakım onarım maliyetinin düşürülmesi sağlanmaktadır. Emniyetli fren eğrisini (E) oluşturan alt algoritma ve durum makinesi (D) ile demiryolu aracının önündeki belirli bir mesafe için olası hız profilinin hızlı bir şekilde belirlenerek araç kontrolörlerinin buna uygun şekilde davranması ve demiryolu aracının emniyetli fren eğrisine (E) mümkün olduğunca yakın ve aynı zamanda isteğe bağlı olarak enerji etkin şekilde hareket ettirilmesi sağlanmaktadır. Bunlara ek olarak hat sonlarında veya depo sahalarında demiryolu aracının ilgili sahaların olabildiğince uç noktalarına yaklaşması sağlanmaktadır. Ayrıca bir demiryolu aracının seferi sonunda demiryolu araçlarının arasındaki sürenin (headway), tekniğin bilinen durumundaki yöntemlere kıyasla güzergahın uzunluğuna bağlı olarak değişmekle birlikte (bazı hat kesimlerinde) toplamda 75-80 saniye kadar azaltılmasına ve böylelikle işletme kapasitesinin artırılmasına olanak sağlanmaktadır. Dolayısıyla da raylı sistem otoritelerinin yeni hatlar inşa edebilmesinde veya mevcut hatların kapasitelerini maksimize etme çalışmalarında ihtiyaç duyulan sefer sıklığının ve işletme performansının artırılmasına imkan sağlanmaktadır.

Şekil 3(a) ve 3(b)’de örnek bir hatta bulunan iki istasyon arasındaki (9990 m) yolculuk süresinin farklı takip hızları (1 km/saat ve 5 km/saat) kullanıldığında nasıl

etkilendiği görülmektedir. Bu şekilde emniyetli fren eğrisine (E) 1 km/saat yaklaşılarak elde edilen ilk ATO hız profili (A) ilgili A noktasından B noktasına yaklaşık 355 saniyelik bir seyahat süresi sunarken, emniyetli fren eğrisine (E) 5 km/saat yaklaşılarak elde edilen ikinci ATO hız profili (A) yaklaşık 363 saniyelik bir seyahat süresi sunmaktadır.

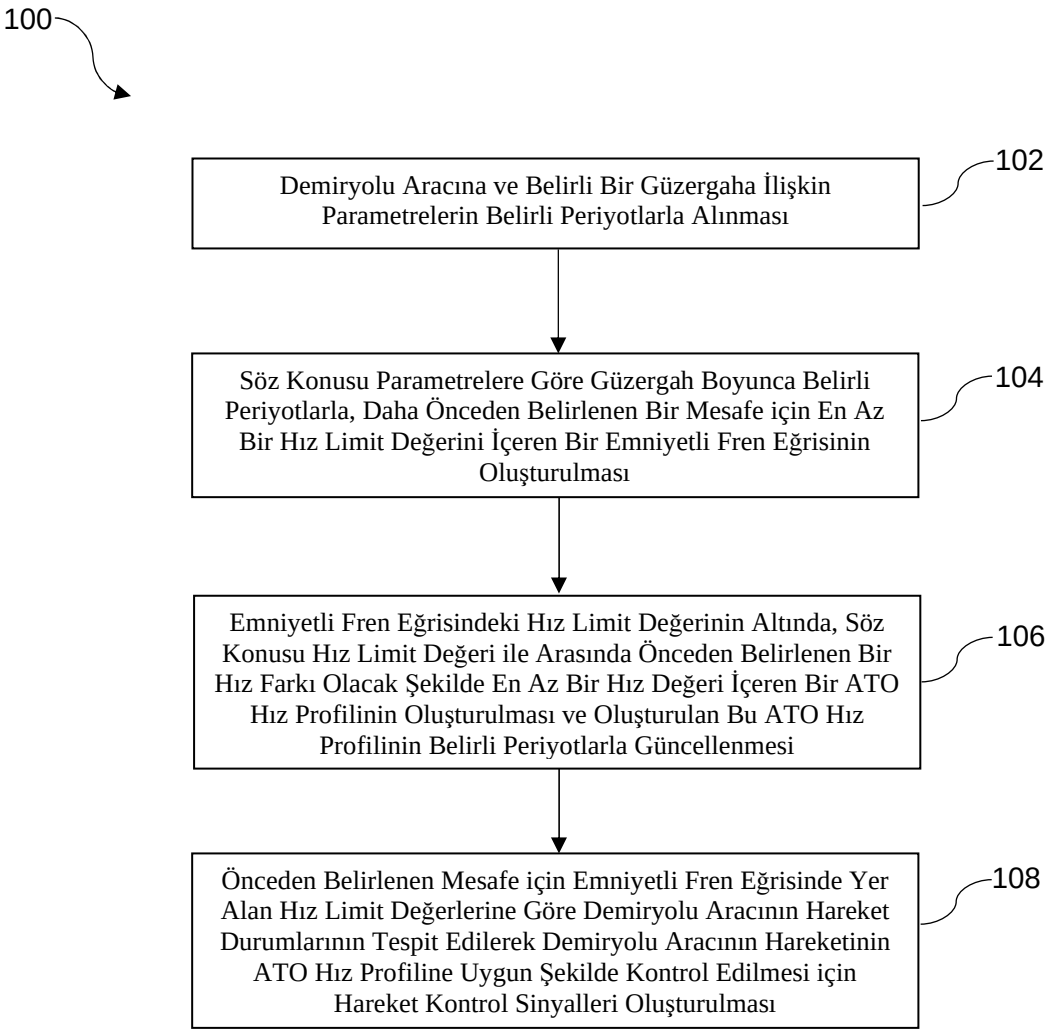
Aşağıdaki tabloda ise örnek bir hatta Gayrettepe-İstanbul Havalimanı güzergahındaki 8 istasyon boyunca (37436 m) yolculuk süresinin farklı takip hızları kullanıldığında nasıl etkilendiği görülmektedir. Tablo 1'den görüleceği üzere 1 km/saat takip hızı ile 5 km/saat takip hızı arasında yaklaşık olarak 40 sn. fark vardır. Bir tam çevrimde ise kazanılan bu süre 80 sn'ye kadar çıkabilmektedir. Bu süre yolculuk süresinin azalmasını ve hat kapasitesinin artırılmasını sağlayabilmektedir.

Tablo.1 ATO hız profilinin (A) emniyetli fren eğrisini (E) farklı takip hızlarında takip etmesi durumunda gerçekleşen toplam yolculuk süreleri

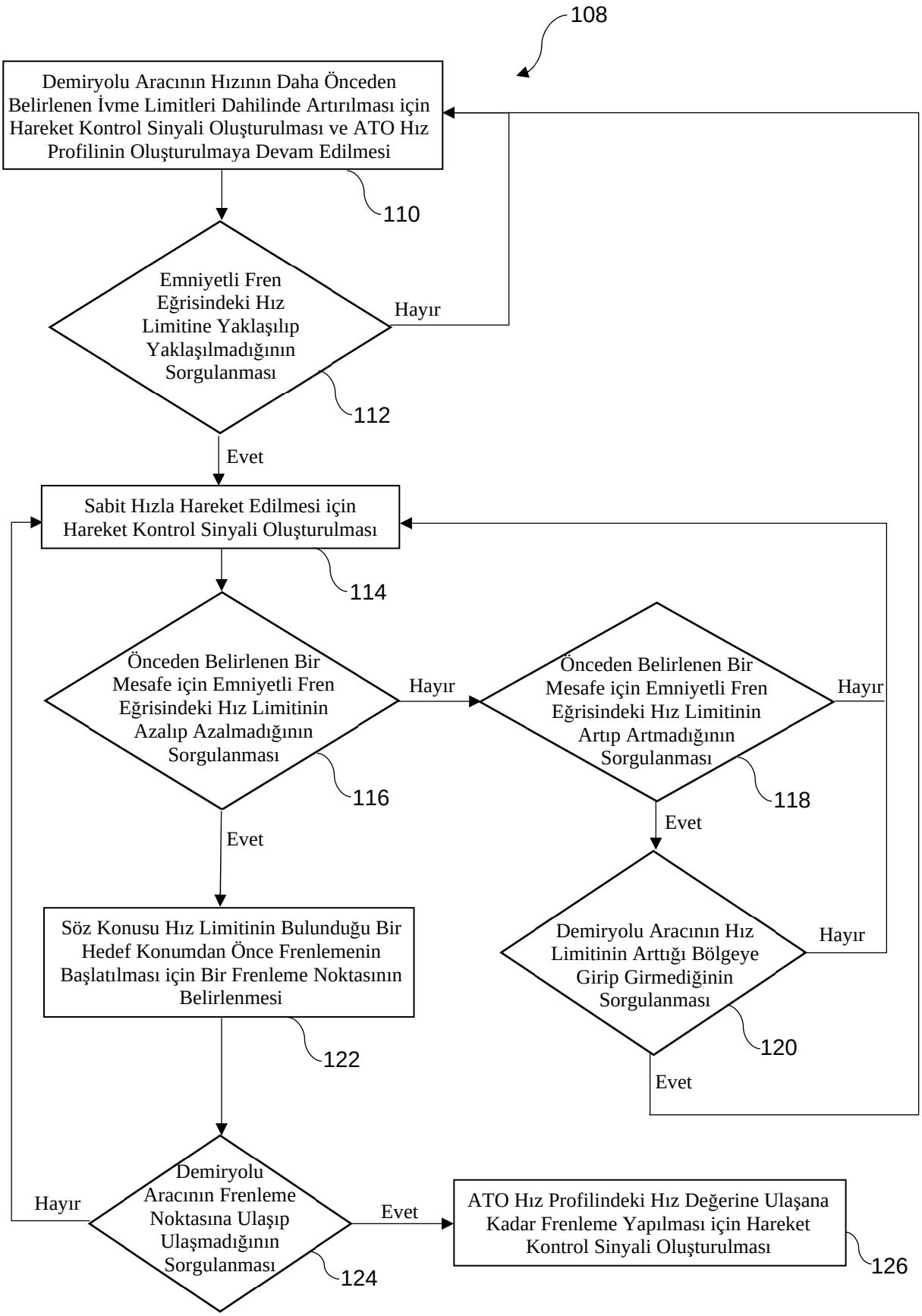
Takip Hızı	**Toplam Yolculuk Süresi**
1 km/saat	1619,47sn
2 km/saat	1627,77sn
3 km/saat	1635,52sn
4 km/saat	1646,22sn
5 km/saat	1658,12sn

Ayrıca günümüzde uygulanan yaklaşımların özellikle frenleme bölgelerinde oldukça konservatif çalıştığı, yani olması gerekenden çok daha önce frenlemeye başladığı (Şekil 4(a)) düşünüldüğünde, Şekil 4(b)'den de görüleceği üzere buluş konusu bilgisayar uygulamalı yöntem (100) ile kazanılan sürenin (tüm hat göz önüne alındığında) demiryolu aracının hat seferlerinin kısaltılması açısından önemi ön plana çıkmaktadır.

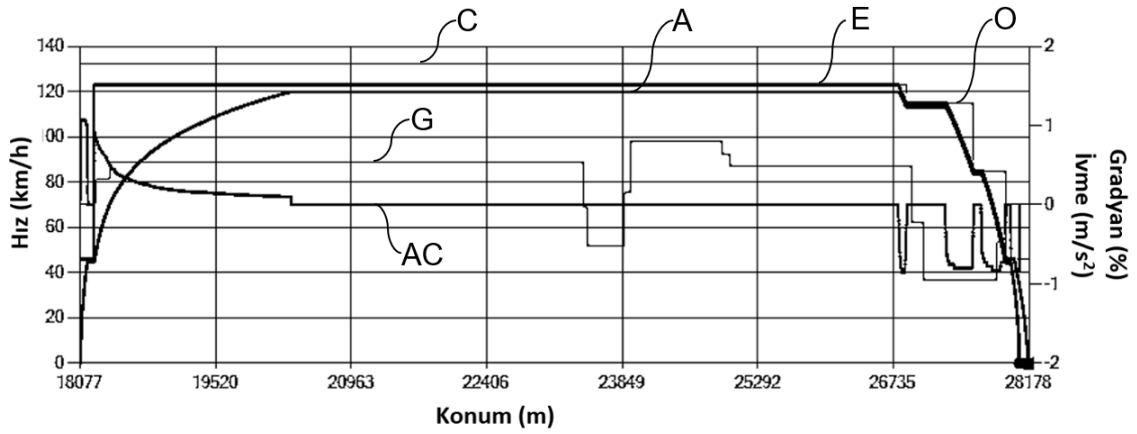
Şekil 1


100
Demiryolu Aracına ve Belirli Bir Güzergaha İlişkin Parametrelerin Belirli Periyotlarla Alınması
102
Söz Konusu Parametrelere Göre Güzergah Boyunca Belirli Periyotlarla, Daha Önceden Belirlenen Bir Mesafe için En Az Bir Hız Limit Değerini İçeren Bir Emniyetli Fren Eğrisinin Oluşturulması
104
Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limit Değerinin Altında, Söz Konusu Hız Limit Değeri ile Arasında Önceden Belirlenen Bir Hız Farkı Olacak Şekilde En Az Bir Hız Değeri İçeren Bir ATO Hız Profilinin Oluşturulması ve Oluşturulan Bu ATO Hız Profilinin Belirli Periyotlarla Güncellenmesi
106
Önceden Belirlenen Mesafe için Emniyetli Fren Eğrisinde Yer Alan Hız Limit Değerlerine Göre Demiryolu Aracının Hareket Durumlarının Tespit Edilerek Demiryolu Aracının Hareketinin ATO Hız Profiline Uygun Şekilde Kontrol Edilmesi için Hareket Kontrol Sinyalleri Oluşturulması
108

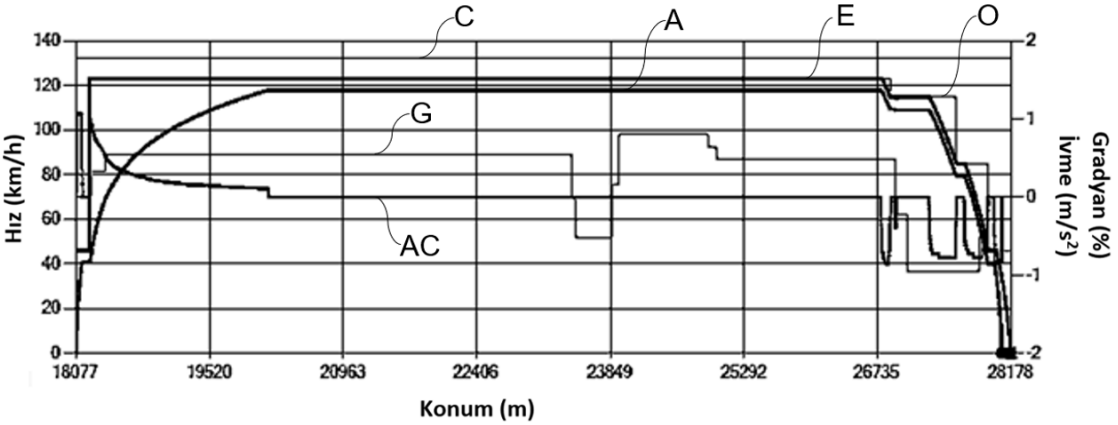
Şekil 2


108
Demiryolu Aracının Hızının Daha Önceden Belirlenen İvme Limitleri Dahilinde Artırılması için Hareket Kontrol Sinyali Oluşturulması ve ATO Hız Profilinin Oluşturulmaya Devam Edilmesi
110
Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limitine Yaklaşılıp Yaklaşılmadığının Sorgulanması
112
Hayır
Evet
Sabit Hızla Hareket Edilmesi için Hareket Kontrol Sinyali Oluşturulması
114
Önceden Belirlenen Bir Mesafe için Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limitinin Azalıp Azalmadığının Sorgulanması
116
Hayır
Önceden Belirlenen Bir Mesafe için Emniyetli Fren Eğrisindeki Hız Limitinin Artıp Artmadığının Sorgulanması
118
Hayır
Evet
Evet
Söz Konusu Hız Limitinin Bulunduğu Bir Hedef Konumdan Önce Frenlemenin Başlatılması için Bir Frenleme Noktasının Belirlenmesi
122
Demiryolu Aracının Hız Limitinin Arttığı Bölgeye Girip Girmediğinin Sorgulanması
120
Hayır
Evet
Demiryolu Aracının Frenleme Noktasına Ulaşıp Ulaşmadığının Sorgulanması
124
Hayır
Evet
ATO Hız Profilindeki Hız Değerine Ulaşana Kadar Frenleme Yapılması için Hareket Kontrol Sinyali Oluşturulması
126

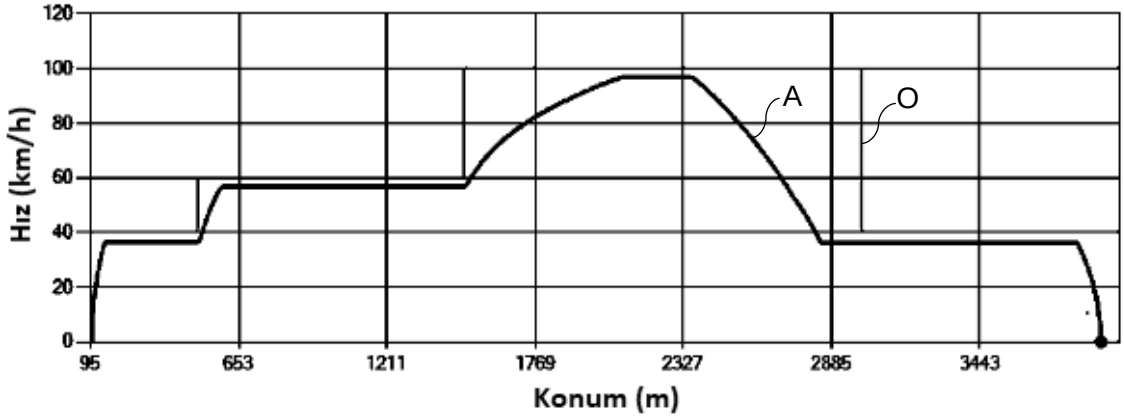
Şekil 3(a)



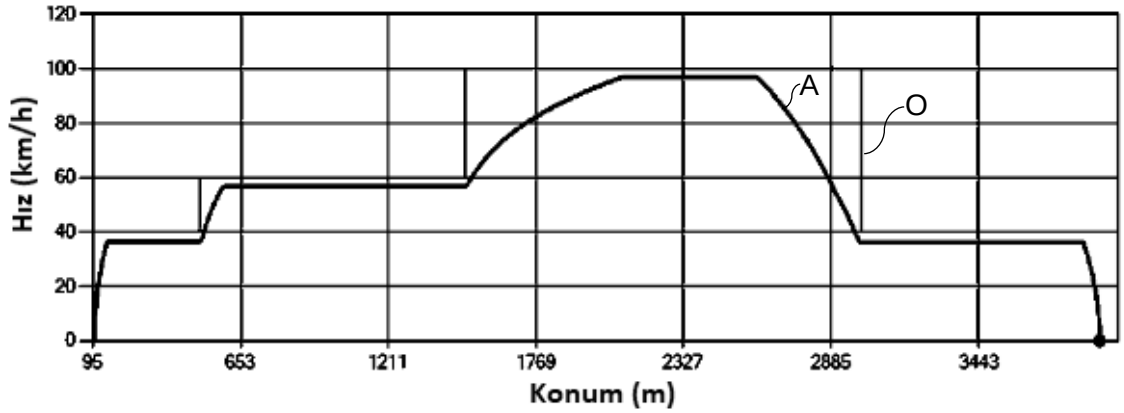
Şekil 3(b)



Şekil 4(a)



Şekil 4(b)



Şekil 5

