

Kontrolsüz Kavşaklarda Sola Dönüşler için Otomatik Acil Durum Fren Sistemi

Automatic Emergency Braking System for Left Turn in Unprotected Intersections

Ferit Hacıoğlu¹, Ahmet Sakallı¹

¹ AVL Araştırma ve Mühendislik Türkiye
İstanbul, Türkiye

{ferit.hacioglu, ahmet.sakalli}@avl.com

Özetçe

Otomatik acil durum fren sistemi, gelişmiş sürüş destek sistemleri arasında sürüş güvenliği artışına fayda sağlayan önemli bir parçadır. Otomatik acil durum fren sisteminin kullanım alanı, gelişmiş sürüş destek fonksiyonlarının şehir içi sürüşleri desteklemeye başlamasıyla büyümektedir. Kontrolsüz kavşaklarda sola dönüşte otomatik acil durum freni uygulaması, acil durum fren sistemlerinin yaygın bir şekilde kullanılmakta olan yaya, bisikletli, yavaşlayan veya duran araca çarpma senaryolarına ek olarak güvenlik standartlarında yerini almıştır. Bu çalışmada kontrolsüz kavşaklarda sola dönüş sırasında karşı şeritten gelen araçlara karşı otomatik acil durum fren sistemi algoritması geliştirilmiştir. Algoritma sola dönüş manevrasının başladığının tespit edilmesiyle devreye girerek olası bir çarpışma durumunda test aracının kavşak içinde durması yerine şeridini henüz terk etmeden durmasını amaçlamaktadır. Araçların hareket takibiyle belirli bir öngörü ufkunda bulunacakları konumları hesaplanarak olası bir kavşak içi çarpışma tespit edilmektedir. Çarpışma tespiti durumunda acil durum fren sistemi devreye girerek test aracını durdurmaktadır. Önerilen yöntem, IPG CarMaker ve MATLAB/Simulink ortamında hazırlanmış kapalı çevrim benzetim ortamında test edilmiş ve test aracının kavşak içine girmeden durabildiği gözlenmiştir.

Abstract

Automated emergency braking system is an important part among the advanced driving assist systems in terms of driving safety. Automated emergency braking system use cases are extended as advanced driving assistance functions are utilized for city driving. Unprotected left turn application takes part in safety standards along with pedestrian, cyclist, and slowing or stationary vehicle scenarios. In this study, an automated emergency braking system algorithm is developed for opposing vehicles during unprotected left turn. The algorithm aims to detect possible collisions when left turn maneuver is started, and to stop the test vehicle in its lane instead of the intersection. Vehicle motions are tracked for a prediction horizon to detect potential collision in the intersection. In case of a collision detection, automated emergency braking system intervenes to

stop the test vehicle. The proposed method is tested in a closed loop test environment that is prepared in IPG CarMaker and MATLAB/Simulink environment.

1. Giriş

Gelişmiş sürüş destek fonksiyonları tümüyle otonom araçlara giden yolda temel omurgayı oluşturmasının yanı sıra sürücülere konfor ve güvenlik sağlaması açısından günümüz araçlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, uyarlamalı seyir kontrolü, şeritten ayrılma uyarı sistemi, şerit takip sistemi ve kör nokta algılama sistemi gibi sistemler genellikle otoyol sürüşünü desteklemek için kullanılmaktadır. Tamamen otonom araç hedefine ulaşmak için gelişmiş sürüş destek sistemlerinin şehir içi kullanım için de evrilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, otomatik acil durum fren sistemi şehir içi sürüşte sürücüyü güvenlik açısından fayda sağlayacak önemli sistemlerden biri olarak görülmektedir.

Araç fonksiyonlarının güvenlik sınıflandırmasını yapan Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme), otomatik acil durum fren sisteminin kullanım alanlarını ve test kriterlerini belirlemiştir. Buna göre otomatik acil durum fren sisteminin güvenlik sınıflandırması test aracının önündeki durağan veya yavaşlayan araçlar, karşıdan karşıya geçen yayalar veya bisikletliler içeren çeşitli sürüş senaryolarında test edilmektedir.

Literatürde de otomatik acil durum fren sistemi üzerine farklı alanlarda birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, otomatik acil durum fren sisteminin araç dinamiklerinin ve aracın haberleşme performansı ile gerçekçi analizini yapılarak çarpışma üzerindeki etkileri incelenmiştir [1]. Yayaların dahil olduğu trafik kazalarındaki yaralanmalar daha ciddi sonuçlar ve can kayıpları doğurabildiği için acil durum freni şehir içi sürüş için oldukça önemli bir güvenlik önlemidir. Otomatik acil durum fren sistemlerinin kullanımının yaya ve bisikletliler için ölüm ve yaralanmaları ne kadar azalttığına dair çalışmalar yayınlanmıştır [2,3]. Bu bağlamda, yayaların dahil olduğu test senaryolarında aracın karar verme algoritmasının kritik hız belirleme çalışmasıyla [4], acil durum fren sistemi testleri için verimlilik ve hassaslık değerlendirilmesi yapılmıştır. Otomatik acil durum fren sistemlerine eşlik eden sürücü uyarı sisteminin analizi, arkadan çarpma senaryoları ve yayalar için otomatik

acil durum frenlemesi öncesinde çarpışma uyarı sisteminin devreye senaryolarda incelenmiştir [5]. Acil durum fren sistemine dış etmenlerin etkilerinin incelendiği, yayaların boyutu, hızı, yönü ve ortamın aydınlık seviyesini göz önünde bulunduran bir analiz de ortaya koyulmuştur [6].

Otomatik acil durum fren sisteminin kullanım senaryolarına kontrolsüz kavşaklarda sola dönüş senaryosu da Euro NCAP senaryo kataloğuna eklenmiştir. Bu duruma uygun olarak, sola dönüşlerdeki kazalarda otomatik acil durum fren sisteminin test aracında ve hem test hem de hedef araçta kullanılmasının kaza durumlarına etkisini incelenmiştir [7, 8]. Ayrıca sola dönüşlerde otomatik acil durum frenleme sisteminin aktifleşmesi için kullanılan çarpışma zamanı eşik değerlerinin değiştirilerek kaza oranlarının azaltılması üzerine bir çalışma yapmıştır [9]. Diğer bir çalışmada, otomatik acil durum fren sisteminin solda dönüşlerde yaya ve bisikletliler üzerinde etkisi değerlendirilmiştir [10].

Bu çalışmada, kontrolsüz kavşaklarda sola dönüşler sırasında standart otomatik acil durum fren sistemi uygulamalarına bir geliştirme olarak öngörülü acil durum fren sistemi önerilmiştir. Bu sayede test aracının acil durum frenleme sonrasında kavşak içinde durması yerine şeridinden ayrılmadan önce durması sağlanarak kavşak içi güvenliğinin artırılması amaçlanmıştır. Buna ek olarak standart acil durum frenlemesi sistemiyle kavşak içerisinde hedef aracın görüldüğü andan itibaren test aracının durmasına kadar geçen sürenin yeterli olmaması durumunun da önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

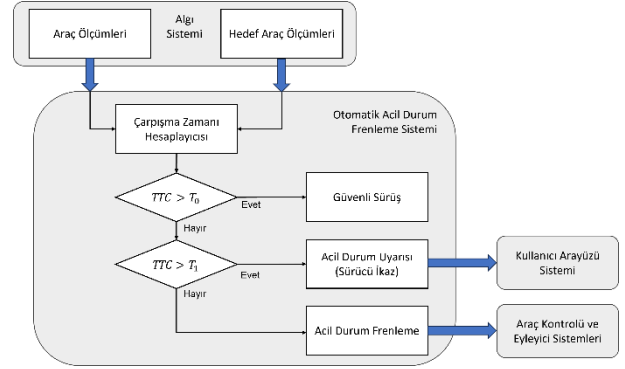
Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde sırasıyla standart otomatik acil durum frenleme sistemi ve önerilen öngörülü acil durum frenleme sistemi anlatılmış, dördüncü bölümünde öngörülü acil durum frenleme sisteminin testinde kullanılan simülasyon ortamı ve test sonuçları verilmiş, son bölümde ise sonuçlar ve gelecek çalışmalar verilmiştir.

2. Otomatik Acil Durum Fren Sistemi

Otomatik acil durum fren sistemi, acil durum oluşmadan önce çarpışma tehlikesine karşı sürücüyü uyararak, acil durum frenlemesi esnasında sürücünün tepkisinin yetersiz kaldığı (örneğin, fren pedalına yeteri kadar basılmaması) durumlarda sürücüyü desteklemek ve sürücünün çarpışmaya sebebiyet verebilecek tehlikeli durumlara tepkisiz kalma durumunda ise otomatik frenlemeyi başlatan gelişmiş sürücü destek ve otonom sürüş destekleme sistemidir.

Otomatik acil durum fren sistemi araçtaki algı sistemi, araç kontrolü ve eyleyici sistemleri ve kullanıcı arayüzü sistemiyle birlikte çalışmaktadır. Şekil 1'de örnek bir otomatik acil durum fren sistemi mimarisi ve temel yazılım blokları gösterilmiştir. Algı sisteminden aracın iç sensörlerinden hız, ivme gibi değerleri elde ölçülürken, algı sistemine bağlı çevre birimlerden (örneğin, radar kamera gibi) hedef aracın konum, hız ve ivme bilgileri hesaplanmaktadır. Anlık olarak paylaşılan algılama verilerini kullanarak otomatik acil durum fren sistemi, olası bir kaza (diğer bir deyişle çarpışma) tehlikesine bağlı olarak karar almaktadır.

Otomatik acil durum fren sisteminin frenleme kararının icrası Araç Kontrolü ve Eyleyici Sistemler üzerinden koordineli bir şekilde gerçekleşmektedir. Acil durum frenleme kararın icrasında ve bu durumdan kısa bir süre önce aktifleşen acil durum uyarısı sürücü ikaz kararı ise işlem Kullanıcı Arayüzü Sistemi üzerinden görsel, işitsel ve/veya dokunsal uyarıcılar ile gerçekleştirilmektedir.

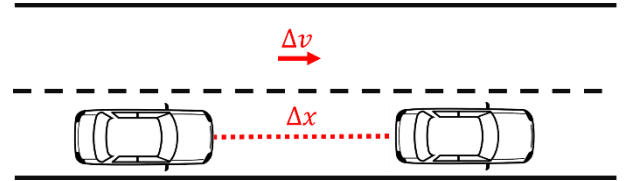


Şekil 1 – Otomatik acil durum frenleme sistemi

Otomatik acil durum frenleme sistemi, aldığı kararları öndeki aracın göreceli anlık hızına ve iki araç arasındaki mesafeye bağlı olarak hesaplanan çarpışma zamanı (TTC , Time To Collision) değerine göre belirlemektedir. Çarpışma zamanı (TTC) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$TTC = \frac{\Delta x}{\Delta v} \quad (1)$$

Burada Δx test aracı ile öndeki araç arasındaki mesafeyi, Δv ise test araç ile öndeki araç arasındaki göreceli hızı ifade etmektedir. Şekil 2'de örnek bir senaryo gösterilmiştir.



Şekil 2 – Örnek otomatik acil durum fren senaryosu

Otomatik acil durum frenleme sistemi, hesapladığı çarpışma zamanı değerine göre, kademeli olarak aksiyonlar almaktadır. İlk kademe, çarpışma zamanı değerinin belli bir eşik değeri üstünde olması ile tanımlanır ve güvenli sürüş olarak kabul edilir. Bu kademe otomatik acil durum frenleme sistemi aracı gözlemlemeye devam etmekle beraber doğrudan aktif rol almaz, sürücünün manevrasını güvenli bir şekilde tamamlaması beklenir. Bu aşama genellikle sürücünün gaz pedalına belirli bir değerden fazla bastığı durumlarda devre dışı kalır.

İkinci kademe çarpışma zamanı değerinin belli bir eşik değerinin altında olması ile çarpışma riskine karşılık sürücü ikaz edilir. Bu ikaz kullanıcı arayüzü sistemi üzerinden görsel, işitsel ve/veya dokunsal uyarıcılar ile yapılır. Bu kademe otomatik acil durum frenleme sistemi, sürücünün tepkisinin yetersiz veya sürücünün tepkisiz olması olasılığına karşı kontrol ve frenleme sistemlerini bilgilendirerek olası bir acil durum frenlemesi için aracı hazırlar.

Son kademe ise çarpışma zamanı değerinin kazaya sebebiyet verebilecek kadar düşük değerlere ulaşması ile acil durum frenleme desteği başlatılır. Bu destek, mevcut frenleme isteğinin otomatik acil durum fren sistemi tarafından artırılarak aracın frenleme sistemine iletilmesiyle gerçekleştirilebileceği gibi otomatik acil durum fren sistemi tarafından doğrudan da tetiklenmektedir. Bu aşamada yapılan frenleme ile sürücü tepkisinin yeterli kaldığı durumlar ve sürücü tepkisiz kaldığı durumları kapsamaktadır.

3. Öngörülü Otomatik Acil Durum Fren Sistemi

Otomatik acil durum fren sistemi, hedef araç ile test aracı arasındaki göreceli hız (Δv) ve konum (Δx) bilgisini kullanarak bir çarpışma zamanı hesaplar. Çarpışma zamanı, hedef aracın test aracının önünde tespit edildiği andan itibaren anlık konum ve hız bilgisine göre hesaplanır. Dolayısıyla kavşakta sola dönüş hareketi gibi manevralarda, karşı şeritten gelen araçlar gibi henüz test aracının önünde bulunmayan araçlar için sistem kullanılamaz. Dönüş sırasında hedef aracın, test aracının önünde tespit edilip çarpışma zamanı hesaplanması durumunda otomatik acil durum fren sistemi aracı kavşak içerisinde durdurabilir. Hatta güncel araçlarda direksiyon açısına bağlı olarak otomatik acil durum fren sisteminin devre dışı bırakılması yaygın bir uygulamadır. Dolayısıyla şehir içi kavşaklarda sola dönüş manevralarında standart acil durum frenleme sistemi yerine öngörülü bir acil durum frenleme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Önerilen öngörülü acil durum fren sistemi ile kontrolsüz kavşaklarda sola dönüş durumunda aracının dönüş manevrası başlangıcında henüz içinde bulunduğu şerit içerisinde durması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada önerilen kontrol algoritması karşı şeritten gelen aracın ve test aracının belirli bir zaman dilimi (veya zaman penceresi) içerisinde bulunacağı pozisyon ve hız durumlarını hesaplayarak olası bir çarpışmayı öngörmektedir. Bu zaman dilimi (veya zaman penceresi) öngörü ufkunu oluşturmaktadır ve öngörü ufkunun içerisinde çarpışmanın olduğu an iki araç arasındaki çarpışma zamanı olarak belirlenir.

Araçların öngörü ufkundaki pozisyon (\hat{X}) ve hız (\hat{V}) bilgileri hareket denklemleri ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\hat{X}_{test}(t) = X_{test}(t_0) + \hat{V}_{test}(t) \times t \quad (2)$$

$$\hat{V}_{test}(t) = V_{test}(t_0) + A_{test}(t_0) \times t \quad (3)$$

$$\hat{X}_{hedef}(t) = X_{hedef}(t_0) + \hat{V}_{hedef}(t) \times t \quad (4)$$

$$\hat{V}_{hedef}(t) = V_{hedef}(t_0) + A_{hedef}(t_0) \times t \quad (5)$$

Burada X_{test} , X_{hedef} , V_{test} , V_{hedef} , A_{test} , A_{hedef} değişkenleri hedef ve test araçlarının öngörü ufkunun başlangıcındaki (t_0 anı) anlık konumlarını, hızlarını ve ivmelerini vermektedir. \hat{X}_{test} , \hat{X}_{hedef} , \hat{V}_{test} , \hat{V}_{hedef} değişkenleri ise hedef ve test araçlarının öngörü ufkunun (t) içerisindeki tahmini konumlarını ve hızları vermektedir. Öngörü ufkunun başlangıcındaki test aracı pozisyonu ($X_{test}(t_0)$) manevranın başlangıç noktası olarak belirlendiği için 0 kabul edilmiştir. Hedef aracın başlangıç pozisyonu ($X_{hedef}(t_0)$) ise hedef aracın test aracına göre öngörü ufkunun başındaki pozisyonunu belirtmektedir. Öngörü ufkunu eşit aralıklarla bölünmüş bir zaman dizisi olarak tanımlanmıştır.

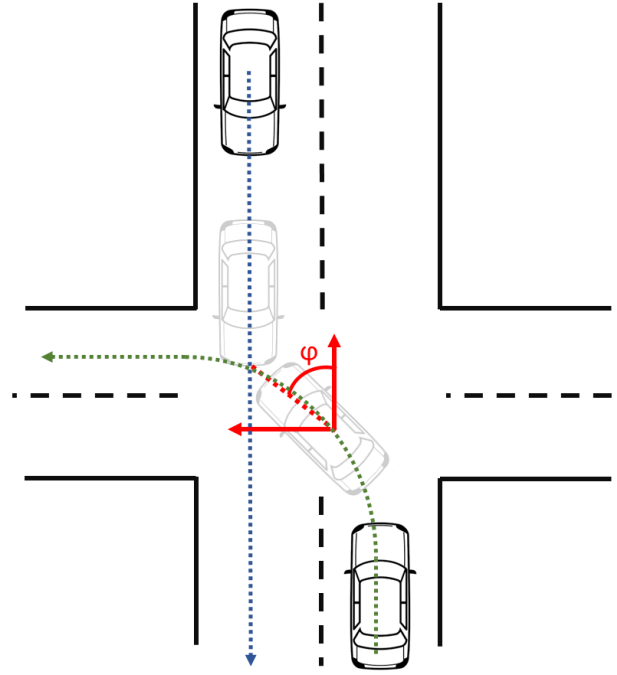
$$t = kT, \quad k \in [1, N] \quad (6)$$

Burada T öngörü ufkundaki zaman aralığını, k öngörü ufkunun içindeki zaman dilimlerini, N ise öngörü ufkunun içindeki zaman dilimi sayısını ifade etmektedir. Ayrıca NT değeri öngörü ufkunun toplam zaman penceresi uzunluğunu vermektedir.

Sola dönüş manevrasının başlamasından, test aracının kavşak içerisinde hedef aracın şeridinin ortasına ulaşmasına kadar geçen süre, öngörü ufkunun maksimum değerini vermektedir. Kavşak içerisinde seyahat etme süresi farklı test

aracı hızlarında farklı olacağı için, öngörü ufkunu test aracının hızına bağlı bir harita ile gerçekleştirilmiştir. Harita kalibrasyonunun yapılabilmesi için Euro NCAP sola dönüş test senaryolarından faydalanılmıştır. Euro NCAP standartlarında sola dönüş acil durum frenleme testleri için 10, 15 ve 20 km/s'lik senaryolar belirlenmiştir. Bu hızlara karşılık gelecek şekilde sırasıyla 4, 3 ve 2 saniyelik öngörü ufkuları doğrusal bir harita gerçekleştirilmesi ile yazılıma entegre edilmiştir.

Öngörü ufkunun içerisinde bir çarpışma meydana gelip gelmediği araçların birbirine en yakın dış noktaları arasındaki uzaklıklar ile tespit edilmektedir. Şekil 3'te olası bir çarpışma diyagramı olarak gösterilmektedir.



Şekil 3 – Sola dönüşte otomatik acil durum frenleme

Şekil 3'te görüldüğü gibi araçların birbirlerine en uç noktalarından çaptıkları durumda merkez noktalarının arasındaki uzaklık, araçların uzunluklarına (L), araçların genişliklerine (W) ve test aracının doğrultusuna, diğer bir deyişle sapma açısına, (ϕ) bağlı olarak hesaplanabilir.

$$\Delta_x(t) = \frac{L_{hedef}}{2} + \frac{L_{test}}{2} \times \cos(\hat{\phi}(t)) \quad (7)$$

$$\Delta_y(t) = \frac{W_{hedef}}{2} + \frac{W_{test}}{2} \times \sin(\hat{\phi}(t)) \quad (8)$$

$$\hat{\phi}(t) = \phi_{test}(t_0) + \dot{\phi}_{test}(t_0) \times t \quad (9)$$

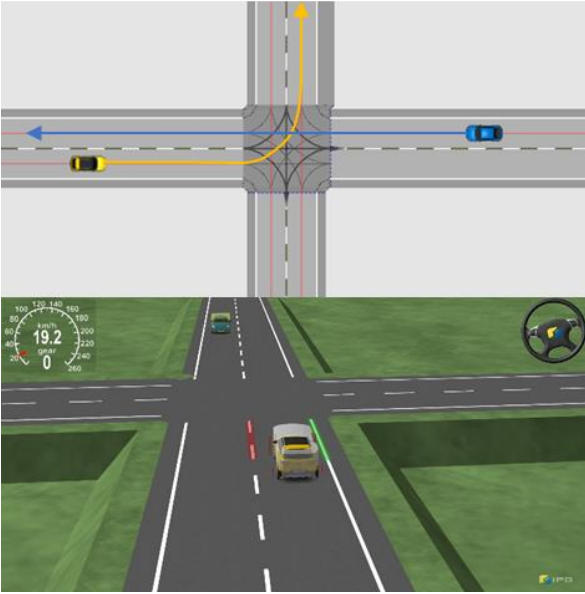
Burada $\hat{\phi}$ değeri öngörü ufkunda hesaplanarak test aracının öngörü ufkundaki tahmini doğrultusunu (sapma açısını) vermektedir. Buna göre, öngörü ufkundaki tahmini test aracı doğrultusu kullanılarak, test ve hedef araçlarının x ve y eksenlerindeki merkez noktaları arasındaki mesafeler ($\Delta_x(t)$ ve $\Delta_y(t)$) hesaplanmaktadır. Bu hesaplanan merkez noktaları arasındaki mesafelerinin güvenli sürüş limitlerinin altında kaldığı durumlarda, önerilen öngörülü acil durum frenleme sistemi algoritması öngörü ufkunda olası bir çarpışma tespit etmekte ve acil durum frenlemesini başlatmaktadır.

4. Benzetim Çalışmaları

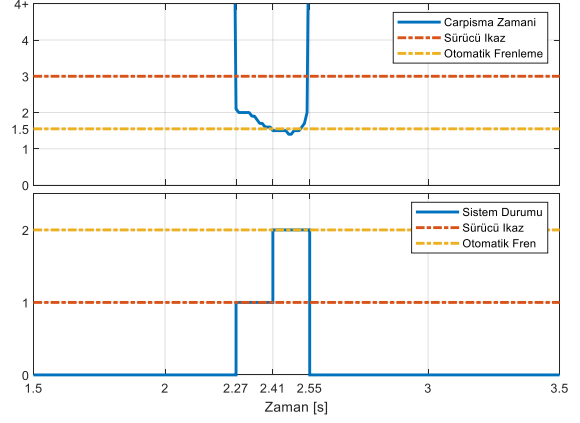
Otomatik acil durum fren sistemi algoritması testi için AVL Araştırma ve Mühendislik Türkiye şirketine ait Kia Niro EV test aracı modeli IPG CarMaker benzetim programında oluşturulmuştur. Bu benzetim programının Simulink arayüzü ile AVL'nin geliştirdiği baz otonom araç yazılımı kapalı çevrim araç kontrol test ortamına entegre edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen öngörülü acil durum fren sistemi ise bu kapalı çevrim test ortamı içerisinde halihazırda var olan acil durum fren sistemine entegre edilmiştir.

Benzetim ortamındaki test aracında standart otomatik acil durum frenleme sistemi halihazırda bulunduğu için öngörülü acil durum frenleme sistemi algoritması var olan araç yazılımı üzerinde çalışmaktadır. Ayrıca benzetim çalışmaları esnasında, test aracı sürücü kontrolörü tarafından kontrol edilen sola dönüş sinyalinin aktifleşmesi durumunda önerilen öngörülü otomatik acil durum fren sistemi devreye alınmış, standart acil durum frenleme sistemini devre dışı bırakan direksiyon açısı sınırı ise devre dışı bırakılmıştır. Benzetim için Şekil 4'te görülen 4-yol kavşağı hazırlanmış ve hedef araç (mavi araç) test aracının (sarı araç) dönüş yolunu kesecek şekilde konumlandırılmıştır. Hedef aracın başlangıç hızı ve konumu, test aracının başlangıç hızı ve konumuna göre acil durum frenleme sistemi devrede olmadığına kavşak ortasında bir çarpışma oluşacak şekilde ayarlanmıştır.

Acil durum fren sistemi devredeyken test aracı ve hedef araç kavşağa yaklaştıkça öngörü ufkunda kavşak içerisinde çarpışma öngörülmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi çarpışma zamanı öngörüsü, öngörü ufkü limitinin altına indiğinde algılanmaktadır. Çarpışma zamanının öngörü ufkü içinde yer aldığı an ile 1.5 saniyeden küçük olduğu ana kadar sürücü uyarı modu aktifleşmektedir. Çarpışma zamanı 1.5 saniyenin altına indiğinde acil durum frenleme modu aktifleşmekte ve araç durağan hala gelene kadar ($t=2.55s$) frenleme aksiyonuna devam etmektedir. Benzetim sonucunda acil durum fren sistemi sayesinde test aracının kavşak içine girmeden frenleme yaparak durduğu ve potansiyel bir kazayı önlediği görülmektedir.

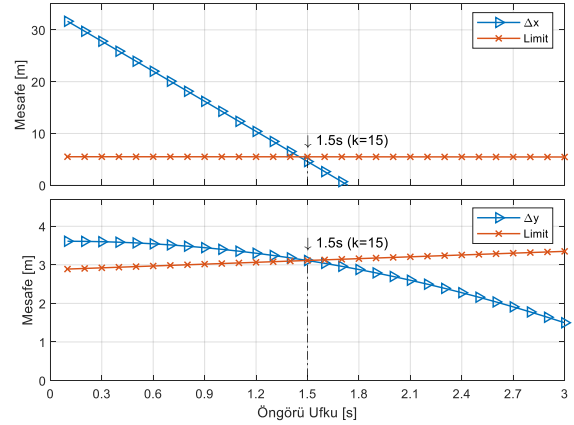


Şekil 4 – Sola dönüş otomatik acil durum frenleme testi için kontrolsüz kavşak modellemesi



Şekil 5 – Öngörülen çarpışma zamanına göre otomatik acil durum fren sistemi aktivasyonları

Otomatik frenlemenin devreye girdiği anki (Şekil 5'teki $t=2.41$ anı) öngörü ufkündeki dilimlerde hesaplanan çarpışma zamanları Şekil 6'da görülmektedir. İki araç arasındaki boylamsal mesafe farkı öngörü ufkunun 15. diliminde ($t=1.5s$) limitin altına inerken, yanal mesafe farkı da 15. dilimde ($t=1.5s$) limitin altına inmektedir. Dolayısıyla öngörülü otomatik acil durum frenleme algoritması 1.5 saniye sonra gerçekleşecek bir çarpışma öngörüsü yapmaktadır. Tespit edilen çarpışma zamanı 1.5 saniyelik frenleme aktivasyonu limitine ulaştığı için öngörülü otomatik acil durum frenleme sistemi $t=2.41$ anında frenleme moduna geçmektedir. Bu frenleme aktivasyonundan önceki 14 öngörü ufkü diliminde ise (yani $t=2.27$ anından itibaren) olası bir kaza ihtimaline karşı öngörülü otomatik acil durum frenleme sistemi sürücü ikazı yapmaktadır.



Şekil 6 – Öngörülen çarpışma zamanına göre otomatik fren aktivasyonu

5. Sonuçlar

Önerilen öngörülü otomatik acil durum fren sistemi, kontrolsüz kavşaklarda sola dönüşlerde meydana gelebilecek kazaların önlenmesi veya azaltılabilmesi için dönüş sırasında hedef araçların ve test aracının hareketini öngörü ufkü boyunca hesaplayarak olası kavşak içi kazaları tahmin etmektedir. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda, kavşak içerisinde olası bir kaza tespit edildiğinde fren sisteminin devreye girerek

test aracının şeridini terk etmeden durması sağlanmıştır. Böylece klasik acil durum fren sistemi uygulamalarında karşılaşılabilecek olan kavşak içinde hedef tespiti sonrası kavşak içinde frenleme ve durmanın önüne geçilmiştir. Bu sayede daha güvenli bir kavşak kontrolü sağlanmıştır. Acil durum frenlemesinin devreye girmesinden önceki aşama olan sürücü uyarı sistemi, çarpışma zamanı eşiği ile çarpışma tespiti yapılan öngörü ufku anı arasında devreye girmektedir. Sola dönüş süreci kısa bir zaman aldığı için sürücü uyarısı da kısa sürmektedir. Bu durumda sürücünün ikaz uyarısını algılayıp frenlemeyi kendisi yapması için yeterli zaman kalmayabileceği gözlenmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda, koordinat sistemi olarak araç koordinat sistemi kullanılması ve sağlayacağı faydaların gözlenmesi amaçlanmaktadır. Buna ek olarak araçlar arası haberleşme sistemlerinin eklenmesi ile iki araçta birden öngörülmesi acil durum fren sistemi olduğu durumda araçlar arasında bir koordinasyon sağlanması üzerinde çalışılacaktır.

Kaynakça

- [1] M. Segata ve R. Lo Cigno, "Automatic Emergency Braking: Realistic Analysis of Car Dynamics and Network Performance," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Cilt: 62, No: 9, s: 4150-4161, 2013.
- [2] H. Tan, F. Zhao, H. Hao, Z. Liu, A. A. Amer ve H. Babiker, "Automatic Emergency Braking (AEB) System Impact on Fatality and Injury Reduction in China," *International Journal of Environment Res. Public Health* Cilt: 17(3):917, 2020.
- [3] B. Sui, S. Zhou, X. Zhao ve N. Lubbe, "An Overview of Car-To-Two-Wheeler Accidents in China: Guidance for AEB Assessment," The 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Detroit, USA, 2017.
- [4] A. López Rosado, S. Chien, L. Li, Q. Yi, Y. Chen ve R. Sherony, "Certainty and Critical Speed for Decision Making in Tests of Pedestrian Automatic Emergency Braking Systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Cilt: 18, No: 6, s: 1358-1370, 2017
- [5] E. Coelingh, A. Eidehall ve M. Bengtsson, "Collision Warning with Full Auto Brake and Pedestrian Detection - a practical example of Automatic Emergency Braking," 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Funchal, Portugal, pp. 155-160, 2010.
- [6] A. Lopez, R. Sherony, S. Chien, L. Li, Y. Qiang ve Y. Chen, "Analysis of the Braking Behaviour in Pedestrian Automatic Emergency Braking," 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Gran Canaria, Spain, s: 1117-1122, 2015.
- [7] U. Sander, N. Lubbe ve S. Pietzsch, "Intersection AEB implementation strategies for left turn across path crashes," *Traffic Injury Prevention*, Cilt: 20(1), s: 119-125, 2019.
- [8] U. Sander, "Opportunities and limitations for intersection collision intervention-A study of real world 'left turn across path' accidents," *Accident Analysis & Prevention*, Cilt: 99(A) s: 342-355, 2017.
- [9] M. Bareiss, J. Scanlon, R. Sherony ve Hampton C. Gabler, "Crash and injury prevention estimates for intersection driver assistance systems in left turn across path/opposite direction crashes in the United States," *Traffic Injury Prevention*, Cilt: 20(1), s: 133-138, 2019.
- [10] Y. Zhao, D. Ito, ve K. Mizuno, "AEB effective evaluations by accident reconstructions using videos of drive recorders in perpendicular and turning carto-cyclist collisions," *Traffic Injury Prevention*, Cilt: 20(1), s: 100-106, 2019.