

# Şehir Trafığında Araç Müfrezesinin Dizi Kararlılığının Modellemesi ve Kontrolü

*Osman Taha Kutuk<sup>1</sup>, Ismail Bayezit<sup>2</sup>, Omer Kemal Kinaci<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Mekatronik Mühendisliği Bölümü  
Türk Alman Üniversitesi, İstanbul  
{kutuk@tau.edu.tr}

<sup>2</sup>Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
{bayezit@itu.edu.tr}

<sup>3</sup>Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
{kinacio@itu.edu.tr}

## Özetçe

Bu bildirinin amacı, yoğun bir otoyolda konvoylarda dizi kararlılığını sağlamak için orantılı integral (PID) kontrol tekniğinin uygulanmasını incelemektir. Kontrol stratejisi, bir PID kontrol algoritması tasarlamayı ve konvoyun istikrarlı ve senkronize bir hareketi sürdürmesi için araçlar arasındaki hız ve mesafeyi ayarlamayı içerir. Çalışma, trafik akış sürekliliğini artırmak için, değişen araç hızlarını hesaba katmak üzere PID kazancının araçlar arası mesafe kurallarına göre optimize edilmesini incelemiştir. Araç modeli ve müfrez modeli oluşturularak, hava sürtünme katsayısının etkisi dahil edilmiştir. Trafik kurallarındaki iki araç arası mesafe müfrez dinamiğinde ele alınıp incelenmiştir. Araç modeli ve müfrez modeli üzerinden yapılan simülasyonlar trafik kuralları kullanılarak değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan model doğrusallaştırılarak, merkezi bir kontrolcü ile araçların belirli bir süre boyunca takip mesafesini koruduğu ortaya konulmuştur. Sonuçlar, özellikle İstanbul gibi kentsel alanlarda trafik zorluklarını hafifletmek için potansiyel faydaları vurgulanarak gelişmiş trafik akışı, azaltılmış trafik sıkışıklığı ve artan dizi kararlılığı elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, verimli ve güvenli ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacak ve geleceğin akıllı trafik ağlarında PID optimizasyonu ve diğer kontrol uygulamaları için değerli bilgiler sağlayacaktır.

## Abstract

In order to establish string stability in vehicle platoon on a congested freeway, the deployment of a proportional integral (PID) control technique is the subject of this research. The goal of the control strategy is to keep the platoon's formation

stable and synchronized by creating a PID control algorithm and changing the speed and space between the vehicles. In order to improve traffic flow optimization, the study looks into optimizing the PID gain in relation to the inter-vehicle distance rules to account for varying vehicle speeds. The influence of the air friction coefficient is taken into consideration when building the vehicle model and the platoon model. The platoon dynamics takes into account and analyzes the distance between two vehicles according to traffic regulations. Simulations based on traffic laws are used to test the vehicle model and platoon model. The nonlinear model is made linear, and it is demonstrated that a central controller keeps the cars' following distance constant for a predetermined amount of time. The results improved traffic flow, decreased traffic congestion, and boosted string stability, underscoring the potential benefits to easing traffic issues, particularly in urban regions like Istanbul. The findings of this research will help create effective and secure transportation systems and offer insightful information for PID optimization and other control applications in future intelligent traffic networks.

## 1. Giriş

Çağdaş toplumda artan hareketlilik talebini karşılamak için otoyollar ve diğer ulaşım ağları etkin ve güvenli bir şekilde çalışmalıdır. Birbirine yakın giden araç gruplarından oluşan araç müfrezesi dizi kontrolü, otoyol performansını artırmak için olası stratejilerden biridir. Bununla birlikte, güvenlik ve enerji verimliliği için, araç müfrezesinin dizi kararlılığını ele almak zorunludur. Araç müfrezesinin davranışını düzenleme ve dizi kararlılığını koruma amacıyla, PID kontrol tekniği verimli bir şekilde uygulanabilmektedir. Popüler bir geri besleme kontrol tekniği olan PID kontrolü, bireysel araçların hızını ve ivmesini, önlerindeki araca olan mesafeye ve aracın hızına göre değiştirir. Müfrezedeki araçlar arası mesafe oransal, integral ve türev de-

gişkenleri tarafından yönetilir. PID kontrolü basit ve kullanımı kolaydır, ancak araç müfrezesi senaryolarında ortaya çıkan karmaşık dinamikler ve belirsizliklerle başa çıkmakta zorlanabilir.

[1] çalışmasında, trafik sıkışıklığı, sınırlı altyapı, hava kirliliği ve kazalara yol açan insan hataları sorunlarının ele alınmasında Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (ITS) önemini tartışmaktadır. Otonom sürüş ve işbirliğine dayalı sürüş tekniklerindeki gelişmelerin altını çizmekte ve ticari araçların müfrezelenmesi konusuna değinmektedir. Çalışmaları ile, ekiplerin kablosuz iletişim yoluyla işbirlikçi sürüş yeteneklerini sergilediği Hollanda GCDC 2011 yarışmasını katılmışlardır. Araçların uzunlamasına hareketi otonom olsa da, direksiyon hala insan sürücüler tarafından kontrol edilmekte olup, odak noktası, trafik sıkışıklığını azaltmak için araç takımlarının dizi kararlılığını geliştirmektir. Yazarlar bu yarışmaya katılmış ve teorik kontrol ve iletişim kavramlarını kullanarak kooperatif adaptif hız sabitleyici'nin (KAHS) pratik uygulamalarını geliştirmişlerdir. İnsan sürücü müdahalesinden kaynaklanan eksiklikler ve kaza riskleri, adaptif hız sabitleyici(AHS) kontrolörleri ve araçlar arasında kablo-suz müzakere yoluyla iyileştirmişlerdir.

Modern şehirlerin artan nüfus ve araç sayısı ile artan trafik sorunlarıyla karşı karşıya kaldığı bir gerçektir. Sıkışıklık, gecikmeler ve artan yakıt tüketimi gibi yoğun trafiğin olumsuz sonuçları, ulaşım sistemlerinin verimliliği ve sürdürülebilirliği için önemli bir endişe kaynağıdır. Bu bağlamda, araştırmacılar ve mühendisler, trafik akışını iyileştirmek ve trafik sıkışıklığını azaltmak için farklı kontrol yöntemleri ve stratejileri üzerinde çalışmaktadırlar.

Yine [2] çalışmasında, ilk olarak CarSim ve Matlab araçları yardımıyla verimli araç modelleme ve parametre tanımlama anlatılmıştır. Ardından, güvenli müfrezesiz oluşturma, değerlendirme kriterleri ve akıllı araçlarda standart adaptif hız sabitleyici uygulamasının ayrıntıları verilmiştir. Daha sonra, aynı aralık politikasını ve güvenlik gereksinimlerini koruyarak daha istikrarlı ve sağlam sürüş için müfrezesiz topoloji ve araç sıralamasının öneminden bahsedilmiştir.

[3] üzerinde görülen yazarların yaptıkları çalışmada bir araç takımında araçlar arası mesafeyi ve hızı kontrol etmek için bir model öngörülü kontrol (MÖK) yaklaşımı kullanılmışlardır. Amaç, araç aralığını optimize ederek yol güvenliğini artırmak ve yakıt tüketimini en aza indirmektir. Doğrusal olmayan dinamik model doğrusallaştırılır ve merkezi bir kontrolör bir zaman ufku boyunca araç ivmelerini düzenler. Yaklaşım, sabit ve zamanla değişen hız referans değerleri ile iki vaka çalışmasında test edilmiş ve özellikle sabit hız durumu için etkinlik göstermiştir. Çalışmalarında kullandıkları araç dinamiği ve hareket denklemleri çalışmamıza da ışık tutmuştur.

Bu çalışmanın sonuçları, trafik akışının iyileştirilmesi, tıkanıklığın azaltılması ve dizi kararlılığının artırılması gibi önemli katkılar sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmanın sonuçları, geleceğin ulaşım sistemi geliştirme ve trafik yönetimi alanında karar vericiler ve mühendisler için önemli basit bir rehber niteliği taşıyacaktır. Ayrıca akıllı ulaşım ağlarında potansiyel PID kontrol ve optimizasyon uygulamalarına ilişkin yeni bilgiler sağlayabilir. PID kontrolü ile otoyollarındaki araç müfrezesi senaryolarında dizi kararlılığına ulaşmak ve trafik akışını optimize etmek için etkili kontrol stratejilerinin anlaşılmasına da katkıda bulunacaktır.

## 2. Araç ve Müfrezesiz Dinamikleri

Araç dinamikleri ve müfrezesiz matematiksel modeli bu bölümde açıklanmaktadır

### 2.1. İsimlendirme

Çalışmada görülebilecek tüm parametre ve sembollerin isimlendirilmesi ve birimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: İsimlendirme

Sembol	Tanım	Birim
$mg$	Araç Ağırlığı	$\frac{m}{s^2}$
$\theta$	Yol açısı	$rad$
$x$	Doğrusal yer değiştirme	$m$
$\dot{x}$	Doğrusal hız	$\frac{m}{s}$
$\ddot{x}$	Doğrusal ivme	$\frac{m}{s^2}$
$F_{xf}$	Ön tekerlek kuvveti	$N$
$F_{xr}$	Arka tekerlek kuvveti	$N$
$F_x$	Kuvvetlerin toplamı	$N$
$R_{xf}$	Ön tekerlekler direnç kuvveti	$N$
$R_{xr}$	Arka tekerlekler direnç kuvveti	$N$
$R_x$	Direnç kuvvetlerinin toplamı	$N$
$F_{aero}$	Aerodinamik sürüklenme kuvveti	$N$
$F_{road}$	Kuvvet sonucu $\theta$	$N$
$\rho$	Hava yoğunluğu	$\frac{kg}{m^3}$
$C_d$	Aerodinamik sürüklenme katsayısı	—
$A$	Araçın $F_{aero}$ karşı alanı	$m^2$
$d$	İki araç arasındaki mesafe	$m$
$x_i$	Öncü aracın konumu	$m$
$l_i$	Öncü aracın uzunluğu	$m$
$L$	İstenen sabit mesafe	$m$
$e_p$	Hata sinyali	—
$F(t)$	Öncü araç için hızlanma sinyali	—
$G_L(s)$	Öncü araç transfer fonksiyonu	—
$G_P(s)$	Önceki araç transfer fonksiyonu	—
$K$	Aralık politikası sabit blok	—
$x_L(t)$	Öncü araç konum sinyali	—
$x_P(t)$	Önceki araç konum sinyali	—
$x'_L(t)$	Öncü araç hız sinyali	—
$x'_P(t)$	Önceki araç hız sinyali	—

### 2.2. Araç Modeli

Her aracın kendi dinamik parametreleri vardır, ancak dinamik prensibi hepsi için aynıdır. Bu bölümde, araç dinamiği oluşturmak için Newton'un ikinci yasasını kullanıyoruz.

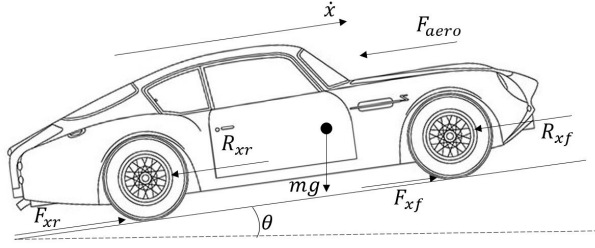
Şekil 1'den de görüleceği üzere;

$$m\ddot{x} = F_x - R_x - F_{aero} - F_{road} \quad (1)$$

Dönme direncini ve yol açısını sıfır olarak alırsak,  $F_{road}$  ve  $R_x$ ' de sıfır olacaktır.

Araçın ön bölgesine etki eden hava direnci için;

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \rho C_d A V \quad (2)$$



Şekil 1: Araç Dinamikleri.

Sistem dinamik denklemlerini aşağıdaki gibi ifadeler vereerek yazabiliriz;

$$m\ddot{x} = F_x - \frac{1}{2}\rho C_d A V \quad (3)$$

Denge noktası  $\dot{x} = 20[m/s]$  etrafında Taylor açılımı ile doğrusallaştırmadan sonra basit araç dinamiklerimiz şu şekilde gösterilecektir;

$$m\ddot{x} = \frac{1}{m}F_x - 20\frac{1}{m}\rho C_d A \dot{x} + 200\frac{1}{m}\rho C_d A \quad (4)$$

### 2.3. Hava Direncinin Etkisi

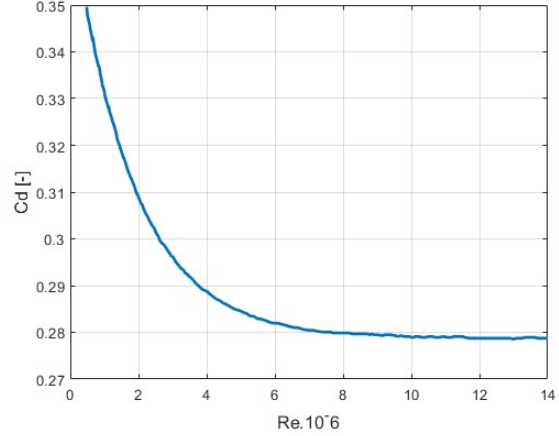
Sürtünme katsayısı ( $C_d$ ) bir aracın havada hareket ederken karşılaştığı direncin bir ölçüsüdür. Daha düşük bir  $C_d$  değeri daha aerodinamik bir geometriye işaret eder, bu da hava direncinin azalmasına ve aerodinamik performansın artmasına neden olur.  $C_d$  değeri araç dinamiklerini çeşitli şekillerde etkiler. İlk olarak, daha yüksek bir  $C_d$  değeri hava direncini artırarak hızlanmanın, son hızın ve yakıt verimliliğinin azalmasına neden olur. İkinci olarak, çapraz rüzgarlar veya yüksek hızlı manevralar sırasında artan yanal kuvvetlere neden olarak dengeyi etkileyebilir. Son olarak, daha yüksek  $C_d$  değeri, sürtünmenin üstesinden gelmek için daha fazla güç gerektirir ve bu da daha yüksek yakıt tüketimine neden olur.  $C_d$  araç dinamiğini etkileyen önemli katsayılardan biridir. Bu değer ne olacağı bu bölümde analiz edilmektedir.

$C_d$  üzerine yapılan bir çalışmada, sıfır sapma açısında Ahmed gövdesinin 4,7 katı olan  $4,91 \times 1,83 \times 1,35$  m boyutlarındaki bir gövde üzerinde 2 milyon ve 13 milyon Reynolds sayısı aralığında  $C_d$  katsayısını Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak deneysel olarak incelemiş ve sonuç olarak  $C_d$  katsayısının sabit alınabileceği yönünde bir sonuç elde etmişlerdir.[4] Şu anda trafikte görebildiğimiz küçük boyutlu bir elektrikli araç olan Renault Zoe e-Tech aracının boyutları üzerinden  $C_d$  katsayısının ne olabileceği çıkarımını yapabiliriz. [5]

Tablo 2: Araç Boyutları

Araç	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik	Alan
Ahmed Body	4.91	1.83	1.35	2.4705
Renault Zoe	4.087	1.562	1.506	2.3524

Belirlediğimiz aracın Tablo 2’de kullanılan Ahmed Body’nin boyutlarına ve alanına yakın değerlere sahip olduğunu görüyoruz. Bu aracın trafikte gidebileceği en düşük hızı  $30[km/h]$  ve havanın kinematik viskozitesini  $15.06 \cdot 10^{-6}[m^2/s]$  olarak belirlediğimizde  $20^\circ$ ’de ; Reynolds sayısı  $2.261 \cdot 10^6$  olacaktır. Aynı hesaplamayı Ahmed Body için yaptığımızda Reynolds sayısı  $2.717 \cdot 10^6$  olacaktır.



Şekil 2: Reynolds Sayısına Karşı Sürtünme Katsayısı. [6].

$$C_d = 0.2788 + 0.0915 \cdot e^{\left(\frac{-Re \cdot 10^{-6}}{1.7971}\right)} \quad (5)$$

Bu durumda Şekil 2’de görülen çalışmada, (5) denklemindeki sürtünme katsayısının ampirik ifadesini kullanmak bizi daha doğru bir sonuca götürecektir.

### 2.4. Araç Müfrezesi

Dizi kararlılığı, trafik akış kontrolünde, özellikle de araç müfrezesi bağlamında kritik bir kavramdır. Bir grup aracın sabit bir hızda seyahat ederken ivmelenme ve frenleme esnasında veya diziyi bozabilecek bir aracın dahil/hariç olması durumlarında aralarındaki mesafeyi veya boşluğu sabit tutma becerisini ifade eder. Dizi kararlılığı, trafik sıkışıklığını önlemek ve düzgün ve verimli bir trafik akışı sağlamak için gereklidir. Dizi kararlılığı problemi, aralarındaki boşluğun sabit kalmasını sağlamak için tek tek araçların hızını ve ivmesini düzenleyebilen kontrolörlerin tasarlanmasını içerir. Etkili dizi kararlılığı kontrol mekanizmaları trafik akış verimliliğini önemli ölçüde artırabilir, yakıt tüketimini azaltabilir ve kaza olasılığını en aza indirebilir. Bu nedenle, trafik kontrolü ve yönetimi alanında çok önemlidir.

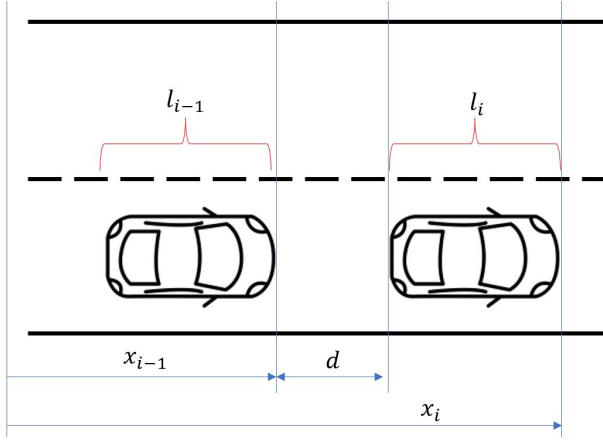
Trafik sabit aralık politikası ile dizi kararlılığı kontrolü için matematiksel ifadeyi yazabiliriz, adımlar şunlardır:

$$x_i - x_{i-1} = L \quad (6)$$

$$L = l_i + d \quad (7)$$

$L$  ifadesi, istenen mesafenin ve lider aracın uzunluğunun toplamı olan sabittir.

$$x_i - x_{i-1} - L = 0 \quad (8)$$



Şekil 3: Lider ve önceki araçlar arasındaki boyutlar.

Bu istenen ifadedir. İncelenecek bir hata parametresi olduğunda ifade şu şekilde olur;

$$e_p = x_i - x_{i-1} - L \quad (9)$$

Dizi denge kontrolü için,  $e_p \rightarrow 0$  konum hatasını ve önceki aracın ivmesinin  $\ddot{x}_{i-1} \rightarrow 0$  olmasını istiyoruz. [7]

İki araç arasında mesafe kontrolünü trafik kurallarında skaler hızın yarısının mesafe olarak belirlenmesini matematik model olarak ortaya koyup kullanmak istersek;

$$x_i - x_{i-1} = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} x_i \quad (10)$$

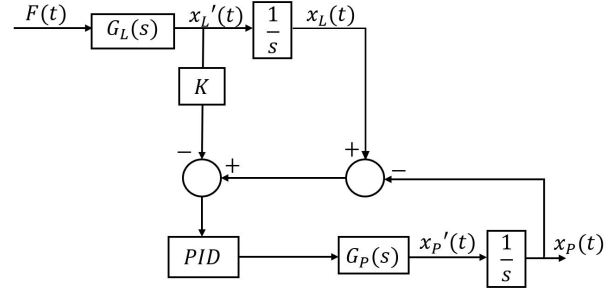
Bu şekilde ifade edebilir. Simulink simülasyonunda, bu denklem lider ve önceki araçlar arasındaki mesafeyi oluşturmak için kullanılacaktır. Bu ifadenin sabit istenen mesafeye göre daha verimli olduğu sonuçlarda gösterilecektir.

### 3. Kontrol Yöntemi

Araçtan araca iletişim ve otonom sürüş sistemleri gibi modern teknolojileri kullanan araç müfrezesi, yakın ve koordineli bir şekilde hareket eden bir grup aracı tanımlar. PID kontrolü gibi kontrol teknikleri, bir müfrezenin aralıklarını ve koordinasyonunu doğru seviyelerde tutmak için kullanılır. Müfrezedeki her araç, önündeki aracın hızına ve araçtan uzaklığına bağlı olarak hızını ve ivmesini değiştiren bir PID denetleyicisine ve sensöre sahiptir. Belirli bir aracın araçlar arası mesafesi sinyali ve gerçek araçlar arası mesafe (ölçülen süreç değişkeni) çok önemlidir. Kontrolör, oransal, integral ve türev terimlerini kullanarak aracın hızlanmasını veya hızını etkileyen önemli değerlere göre uygun bir kontrol sinyali oluşturur. Bu sinyal ile gerçek mesafe arasındaki fark yani hata sifra inecek şekilde döngü işlemeye başlar.

Şekil 4'te görülebilen çalışmamızda, oransal, integral ve türev terimleri ayarlama aracı kullanılarak belirlenecektir. Bu sabitleri etkili bir yol ile belirlediğimizde şu şekilde elde ederiz;  $K_p = 195.8$ ,  $K_d = 2875.6$ ,  $K_i = 2$ .

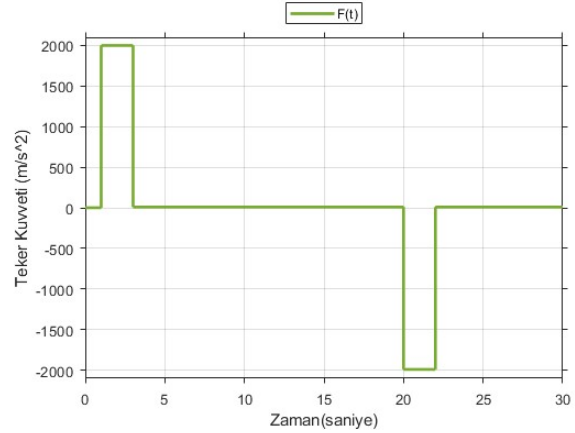
Simulink modelinde de bulunan araç dinamikleri Şekil 4 üzerinde görülebilir. Reynolds sayısı ve ortam sıcaklığına bağlı olarak hava sürtünme  $C_d$  katsayısının hesaplanması eklenmiştir, aralık politikası bloğu Şekil 4'te  $K$  olarak gösterilmektedir.



Şekil 4: Sistemin Genel Blok Diyagramı.

### 4. Simulasyon Sonuçları

Giriş sinyali, lider aracın 1. ve 3. saniye aralıklarında 2000 N'luk bir kuvvetle hızlandığı ve 20. ve 22. saniye aralıklarında -2000 N'luk negatif bir kuvvetle fren yaptığı bir hızlanma senaryosu olarak ayarlanmıştır. Bu senaryo aracın trafikteki ilerleyişine göre doğal olarak karmaşıklılaşıp değişebilecektir.

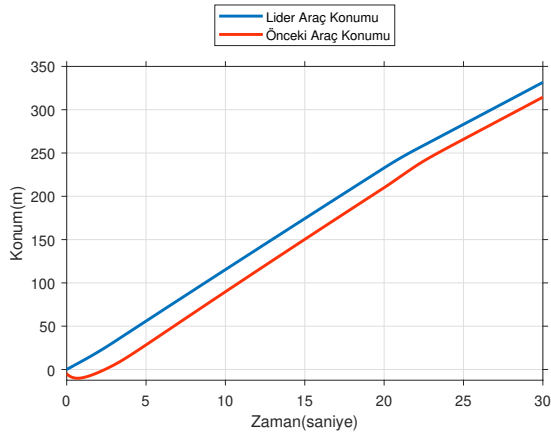


Şekil 5: Referans Kuvvet Sinyali.

Lider araç ve önceki araç arasındaki ilk mesafe 5[m], lider aracın başlangıç hızı 10[m/s], önceki aracın başlangıç hızı 0[m/s] olarak belirlenmiştir.

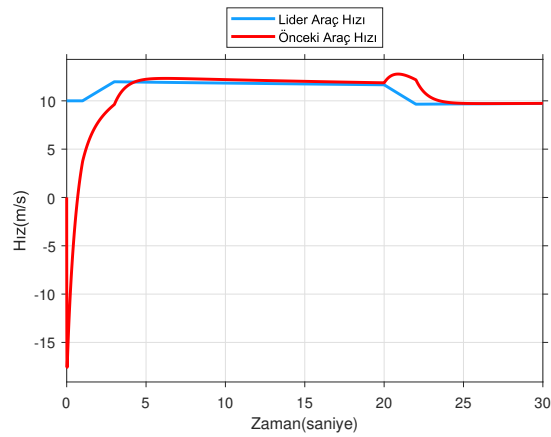
İki aracın birbirine göre hareketini incelemek için simülasyon 200 saniye boyunca çalıştırılmıştır. Ancak 30 saniye için anlamlı sonuçlar elde edildiği görülmüş ve bu zaman aralığındaki grafikler paylaşılmıştır. Bu durumda araçların konum değişimi incelenmiş ve ivmelenmeler haricinde hızlarının eşitlendiği görülmüştür. Yakınlık analizi yapılarak herhangi bir çarpışmadan kaçınıldığı ve hata sinyalinin sifra yakınsadığı tespit edilmiştir.

Bu sonuç bize PID kontrolörünün bu durum için yeterli çözüme sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan, verimli bir kontrol algoritması belirlemek için diğer kontrol algoritmaları ile eleştiriye ve karşılaştırmaya açık olacaktır.



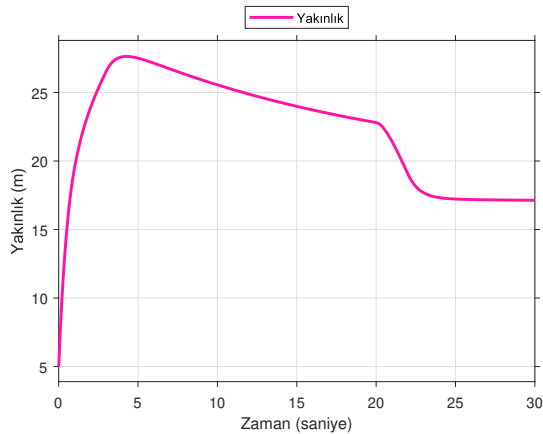
Şekil 6: Lider Araç ve Takipçi Aracın Konumu.

Şekil 6'dan görüleceği üzere lider ve önceki araç arasındaki mesafe lider aracın hızına göre sürekli olarak korunmuştur.



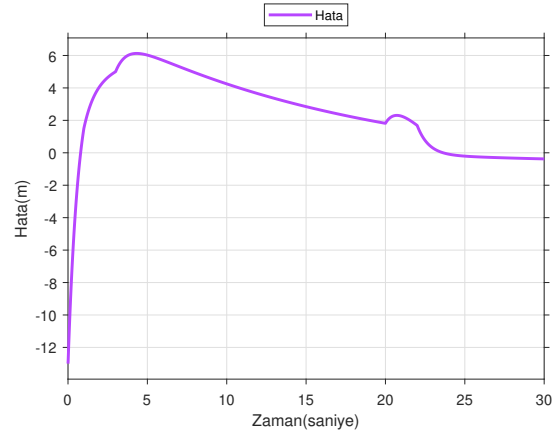
Şekil 7: Lider Araç ve Takipçi Aracın Hızları.

Şekil 7'den lider aracın ivmelenme ve frenleme sonrası hızının  $10m/s$  olduğu görülebilir.



Şekil 8: Lider Araç ve Takipçi Araç Arasındaki Mesafe.

Hızların değişimine göre kontrolcü mesafe ayarlamasını yapmıştır. Şekil 8 üzerinden araçlar arasındaki mesafenin denklem (10) ile  $km/saat$  niceliği üzerinden hesaplanarak herhangi bir giriş sinyalinin olmadığı ve araçların rejime girdiği 5. ve 20. saniye aralığında önceki aracın mesafeyi kapatmaya çalışarak 22 metreye yakınsaması ve 25. saniye sonrasında 18 metreye yakınsayarak yerleşmesi gerektiği Şekil 7'deki hızlar ile hesaplanarak görülecektir.



Şekil 9: Lider Araç ve Takipçi Araçlar Arası Konum Hatası.

Şekil 9'dan görüleceği üzere giriş sinyalimize göre ve kontrol algoritmamız sonucunda, hata sifra yakınsamıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları verilen başlangıç şartlarına ve modele göre kontrolcünün işleyişiyle istenen aralıklarda kalmış ve uygunluğu seyretilmiştir.

## 5. Sonuçlar

Araç modeli itici teker kuvveti ve hava direnci kuvveti kullanılarak oluşturulmuş, araç hızının  $20 m/s$  olduğu denge noktası civarında doğrusallaştırılarak model oluşturulmuştur. Model içine hava sıcaklığı parametresine bağlı olarak (5) denkleminde yer alan ampirik ifade ile hava sürtünme katsayısı hesaplanmış ve modele her iki araç için de yerleştirilmiştir. Araçlar arası olması gereken aralık modeli trafik politikası üzerinden birimi  $km/saat$  olmak kaydıyla öndeki araç hızının yarısını birimi metre cinsinden olacak şekilde belirlemiş ve MATLAB/Simulink üzerinden simülasyonlar yapılmıştır. Kontrol simülasyonunda araç modelleri üzerinde PID uygulanmıştır. Araçlar arasında sabit bir mesafe yerine aracın önündeki aracın hızının yarısı kadar bir mesafe hem trafik kurallarına uyum açısından hem de PID denetleyici ile araçlar arasındaki mesafenin korunması açısından daha verimli bir şekilde belirlenmiştir. Lider araca verilen ivmelenme ve frenleme sinyali sonrasında önceki aracın mesafeyi istenen seviyeye getirdiği herhangi bir çarpışma durumunun olmadığı, hatanın sifra yakınsadığı görülmüştür. Araç modelinin matematiğinin oluşturulması ve bu modeldeki parametrelerin ayrıntılı incelenmesinde bir ufuk açarak ileriki çalışmaların ana ve ince hatlarına katkıda bulunmaya destek olmuştur. Araç modeli optimizasyonuna katkıda bulunmuştur.

Bu çalışma ilerde yapılacak ve daha fazla otonom araçtan oluşan bir müfrezenin model öngörülü kontrol(MÖK) gibi farklı kontrol yöntemleriyle ilerletilmesinde bir basamak olacaktır. İleriki çalışmalar VISSIM gibi simülörlerde İstanbul gibi trafik problemi had safhada olan şehirlerin otoyollarında simule edilebilecektir.

## 6. Kaynakça

- [1] I. Bayezit, T. Veldhuizen, B. Fidan, J. P. Huissoon and H. Lupker, "Design of string stable adaptive cruise controllers for highway and urban missions," 2012 50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton), Monticello, IL, USA, 2012, pp. 106-113, doi: 10.1109/Allerton.2012.6483206.
- [2] I. Bayezit, B. Fidan, J. P. Huissoon, "Adaptive cruise control of vehicle platoons with wireless state information." 2013 IFAC Proceedings Volumes, 46(25), 19-24. doi: 10.3182/20130916-2-TR-4042.00042
- [3] S. Graffione, C. Bersani, R. Sacile and E. Zero, "Model predictive control of a vehicle platoon," 2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE), Budapest, Hungary, 2020, pp. 513-518.
- [4] Bayraktar, I., Landman, D., and Baysal, O., "Experimental and Computational Investigation of Ahmed Body for Ground Vehicle Aerodynamics," SAE Technical Paper 2001-01-2742, 2001
- [5] Renault Türkiye. (20.05.2023). Teknik Bilgiler - Yeni ZOE. [Online]. URL:<https://www.renault.com.tr/elektrikli-araclar/yeni-zoe/teknik-bilgiler.html>
- [6] F.J. Bello-Millán, T. Mäkelä, L. Parras, C. del Pino, C. Ferrera, "Experimental study on Ahmed's body drag coefficient for different yaw angles," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 157, pp. 140-144, 2016.
- [7] Rajamani, R. (2011). "Vehicle dynamics and control. Springer Science and Business Media."