

# Otomatik Paralel Park Manevrasının Değerlendirilmesi ve CARLA Simülasyon Ortamında Uygulanması

## Assessment of Automated Parallel Parking Maneuver and Implementation in the CARLA Simulation Environment

Bekir Öztürk<sup>1</sup>, Mert Eren<sup>1</sup>, Emre Kaynar<sup>1</sup>, Elçin Gençtürk<sup>1</sup>, Namık Zengin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AVL Research and Engineering  
Istanbul, Turkey

{bekir.ozturk, mert.eren, emre.kaynar, elcin.gencturk, namik.zengin}@avl.com

### Özetçe

Günümüzde, dünya nüfusundaki hızlı artış ve şehirleşme, özellikle büyük şehirlerde park yeri bulmayı giderek zorlaştırmaktadır. Otomatik Park Sistemleri (APA), sürücülerin park etme sürecini kolaylaştırmak ve trafik akışını iyileştirmek için tasarlanmış çözümlerdir. Bu sistemler, paralel park manevraları gibi zorlu park etme işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirerek sürücülerin konforunu artırmakta ve trafik stresini azaltmaktadır. Bu çalışmada, paralel park etme işlemi için bir yol planlama ve kontrol algoritması geliştirilmiş ve performansı belirlenen test senaryolarıyla değerlendirilmiştir. Yol takibi için PID kontrolcüsü ve Stanley kontrolcüsü kullanılmıştır. Çalışmada, Anahtar Performans Göstergeleri (KPI) belirlenerek park manevralarının performansı analiz edilmiştir. Otomatik park sistemlerinin değerlendirilmesi, sürücülerin konforunu ve güvenliğini artırmak için etkili bir çözüm olduğunu vurgulamaktadır. Çalışma sonucu incelendiğinde araç hızının ve direksiyon açısı değişim hızının park manevrasının performansını belirlemede öncü gösterge olduğu gözlemlenmiştir.

### Abstract

In today's world, rapid population growth and urbanization are making it increasingly difficult to find parking spaces, especially in large cities. Automated parking systems are designed solutions to facilitate the parking process for drivers and improve traffic flow. These systems automatically perform challenging parking maneuvers such as parallel parking, enhancing driver comfort and reducing traffic stress. In this study, a path planning and control algorithm was developed for parallel parking, and the performance of the system was evaluated through various test scenarios. PID and Stanley controllers were used for path tracking. The effectiveness of parking maneuvers was analyzed by defining Key Performance Indicators (KPIs). The evaluation of automatic parking systems highlights their effectiveness in enhancing driver comfort and safety. The study findings indicate that vehicle speed and steering angle rate change play a leading role in determining parking maneuver performance.

### 1. Giriş

Günümüzde, dünya nüfusundaki hızlı artış ve şehirleşme, özellikle büyük şehirlerde park yeri bulmayı giderek zorlaştırmaktadır [1]. Kalabalık şehirlerin alışveriş merkezleri veya sokakları gibi yerlerdeki park yerleri, kapasiteyi en üst düzeye çıkarmak için dar ve kısa inşa edilmiştir [2]. Bir aracı park etmek, özellikle bu tip durumlarda hem amatör hem de deneyimli sürücüler için zorlu bir iştir bu yüzden de park manevrası sırasında çok dikkatli olunması gerekmektedir. Deneyimli sürücüler bile, park esnasında ufak kazalarla karşılaşabilmektedir [3]. Ayrıca, tek bir manevrada park edilemeyen durumlar trafik sıkışıklığının artmasına yol açmaktadır [4]. Sonuç olarak, manuel bir şekilde aracı park etmek araba için zarar verici ve sürücü için stresli olabilmektedir. Bu nedenle APA sistemleri, sürücülerin konforunu ve güvenliğini artırmaya yönelik bir çözümdür. Ayrıca, manevra sayısının azaltılarak park süresinin düşürülmesi yoldaki sirkülasyonu iyileştirecek ve yol kullanıcılarının stresini azaltacaktır [3].

Farklı yaklaşımlar olmasına rağmen park metotları temel olarak dikine park, paralel park ve çapraz park olmak üzere üç grupta değerlendirilebilir [5]. Paralel park manevrası, bir aracın park halindeki diğer araçlarla aynı hızda, yola paralel bir şekilde park edilmesini sağlayan bir yöntemdir [6]. Bu manevra genellikle, tespit edilen park alanını hafifçe geçerek başlar. Ardından park edilmiş diğer araçlar ile arasında güvenli bir mesafe bırakılarak geri geri hareket edilir ve park alanına yerleşilerek tamamlanır [7].

Literatürde yer alan çalışmalarda, paralel park etme sürecinin tamamlanması genel olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir: park alanının algılanması, konumlandırma ve oluşturulan yol planının gerçekleşmesi. İlk olarak uygun bir park alanının araç üzerinde yer alan sensörler yardımı ile algılanması gerekmektedir. Örneğin, ultrasonik sensörler kullanılarak park alanının uzunluğu ve genişliği taranarak, park alanının tespit edilmesi yaygın bir çözümdür [8]. Başka bir çözüm ise, aracın etrafına yerleştirilmiş kameralar aracılığıyla görüntü işleme yöntemleri kullanılarak park alanının tespit edilmesi sağlanabilmektedir [9]. Sürüş kararlarının doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için araç konumunun doğru bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Genellikle araç uygulamaları için kullanılan Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) ucuz ve kolay erişilebilir

bir çözüm sunmasına rağmen güvenilirlik açısından sınırlamalara sahiptir [10]. Bu nedenle, otonom park uygulamaları söz konusu olduğunda doğru ve güvenilir konumlandırma sistemlerinin geliştirilmesi için gelişmiş sensörlerin (IMU, LIDAR, kamera vb.) birleştirilmesi ile konumlandırma sistemlerinin iyileştirilmesine odaklanılmaktadır [11].

Literatürde paralel park probleminin çözümü için pek çok yörengel oluşturma yöntemleri önerilmektedir. Genetik Algoritma (GA) kullanılarak paralel park için optimal bir yörengel planı oluşturulabilmektedir [12]. Bu tür bulanık mantık ve yapay sinir ağı yöntemlerine dayanan çalışmalar verimli bir çözüm sunsalar dahi öğrenim sırasında ihtiyaç duyulan insan bilgisi sınırlı olabilmektedir. Hibrid A\* ve Optimizasyon Tabanlı Çarpışma Önleyici (OBCA) algoritmalarının birleştirilmesi ile kombine bir park etme algoritması da uygulanabilmektedir [13]. Ancak bu tür çalışmalar yüksek miktarda hesaplama yükünü beraberinde getirmektedir.

Yapılan bu çalışmada kolayca entegre edilebilen ve geometrik dairesel hesaplamalara dayanarak geliştirilmiş olan yol planlama ve takip algoritmaları [14], CARLA ortamına entegre edilmiş ve paralel park etme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, aracın arka aks merkezi referans alınarak park alanındaki diğer araçlar ile yatay mesafe ve aracın maksimum dönme açısı değerleri hesaba katılarak oluşturulan dairesel yol planının takip edilmesi sağlanmıştır.

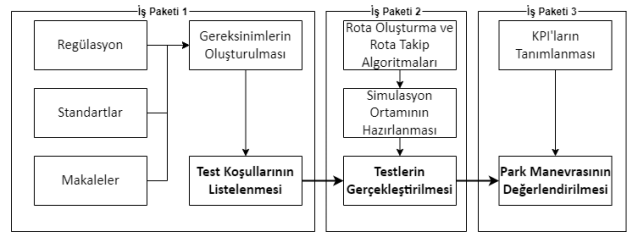
Yukarıda da belirtildiği gibi bir aracın APA sistemine sahip olmasının yanında, park manevralarının güvenli ve konforlu olması da son kullanıcı noktasında oldukça önem taşımaktadır. Literatürde gerek manuel gerek de otomatik park manevralarının objektif verilerle analizinin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır [18, 19, 20]. Bu çalışmada da tasarlanan sistem, güvenlik, konfor ve performans açısından belirlenen KPI'lar ile değerlendirilmiştir. Bu süreçte APA ve benzeri park sistemleriyle ilişkili kısıtların ve performans parametrelerinin belirlenmesi için ISO 16787 [15], ISO 20900 [16] ve NHTSA'in Aktif Park Destek Test Prosedürleri [17] standart ve regülasyonları kullanılmıştır.

Her ne kadar park sistemlerine dünya genelindeki ihtiyaç günden günde artsa da literatürde konuyla alakalı çalışmalar kısıtlıdır, dolayısıyla bu çalışmada, oluşturulan yol planlama ve kontrol algoritmalarının park manevrasını hangi performans seviyelerinde gerçekleştirdiği, belirlenen test senaryolarının her biri için incelenmiş ve hangi KPI'ların park manevraları için daha önemli göstergeler oldukları analiz edilmiştir. Uygulanan değerlendirme yaklaşımının, farklı yol planlama ve kontrol algoritmalarının uygulandığı koşullara göre de düzenlenebilir olmasına önem verilmiş, sonraki çalışmalarda da belirlenen KPI'ların sistem algoritmasının geliştirilebilmesine olanak sağlanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın sonraki kısımlarında ilk olarak metodoloji tanımlaması bölüm 2'de anlatılmış ve ilgili bölümün sonraki kısımlarında test senaryolarının ve KPI tanımlamalarının detaylandırılması yapılmıştır. Sonrasında bölüm 3'te yol planlama ve kontrol algoritmalarından bahsedilmiş ve simülasyon ortamında kullanılan araçlar ifade edilmiştir. Son olarak bölüm 4 ve 5'te simülasyon sonuçlarına bağlı olarak ilgili KPI'lar kullanılarak değerlendirme yapılmış ve çalışma sonuçlandırılmıştır.

## 2. Metodoloji

Sistemin tasarımı, simülasyonu ve değerlendirilmesinin etkili bir şekilde yönetilebilmesi için süreç üç ana iş paketine ayrılmıştır. İlk iş paketinde, APA'nın tasarımı ve test edilmesi için gereken şartlar, regülasyonlar, standartlar ve literatür incelemesi ile birlikte belirlenerek, test koşulları oluşturulmuştur. İkinci iş paketinde, belirlenen test koşulları doğrultusunda APA'nın simülasyon ortamında test edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, yol planlama ve takip algoritmaları seçilmiş, simülasyon ortamı hazırlanmış ve testler yapılmıştır. Bu aşamada, algoritmaların performansı ve sistemin genel işleyişi değerlendirilmiştir. Son iş paketi olarak, simülasyon ortamında gerçekleştirilen APA manevralarının regülasyon ve standartlara uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla, KPI'lar belirlenmiştir. Belirlenen KPI'lar her bir test senaryosu için incelenerek, APA manevraları özellikle konfor ve güvenlik açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, sistemin gerçek dünya koşullarında nasıl performans göstereceği konusunda bilgiler sağlamaktadır. Çalışmanın ana hatları Şekil 1'de gösterilen iş akışında sunulmaktadır. Bu üç iş paketi, sistemin tasarımından simülasyon ve değerlendirilmesine kadar olan süreci kapsamlı bir şekilde ele alarak, otomatik park sistemlerinin etkili ve güvenli bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır.



Şekil 1: Genel İş Akışı

### 2.1. Test Varyasyonları

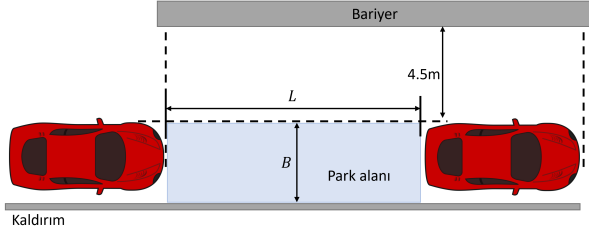
Giriş bölümünde bahsedilen regülasyon ve standartlar incelemesiyle paralel park testi için gerekli olan park ortamı tasarlanmış ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Paralel park ortamı için gerekli olan parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Buradaki

Tablo 1: Paralel Park Test Ortamı Gereksinimleri

Parametre	Değer
$B$	$A_g + 0.2m$
$L$	$A_u + 1m$
$M_{da}$	$\geq 0.8m$
$M_b$	4.5m

$B$  park alanı genişliğini,  $L$  park alanı uzunluğunu,  $A_u$  aracın uzunluğunu,  $M_{da}$  duran araçlar ile aracın arasındaki yatay mesafeyi ve  $M_b$  bariyer ile aracın arasındaki yatay mesafeyi temsil etmektedir.

Paralel park manevrasının değerlendirilmesi için incelenmesi gereken parametre ve limit değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Tablo 2'deki  $A_{ph}$  aracın ileri yöndeki hızını,  $A_{nh}$  aracın



Şekil 2: Park Yerinin Minimum Gereksinimleri.

geri yöndeki hızını,  $M_o$  aracın önde duran araç ile arasındaki mesafeyi,  $M_a$  aracın arkada duran araç ile arasındaki mesafeyi,  $t$  manevranın süresini,  $V_{gs}$  manevra boyunca vites geçiş sayısını ve  $A_{ya}$  araç ile yol arasındaki yön farkını temsil etmektedir.

Tablo 2: Paralel Park Test Ortamı Gereksinimleri

Parametre	Değer
$A_{ph}$	<10km/s
$A_{nh}$	<12km/s
$M_o$	>0.3m
$M_a$	>0.3m
$t$	≤45s
$V_{gs}$	≤8
$A_{ya}$	≤3DEG

## 2.2. KPI'ların İncelenmesi

APA fonksiyonunun değerlendirilmesi için 31 farklı KPI belirlenmiş ve her bir test için hesaplanmıştır. Hesaplanan KPI'lar güvenlik, konfor ve performans olmak üzere üç kategoriye ilişkilendirilerek fonksiyonun kategorizasyonel değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 3'te KPI'lar ve kategoriler arasındaki ilişki örneklendirilmiştir. İncelenen KPI'lar arasında yer alanlardan biride park manevrasının sonunda ortaya çıkan pozisyonel hata, Şekil 4'te gösterilmektedir. Boylamsal ve yanal pozisyonel hatalar sırasıyla denklem (1) ve (2) kullanılarak hesaplanmıştır. Burada  $x_0$  ve  $y_0$  sırasıyla park alanının x ve y eksenlerindeki park edilmek istenilen hedef konumu  $x$  ve  $y$  ise aracın park ettikten sonraki x ve y eksenlerindeki konumunu ifade etmektedir.

$$\Delta_x = |x_0 - x| \quad (1)$$

$$\Delta_y = |y_0 - y| \quad (2)$$

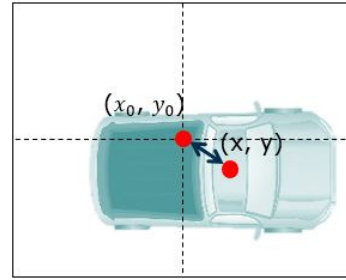
ISO 16787'ye göre  $\Delta_x$  ve  $\Delta_y$   $[-0.3m, 0.3m]$  arasında olması gerekmektedir [15].

$$m_h = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} \quad (3)$$

Denklem (3) sonucunda elde edilen  $m_h$  park tamamlandıktan sonraki pozisyonel hatayı temsil etmektedir. Pozisyonel hata değerleri ne kadar düşük ise manevra o kadar düzgün tamamlanmış demektir. Bir diğer incelenmiş KPI olan genel konfor değeri denklem (4) kullanılarak hesaplanmıştır.  $k_x$ ,  $k_y$  ve  $k_z$  sırasıyla  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenleri için kullanılan sabit katsayı faktörlerini ifade

Güvenlik	Maksimum araç hızı
	Maksimum ivme
	Araçlarla mesafe
	Kaldırımla mesafe
...	
Konfor	Maksimum araç hızı
	Maksimum ivme
	Maksimum direksiyon açısı
	Maksimum yanal ivme
...	
Performans	Manevra süresi
	Vites geçiş sayısı
	Park sonundaki araç doğrultusu
	Maximum direksiyon titreşimi
...	

Şekil 3: KPI Kategorizasyonel Değerlendirme Tablosu.



Şekil 4: Park Sonundaki Pozisyonel Hata.

etmektedir. Çalışma esnasında sırasıyla 1, 1 ve 1.4 değerleri sabit faktörler için kullanılmıştır [22].  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  ve  $a_{wz}$  ifadeleri ise sırasıyla  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenleri için ivmenin frekans ağırlıklı karekök ortalama (rms) değerlerini temsil etmektedir.

$$a_k = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (4)$$

Bu KPI  $x$ ,  $y$ ,  $z$  eksenlerindeki ivmesel hareketlerin manevra konforuna etkisini göstermektedir. Tablo 3'te ISO 2631-1 standardına göre bileşke ivmenin konfor üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

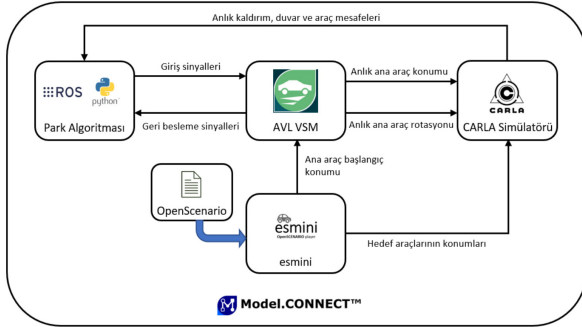
Tablo 3: ISO 2631-1 Standardına Göre Konfor Seviyeleri [23]

Genel titreşim toplam değerinin büyüklüğü	Konfor cevabı
< 0.315 $m/s^2$	konforlu
0.315 $m/s^2$ - 0.63 $m/s^2$	az konforlu
0.5 $m/s^2$ - 1.0 $m/s^2$	orta konforlu
0.8 $m/s^2$ - 1.6 $m/s^2$	konforsuz
1.25 $m/s^2$ - 2.5 $m/s^2$	çok konforsuz
> 2.0 $m/s^2$	oldukça konforsuz

### 3. Simülasyon Ortamının Hazırlanması

Simülasyon ortamında paralel park manevrasının gerçekleşmesi için CARLA ve Model.CONNECT™ kullanılmıştır. CARLA, Unreal Engine kullanılarak otonom sürüş araştırmaları için geliştirilmiş olan açık kaynaklı bir simülasyon ortamı sunmaktadır [24]. Model.CONNECT™ ise farklı simülatör platformalarını eş zamanlı olarak tek bir ortamda toplayabilen ve birbirleri ile haberleşmesi için hazır paketler sunan bir yazılımdır.

Bu çalışmada Model.CONNECT™ içerisinde AVL VSM™, CARLA, esmini [27] ve Python modülleri birlikte kullanılmıştır. Python modülleri ile Robot İşletim Sistemi (ROS) [28] bağlantısı sağlanarak araç içi kinematik bilgileri yayınlanmaktadır ve aynı zamanda araç kontrol çıktılarına da erişim sağlanmaktadır. Gerçekçi bir araç dinamiği simüle edilebilmesi için AVL VSM™ yazılımı kullanılmıştır. Araç olarak otomatik vitese sahip ve içten yanmalı bir motoru olan kompakt sınıfında bir araç modeli kullanılmıştır. Test senaryoları openSCENARIO [29] formatında tanımlanmıştır ve esmini yazılımı kullanılarak oluşturulan test senaryolarının çalıştırılması sağlanmıştır. Şekil 5 tüm bu bileşenlerin simülasyon ortamında nasıl bir araya geldiğini ve nasıl etkileşimde bulunduğunu özetlemektedir. Tablo 4'te, araca ait değerler verilmektedir.



Şekil 5: Simülasyon Ortamı

Tablo 4: Araç Parametreleri

Parametre İsmi	Parametre	Değer
Araç genişliği [m]	$w_{vehicle}$	1,966
Araç uzunluğu [m]	$l_{vehicle}$	3,85
Araç aks genişliği [m]	$w_{axle}$	1,72
Araç aks mesafesi [m]	$l_{axle}$	2,51
Maksimum tekerlek açısı [deg]	$\alpha_{right}$	32

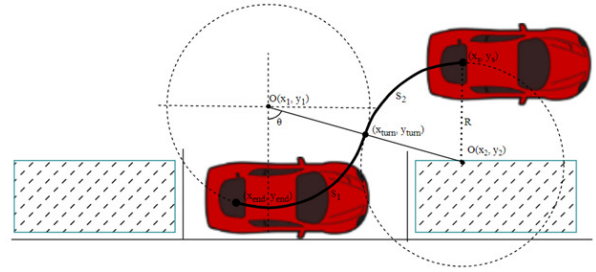
#### 3.1. Yol Planlama

Aşağıdaki bölümde, aracın park alanına paralel park etme işlemi için Fairus ve arkadaşlarının [25] çalışmasının değiştirilmiş versiyonu kullanılarak bir yol planı oluşturulmuştur. Yol planının oluşturulmasında ilk olarak araca ait maksimum dönme açıları, aks genişliği ve uzunluğu kullanılarak, aracın sağ ve sol geri manevra hareketini sağlayacağı dairelere ait yarıçap

değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada aracın maksimum sağ ve sol dönme açıları birbirine eşit olduğundan dairelerin yarıçapları birbirlerine eşit olmaktadır.

Bu daireler üzerinde oluşturulacak olan S eğrisinde harekete başlangıç noktası olan  $x_s$  noktası, geri manevra sonunda arkadaki araç ile çarpışmayı engellemek için bırakılan güvenli mesafe, yarıçap ve  $\theta$  açısı değerleri kullanılarak basit trigonometrik yöntemler ile hesaplanmıştır.

Araç, başlangıç noktasından dönüş noktasına kadar yarıçapı  $R$  olan bir daire yayı boyunca direksiyonu sağa maksimum açığa getirerek geriye doğru hareket etmektedir. Ardından araç,  $x_{turn}$  noktasından bitiş noktasına kadar ( $x_{end}$ ) yine yarıçapı  $R$  olan bir daire yayı boyunca direksiyonu sola maksimum açığa getirerek geriye doğru hareket etmektedir. Bu durumda sırasıyla  $S_1$  ve  $S_2$  yayları oluşmaktadır. Bu bağlamda yine bu iki yay uzunluğu birbirine eşit olmaktadır. Bu yapı Şekil 6'da gösterilmektedir.



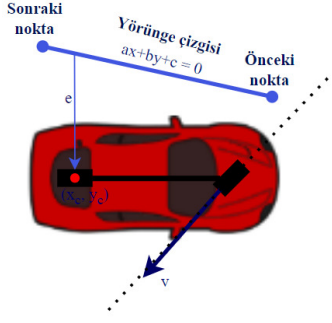
Şekil 6: Yol Planlama Algoritması

#### 3.2. Yol Takibi ve Araç Kontrolü

Paralel park manevrasının gerçekleştirileceği yol planındaki rota noktaları ve aracın anlık hız değeri tasarlanan kontrolcü davranışına göre değişmektedir. PID kontrolcüsü kullanılarak yeni gaz ve fren değerleri üretilirken, Stanley kontrolcüsü [26] ile anlık direksiyon açısı belirlenmektedir.

Stanley kontrolcüsü, araçların belirlenen yolu doğru bir şekilde takip etmelerini sağlayan bir kontrol algoritmasıdır. Bu algoritma, aracın yola olan yatay mesafe hatasını geri bildirim olarak alır ve bu hatayı düzeltmek amacıyla doğrusal olmayan bir geri bildirim fonksiyonu kullanır. Bu çalışmada, arka aksın orta noktası referans alınarak Stanley kontrolcüsü geri sürüş manevrası için uyarlanmıştır. Şekil 7'de Stanley kontrolcüsü uygulanan aracın örnek bir modeli gösterilmektedir.

Oluşturulan yol planı, ROS ara katman yazılımı kullanılarak geliştirilen Python modülleri aracılığıyla CARLA simülasyon ortamına gönderilir. Bu modüller, araç üzerinde kontrol sağlamak ve yol planını başarılı bir şekilde takip etmek için gerekli işlevleri yerine getirir. Bu şekilde, Stanley kontrolcüsü kullanılarak oluşturulan yol planı, aracın CARLA simülasyon ortamında başarılı bir şekilde takip edilmesini sağlar.

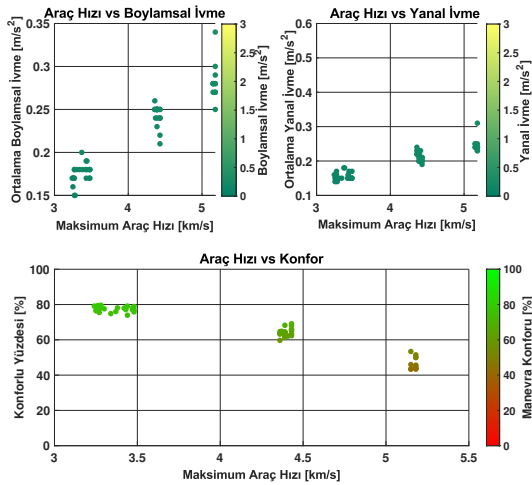


Şekil 7: Stanley Algoritması

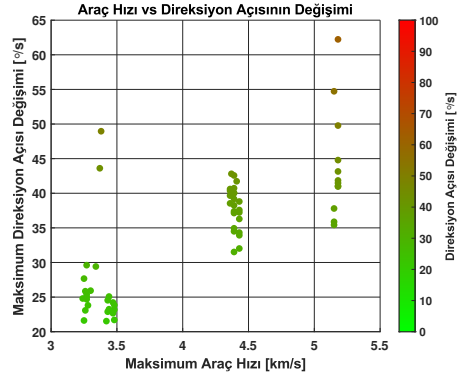
#### 4. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde Tablo 1'deki  $M_{da}$  ve  $L$  değerleriyle birlikte Tablo 2'de yer alan hız değerlerinin kullanılması sonucunda, 60 farklı test senaryosu oluşturulmuştur. Simülasyonu gerçekleştirilen testlerin sonuçları incelendiğinde manevra esnasındaki maksimum araç hızının konforu olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Konfor, manevra süresi boyunca konforlu olarak geçirilen sürenin manevra süresine oranını ifade etmektedir. Şekil 8'de araç hızının boylamsal ve yanal ivmeye etkisiyle beraber konfora olan etkisi sunulmuştur. Araç hızındaki artışın park manevrası sırasındaki boylamsal ve yanal ivmenin ortalama değerini arttırdığı gözlenmiştir. Bu artışların manevra konforuna olumsuz etki ettiği konfor yüzdesinin düşmesiyle de anlaşılmaktadır.

Maksimum araç hızının artması, verilen yolu takip etmeyi zorlaştırmaktadır. Yol takip algoritması, bu durumu dengelemek adına direksiyon açısını ani değiştirme gereksinimi duymuştur. Bu durum Şekil 9'da gözlemlenebilmektedir. Direksiyon değişim hızının yüksek olması sürücünün güvenlik hissiyatını olumsuz yönde etkiler.



Şekil 8: Maximum Araç Hızının Konfora Olan Etkisi



Şekil 9: Maksimum Direksiyon Açısının Hıza Göre Değişimi

Tasarlanan kontrolör yapıları gerek boylamsal gerek de yanal hareket davranışındaki hız değerlerinin limitlendirilmesi yaklaşımıyla çalışmaktadır, bu da kötü performans göstermesi öngörülen test senaryolarının en başta filtrelenmesini sağlamaktadır. Bunun yanında kontrolör yetenekleri de test senaryolarının değişken davranışlarını incelemeyi kısıtlamaktadır, bu yüzden sonraki çalışmalarda gerek yol planlama gerek de yol takibi için farklı metotlar uygulanarak daha geniş alanda KPI davranışlarının gözlemlenebilmesi buna bağlı olarak da APA sistemi için hedef KPI değerlerinin güvenlik, konfor ve performans açısından hangi aralıkta olacağını belirlenmesi amaçlanacaktır.

#### 5. Sonuç

Artan şehirleşme ve nüfus yoğunluğu, özellikle büyük şehirlerde park yeri bulmayı zorlaştırırken, dar ve sıkışık alanlarda park manevrası sürücüler için zorlayıcı hale gelmiştir. APA bu konu özelinde araç kullanıcılarına konforlu ve güvenli park etme imkanı sunmaktadır. Bu çalışmada, otomatik paralel park manevraları için literatürde bulunan yol planlama ve kontrol algoritması kullanılarak simülasyon ortamı hazırlanmıştır. Regülasyon limitlerine bağlı çeşitli test koşulları oluşturulmuş olup, simülasyon sonuçları her bir test koşulu için KPI'lar kullanılarak analiz edilmiştir. Değerlendirme sürecinde kullanılan KPI'lardan aracın hızına bağlı değişen boylamsal ve yanal ivmenin konfor üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Buna ilaveten yine aracın hızının direksiyon açısı değişim hızına olan etkisi incelenmiş ve güvenlik hissiyatı ile ilişkilendirilmiştir.

Sonraki çalışmalarda farklı park manevraları da simülasyon ortamına adapte edilip, belirlenen KPI'lar ile performansı incelenecektir. Bunun yanında sistemin daha adaptif veya değişken çalışabildiği kontrolcü yaklaşımları da kullanılarak daha geniş test senaryo havuzlarıyla çalışılacak ve APA sistemi için hedef sistem karakteristiklerinin nasıl olması gerektiği belirlenecektir.

#### 6. Kaynakça

- [1] Boscher, Thomas and Günther, Adrian and Scheck, Korbinian, *Evaluation Method for Manual and Automated Parking Maneuvers*, ATZ worldwide, Vol. 123, No. 12, pp. 36-41, 2021.

- [2] Metin, Ferhat and Sezer, Volkan, *Analysis and improvement of geometric parallel parking methods with respect to the minimum final lateral distance to the parking spot*, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Vol. 19, No. 2, pp. 441-455, 2021.
- [3] Vorobieva, Hélène and Glaser, Sébastien and Minoiu-Enache, Nicoleta and Mammari, Saïd, *Automatic parallel parking in tiny spots: Path planning and control*, IEEE, Vol. 16, No. 1, pp. 396-410, 2014.
- [4] Norouzi, A., Barari, A., Adibi-Asl, H., *Stability control of an autonomous vehicle in overtaking manoeuvre using wheel slip control*, Int. J. Intell. Transp. Syst. Res. 18(2), 320-330 (2020).
- [5] Heimberger, Markus and Horgan, Jonathan and Hughes, Ciarán and McDonald, John and Yogamani, Senthil, *Computer vision in automated parking systems: Design, implementation and challenges*, Image and Vision Computing, Vol. 68, pp. 88-101, 2017.
- [6] Gómez-Bravo, F., Cuesta, F., & Ollero, A., *Parallel and diagonal parking in nonholonomic autonomous vehicles*, Engineering applications of artificial intelligence, 14(4), pp. 419-434, 2021.
- [7] Razinkova, Anastasia and Cho, Hyun-Chan and Jeon, Hong-Tae, *An intelligent auto parking system for vehicles*, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 12, No. 3, pp. 226-231, 2012.
- [8] T. Fraichard and P. Garnier, *Fuzzy control to drive car-like vehicles*, Robot. Auton. Syst., vol. 34, no. 1, pp. 1-22, Jan. 2001.
- [9] Y. Nakada, *Development of a parking assist system and corresponding autonomous driving in a parking lot*, in Proc. 2nd Int. Symp. Future Active Safety Technol. toward zero-traffic-accident, Nagoya, Japan, pp. 1-8, Sep. 2013
- [10] Fayyad, J., Jaradat, M. A., Gruyer, D., & Najjaran, H. *Deep learning sensor fusion for autonomous vehicle perception and localization: A review*. Sensors, 20(15), 4220, 2020.
- [11] Wan, Guowei, et al., *Robust and precise vehicle localization based on multi-sensor fusion in diverse city scenes*, 2018 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2018.
- [12] C.-K. Lee, C.-L. Lin, and B.-M. Shiu, *Autonomous vehicle parking using artificial intelligent approach*, in Proc. Int. Conf. Auton. Robots Agents, Wellington, New Zealand, pp. 496-501, Feb. 2009.
- [13] Zhang, X., Liniger, A., Sakai, A., & Borrelli, F., *Autonomous parking using optimization-based collision avoidance*, In 2018 IEEE Conference on Decision and Control (CDC), pp. 4327-4332, IEEE, 2018.
- [14] Fairus, M. A., Salim, S. N. S., Jamaludin, I. W., & Kamarudin, M. N., *Development of an automatic parallel parking system for nonholonomic mobile robot*, , IEEE, In International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering 2011 (InECCE), pp. 45-49, 2011.
- [15] ISO, ISO16787, *Intelligent Transport Systems-Assisted Parking SYSTEM (APS) Performance Requirements and Test Procedures*, ISO Geneva, Switzerland, 2017.
- [16] ISO, ISO20900, *Intelligent transport systems - Partially automated parking systems (PAPS) - Performance requirements and test procedures*, 2019-05.
- [17] Fogle, Erin E and Arquette, Tyler E and Forkenbrock, Garrick J, *Active Park Assist Draft Test Procedure Validation*, 2021.
- [18] Zhang, J.; Chen, H.; Song, S.; Hu, F., *Reinforcement Learning-Based Motion Planning for Automatic Parking System*, IEEE Access 8, pp. 154485-154501, 2020.
- [19] Hua, Yiding; Jiang, Haobin; Ma, Shidian; Zhang, Daming; Ma, Jinlin, *Integrated model of assisted parking system and performance evaluation with entropy weight extended analytic hierarchy process and two-tuple linguistic information*, Advances in Mechanical Engineering, 2016.
- [20] Barbe, D.; Chao, L.; Busolin, M., *Human Based Rating Approach for Automated Valet Parking Function Evaluation*, 3rd International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE), IEEE, pp. 95-102, 2020.
- [21] J. Holzinger, P. Schöggel, M. Schrauf, and E. Bogner, *Objective assessment of driveability while automated driving*, ATZ worldwide, vol. 116, no. 12, pp. 24-29, 2014.
- [22] Marjanen, Yka, *Validation and improvement of the ISO 2631-1 (1997) standard method for evaluating discomfort from whole-body vibration in a multi-axis environment*, 2010.
- [23] ISO 2631/1 1985, *Evaluation of human exposure to whole-body vibration: part 1 - general requirements*, International Organization for Standardization, Geneva.
- [24] A. Dosovitskiy, G. Ros, F. Codevilla, A. Lopez, and V. Koltun, 2017, *CARLA: An open urban driving simulator*, In Conference on Robot Learning, pp. 1-16, PMLR.
- [25] M. A. Fairus, S. N. S. Salim, I. W. Jamaludin, and M. N. Kamarudin, 2011, *Development of an automatic parallel parking system for nonholonomic mobile robot*, In International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering 2011 (InECCE), pp. 45-49, IEEE.
- [26] G. M. Hoffmann, C. J. Tomlin, M. Montemerlo, and S. Thrun, 2007, *Autonomous Automobile Trajectory Tracking for Off-Road Driving: Controller Design, Experimental Validation and Racing*, in American Control Conference, pp. 2296-2301, doi:10.1109/ACC.2007.4282788.
- [27] Esmi. (2023). Esmi. [Online]. Available: <https://github.com/esmini/> (visited on 2023-07-12).
- [28] M. Quigley, 2009, *ROS: an open-source Robot Operating System*, IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- [29] ASAM, 2023, *ASAM OpenSCENARIO: User Guide*, Version: 1.2, [Online]. Available: <https://www.asam.net> (visited on 2023-07-12).