

## ARKA TEKERLEK MERKEZİ VE ARKA TAMPON ARASI MESAFENİN GEREKLİ PARK YERİ GENİŞLİĞİNE ETKİSİ

Emreca HATİPOĞLU<sup>1, a)</sup> ve Emir KUTLUAY<sup>2, b)</sup>

<sup>1</sup>TDK Teknoloji, Görükle Mah, Üniversite-1 Caddesi, Ulutek Ek Binası No:931/6, 16240, BURSA

<sup>2</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 06800, ANKARA

<sup>a)</sup>[ehatipoglu@tdkteknoloji.com.tr](mailto:ehatipoglu@tdkteknoloji.com.tr), <sup>b)</sup>[kutluay@hacettepe.edu.tr](mailto:kutluay@hacettepe.edu.tr)

Bu çalışmanın amacı, aracın arka tekerlek merkezi ile arka tamponu arasındaki mesafenin paralel park manevrası esnasında tanımlı park yerinin sınırının yanal olarak ne kadar aşıldığına olan etkisini ortaya koymaktır. Çalışmada kullanılan algoritma, iki doğru parçası ve eş çember yayları kullanılarak park manevrasında kullanılan rotayı oluşturmaktadır. Algoritma, yolun sol tarafında daha önce park etmiş araçlarla ego araç arasındaki yanal mesafeyi dikkate almaktadır. Manevranın düşük hızından dolayı, araç kinematik modeli kullanılmıştır. Direksiyon açısı, mekanik ve çevresel sınırlar göz önünde bulundurularak elde edilmiştir. Park alanı için gerekli uzunluk, direksiyon açısına göre hesaplanmıştır. Algoritma, ego aracın park alanına paralel olması koşuluyla aracı yanal sınırlar içinde park edebilir. Bu çalışmada iki formül türetilmiştir. İlk formül, park manevrası sırasında ego araç ile kaldırım arasındaki minimum mesafeyi ifade etmektedir. İkinci formül, manevra sırasında tanımlanmış park alanı sınırının ötesine geçen yanal deplasmanı hesaplamak için kullanılmaktadır. Formüllerin çıktıları, gerekli olan park yerinin genişliği hakkında içgörü sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürücü asistan sistemler, otonom paralel park, park yeri genişliği, rota planlama

## EFFECT OF THE REAR OVERHANG ON THE REQUIRED PARKING SPACE WIDTH

### ABSTRACT

The aim of this study is to reveal the effect of the distance between the rear wheel center and the rear bumper on the lateral overreach beyond the defined parking space boundary during the parallel parking maneuver. The algorithm used in the study generates the parking maneuver path by utilizing two straight segments and identical circular arcs. The algorithm takes into account the lateral distance between the ego vehicle and the vehicles that have already parked on the left side of the road. Due to the low speed of the maneuver, vehicle kinematic model is used. The steering angle is obtained by considering mechanical and environmental constraints. The required parking space length is calculated based on the steering angle. The algorithm is capable of parking the ego vehicle within the lateral boundaries on the condition that it is parallel to the parking space. Two formulas are derived within the scope of this study. The first formula represents the minimum distance between the ego vehicle and the curb during the parking maneuver. The second formula is used to calculate the lateral displacement beyond the defined parking space boundary during the maneuver. The outcomes of the formulas provide insights into the required width of the parking space.

**Keywords:** Driver assistance systems, autonomous parallel parking, parking space width, route planning

### 1. GİRİŞ

Araç sahipliğinin artışı ile birlikte, park alanlarına erişilebilirlik azalmış ve kişi başına düşen park alanı boyutsal olarak küçülmüştür [1]. Ek olarak, FINN tarafından yapılan

araştırmaya göre, 2013 ve 2023 yılları arasında ortalama araç genişliği 12%, ortalama araç uzunluğu ise 17% artış göstermiştir [2]. Araçların köşe noktalarını ve sınırlarını kestirmek daha zor hale geldiğinden, özellikle

paralel park manevraları sırasında daha temkinli olunması gerekmektedir. Günümüz araçlarında yer alan otonom park sistemleri, sürücülerin konforunu ve güvenliğini artırırken, park manevraları sırasındaki iş yüklerini de azaltmaktadır.

Akıllı araçlar için otonom park alanında bir rota planlama ve takip kontrolü çalışması Li ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [3]. Araç hareketi kinematik olarak modellenmiştir. Park manevrasıyla ilgili geometrik kısıtlamalar ve potansiyel çarpışma noktaları gösterilmiştir. Park alanının uzunluğunun, ego aracın uzunluğundan 0,8 metre daha uzun, genişliğinin ise ego aracın genişliğinden 0,3 metre daha geniş olması gerektiği belirtilmiştir. Simülasyonlar, Carsim ve Matlab/Simulink eş simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçek dünya deneyleri, 12 ultrasonik sensöre sahip bir SUV ile yapılmıştır. Deneylerde, ego aracın sağ tarafı ile park alanının sınırı arasındaki yanal mesafe 0,5 metre ile 1,5 metre arasında değişmektedir. Ön tekerlek ile kaldırım arasındaki mesafe ve arka tekerlek ile kaldırım arasındaki mesafe verilmiştir. Bahsi geçen mesafeler 0,1 metre ile 0,25 metre arasında değişmektedir. Park manevrası sırasında, park alanı sınırının yanal olarak ne kadar aşıldığını ifade eden bir formül mevcut değildir.

Dar ortamlarda paralel park etmeye odaklanan bir rota planlama çalışması Zhang ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [4]. Rota, çember yayları ve çift klotoidlere dayanmaktadır. Tanımlanan rotanın son haline getirilmesi için Parçacık Sürü Optimizasyonu Tekniği kullanılmıştır. Araç hareketini modellemek için araç kinematik modeli tercih edilmiştir. Simülasyonlar, Carsim ve Matlab/Simulink eş simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Baudi Apollo adı verilen otonom bir insansız araç (AUV) ile fiziki deneyler gerçekleştirilmiştir. Araç ultrasonik sensörlere ek olarak, kamera, lidar, IMU ve GNSS sensörleri ile donatılmıştır. Deneylerde kullanılan park alanının genişliği aracın maksimum genişliğinden 0,25 metre daha fazladır. Park manevrası sırasında aracın sağ tarafı ile park alanının sağ sınırı arasındaki mesafeyi gösteren bir formül bu çalışmada önerilmemiştir.

Dar alanlarda dikey park yapmayı amaçlayan bir rota planlama çalışması Wu ve arkadaşları tarafından ele alınmıştır [1]. Ego araçların genişliğinin 1,25 ile 1,35 katı olan park alanları, dar park alanı olarak tanımlanmıştır. Araç hareketi kinematik olarak modellenmiştir. Çember yayı-düz doğru parçası, Hibrit A\* ve Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmaları sunulmuştur. Çalışmada kullanılan ego aracın genişliği 1,737 metredir. Simülasyonlar, sırasıyla 2,1, 2,2 ve 2,3 metre genişliklerindeki üç farklı park alanında, Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan rotadaki süreksizliği ortadan kaldırmak için Hibrit A\* algoritması ile  $\beta$ -Spline Eğrisi ve Gradient Descent Algoritmaları kullanılmıştır. Hibrit A\* algoritmasının, dar alanlarda park manevralarını gerçekleştirmek için en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Ego aracın yan sınırı ile park alanının sınırı arasındaki yanal mesafeyi en aza indirmeyi amaçlayan geometrik bir paralel park yöntemi Metin ve Sezer tarafından önerilmiştir [5]. Araç hareketi, araç kinematik modeli kullanılarak modellenmiş ve Ackerman direksiyon geometrisi tercih edilmiştir. Bu mesafenin, araç ve park alanı boyutlarından etkilendiği ve araçlar boyut olarak büyüdükçe mesafenin arttığı belirtilmiştir. Simülasyonlar, BMW 6 Coupe ve Mercedes Citaro araçları kullanılarak Dyna4 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Mevcut ve yeni yöntemlerin sınırları Matlab kullanılarak hesaplanmıştır. Tek manevrada ve çoklu manevrada park etme ele alınmıştır. Bu çalışmada bahsedilen mesafe, araç park manevrasını tamamladıktan sonra araç yan sınırı ile park yeri sınırı arasındaki yanal mesafe ile ilgilidir. Park manevrası esnasında bu mesafenin ne kadarının aşıldığı ile ilgili herhangi bir formül çalışmada yer almamaktadır.

Ani eğrilik değişimini ortadan kaldırmak için geliştirilmiş bir çift yaylı park yolu uyarılama yöntemi Maoyue ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır [6]. Dikdörtgen şeklindeki park alanlarına ek olarak, yamuk/trapezoidal geometriye sahip düzensiz park alanları da ele alınmıştır. Park alanının minimum uzunluğu, basitleştirilmiş Ackerman geometrisi kullanılarak hesaplanmıştır. Ego aracın köşe

noktaları geometrik denklemler kullanılarak elde edilmiştir. Park manevrasına başlanılabilecek olan alan tanımlanmıştır. Çevre modelinin alt ve üst sınırlarını dikkate alan iki park manevrası gösterilmiştir. Simülasyonlar için VW Tayron parametreleri kullanılmıştır. Tanımlanan park alanı, aracın genişliğinden 0,58 metre daha geniştir. Dinamik simülasyonlar CARSIM yazılımında gerçekleştirilmiştir. Dikdörtgen ve yamuk şekilli olmak üzere park alanları oluşturulmuş ve boyutsal olarak ölçeklendirilmiş akıllı bir deney aracıyla fiziki deneyler yapılmıştır.

Paralel park alanında kullanılacak, model belirsizlikleri ve hız dalgalanmaları gibi dış etkenleri azaltmaya yönelik ön izlemeli geri yayılım sinir ağı kullanan PID kontrolcüsüne dayalı bir rota takip yöntemi Ji ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [7]. Araç hareketi, araç kinematik modeli kullanılarak modellenmiştir. Eğrilik süresizliğini ortadan kaldırmak için kübik  $\beta$ -eğrileri kullanılmıştır. Manevralar sırasında olası çarpışma noktaları geometrik denklemler ve şemalarla ifade edilmiştir. Park manevrası için başlangıç pozisyonunu hesaplamak amacıyla bulanık mantık temelli bir kontrolcü geliştirilmiştir. Harici sensörler ile donatılan Suzuki Wagon fiziki deneylerde kullanılmıştır.

Çember yayı-düz doğru parçası-çember yayı alt bölümlerinden oluşan bir paralel park rotası Chen ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [8]. Önerilen yöntem, geliştirilmiş arktanjan fonksiyonuna dayalıdır ve ego aracın başlangıç pozisyonu park alanının sınırına paralel olmasa bile aracı park edebilir. Çalışmada araç kinematik modeli kullanılmıştır. Aracın köşe noktaları, aracın boyutları ve arka aks merkezinin konumu kullanılarak geometrik olarak hesaplanmıştır. Minimum boyutlara sahip park alanının şematik çizimi yapılmış ve park manevrası kısıtları analiz edilmiştir. Bir SUV, ortalama ölçülere sahip bir binek araç ve küçük sınıf bir binek araca ait ölçüler simülasyonlarda kullanılmıştır. Park manevrasının yapıldığı çevre modelindeki olası çarpışma noktaları gösterilmiştir. Ego araç ile park alanının sol, alt ve sağ sınırları arasındaki olası çarpışmaları önlemek için üç farklı güvenlik mesafesi tanımlanmıştır ve bu mesafelerin her biri 0,1 metre olarak belirlenmiştir. Park alanının uzunluğunun, aracın dönüş yarıçapıyla doğru orantılı olduğu,

park alanı genişliğinin ise aracın dönüş yarıçapıyla ters orantılı olduğu grafikler ile gösterilmiştir.

Paralel park için bir rota planlama ve takip çalışması Zhang ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [9]. Rota süresizliğini ortadan kaldırmak için geleneksel çember yayı-düz doğru parçası yerine beşinci dereceden polinom kullanılmıştır. Rota takibi için artımlı bir model öngörülü kontrolcü (MPC) geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrolcünün uygulanabilirliği, Simulink-Carsim eş simülasyon platformu kullanılarak değerlendirilmiştir. Araç hareketi kinematik olarak modellenmiştir. Aracın dış köşe noktaları, arka aks merkezinin konumu ve aracın boyutları kullanılarak elde edilmiştir. Park manevrasına başlanılabilecek olan alanı tanımlamak için geometrik analiz gerçekleştirilmiştir. ROS yazılımı kullanan endüstriyel PC'ye sahip akıllı bir araç ile fiziki deneyler yapılmıştır.

Çift taraflı park edilmiş dar sokaklarda paralel park yapmayı amaçlayan geometrik bir rota planlama çalışması Hatipoğlu ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [10]. Çalışma kapsamındaki simülasyonlar Matlab ortamında yapılmıştır. Rota, iki boylamasına ve iki yanal alt manevraya bölünmüştür. Yanal alt manevralarda sabit yarıçaplı eş çemberler kullanılmıştır. Tekerlek yönlendirme açılarının hesaplanmasında, Ackerman direksiyon geometrisine uygun araç kinematiğine ek olarak, yolun sol tarafına park etmiş araçlar ile ego araç arasındaki yanal mesafe de etkili olmaktadır. Direksiyon açıları sabit olmayıp, farklı deneyler için ego aracın yanal konumuna göre senaryo bazlı olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle, park alanlarının uzunlukları senaryolara göre farklılık göstermektedir. Olası çarpışmaları önlemek için park alanlarının uzunluklarına güvenlik mesafeleri eklenmiştir. Park manevrası tamamlandığında, ego aracın sağ tarafı ile kaldırım arasında sabit bir mesafe bulunmaktadır. Ancak, bu mesafenin park manevrası sırasında ne kadar kullanıldığını ya da aşıldığını açıklayan bir formül mevcut değildir.

Bu çalışmada, paralel park manevrası sırasında araçların arka tekerlekleri ile arka tamponları arasındaki mesafenin park yerinin yanal olarak ne kadar ihlal edildiğine olan etkisi ele

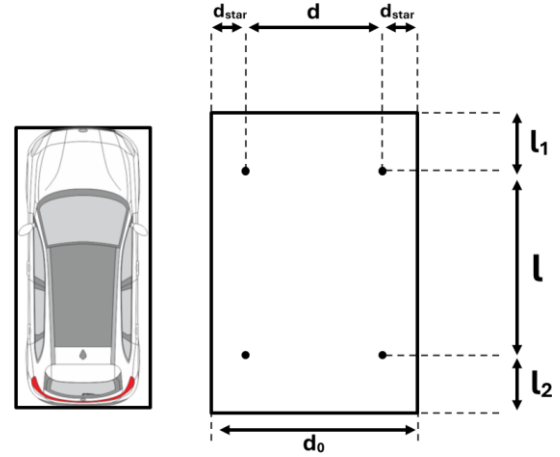
alınmıştır. Bu kapsamda ikisi binek, ikisi ticari olmak üzere dört farklı araç seçilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan paralel park algoritması, ilgili rotayı düz doğru parçaları ve eş çemberlere ait yaylar kullanarak oluşturmaktadır. Park manevrası sırasında kullanılacak olan dönüş yarıçapı hesaplanırken, araç kinematik kısıtları haricinde çevre modelinin sol tarafına yerleştirilmiş hizalanmış araçlara olan mesafe de göz önüne alınmaktadır. Çalışma kapsamında her bir araç üç farklı yanal konumdan park manevrasına başlatılmakta ve hesaplanan tekerlek yönlendirme açıları ile araçların park edebileceği park alanlarının uzunluklarının senaryolara göre değişiklik göstermektedir. Her bir manevra sonrasında, park alanının yanal olarak ne kadar ihlal edildiği ve çevre modelinde bulunan kaldırıma ne kadar mesafe kaldığı, çalışma kapsamında türetilen iki adet formül ile ortaya konulmuştur.

## 2. KİNEMATİK VE ROTA PLANLAMA

Araç hareketi, Ackerman geometrisi kullanılarak modellenmiş ve sadece ön tekerlekleri yönlendirilebilen araçlar göz önünde bulundurulmuştur. Rota planlama, geometrik eşitlikler ve çevre modeline ait bilgiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan rota, dört alt manevraya ayrılmaktadır [10]. İleri yönlü ilk boylamsal manevra, aracı geri manevraların başlayacağı boylamsal konuma getirmektedir. Ardından sağ geri manevra ve sol geri manevra gerçekleştirilir. Bu manevraların sonunda araç park yeri içerisine alınmış ve park yeri sınırına göre paralel hale getirilmiş olur. Dördüncü manevra, ileri yönlü boylamsal manevra olup ego aracı park yeri içerisinde, öndeki ve arkadaki araca boylamsal olarak eşit mesafede olacak şekilde konumlandırmak için kullanılır.

### 2.1. Taşıt Modeli

Çalışma kapsamında ikisi binek, ikisi ticari olmak üzere dört adet araç kullanılmıştır. İlgili araçlar, aynalarını da kapsayacak biçimde dikdörtgen olarak modellenmiştir. Lastikler, noktasal olarak modellenmiştir. İlgili şematik Şekil 1’ de verilmiştir. Seçilen araçlar Şekil 2 ve Şekil 3’ de gösterilmiştir. Araçların boyutları Tablo 1’ de verilmiştir.



Şekil 1. Şematik araç modeli

L araç uzunluğunu, l aks mesafesini,  $l_1$  ön tekerlek merkezi ile ön tampon arasındaki mesafeyi,  $l_2$  arka tekerlek merkezi ile arka tampon arasındaki mesafeyi, d iz açıklığını,  $d_{star}$  ayna genişliğini,  $d_0$  ise araç genişliğini ifade etmektedir.



Şekil 2. BYD Seagull [11] ve TOGG T10X [12]



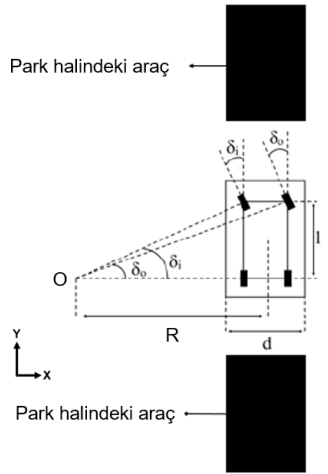
Şekil 3. MB Sprinter L3 [13] ve MB Sprinter L4 [14]

Tablo 1. Seçilen araçların boyutları (metre cinsinden)

Değişken	Araç 1	Araç 2	Araç 3	Araç 4
L	3,780	4,599	6,967	7,367
d	1,500	1,618	1,732	1,732
$d_{star}$	0,108	0,241	0,307	0,307
$d_0$	1,715	2,100	2,345	2,345
l	2,500	2,890	4,325	4,325
$l_1$	0,614	0,854	1,012	1,012
$l_2$	0,666	0,855	1,630	2,030

## 2.2. Ackerman Geometrisi

Ackerman Geometrisi, taşıtın dönüşü sırasında ön tekerleklerin farklı açılar ile yönlendirilmesini sağlamaktadır. Günümüz araçlarında kullanılmakta ve araçların daha keskin ve dengeli biçimde dönüş manevralarını gerçekleştirmelerine imkân tanımaktadır. Park manevraları düşük hızlarda gerçekleştirildiğinden, Ackerman Geometrisi'nin kullanımı uygundur. İlgili şematik Şekil 4' de gösterilmiştir.



Şekil 4. Ackerman geometrisi

Ön iç tekere ait yönlendirme açısı  $\delta_i$ , ön dış tekere ait yönlendirme açısı  $\delta_o$  olarak gösterilmiştir. Mekanik limitler göz önünde bulundurularak,  $\delta_i$  35 derece ile sınırlandırılmıştır. Dönüş yarıçapının ve ön dış tekerlek açısının hesaplanması için kullanılan formüller Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 olarak verilmiştir. R, taşıt dönüş yarıçapını ifade etmektedir.

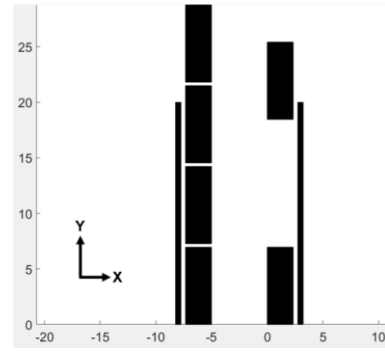
$$R = \frac{l}{\tan(\delta_i)} + \frac{d}{2} = \frac{l}{\tan(\delta_o)} - \frac{d}{2} \quad (1)$$

$$\delta_o = \tan^{-1} \left( \frac{l}{R + \frac{d}{2}} \right) \quad (2)$$

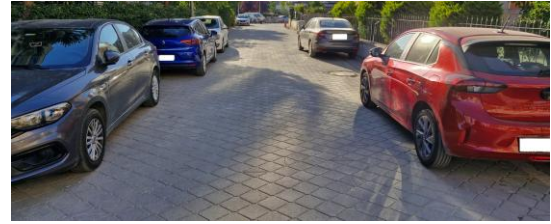
Aracın her bir tekerleğine ait yörünge, dönüş yarıçapı, anlık dönüş merkezi ve taşıt boyutları kullanılarak hesaplanabilir. Araç hızı ve tekerlek yönlendirme açıları sabit olduğu sürece araca ait anlık dönüş merkezi yer değiştirmez.

## 2.3. Rota Planlama

Altı adet park etmiş araç, bir adet park yeri ve iki adet kaldırımdan oluşan ve gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan bir durumu örnekleyen çevre modeli, düzlemsel olarak Matlab ortamında kurulmuştur. Park etmiş araçlar hem kaldırımlara hem de birbirlerine hizalanmış biçimde yerleştirilmiştir. İlgili model Şekil 5' de verilmiştir. Çevre modeline konu olan gerçek dünya senaryosu Şekil 6' da gösterilmiştir. Manevra sırasında, çevre modeli üzerinde yer alan her bir koordinatın kesin olarak bilindiği varsayılmıştır.



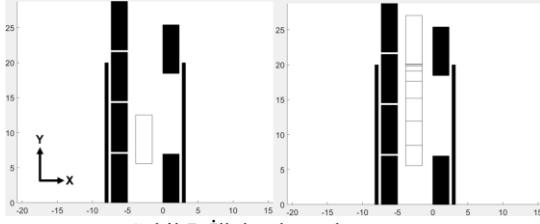
Şekil 5. Çevre modeli (simülasyon)



Şekil 6. Çevre modeli (gerçek)

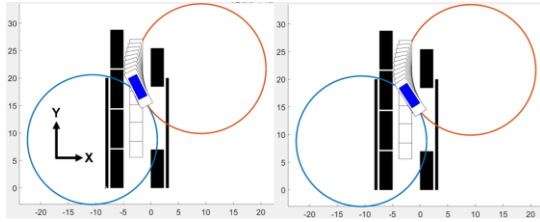
Park manevrası sırasında kullanılacak yönlendirme açısına, aracın mekanik kısıtlarına ek olarak çevre modelinin de değerlendirilerek karar verilmesi gerektiği Hatipoğlu ve arkadaşları tarafından ifade edilmiştir [10]. Aynı yaklaşım bu çalışmada da kullanılmış ve yönlendirme açısı ile dönüş yarıçapı elde edilmiştir.

Park manevrası sırasında kullanılacak olan rota, dört alt bölümde incelenmiştir. İlk boylamsal manevra, aracın geriye doğru olan yanal manevralarının başlayacağı boylamsal konuma getirmeyi amaçlamaktadır. İlk manevranın başlangıç ve bitiş anları Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. İlk boylamsal manevra

Ardından sağ geri manevra gerçekleştirilir. Sağ geri manevra çemberine ait merkez noktasının koordinatları  $(X_{rrm}, Y_{rrm})$  olarak tanımlanmıştır ve Eşitlik 3 ve Eşitlik 4’ de verilmiştir. Aracın arka aks merkezinin koordinatları, arka sağ ve arka sol tekerleklere ait koordinatların aritmetik ortalamasının alınmasıyla bulunmaktadır ve  $(X_{rac}, Y_{rac})$  olarak ifade edilmiştir. Sağ geri manevraya ait başlangıç ve bitiş anları Şekil 8’ de gösterilmiştir. İlgili manevra, araç oryantasyon değeri hesaplanmış bir açıya ulaşana kadar devam etmektedir. Belirtilen açının hesaplanması, bu bölümde ele alınacaktır.

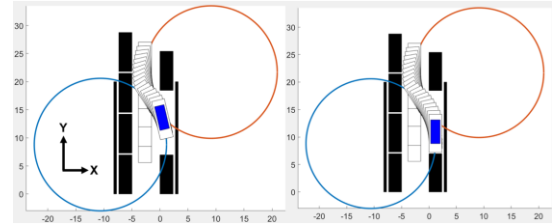


Şekil 8. Sağ geri manevra

$$X_{rrm} = X_{rac} + R \quad (3)$$

$$Y_{rrm} = Y_{rac} \quad (4)$$

Sağ geri manevrayı müteakiben araç durur ve tekerlekleri sol geri manevrayı yapacak şekilde açılıdırılır. Sol geri manevra çemberine ait merkez noktasının koordinatları  $(X_{lrm}, Y_{lrm})$  olarak tanımlanmıştır ve Eşitlik 5 ve Eşitlik 6’ da gösterilmiştir. Sol geri manevraya ait başlangıç ve bitiş anları Şekil 9’ da gösterilmiştir. Bu manevranın sonrasında, araç park yerine temel olarak yerleştirilmiş ve park yeri sınırına paralel hale getirilmiş olur. Üçüncü alt manevra tamamlandıktan sonra araç arka tamponu ile çevre modelinin alt tarafında park etmiş aracın ön tamponu arasındaki uzaklık  $arka_{mesafe}$  olarak tanımlanmıştır.  $Y_4$  parametresi, çevre modelinin alt tarafında park etmiş aracın ön tamponuna ait Y koordinatıdır.



Şekil 9. Sol geri manevra

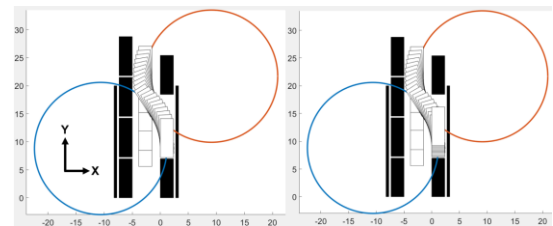
$$X_{lrm} = X_{rac} - R \quad (5)$$

$$Y_{lrm} = Y_4 + arka_{mesafe} + l_2 \quad (6)$$

Aracın oryantasyon açısının yanal manevralar sırasında ne kadar değişeceği, sağ ve sol geri manevralara ait çemberlerin merkez koordinatları kullanılarak hesaplanabilir. İlgili formül Eşitlik 7’ de verilmiştir.

$$açı = \tan^{-1} \left( \frac{Y_{lrm} - Y_{rrm}}{X_{lrm} - X_{rrm}} \right) \quad (7)$$

Dördüncü manevra, ileri yönlü boylamsal manevradır ve ego aracı park yeri içerisinde, öndeki ve arkadaki araca eşit mesafe bırakacak boylamsal konuma getirmek için kullanılmaktadır. Bu sayede, öndeki veya arkadaki araçlardan birinin değişip daha yakın biçimde park etmesi halinde, ego aracın park yerinden göreceli olarak daha rahat çıkabilmesi amaçlanmıştır. Dördüncü manevranın başlangıç ve bitiş anları Şekil 10’ da gösterilmiştir.



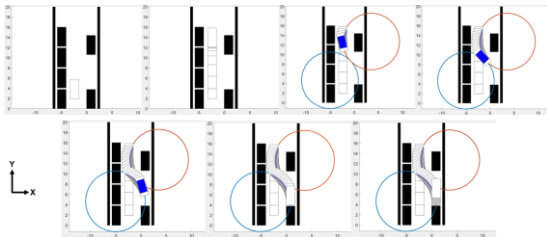
Şekil 10. Son boylamsal manevra

### 3. SENARYOLAR VE SİMÜLASYONLAR

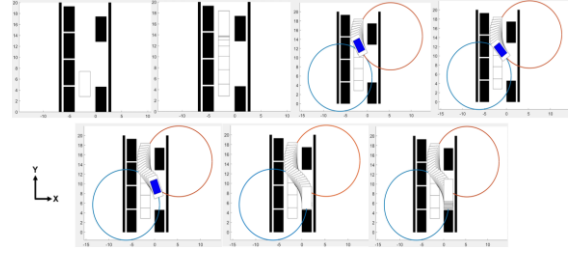
Önerilen senaryo, günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan bir manevra türü olan dar sokaklarda paralel park manevrasını ele almaktadır. Ego aracı, park yerine paralel

olarak konumlandırılır. Ardından ilk boylamsal manevra gerçekleştirilir. Araç durur ve tekerlek dönüş açıları sağ geri manevrayı gerçekleştirecek şekilde ayarlanır. Daha sonra, sağ geri manevra yapılır ve hedeflenen oryantasyon açısına ulaşılır. Araç durur ve tekerlek açıları sol geri manevrayı gerçekleştirecek şekilde ayarlanır. Araç park yerine paralel hale gelinceye sol geri manevra tamamlanır. Daha sonra, son boylamsal manevra gerçekleştirilerek, ego araç park yerini boylamsal olarak ortalayacak konuma getirilir ve park manevrası tamamlanmış olur. Önerilen algoritma, yapılan varsayımlar çerçevesinde taşıtı belirlenmiş olan yanal konumlar dahilinde park edebilmektedir. Çalışma kapsamında dört farklı araç, üç farklı yanal konumdan başlayarak park manevralarını simülasyon ortamında gerçekleştirmiştir. İlgili senaryolar Şekil 11 ile Şekil 14 arasında gösterilmiştir.

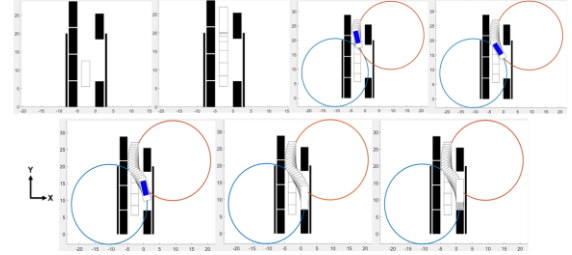
Her bir deney, aynı algoritma ile gerçekleştirilmekte ancak araçların boyutları ve çevre modelindeki konumları sebebiyle ilk boylamsal manevra esnasında aldıkları yol farklı uzunlukta olmaktadır. Ek olarak, araçların boyutlarından ve kullanılan tekerlek dümenleme açılarından kaynaklı olarak dönüş yarıçapları farklı olmaktadır. Bu durum, sağ geri ve sol geri manevra sırasında kullanılan manevra çemberlerinin yarıçaplarını etkilemektedir. Şekil 11 ve Şekil 14 incelendiğinde, MB L4 taşıtı ile yapılan deneyde, manevra çemberlerinin daha büyük yarıçapta olduğu görülmektedir. Ek olarak, araçların manevralar sırasında sahip oldukları oryantasyon açıları da farklı miktarlarda değişmektedir. Park manevrası esnasında kullanılan manevra koridoru, taşıtların çevre modelindeki konumları ve ölçülerine bağlıdır.



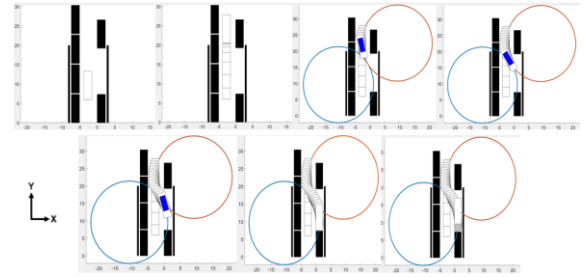
Şekil 11. BYD üçüncü deney – Senaryo 3 (yanal mesafe 1,5 metre)



Şekil 12. TOGG üçüncü deney – Senaryo 6 (yanal mesafe 1,0 metre)



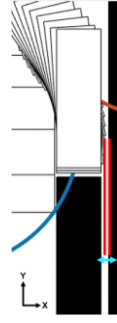
Şekil 13. MB L3 üçüncü deney – Senaryo 9 (yanal mesafe 1,5 metre)



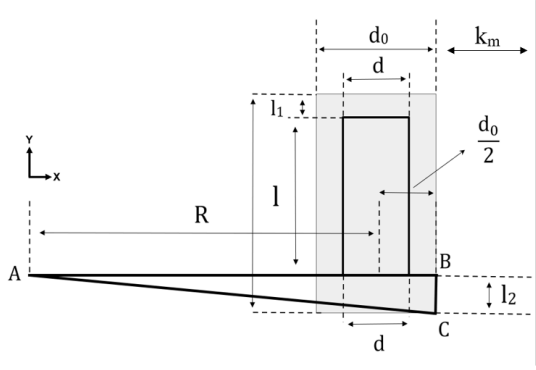
Şekil 13. MB L4 üçüncü deney – Senaryo 12 (yanal mesafe 1,5 metre)

#### 4. TÜRETİLEN FORMÜLLER

Çalışma kapsamında türetilen ilk formül, aracın kaldırıma ne kadar yaklaştığıdır. İlgili durum Şekil 15 de gösterilmiştir. Bu mesafe, park manevrası sırasında insan makine arayüzü üzerinden sürücüye gösterilebilir. Türetilen formül Eşitlik 8' de verilmiştir. İlgili şematik Şekil 16' da gösterilmiştir.



Şekil 15. Kaldırma kalan mesafe

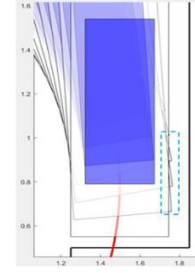


Şekil 16. Mesafe şematigi

$$F_1 = k_m + d_0 + R - \sqrt{\left(R + \frac{d_0}{2}\right)^2 + l_2^2} \quad (8)$$

Çalışma kapsamında, tanımlanmış olan park yerini yanal olarak ne kadar ihlal edildiğini ifade eden bir formül türetilmiştir. Bu formülün türetilmesindeki amaç, bahsi geçen aşım miktarı üzerinde etkisi olan araç arka lastiği ile arka tamponu arasındaki mesafe ve etkili olan diğer değişkenleri gösterebilmektir. Ek olarak, park yerinin aranması safhasında, taranması gereken derinlik hakkında bir içgörü sunmaktır. Formül türetilmesinde kullanılan şematik ve ilgili aşım miktarına ait görsel Şekil 16 ve Şekil 17’ de verilmiştir. Türetilen formül Eşitlik 9’ da gösterilmiştir. Tanımlanan park yerinin sağ tarafı ile kaldırım arasındaki yanal mesafe  $k_m$  değişkeni ile ifade edilmiştir.

$$F_2 = \sqrt{\left(R + \frac{d_0}{2}\right)^2 + l_2^2} - d_0 - R \quad (9)$$



Şekil 17. Yanal aşım

İki farklı araç grubundan dört adet araç ile gerçekleştirilen simülasyonlara ait çıktılar Tablo 2 ve Tablo 3’ e eklenmiştir. F1, türetilen ilk formülün sonucu olan kaldırma yaklaşma miktarını göstermektedir. F2 ise türetilen ikinci formülün sonucu olan park yeri sınırının yanal aşım miktarını ifade etmektedir.  $X_c$  değişkeni, ego aracın sağ tarafının park yeri sınırına olan yanal uzaklığını ifade etmektedir. Aracı çevre modelinde yanal olarak konumlandırmak için kullanılmaktadır.

Tablo 2. Senaryo tablosu- 1

Senaryo	Ön İç Tekerlek Açısı	Ön Dış Tekerlek Açısı	F1	F2	$X_c$
1	35,00	26,25	0,36	0,04	0,10
2	35,00	26,25	0,36	0,04	1,00
3	25,99	20,67	0,37	0,03	1,50
4	35,00	26,70	0,34	0,06	0,10
5	31,86	24,75	0,34	0,06	0,80
6	23,96	19,59	0,36	0,04	1,00
7	35,00	28,67	0,24	0,16	0,10
8	29,02	24,42	0,27	0,13	1,20
9	21,58	18,85	0,30	0,10	1,50
10	35,00	28,67	0,15	0,25	0,10
11	29,02	24,42	0,19	0,21	1,20
12	21,58	18,85	0,24	0,16	1,50

Tablo 3. Senaryo tablosu- 2

Senaryo	Dönüş Yarıçapı	Sol Tarafa Olan Mesafe	Park Yeri Uzunluğu	Yol Genişliği
1	4,32	2,19	5,82	4,00
2	4,32	1,29	5,82	4,00
3	5,88	0,79	6,33	4,00
4	4,94	1,80	6,95	4,00
5	5,46	1,10	7,13	4,00
6	7,31	0,90	7,74	4,00
7	7,04	2,56	9,67	5,00
8	8,66	1,46	10,14	5,00
9	11,80	1,16	10,99	5,00
10	7,04	2,56	10,07	5,00
11	8,66	1,46	10,54	5,00
12	11,80	1,16	11,39	5,00

BYD Seagull ve TOGG T10X ile yapılan deneylerde, aşım miktarının 4-6 santimetre mertebesinde olduğu görülmüştür. Araç genişliğine göre kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeydedir.

Mercedes Sprinter' a ait iki farklı varyanta ait deneyler incelendiğinde aşım miktarlarının 10 ile 25 santimetre arasında değiştiği gözlemlenmiştir. İki araç arasındaki tek boyut farkının arka tekerlek merkezi ile arka tampon olmasından dolayı, aynı başlangıç koşulları altında araçlar aynı tekerlek yönlendirme açılarını kullanmışlardır. Ancak bu boyut farkı, manevra sırasında farklı aşım değerlerine sebebiyet vermiştir. Dolayısıyla boyutları daha büyük olan araçlar için, arka çıkıntı miktarı park yeri genişliğini etkileyen bir boyuttur.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, araç arka tekerlek merkezi ile arka tampon arası mesafe ve araç boyutlarının, aracın paralel park manevrası gerçekleştireceği park yerinin genişliğine olan etkisi ele alınmıştır. Farklı araçlar ile paralel park deneyleri gerçekleştirilmiştir. Araçların manevralar sırasında kaldırma ne kadar yaklaştıklarını ve tanımlı olan park alanını yanal olarak ne kadar ihlal ettiklerini gösteren

iki adet formül türetilmiş ve ilgili değişkenler gösterilmiştir. Binek araçlar açısından, kaldırma yaklaşma değerlerin ihmal edilebilir düzeyde olduğu, ancak arka tekerlek merkezi ile arka tampon arası mesafenin uzun olduğu ticari araçlarda kaldırma yaklaşma değerlerinin de taranacak olan park yeri genişliği açısından göz önünde tutulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak, seçilen ticari araçlar arasındaki tek boyut farkı arka çıkıntı olup, bu mesafenin park yeri derinliğine ve kaldırma yaklaşma miktarına etkisi ortaya konulmuştur. Arka çıkıntı arasındaki boyut farkı, park yeri uzunluğunu doğrudan etkilemekte ve paralel park manevrası sırasındaki yanal aşım miktarını değiştirmektedir. Bahsedilen boyut farkı arttıkça, aşım miktarı daha fazla olmakta ve araç kaldırma daha çok yaklaşmaktadır. Ek olarak bahsedilen aşım miktarı, tekerleklerin yönlendirme açısı ile doğru orantılıdır. Ayrıca, araçların paralel park edebileceği park alanlarının genişliği, her zaman araç genişliğinden fazla olmalıdır. Çalışma, çoklu manevrada paralel park için genişletilecek ve sensör verileri ile desteklenecektir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Wu, Y., Li, X., Gao, J., & Yang, X. (2023). Research on Automatic Vertical Parking Path-Planning Algorithms for Narrow Parking Spaces. *Electronics*, 12(20), 4203. <https://doi.org/10.3390/electronics12204203>
- [2] <https://www.finn.com/en-DE/campaign/supersized>, Erişim: 12 Haziran 2025.
- [3] Li, C., Jiang, H., Ma, S., Jiang, S., & Li, Y. (2020). Automatic Parking Path Planning and Tracking Control Research for Intelligent Vehicles. *Applied Sciences*, 10(24), 9100. <https://doi.org/10.3390/app10249100>
- [4] Zhang, Ziyang & Cheng, Guangwei & Guo, Zhanzheng & Karimi, Hamid & Lu, Yanyang.(2025). Parallel Parking Path Planning and Trajectory Tracking in Narrow Environments for Autonomous Unmanned Vehicles. *Optimal Control Applications and Methods*. 46. 10.1002/oca.3256.
- [5] Metin, F., & Sezer, V. (2021). 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, 19(2), 441-455.

[6] Maoyue, L., Peng, Z., Xiangmei, H. et al. Parallel Parking Path Planning and Tracking Control Based on Adaptive Algorithms. *Int.J Automot. Technol.* 22, 949–965 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12239-021-0086-3>

[7] Ji, Xuewu & Wang, Jian & Zhao, You & Liu, Yahui & Zang, Ligu & Li, Bo. (2015). Path planning and tracking for vehicle parallel parking based on preview BP neural network PID controller. *Transactions of Tianjin University.* 21. 199-208. 10.1007/s12209-015-2485-x.

[8] Chen, Q., Gan, L., Chen, B. et al. Parallel Parking Path Planning Based on Improved Arctangent Function Optimization. *Int.J Automot. Technol.* 24, 23–33 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12239-023-0003-z>

[9] Zhang, B., Li, Z., Ni, Y., & Li, Y. (2022). Research on Path Planning and Tracking

Control of Automatic Parking System. *World Electric Vehicle Journal*, 13(1), 14. <https://doi.org/10.3390/wevj13010014>

[10] Hatipoglu, E., Assoy, M. K., Kaya, M., Ezim, M., vd. (2023). Geometric path planning for parallel parking on double side parked narrow streets. *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, 6(2), 326-343. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1311698>

[11] <https://www.donanimhaber.com/byd-elektrikli-seagull-in-9700-dolarlik-yeni-versiyonunu-tanitti--174964>, Erişim: 7 Haziran 2025.

[12] <https://dolubataraya.com/togg-t10x>, Erişim: 8 Haziran 2025

[13] <https://www.benzelbusch.com/inventory/new-2025-mercedes-benz-sprinter-2500-cargo-170-wb-rwd-3d-extended-cargo-van-w1y4ndhy1st195575/>, Erişim: 6 Haziran 2025

[14] <https://www.youtube.com/watch?v=pNooWP7U00E>, Erişim 9 Haziran 2025