

# Düz Yolda Şeritten Ayrılma Senaryosu İçin Hedef Tayini ve ELKS Kalibrasyonu

## Target Designation for Straight Road Lane Departure Scenario and ELKS Calibration

Batuhan Günaydın<sup>1</sup>, Sarp Kaya Yetkin<sup>1</sup>, Buse Yakın Gökdemir<sup>1</sup>, Kaan Babacan<sup>1</sup>

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

{batuhan.gunaydin}@avl.tr

{sarp.yetkin}@avl.tr

{buse.yakin}@avl.tr

{kaan.babacan}@avl.tr

### Özetçe

Sürücü destek sistemlerinin (ADAS) konfor ve güvenlik açısından doğrulanması ve istenilen biçimde performans verilmesi için, farklı çalışma noktaları için temel performans göstergelerinin (KPI) hedef değerlerinin elde edilebilmesi bu alandaki en önemli problemlerden biridir. Bu çalışmada acil şerit koruma sisteminin (ELKS), şerit koruma fonksiyonuna (LKAS) ait bir senaryo, çalışılacak sistem olarak belirlenmiş ve açıklanan problem için "Hedef Tayini" (HT) metodu önerilmiştir. Metodoloji sonucunda elde edilen hedef matrisler (HM), belirlenen çalışma noktalarında ELKS kontrolcü kalibrasyonu için kullanılmıştır. Belirlenen senaryo için KPI tanımları yapılmış ve denektaş araç olarak belirlenen bir araçtan veriler toplanmıştır. Bu araçtan elde edilen KPI değerlerine göre, bir test aracının ELKS kontrolcüsünü için genetik algoritma (GA) ve lineer olmayan optimizasyon (NLO) metodları kullanılarak, belirlenmiş olan her bir çalışma noktası için optimal parametre setleri elde edilmiştir.

### Abstract

It is one of the most serious problems in advanced driver assistance systems (ADAS) field to obtain the target values of key performance indicators (KPI) at different operating points in order to verify these systems in terms of comfort and safety and to perform as desired. In this study, "Target Designation" (TD) method is proposed for the described problem for the straight road lane keeping assistance systems (LKAS) scenario of the emergency lane keeping system (ELKS). The obtained target matrices (TM) are used for the calibration of the ELKS controller on the determined operating points. As a first step of the TD procedure, KPIs were defined for the scenario and data were collected from a vehicle that was determined as a benchmark vehicle. According to the KPI values obtained from this

vehicle, optimal parameter sets were obtained for each operating point by implementing genetic algorithm (GA) and non-linear optimization (NLO) methods on the ELKS controller of a test vehicle.

### 1. Giriş

ADAS, çeşitli sensörler ve görüntü sistemleri ile çevreden bilgi toplayarak sürüş esnasındaki riskli durumlarda sürücüyü uyararak veya çeşitli seviyelerde sürüşe müdahale eden ve bu şekilde sürücüye yardımcı olan sistemlerdir [1]. ADAS sistemlerinin sınıflandırılması, yatay veya dikey eksenindeki müdahale ve müdahale süresi dikkate alınarak seviye sıfırdan seviye beşe kadar olacak şekilde altı grupta yapılmıştır [2]. ADAS teknolojilerinin kullanımı ile birlikte sürücü hatalarından kaynaklanan trafik kazalarının önüne geçilmesi, sürüş güvenliği, verimliliği ve konforunun artırılması amaçlanmaktadır [3].

Araçların ticari olarak yola çıkmadan önce bir dizi testlerden geçmesi ve sürüşe yardımcı kontrol sistemlerinin onaylanması gerekmektedir [4]. Senaryo tabanlı geliştirme ve test yaklaşımları, otonom araçların güvenli bir şekilde çalışıp çalışmadığını doğrulama konusunda olası çözümlerden biridir. Araç modeli ve kontrolcü gibi parametrelerin dijital kopyası üretilerek araç modeli, kontrolcü gibi parametrelerin dijital kopyası üretilerek simülasyonlar ile sanal ortamda gerçekleştirilebilir. Bu sayede istenilen tüm olası durumlar, güvenlik ve performansın azami seviyede sağlandığı şartlarda denenip onaylanmaktadır. PEGASUS [5] ve ENABLE-S3 [6] gibi projeler otonom araçların senaryo tabanlı validasyonu konusunda öncü çalışmalardır [7]. PEGASUS Projesinde sunulan yaklaşıma göre senaryolar; yol yapısı, altyapı, yol üzerindeki geçici değişiklikler, objeler, çevre ve dijital bilgi olarak 6 katmana ayrılarak tanımlanmaktadır [5].

Araçların şeridinden veya yolundan ayrılması kazaların önemli sebeplerinden biridir. Aracı yanal düzlemde kontrol eden sürüşe yardımcı sistemler, sürücülerin istemeden şeritten ayrılması durumunda meydana gelen kazaların önlemesine yar-

dımcı olur [8]. Bu çalışmada sürüş destek sistemi olarak M1 ve N1 tipi araçlarda uygulanması zorunlu tutulan ELKS ele alınmıştır. Sistemin içinde bulunduğu farklı operasyonel koşullara aracın en uygun tepkiyi vermesi, kontrolcü yapısındaki parametrelerin kalibre edilmesi ile mümkün hale gelmektedir [9]. LKAS ve şerit takip uyarı sistemi (LDWS)'nin incelendiği bir çalışmada araç istikamet sapma açısı farkı, şerit merkezinden yanal sapma ve direksiyon torqu ile elde edilen bir fonksiyon ile kontrolcü tasarlanmıştır. 500 metre viraj yarıçapına sahip gerçek yol test verisi kullanılarak, kontrolcünün istenen referans yolu oluşturma algoritmasının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlar karşılaştırılmıştır [10].

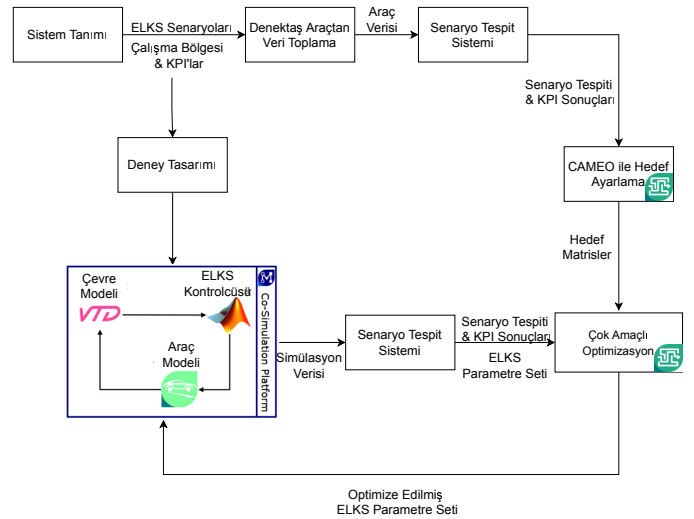
Çok amaçlı optimizasyon algoritmaları, bir çözüm kümesinde optimum değere giden yolda birden fazla faktörün birbirlerinden farklı ağırlıklara sahip olması durumunda uygulanmaktadır. LDWS incelenen bir çalışmada PID kontrolcüsü ile genetik algoritmalar kullanılarak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir [11]. Bir başka çalışmada parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak ACC sistemi, öndeki aracın hızlanmasının takip edildiği senaryo için; öndeki aracın ivmesi, egonun tepki süresi ve egonun en yüksek ivmesi gibi parametreler yardımıyla kalibre edilmiştir [12]. Boylamsal ADAS sistemlerinin değerlendirilmesinde KPI'ların baz alındığı bir çalışmada, ACC seçilerek KPI tabanlı geliştirme sürecinin nasıl etkili bir şekilde uygulanabileceği yaklaşımı senaryo tabanlı simülasyonlar kullanılarak sunulmuştur [13].

Bu çalışmada ELKS sisteminin kontrolcüsü, ele alınan senaryolar ve bu senaryolarda kullanılacak KPI'lar doğrultusunda optimize edilerek kalibre edilmiştir. İlk olarak ELKS sistemine ait senaryolar çıkarılmış, daha sonra KPI'lar belirlenerek ilgili manevralar için hedef matrisler çıkarılmıştır. Hedeflenen KPI değerlerini sağlayacak kontrolcü parametre setlerine ulaşmak için ilk önce test aracının ELKS kontrolcü modelini içeren bir simülasyon platformu tasarlanmıştır. Bu platform sayesinde test aracından sanal veri elde edilmiş ve her bir çalışma noktası için çok sayıda KPI değeri hesaplanmıştır. Son olarak bu KPI değerleri ve ilk aşamada elde edilen hedef matristeki alt ve üst sınır değerleri yardımıyla GA ve NLO algoritmaları kullanılarak kontrolcü parametreleri kalibre edilmiştir. Bölüm 2'de çalışmada ele alınacak problemde bahsedilerek, Bölüm 3'te üzerinde çalışılan ADAS fonksiyonu ELKS'den bahsedilmiştir. Bölüm 4'te sistemin doğrulanması için kullanılacak çalışma parametreleri, KPI'lar ve simülasyondan bahsedilerek son olarak Bölüm 5'te elde edilen verilerle kontrolcü optimizasyonunun nasıl yapıldığından bahsedilmiştir.

## 2. Problem Tanımlama

Çalışmanın ilk aşaması, üzerinde çalışılacak ADAS fonksiyonu olan ELKS'nin belirlenmesidir. Sistem belirlendikten sonra, ELKS'nin hangi senaryo, çalışma aralıkları ve KPI'ları için hedef değerlerinin çıkartılacağına karar verilmiştir. Daha sonra belirlenen deney tasarımı (DoE) için, denektaş araçtan toplanmış olan araç kayıtları, bir senaryo tespit sistemine (STS) beslenmiştir. STS, denektaş araçtan elde edilen kayıtları kullanarak, belirlenen çalışma bölgeleri için ilgili senaryoların tespitini yapmıştır ve bu tespit edilen senaryolar için ilgili KPI hesaplamalarını yapmıştır. Her bir çalışma bölgesinde, birden çok sayıda test koşulduğu için, ilgili bölgelerdeki KPI hedef de-

ğerleri makine öğrenmesi (ML) metotları kullanılarak matematiksel fonksiyonlara oturtularak bulunmuştur. Modellerde, giriş değişkenleri çalışma parametreleriyken, çıktılar KPI değerleridir. ML modellerini eğitmek ve ilgili çalışma noktalarındaki hedef değerleri elde etmek için AVL CAMEO™ kullanılmıştır. ML modelleri kullanılarak, KPI'ların ilgili çalışma bölgelerindeki hedef değerlerini ve hedef değerlerin alt ve üst sınırlarını içeren HM oluşturulmuştur. Çalışmanın ikinci aşaması, denektaş araçtan elde edilen hedef değerlerini kullanarak, AVL 15-15 test aracının ELKS kontrolcüsünü kalibre etmekten oluşmaktadır. Bu kapsamda, test aracının araç modelini içeren AVL VSM™ bloğu, ELKS kontrolcü modelini içeren FMU bloğu ve sürüş simülasyon programı olan VTD bloğunu içeren AVL Model Connect™ (MC) [14] simülasyon platformu tasarlanmıştır. Bu platform sayesinde, çalışma parametreleri ve kontrolcü parametrelerini içeren yeni bir DoE için test simülasyonları kurulmuştur ve veri toplanmıştır. Toplanan veri, yine STS ile işlenip her bir tespit edilen senaryo için KPI'lar hesaplanmıştır. Her bir test simülasyonu için hesaplanan KPI'lar ve ilgili testte kullanılan parametre setlerinden yeni bir veri seti oluşturulmuş ve bu veri setinden AVL CAMEO™ [15] ile yeni ML modelleri eğitilmiştir. KPI değerlerini, denektaş araç ile elde edilen hedef matrislerin alt ve üst sınırlarında tutacak şekilde performans veren bir ELKS kontrolcüsü elde edebilmek için, eğitilen ML modeli, AVL CAMEO™'da GA ve NLO algoritmaları ile optimize edilmiştir ve her farklı çalışma noktası için optimal parametre setleri tespit edilmiştir. Şekil 1'de çalışmada sunulan hedef tayini metodoloji adımları yer almaktadır.



Şekil 1: İş akışı

## 3. Sistem Tanımı

Avrupa Birliği'nin (AB) Genel Güvenlik Yönetmeliği (GSR) 2019/2144 [16], tüm yeni tip M1 ve N1 araçların acil şerit tutma sistemi kurulumu yapması gerektiğini ve 2021/646 [17] sayılı AB Düzenlenmesi'ne uyması gerektiğini zorunlu tutar. ELKS, sürücünün kazara şeridi terk ettiği durumlarda sürücüyü uyar-

ması ve rotayı düzeltmesi gereken bir sürüş yardımcı sistemidir. Mevcut ELKS teknolojileri, şeritlerin algılanmasına dayanmaktadır ve bu tür işaretlerin olmadığı durumlarda bu sistemlerin performansı garanti edilmez. Bu sistem, LDWS ve doğrultucu yön kontrolü fonksiyonu (CDCF) olmak üzere iki temel fonksiyona sahiptir. CDCF tekerlekte frenleme sağlayabilen elektronik kontrol sistemi içindeki bir kontrol fonksiyonudur ve sınırlı bir süre için bir veya birden fazla tekerlek üzerinde direksiyon açısını değiştirebilir. Böylece aracın istenmeyen şeritten ayrılmasını ve yan şeritte gelen bir araç ile çarpışmasını önler. LDWS ile de sistemin müdahalesinden önce sürücüye uyarı verilir. Düz bir yolda olduğu gibi eğimli bir yolda da, araç şerit çizgilerine yaklaştığında ve çizgileri geçme eğilimi gösterdiğinde sistemin müdahalesi sayesinde şeridinin içinde tutularak yolculuğuna devam eder. Çalışma aralığı 65 km/h ile 130 km/h arası olan bu sistem, düz ve virajlı bir yolda aracı şeridin içinde tutmak için 0.1 m/s ile 0.5 m/s aralığında yanal hız uygulayarak şeritten ayrılmasına müdahale edebilir. Otomobillerin güvenlik kapasitesini belirleyen Avrupa Yeni Araba Değerlendirme Programı'nda (Euro NCAP) Şerit Destek Sistemleri protokolünde yer alan ELKS test senaryoları; aracın yol sınırlarından çıkıp kaldırım, çimen, toprak veya diğer alanlara çıkması, aracın kesiksiz olan şeritten çıkması, yan şeritte karşıdan bir araç geldiğinde ana aracın şeritten çıkması ve ana aracın yan şeritte ana araç ile aynı yönde giden araç olmasına rağmen şerit çizgilerini geçtiği senaryolardır [8]. Bu çalışmada, ELKS altındaki fonksiyonlardan biri olan CDCF'in test senaryolarından, düz yolda şeritten ayrılma senaryosu ve virajlı yolda şeritten ayrılma senaryoları tercih edilmiştir. Bu senaryoların her iki ayrılma yönü için de (sol-sağ) HM çıkartılmıştır, fakat kalibrasyon işlemi için yalnızca düz yolda şola doğru şeritten ayrılma senaryosu tercih edilmiştir.



Şekil 2: Düz yolda şeritten ayrılma senaryosu



Şekil 3: Virajlı yolda şeritten ayrılma senaryosu

## 4. Hedef Tayini

ADAS sistemlerinin doğrulanabilmesi için KPI değerlerinin spesifik senaryolar ve bu senaryoların spesifik çalışma bölgeleri için hedef değerlerinin belirlenmesini sağlayan metodolojiye bu

çalışmada "Hedef Tayini" adı verilmiştir. Bu yeni metodoloji sayesinde mevcut aracın performansı değerlendirilebilir ve hedef olarak seçilen bir aracın performansına yaklaştırılabilecek şekilde optimizasyon yapılabilir.

### 4.1. Çalışma Parametreleri

Çalışmada kullanılan düz yol senaryoları için, Ego dikey hız başlangıç ve Ego ayrılma hızı parametreleri belirlenmiştir. Çalışma parametrelerinin bu şekilde belirlenmesindeki en büyük etken, bu parametrelerin KPI değerlerine etkisinin yüksek seviyede olacağının öngörülmesidir. DoE için bu parametreler sırasıyla 70-100-130 km/s ve  $\pm 0.2-0.4-0.6$  m/s noktaları olarak belirlenmiştir.

### 4.2. Temel Performans Göstergeleri

Seçilen senaryolarda HT'ini gerçekleştirebilmek ve kontrolcü kalibrasyonu yapabilmek için KPI belirlenmesi gerekmiştir. İlk olarak ilgili manevra ile ilgili KPI'lar tanımlanmıştır. CAMEO'da bulunan çeşitli model tipleri içinde model kalitesinin iyi olmasından dolayı yinelemeli sinir ağıları (RNN) ve serbest polinom modelleri (FPM) kullanılmıştır. KPI'lar, açıklamaları, kullanılan ML modelleri ve  $R^2$  değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de belirtilen  $R^2$  değeri model kalitesi hakkında doğrudan fikir vermektedir. Değerin 1'e yakınlığı model eğitimi için kullanılan veri ve eğitilen model arasındaki yakınlığı göstermektedir.  $R^2$ , tüm KPI'lar içinde EgoYawRateRate\_min'de en yüksek değere sahiptir. Bunun nedeni bu KPI, ego aracın kendi şeridinden çıkmasını engellemek için kontrolcü tarafından aracı şeridin içinde tutmak için yapılan ilk müdahaleyi temsil eder. Bu nedenle bu KPI'nın korelasyonunun 1'e yakın olması beklenen ve istenen bir sonuçtur. Benzer şekilde  $R^2$ , EgoYawRateRate\_max'de en düşük değere sahiptir bunun sebebi de ikinci müdahale hareketinin ilk müdahaleye göre daha yumuşak bir hareket olmasından ve korelasyon gözlemlenmenin daha zor olmasından kaynaklanmaktadır. HT'inde kullanılan veriler modellemeden kullanılmadan önce, veri seti içindeki aykırı değerler temizlenerek model kalitesi artırılmıştır. EgoP2PStrAng KPI'ı için aykırı değerler, ölçülen değerler ve model tahminleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Aynı KPI'nın, çalışma parametrelerine göre değişimini gösteren kesişim eğrisi ise Şekil 5'te verilmiştir. Optimizasyon sırasında minimize edilecek olan KPI'nın hesaplanması sırasında Denklem 1 kullanılmıştır.

$t_{start}$  : kurtarma manevrasının başladığı an [s]

$t_{end}$  : oturtma manevrasının bittiği an [s]

$StrAng$  : direksiyon dönüş açısı [ $^{\circ}$ ]

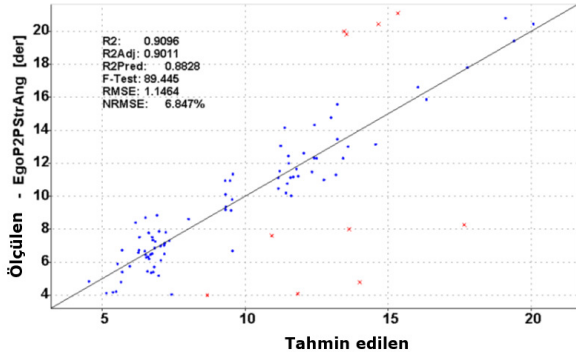
$$P2PStrAng_{max} = [StrAng_{max} - StrAng_{min}]_{t_{start}}^{t_{end}} \quad (1)$$

### 4.3. Veri Seti

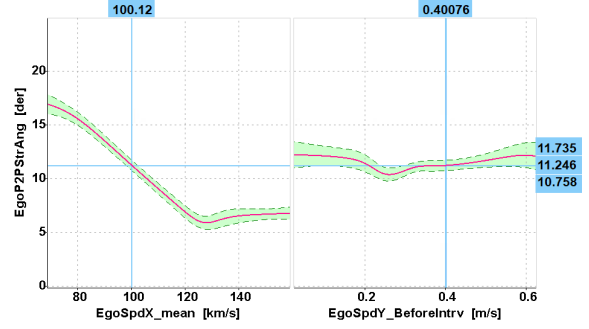
Çalışmanın HT aşaması için kullanılan veri, denektaş araç olarak kabul edilen bir araçtan, ideal test şartlarında (trafiğe kapalı bir test parkurunda) toplanmıştır. Testler, 4.2 kısmında açıklanan çalışma noktalarında ve bu noktalar arasındaki noktalarda birden çok kez tekrar yapılarak koşulmuştur ve veri seti elde edilmiştir.

Tablo 1: Düz Yolda Şeritten Ayrılma Senaryosu KPI Tablosu

KPI'lar	Tanım	Kullanılan ML Modeli	R <sup>2</sup> Değeri
EgoAccY_AfterIntrv_max	Ego aracını şeride döndüren hamleden sonraki maksimum yanılma ivme	RNN	0.7634
EgoP2PStrAng	Ego aracını şeride döndüren hamle ile şeride geri oturtmak için yapılan hamledeki maksimum direksiyon açılarının farkı	RNN	0.9096
EgoStrWhlAng_std	Ego aracının manevra boyunca direksiyon açısında meydana gelen standart sapma	FreePolyModel	0.8718
EgoDTLC_min	Ego aracının şerit çizgisine olan minimum uzaklığı	RNN	0.7911
EgoYawRate_max	Ego aracının maksimum yalpalama oranı	RNN	0.8487
EgoYawRate_min	Ego aracının minimum yalpalama oranı	FreePolyModel	0.8184
EgoYawRateRate_max	Ego aracının maksimum yalpalama ivmesi	FreePolyModel	0.7207
EgoYawRateRate_min	Ego aracının minimum yalpalama ivmesi	RNN	0.9584



Şekil 4: P2PStrAng ölçülen/tahmin edilen eğrisi ve aykırı değerleri



Şekil 5: P2PStrAng çalışma alanı kesişim eğrisi

Tablo 2'deki matriste sunulmuştur.

Tablo 2: EgoP2PStrAng [°] Hedef Matrisi

Dikey eksen hız [km/s]	Yatay eksen hız [m/s]		
	0.2	0.4	0.6
70	13.54	16.80	21.16
100	11.47	11.27	12.24
130	6.52	5.91	7.25

## 5. Kontrolcü Kalibrasyonu

Çalışmanın ikinci aşaması 4.4 kısmında, elde edilen hedef matrislerinden faydalanarak, AVL 15-15 aracının ELKS kontrolcü parametrelerini denektaş aracı referans olarak kalibre etmektir. Burada amaçlanan, AVL 15-15 aracının kontrolcü performansını, denektaş aracın kontrolcü performansına mümkün olduğunca yakınlaştırmaktır.

### 4.4. Hedef Matrisleri

Çalışma parametreleri ve KPI'lar arasındaki ilişkiyi CAMEO aracılığıyla modellemek için yinelemeli sinir ağları (RNN) ve serbest polinom modelleri (FPM) kullanılmıştır. İki model arasında hangi ML modeli, hata metrikleri ( $R^2$ ,  $RMSE$ ) bazında daha iyi sonuçlar vermişse, ilgili KPI için o model tercih edilmiştir. Bu çalışmadaki hata metrikleri ( $R^2$ ,  $RMSE$ ) çoğu çalışmada kabul görmüş ve sonuçlarının çalışma açısından yeterli olmasından dolayı seçilmiştir.  $RMSE$ , tahmin edilen değer ile gerçek değerler arasındaki farkları ölçer ve karesini alır.  $RMSE$ , farklı makine öğrenimi algoritmalarının performansını değerlendirmede tercih edilen bir metriktir [18].  $R^2$ , modelin verileri ne kadar iyi açıkladığını ölçen önemli bir istatistiktir. Literatürde  $R^2$  ve  $RMSE$  model performansını değerlendirmek için bir arada kullanılan metriklerdir [19].

Modeller, 4.3 kısmında açıklanan veri seti ile eğitildikten sonra, her bir KPI'nın bütün çalışma noktaları için hedef değerler ve bu değerlerin alt ve üst sınırları bulunmuştur. Alt ve üst sınırlar, güven aralığının alt ve üst sınırı olarak belirlenmiştir. Denektaş araçtan alınan verilere göre farklı yatay ve dikey hız kombinasyonlarında EgoP2PStrAng KPI'nın aldığı değerler

## 5.1. Simülasyon Platformu

Simülasyonlar için, AVL 15-15 araç modeli AVL VSM™, araç üzerindeki ELKS kontrolcüsü için Simulink/FMU, yol ve çevre modelleri için de VTD kullanılmıştır. VTD'de bulunan radar sensöründen gelen yol viraj yarıçapı, hız ve Ego aracının şeridin orta ekseninden olan kaçıklığı bilgileri kontrolcüde işlenerek gerekli direksiyon açısı bilgileri hesaplanmıştır. Bu direksiyon açısı da aracın hızı ve dinamik modeline uygun bir şekilde araç modelinde tekrardan hesaplandıktan sonra VTD'ye geri beslenip sürekli olarak işlem devam etmiştir. Kontrolcü, Ego aracının şeritten çıkmaya başladığı an devreye girerek ani bir direksiyon açısı ile aracı şeride soktuktan sonra, şerit takip sistemi aracın şerit orta hattında kalmasını sağlamıştır. Kontrolcüde, DTLC'ye bağlı olarak değişkenlik gösteren direksiyon açıları optimize edilmiştir.

Simülasyon ortamı için yapılan deney tasarımı, kontrolcü parametreleri ( $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ ) ve çalışma parametrelerinin (Ego dikey hız ve Ego ayrılma hızı) belirli aralıklar içinde değiştirilmesi sonucu elde edilmiştir. Burada  $k_1 \dots k_5$  parametreleri, deney tasarımında kullanılırken,  $k_1 > k_2 > k_3 > k_4 > k_5$  sınırlandırması göz önünde bulundurulmuştur. Bu sınırlandırmanın sebebi, bu parametrelerin şeritten sapma miktarına göre değişim gösteren kalibrasyon tablosu parametreleri olması ve yüksek şeritten sapma miktarında yüksek direksiyon açısı müdahalesinin gerektiğinin öngörülmesidir.

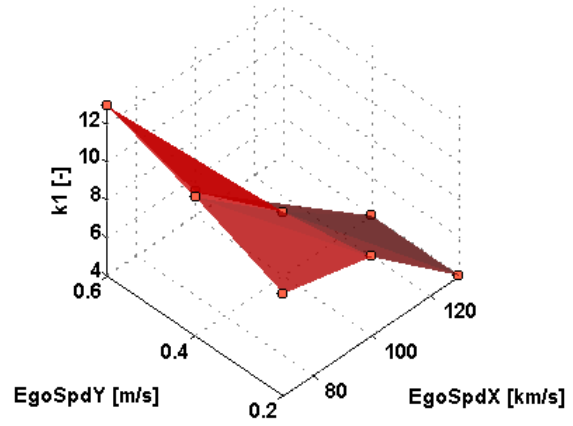
## 5.2. Optimizasyon Metodu

Optimal parametre setini bulabilmek için AVL CAMEO™ ortamında 4.4 kısmında bulunan KPI alt ve üst sınırları her bir çalışma noktası için tanımlanmıştır ve optimizasyon yapılacak çözüm uzayı sınırlandırılmıştır. Belirlenen kontrolcü parametreleri, direksiyon açısı komutunu direkt olarak etkilediğinden, farklı çalışma noktalarında ortak olarak çalışacak tek bir parametre seti bulmak mümkün olmamıştır. Bunun yerine, her bir farklı çalışma noktası için ilgili alt ve üst sınırlar kullanılarak, çalışma noktası spesifik parametre seti çözümü bulma yöntemine gidilmiştir. KPI alt ve üst sınırlandırmaları yapılırken, yalpalama hızı minimum ve yalpalama ivmesi minimum KPI'larının üst sınırları; yalpalama hızı maksimum ve yalpalama ivmesi maksimum KPI'larının ise alt sınırları kaldırılmıştır. Bunun haricinde yanıl ivme maksimum KPI'nın da alt sınırı yine kullanılmamıştır. Bu limitasyonların kaldırılmasının sebebi ise, bu KPI değerlerinin mutlak değer olarak minimize edilmeye çalışılmasının, sürüş deneyimini arttıracak yönde bir değişime yol açması ve bu KPI'lar için iki taraflı bir sınırlandırmanın optimizasyon işlemini güç hale getirmesidir. Optimizasyon işlemi için hedef fonksiyon olarak P2PStrAng KPI'nın minimize edilmesi belirlenmiştir. Burada, fonksiyonun hem ilk şeride sokma müdahalesini hem de şeride oturtma müdahalesini mümkün olduğunca pürüzsüz tutarak sürüş deneyimi, konfor ve güvenlik açısından bir gelişim sağlamak amaçlanmıştır. Optimizasyon algoritması, özet olarak GA ile NLO'nun bir kombinasyonu olarak tanımlanabilir. GA algoritması ile ilk olarak bir optimumun en iyi konumu bulunmuştur. Optimum nokta bulunduktan sonra, algoritma optimum aramayı tamamlamak için otomatik olarak NLO'ya geçmiştir ve yerel optimum sorununun üstesinden gelinmiştir. AVL CAMEO™, GA ve NLO kombinasyonu olan bu algoritmayı otomatik olarak çalıştırarak tek

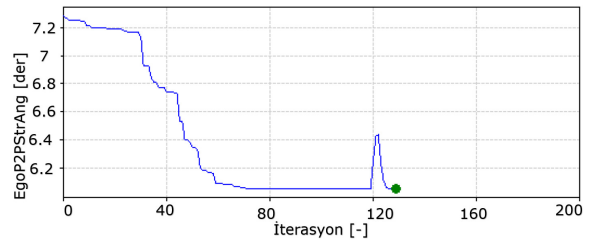
bir optimizasyon sonucu sunar. AVL CAMEO™, optimizasyon algoritması için multi objective optimization (MO), sadece GA gibi çeşitli hazır seçenekler de sunar ancak bu alternatiflerle kıyaslandığında en iyi sonucu GA ve NLO kombinasyonu sağlamıştır.

## 5.3. Optimizasyon Sonuçları ve Yorumlar

Belirtilen metodoloji ile tasarım uzayı ekstrapole edilemeyecek şekilde bir optimizasyon yapıldığında 9 noktadan 7'sinde; tasarım uzayı serbest bırakıldığında ise 9 çalışma noktasının tamamında çözüm bulunabilmiştir. Bunun en büyük sebebi ise, DoE kısmında kontrolcü parametreleri ile ilgili yapılan sınırlandırılmanın ( $k_1 > k_2 > k_3 > k_4 > k_5$ ), aslında denektaş aracın kontrolcüsü ile tam olarak uyumlu olmamasından kaynaklanmaktadır. Tasarım uzayı serbest bırakılarak elde edilen sonuçlarda, bu parametrelerin çalışma noktalarına göre ilişkilerinin değişebildiği gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu ilişki, denektaş araçta yanıl sapma miktarı ile direksiyon açısı düzeltilmesi arasında her zaman doğru orantılı bir ilişki olmadığını ortaya çıkarmıştır. Kontrolcü parametrelerinden  $k_1$  parametresinin, çalışma bölgelerine göre optimal değerinin değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6:  $k_1$  parametresinin çalışma alanındaki değişimi



Şekil 7: P2PStrAng KPI'nin optimizasyonu

## 6. Sonuç

Yapılan çalışma ile ADAS kontrolcülerinin KPI hedef değerlerini elde edebilmek ve bu değerlere göre kontrolcü kalibrasyonu yapabilmek için baştan sona bir metodoloji önerilmiştir.

HT, ADAS fonksiyonlarından istenilen performansın nicel olarak tanımlanabilmesi ve bu değerlere göre sistemin doğrularmasının yapılabilmesi konusunda, ADAS alanındaki önemli bir boşluğu doldurmayı vaad etmektedir. Bu yeni metodoloji sayesinde mevcut aracın performansı hedef olarak seçilen bir aracın performansına yaklaştırılabilecek şekilde optimizasyon yapılabilir. Kalibrasyon metodolojisi ile ise, bir ADAS kontrolcüsünün, farklı çalışma noktalarında, istenilen KPI değerlerine göre performans verebilmesi amaçlanmıştır.

Gelecekte çalışmayı ilerletebilmek için, kontrolcünün çalışma noktası spesifik, adaptif bir biçimde parametre setlerini güncelleyerek çalışabilmesi ve yapılan kalibrasyonun doğrulanması hedeflenebilir. Bunun haricinde, HT süreci için belirlenen referansın, denektaş araçtan elde edilen bir veri seti yerine; bir çok katılımcı tarafından subjektif puanlamalarla elde edilen büyük bir veri seti ile değiştirilmesi düşünülebilir.

## 7. Kaynakça

- [1] J. Piao and M. McDonald, "Advanced driver assistance systems from autonomous to cooperative approach," *Transport reviews*, vol. 28, no. 5, pp. 659–684, 2008.
- [2] S. International, "Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles," *SAE Int.*, vol. 4970, no. 724, pp. 1–5, 2018.
- [3] L. Masello, G. Castignani, B. Sheehan, F. Murphy, and K. McDonnell, "On the road safety benefits of advanced driver assistance systems in different driving contexts," *Transportation research interdisciplinary perspectives*, vol. 15, p. 100670, 2022.
- [4] S. Moten, F. Celiberti, M. Grottole, A. van der Heide, and Y. Lemmens, "X-in-the-loop advanced driving simulation platform for the design, development, testing and validation of adas," in *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [5] A. Audi and A. Volkswagen, "The pegasus method."
- [6] ENABLE-S3. European Initiative to Enable Validation for Highly Automated Safe and Secure Systems. <https://cordis.europa.eu/project/id/692455/>.
- [7] M. Steimle, T. Menzel, and M. Maurer, "Toward a consistent taxonomy for scenario-based development and test approaches for automated vehicles: A proposal for a structuring framework, a basic vocabulary, and its application," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 147 828–147 854, 2021.
- [8] ENCAP. Test protocol - Lane Support Systems. <https://cdn.euroncap.com/media/75440/euro-ncap-lss-test-protocol-v42.pdf/>.
- [9] M. Markofsky, M. Schäfer, and D. Schramm, "Use cases and methods of virtual adas/ads calibration in simulation," *Vehicles*, vol. 5, no. 3, pp. 802–829, 2023.
- [10] J. Hwang, K. Huh, H. Na, H. Jung, H. Kang, and P. Yoon, "Evaluation of lane keeping assistance controllers in hil simulations," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 41, no. 2, pp. 9491–9496, 2008.
- [11] M. H. G. Rojas, H. V. Arellano, D. U. González, M. M. Rivera, and M. O. A. Justo, "Steering wheel control in lane departure warning system." *Res. Comput. Sci.*, no. 2, pp. 9–21, 2018.
- [12] B. Durukal, S. Kınay, N. Zengin, B. Günaydm, B. Öztürk, and S. K. Yetkin, "A digital twin study: Particle swarm optimization of acc controller for follow acceleration maneuver," in *2022 IEEE 21st International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*. IEEE, 2022, pp. 146–153.
- [13] J. Nesensohn, S. Lefèvre, D. Allgeier, B. Schick, and F. Fuhr, "An efficient evaluation method for longitudinal driver assistance systems within a consistent kpi based development process," in *11th International Munich Chassis Symposium 2020: chassis. tech plus*. Springer, 2021, pp. 77–92.
- [14] AVL. Model.Connect. <https://www.avl.com/en/simulation-solutions/software-offering/simulation-tools-z/modelconnect/>.
- [15] G. AVL. AVL CAMEO 5. <https://www.avl.com/en/testing-solutions/all-testing-products-and-software/connected-development-software-tools/avl-cameo-5/>.
- [16] European Union Law. GSR 2019/2144. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/2144/oj/>.
- [17] EU Law. GSR 2021/646. [https://eur-lex.europa.eu/eli/reg\\_impl/2021/646/oj/](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/646/oj/).
- [18] M. A. Taie and M. ElHelw, "On board evaluation system for advanced driver assistance systems," SAE Technical Paper, Tech. Rep., 2016.
- [19] G. N. Bifulco, F. Galante, L. Pariota, and M. Russo Spena, "A linear model for the estimation of fuel consumption and the impact evaluation of advanced driving assistance systems," *Sustainability*, vol. 7, no. 10, pp. 14 326–14 343, 2015.