

# Sürücüsüz taşıtların trafik akım hızına etkisinin yapay sinir ağları ile incelenmesi

İlgin Gökaşar<sup>1,\*</sup>, Selim Dündar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Bogazici University, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Okan University, Istanbul, Turkey

\*Sorumlu yazar: [ilgin.gokasar@boun.edu.tr](mailto:ilgin.gokasar@boun.edu.tr)

**Özet:** Son dönemlerde, yapay zekada konularında yaşanan gelişmeler sonucunda, sürücüsüz araç teknolojileri ortaya çıkmıştır. Yakın gelecekte bu araçların daha fazla günlük trafikte yer alması beklenmektedir. Sürücüsüz araçlar birbirleriyle iletişim kurabilmeleri sayesinde çok daha düşük tepki süresine sahiptirler ve bu nedenle birbirlerini daha yakından takip edebilmektedir. Bu özellikleri sayesinde tüm trafik sürücüsüz araçlardan meydana geldiğinde yolların kapasitesinin önemli ölçüde artması ve trafik kazalarında azalma görülmesi beklenmektedir. Ancak, bu etkiler, sürücülü ve sürücüsüz araçların bir arada olduğu karma trafik koşullarında, karmaşıklaşmaktadır. Araştırmalar sürücüsüz araçların karma trafik koşullarında trafik akım özellikleri üzerinde olumsuz bir etki yaratacağını göstermektedir. Bu çalışmada, sürücüsüz araçların trafik ağı üzerindeki etkisi, trafik talebinin ve sürücüsüz araçların yüzdelerinin farklı olduğu, 15 farklı senaryoda incelenmiştir. İstanbul'daki Turgut Özal Caddesi bu senaryoların sınındığı yer olarak seçilmiş ve bir ince boyut benzetim modeli oluşturulmuştur. Sonrasında trafik değişkenleri incelenerek, bu değişkenleri tahmin edecek bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model ortalama akım, hız ve ivme değerlerini, ortalama takip süresi, takip uzunluğu ve doluluğa göre daha iyi tahmin edebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom araçlar, akıllı ulaşım sistemleri, makine öğrenme, trafik benzetimi, yapay sinir ağı

**Abstract:** In recent decades, autonomous vehicles are introduced as a result of significant developments in artificial intelligence. In near future, it is possible that more and more autonomous cars will be a part of the daily traffic. Autonomous vehicles can communicate with other vehicles, so they have much lower response time than the human drivers, thus, autonomous vehicles can be operated with lower headway. This feature is expected to significantly increase the capacity of roads when completely autonomous vehicles are operated in traffic and to reduce traffic accidents. However, the effect is more complicated in combined traffic conditions where autonomous and human-driven vehicles are present. Studies have shown that autonomous vehicles adversely affect traffic flow characteristics in combined traffic conditions. In this study, the effects of autonomous vehicles on traffic network is evaluated using 15 scenarios including different traffic demand levels and autonomous vehicle composition on a microsimulation model of a network in Turgut Özal (Millet) Caddesi in Istanbul. Then, the effect of the traffic parameters is analyzed and predicted using Artificial Neural Networks. Artificial Neural Network model is capable of estimating the average flow, speed and acceleration with a higher accuracy than average headway, gap and occupancy.

**Key words:** Autonomous vehicles, intelligent transportation systems, machine learning, traffic simulation, artificial neural networks

## 1. Giriş ve literatür taraması

Teknolojinin gelişmesiyle beraber otomotiv sektöründe oldukça fazla gelişmeler olmuştur. Sürücüler acil fren sistemi, uyumlu hız kontrol sistemi, şerit koruma sistemi, hibrit araçlar, elektrikli araçlar gibi farklı kavramlarla tanışmışlardır. En son büyük gelişme, özellikle yapay zekanın geliştirilmesiyle beraber ortaya çıkmış olan, sürücüsüz araçlardır.

Sürücüsüz (otonom) araçlar iki nokta arası yolculuğu, bir sürücü müdahalesi olmadan gerçekleştirebilen makinalardır. LIDAR, GPS, odometre, radar ve bilgisayar görüntüsü teknikleriyle normal bir sürücünün yolculuk sırasında yapacağı davranışları araç kendi kendine gerçekleştirebilmektedir. Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (Society of Automotive Engineers) (SAE) özdevinim için 5 düzey belirlemiştir. Bu düzeylere göre 1. düzey özdevinimli araçlar tamamen sürücüye bağımlıyken, 5. düzey özdevinimli araçlar yolculuğunu sürücü müdahalesine hiç gerek duymadan tamamlayabilmektedir (Şekil 1). Günümüzde trafikte bulunan araçlar en fazla 2. ya da 3. düzey özdevinime sahiptir. 5. düzey özdevinimli test araçlar trafiğe kapalı özel tesislerde özel şirketler tarafından geliştirilmektedir [1]. Sürücüsüz araçların düşük tepki süreleri, kurallara daha katı bir halde uymaları ve araçlar ile altyapı arasındaki teknolojik iletişim avantajları sayesinde (Vehicle to Vehicle - V2V ya da Vehicle to Interface - V2I) daha güvenli trafik ortamları ve daha yüksek kapasitede yol kullanımı sağlanabilecektir. Ancak bu geçiş süreci bir anda olmayacaktır ve bu uzun süreç tamamlanıncaya dek sürücülü ve sürücüsüz araçlar trafikte bir arada bulunmak zorundadırlar. Bazı araştırmacılara göre bu geçişin tamamlanmasının en erken 2050 yılında olması beklenirken [2], bazıları 2070 yılına kadar bu sürecin devam edeceğini düşünmektedir [3]. Bu durumdan ötürü, karma trafikte bulunan sürücülü ve sürücüsüz araçların arasındaki etkileşimin nasıl olacağı ve bunun sonucunda trafik koşullarının iyileşip iyileşmeyeceğini incelemek son derece önemlidir. Trafik akımı koşulları incelenirken kesintisiz akım koşullarındaki karayolları ve yerleşim yerleri ile özellikle kavşaklar, ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Kesintisiz akım koşulundaki bir karayolunda başı başı birim zamanda geçen taşıt sayısı ile ölçülmektedir. Kavşaklarda ise taşıt başına düşen ortalama gecikme başı başı ölçütüdür. Mevcut sistemin gelecekte oluşması beklenen sistemler için hazır olduğundan emin olmak, meydana gelebilecek problemlerin önüne geçilebilmesi açısından son derece önemlidir.

Sürücüsüz araçların algılama yeteneği, insan sürücülere göre daha yüksek olduğundan sürücüsüz araçların trafikteki payı arttıkça trafik kazalarında ve sıkışıklığında bir azalma beklenmektedir. Ayrıca araç başına kat edilen uzunluğun da kişi başına düşen araç sayısının azalmasıyla beraber, artacağı öngörülmektedir [4]. Yolların kapasitelerinin artması, enerji ve

yakıt tüketiminin azalması ve yolculuk sürelerinin kısılması gelecekte beklenmekte olan çeşitli olumlu gelişmelerden sadece birkaçıdır [5]. Ancak, her ne kadar göz ardı edilemeyecek bu olası faydalar bulunsa da, aynı zamanda bu üstünlüklerin önüne geçebilecek, bazı engeller de söz konusudur.

Bir sürücüsüz aracın içindeki bilgisayarın hatası sonucunda diğer araçlarla ve altyapıyla olan iletişimi kesilebilir ve bu durum ciddi sonuçlara sebep olabilir [6]. Sürücüsüz araçlar için oluşturulan yazılımın güvenilirliği, gerçekleştirilecek hasarların sorumluluğuyla beraber önem kazanmaktadır [7]. Toplumun sürücüsüz araçlara karşı olan görüşü de kendi araçlarının kontrolünü kendilerinden başka bir varlığa, bir bilgisayara, emanet etmeye engel olabilir. Bu son derece karmaşık ve yüksek teknoloji araçlar için ayrıca çok sayıda yol altyapısında ayarlamalara, birinci sınıf haritalara ihtiyaç vardır [8]. Yaygınlaşan sürücüsüz araçlar bir yandan da bir sürü araç sürücülüğü gerektiren mesleklerin sonunu getirebilme olasılığına da sahiptir [9-10]. Sürücüsüz araçlar ilk piyasaya çıktığı zaman maliyetinin çok yüksek olması beklenmektedir ve toplumun büyük bir kesiminin bu maliyeti karşılayamayacağı öne sürülmektedir. Gerekli güvenli ve yasal düzenlemelerin de henüz bulunmaması bu sürecin önünde bulunan önemli engellerdendir. Aynı şekilde kişinin özel hayatının gizliliği konusunda da gerekli düzenlemelere mutlaka ihtiyaç duyulacaktır. Sürücüsüz araçların diğer ulaşım türleriyle olan etkileşimi üzerine yeterince çalışma olmadığı düşünülmektedir [11]. Yapılacak bu çalışma ile bu eksikliğin giderilmesi adına önemli bir adım atılması hedeflenmektedir. Yapılan ve yapılacak çalışmalar ile hedef, sürücüsüz araçların faydalarını en yükseğe çıkartırken, faydaların önüne geçebilecek tüm engelleri tespit etmek ve bunlara bir çözüm getirmektir.

Sürücüsüz araçların trafiğe olan etkileri daha önce çeşitli araştırmalarda incelenmiştir. [12]. Akım-hız-yoğunluk grafikleri, trafik akımı içerisinde sürücüsüz araçların farklı oranları için ayrı senaryolar için oluşturulmuştur [13]. Taşıt takip mesafesi, bir yolun kapasitesini önemli ölçüde etkileyen bir etkidir. Düşük takip mesafeleri, yol kapasitesini arttırırken, trafik güvenliğini azaltmaktadır. Farklı zemin koşullarının da hem kapasiteye hem de diğer değişkenlere olan etkileri de incelenmiştir. Yol kaplamalarının ıslak olmasının kapasiteyi %30-40 oranlarında, frenleme ivmesini de otobüsler için %10 ve kamyonlar için %11-23 oranlarında azalttığı görülmüştür. Aynı şekilde kümelenme de arttıkça kapasitenin yükseldiği gözlemlenebilmektedir [14]. [15] katılım bölgelerinde sürücüsüz araçların hareketlerini en iyileyen bir algoritma oluşturmuş ve bu sayede güvenli bir biçimde sürücüsüz araçların katılımını sağlayabilmiştir. Farklı senaryolar test edildiğinde iyileşme oranlarının %3 ile %61,4

arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yola bağlı talep arttıka ve kapasiteye ulaşınca kuyruklanmalar oluştuğu gözlemlenmiştir.

Kamuya açık yolda bulunan bir otoyol aracı, diğer araçlar, yayalar, bisikletliler, hayvanlar ve trafik ışıkları gibi diğer durağan ve hareketli nesnelere çok ysek bir etkileşim sıklığına sahiptir. Bu ysek etkileşim sıklığı, sürücüsüz bir sistemin üretim karmaşıklığının da çok ysek ve bu nedenle zorlu olduğu anlamına gelir. Karmaşıklık arttıka, böyle bir sistemin üretim maliyeti de önemli bir parasal sorun yaratmaktadır. Yapay sinir ağları tarafından eğitilen karmaşık davranışları ele almak için görevlendirilen denetleyiciler, beklenmedik durumlarda daha iyi başarım gösterirler [16]. Bir Sinir Ağındaki Sürücüsüz Arazi Aracı (An Autonomous Land Vehicle in a Neural Network - ALVINN), tek şeritli asfalt ve asfaltsız yollar da dahil olmak üzere, saatte 20 mile kadar olan hızlarda çalışmak üzere eğitilmiş bir projedir [17]. Yapay sinir ağlarının (YSA) hata ve gürültü toleransı, bilgi işleme özellikleri, öğrenme ve genelleme yetenekleri onu daha da çekici hale getirmektedir.

Bu çalışmada, bir trafik ağındaki farklı talepler ve farklı sürücüsüz araç yüzdeleri altındaki senaryolar, bir ince boyutlu trafik benzetim paketi olan PARAMICS kullanılarak test edilmiştir. PARAMICS, daha önceki birçok çalışmada iyi görselleştirme ve analitik yetenekler, çeşitli senaryoların etkililiğini ölçmek ve sonuçlarını karşılaştırmak için geniş bir raporlama seçeneği sunan faydalı bir araç olduğunu kanıtlamıştır. PARAMICS senaryo benzetimleri ile elde edilen veriler, YSA kullanılarak modellenmiştir. Trafik akışındaki sürücüsüz araçların farklı oranları için belirlenen farklı senaryolar altında ortalama akım, hız, ivme, takip süresi, takip uzunluğu ve doluluk gibi ağın trafik parametreleri değerlendirilerek YSA modeli kullanılarak tahmin edilmiştir.

## **2. Vaka analizi benzetim modeli**

Çalışma alanı (Turgut Özal Caddesi, İstanbul), bir ana yol (D 100) ve tarihi yarımada arasında yer almaktadır. Bölgenin yakınında çok sayıda kavşak, trafik ışığı ve bazı hastaneler vardır (şekil 1). Yolun her bir taraındaki  şerit, çalışma alanı boyunca uzanan ve çalışma alanı boyunca beş durağı bulunan hafif raylı sistem ile ayrılır. Çalışma alanının sokak görünümü şekil 2'de görülebilir.



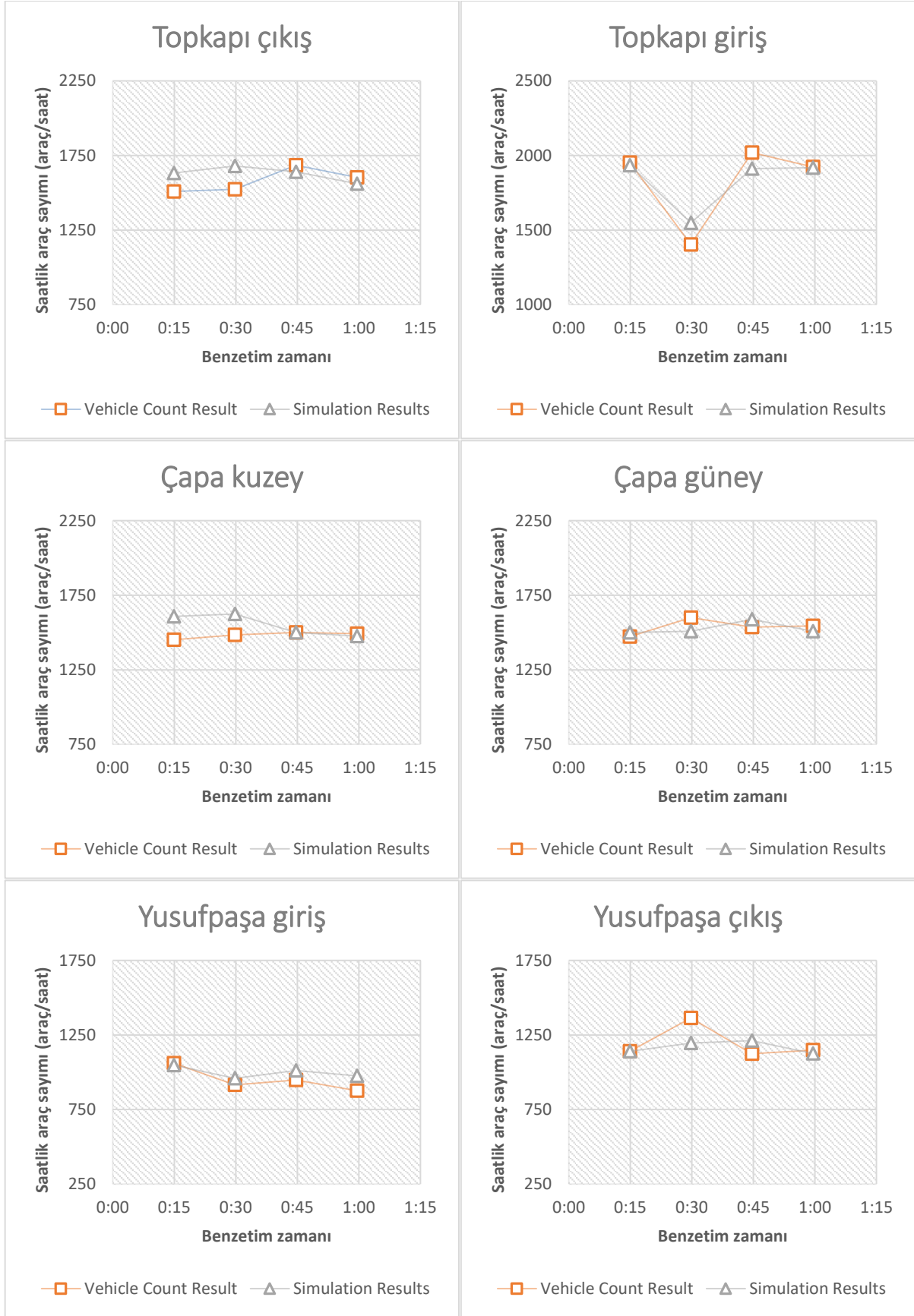
*Şekil 1. Turgut Özal (Millet) Caddesi, İstanbul harita görünümü.*



*Şekil 2. Turgut Özal (Millet) Caddesi, İstanbul sokak görünümü.*

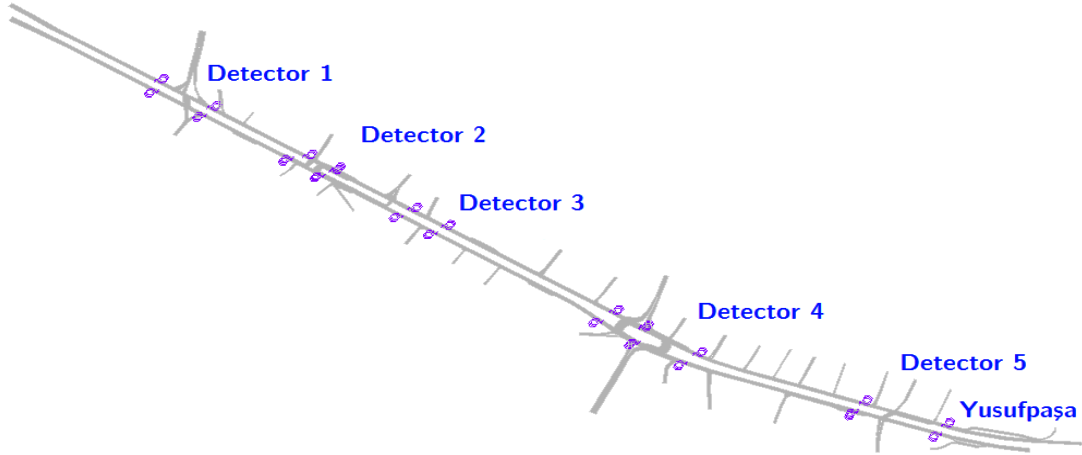
## **2.1. İnce boyulu benzetim modeli**

Çalışma alanı, PARAMICS trafik benzetim yazılımı üzerinde modellenmiştir. Modellenen ağ, iki yönden (Topkapı, Çapa, Yusufpaşa) taşıt sayım verileri kullanılarak, %5.06'lık hata ile ayarlanmıştır (kalibre edilmiştir) (Şekil 3) (vehicle count result – araç sayım sonucu) (simulation result – benzetim sonucu).



Şekil 3. PARAMICS yazılımı ve arazi aracı sayımlarının ayarlama sonuçları.

Benzetim modeli ağı üzerine yerleştirilen 22 döngü algılayıcı, Şekil 4'te gösterilen 5 gruba ayrılır. Bu gruplar önemli kesişme noktalarında bulunmaktadır. Tek tek algılayıcılar, grup adı ve algılayıcının göreceli konumu ile adlandırılmıştır. Örneğin, alt yolun en solundaki algılayıcı “det1\_bottom\_upstream” olarak adlandırılır ve bir sonraki adı “det1\_bottom\_downstream” olarak adlandırılır.



*Şekil 4. Ağdaki algılayıcı grupları.*

Ardından, Tablo 1'de gösterilen ayarlanmış edilmiş modelde 15 farklı senaryo sınanmıştır. Trafik ağındaki gerçek talebe göre üç farklı talep (% 75,% 90,% 100) ve beş farklı sürücüsüz araç yüzdesine göre (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) senaryo oluşturulmuştur.

*Tablo 1. Test edilen senaryolar.*

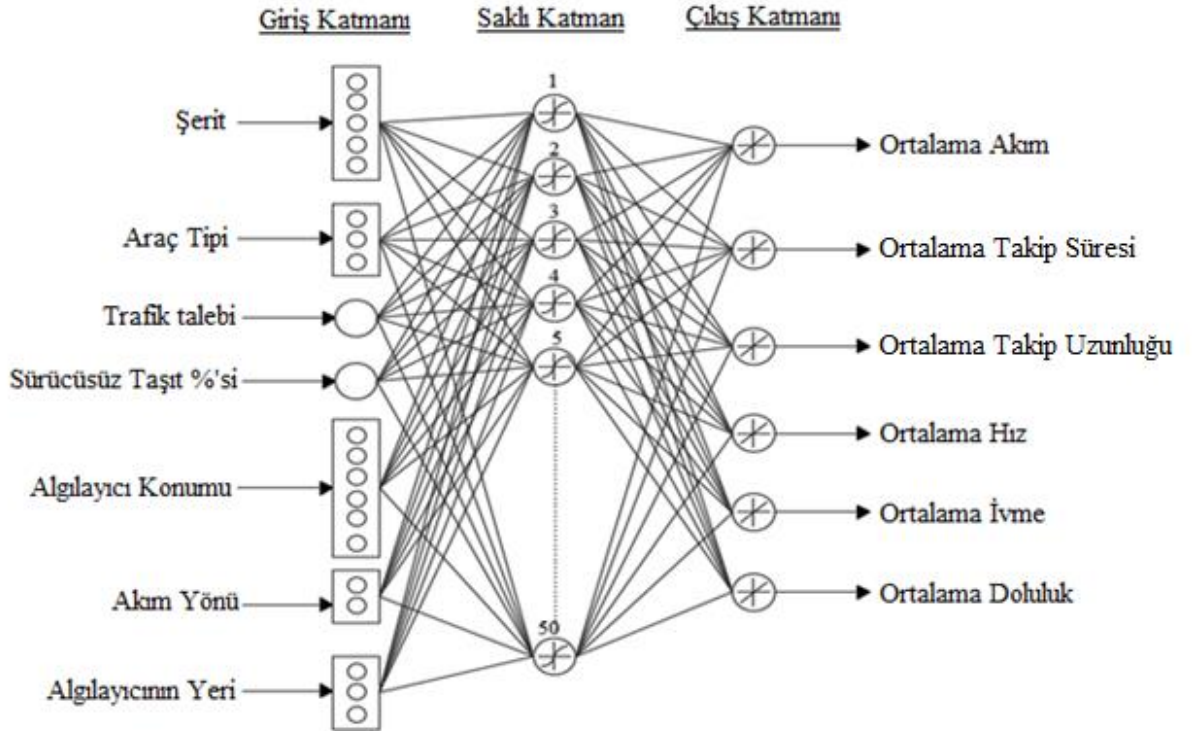
Senaryo #	Senaryo adı	Sürücüsüz araç yüzdesi (%)	Trafik talebi (%)
1	D075 A000	0	75
2	D075 A025	25	75
3	D075 A050	50	75
4	D075 A075	75	75
5	D075 A100	100	75
6	D090 A000	0	90
7	D090 A025	25	90
8	D090 A050	50	90
9	D090 A075	75	90
10	D090 A100	100	90
11	D100 A000	0	100
12	D100 A025	25	100
13	D100 A050	50	100
14	D100 A075	75	100
15	D100 A100	100	100

## 2.2. YSA modeli

PARAMICS ince boyutlu benzetim yazılımından elde edilen araçların ortalama akım, hız, ivme, takip aralığı, takip uzunluğu ve doluluk değerlerini tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirilmiştir. Modelin girdi değerleri:

1. Seyahat talebi oranı,
2. Trafikteki sürücüsüz araçların oranı,
3. Algılayıcıdaki aracın tipi,
4. Aracın bulunduğu şerit,
5. Algılayıcının yeri,
6. Aracın trafik akımındaki yönü,
7. Algılayıcının konumudur.

Geliştirilen YSA modelinde, tek bir gizli katman üzerinde 21 giriş, 6 çıkış ve 50 gizli nöron (sinir hücresi) vardır (Şekil 5).



Şekil 5. Geliştirilmiş YSA modeli.



Modelin giriş değerleri aşağıdakileri içermektedir:

1. İlk 5 giriş nöronu, aracın bulunduğu şeridi göstermektedir. Aracın bulunduğu şeridi belirten nöron, etkinleştirilirken (1 değerini alırken), geriye kalanlar ise devre dışı bırakılmıştır (0 değerini almıştır).
2. 6 ila 8. giriş nöronları, algılayıcıdaki aracın tipini göstermektedir. Aracın bir otobüs olması halinde 6. nöron, aracın insan tarafından yönlendirilen bir otomobil olması halinde 7. nöron, sürücüsüz araç ise 8. nöron etkinleştirilirken, kalan nöronlar devre dışı bırakılmıştır.
3. 9. giriş nöronu, yolculuk talebi yüzdesini göstermektedir. Geliştirilen modellerde 3 farklı değer (% 75, % 90 ve % 100) kullanılmıştır. Bu 100'e bölünerek, değerler 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmiş ve daha sonra modele sunulmuştur.
4. 10. giriş nöronu, trafikteki sürücüsüz araçların yüzdesini göstermektedir. Geliştirilen modellerde 5 farklı değer (% 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100) kullanılmıştır. Bu değerler 100'e bölünerek 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmiş ve daha sonra modelin girdileri olarak kullanılmıştır.
5. 11 ila 16. giriş nöronları algılayıcının konumunu göstermektedir. Algılayıcılar 6 farklı yol kesimi üzerinde yer aldığından, aracın bulunduğu yerdeki algılayıcının yerini gösteren nöron etkinleştirilirken, geriye kalanlar ise devre dışı bırakılmıştır.
6. 17. ve 18. giriş nöronları, aracın trafik akımı içerisindeki yönünü göstermektedir. Araç yukarı akım yönüne doğru hareket ederse 17. nöron, araç akım aşağı yönde hareket ederse 18. nöron etkinleştirilmektedir.
7. 19 ila 21. giriş nöronları algılayıcının yerini belirtmektedir. Algılayıcının aşağı yönde yerleştirilmesi durumunda 19. nöron, algılayıcı ana girişte bir giriş ve/veya çıkış arasında konumlandırıldıysa 20., yukarıda konumlanmışsa da 21. nöron etkinleştirilmektedir. Geri kalan tüm nöronlar devre dışı bırakılmıştır.

Çıkışlar da, YSA modelinin daha hızlı bir şekilde yakınsamasını sağlamak için 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmiştir. Bu nedenle ortalama hız değerleri 100'e bölünmüş, ortalama ivme değerleri ise 5'e bölünmüştür. Eğitim, geğerlilik ve test setleri, sırasıyla, tüm verilerin % 70, % 15 ve % 15'ini oluşturmuştur. YSA modelinin eğitiminde Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Sırasıyla gizli ve çıkış katmanlarında sigmoid ve doğrusal

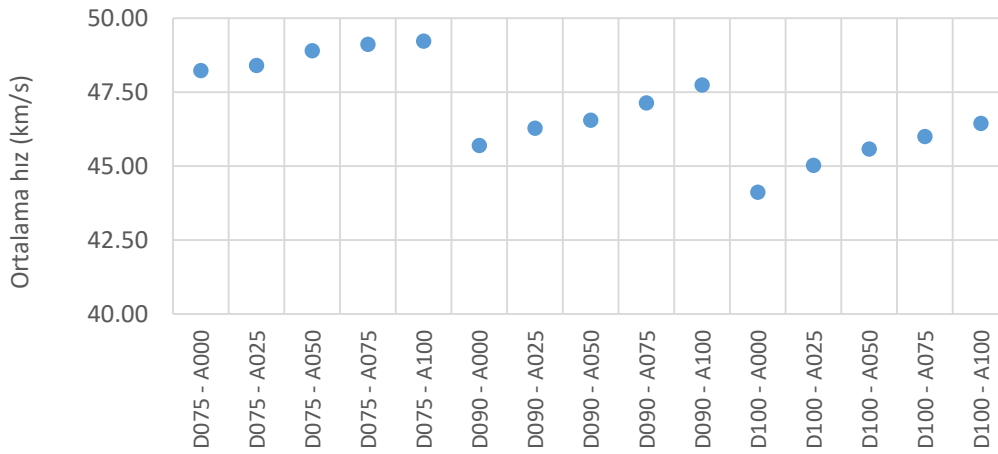
etkinleştirme fonksiyonları kullanılmıştır. Çıkış değerlerinin hatalarını en aza indirmek için Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error - MSE) yöntemi kullanılmıştır.

### 3. Değerlendirme sonuçları

Sürücüsüz araçların farklı yüzdelere ve talep düzeylerine göre PARAMICS benzetim sonuçları aşağıdaki alt bölümlerde sunulmuştur. Daha sonra, YSA modelinin uyum iyiliği gösterilmiş ve PARAMICS benzetim ve YSA tahmin modellerinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

#### 3.1. İnce boyutlu benzetim sonuçları

Benzetim sonuçları, talep arttıkça ortalama hızın azaldığını göstermektedir (Şekil 6). Öte yandan, trafikteki sürücüsüz araçlar ortalama hızı arttırmaktadır. Ayrıca, ortalama hızdaki artışın daha yüksek taleplerde daha belirgin olduğu da iddia edilebilir (Tablo 2).

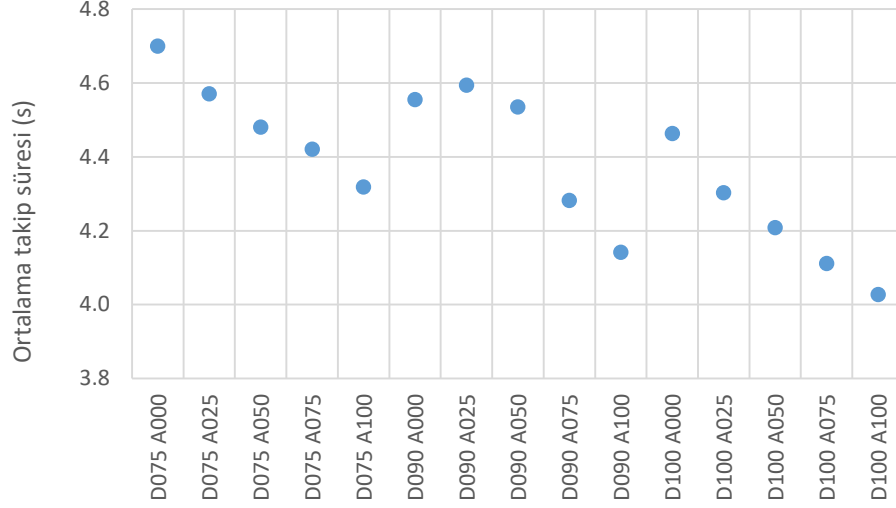


*Şekil 6. Tüm senaryolardaki ortalama hız değerleri.*

*Tablo 2. Tüm senaryolardaki ortalama hız farklılıkları.*

Senaryo	A000	A025	A050	A075	A100
<b>D075</b>	-	0.35%	1.39%	1.83%	2.05%
<b>D090</b>	-	1.28%	1.87%	3.16%	4.48%
<b>D100</b>	-	2.05%	3.32%	4.25%	5.28%

Sürücüsüz araç oranları ve trafik talebi arttıkça, ortalama takip süresi değerinde düşüş gözlenmektedir (Şekil 7). Tüm trafik sürücüsüz araçlardan oluştuğunda, en büyük talep senaryosu için ortalama takip süresindeki düşüş % 9.77'dir (Tablo 3).

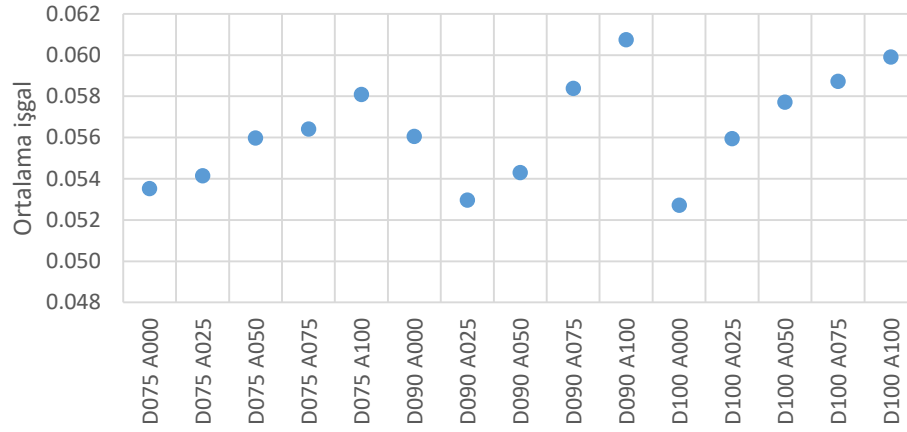


**Şekil 7.** Tüm senaryolardaki ortalama takip süresi değerleri.

**Tablo 3.** Tüm senaryolardaki ortalama takip süresi farklılıkları.

Senaryo	A000	A025	A050	A075	A100
<b>D075</b>	-	-2.34%	-4.35%	-4.80%	-6.81%
<b>D090</b>	-	2.27%	-0.23%	-6.92%	-9.65%
<b>D100</b>	-	-3.79%	-6.97%	-9.78%	-10.19%

Sürücüsüz araç oranı ve trafik talebi düzeyi arttıkça doluluk oranında artış gözlenmektedir (Şekil 8). Trafik talebindeki artışa bağlı olarak doluluktaki artış da Tablo 4’de görülebilir.



**Şekil 8.** Tüm senaryolardaki ortalama doluluk değerleri.

**Tablo 4.** Tüm senaryolardaki ortalama doluluk farklılıkları.

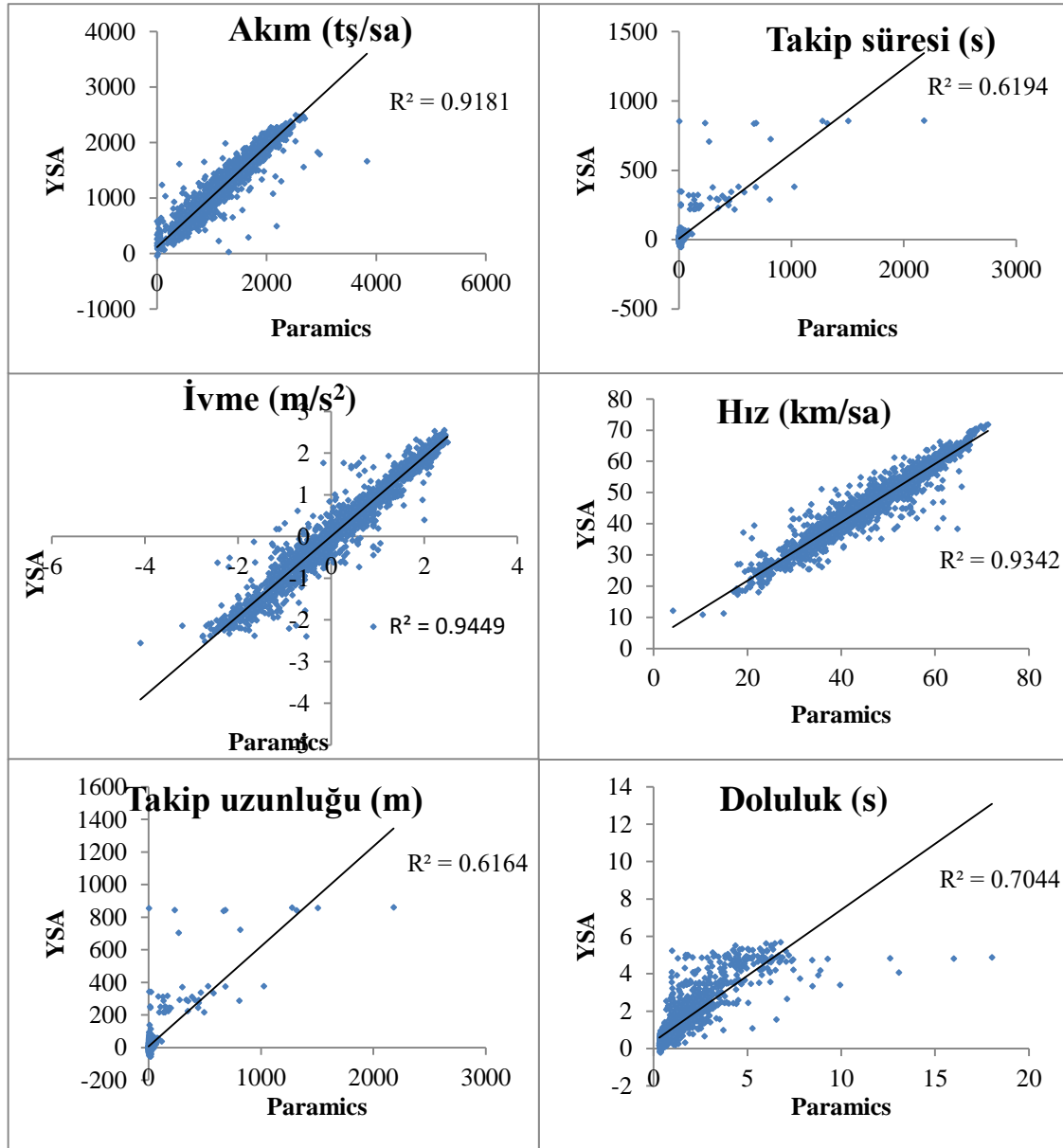
Scenario	A000	A025	A050	A075	A100
D075	-	-2.34%	-4.35%	-4.80%	-6.81%
D090	-	2.27%	-0.23%	-6.92%	-9.65%
D100	-	-3.79%	-6.97%	-9.78%	-10.19%

### 3.2. YSA sonuçları

Her bir çıkış değeri için PARAMICS ve YSA sonuçları arasındaki belirleme katsayısı ( $R^2$ ), Tablo 4'te gösterilmiştir. Her çıkış değeri için PARAMICS ve YSA sonuçları arasındaki dağılım şeması Şekil 9'da gösterilmektedir. Sonuçlar, YSA modelinin ortalama akım, hız ve ivme değerlerini tahmin ederken iyi bir başarımlı gösterdiğini göstermektedir. Ancak, modelin kestirim performansı ortalama takip süresi, takip uzunluğu ve doluluk değerleri için azalmaktadır. Çünkü yol ağının bu değerleri etkileyen birçok kavşak noktası vardır.

**Tablo 4.** PARAMICS ve YSA sonuçları arasındaki belirleme katsayısı ( $R^2$ ).

Çıktı parametresi	Belirleme katsayısı ( $R^2$ )
Akım (tş/sa)	0,9181
Takip Süresi (s)	0,6194
Takip mesafesi (m)	0,6164
Hız (km/sa)	0,9342
İvme (m/s <sup>2</sup> )	0,9449
Doluluk (s)	0,7044



Şekil 9. PARAMICS ve YSA sonuçları arasındaki dağılım şeması.

#### 4. Sonuçlar

Sürücüsüz araçlar, birbirlerini daha yakından takip ederek, yolların daha verimli kullanılmasına fırsat verir. En düşük trafik taleplerine sahip koşullar daha ideal trafik koşulları yaratır. Ancak, sürücüsüz araçların faydaları daha yoğun trafikte daha etkili bir biçimde görülebilir. Yol ağındaki araç sayısını azaltma ve sürücüsüz araçların birlikte uygulanmasına yönelik yöntemler genel trafiğe en fazla fayda sağlayacaktır.

PARAMICS ince boyutlu benzetim trafik yazılımında gerçekleştirilen senaryolardan elde edilen ortalama akım, hız, ivme, takip aralığı, takip uzunluğu ve doluluk verisini modellemek için bir YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen YSA modelinde, trafik akımındaki sürücüsüz araçların yüzdesi, trafik talep seviyesi, algılayıcı pozisyonu ve algılayıcıdan geçen aracın tipi,

giriş verileri olarak kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modeli 21 giriş ve 6 çıkış hücrelerine sahipken, gizli katmanda 100 hücre (nöron) kullanıldığında en iyi başarımlar elde edilmiştir.

Modelin çıkış değerleri, yani ortalama akım, hız, ivme, takip aralığı, takip uzunluğu ve doluluk, senaryolar (trafikte çeşitli trafik talepleri ve sürücüsüz araçların yüzdesi) kullanılarak eğitilen YSA'nın genelleme özelliği sayesinde kestirilebilir. Ancak, kestirimi yapılan değerler sadece söz konusu yol kesiti için geçerli olacaktır. Farklı yerlerden ve yol bölümlerinden toplanan veriler, geliştirilen YSA modeline tanıtılabilir ve YSA modeli uyarlanarak, genelleme başarımları artırılabilir. Böylece, YSA daha fazla konum için çıktı değişkenlerini iyi bir doğrulukla kestirebilir. Ayrıca yerleştirme etkisini modele tanıtmak için bazı yeni giriş değişkenleri ekleyerek, küresel bir kestirim aracı geliştirme olasılığı vardır. Trafikteki sürücüsüz araçların etkilerini kestirmek için bir ince boyutlu benzetim yazılımını yerine gelişmiş bir YSA modeli kullanılması daha hızlı ve daha ucuz bir çözüm seçeneği olarak değerlendirilebilir.

## Kaynaklar

- [1].Hoeger, Reiner et. al. *Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport*, HAVEit, 2011.
- [2].Milakis, Dimitris, Bart Van Arem, and Bert Van Wee. Policy and Society Related Implications Of Automated Driving: A Review of Literature and Directions for Future Research. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2017, 21, 4, 324-348.
- [3].Abraham, Zianga, Identifying the optimal highway driving conditions for the integration of manned and autonomous vehicles, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, USA, 2015.
- [4].Göktaşar, Iğın. Şerit Kontrol Sistemleri: D 100 Karayolu, İstanbul Örneği, *İMO Teknik Dergi*. 2016, 134, 7635-7657.
- [5].Dresner, Kurt; Peter Stone. A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2008, 31, 591-656.
- [6].Philip E. Ross. *A Cloud-Connected Car Is a Hackable Car, Worries Microsoft*. IEEE Spectrum, USA, 2014.
- [7].David Shepardson. *Study: Self-driving cars to jolt market by 2035*. The Detroit News, USA, 2013.
- [8].Lee Gomes. *Hidden Obstacles for Google's Self-Driving Cars*. MIT Technology Review, USA, 2014.
- [9].Donald Light. *A Scenario: The End of Auto Insurance*. Technical report, Cent, 2012.
- [10]. Chunka Mui. *Will The Google Car Force A Choice Between Lives And Jobs?* Forbes, USA, 2013.
- [11]. Fagnant, Daniel J; Kara Kockelman. Preparing A Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2015, 77, 167-181.
- [12]. Roncoli, Claudio; Papageorgiou, Markos; Papamichail, Ioannis. Traffic Flow Optimisation In Presence of Vehicle Automation and Communication Systems–Part II: Optimal Control for Multi-Lane Motorways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015, 57, 260-275.

- [13]. Chang, Tang-Hsien; Lai, I-Shyen. Analysis of Characteristics of Mixed Traffic Flow of Autopilot Vehicles and Manual Vehicles, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 1997, 5, 6, 333-348.
- [14]. Chien, Cheng-Chih; Zhang, Youping; Ioannou, Petros A. Traffic Density Control for Automated Highway Systems. *Automatica*. 1997, 33, 7, 1273-1285.
- [15]. Letter, Clark; Elefteriadou, Lily. Efficient Control of Fully Automated Connected Vehicles at Freeway Merge Segments. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2017, 80, 190-205.
- [16]. Baluja, Shumeet. Evolution of An Artificial Neural Network Based Autonomous Land Vehicle Controller. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. 1996, 26, 3, 450-463.
- [17]. Pomerleau, Dean A. Efficient Training of Artificial Neural Networks for Autonomous Navigation. *Neural Computation*. 1991, 3, 1, 88-97.