



Kafa Hareketleriyle Kontrol Edilebilen Yarı-Otonom Elektrikli Tekerlekli Sandalye Geliştirilmesi

Volkan SEZER

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Otomasyon Müh. Bölümü, 34467, Maslak/Sarıyer/İSTANBUL

Öz

Bu makalede, kafa hareketleriyle kontrol edilebilen yarı-otonom elektrikli tekerlekli sandalyenin tasarımına ve geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Sistemin istenen düzeyde çalışabilmesi için çeşitli algoritmalar, tanımlanan problem özelinde sisteme adapte edilmiştir. Kullanıcı önceden tanımlanmış özel kafa hareketleriyle sistemi açıp kapayabilmekte; yarı-otonom destekli ve desteksiz sürüş modlarına sokabilmektedir. Çalışmanın ana kapsamını oluşturan destekli sürüş modunda, hatalı kullanıcı girişlerinin tehlikeli sonuçlara dönüşmemesi için yarı-otonom sistem sürüşe destek olmakta ve gerektiği durumlarda değişen oranlarda devreye girerek sürüşü iyileştirmektedir. Yapılan geliştirmeler gerçek bir tekerlekli sandalye platformu üzerinde başarıyla uygulanmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 22/08/2017
 Düzeltme: 28/12/2017
 Kabul: 18/01/2018

Anahtar Kelimeler

Yarı-otonom sistemler
 Engelden kaçma
 Örüntü tanıma

Keywords

Semi-autonomous systems
 Obstacle avoidance
 Pattern recognition

Design of a Semi-Autonomous Electric Wheelchair Controlled by Head Movements

Abstract

In this study, the design and development of a semi-autonomous electric wheelchair which is controlled by head movements is explained. For the system to function at the desired level, various algorithms are specially adapted to the system in the framework of the defined problem. The user is able to turn on and turn off the system or switch between assisted and unassisted driving modes, by doing the special pre-defined head movements. In the assisted driving mode, which constitutes the main scope of the work, the semi-autonomous system supports and improves driving by interfering in different rates when it is necessary. So that the faulty user inputs do not result with dangerous situations. The algorithms for a semi-autonomous solution are tested on a real wheelchair platform successfully and the results are presented.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

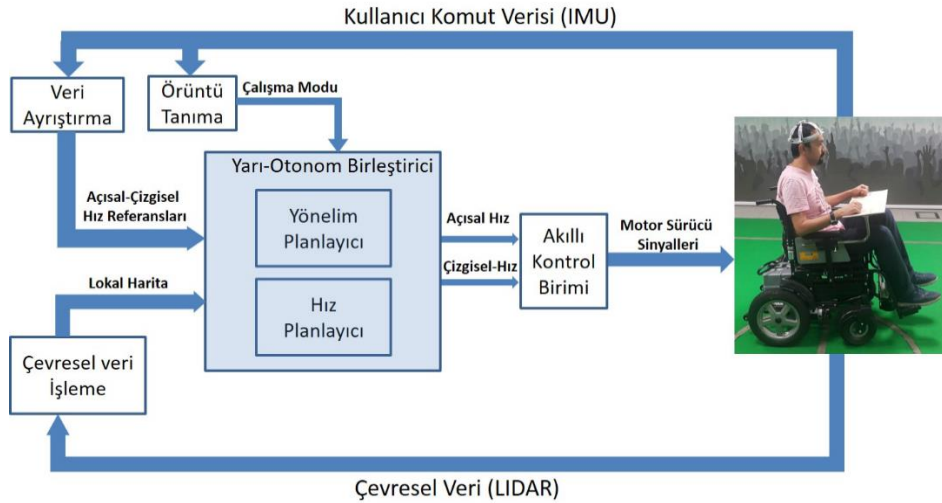
Tekerlekli sandalyeler, fiziksel bir rahatsızlık nedeniyle kolay hareket edemeyen veya yürüyemeyen kişilerin kullanmış olduğu seyahat araçlarıdır. Kumanda kolu sayesinde kolayca hareket ettirilebilen elektrikli tekerlekli sandalyeler, engelli insanların günlük ulaşım ihtiyaçlarını gidermeleri için büyük kolaylık sağlamaktadır. Manuel kullanıma yönelik tasarlanan klasik elektrikli tekerlekli sandalyelerin hareket ettirilmesini sağlayan kumanda kolunun kullanıcı tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. İdeal bir kullanım için, kullanıcının, kumanda kolunu hareket ettirebilme yeteneğine ve güvenli bir sürüş yapabilme yetilerine sahip olabilmesi gerekmektedir.

Diğer taraftan, manuel kullanılan elektrikli tekerlekli sandalyelere ek olarak otonom ve yarı otonom tekerlekli sandalyeler üzerindeki çalışmalar son yıllarda artarak devam etmektedir. Akıllı elektrikli sandalyeler konusunda günümüze kadar yapılan çeşitli bilimsel çalışmalar mevcuttur fakat ürün anlamındaki çeşitlilik aynı derecede fazla değildir. Akademik çalışmalardan bahsedilecek olursa; [1]'de, koridorda bir yere çarpmaması için hastaya yardımcı olan görüntü işleme tabanlı yarı otonom bir sistem önerilmiştir. [2]'de ise beyin sinyalleriyle kontrol edilen yarı otonom bir sistem üzerinde çalışıldığından bahsedilmiş fakat henüz sonuç elde edilememiştir. [3]'te sunulan çalışmada tam otonom bir tekerlekli sandalye yapmak yerine insan ve makinanın üstünlüklerini birleştiren yarı otonom yapı üzerine yoğunlaşılması gerektiğinden bahsedilmektedir.

*İletişim yazarı, e-mail: sezervolkan@gmail.com

[4]'te geliştirilen "Navchair", 1993-2002 yılları arasında Michigan üniversitesinde geliştirilen bir yarı otonom tekerlekli sandalyedir. Algılayıcı olarak ultrasonik sensörler kullanılmıştır. Hassas bir engel haritası verme özelliği olmadığından performansın artırılabilmesi için sensör kalitesinin artırılması gerektiği vurgulanmıştır. [5]'te geliştirilen ve Tetranauta adı verilen çalışma, Seville üniversitesinde 1998-2004 yılları arasında geliştirilmiş, çalışmalar bilinen bir haritada tam otonom gidebilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. [6]'da ayrıntıları sunulan çalışma, 2004 yılında MIT bünyesinde başlayan akıllı tekerlekli sandalyeye ait geliştirmeleri içermektedir. Bu projede daha çok ses işlemeye yoğunlaşmış ve kullanıcının ses komutları yorumlanarak en doğru sonuca varılmaya çalışılmıştır. Ses komutu doğrudan hedefi söylediği için yine tam otonom bir uygulama olmuştur. Buna ek olarak hedef noktasının kafa hareketleri ile seçilebildiği otonom hareket eden elektrikli tekerlekli sandalye çalışmaları [7] ve kumanda kolu yerine kafa hareketlerinden aldığı sinyalle sürüşü gerçekleştiren farklı çalışmalar da [8] mevcuttur. Kumanda kolu kullanılarak yarı otonom olarak hareket ettirilen bir çalışmada [9] ise, kullanıcının engele doğru hareket gerçekleştirdiği algılayıcılar ile belirlenmektedir. Eğer tehlikeli bir durum varsa kumanda kolunun tehlikeli bölgeye doğru yapılan hareketi kısıtlanmaktadır. Bu sayede kullanıcı kumanda kolu ile sandalyeyi tehlikeli bölgeye doğru hareket ettiremeyerek olası bir çarpışmadan korunmaktadır.

Bu yayında, kafa hareketleriyle kontrol edilirken arka planda sürekli kullanıcıya destek olan bir yapı kurularak yarı-otonom bir tekerlekli sandalyenin ortaya çıkarılması esnasında geliştirilen çözümler derlenmiştir. Şekil 1'de, geliştirilen sistemin şeması gösterilmektedir. Burada yer alan alt birimlere yönelik çalışmalar, yayının ilerleyen kısımlarında gösterilmektedir.



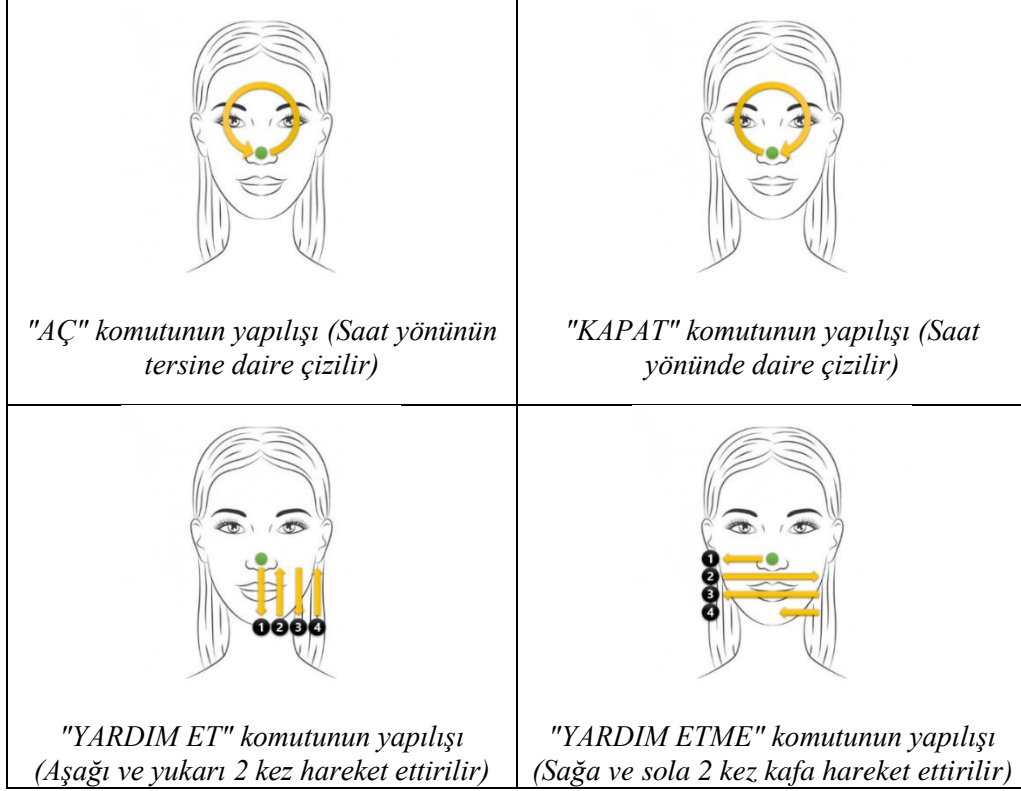
Şekil 1. Geliştirilen yarı otonom tekerlekli sandalye çalışma şeması

Yayının organizasyonu şu şekildedir; 2. bölümde, kafa hareketlerinden örüntü tanınması problemi ve buna yönelik getirilen çözümden bahsedilmektedir. 3. bölüm ise, kendi içerisinde "engelden kaçma" ve "hız planlama" desteği olmak üzere iki kısımda incelemekte ve bu bağlamda yarı-otonom sürüş desteğini anlatmaktadır. 3. bölümün son kısmı ise yapılan çalışmaların gerçek bir tekerlekli sandalye üzerinde uygulanması ve toplanan verilerin analizini içermektedir. Son olarak 4. bölümde sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

2. KAFA HAREKETLERİNDEN ÖRÜNTÜ TANIMA (PATTERN RECOGNITION FROM HEAD MOVEMENTS)

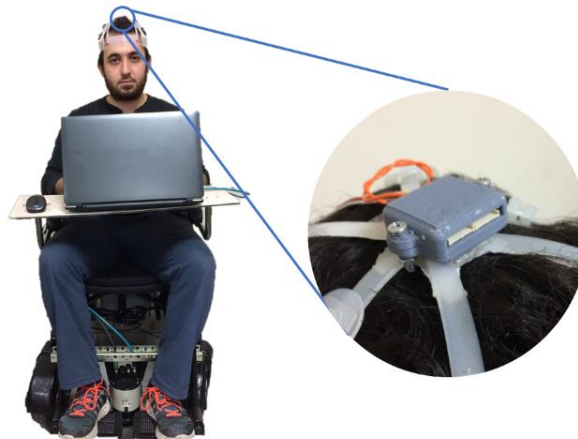
Geliştirilen tekerlekli sandalyenin yalnızca kafa hareketleriyle sürülebildiği göz önüne alındığında, sistemi açma ve kapama işlemlerinin de kafa hareketleriyle yapılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra kullanıcı, yarı-otonom sürüş desteğinin yanı sıra, sürüş desteği olmadan, doğrudan kafa hareketleriyle sandalyeyi sürdüğü bir moda da geçebilmelidir. Tüm bu bahsedilen işlemlerin, önceden tanımlı bir takım

özel kafa hareketleriyle (örüntü) yapılması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, Şekil 2’de gösterilen 4 farklı kafa hareketi tanımlanmış ve bu hareketlerin otomatik olarak tanınabilmesine yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Tanımlanan hareketler, birbirinden kolay ayırt edilebilir ve kullanıcının tarafından kolaylıkla yapılabilir özellikleri gözetilerek belirlenmiştir.



Şekil 2. Önceden tanımlanan örüntüler

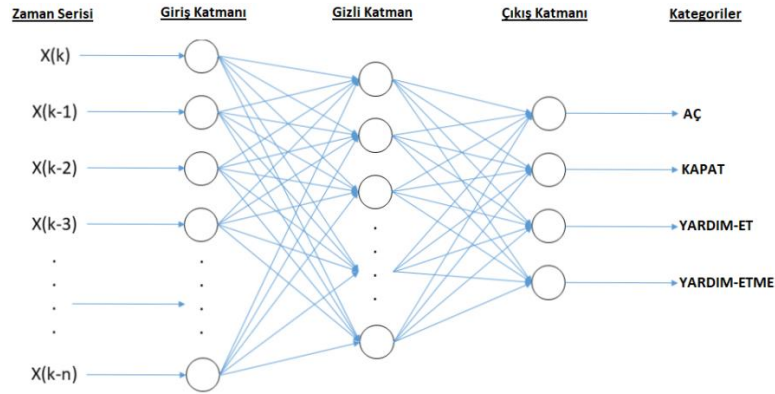
Bu çalışmada, kafa hareketlerinin algılanması için Şekil 3’te gösterilen CHR-UM7 IMU (Inertial Measurement Unit) sensörü kullanılmıştır. Bu sensör oryantasyon verilerini toplayıp genişletilmiş kalman filtresinden geçirerek, çıktı verir. Bu sayede veriyi ön işlemden geçirmeye gerek kalmaz.



Şekil 3. Kafaya takılan CHR-UM7 yönelim sensörü

Yapay sinir ağları giriş ve çıkış arasında kesin olarak ifade edilemeyen ilişkilerin modellenmesinde kullanılır. Üzerinde çalışılan problemde; sistemi açma, kapama, sistemden yardım isteme ve yardım istememe durumları, kullanıcının boyundan aşağısını kullanmadığı kabulü ile, kafa hareketleriyle ifade edilmektedir. Her kullanıcının önceden tanımlanmış kafa hareketlerini tam olarak aynı şekilde yapması

mümkün değildir. Bazı kullanıcılar aynı hareketi daha yavaş veya daha hızlı, daha geniş açılarla veya daha dar açılarla yapabilmektedir. Hatta aynı kullanıcının aynı komuta ait kafa hareketini tam olarak aynı şekilde yapması da çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Zaman serisi ve ilgili zaman serisinin ait olduğu örüntü kategori arasındaki ilişkide yer alan belirsizlikler, yapay sinir ağlarının çözümü genelleştirebilme yeteneği ile çözülmeye uygundur. Bu düşünce ile yola çıkarak bu çalışmada iki katmanlı ileri beslemeli gizli ve çıkış katmanında sigmoid nöronlu yapay sinir ağı kullanılmıştır. Kullanılan ağ mimarisi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Kullanılan yapay sinir ağının yapısı

Yapay sinir ağının çıkış katmanında, önceden tanımladığımız 4 örüntü olması nedeniyle 4 nöron yer almaktadır. Giriş katmanı, kullanıcıyı kafa hareketlerinden elde edilen sinyali zaman serisi olarak alır. Diğer taraftan, zaman serilerinin eleman sayısı kişilerin bir mimiği yaptığı süreye bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle zaman serilerinin yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılabilmesi için yapay sinir ağının her bir girişine bir eleman düşecek şekilde boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu anlamda giriş katmanı, her 3 eksene ait hareket verisini içeren 124 zaman serisi elemanını giriş olarak alacak biçimde, 124 nöronlu olarak belirlenmiştir. Gizli katmandaki nöron sayısı ise tasarım parametresidir ve farklı nöron sayılarına ait başarı oranları incelenmiştir.

Öğrenme aşamasında 7 farklı kişiden toplanan toplam 5288 örüntü örneği kullanılmıştır. Yapay sinir ağının eğitim aşamasında ise “Matlab Neural Network Toolbox” kullanılmıştır [10]. Gizli katmandaki farklı nöron sayılarına göre, genişletilmiş veri setinin %70’i ile yapılan eğitimler sonrasında verinin öğrenmeye katılmamış %30’luk diğer kısmıyla hesaplanan başarı oranları Tablo-1’de gösterildiği gibidir.

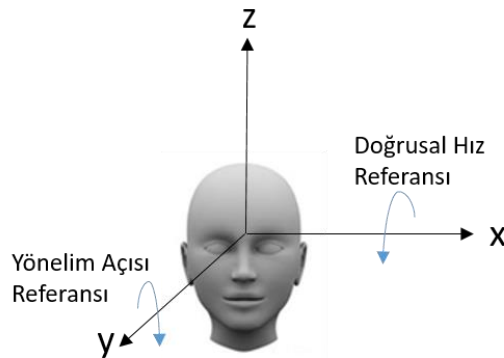
Tablo 1. 1, 5, 10, 50 ve 100 Gizli Katman Nöronuna Sahip Yapay Sinir Ağlarının Ortalama Başarı Oranları

GİZLİ KATMANDAKİ NÖRON SAYILARI İLE MİMİKLERİN ORTALAMA TANINMA BAŞARISI					
GİZLİ KATMANDAKİ NÖRON SAYISI	1	5	10	50	100
MİMİKLER					
AÇ	% 0	% 87.6	% 91.3	% 90.7	% 96.1
KAPAT	% 56.7	% 86.4	% 90.9	% 97.6	% 95.7
YARDIM-ET	% 77.1	% 88.5	% 94.5	% 91.1	% 95.7
YARDIM-ETME	% 70.4	% 86.7	% 90.9	% 97.3	% 97.9
OPT. SÜRESİ (Saniye)	3.73	3.95	7.16	9.77	16.45

Elde edilen sonuçlardan, gizli katman nöron sayısının 50'ye kadar arttığı durumlarda başarı oranı ciddi biçimde artmaktayken, 50 olduğu durum ile 100 olduğu durum arasında ciddi farklar olmadığı görülmüştür. Bu nedenle gizli katman nöron sayısının daha fazla artırılmasına gerek olmadığına karar verilerek 100 değerinin problem için uygun olduğuna karar verilmiştir. Bu durumda ortalama tanıma başarısı, %96.35 olmaktadır.

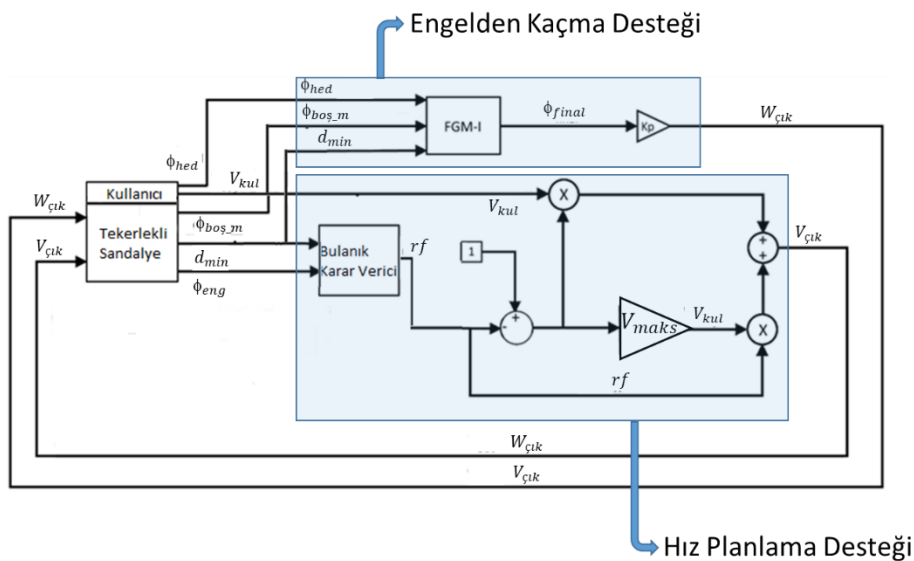
3. YARI OTONOM SÜRÜŞ DESTEĞİ (SEMI-AUTONOMOUS DRIVING SUPPORT)

Tekerlekli sandalye üzerinde yapılan diğer geliştirmeler ise kullanıcıya yarı-otonom sürüş desteği verilmesi ile alakalıdır. Kullanıcının kafasından alınan yönelim bilgisi, kafanın 2 ekseninde yaptığı açılara göre yönelim açısı ve doğrusal hız referansı olarak algılanmıştır. Şekil 5'te gösterildiği üzere kafanın x eksenine yaptığı açı kullanıcının ne tarafa yönelmek istediğini, y eksenine yaptığı açı ise kullanıcının ne kadar hızlı gitmek istediğini ifade eder. Z eksenini etrafındaki kafa hareketi ise yönelim bilgisi olarak hesaplamalara dahil edilmemiştir.



Şekil 5. Kafa hareketlerinin sürüş üzerindeki etkisi

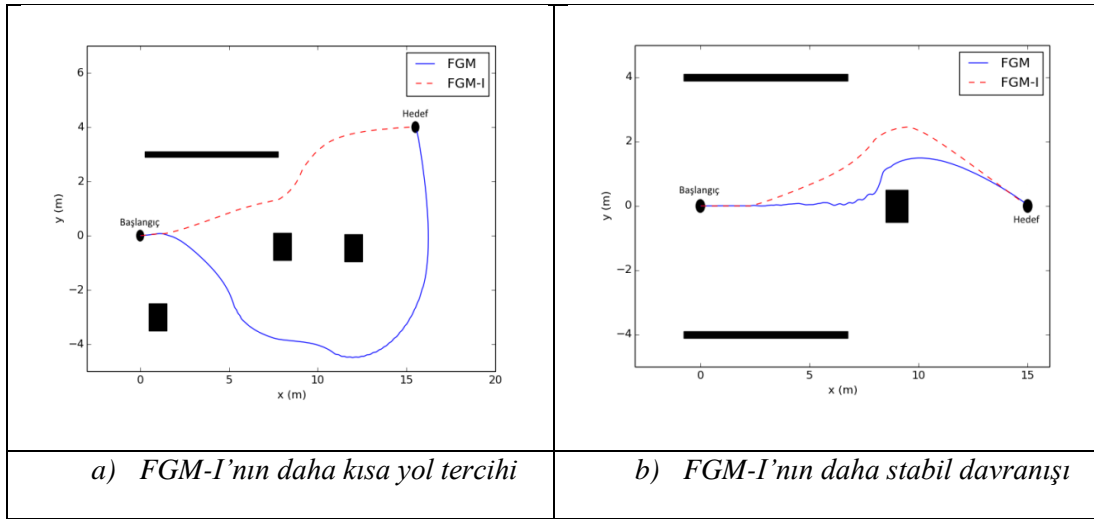
Yarı-otonom sürüş desteği hem engele çarpılmama hem de düzgün bir hız planlaması yapılması anlamında 2 alt başlıkta incelenmiştir. Yarı otonom yaklaşıma ait genel kontrol şeması Şekil 6'da gösterildiği gibidir. Yönelim için kullanılan engelden kaçma desteğinde, daha önce tasarladığımız "Improved Follow the Gap (FGM-I)" [11] yöntemi kullanılmış, hız desteğinde ise yine önceden geliştirdiğimiz bulanık mantıkla hesaplanan risk faktörü tabanlı hız planlama yaklaşımından [12] faydalanılmıştır.



Şekil 6. Tekerlekli sandalye yarı otonom destek yapısı

3.1 Engelden Kaçma Desteği (Obstacle Avoidance Support)

Engelden kaçma desteği, kullanıcının kafasıyla y eksenini etrafındaki dönüş hareketiyle verdiği yönelim açısı ϕ_{hed} bilgisini, Şekil 6’da gösterildiği gibi çevresel ölçümlerden elde ettiği verilerle birleştirip bir final açısı (ϕ_{final}) hesaplar. Bu hesaplamada, FGM-I yöntemi kullanılmıştır. FGM-I daha önce “Boşluğu Takip Et (FGM)” [13] üzerine geliştirilmiş bir engelden kaçma metodudur. FGM, etraftaki en geniş boşluğa yönelen açı bilgisiyle hedefe yönelen açı değerini, robotun engellere olan yakınlık bilgisini kullanarak birleştiren geometrik bir engelden kaçma yöntemidir. FGM-I’nin FGM’den en önemli farkı ise, her zaman en büyük boşluğu seçmek yerine, hedefle benzer doğrultudaki boşlukları seçmeye daha eğilimli olması ve bu sayede daha kısa yörüngelerle hedefe ulaşabilmesidir. Bu özellik, Şekil 7-a’da gösterilmiştir. Bunun yanı sıra FGM’den farklı olarak, boşlukların anlık değişimlerinden dolayı oluşabilen karasızlıkları da, mevcut boşluğun değiştirilmesini bir miktar cezalandırarak engellemektedir. FGM-I’nin bu özelliği de Şekil 7-b’de gösterilmektedir.



Şekil 7. FGM-I ve FGM'nin farklı senaryolarla karşılaştırılması

Tam otonom sistemler için tasarlanan bir engelden kaçma yöntemi olan FGM-I’nin, yarı otonom sistemde kullanılabilmesi için modifikasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Otonom sistemlerde verilen sabit hedef noktasının tanımladığımız yarı-otonom problemdeki karşılığı, kullanıcının kafası ile verdiği referans açısının kendisidir. Denklem 1’de FGM-I’nin final açısının (ϕ_{final}) hesabı ifade edilmiştir. Buradaki ϕ_{final} değeri, Şekil 5’te yönelim açısı olarak gösterilen ve tamamen kullanıcıdan gelen bir değerdir. Bu nedenle tam otonom sistemden farklı olarak, kullanıcının kafasından geldiği için hedef açısı her an değişebilmektedir. Denklem 1’deki d_{min} engele olan en yakın mesafe, ve α ise agresiflik ayar parametresidir. Uygulamada, final açısı bir kontrol sabiti K_p ile çarpılıp sandalyeye açısız hız ($w_{çık}$) olarak gönderilmiştir.

$$\phi_{final} = \frac{\frac{\alpha}{d_{min}} \phi_{boş.m} + \phi_{hed}}{\frac{\alpha}{d_{min}} + 1} \quad (1)$$

FGM-I ile ilgili daha ayrıntılı bilgiye [11]’den ulaşılabilir.

3.2 Hız Planlayıcı Desteği (Speed Planning Support)

Hız planlayıcı desteği, Şekil 6’da gösterildiği üzere kullanıcıdan aldığı hız referansını (V_{kul}) tekerlekli sandalyenin en yakınındaki engele mesafesi (d_{min}) ve engelin sandalyeye göre açı bilgisini (ϕ_{eng}) kullanarak değerlendirir ve nihai hız referans değerini ($V_{çık}$) hesaplar. Burada yapılan hız planlama desteğini temel noktasını, Şekil 6’da gösterilen “Bulanık Karar Verici (BKV)” yapısı oluşturmaktadır.

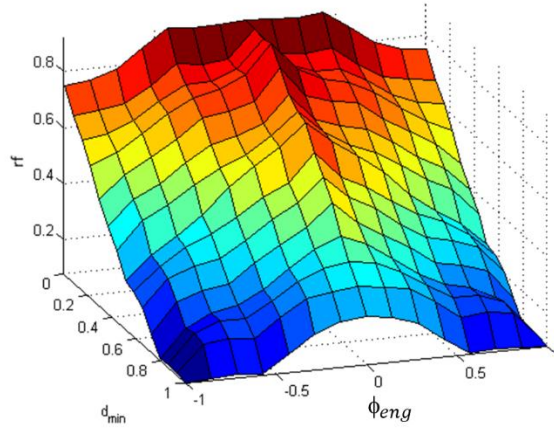
BKV, daha önce yine tam otonom araçlar için geliştirilmiş, engellerin oluşturduğu risklere göre hız planlaması yapan bir yaklaşımdır [12,14]. BKV, insanların araç sürerken veya yürürken yaptığı hız planlamasını örnek alan bir stratejidir. Basitçe anlatmak gerekirse, etrafımızdaki bir engelin bize olan

mesafesi azsa ve bizim gidiş doğrultumuzda ise bu engel bizim için tehlikelidir ve hızımızı azaltmak isteriz. Tersi durumlarda bu risk miktarı değişen oranlarda azalım göstermektedir. Bir engelin bizim için tehlike arz etmemesi için engelin bize hem uzak olması hem de gidiş doğrultumuzda olmaması gerekmektedir. Yapmış olduğumuz bu çıkarımlar, BKV içerisinde yer alan kurallar ile tanımlanmış ve anlık olarak risk faktörü hesaplanmıştır. Bahsedilen bu durumlar, Tablo-2’de yer alan bulanık mantık kural tablosu ile özetlenmiştir. Tabloda yer alan kısaltmaların anlamları şu şekildedir: ÇY: Çok yakın, Y: Yakın, OU: Orta uzaklık, U: Uzak, ÇU: Çok uzak; ÇSL: Çok solda, SL: Solda, Ö: Önünde, SG: Sağda, ÇSG: Çok sağda; ÇFR: Çok fazla risk, FR: Fazla risk, OR: Orta risk, AR: Az risk, ÇAR: Çok az risk.

Tablo 2. Faktörü İçin Bulanık Mantık Kural Tablosu

$\phi_{eng} \setminus d_{min}$	ÇY	Y	OU	U	ÇU
ÇSL	FR	OR	AR	ÇAR	ÇAR
SL	ÇFR	FR	OR	AR	ÇAR
Ö	ÇFR	ÇFR	FR	OR	AR
SG	ÇFR	FR	OR	AR	ÇAR
ÇSD	FR	OR	AR	ÇAR	ÇAR

Tasarlanan kural tablosu sonucunda elde edilen bulanık yüzey Şekil-8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Risk faktörüne ait bulanık yüzey

Bulanık mantık ile hesaplanan risk faktörü $[0,1]$ aralığında değerler almaktadır. Herhangi bir risk durumu bulunmadığında risk faktörü 0, en riskli durumda ise risk faktörü 1 değerini almaktadır. Şekil 6’da gösterildiği üzere, risk faktörü yardımıyla bulanık mantık yaklaşımı bir hız önerisinde bulunmaktadır (V_{bul}). Denklem 2’de V_{bul} ’nin, risk faktörüyle ters oranda değişerek nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$V_{bul} = (1 - rf) \cdot V_{maks} \quad (2)$$

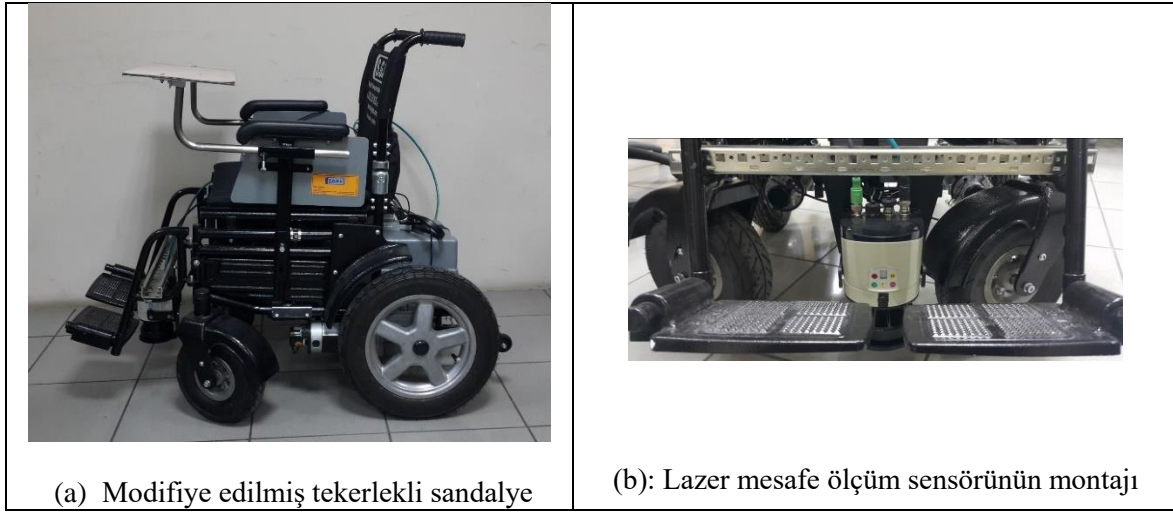
Denklemden yer alan V_{maks} değeri ise sandalyenin en risksiz durumda gidebileceği maksimum hızı ifade eder. Burada hesaplanan V_{bul} değeri, taşıt eğer tam otonom olsaydı [12] ve [14]’te olduğu gibi doğrudan hız referansı olarak sisteme verilen bir değer olurdu. Fakat bizim problemimizde işin içine kullanıcının isteklerinin de dahil olması gerektiğinden, yine hesaplanan risk faktörüne göre kullanıcıdan gelen referans değeri (V_{kul}) ve önerilen V_{bul} değerleri birleştirilir ve nihai hız referansı elde edilir. Bu birleştirme ise, risk faktörü değerinin yüksek olduğu durumlarda önerilen V_{bul} referansının etkisinin çok, risk faktörünün düşük olduğu durumlarda ise kullanıcıdan gelen V_{user} referansının etkisi çok olacak şekilde yapılmıştır.

Şekil 6’da bu birleştirme gösterilmiştir. Denklem 3’te de bu birleştirmenin matematiksel ifadesi yer almaktadır.

$$V_{çık} = rf \cdot V_{kul} + (1 - rf) \cdot V_{bul}$$

3.3 Yarı-Otonom Deneyler (Semi-Autonomous Experiments)

Bu bölümde, tekerlekli sandalyenin yarı otonom modda kullanımına dair deneysel sonuçlar gösterilmiştir. Deneysel sistem olarak normal bir elektrikli tekerlekli sandalye modifiye edilmiştir. Etraftaki boşlukların algılanabilmesi için SICK-LMS191 model bir LIDAR (Light Detection and Ranging) algılayıcı kullanılmıştır. Şekil 9’da modifiye edilen tekerlekli sandalye ve mesafe algılayıcının tekerlekli sandalye üzerindeki montajı gösterilmektedir. Kafa hareketlerinin algılanmasında ise Şekil 3’te gösterilen UM-7 algılayıcı kullanılmıştır.



Şekil 9. Modifiye edilmiş tekerlekli sandalye ve lazer algılayıcının montajı

Testler esnasında kullanılan parametreler Tablo 3’te gösterildiği gibidir. Parametrelerin seçimi, pratikte en iyi performansın alınabilmesi için deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Deneyler Esnasında Kullanılan Parametreler (α ise agresiflik parametresi. K_p : Açısal hız kontrol sabiti. V_{maks} : İzin verilen maksimum hız)

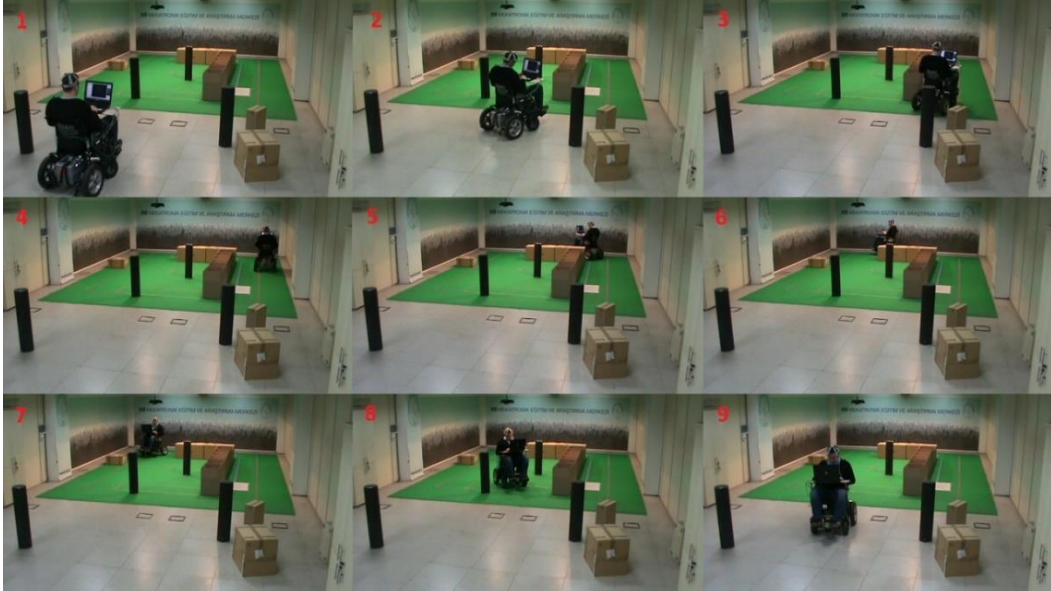
α	K_p	V_{maks}
5	0.3	1 m/s

Testler, yapay olarak engellerin yerleştirildiği kapalı bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Test ortamına ait bir görüntü Şekil 10’da verilmiştir.



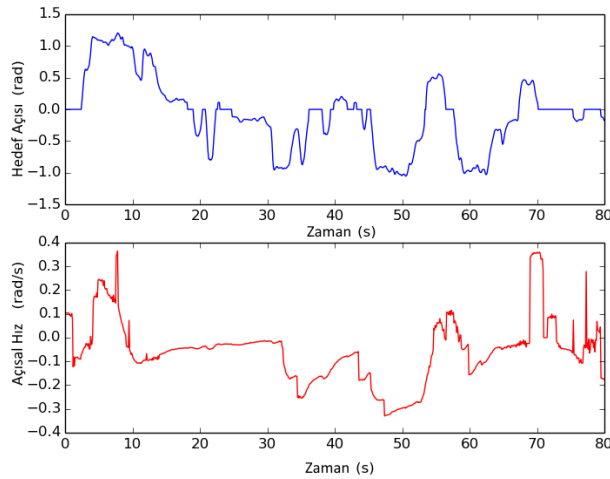
Şekil 10. Gerçek test ortamı

Yapılan testlerde, kullanıcı kafa hareketleriyle başarılı bir biçimde sandalyeyi kontrol etmiş ve sandalyeyi istediği şekilde yönlendirebilmiştir. Bu testlerden birine ait örnek bir görüntü, sabit bir noktadan çekilen ardışık fotoğraflar halinde Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Gerçek deney görüntüleri

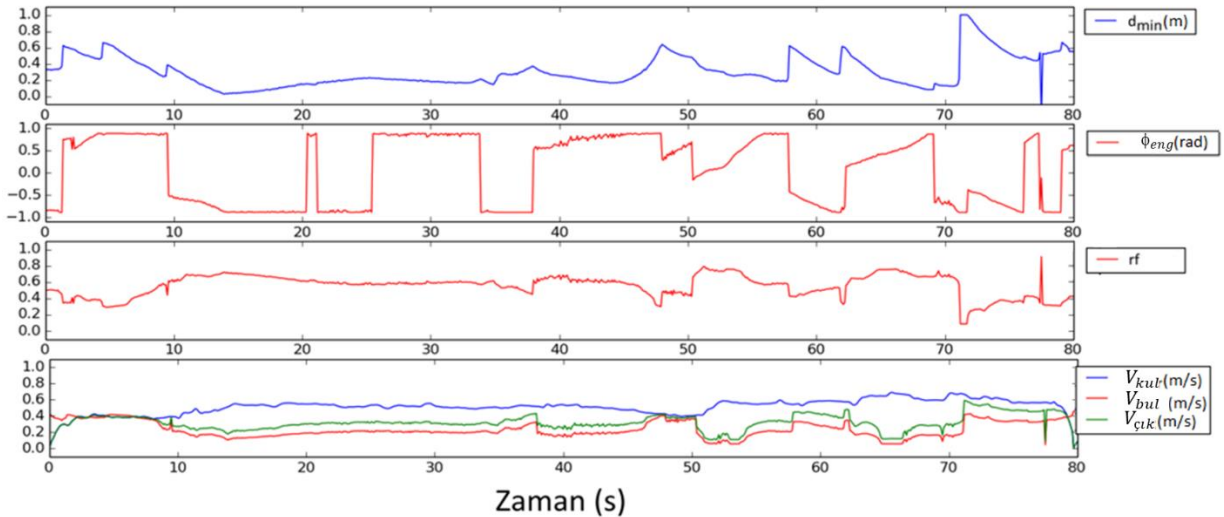
Şekil 11’de, tekerlekli sandalyenin ilerleyişi 9 ardışık fotoğrafla gösterilmiştir. Her bir fotoğraf, sol üst köşesinde yer alan numaralar ile ilerleme sırasına göre etiketlenmiştir. Herhangi bir engelle çarpma probleminin yaşanmadığı testi daha iyi yorumlayabilmek için, test esnasında önemli veriler eş zamanlı olarak toplanmıştır. Yaklaşık 80 saniye süren bu teste ait veriler, yönelim ve hız planlama analizi için ayrı gruplar halinde analiz edilmiştir. Şekil 12’de, kullanıcının verdiği yönelim referansı (hedef açısı) ve engelden kaçma desteği sonrasında sandalyeye gönderilen açısal hız verileri gösterilmiştir.



Şekil 12. Gerçek ortam testinde kullanıcı tarafından verilen hedef açısı ve sandalyeye gönderilen açısal hız referansı

Şekil 12’de görüldüğü üzere kullanıcı 3. saniyeden itibaren kafa hareketleri ile koridora yönelebileceği hedef açısını vermektedir. Sandalyenin yönelebileceği bir boşluk olmasından dolayı açısal hız da aynı yönde değişim göstermiştir. Bu kısma ait kafa hareketi ve konumu Şekil 11’de 2 numara ile etiketlenen görselde verilmiştir. Kullanıcı, 19 ve 20. saniyelerde sisteme çeşitli girişler vermesine rağmen, yakınındaki engellerden dolayı açısal hızında önemli bir değişim olmamıştır. 30. ve 40. saniyeler arasında sandalye duvara yakın olduğu için yine kullanıcı girişlerini daha az önemseyerek güvenli biçimde koridoru takip etmiş ve yönelimini gerçekleştirmiştir. 59. ve 62. saniyeler arasında kullanıcı yönelmek istediği hedef açısını seçerek sandalyenin uygun olan boşluğa hareketini belirlemiştir.

Engelden kaçma desteğinin yanı sıra, hız planlama desteğinin analizi için toplanan verilerin görselleştirilmiş hali Şekil 13’te verilmiştir. Toplanan veriler, en yakın engele mesafe d_{min} , ve sandalyeye olan açısı ϕ_{eng} , bunlardan hareketle hesaplanan risk faktörü rf , kullanıcı tarafından sisteme verilen hız referansı V_{kul} , bulanık mantık kullanılarak elde edilen hız referansı V_{bul} ve sisteme gönderilen nihai hız referansı $V_{çık}$ olarak sıralanmaktadır.



Şekil 13. Gerçek ortam testinde hız planlama desteğine yönelik toplanan veriler

Şekil 13’te görüldüğü üzere, engel mesafelerinin yakın ve açıların da 0 etrafında (sandalyenin karşısında) olduğu durumlarda hesaplanan risk faktörü değerleri beklendiği gibi yüksek olmaktadır. Risk faktörünün yüksek olduğu yerlerde bulanık mantık tarafından hesaplanan V_{fuzzy} hız referans değeri nispeten daha düşük olmaktadır. Şekil 13’te en alttaki grafikte görüldüğü gibi, nihai hız referansı, bulanık

mantıkla hesaplanan değer ile kullanıcının verdiği hız referansı arasında yer almaktadır. Fakat daha önceden tasarladığımız gibi, risk faktörünün yüksek olduğu yerlerde, bulanık mantıkla hesaplanan hız referansının etkisi daha fazla olmaktadır. Bunun en güzel görüldüğü yerlerden biri 50-55 saniye aralığında risk faktörünün yüksek olduğu bölgedir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında, kafa hareketleriyle kontrol edilebilen yarı otonom bir tekerlekli sandalye geliştirilmiştir. Geliştirme aşaması; kafa hareketlerinden örüntü tanınması ve yarı-otonom sürüş desteği olarak 2 ana kısımda gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı, önceden tanımlanmış özel kafa hareketleriyle sistemi açıp kapatabilmekte; destekli ve desteksiz sürüş modları arasında geçiş yapabilmektedir. Bahsedilen özel tanımlanmış kafa hareketlerinin tanımlanabilmesi için yapay sinir ağlarından faydalanılmıştır. Çalışmanın esas ilgilendiği destekli yarı-otonom sürüş kısmında ise problem, engelden kaçma ve hız planlama desteği olarak 2 ayrı kısımda incelenmiştir. Engelden kaçma desteğinde FGM-I yaklaşımından, hız planlama desteğinde ise bulanık mantık yaklaşımından faydalanılmıştır. Yapılan geliştirmeler gerçek bir tekerlekli sandalye üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar beklendiği gibi çıkmış ve sistem, gerektiği durumda değişen oranlarda kullanıcıya destek olarak güvenli bir sürüşe yardımcı olmuştur.

İlerleyen aşamalarda yarı otonom tekerlekli sandalyenin tam otonom olarak çalışabilmesi için gerekli ek yazılım ve donanımlar üzerinde çalışılması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, TÜBİTAK 215E140 projesi kapsamında hazırlanmıştır. Verdiği değerleri destekleri nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] F. Pasteau, A. Krupa, M. Babel, Vision-based assistance for wheelchair navigation along corridors, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA', 4430-4435, 2014.
- [2] C. Ana Lopes, P. Gabriel, N. Urbano, Robchair: experiments evaluating brain-computer interface to steer a semi-autonomous wheelchair, IEEE Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012.
- [3] G. Bourhis, H. Odile, H. Olivier, A. Pruski, An autonomous vehicle for people with motor disabilities. IEEE Robotics & Automation Magazine, 8: 1 (2001)20-28.
- [4] S. Levine, D. Bell, L. Jaros, R. Simpson, Y. Koren, J. Borenstein, The navchair assistive wheelchair navigation system. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 7:4(1999)443-451.
- [5] S. Diaz, C. Vicente, A. Rodriguez, F. Diaz Del Rio, A. Civit Balcells, D. Cagigas Muniz, TetraNauta: a intelligent wheelchair for users with very severe mobility restrictions, International Conference on Control Applications, 2002.
- [6] S. Hemachandra, T. Kollar, N. Roy, S. Teller, Following and interpreting narrated guided tours, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2011.
- [7] S. Rönnbäck, J. Piekkari, K. Hyppä, T. Berglund, S. Koskinen, A semi-autonomous wheelchair towards user-centered design, ICCHP, 2006.
- [8] C. Mandel, T. Rofer, U. Frese, Applying a 3dof orientation tracker as a human-robot interface for autonomous wheelchairs, IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2007.

- [9] L. Kitagawa, T. Kobayashi, T. Beppu, K. Terashima, "Semi-autonomous obstacle avoidance of omnidirectional wheelchair by joystick impedance control, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2001.
- [10] H. Demuth, M. Beale, Neural Network Toolbox For Use with Matlab--User'S Guide Version 3.0., 1993.
- [11] M. Demir, V. Sezer, Improved follow the gap method for obstacle avoidance, IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2017.
- [12] V. Sezer, Z. Ercan, H. Heceoglu, S. Bogosyan, M. Gokasan, A new fuzzy speed planning method for safe navigation, IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, 2012.
- [13] Sezer V, Gokasan M., A novel obstacle avoidance algorithm:"Follow the Gap Method'. Robotics and Autonomous Systems, 60:9(2012), 1123-1134.
- [14] V. Sezer, Combined fuzzy approach for online speed planning and control with real vehicle implementation. International Journal of Vehicle Design 68:4(2015), 329-345.