

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
DOKTORA TEZİ

HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE GÜZERGÂHIN ÖĞRETİLMESİ VE SİSTEMİN  
SÜRÜŞ DİNAMİKLERİNİN MODELLENMESİ

FARUK ULAMIŞ

NİSAN 2019

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında** Faruk ULAMIŞ tarafından hazırlanan HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE GÜZERĖAHIN ÖĞRETİLMESİ VE SİSTEMİN SÜRÜŞ DİNAMİKLERİNİN MODELLENMESİ adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nihat İNANÇ  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduđumu ve tezin **Doktora Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiđini onaylarım.

Doç. Dr. Murat LÜY  
Danışman

#### **Jüri Üyeleri**

Başkan : Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Murat LÜY \_\_\_\_\_  
Üye : Prof. Dr. İbrahim UZUN \_\_\_\_\_  
Üye : Prof. Dr. Ertuđrul ÇAM \_\_\_\_\_  
Üye : Doç. Dr. Hasan Őakir BİLGE \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onaylamıŐtır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE GÜZERGÂHIN ÖĞRETİLMESİ VE SİSTEMİN SÜRÜŞ DİNAMİKLERİNİN MODELLENMESİ

ULAMIŞ, Faruk

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Murat LÜY

Nisan 2019, 103 sayfa

Bu çalışmada, şehir içi toplu taşımanın daha güvenli, daha kolay ve çevreye saygılı yapılması için, Bursa ilindeki Durmazlar Makine tarafından üretimi yapılan “İpekböceği” tramvayının otonom sürüş çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda birbirinden farklı iki ünitenin tasarımı yapılmıştır. İlk olarak tramvayın önüne yerleştirilen bir lazer tarayıcı sensör aracılığıyla alınan veriler işlenerek bir “Çarpışma Engelleyici Sistem” (ÇES) tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistem için Durmazlar Makine A.Ş. bünyesindeki altyapılarda çeşitli senaryolar için (insan, diğer araçlar ve karma) gerçek zamanlı testler yapılarak sistemin tepkisi gözlemlenmiştir. İkinci olarak ise, lazer tarayıcı sensör ve GPS (Global Position System) destekli AHRS (Attitude and Heading Reference System) sensöründen alınan ölçümler kullanılarak bir “Uygun Hız Kontrol Ünitesi” (UHKÜ) tasarlanmıştır. Bu ünite iki alt sistemden oluşmuştur. Birincisi aracın normal trafik esnasındaki seyrinde sensörlerden alınan verilere göre en uygun hızın tahmin edildiği “Uygun Hız Belirleme Algoritması” (UHBA) ve ikinci sistem ise tahmin edilen hızın kontrolü için gerekli “Hız Kontrol Algoritması” (HKA) dir. Trafik koşullarında araç kullanımı oldukça karmaşık ve doğrusal olarak ifade edilemeyecek sistemlerdendir. Bu yüzden normal kontrol yöntemleri ile kontrol yapmak yetersiz kalacaktır. Bu çalışmada kullanılan test aracının hızla ilgili tahmininin yapılması için Yapay Sinir Ağı algoritması kullanılmıştır. UHKÜ tarafından tahmin edilen bu hız ise bir Bulanık Mantık Kontrolcü kullanılarak kontrol edilmiştir. Gerçek zamanlı testler ve simülasyon sonuçları tez içerisinde verilmiştir.

Kırıkkale Üniversitesi bünyesinde Doktora Tezi olan bu çalışma, aynı zamanda Kırıkkale Üniversitesi ve Durmazlar Makine A,Ş ortaklığında yapılan ve Sanayi Bakanlığı tarafından desteklenen bir SANTEZ projesidir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Mantık, Hafif Raylı Sistemler, Yapay Sinir Ağı, Otonom Araç



## ABSTRACT

### TEACHING ROUTING IN LIGHT RAIL SYSTEMS AND MODELING OF SYSTEM DRIVING DYNAMICS

ULAMIŞ, Faruk

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering, Doctor of Philosophy

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat LÜY

April 2019, 103 Pages

In this thesis, an autonomous driving study for the "Silkworm" tram, which was produced by Durmazlar Makine in city of Bursa, was carried out in order to make the urban public transportation safer, easier and more respectful to the environment. In this context, two different units were designed. The first one, "Collision Avoidance System" (CAS), was designed by processing the data received by means of a laser scanner sensor placed in front of the tram. The response of the designed system was observed by real-time tests for various scenarios (pedestrian, other vehicles and mixed) in the infrastructures of Durmazlar Machine Co. The second one, Optimal Speed Control Unit (OSCU), was designed by using measurements taken from the laser scanner sensor and the GPS-Aided AHRS sensor. The OSCU is made up of two algorithms, which are the Determining Optimal Speed Algorithm (DOSA) and the Speed Control Algorithm (SCA) to determine the optimal speed and control that desired speed using the throttle and the brake. Driving a vehicle is a special problem because there are many variables in traffic scenarios that are highly complex and cannot be represented in a linear form, so classical control techniques cannot be directly applied to these systems. Backpropagation Neural Network-based DOSA has been utilized by the system to estimate a vehicle's optimum speed. The output of DOSA is an optimal vehicle speed, and a fuzzy logic controller based SCA was used to control this optimal speed. All real-time experiments and simulation results have been given in the results section.

This PhD Thesis is a SANTEZ project carried out by the Kırıkkale University and Durmazlar Machine Co partnership and supported by the Ministry of Industry.

**Key Words:** Fuzzy Logic, Light Rail Vehicles, Artificial Neural Networks, Autonomous Vehicles



## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında bilgisini ve desteğini paylaşmaktan çekinmeyen danıőmanım Doç. Dr. Murat LÜY' e, tez çalışmaların sırasında yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Ertuęrul ÇAM ve Prof. Dr. İbrahim UZUN' a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu uzun süreçte sürekli destek veren, hep yanımda olan eşim ve sürekli "Bitmeyen Ödevin" ne zaman biteceğini soran canım kızlarıma da ayrıca teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Literatür Taraması .....	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	8
1.3. Sisteme Genel Bakış .....	9
<b>2. MATERYAL</b> .....	<b>12</b>
2.1. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) .....	12
2.1.1. Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri .....	14
2.2. T1 Tramvay Hattı .....	17
2.3. Sensör Teknolojileri .....	19
2.3.1. Lazer Tarayıcı Sensör .....	20
2.3.2. GPS Destekli AHRS .....	22
2.4. Test Aracı: İpekböceği .....	24
2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA).....	25
2.5.1. Sinir Ağlarının Mimarisi .....	25
2.5.2. Sinir Ağlarının Temel Bileşenleri .....	27
2.5.3. YSA Çeşitleri .....	30
2.6. Bulanık Mantık Kontrol .....	32
2.6.1. Bulanık Küme Teorisi .....	33
2.6.2. Üyelik Fonksiyonları.....	37
2.6.3. Bulanık Mantık Kontrolcü .....	42
2.6.4. Bulanık Çıkarım Metodu Çeşitleri .....	44
<b>3. METOTLAR</b> .....	<b>47</b>



3.1. Çarpışma Engelleyici Sistem (ÇES) .....	47
3.1.1. Segmentasyon .....	47
3.1.2. Kapatma (Gölgeleme) .....	51
3.1.3. Nesne Sınıflandırma .....	52
3.1.4. Kalman Filtre İzleme .....	54
3.1.5. Risk Değerlendirme .....	58
3.2. Uygun Hız Kontrol Ünitesi .....	62
3.2.1. Uygun Hız Belirleme Algoritması .....	62
3.2.2. Hız Kontrol Algoritması .....	65
<b>4. ALAN TESTLERİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI.....</b>	<b>69</b>
4.1. Çarpışma Engelleme Sistemi Sonuçları .....	69
4.2. Uygun Hız Kontrol Ünitesi .....	79
4.2.1. Uygun Hız Belirleme Algoritması Sonuçları.....	79
4.2.2. Hız Kontrol Algoritması Sonuçları .....	80
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>84</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>88</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>102</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>102</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Sistem Mimarisi .....	9
2.1. Gelişmiş sürücü destek sistemleri çeşitleri .....	14
2.2. Bursa ili T1 Tramvay hattı bilgisi .....	18
2.3. Otonom Tramvay projesi genel görünüşü .....	20
2.4. Uçuş zamanı tekniği .....	20
2.5. Lazer tarayıcı çoklu katman taraması .....	21
2.6. Çoklu eko tanıma .....	22
2.7. LDMRK 50 marka GPS destekli AHRS .....	23
2.8. Çalışmalarda kullanılan İpekböceği tramvayının kesit resmi .....	24
2.9. Biyolojik sinir hücresi .....	26
2.10. Biyolojik sinir ağı ve Yapay sinir ağı .....	26
2.11. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu .....	30
2.12. İleri Beslemeli Sinir Ağı .....	31
2.13. Tekrarlamalı Geri Beslemeli Sinir Ağı .....	31
2.14. Klasik küme teorisine göre sınıflandırma .....	34
2.15. Bulanık küme teorisine göre sınıflandırma .....	35
2.16. Netliği artırılmış klasik küme teorisine göre sınıflandırma .....	36
2.17. Netliği artırılmış bulanık küme teorisine göre sınıflandırma .....	37
2.18. Üçgen üyelik fonksiyonu .....	38
2.19. $A = (-5, -1, 1)$ Kümesinin komşuluğu .....	40
2.20. Yamuk Sayı Komşuluğu .....	41
2.21. Gauss üyelik fonksiyonu .....	41
2.22. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu .....	42
2.23. Bulanık sistemin genel görünümü .....	43
2.24. Tasarlanan bulanık mantık kontrolcünün genel görünümü .....	66
3.1. Arka arkaya gönderilen iki lazer darbesi arasındaki mesafe .....	49
3.2. Açısal çözünürlük limiti örneği .....	50
3.3. Segmentasyon işlemi öncesi ve sonrası ekran görüntüsü .....	51

3.4. Parçalı gölgeleme örneği. X nesnesi Y nesnesi tarafından gölgeleniyor.....	52
3.5. Çoğunluk Oy sınıflayıcısının grafiksel gösterimi .....	53
3.6. Kalman filtre algoritması grafiksel gösterimi .....	55
3.7. Taranan alandaki tehlikeli bölgeler ve algılanan nesnelere .....	59
3.8. Taranan alandaki bütün nesnelere güvenli bölgede, çarpışma ihtimali yok.....	60
3.9. Tehlike bölgesinde test aracına doğru yaklaşmakta olan nesne.....	61
3.10. Tehlike bölgesinde çarpışma ihtimali çok yüksek bir nesne.....	62
3.11. En uygun hız için önerilen BPNN algoritması.....	65
3.12. Tasarlanan bulanık mantık kontrolcünün genel görünümü.....	655
3.12. Bulanık mantık girişleri için üyelik fonksiyonları .....	67
4.1. Testler için tasarlanan senaryolar.....	70
4.2. Test aracıyla aynı hatta bulunan durağan bir HRA.....	73
4.3. Test aracına doğru 10 km/s hızla yaklaşmakta olan bir HRA.....	73
4.4. Test aracına 10 km/s hızla test aracına yaklaşmakta olan ve tehlike bölgesine girmiş başka bir HRA. ....	74
4.5. Test aracına doğru 20 km/s hızla yaklaşan başka bir HRA. ....	74
4.6. Test aracıyla aynı yönde 20 km/s hızla ilerleyen başka bir HRA. ....	75
4.7. Test aracına doğru 5 km/s hızla koşan yaya.....	75
4.8. Test aracına doğru 11 km/s hızla koşan yaya.....	76
4.9. Test aracına doğru 14 km/s hızla koşan yaya.....	76
4.10. Test aracına doğru 13 km/s hızla koşarken değiştiren yaya.....	77
4.11. Çoklu senaryo .....	77
4.13. BPNN Sonuçları.....	79
4.15. 0-20 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b)UHKÜ sürüşü .....	81
4.16. 0-25 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b)UHKÜ sürüşü .....	81
4.17. 0-30 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b)UHKÜ sürüşü .....	82
4.18. 0-50 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b)UHKÜ sürüşü .....	82
4.19. 0-30-50 km/s hız geçişleri için UHKÜ çıkışı.....	83

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Çizelge

### Sayfa

3.1. Sugeno ve Mamdani Metotlarının Avantajları .....	57
4.1. Çarpma Noktasına Göre Ölüm İstatistikleri .....	58
4.2. Test Senaryoları .....	60



## SİMGELER DİZİNİ

$\mu(x)$	Üyelik Fonksiyonu
GHz	Giga Hertz
cm	Santimetre
$\alpha$	Kesim Katsayısı
$\leq \geq$	Küçüktür, büyüktür
$a$	Gauss Üyelik Fonksiyonunun Merkezi
$\sigma$	Üyelik Fonksiyonunun Genişliğini
$\Theta$	Lazer Tarayıcı Ölçüm Açısı
$C_0$	Sensör Gürültüsü
$\phi$	Lazer Tarayıcı Sensörün Açisal Çözünürlüğü
$\lambda$	Yardımcı Parametre
$\sigma_r$	Ardışık Algılanan Noktaların İçerdiği Artık Varyans
$m$	İlişkili Gürültü
$\hat{x}$	Tahmin Edilen Durum
$u_t$	Kontrol Vektörü
$P_t^-$	Hata Kovaryans Matrisi
$Q$	Gürültünün Kovaryansı
$\delta$	Hata
$\eta$	Öğrenme Katsayısı
$\alpha$	Momentum Katsayısı

## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>BM</b>	Birleşmiş Milletler
<b>UHKÜ</b>	Uygun Hız Kontrol Ünitesi
<b>UHBA</b>	Uygun Hız Belirleme Algoritması
<b>HKA</b>	Hız Kontrol Algoritması
<b>YSA</b>	Yapay Sinir Ağları
<b>BMK</b>	Bulanık Mantık Kontrol
<b>KMR</b>	Kısa Menzil Radar
<b>UMR</b>	Uzun Menzil Radar
<b>ÇES</b>	Çarpışma Engelleme Sistemi
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>LADAR</b>	Laser Detection and Ranging
<b>LİDAR</b>	Light Detection and Ranging
<b>AUS</b>	Akıllı Ulaşım Sistemleri
<b>CC</b>	Cruise Control
<b>ACC</b>	Active Cruise Control
<b>AHD</b>	Akıllı Hız Desteği
<b>CBS</b>	Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>EUS</b>	Eğim Uyarı Sistemi
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>NBS</b>	Nöro-Bulanık Sistem
<b>BÇS</b>	Bulanık Çıkarım Sistemi
<b>ANBÇS</b>	Adaptif Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi
<b>GSDS</b>	Gelişmiş Sürücü Destek Sistemi
<b>LD-MRS</b>	Ladar Digital-Multilayer Range Scanner
<b>AHRS</b>	Attitude and Heading Reference System
<b>MEMS</b>	Micro Electromechanical System
<b>FOG</b>	Fiber Optic Gyro
<b>BPNN</b>	Backpropagation Neural Network
<b>LIFE</b>	Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering
<b>HRA</b>	Hafif Raylı Araç

## 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve iklim değişikliği gibi etkenlerin tümü toplumu her geçen gün biraz daha fazla etkilemekte ve bu durum küresel bir değişime sebep olmaktadır. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yapılan nüfus tahmin raporuna göre, 2015 yılı ortasında dünya nüfusu 7.3 milyarı geçmiştir ve bu rakamın 2050 yılında 9.7 milyara; 2100 yılında ise 11.2 milyara ulaşacağı ön görülmektedir. Nüfus artışının yanı sıra, artan bu sayının önümüzdeki 15 yıl içerisinde %60' ının şehirlerde yaşayacağı ve 2050 yılında şehirlerde yaşayan insan nüfusu oranının %70 olacağı tahmin edilmektedir [1]. Bu sonuçlara göre; dünyanın nüfusu sadece artmakla kalmamakta, aynı zamanda belirli bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bu bağlamda, ekonomiklik, çevre sorunlarına duyarlılık ve enerji tüketimleri göz önüne alındığında şehir içi toplu taşıma önümdeki yıllarda daha da popüler bir çalışma alanı olacağı öngörülmektedir.

Modern şehir hayatı ve artan alım gücü, ulaşım için insanları kişisel araç kullanımına yöneltmektedir. Bu durum, özellikle büyükşehirlerde önlenemez bir trafik karmaşasına yol açmakta ve çevre kirliliği, enerji/can kaybı gibi durumları da yanı sıra getirmektedir. Enerjinin çok önemli olduğu günümüzde bu kayıpları azaltmak için kişisel araç kullanımı yerine toplu taşımanın kullanımının özendirilmesi gerekmektedir. Bunun yapılması ise ancak daha güvenli, daha esnek ve daha çevreye duyarlı sistemler geliştirilmesiyle mümkün olacaktır.

Günümüz teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, yüksek standartta hayat beklentisini aynı hızda arttırmaktadır. Bu beklenti, karayolu ulaşımında da kendisini göstermektedir. Ülkemizde, karayolu taşımacılığında lastik tekerli vasıtalar üzerine kurulu bir ulaşım modeli hâkimdir fakat bu ulaşım modelinin ülke menfaatlerine çok da uygun olmadığı bir gerçektir. Şehir içi ve şehirler/ülkeler arası ulaşım bağlantılarının uzun vadeli ve köklü bir şekilde halledilmesi için en etkin çözüm raylı ulaşım sistemleridir [2]. Enerji tüketimi, çevre kirliliği ve sera gazı salınımı gibi durumlar düşünüldüğünde özellikle şehir içi toplu taşıma için en uygun çözümün raylı sistemler olduğu görülmektedir.

Bütün bu gelişmelerin sonucunda, şehir içi toplu taşımanın özendirilmesi ve daha güvenli, daha kolay ve çevreye saygılı yapılabilmesi için, Bursa ilindeki Durmazlar Makine A.Ş. tarafından üretilen “İpekböceği” isimli tramvayın otonom sürüş sistemi tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarım iki temel üniteden oluşmaktadır. İlk ünite tramvayın güvenli bir şekilde yolculuk yapabilmesi için lazer tarayıcı sensör tabanlı bir “Çarpışma Engelleme Sistemi (ÇES)” dir. Tasarımı yapılan ÇES, Durmazlar Makine A.Ş.’nin Bursa ilinde bulunan tramvay üretim tesislerinde test edilmiştir. Bu testler, Tramvaya yerleştirilen bir lazer tarayıcı sensör için başlangıç testleri kapsamında olup kapalı test alanı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar değişik hava koşullarında testler yapılmamış olsa da, Tramvay üzerine yerleştirilen tek bir lazer tarayıcı sensörle yapılan ilk ÇES olması adına önem arz etmektedir. Başarıyla tamamlanan ÇES testleri sonrasında, otonom sürüş için en önemli kısım olan uygun hızın hesaplanması ve hesaplanan hızın kontrol edilmesi aşamasına geçilmiştir. Yoğun trafik ortamında araç hız kontrol işlemleri oldukça karmaşık ve doğrusal olmayan işlemlerdir. Bu sebeple klasik kontrol yöntemleri yerine uzman sistemler içeren modern kontrol yöntemleri kullanılması daha çözüm odaklı bir yaklaşım olmaktadır.

Otonom bir sürüş sağlayabilmek için ikinci tasarlanan ünite, hızın belirlenip kontrol edildiği Uygun Hız Kontrol Ünitesi (UHKÜ)’dür. UHKÜ iki alt sistemden oluşmaktadır. Bu alt sistemler Uygun Hız Belirleme Algoritması (UHBA) ve belirlenen hızın kontrol edildiği Hız Kontrol Algoritmasıdır (HKA). UHBA için yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir algoritma kullanılarak yol şartlarına göre en uygun hız belirlenmiştir. Belirlenen hızın kontrol edilmesi için ise bulanık mantık kontrolcü (BMK) tabanlı HKA tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmalarla ilgili çalışmalar, Bursa şehir merkezinde bulunan T1 tramvay hattından alınan gerçek zamanlı verilerle MATLAB simülasyon programında gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan UHKÜ sonuçları ile Vatmanın gerçek zamanlı sürüş sonuçları karşılaştırılmıştır.

## **1.1. Literatür Taraması**

Tramvaylar için otonom sürüş sağlanması amacıyla yapılan bu tez çalışmasında, Çarpışma Engelleme Sistemi ile Uygun Hız Kontrol Ünitesi tasarımı yapılmış, bu



sistemler birbirinden bağımsız çalıştığı için de literatür taraması yapılırken iki sistem için ayrı ayrı literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

Literatürde Yapılmış Çarpışma Engelleme Sistemi (ÇES) Çalışmaları;

Dünyada her yıl yaklaşık olarak 20 ila 50 milyon arasında kaza olmaktadır [3] ve bu kazaların toplam maliyeti 518 milyar dolardır [4]. Can ve mal kaybıyla ilgili rakamların bu kadar yüksek olması küresel manada dikkatleri üzerine çekmiş ve bu kayıpları azaltmak için Birleşmiş Milletler “2011-2020 Karayolları Güvenliği için 10 Yıllık Eylem” programını başlatmıştır [5].

Kazaların meydana gelmesinin ana nedeni insan faktörüdür ve özellikle en yoğun karşılaşılan kaza tipi arkadan çarpışmalar şeklindedir [6]. Otomobil firmaları bu yüzden yıllardır kazaları engellemek veya azaltmak için çalışmalar yapmakta ve çok çeşitli güvenlik önlemleri almaktadır. Araçlar için güvenlik sistemleri aktif ve pasif güvenlik sistemleri olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Emniyet kemerleri, hava yastıkları, lamine camlar ve burkulma bölgeleri pasif güvenlik sistemlerinin en yaygın örnekleri olup uzun yıllardan beri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu güvenlik önlemleri kazazedelerin sayısını azaltma konusunda neredeyse tam bir doyuma ulaşmıştır [7]. Son yıllarda popülerliğini iyice artıran aktif güvenlik sistemleri ise çarpışma engelleme sistemleri, otomatik frenleme sistemleri, uyarlanabilir seyir kontrol (adaptive cruise control) ve şerit değiştirme uyarı sistemi olarak dört ana başlıkta incelenmektedir [8]. Bahsi geçen dört aktif güvenlik sistemi yöntemlerinden, doğrudan kazaları engellemeye yönelik olan sistem ise çarpışma engelleme sistemleridir.

Son yıllarda önde gelen otomobil firmaları ÇES ile ilgili çok çeşitli çalışmalar yapmış, ticari olarak geçerli birçok ürün geliştirmiş ve araçlarını bu sistemlerle donatmışlardır [9]. Ticari araç firmalarının bu yöndeki çalışmaları hala yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bunlardan en dikkat çekici olanlardan birisi “Akıllı göz” (Smart Eye) ve “Gören Makineler” (Seeing Machines) gibi yeni nesil kamera ve radarın birlikte kullanıldığı ve Volvo otomobillerinde kullanılan ÇES’ lerdir [10-11]. Üretim aşamasına geçmiş olan bu ürünler sadece hafif araçlarda değil, kamyon/tır gibi yüksek

tonajlı araçlarda da kullanılmaktadır. Benzer ÇES çalışmaları Ford, Honda, Subaru, Mercedes-Benz, Toyota ve Nissan gibi büyük araç üretici firmalarda da devam etmektedir [12].

ÇES tasarımı yapılabilmesi için ilk adım nesne tespittir. Nesne tespit edildikten sonra nesnenin sınıflandırılması ve izlenmesi işlemleri yapılmaktadır. Dolayısıyla daha net bir sınıflandırma ve izleme işleminin yapılabilmesi için ilk önce nesnenin yüksek güvenilirlik oranında tespit edilmesi gerekmektedir. Bu yüksek güvenilirlik oranı ise doğrudan doğruya kullanılan sensör ile alakalıdır.

Nesne tespiti yapmak için yaygın olarak kullanılan üç temel sensör teknolojisi vardır. Bu teknolojiler, lazer tarayıcılar [13–17], radarlar [18–20] ve bilgisayar vizyon [21–24] gibi farklı sistemlerdir. Bu sensörlerin birleştirilerek kullanıldıkları, lazer tarayıcı ve radar füzyonu [27], lazer tarayıcı ve bilgisayar görme füzyonu [28–30], radar ve bilgisayar vizyon füzyonu [31–32] ve üç sensörün de füzyonu [33–34] gibi yukarıda bahsedilen sensörlerin füzyonları da farklı çalışmalarla incelenmiştir. Bu yöntemlerin dışında, dijital haritalama yöntemiyle GNSS’ den (Global Navigation Satellite System) alınan konum bilgileriyle de sensör tabanlı yöntem olarak çalışılmıştır [35].

Bilgisayar vizyon tabanlı engel tespit yöntemleri üç kategoriye ayrılır. Birincisi, renk [36], simetri [37] ve gölge [38] gibi engel özellikleri hakkında önceden bilinen verileri kullanan “veri” tabanlı yaklaşımdır. İkincisi stereo vizyon temelli yaklaşımdır [39] ve sonucusu harekete dayalı yaklaşımdır [40]. “Engel algılama” işlemi için bilgisayarlı görüntüleme kullanılması ilk bakışta en mantıklı çözüm gibi görünmektedir. Bilgisayarlı görüntüleme yöntemleri düşük maliyetli sensörler, daha yüksek bilgi kapasitesi ve daha düşük işletme yükü gibi avantajlara sahip olsa da; karmaşık gölgeler, loş aydınlatma, şiddetli yağmur, kar ve yoğun sis gibi zorlu hava koşullarında üç yöntemin tümünde başarısız olmaktadır. Ayrıca, bu yöntem yüksek işlem kapasitesi gerektirir. Tüm bu dezavantajlar lazer tarayıcılar ve radarlar gibi aktif sensörleri ön plana çıkarmaktadır.

Radar sensörler, uygulamaya bağlı olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Birincisi 77 GHz Uzun Menzilli Radarlardır (UMR) [41]. UMR, bazı lazer tarayıcı sensörleri gibi

200 metrelik bir mesafeyi ölçebilecek kapasitedirler. İkincisi ise 24 GHz Kısa Menzil Radarıdır (KMR) [42]. KMR genellikle UMR'ye kıyasla daha kısa bir mesafede çalışmaktadır.

Blanc ve arkadaşları, aracın önündeki engellerin tespit ve takibi için Darbe Doppler Radarı kullanılmıştır [43]. Bu uygulamada radar sensor test aracının ön alt kısmına monte edilmiştir. Sistem, test aracı ile hedef arasındaki mesafeyi radar sinyallerinin yankılarını gözlemleyerek hesaplamıştır. Sistem; yağmur, kar ve sis gibi çeşitli hava koşullarında iyi çalışmış ve 150 m içinde tatmin edici algılama sonuçları vermiştir. Xuan ve arkadaşları radar sensör kullanmışlar ve araç tespit etmeye çalışmışlardır [44]. Çalışmada nesnenin sınıflandırılmasını (araç) yapmak için devirli otokorelasyonun seyrekliğine dayalı sıkıştırılmış bir algılama radarı önerilmiştir. Yapılan çalışmayla ilgili gerçek uygulama yapılmamış ve sadece benzetim sonuçları sağlanmıştır. Radar temelli yöntemler, olumsuz hava koşullarında etkin bir şekilde çalışma ve güvenilirlik oranı açısından diğer sistemlerden daha iyi olsa da, açısal çözünürlüğü  $15^{\circ}$  'dir. Bu değer lazer tarayıcılara nispeten düşük bir değerdir [45]. Açısal çözünürlüğün düşük olmasından dolayı kalabalık yol koşullarında çok sayıda engel tespit etmek zor olacaktır. Bu problemin üstesinden gelmek için çoklu sensörlerin kullanılması gerekmekte ve çoklu sensör kullanımı ise sistemi daha karmaşık hale getirmektedir.

Lazer tarayıcılar, barkod okuyuculardan titreşim analizlerine kadar birçok uygulama için yaygın olarak kullanılmaktadır [46,47]. Lazer ve Lidar tabanlı sistemler, ultraviyole, görünür ve kızıl ötesi elektromanyetik spektrum dalgalarını iletmekte ve almaktadır. Alıcıya geri gelen dalgalar bir teleskopla toplanmakta ve zamanın bir fonksiyonu olarak sayılmaktadır. Işık hızını kullanarak, yayılan dalgaların ne kadar uzaklaştığı hesaplanmaktadır. Tipik 1D ve 2D lidar sensörler, üretimde ucuzdur ve kullanımları radardan daha kolaydır. Video kameraların aksine, lazer tarayıcılar 200 metreye kadar yüksek hassasiyette ölçüm değerleri vermektedirler. Ayrıca, gönderilen sinyaller kendi sinyal kaynaklarından üretilen sinyaller olduğu için aydınlatma kaynaklarından ve etraftan gelecek farklı sinyallerden kolay kolay etkilenmemektedir. Engelleri tespiti için lazer tarayıcı kullanmak, özellikle değişen hava koşullarında bazı zorluklar da doğurmaktadır. Sis, yağmur ve yoğun kar yağışı gibi durumlar altında, damlacıklar sinyallerin zayıflamasına veya yanlış yankılara neden olabilmektedir. Bu

tür problemlerin çözümü için, yeni nesil lazer tarayıcılarda çok katmanlı lazer tarama düzlemleri geliştirilmiş ve hava koşullarından kaynaklanan “yanlış algılamalar” azaltılmıştır [15]. ÇES için özel üretilen lazer tarayıcı sensörler üzerine en çok çalışma yapan firmaların başında, Alman şirketi IBEO ve ana şirketi SICK gelmektedir. Firma, farklı çalışma menziline ve maliyete hitap eden çeşitli lazer tarayıcılar geliştirmektedir [48]. Nashashibi ve arkadaşları bir araca monte edilen lazer tarayıcı ile çoklu araçların tespit edilmesi ve sınıflandırılması için bir yaklaşım geliştirmiştir [49]. Yapılan çalışmada denenen “sınıflandırma”; sensör özellikleri, gölgeleme mantığı, geometrik şekil özellikleri ve izleme bilgisi farklı ölçütlere dayandırılmıştır. Sistemin doğruluk seviyesinin daha iyi ölçülmesi için üç farklı lazer tarayıcı ile farklı yol koşullarında (otoyollar, şehir merkezleri) test edilmiştir. SICK marka modern lazer tarayıcıların [47], yüksek tarama hızları ile yüksek çözünürlük verileriyle benzer test çalışmaları için daha kullanışlı oldukları kanıtlanmıştır.

#### Literatürde Yapılmış Hız Kontrol Ünitesi Çalışmaları;

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kapsamında detaylı olarak incelenen yaygın araç hız kontrol uygulamaları; Cruise Control (CC), acil durdurma ve hız izleme kontrolü sistemleridir [50]. Özellikle ticari araçlarda yoğunlukla örnekleri görünen bu tarz hız kontrol uygulamaları, gaz kelebeği ve fren mekanizmalarını kontrol ederek sürücü için daha güvenli ve daha konforlu bir yolculuk seçeneği sunmaktadır [51]. Otonom bir hız kontrolü yapmak için gerekli aktüatörlerin kontrolü için çeşitli çözümler vardır ve bunlar karmaşık modellere dayanmaktadır [52].

Hız sabitleme işlevi, tam otomatik sürüşte geçerli bir durumdur. Hız düzenlemesini yaparak bu işlemi gerçekleştiren en yaygın yöntem Cruise Control (CC)’dür. Bu yöntemde, gazı kontrol eden sistem aynı zamanda gücü de ayarlayarak aracın istenen hızda sürülmesini sağlamaktadır. Sürücü fren pedalına dokunduğunda sistem devre dışı kalmaktadır. CC'nin gelişmiş bir versiyonu olan Active Cruise Control (ACC), aracın ön tarafındaki engelleri lazer sensör, radar veya kamera kullanarak tespit etmektedir [53]. Son yıllarda ticari ürün olarak karşımıza sıklıkla çıkan ACC’ye örnek olarak özellikle Audi, Ford, Honda, vb gibi birçok ticari otomotiv markalarında rastlanmaktadır [9]. Xiao ve arkadaşları ACC sistemlerinin süreç içerisindeki

gelişimini yaptıkları çalışmayla sunmuşlardır [53]. Nouvelière ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Kayar Mod (Sliding Mode) tekniğine dayalı bir ACC tasarımı önermiş ve önerdikleri bu yöntemi deneysel olarak doğrulanmıştır [54]. Benzer bir şekilde yapmış olduğu tez çalışmasında Lim, bir kayan mod tekniğine dayalı birleştirilmiş ilerleme yönündeki hızı ve yanal hızı aynı anda kontrol etmiştir [55]. Yapılan çalışmada araç lastik modelini ters çevirilmiş ve direksiyon açısını elde etmek için istenen lastik kuvvetleri hesaplanmıştır. Shakouri ve arkadaşları ise bir kazanç programlama tekniği ile hız kontrol problemini çözmek için kullanmışlardır [56]. Araç gaz ayarı çalışma aralığı, vites değiştirmelerle değiştirilmiş, dolayısıyla her vites için gaz ayarı aralığını dikkate alan bir kontrolör tasarlanmıştır. Gerçek trafik koşullarında araç sürme işi doğrusal olmayan bir işlem olduğu için, ElMajdoub ve arkadaşları Lyapunov yaklaşımı kullanarak hız kontrolü yapmışlardır [57]. Bununla birlikte, kontrol edilecek hızın model belirsizliklerine göre dinamik bir performans sağlaması için, oldukça kararlı bir tasarım önerilmiştir. Menhour ve arkadaşları düzlük kontrol teorisine dayanan bir çözüm [58], Nehaoua ve arkadaşları ise bir geri dönüşüm sentezine dayanan çözüm önermişlerdir [59]. Ele alınan iki yöntemde de kontrol girişi, aracın çekiş torku ve direksiyon açısıdır. Her iki girişte de standart bir geri dönüşüm sentezi kullanılarak hesaplanmaktadır. Çeşitli yöntemlerle yapılmış örnekleri anlatılan ve sürücü destek sistemlerinin en önemli iki örneği olan CC ve ACC sistemlerinin çeşitli dezavantajları da vardır. Bunlardan birincisi, yolun düz ve kavisli kısımlarını birbirinden bağımsız olarak ayırt edememesidir. Bu tarz bölgelerde kazaları önlemek için hızın düşürülmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, son zamanlarda bir kavisli yola yaklaşan bir sürücünün tehdit seviyelerini değerlendirmek için Coğrafi Bilgi Sisteminden (CBS) elde edilen küresel konumlandırma sistemleri (GPS) ve dijital haritaların kombinasyonunu kullanan eğitim uyarı sistemleri (EUS) geliştirilmiştir [60]. Benzer bir çalışmada, akıllı hız desteği (AHD) sistemleri, sürücünün hızı uygun olmadığında sürücüyü uyarırken, hız sınırlarıyla ilgili bilgileri içeren bir dijital yol haritası ile birlikte GPS'i kullanırlar [61].

Bahsi geçen kontrol yöntemleri dışında, aracın aktüatörleri gibi karmaşık sistemleri modelleme ve kontrol etme işlemi için bulanık mantık denetleyici gibi uzman sistemler de kullanılmıştır [62].

Bulanık denetleyicinin ana avantajı, kontrol edilecek sistemin tam bir matematiksel modelinin gerekli olmamasıdır. Üstelik bu denetleyiciler, bilgi birikimi, insan deneyimi ve “if-then” kuralları kullanarak uzman sürücülerin davranışlarını taklit edebilmektedir. Bununla birlikte, "if-then" sistemlerinde özel dikkat gerektiren bazı temel hususlar bulunmaktadır. Bunlar, insan bilgisini veya deneyimini, bulanık bir sistemin kural tabanına ve veritabanına dönüştürmek için standart yöntemlerin olmamasıdır. Üstelik bulanık sistemlerin üyelik fonksiyonlarını, kural tabanını ve çıkış parametrelerini ayarlamak için otomatik ve etkili yöntemlere ihtiyaç vardır [63].

Bu noktada, Nöro-Bulanık Sistemler (NBS), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Bulanık Çıkarım Sistemini (BÇS) birleştirmektedir. Nöro-Bulanık sistemler, kural tabanlı bulanık sistemlerin semantik saydamlığını, sinir ağlarının öğrenme yeteneği ile birleştirilmekte, bu nedenle NBS, bir ağ yapısında temsil edilen “if-then” kuralları aracılığıyla sistemleri yapay sinir ağları alanından öğrenme algoritmalarının öğrenilebileceği şekilde temsil edebilmektedir [64]. Günümüzde, bazı yaklaşımlar, doğrusal olmayan sistemleri kontrol etmek veya kontrolörleri ayarlamak için nöro-bulanık sistemler kullanılmaktadır [65]. Bunların birçoğu, sadeliği ve hesaplama açısından verimli prosedürlerinden dolayı Adaptif Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi (ANBÇS) kullanılmaktadır [66]. Son yıllarda, nöro-bulanık sistemler kullanılarak yapılan araç uygulamaları ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaların çoğunda, nöro-bulanık sistem ile aracın süspansiyonu kontrol edilmiş ve araç gövdesindeki konforu artırılmıştır. Başka bir uygulamada ise takviye öğrenme ile nötür bulanık hız izleme gerçek bir prototipte uygulanmıştır. Tasarlanan sistem gerçek zamanlı olarak uygulanmış olsa da sadece özel koşullarda test edilmiştir [67].

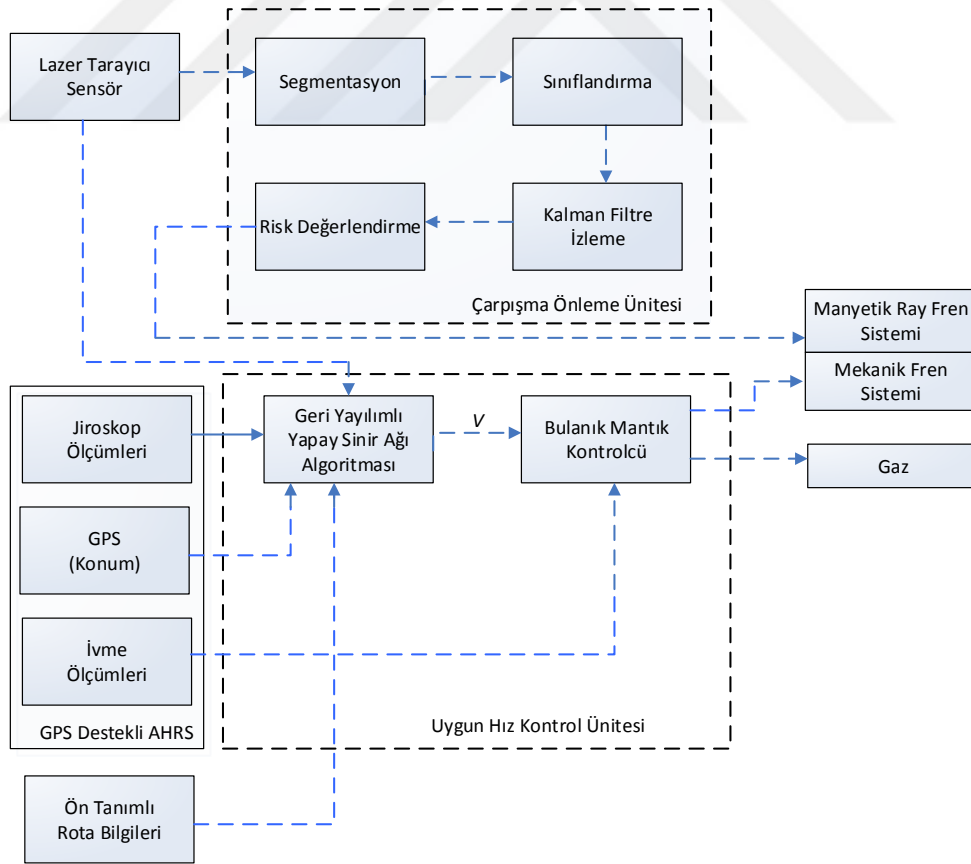
## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu tez çalışmasında, trafik kazalarında en büyük paya sahip olan sürücü hatalarını en aza indirmek için toplu taşımanın önemli bir parçası olan tramvaylarda otonom sürüş denemeleri yapılmış ve bu çalışma esnasındaki karşılaşılabilecek problemler araştırılmıştır. Test aracı olarak, Bursa ili T1 Tramvay Hattında hâlihazırda çalışmakta olan ve Durmazlar Makine A.Ş. tarafından üretimi yapılan “İpekböceği” isimli tramvay kullanılmıştır. Yapılan çalışma iki farklı ünitenin birleşmesinden

oluşmaktadır. Bunlar; Çarpışma Engelleyici Sistem (ÇES) ve Uygun Hız Kontrol Ünitesidir (UHKÜ). Çarpışma önleyici sistem için gerekli testler Durmazlar Makine A.Ş. nin Bursa ilindeki altyapılarında yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında, tramvayın normal trafik koşullarında sıklıkla karşılaşılabileceği senaryolar kurgulanmış ve bu durumların testleri yapılmıştır. UHKÜ testleri ise MATLAB programı kullanılarak benzetim ile yapılmıştır.

### 1.3. Sisteme Genel Bakış

Otonom sürüş esnasında çevresel veriler sensörler aracılığıyla alınır. Sensörlerden gelen her bilgi, aracın daha güvenli bir sürüş yapmasında önemli bir rol oynar. Bu tez çalışmasında kullanılan sensörler ve tasarlanan ünitelerin sistem mimarisi şekil 1.1. de görüldüğü gibidir.



Şekil 1.1. Sistem Mimarisi

Tasarlanan sistem iki farklı üniteden oluşmaktadır. Bu ünitelerden birincisi ÇES' dir ve bu ünitenin temel bileşenlerinden birisi lazer tarayıcı sensördür. Lazer tarayıcı sensör dört adet tarama düzleminde algılanan nesnelere ilgili noktaları belirlemektedir. Nesnelere ait olan bu noktalara sırasıyla segmentasyon, sınıflandırma ve izleme algoritmaları uygulanarak nesnelere gerçek bir nesne olup olmadığı, nesnelere türü ve bir sonraki hareketleri belirlenmektedir. Özellikle türü ve sonraki hareketi belirlenen nesnelere risk değerlendirme algoritması uygulanarak potansiyel çarpışma ihtimalleri hesaplanmaktadır. Diğer raylı sistem araçlarının aksine risk değerlendirme algoritmasının uygulanması zaruridir çünkü tramvaylar şehir içi yoğun trafik koşullarında hareket etmektedirler.

İkinci ünite ise GPS destekli AHRS ile Lazer tarayıcı sensörün birlikte kullanıldığı UHKÜ' dür. UHKÜ iki alt sisteme ayrılmaktadır. Bu alt sistemlerden ilki tramvayın yolculuğu esnasındaki yol şartlarına göre en uygun hızın hesaplandığı geriyayılımlı yapay sinir ağı tabanlı Uygun Hız Belirleme Algoritmasıdır. İkinci alt sistem ise, belirlenen uygun hızın kontrol edildiği, Bulanık mantık kontrolcü tabanlı Hız Kontrol Algoritmasıdır.

Tasarlanan sistemlerde kullanılan sensörler haricinde, tramvayın hızını doğrudan etki eden bazı değişkenler de bulunmaktadır. Bu değişkenlerin başında hava koşulları gelmektedir. Hava koşulları ile ilgili veri yapay sinir ağı algoritmasının bir girişi olup her tramvay turuna başlamadan önce vatman tarafından sisteme manuel olarak girilmektedir. Hava koşullarının haricinde, tramvay rotasında bulunan keskin dönemeçler, dar noktalar, trafik hız limitleri gibi etkenler de tramvayın hızını doğrudan etkileyen değişkenler olup bu değişkenlerle ilgili bazı hız sınırlamaları sisteme önceden girilmiştir. Bu sayede ÇES ve UHKÜ' nin daha etkin bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

ÇES ve UHKÜ birbirlerinden bağımsız fakat birbiriyle uyumlu çalışan iki sistemdir. Tramvay yolculuğu esnasında herhangi bir cisimle çarpışma ihtimali oluştuğunda, tramvay kontrol ünitesi UHKÜ' ni devre dışı bırakılmakta ve ÇES' i devreye almaktadır. ÇES, çarpışma ihtimalinin durumuna göre görüntülü, sesli veya manyetik fren sistemini devreye almaktadır. Eğer yolculuk esnasında herhangi bir çarpışma



ihtimali yoksa geri yayımlı yapay sinir ağıının belirlediği uygun hız bir bulanık mantık kontrolcünün gaz pedalını veya mekanik fren sistemini devreye alıp çıkarması vasıtasıyla hızı kontrol etmektedir. Hız kontrolü yapılması esnasındaki bütün hızlanma ve yavaşlamalar, yolcu konfor limiti olarak [68] ile belirlenen  $2 \text{ m/s}^2$  ivmesinin altında olacak şekilde tasarlanmıştır. Çarpışmayla oluşacak zararlar yolcu konforundan önemli olduğu için bu durum ÇES devreye girerken geçerli değildir. ÇES devreye girerken maksimum yavaşlama ivmesi İpekböceği tramvayı için  $2.8 \text{ m/s}^2$  olacak şekilde tasarlanmıştır.



## 2. MATERYAL

### 2.1. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS); bilgisayarları, çeşitli mikro denetleyicileri, haberleşme araçlarını ve otomasyon teknolojilerini kullanarak daha güvenli ve verimli bir ulaşım sağlamanın yanında, enerji tüketimini ve çevresel etkiyi azaltan sistemler olarak tanımlanabilir[69].

AUS' nin kapsamı hava, kara ve deniz sistemlerini de kapsayacak şekilde çok geniş alana yayılmasına rağmen, en yoğun örnekleri kara taşımacılığı sistemleri üzerinde görülmektedir. Dolayısıyla son yıllarda sıklıkla karşılaştığımız “Akıllı Araçlar” kavramı AUS' nin ayrılmaz bir parçasıdır. “Akıllı” terimi genel anlamda kullanılan bir tabir olup, bilgisayar veya mikro denetleyiciler gibi sistemler ile kurulan bir “karar” algoritmasının kullanılarak haricen araca müdahale edilmesini ifade etmektedir.

Teknolojinin ilerlemesi baş döndürücü bir hızda devam etmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak; elektronik, sensör teknolojileri, mikroişlemci, yazılım ve elektromekanik sistemler her geçen gün daha fazla kapasiteli ve daha küçük sistemler haline gelerek araçlarda önemli ölçüde otomatik işlevler gerçekleştirmektedir. Bu işlevlerden bazıları sürücüden tamamen bağımsız ve otomatik devreye girerken, bir kısmı ise sürücüye araç kullanımı esnasında destek veren sistem olarak kendini göstermektedir. Bu sistemlerde araç; sürücü, çevresel faktörler ve altyapıdaki donanımlarla etkileşime girmektedir. Akıllı araçların bu etkileşimleri sensörler vasıtasıyla algılama işlemleri ve çevresel sistemlerle yapılan bilgi alışverişi gibi etkenler sayesinde artırılır. Bunlar basit bilgi alışverişlerinden karmaşık özerk fonksiyonlara kadar geniş bir fonksiyon yelpazesini kapsar. Bu sistemlerden sürüş güvenliğini ve verimliliğini arttıran mevcut sistemlerin veya prototiplerin bazı örnekleri aşağıda verilmiştir.

Buzlu bir yol veya sis bölgesi için bir uyarı, sürücüye zamanında bilgi sağlayarak güvenlik arttırılabilmektedir [70]. Çevredeki bu olumsuz şartları algılamak için, çevreyi AUS ve araç iletişimine uygun altyapı ile uygun hale getirmek gerekir.

Başka bir örnek olarak, bir taşıt, tehlikeli durumu algılayabilir ve bir şerit içinde güvenli bir şekilde tanımlanmış seyrini korumak için frenlemeyi veya çekiş/denge kontrolünü artırarak otomatik olarak devreye girebilmektedir [71].

Radar, görüntü işleme veya başka bir yöntemeye dayalı bir çarpışma engelleme sistemi, sürücünün tehlikeli durumu fark etmemesi durumunda önlerindeki engelleri algılayarak otomatik olarak fren yapmakta ve olası bir çarpışmayı önleyebilmektedir [33]. Bunun yanında, aracın enerji tüketimi, arazi bilgisinin belirlenmesi veya akıllı seyrüsefer sistemi kullanılarak optimize edilmiş seyahat planlamasıyla geliştirilebilmektedir [35].

Daha gelişmiş bir örnek olarak, verilen bir başlangıç noktasından istenen varış noktasına, yolculuk esnasındaki bütün engellerden kaçınarak, trafik hız sınırlarına ve trafik kurallarına uyarak, sürücüsüz olarak yolculuk edilebilmesi verilebilir. Görüldüğü gibi akıllı araç kapsamı, araçların dinamiğinden alınan bilgi, iletişim, elektronik, otomasyon, insan faktörlerine kadar uzanan geniş ve çeşitli teknolojileri kapsamaktadır.

Örneklerden de anlaşılacağı üzere sistemlerin çok geniş bir alanda olması, akıllı araçların araştırma, geliştirme ve tasarımı, farklı disiplinlerin uzmanlık ve bilgisini gerektirir.

AUS kapsamında yapılan Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri Şekil 2.1.' de görüldüğü gibi 5 farklı alanda incelenebilir.



**Şekil 2.1.** Gelişmiş sürücü destek sistemleri çeşitleri

### 2.1.1. Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri

Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri (GSDS) son yıllarda çalışılan popüler konulardan birisi olup günümüzde çeşitli örnekleri görülmeye başlamıştır. GSDS sistemlerinde temel amaç; sürücüye, araba, yol veya herhangi bir potansiyel tehlike hakkında bilgi vererek veya acil durum frenleme gibi aktif bir yardım sağlayarak yardımcı olmaktır. Bu sistemlerle ilgili çeşitli ülkelerdeki üniversitelerde çok çeşitli projeler devam etmektedir. Yapılan çalışmalar sadece üniversitelerle sınırlı olmamakla birlikte, özellikle araç üretimi yapan ticari firmalar konu üzerinde önemli çalışmalar yapmaktadır [12]. Araç hareketleri göz önünde bulundurulursa bir otonom araç için GSDS; yanal hareket kontrolü, dikey hareket kontrolü (hız kontrolü için), geri vites veya akıllı park yardımı, çarpışma engelleme sistemleri ve akıllı hız adaptasyonu olmak üzere beş kategoriye ayrılabilir.

#### 2.1.1.1. Yanal Hareket Kontrolü

Yanal kontrol sistemleri aracın yanal hareketlerini izlemekte ve muhtemel çarpışmayı önlemek için harekete geçmektedir. Bu kontrol çeşidi için üç grup sistem geliştirilmektedir:

- Şerit tutma ve uyarı sistemleri aracın şeritte kalmasına yardımcı olmakta, uykulu veya dikkatsiz sürücülerin yol hatlarını geçmemelerini ve bir engele

çarpmamalarını sağlamaktadır. Şeritli uyarı sistemleri, şerit ihlali durumunda sürücüyü uyarmakta; şerit tutma sistemleri aracın yörüngesini düzeltmektedir. Genellikle yoldaki çizgileri tespit etmek için görüntü analizi kullanmaktadırlar.

- Kör nokta izleme sistemleri, sollama araçlarının varlığını algılamakta ve sürücüyü uyarmaktadır.
- Yan engel uyarı sistemleri, aracın kenarlarındaki engelleri tespit etmek için kameraları veya radarı kullanmaktadır.

#### **2.1.1.2. Uzunlamasına Hareket Kontrolü**

Genel olarak, uzunlamasına kontrol sistemleri aracın önündeki ve arkasındaki durumu izleyecek ve gerekirse gaz kelebeği ve frenler üzerinde kontrol işlemi gerçekleştirilecektir. Bu kontrol sistemi beş gruba ayrılabilir.

Adaptif Seyir Kontrolü (ACC) veya mesafe koruma sistemleri uzun bir süredir incelenmiştir ve Prometheus projesinde ilk kez tanıtılmıştır. Radyo Algılama ve Değişen (RADAR), Işık Algılama ve Değişen (LIDAR) vb. gibi bir algılayıcılar, ana taşıyıcı araca olan mesafeyi veya ilerideki engellere olan mesafeti ölçmektedir. Geleneksel hız kontrol sistemleri, gaz kelebeğini kontrol ederek sürücü tarafından ayarlanan hızı korurken, ACC'ler ayrıca bir engel algılandığında fren ve aracın diğer dinamik parametrelerini de yavaşlamaktadır.

İleri çarpışma uyarma ve kaçınma sistemi, aracın önünde bir engel tespit edildiğinde sürücüyü uyarmaktadır. Sürücü tepki vermiyorsa, frenleri devreye alarak sistemi kontrol etmektedir. Bu tarz sistemlerde en yoğun görülen örnekler, bilgisayarlı görüntü işleme ve radar verilerinin birleştirilmesi şeklindedir.

Son yılların popüler yöntemlerinden birisi ise özellikle yoğun şehir trafiği için tasarlanan "Stop and Go" sistemleridir. Bu sistemler aracın öndeki aracı takip ederek, sürücünün herhangi bir müdahalesine gerek kalmadan aracın düşük hızda durmasına

ve hareket etmesine izin verir. “Stop and Go” sistemler ACC ile benzer mimari üzerine inşa edilmiştir.

Yaya tespit sistemleri, yaya veya savunmasız bir nesne aracın yoluna girerse sürücüyü uyarmaktadır. Farklı teknolojiler kullanılarak yapılan yaya tespitinde en çok kullanılan iki yöntem lazer ve stereovizyondur.

### **2.1.1.3 Geri Hareket ve Park Yardım Kontrolü**

Geri vites ve park yardım sistemleri, örneğin manevra işlemleri için sürücüye düşük hızda yardım sağlamayı amaçlamaktadır.

- Geri vites yardımcıları, arkaya bakan bir kamera ve bir panele monte edilmiş bir ekrandan oluşur. Bu sayede sürücünün, aracın arkasında duran nesnelere daha iyi görmesi sağlanmıştır.
- Park yardımcıları, aracın tamponları ile bunlara yakın olan engeller arasındaki mesafeyi tahmin eder. Genellikle ultrasonik sensörler kullanılır.

### **2.1.1.4. Görüş Artırma Sistemleri**

Ortam aydınlatması ve hava koşulları, sürücünün yoldaki olası tehlikeleri tespit etme kabiliyetini ciddi olarak etkilemektedir. Cranfield Üniversitesi [72] dâhil olmak üzere otomotiv üreticileri ve araştırmacıları, genellikle kızılötesi görüntülere dayanlı gece görüş sistemleri geliştirmişlerdir. Görüş artırma sistemleri için iki teknik yaygın olarak kullanılmaktadır. Birincisi, yakın kızıl ötesi görüntülere dayanmaktadır ve kızılötesi ışık huzmesi ile yoldaki nesnelere aydınlatılmasını gerektirir. İşlemden sonra ortaya çıkan görüntü aydınlanmış nesnelere gösterir. İkinci teknik, çevrenin termal haritasını veren uzak kızılötesi video görüntülerine dayanmaktadır. Herhangi bir ışık kaynağı gerektirmez. Yayalar, hayvanlar ve çalışan araç normal ortamdan daha sıcaktır ve bu nedenle görüntüde daha belirgindir. Dolayısıyla her iki teknik birleştirilebilir ve sonuçta bir ekran veya bir konsol üzerindeki monitör ile sürücüye sunulabilmektedir.

### **2.1.1.5. Akıllı Hız Adaptasyonu**

Akıllı hız adaptasyon sistemi, aracın hızını tanımlı hız sınırın altında tutmayı amaçlamaktadır. Yerel hız sınırını sağlamak için bir navigasyon sistemine veya bir iletişim sistemine güvenir. Belirenen hız sınırına ulaşıldığında ekran, ses veya daha sert bir gaz pedalı aracılığıyla sürücüye bildirilmektedir.

### **2.2. T1 Tramvay Hattı**

Bursa ili şehir merkezinde bulunan T1 Tramvay hattı, havai hat (katener) ile beslenen, 6 km uzunluğa ve 1435 mm hat ray açıklığına sahip bir hattır. T1 tramvay hattı, “Kent Meydanı” ve tarihi “Ulu Camii” gibi şehrin en yoğun yerlerindeki trafiği olumlu anlamda rahatlatacak şekilde bir yerleşkeye sahiptir. Yapımına 2012 yılında başlanan T1 tramvay hattında, Durmazlar Makine tarafından üretimi yapılan İpekböceği tramvayları kullanılmaktadır.

Şekil 2.2.’ de görüldüğü gibi T1 tramvay hattı üzerinde toplam 14 adet durak bulunmaktadır. Tramvay, her bir tur esnasında bu duraklarda duracağından, duraklardaki hızı sıfır olmaktadır. Bu yüzden, tasarlanan öğrenme algoritması geliştirilirken belirlenen hızlar, toplamda 13 adet aralık için ayrı ayrı işlem yapılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.2. Bursa ili T1 Tramvay hattı bilgisi

Tasarlanan sistem iki temel sensörden oluşmuştur ve bu sensörler vasıtasıyla hat üzerindeki eğim, konum, nesne bilgisi, vb. bilgiler elde edilebilmektedir. Fakat sensörlerin ölçemediği ve sistemin hız bilgisini doğrudan etkileyecek bazı değişkenler de bulunmaktadır. Bu değişkenler; keskin dönemeçler, dar bölgeler ve trafik hız limitleridir. Bu değişkenler ile ilgili veriler, tasarlanan algoritma içerisine konum bilgisiyle ilişkilendirilerek ön veri olarak yüklenmiştir.

Şekil 2.2. de görüldüğü üzere, hat üzerinde A, B, C, D ve E ile gösterilmiş olan toplam 5 adet keskin dönemeç mevcuttur. Keskin dönemeçler sadece hızın düşeceği yerler değil aynı zamanda lazer tarayıcı sensörün etkinliğinin de azaldığı bölgelerdir. Güvenli bir şekilde bu dönemeçlerden geçmek için hızın 28 km/s den az olması gerekmektedir. Bu hız değeri sistem üzerine eklenmiş, E noktası ile gösterilen keskin dönemeçin hemen öncesinde bir durak olduğu için bu bölge için bir hız limiti girilmemiştir.



Keskin dönemeçlerin haricinde, sensörler aracılığıyla ölçülemeyen bir diğer değişken de dar bölgelerdir. Dar bölgeler, çevresel sebeplerden dolayı tramvay rotası üzerinde bulunan daralmış ve güvenlik için hızın azaltılmasının gerektiği bölgelerdir. T1 tramvay hattı üzerinde daralmış ve güvenlik zafiyeti oluşturabilecek 3 adet bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler Şekil 2.2.' de görülmekte olup, bu kısımlarda hızın 6 km/s den fazla olmaması gereklidir.

Sensörler tarafından ölçülemeyen bir diğer değişken ise trafik hız limitleridir. İpekböceği isimli tramvay için maksimum hız 50 km/s' dir. Diğer araçların hızları düşünüldüğünde bu hız çok yüksek olmamakla beraber tramvaylar, "Karayolları Trafik Kanununun" ilgili maddesine göre trafikte çeşitli önceliklere sahiptir [73]. Şehir yerleşkesi içerisinde okul geçitleri, çarşı merkezi gibi insan yoğunluğunun olduğu bölgelerde trafik levhalarıyla hız sınırlandırılmıştır. T1 tramvay hattı üzerinde 2 bölge boyunca bu hız limitleri bulunmaktadır. Şekil 2.2.' de görülmekte olan bu bölgelerde tramvay için maksimum hız 30 km/s değerinin üzerinde olmamalıdır.

Tramvay hattının anlık eğimi GPS destekli AHRS sensörü içerisinde bulunan jiroskop vasıtasıyla ölçülebilen bir değerdir. Sürüş esnasında eğim bilgisi YSA algoritmasının bir girişi olarak kullanılmakta ve en uygun hız hesaplanırken bu eğim göz önüne alınmaktadır. Fakat eğimin belirli bir değerin üzerine çıktığı veya belirli bir değerin altına indiği durumlarda tramvayların patinaj yapması veya fren mesafesinin uzaması gibi durumlar söz konusu olmaktadır. Bu eğim değeri  $\pm\%7$  derece olup, Şekil 2.2.' de görüldüğü gibi T1 tramvay hattı üzerinde iki bölgede bu değerin üzerindedir. Bu bölgelerde hız 25 km/s değerinden fazla olmamalıdır.

### **2.3. Sensör Teknolojileri**

Bu çalışmada, Şekil 2.3.' de görüldüğü gibi tasarlanan otonom tramvayın temelini lazer tarayıcı sensor ve GPS destekli AHRS sensörü oluşturmaktadır. Lazer tarayıcı sensor olarak, özellikle otonom araç teknolojilerinde sıklıkla kullanılan Sick LD-MRS marka sensor kullanılmıştır. GPS destekli AHRS olarak ise LANDMARK 50 GPS/AHRS marka sensor kullanılmıştır.

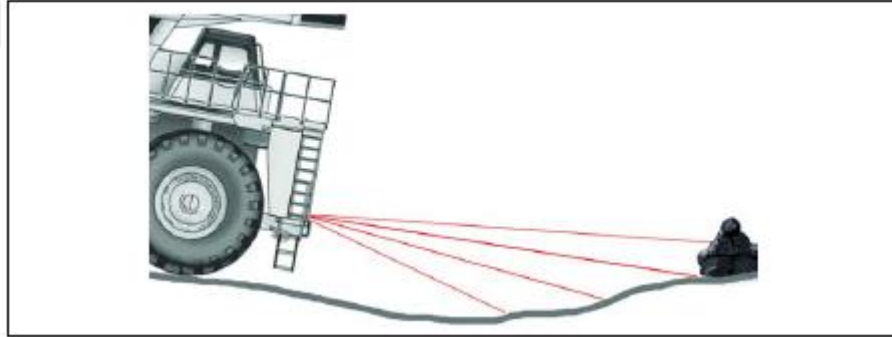


Şekil 2.4' de 1 numara algılanan nesneyi, 2 numara lazer tarayıcıdan gönderilen lazer darbesini, 3 numara nesneden yansıyan lazer darbesini ve 4 numara ise LD-MRS lazer tarayıcıyı göstermektedir. Eğer lazer ışınının uçuş süresi t ise nesnenin uzaklığı d Eşitlik 2.1' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$d = \frac{c.t}{2} \quad (2.1)$$

Burada t zaman, d nesnenin uzaklığı ve c ise ışık hızıdır.

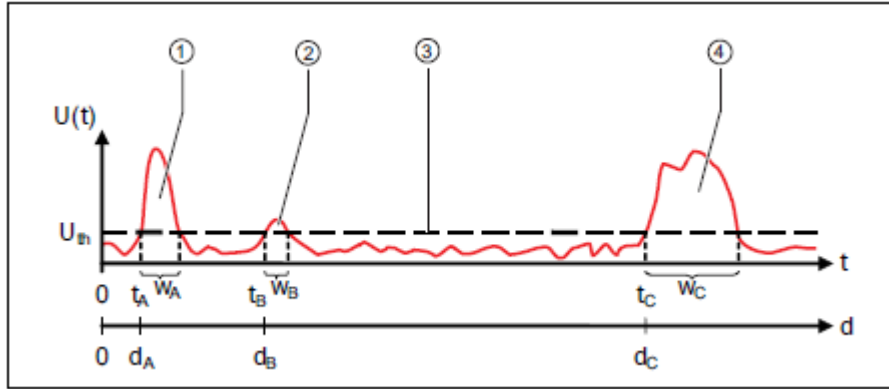
LD-MRS 4 katmanı eş zamanlı olarak taramakta ve değerlendirmektedir. Çok katman teknolojisi, Şekil 2.5.' de görüldüğü gibi farklı dikey açılara sahip dört tarama düzlemi sayesinde eğim açısının telafi edilmesine olanak tanımaktadır. Bu özelliği sayesinde sensör; araç hızlanırken, yavaşlarken ve eğimli ortamlarda ilerlerken bütün nesnelere algılayabilmektedir.



**Şekil 2.5.** Lazer tarayıcı çoklu katman taraması

LD-MRS çoklu eko özelliğine de sahip olduğu için, Şekil 2.6.' da görüldüğü gibi, sensör her bir iletilmiş lazer darbesinde, 3 adet eko sinyalinin bir araya getirilerek değerlendirme kapasitesine sahip olmaktadır. Bir yağmur damlasının çok kısa bir zaman boyunca sebep olduğu düşük bir gerilim ile bir nesnenin sebep olduğu gerilim değerlendirilmekte ve birbirinden ayırt edilmektedir. Bu özellik sayesinde özellikle

yağmurlu hava koşullarında yanlış nesne algılama gibi durumun önüne geçilmektedir.



**Şekil 2.6.** Çoklu eko tanıma

Şekil 2.6 üzerindeki 1 numaralı eko cam bölmesini, 2 numaralı eko bir yağmur damlasını, 3 numara lazer tarayıcı için seçilen eşik voltajını ve 4 numaralı eko ise gerçek bir nesneyi, t zamanı, d ise nesnelerin mesafelerini göstermektedir.

LD-MRS 110° tarama açısında sahip olduğu için İpekböceği tramvayının ön kısmına yerleştirildiğinde tramvay hattı üzerindeki 128 m uzaklıktaki nesnelere dahi  $\pm 5$  cm hassasiyetle belirleyebilmektedir.

### 2.3.2. GPS Destekli AHRS

Bu çalışmada, tramvay hattı üzerinden üç eksendeki eğim (yaw-pitch-roll), yükseklik ve konum bilgileri GPS destekli AHRS sensör ile elde edilmiştir. Seçilecek sensör tramvay üzerine monte edileceğinden, yüksek miktarda titreşime uzun süreler maruz kalacağı için havacılık sektöründe ve özellikle de raylı sistemlerde yoğunlukla kullanılan Landmark 50 GPS/AHRS seçilmiştir.

Bu sensör yüksek performanslı MEMS (Micro Electromechanical Systems) teknolojisiyle üretilmiştir. İçerisinde ultra-düşük gürültülü MEMS jiroskopları

( $0.0009^{\circ}/\text{sec}\sqrt{\text{Hz}}$ ) ve ivmeölçerleri ( $0.02\text{mg}/\sqrt{\text{Hz}}$ ) kullanan açık döngülü FOG (Fiber Optik Gyro) özelliği bulunan G150Z gyro kullanılmıştır. Landmark AHRS, hassas ön gerilim ve modellenmiş g duyarlılığı yanında, hem darbeye hem de titreşime karşı sağlam dayanıklılık ve sıcaklık üzerinde ölçek faktörü ile  $1^{\circ}/\text{saat}$ ' lik çalışma hassasiyetine sahiptir.

Şekil 2.7.' de görülen Landmark AHRS, vatman koltuğunun hemen altına yerleştirilerek kontrol paneline yakın bir şekilde konumlandırılmıştır. Ayrıca bu konum, GPS anteni için aracın en uygun yeri olan ön paneline de yakındır. Deneme sürüşlerinde Landmark AHRS den bütün veriler alınmış olsa da, hız kontrolü için gerekli algoritmada kullanılan veriler; 3- eksendeki eğim, 3- eksendeki ivme ve anlık konum değerleridir.

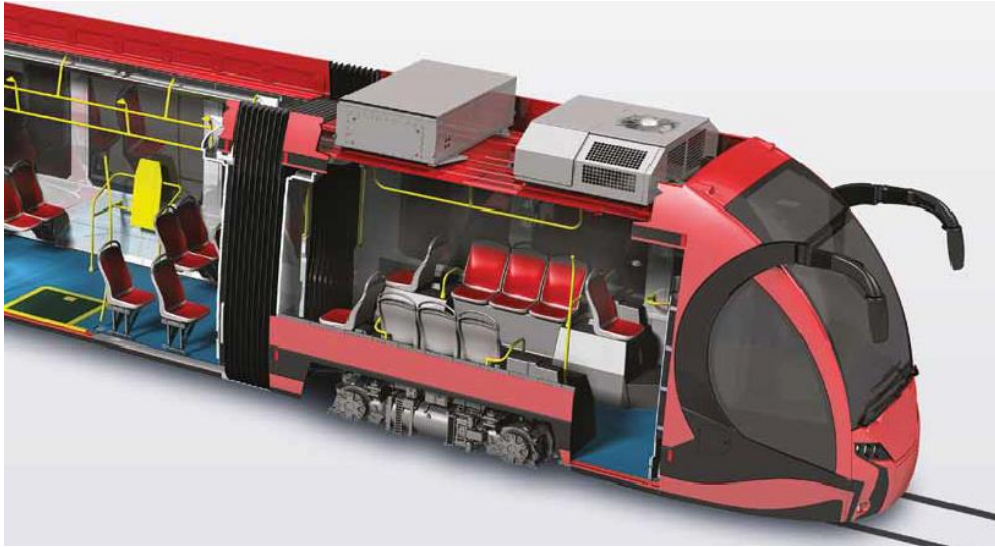


Şekil 2.7. LDMRK 50 marka GPS destekli AHRS

## 2.4. Test Aracı: İpekböceği

Durmazlar Makine A.Ş. tarafından tamamen yerli kaynaklarla üretilen “İpekböceği” tramvayı, Uluslararası Demiryolu Standartlarına uygunluğu onaylanmış ilk yerli tramvaydır. Güvenlik ve konfor başta olmak üzere, düşük enerji tüketimi, düşük gürültü seviyesi ve son teknoloji ürünü bir tasarıma sahiptir. Şekil 2.8.’ de genel bir kesiti görülen İpekböceği’ nin araç kaporta ve ön tampon tasarımları EN15227 standardına göre tasarlanmış olup, çarpışma anında oluşacak enerjinin araç gövdesi tarafından emilerek araçtaki yolculara zarar vermemesi veya zararın en aza indirilmesi sağlanmıştır [74]. Üretim esnasında kullanılan malzemelerin %95’ i geri dönüşümü olan malzemelerden kullanılmıştır.

İpekböceğinde iki farklı fren sistemi bulunmaktadır. Bu fren sistemlerinden ilki “Mekanik Fren Sistemi” olup hidrolik sistem vasıtasıyla aktif olan bir disk ile çalışmaktadır. İkinci fren sistemi ise “Manyetik Ray Fren Sistemi” dir. Bu fren sistemi acil durumlar söz konusu olduğunda devreye girmektedir. İki fren sistemi de herhangi bir acil durumda tramvayı en kısa mesafede durduracak şekilde ve araç içindikilerin konforu [68] düşünülerek tasarlanmıştır. Aralardaki fark ikinci sistemin ivme değeri birincisine oranla biraz daha fazla olmasıdır.



Şekil 2.8. Çalışmalarda kullanılan İpekböceği tramvayının kesit resmi

## 2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA)

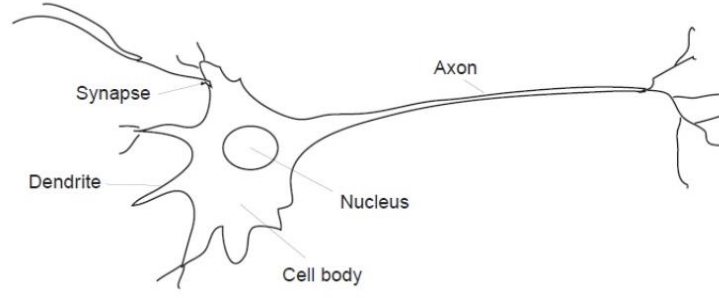
Yapay zekâ; bir bilgisayarın, insan zekâsıyla yapılabilen akıl yürütme, öğrenme ve kendini geliştirme gibi işlevleri yerine getirme yeteneği olarak tanımlanabilir. Yapay zeka; model tanıma, robotik, proses kontrol yöntemleri, makine öğrenimi, uzman sistemler, bilişsel öğrenme, yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritmalar gibi alanlara ayrılmıştır [75].

Temel hedefleri, gerçek bir canlı sisteminin iç mekanizmalarını anlama, davranışını öngörme ve açıklamaya çalışmak olan yapay zekâ yöntemlerinden öne çıkan alanlardan birisi Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemidir. Kompleks problemlerin modellenmesi amacıyla mühendislikten tıp alanına, işletme uygulamalarından, ekonomi, istatistik ve ekonometriye kadar çok geniş ve farklı disiplinlerde kullanılmaktadır [76-79]. YSA, verilerin paralel olarak işlenmesini sağlayan yapay nöronlar veya düğümler olarak adlandırılan bağlantılı basit işlem elementlerinden oluşmaktadır [80-81]. YSA' ları öne çıkaran en önemli özellikleri; doğrusal olmayan, yüksek düzeyde paralellik, sağlamlık, öğrenme, kesin olmayan ve yeterince açık olmayan bilgileri yönetme kabiliyeti ve genelleme yeteneğidir [82].

### 2.5.1. Sinir Ağlarının Mimarisi

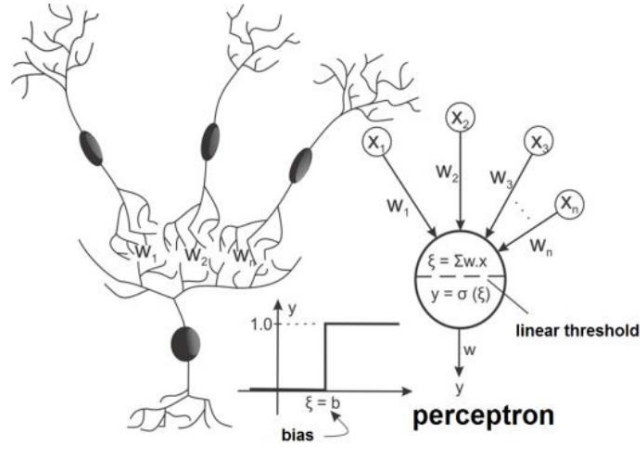
YSA, insan beyin yapısından, özellikle de biyolojik sınırlardan esinlenmiştir ve bu sınırların çalışmasını simüle etmeye çalışır [83]. Her ne kadar günümüz bilgisayar teknolojisi çok gelişmiş olsa da biyolojik ağların karmaşıklığı ve operasyon kapasitelerinden dolayı YSA, hala biyolojik ağların çok gerisindedir [84].

İnsan beyni, nöron adı verilen çok sayıda hücreden oluşmaktadır. Beyni oluşturan bu nöronlar birbiriyle bağlantılıdır. Bilgi veya sinyaller dendritler aracılığıyla bir nörona; akson olarak adlandırılan nöronlar arası bağlantılar aracılığıyla da diğer nöronlara aktarılır. Biyolojik bir nöron Şekil 2.9.' de görüldüğü gibidir. Gelen sinyallerin birleşik değeri bir eşik değerini aştığında, diğer sinir hücrelerine bir sinyal gönderilmektedir.



**Şekil 2.9.** Biyolojik sinir hücresi.

Temel olarak, YSA yapısı, Şekil 2.10.' de gösterildiği gibi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katman oluşmakta ve her katmanda nöronlar bulunmaktadır. Bazı ağlar, işlemin çeşidine bağlı olarak birden fazla gizli katmana sahip olabilir.



**Şekil 2.10.** Biyolojik sinir ağı ve Yapay sinir ağı.

Yapay ve biyolojik nöronlar arasındaki benzerlik, düğümler arasındaki bağlantıların aksonları ve dendritleri temsil ettiği, ağırlıkların sinapsları temsil ettiği ve eşğin vücuttaki bir aktiviteyi temsil etmesi şeklinde tabir edilebilir [85]. Beyindeki nöronlar birbirleriyle karmaşık bağlantılar üzerinden bilgi göndererek birbirleriyle iletişim



kurmaktadır. YSA ise birbirleriyle ağırlık bağlantılarını kullanarak aynı iletişimi simüle etmeye çalışmaktadır. Ağırlıklar negatif veya pozitif olabilir. Pozitif ağırlıklar, nöronun uyarımda olduğu, negatif ağırlıkların ise nöronda olduğu anlamına gelir. Şekil 2.10.' de girişler  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , gizli katman nöronuna ağırlıklar  $(w_1, w_2, \dots, w_n)$  ile bağlanmıştır. Her nöron, ilişkili ağırlık katsayıları ile çarpılmış girişlerin toplamını alır. Bu anda çıkış, lineer olmayan bir son çıktıya  $(y_i)$  aktarılmadan önce bir aktivasyon fonksiyonuna  $(f(net))$  aktarılmalıdır.

Frank Rosenblatt, problemleri çözmek için yapay nöron ve perceptron algoritması mekanizmalarını ilk defa kullanmıştır [86]. Yapay sinir nöronu, girdi verilerini çevreden almakta ve bunları net bir giriş oluşturmak için özel bir şekilde birleştirmektedir ( $\zeta$ ). Bundan sonra, veriler doğrusal eşikten geçmekte ve elde edilen sinyal (çıkış,  $y$ ) komşu nöron veya ortama aktarılmaktadır. Ağın girişleri, nörondan ve bunların kuvvetlerinden ( $w$ ) bağımsız olarak, giriş sinyallerinin ( $x$ ) bir skalar ürünü olarak hesaplanmaktadır. N sinyalleri için nöral perseptronun çalışması Eşitlik 2.2' deki gibi ifade edilmektedir:

$$y = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^n w_i x_i \geq b \\ 0, & \sum_{i=1}^n w_i x_i < b \end{cases} \quad (2.2)$$

Yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonu, ayırt edilebilir özellikleri nedeniyle sigmoid fonksiyonudur [87].

### 2.5.2. Sinir Ağlarının Temel Bileşenleri

Bu bölümde basit bir sinir ağı algoritmasının bileşenlerinden bahsedilecektir. Bu bileşenle; Katmanlar, Ağırlıklar, Transfer fonksiyonu ve Aktivasyon fonksiyonudur.

### 2.5.2.1. Katmanlar

Sinir ağlarının çoğu Giriş katmanı, Gizli katman ve Çıkış katmanı olmak üzere üç temel katmana sahiptir. Giriş katmanındaki giriş birimi sayısı, sistem için belirlenen giriş sayısıdır. Gizli katmandaki nöron sayısı ise kullanıcı tarafından belirlenen ve denemeler sonucu en iyi sonucun çıktığı duruma göre belirlenen bir parametredir. Çıkış katmanındaki çıkış birimi sayısı ise sistem için belirlenen çıkış kümesine bağlıdır [88].

- Giriş Katmanı

Giriş katmanı, eleman sayısını sistemin giriş sayısından alan ve girişlerdeki değerlere herhangi bir işlem yapmadan gizli katmana ileten birimdir.

- Gizli Katman

Giriş katmanlarından alınan giriş bilgilerini işlemek için gerekli katmana gizli katman denilmektedir. Gizli katman sayısı ve her gizli katmandaki nöron sayısı kullanıcı deneyimine kalmış bir parametredir. İşlemler yapılırken genellikle ilk başta bir tane gizli katman seçilerek işleme başlanmakta, eğer ağ yetersiz kalıyorsa katman sayısı artırılarak en uygun katman sayısı bulunmaya çalışılmaktadır [89].

- Çıkış Katmanı

Ağın, girişler ve gizli katman içerisindeki ağırlıklara göre sisteme verdiği çıkışı gösteren katmandır.

### 2.5.2.2. Ağırlıklar

Düğümmler arasındaki her bağlantının ilişkisine (katsayısına) “ağırlık” denilmektedir. YSA’ nın ilk çalışması esnasında, bu ağırlıklar rastgele olarak sıfır ile bir arasında değerler olarak atanır. YSA eğitilirken bu değerler ayarlanmakta ve en etkin değerler ortaya çıkmaktadır.

### 2.5.2.3. Transfer Fonksiyonu

Bir sinir ağının davranışı, hem ağırlıklar hem de katmanlar için belirtilen transfer fonksiyonuna bağlıdır. Sinir ağları için ağırlıklı çarpma, maksimum, minimum ve kümülatif toplama gibi çeşitli transfer fonksiyonları olsa da en yaygın kullanılan transfer fonksiyonu “ağırlıklı toplam” fonksiyonudur. Ağırlıklı toplam fonksiyonu için eşitlik Eşitlik 2.3’ de verilmiştir:

$$net\_input_j = \sum_i w_{ij} x_{ij} \quad (2.3)$$

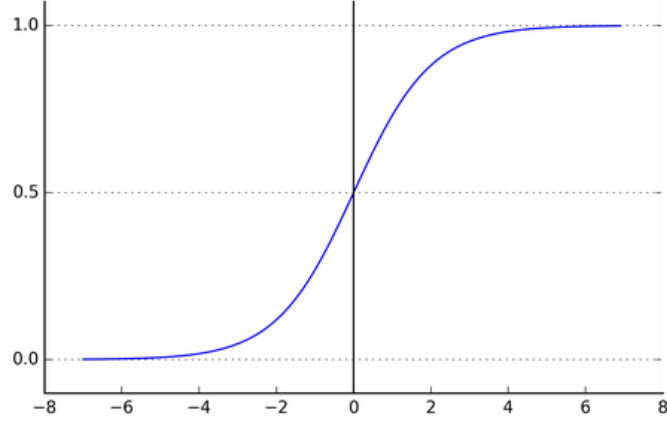
Bu eşitlikteki  $net\_input$  transfer fonksiyonunun değerini,  $w$  ağırlık katmanındaki bir düğümün ağırlık değerini ve  $x$  ise giriş katmanındaki giriş değerini göstermektedir.

### 2.5.2.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu, bir düğümün ve bir ağın girişleri ile çıkışları arasındaki ilişkiyi belirleyen fonksiyondur. Genel olarak, ağa doğrusal olmayan bir özellik kazandırmaktadır. Teoride, herhangi bir fonksiyon aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılabilir gibi görünse de pratikte sadece az sayıda fonksiyon kullanılabilir. Bunlar; sigmoid fonksiyonu, hiperbolik teğet fonksiyonu, sinüs veya kosinüs fonksiyonu ve lineer fonksiyonudur. Bu fonksiyonlar arasında sigmoid aktivasyon fonksiyonu en popüler olanıdır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun eşitliği Eşitlik 2.4’ de görüldüğü gibidir:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4’ den de çıkarılacağı üzere sigmoid aktivasyon fonksiyonu 0 ile 1 arasında sınırlanmış bir çıkış üretmektedir. Bu fonksiyonunun grafiği Şekil 2.11.’ de görüldüğü gibi elde edilmektedir.



**Şekil 2.11.** Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

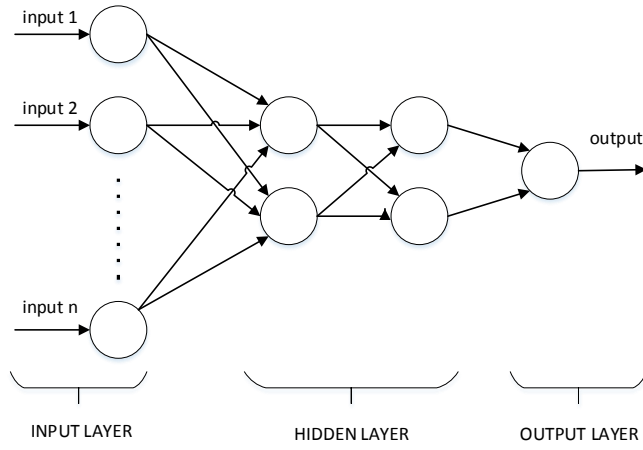
Bununla birlikte, aktivasyon fonksiyonunun kullanımının belirlenmesinde herhangi bir kısıtlama veya fikir birliği yoktur. Zhang ve arkadaşları [90], lojistik aktivasyon fonksiyonunun hedef değerlerin çoğunlukla ikili olduğu birçok sınıflandırma problemi olduğundan çıkış düğümleri için çok uygun görüldüğünü belirtmektedir.

### **2.5.3. YSA Çeşitleri**

Sinir ağı katmanları arasındaki farklı bağlantı türleri, sinir ağının farklı davranışlarına neden olmaktadır. Yapay sinir ağlarında çoğunlukla iki mimari tipi kullanılmaktadır. Bunlar ileri beslemeli ve geri beslemeli mimarilerdir.

#### **2.5.3.1. İleri Beslemeli YSA**

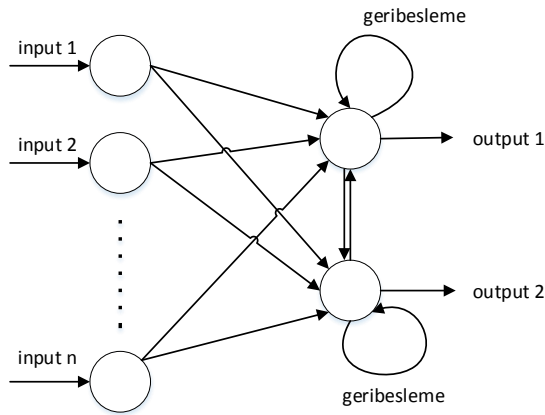
Çıkışları ile girişleri arasında bir döngüye sahip olmayan sinir ağlarına ileri besleme sinir ağları denilmektedir. Bu tarz ağda, sistem önceki durumlarından bağımsız olarak, sadece mevcut akım girişlerine bağlı olarak girişler ve çıkışlar arasında bir haritalama gerçekleştirilmektedir [91]. İleri beslemeli bir sinir ağı Şekil 2.12.' de gösterilmektedir.



**Şekil 2.12.** İleri Beslemeli Sinir Ağı.

### 2.5.3.2. Tekrarlayan Geri Beslemeli Sinir Ağları

Tekrarlayan sinir ağları temel olarak ileri beslemeli mimarilerden farklıdır. Geri besleme bağlantıları nedeniyle, girişleri değiştirerek ağ yeni bir duruma girmektedir. Şekil 2.13.' de gösterilen bağlantılar, ağ döngülerine göre her iki yönde de hareket edebilmektedir.



**Şekil 2.13.** Tekrarlamalı Geri Beslemeli Sinir Ağı.

## 2.6. Bulanık Mantık Kontrol

Endüstriyel ortamlarda anahtarlama elemanı olarak kullanılan rölelin bulunmasıyla yeni bir dönem başlamıştır. Boolean matematiği mantığıyla çalışan röle, enerjilendiğinde kontakları konum değiştirirken, enerjisi kesilince de kontakları tekrar eski konumuna dönmektedir. Rölenin bu özelliği kullanılarak özellikle "sıralı mantık" sistemlerin adım adım ilerlemesi kolayca yapılmış ve endüstride ki sistemler kolay bir şekilde çalıştırılması başarılmıştır. Bir çok çeşit kumanda sistemine çözüm sunan bu teknik 1 ve 0 ların olmadığı, ara değerlerin olduğu durumlarda herhangi bir çözüm sunamamaktadır. İşte tam bu durumda devreye bulanık mantık girmektedir. Bulanık mantık, modern kontrolün dayandığı her zamanki "doğru veya yanlış" (1 veya 0) Boolean mantığı yerine "doğruluk derecelerine" dayalı bir hesaplama yaklaşımıdır ve ilk olarak 1965 yılında Azeri asıllı Lütfi Askerzade tarafından bulunmuştur [92].

Bulanık mantık, dilsel değişkenler yardımıyla 1 ve 0 gibi değerlerin aralarında bulunan değerleri günlük hayatımızda kullandığımız kelimeler yardımıyla işleyerek insan hareketlerine en yakın doğrulukta hareketi sağlamaktadır. Günümüzde bulanık mantık denetleyici, çamaşır makinesi/ bulaşık makinesi gibi elektrikli ev aletlerinden endüstriyel sistemlerin kontrolüne, gündelik kullandığımız iş makinelerinden fabrika otomasyon sistemlerine kadar çok geniş bir yelpazede uygulama alanına sahiptir [93]. Bulanık mantık uygulanarak yapılan ilk sistem olarak H. Mamdani tarafından yapılan buhar makinesi sayılabilir. İlk ticari uygulaması için ise F.L. Smidth tarafından Danimarka'da bir çimento fabrikasının fırınının kontrol edilmesi sayılabilir. Bu uygulamalardan sonra özellikle uzakdoğu ülkelerinde yoğun bulanık mantık uygulamaları görülmüştür. Bunlardan en göze çarpan örnek ise Sendai Metro'sunda gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık uygulanarak trenin istenen konumda durması üç kat daha iyileştirilmiş, kullanılan enerji ise %10 azaltılmıştır. Metro sistemindeki bu önemli başarıdan sonra aynı sistem benzer metro sistemlerine uygulanmıştır. Özellikle Yamaichi Securities firması tarafından geliştirilen bulanık mantık tabanlı bir sistemin, 1988 yılındaki Tokyo Borsası'nda krizi yaklaşık olarak üç hafta önceden haber vermesi ise uluslararası camiada bulanık mantığın popülerliğini artırmıştır. 1989 yılında uluslararası 51 firma tarafından bir çalışma ortamı oluşturabilmek amacıyla LIFE ( Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering) laboratuvarı kurulmuştur.

### 2.6.1. Bulanık Küme Teorisi

Klasik küme teorisi, bireyin üyesi olduğu ya da üyesi olmadığı bir “küme” kavramı üzerine kuruludur. Yani, X evrensel kümesinin bir alt kümesi olarak tanımlanan A kümesinin üyelik fonksiyonu  $\mu_A(x)$ , Eşitlik 2.5’ deki gibi tanımlanabilir;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.5)$$

Burada, herhangi bir tanımlanmış kümenin üyesi ile üyesi olmayan eleman arasında keskin ve net bir ayrım bulunmaktadır. Yani bir elemanın kümeye ait olup olmadığını belirten çok kesin ve açık bir sınır vardır. Örneğin, “Bu eleman kümenin bir üyesi midir?” sorusu sorulduğunda, cevap “evet” veya “hayır” dır. Bu hem deterministik hem de stokastik durumlar için geçerlidir. Oysa olasılık ve istatistikte, “Bu elemanın bu kümenin bir üyesi olma ihtimali nedir?” gibi sorular sorulabilir. Bu durumda, bu soruya gelecek cevaplardan birisi şöyle olabilir: “Bu elemanın, bu gruba üye olması olasılığı % 90’dır”. Böyle bir durumda da yine sonuç hala “bu grubun bir üyesi” veya “bu grubun bir üyesi değil” şeklindedir fakat kümenin bir üyesi olarak doğru bir öngöründe bulunma şansı % 90’dır. Bu durum kümenin % 90’ına sahip olduğu veya % 10’a sahip olduğu anlamına gelmez. Yani, klasik küme teorisinde, bir elemanın kümede olmasına ve aynı zamanda kümede olmamasına izin verilmez. Bu nedenle, günlük hayatta karşımıza çıkan birçok problem, klasik küme teorisi tarafından tarif edilemez ve işlenemez.

Bu durumun aksine bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin dayandığı "üye veya üye değil" (1 veya 0) boolean mantığı yerine "doğruluk derecelerine" dayalı bir hesaplama yaklaşımıdır. Yani bulanık küme, gerçek aralıklarda değerlendirilmiş bir üyeliğe sahiptir. “A” kümesi bulanık bir kümeyi, “X” ise bir bulanık alt kümeyi göstermek üzere, Eşitlik 2.16 yazılabilir,

$$A = \sum_{i=1}^m \mu_A(x_i) / x_i + \dots + \mu_A(x_m) / x_m \quad (2.16)$$

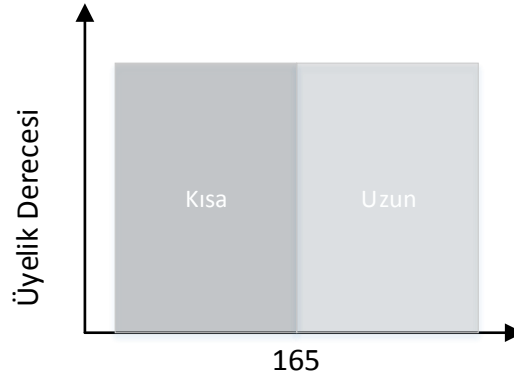
Burada  $\mu_A(x)$  üyelik fonksiyonudur. Burada “X” sonlu bir eleman değilse, bulanık “A” kümesi Eşitlik 2.17’deki gibi tanımlanır:

$$A = \int_x \mu_A(x) / x \quad (2.7)$$

“Uzun” boylu ve “Kısa” boylu insanlar üzerinden bu duruma bir örnek verilecek olursa; klasik küme teorisine göre Eşitlik 2.8 yazabilir;

$$\mu_{kisa}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq 165 \\ 0 & \text{if } x > 165 \end{cases} \quad (2.8)$$

Burada verilen 165 cm sınır değeri keyfi bir değerdir. Yani 165 cm hangi evrensel küme için sınır bir değerdir? sorusu sorulabilir. Eğer evrensel kümeyi Türkiye Basketbol Ligi oyuncularının boyları olarak alacak olursak durum tamamen değişecektir. Ayrıca bu sınır değerinden bağımsız olarak, klasik mantık ara değerleri yorumlayamaz. Bu durumda, boy kategorisi için üyelik fonksiyonunun bir grafiği çizilecek olursa Şekil 3.16.’daki gibi bir durum elde edilecektir.



**Şekil 2.14.** Klasik küme teorisine göre sınıflandırma

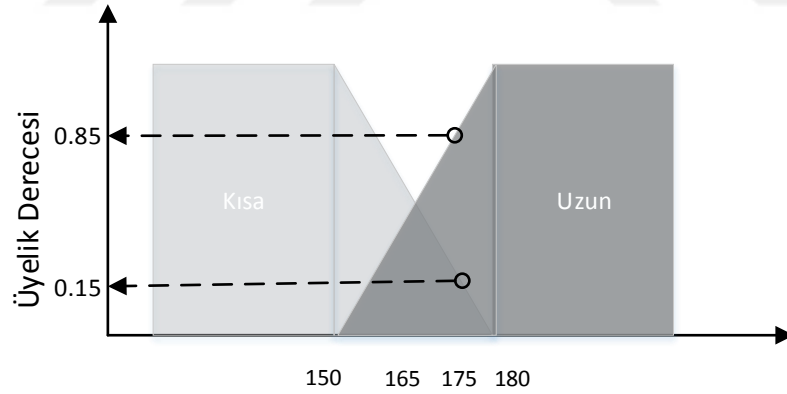


Şekil 2.14.' da görüleceği üzere, 164 cm boya sahip olan bir kişi kısa boylu olarak değerlendirilirken, 165 cm boya sahip olan bir kişi uzun boylu olarak değerlendirilecektir.

Aynı işlem, bulanık küme teorisine göre tanımlanacak olursa, keskin ve net üyelik fonksiyonları problemi, üyelik dereceleri tanımlanarak kolayca çözülebilmektedir. Üyelik derecelerinin olası bir tanımı “Kısa” insanlar için Eşitlik 2.9’ daki gibi yazılabilmektedir:

$$\mu_{kisa}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq 150 \\ \frac{180-x}{30} & \text{if } 150 < x < 180 \\ 0 & \text{if } x \geq 180 \end{cases} \quad (2.9)$$

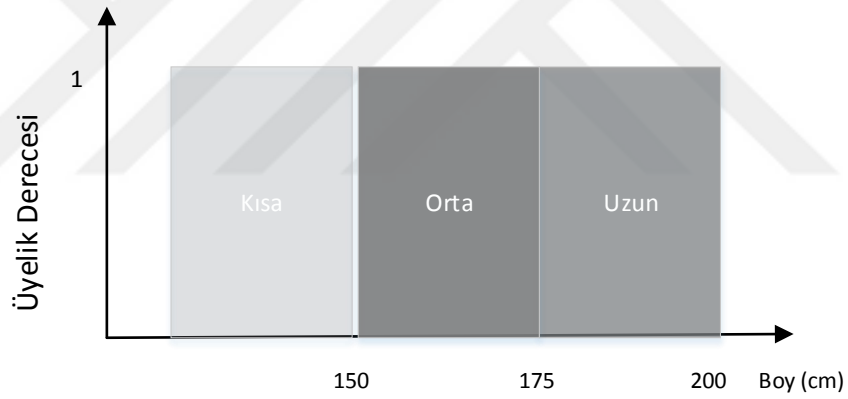
Eşitlik 2.9. ile verilen bulanık küme işlemi üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi Şekil 2.15.’ de gösterildiği gibi olacaktır.



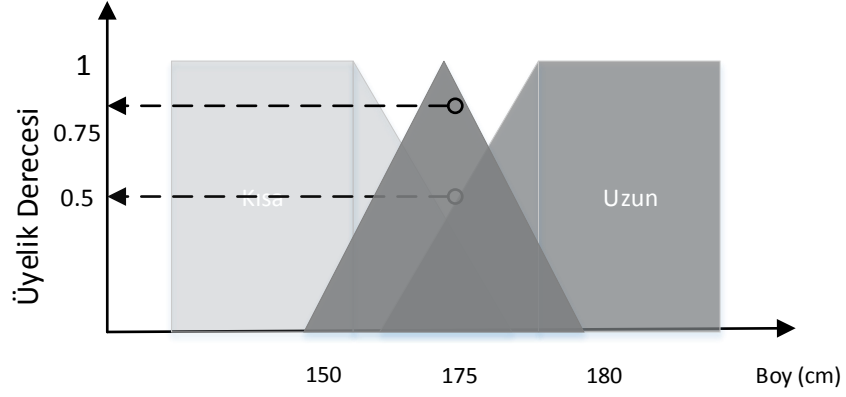
**Şekil 2.15.** Bulanık küme teorisine göre sınıflandırma

Boyu 175 cm olan bir kişi ele alınacak olursa; klasik küme teorisine göre, kişi “Uzun” bir bireydir. Ancak, bunun gerçekten doğru olamayacağı bilinmektedir. Şekil 2.15.’ de gösterilen bulanık üyelik fonksiyonlarına göre, 175 cm boyundaki bir kişi % 15 “Kısa” ve % 85 “Uzun” kabul edilir ve bu da makul bir sonuçtur.

Bulanık işlemleri yaparken “Uzun” ve “Kısa” arasında başka bir ara değer tanımlamak, insanların boylarının daha iyi sınıflandırılmasına yardımcı olabilir. Klasik mantık için, Şekil 2.16.'daki grafik, üç etiketden oluştuğu düşünülebilir. Aynı sınıflandırma, Şekil 2.17' de gösterilen bulanık mantığa dayalı üyelik fonksiyonları için gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde, 160 cm ve 170 cm boyundaki kişiler, “Orta” ve “Uzun” olmak üzere iki üyelik fonksiyonuna da dâhildir. Benzer şekilde, 155 ve 180 cm boylu kişiler ise “Orta” ve “Uzun” üyelik fonksiyonlarına dâhildir ve son olarak da 168 ile 178 cm uzunluğa sahip kişiler üç üyelik fonksiyonuna dahildir. 170 cm boyundaki bir kişi için önceki örneği düşünecek olursak; Klasik kategoride kişi orta boylu grupta sınıflandırılırken, bulanık mantıkta “Orta” ve “Uzun” üyelik fonksiyonlarına dâhildir. Bu birey, 0.5'lik bir “Uzun”;“0.75” oranında “Orta” ve “0” oranında “Kısa” boy üyeliğine sahiptir. Bu örnekte de görüldüğü üzere, bulanık mantıkdaki kademeli üyeliğin öznel ölçütlere daha iyi uyum sağladığı görülmektedir.



**Şekil 2.16.** Netliği artırılmış klasik küme teorisine göre sınıflandırma



**Şekil 2.17.** Netliği artırılmış bulanık küme teorisine göre sınıflandırma

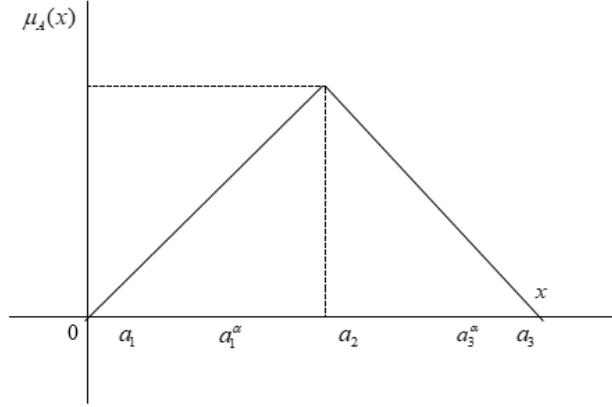
## 2.6.2. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları (Membership Function - MF) ile tanımlanır ve  $\mu_A(x)$  ile gösterilir. Bir A kümesindeki bir elemanın bulunduğu kümeye üyeliği 0 ile 1 arasında bir değere eşittir.

Bu üyelik fonksiyonlarını tanımlarken matematiksel olarak göstermek daha doğru olacaktır. Bulanık küme için çeşitli üyelik fonksiyonlarından bahsedilebilir. Bunlardan bazıları Üçgen üyelik fonksiyonu, Yamuk üyelik fonksiyonu, Gauss üyelik fonksiyonu ve Çan eğrisi üyelik fonksiyonu olarak sıralanabilir.

### 2.6.2.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  olmak üzere üç parametreyle tanımlanır ve grafiksel gösterim Şekil 2.18.' de gösterildiği gibidir.



**Şekil 2.18.** Üçgen üyelik fonksiyonu

$\mu_A(x)$  üçgensel üyelik fonksiyonu, Eşitlik 2.10' da tanımlanmıştır.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.10)$$

Şekil 2.18.' de görülen grafiğe göre küme,  $A = (a_1, a_2, a_3)$  olur. Bu grafikte  $a_2$  maksimum ve minimum olarak verilen üyelik fonksiyonunun orta değerindeki üyelik olarak tanımlanabilir. Burada verilen  $\alpha$  değeri kesim katsayı olup,  $a_2$  değerindeki belirsizliğin hata payını azaltmak için kullanır.  $a_1^\alpha$  ve  $a_3^\alpha$  değerleriyse  $a_2$  ara değerinin komşuluğunu oluşturan değerlerin alt ve üst sınırlarıdır.  $a_1^\alpha$  ve  $a_3^\alpha$  değerleri Eşitlik (2.11) ve Eşitlik (2.12) yardımıyla bulunabilir.

$$\frac{a_1^\alpha - a_1}{a_2 - a_1} = \alpha \quad (2.11)$$

$$\frac{a_3 - a_3^\alpha}{a_3 - a_2} = \alpha \quad (2.12)$$

Bu denklemlerdeki  $\forall \alpha \in [0,1]$  için  $A_\alpha = [a_1^\alpha \quad a_3^\alpha]$  aralığı oluşturulabilir. Dolayısıyla  $a_1^\alpha$  ve  $a_3^\alpha$  değerleri alt ve üst sınır ara değerleri Eşitlik (2.13) ve Eşitlik (2.14)' de gösterildiği gibidir.

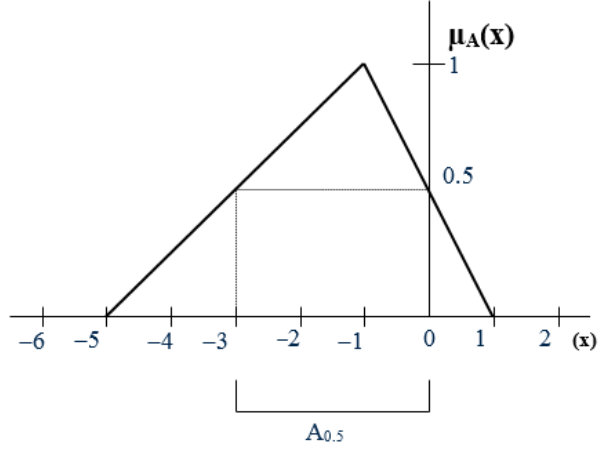
$$a_1^\alpha = \alpha(a_2 - a_1) + a_1 \quad (2.13)$$

$$a_3^\alpha = a_3 - (a_3 - a_2)\alpha \quad (2.14)$$

Bu işlemleri daha iyi anlamak için  $A = (-5, -1, 1)$  kümesi için üçgen üyelik fonksiyonu grafiğini tanımlayacak olursak, öncelikle Eşitlik 2.15' deki değerler elde edilir;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < -5 \\ \frac{x+5}{4}, & -5 \leq x \leq -1 \\ \frac{1-x}{2}, & -1 \leq x \leq 1 \\ 0, & x > 1 \end{cases} \quad (2.15)$$

Burada önemli olan işlemlerden birisi de katsayıların belirlenmesi işlemidir. Bu belirleme işlemi uzman kişi tarafından yapılır. Örneğin  $\alpha$  kesim katsayısını 0,5 olarak belirlediği düşünülürse -1 ara değerinin komşuları Eşitlik (3.37) ve Eşitlik (3.38) denklemlerinden  $a_1^{0.5} = 3$  ve  $a_3^{0.5} = 0$  olarak bulunur. Yani, -1 ara değeri ile aynı üyelik derecesinde bulunan sayıların kümesi  $[-3,0]$  aralığındadır. Bu işlemler sonucu oluşan grafik ise şekil 2.19.' da görüldüğü gibi çıkacaktır.



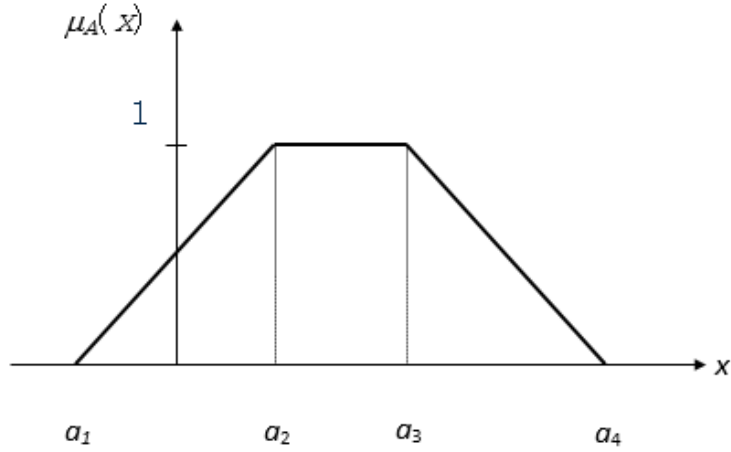
**Şekil 2.19.**  $A = (-5, -1, 1)$  Kümesinin komşuluğu

### 2.6.2.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  olmak üzere dört farklı değişkenden oluşur ve grafiksel gösterimi Şekil 2.20.' de görüldüğü gibidir. Üçgen üyelik fonksiyonundan farklı olarak yamuk üyelik fonksiyonunda normal kabul edilen iki tane değer vardır.

Yamuk üyelik fonksiyonu için gerekli eşitlikler Eşitlik 2.16' de gösterildiği gibidir.

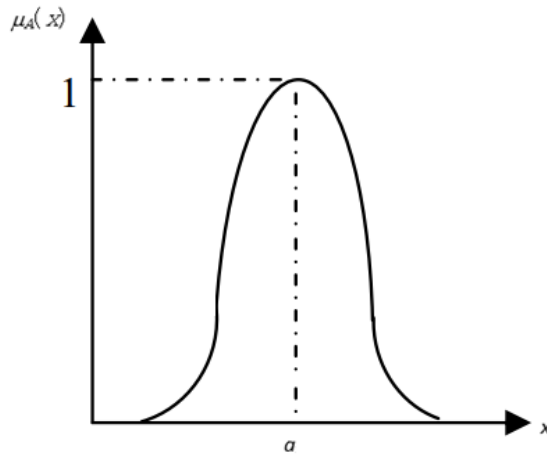
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (2.16)$$



**Şekil 2.20.** Yamuk Sayı Komşuluğu

### 2.6.2.3. Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu,  $a$  ve  $\sigma$  ile belirlenir ve şekil 2.21. daki gibidir. Burada  $a$  Gauss üyelik fonksiyonunun merkezini temsil eder ve  $\sigma$  üyelik fonksiyonunun genişliğini belirler.



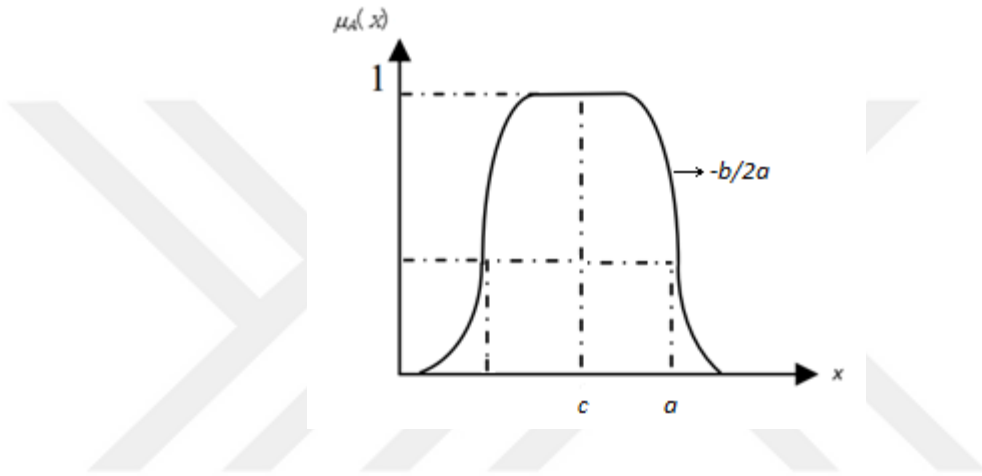
**Şekil 2.21.** Gauss üyelik fonksiyonu

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)^2} \quad (2.17)$$

#### 2.6.2.4. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu

Şekil 2.22.' de görüldüğü gibi  $a$ ,  $b$  ve  $c$  parametrelerine sahip çan eğrisi üyelik fonksiyonu için üyelik fonksiyonu Eşitlik 2.18' deki gibi tanımlanır.

$$\mu(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.18)$$

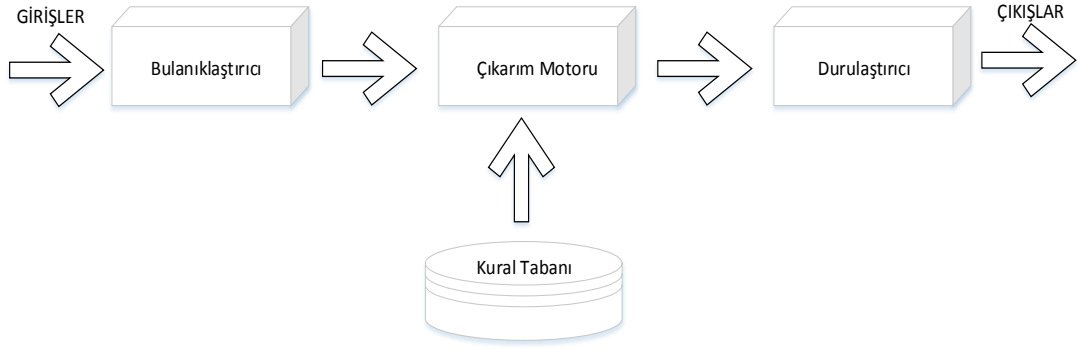


Şekil 2.22. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu

#### 2.6.3. Bulanık Mantık Kontrolcü

Bulanık Mantık Kontrolcünün temel yapısı Şekil 2.23.' de görüldüğü gibi bulanıklaştırıcı, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım motoru ve durulaştırıcı olmak üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır.





**Şekil 2.23.** Bulanık sistemin genel görünümü

Şekil 3.25.’ de görülen bulanık mantık kontrolörün çalışması esnasında ilk işlem, girişlerin “bulanıklaştırıcı” bloğuna girerek bulanık setlere dönüştürülmesi ile başlar. Bulanıklaştırılan bu girişler daha sonra “bulanık çıkarım motoruna” girmektedir. Bulanık çıkarım motorunda “If-Then” biçiminde bulanık kurallar dikkate alınarak işleme tabi tutulmakta ve bulanıklaştırılmış çıkışlar haline getirilmektedir. Son olarak “durulaştırıcı” bloğu, daha net çıktılar üretmek için bulanık çıkışları gerçek çıkışlara dönüştürmektedir.

### 2.6.3.1. Bulanıklaştırıcı

Bulanıklaştırıcı ünitesi, sayısal bir girdiyi bulanık bir kümeye eşleyen giriş arabirimidir. Bu işlem sayesinde kural tabanında tanımlanan bulanık kuralların girişlerle eşleştirilmesi yapılabilmektedir.

### 2.6.3.2. Kural Tabanı

Kural tabanı, uzman kişilerin gözlemlerini içeren sözel değişkenleri ve bu sözel değişkenlerin eyleme dönüşmesini sağlayan kuralları barındırmaktadır. Bu kurallar bir önkoşul (If) ve bir sonucu (Then) içerir. Bu önkoşullar tek bir şarta bağlı olabileceği gibi VE-VEYA bağlaçları ile bağlantı kurularak çoklu koşullardan da oluşabilir. Örneğin;

Eğer hava “az sıcak” ise pencereyi “az aç”

Eğer hava “sıcak” ve oda “nemli” ise pencereyi “çok aç”

Buradaki kurallar girişler ile çıkışlar arasındaki ilişkiyi temsil eder.

### 2.6.3.3. Bulanık Çıkarım Motoru

Bulanık çıkarım motoru, kuralları birleştirir ve bulanık mantık prensibine dayanan uzman görüşünün çıktı evrenindeki bulanık kümelerle eşleşmesini sağlar.

### 2.6.3.4. Durulaştırıcı

Durulaştırıcı, bulanık set çıktısını net bir çıkışa dönüştüren bir çıktı haritasıdır. Net çıkışa bağlı olarak, bulanık mantık denetleyici sistemi kontrol altında tutabilir. Literatürde çeşitli durulaştırıcı yöntemler bulunmaktadır. Mühendislik uygulamaları için belirleyicinin seçimi kriteri, maksimum, merkez, toplamların merkezi, merkez ortalaması gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Ağırlık merkezi yöntemi, durulaştırma süreci için en popüler yöntemlerden biridir [94]. Ağırlık merkezi yöntemi, bulanık girişi net bir çıkışa aktarmak için Eşitlik 2.19' u temel alır.

$$AğırlıkMerkezi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)} \quad (2.19)$$

Burada n, uzman görüşünü barındıran dilsel evrenindeki ayırık elemanların sayısıdır, x bulanık değişken ve  $\mu_A(x_i)$ , üyelik derecesidir.

### 2.6.4. Bulanık Çıkarım Metodu Çeşitleri

Bulanık mantık kontrolü, bulanık kurallar göz önüne alındığında Mamdani ve Sugeno olmak üzere iki farklı bulanık çıkarım metoduna ayrılmaktadır. Bu iki bulanık çıkarım

sistemi arasındaki farklar, bulanık kurallarının sonuçlarından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bulanık kuralların bir araya getirilmesi ve bulanıklaştırma işlemlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu iki sistem aşağıda daha detaylı açıklanacaktır.

Öte yandan, Sugeno metodunda, hesaplama dinamikdir ve özellikle dinamik lineer olmayan sistemler için kontrol problemlerinde çok cazip kılan optimizasyon ve adaptif tekniklerle daha iyi çalışmaktadır. Bu uyarlanabilir teknikler, üyelik fonksiyonlarını özelleştirmek için kullanılabilir, böylece bulanık sistem verileri en iyi şekilde modellenebilir.

#### **2.6.4.1. Mamdani**

Mamdani bulanık çıkarım metodu, en yaygın kullanılan bulanık çıkarım metodudur. 1975 yılında, Londra Üniversitesi'nden Profesör Ebrahim Mamdani, bir buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol eden ilk bulanık sistemlerden birini kurmuş; kurduğu bu sistemi deneyimli operatörler tarafından sağlanan bir dizi bulanık kural kombinasyonu uygulayarak kontrolünü gerçekleştirmiştir [95]. Mamdani tarzı bulanık çıkarım süreci dört adımda gerçekleştirilir. Bu dört adım aşağıdaki gibidir.

- Giriş değişkenlerinin bulanıklaşması
- Değerlendirme (çıkartım)
- Kural çıktılarının toplanması (kompozisyon)
- Durulaştırma

Mamdani yöntemi uzman bilgisini daha sezgisel, daha insan benzeri bir şekilde tanımlamamıza izin verdiği için dolayı daha yaygın olarak kullanılır. Bununla birlikte, Mamdani bulanık çıkarım sistemi metodu, kontrolcü için önemli bir hesaplama yükünü de beraberinde getirmektedir.

### 2.6.4.2. Sugeno

Mamdani tarzı çıkarım, sürekli değişen iki boyutlu bir şeklin merkezini bulmamızı gerektirir. Bu yüzden, daha önce de bahsedildiği gibi sisteme fazladan bir matematiksel işlem yükü getirir ve verimli değildir. Bu sistemin verimsizliğini gören Michio Sugeno, kuralı üyelik işlevi olarak tek bir boyutta kullanmayı önermiştir [96]. Bu iki bulanık çıkarım sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.1.' de verildiği gibidir.

**Çizelge 3.1.** Sugeno ve Mamdani Metotlarının avantajları

<b>Sugeno Metodunun Avantajları</b>	<b>Mamdani Metodunun Avantajları</b>
Daha az matematiksel hesap yükü vardır.	Daha çok sezgisel yöntemlere göre çalışır.
Doğrusal sistemlerde (PID kontrol gibi) iyi çalışır.	Daha yaygın kabul görmüştür.
Optimizasyon ve adaptif tekniklerle iyi çalışır.	Uzman (insan) girdisi için daha uygundur.
Matematiksel analizlere uygundur.	
Çıkış yüzeyinin sürekliliğini garanti eder.	

### 3. METOTLAR

#### 3.1. Çarpışma Engelleyici Sistem (ÇES)

Bu modülün temelini “lazer tarayıcı sensör” oluşturmaktadır. Olası bir çarpışmanın engellenmesi için yapılması gereken ilk şey taranan alandaki nesnelere doğru bir şekilde algılanmasıdır. Lazer tarayıcı taranan alanla ilgili işlenmemiş verileri ekran üzerine gönderir. Bu işlenmemiş verilerde ilk yapılacak işlem, gelen verilerdeki her noktanın gerçek bir nesne mi yoksa hayalet nokta mı olduğunun belirlenmesidir. Gerçek nesne belirlendikten sonra, her nesnenin hareket dinamiği farklı olduğu için nesnenin çeşidinin algılanması gereklidir. Bu aşamadan sonra ise nesnenin bir sonraki hareketi tahmin edilerek çarpışma zamanı algoritmasının çalıştırılması gerekmektedir. Bahsi geçen işlemlerin yüksek güvenilirlikte yapılabilmesi için aşağıdaki metotlar kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Segmentasyon

Lazer tarayıcılar, etrafa belirli bir frekansta lazer ışınları gönderir ve gönderilen lazer ışınlarından nesnelere çarparak dönenleri algılayarak mesafe ölçümü yaparlar. Lazer tarayıcının çıktı seti Eşitlik 3.1, 3.2 ve 3.3’ te verilmiştir;

$$Z^t = \{p_1^t, p_2^t, p_3^t, \dots, p_N^t\} \quad (3.1)$$

$$p_i^t = (r_i^t, \theta_i^t), i = 1, \dots, N \quad (3.2)$$

$$\theta_i^t > \theta_{i-1}^t, i = 2, \dots, N \quad (3.3)$$

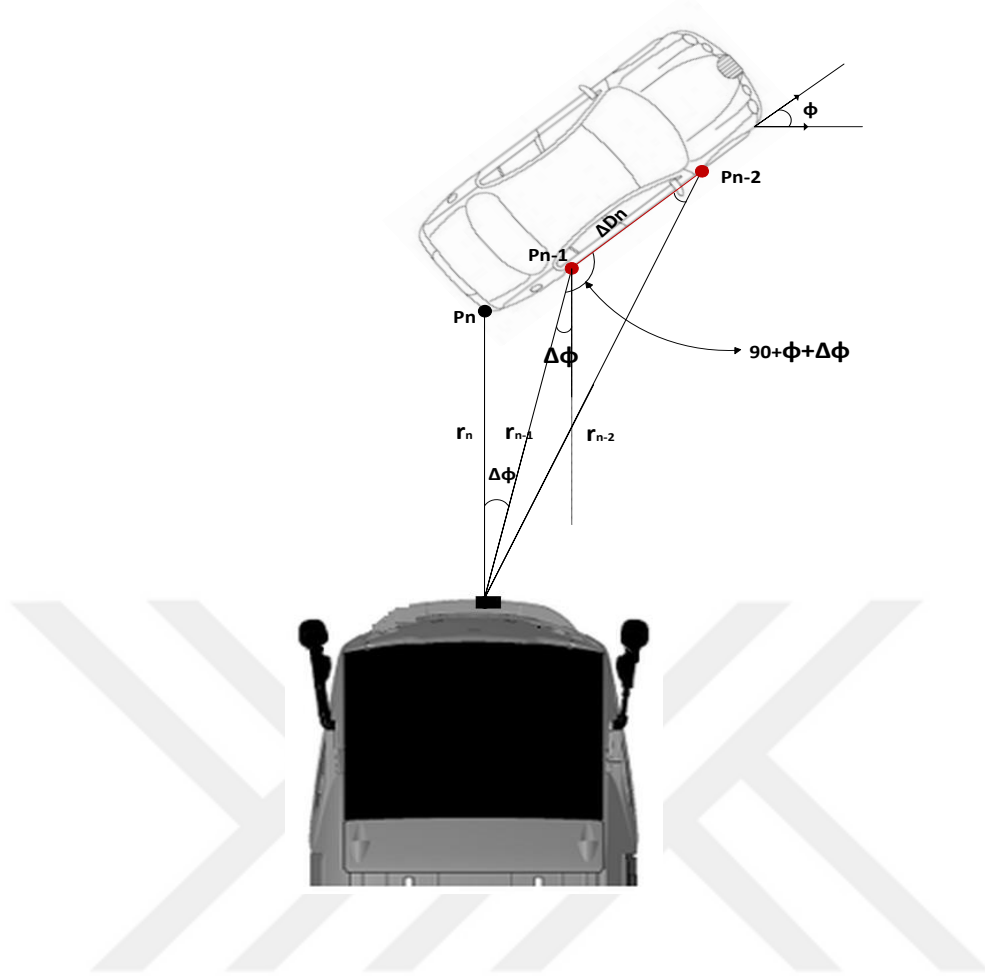
Burada N, lazer tarayıcı ölçüm noktasının sayısı, t ölçüm zamanı, r noktanın uzaklığı ve  $\theta$  ise açısını göstermektedir.

Nesnelerin algılanması ve takip edilmesi için gerekli algoritmanın ilk adımı segmentasyon işlemidir. Segmentasyon, lazer tarayıcı tarafından elde edilen noktaların

kümesinin aynı nesneye ait olup olmadığını araştıran işlemdir. Segmentasyon işlemi sırasında, 3.1 ve 3.2 numaralı eşitlikte verilen nesne üzerinden yansıyan her bir nokta (segment) öncelikle kümelere ayrılmaktadır. Ayrılan bu kümeler birbiriyle ilişkili ise birlikte gruplanır ve aynı nesnenin bir noktası olduğu varsayılmaktadır.

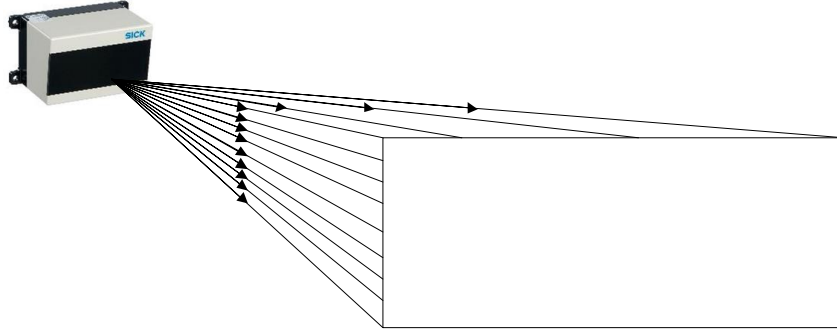
Genel olarak segmentasyon işlemi iki temel metot ile yapılmaktadır. Bunlar geometrik şekil metodu (geometric shape method) ve kesme noktası (breakpoint method, BD) metodudur. Geometrik şekil metodunda segmentlerin geometrik şekillerini düz çizgi veya köşe gibi şekiller olduğunu varsayılır ve bu segmentleri önceden belirlenmiş şekillere dönüştürülerek segmentasyon işlemi tamamlanır [97-98]. Kesme noktası metodunda ise lazer tarayıcıdan alınan ölçümler segmentlere ayrıştırılır ve arka arkaya algılanan iki nokta,  $P_{n-1}$  ve  $P_{n-2}$  arasındaki öklidyen (euclidean) mesafesine bakılır veya Kalman filtresi uygulamasıyla tahmin de yapılabilir [99]. Arka arkaya iki noktanın mesafesinin ölçümüne dayanan kesme noktası yöntemi en çok kullanılan segmentasyon yöntemidir [100-104].

Mesafe tabanlı kesme noktası metodunda, Şekil 3.1.' de görüldüğü gibi, arka arkaya algılanan iki nokta  $P_{n-1}$  ve  $P_{n-2}$  arasındaki mesafe,  $D_{thd}$  belirlenen bir eşik değerinden daha küçük ise, bu iki nokta aynı cisme ait olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.1.** Arka arkaya gönderilen iki lazer darbesi arasındaki mesafe

Bu yöntemde aynı lazer sensör tarafından algılanan iki ardışık nokta arasındaki mesafe, algılanan cismin duruş şekline göre değişiklik göstermektedir. Örneğin algılanan nesnenin yönü lazer sensöre dik doğrultuda ise ardışık noktaların mesafesi oldukça küçük olurken Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi nesnenin lazer sensöre paralel olan kısmında algılanan ardışık noktaların arasındaki mesafe daha fazla olacaktır.



**Şekil 3.2.** Açısal çözünürlük limiti örneği

Bu problemin çözümü için literatürde eşik değeri için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Dietmayer ve arkadaşları [100] yaptığı çalışmada kullandığı eşik değeri Eşitlik 3.4' te verilmiştir.

$$D_{thd} = C_0 + \sqrt{2(1 - \cos(\Delta\phi))} \min\{r_n - r_{n-1}\} \quad (3.4)$$

$C_0$  sensör gürültüsü ve  $\phi$  lazer tarayıcı sensör için açısal çözünürlüktür.

Lee ve arkadaşları ise eşik değeri için aşağıdaki yöntemi kullanmıştır [101]:

$$D_{thd} = \left| \frac{r_{n-1} - r_{n-2}}{r_{n-1} + r_{n-2}} \right| \quad (3.5)$$

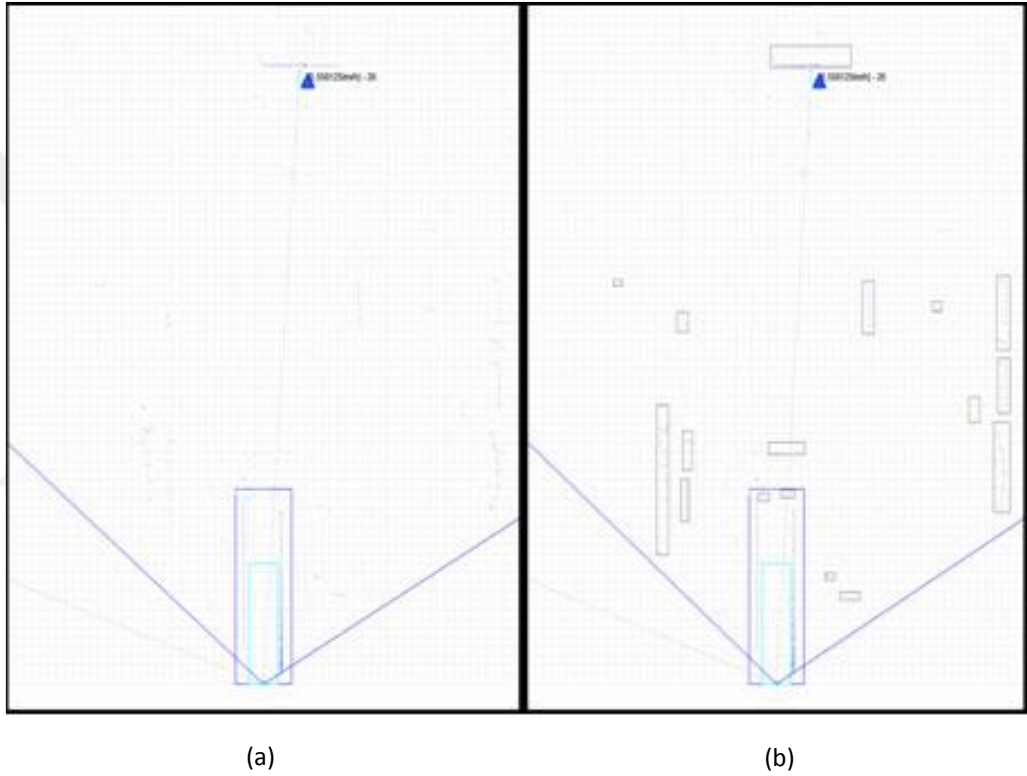
$$D(r_{n-1}, r_{n-2}) = \sqrt{r_{n-1}^2 + r_{n-2}^2 - 2r_{n-1}r_{n-2} \cos \Delta\phi} \quad (3.6)$$

Bu çalışmada Borges ve arkadaşlarının kullandığı Adaptive Breakpoint Detector (ABD) segmentasyon yöntemi ve eşik değeri için ise Eşitlik 3.7.' de verilen yöntem kullanılmıştır [102].



$$D_{thd} = r_n \frac{\sin \Delta\phi}{\sin(\lambda - \Delta\phi)} + \sigma_r \quad (3.7)$$

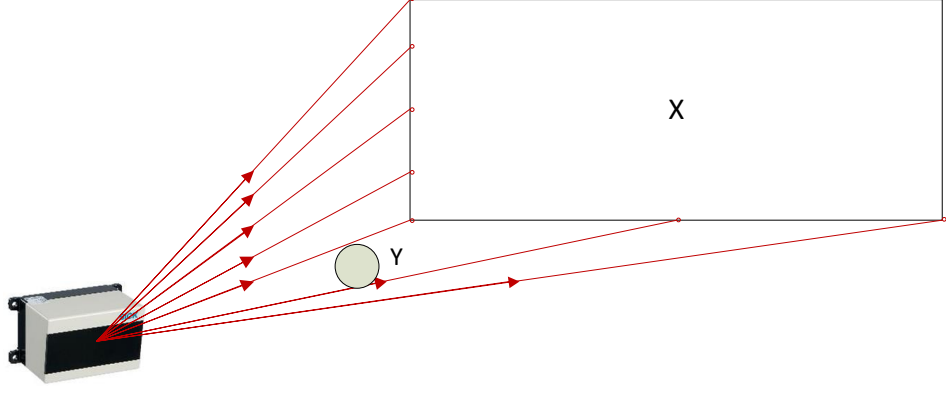
Burada  $\lambda$  kullanıcı deneyimlerine göre seçilen bir yardımcı parametre,  $\sigma_r$  ardışık algılanan noktaların içerdiği artık varyans ve  $r_n$  ise ilişkili gürültüdür. Segmentasyon işlemi yapılmadan önce ve yapıldıktan sonraki ekran görüntüsü Şekil 3.3’ de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.3. Segmentasyon işlemi öncesi ve sonrası ekran görüntüsü

### 3.1.2. Kapatma (Gölgeleme)

Kapatma (occlusion), segmentasyon işlemi için oluşabilecek diğer bir problemdir. Doğal olarak nesnelerin tarandığı alanda birden fazla nesne vardır. Bu nesneler bazı durumlarda birbirinin önüne geçerek Şekil 3.4.’ de görüldüğü gibi arkada kalan nesnenin bir kısmını veya tamamını engelleyebilir.



**Şekil 3.4.** Parçalı gölgeleme örneği. X nesnesi Y nesnesi tarafından gölgelenmektedir.

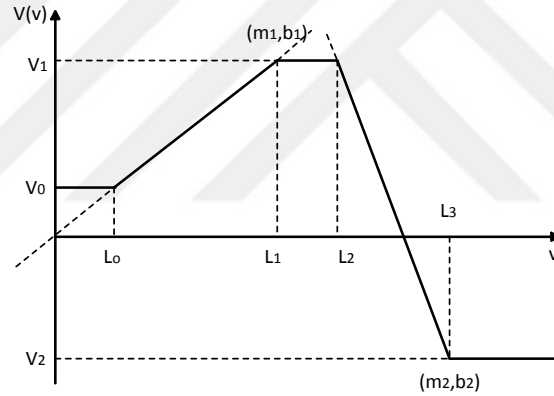
Bu problemin çözümü için literatürde çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunlardan ilki algılanan noktaların segmentlerde sürekliliğine ihtiyaç duyulan geometrik araç modeli yöntemidir [105-107]. Bir diğer yöntem ise, Zhao ve arkadaşlarının yapmış olduğu kümeleme işlemi öncesi yapılan görüntü işleme algoritmasının çalıştırılmasıdır [108]. Bunların haricinde Burke ve arkadaşları çeşitli filtreleme yöntemleri kullanmış ve böylelikle kapatma probleminin önüne geçilmiştir [109].

### 3.1.3. Nesne Sınıflandırma

Ölçülen noktaların hangi nesneye ait olduğu belirlendikten sonra, sınıflandırma işlemine geçilmektedir. Trafik akışı esnasında etrafta çeşitli araçlar (kamyon, otobüs, otomobil, motor bisiklet) ve çeşitli nesnelere (insan, hayvan, trafik levhaları, kaldırımlar) bulunmaktadır. Cansız-hareketsiz nesnelere bir kenara bıraktığında hareketli olan nesnelere her birinin farklı hareket karakteristikleri bulunmaktadır. Örneğin yayalar, çeşitli özelliklere bağlı olarak 4-6 km/h arasında bir hızla yürüyebilmektedirler. Aynı zamanda ani yön değiştirme potansiyeline de sahiptir. Buna karşın bir otomobilin normal hızı yayanın hızından çok daha fazla iken hareket yönünü değiştirme yayaya kadar ani olmamaktadır. Özellikle çarpışma engelleme sistemi geliştirilirken, algılanan nesnelere göre çarpışma engelleme algoritması değişmektedir.

Literatürde çeşitli sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Özellikle lazer tarayıcı sensörün kullanıldığı sistemlerde çoklu-nesne için yapılan sınıflandırma işlemlerinin yoğun bir kullanıldığı görülmektedir [110-113].

Sadece bir tarama ve nesnenin ilk algılanmasıyla güvenilirliği çok yüksek bir sınıflandırma yapmak mümkün değildir. Mendes ve arkadaşları, [110-113]' de belirtilen yöntemlerin dışında "Voting Scheme Metodu" kullanarak bir sınıflandırma yapmışlardır. Bu yöntemde, belirli bir güven değerine ulaşıldıktan sonra nesnenin hangi tür nesne olduğuna karar verilmektedir. Nesneyi karakterize eden her bir özellik bir "voter actor" olarak tanımlanmaktadır ve her bir nesne için belirlenen oyun ağırlığı (weight of vote) ilgili özelliğin etkisine ve değerine bağlı olarak Eşitlik 3.8.' de ve Şekil 3.5.' de gösterildiği gibi değişmektedir [111].



**Şekil 3.5.** Çoğunluk oy sınıflayıcısının grafiksel gösterimi

Bazı hipotezler kabul edilebilir bir değere ulaştığında, nesnenin hipotezin çeşidine göre sınıflandırıldığı kabul edilmektedir.

$$V(v) = \begin{cases} V_0 & v \leq L_0 \\ m_1v + b_1 & L_0 < v < L_1 \\ V_1 & L_1 \leq v \leq L_2 \\ m_2v + b_2 & L_2 < v < L_3 \\ V_2 & v \geq L_3 \end{cases} \quad (3.8.)$$

Çoğunluk oy sınıflama metodu (Voting scheme method), nesne sınıflandırma için pratik ve kolay bir çözüm sunmakla birlikte sınıflandırmanın güvenilirliğini artırmak için çeşitli yöntemler de eklenebilmektedir. Nashabibi ve arkadaşları “voting scheme” metoduna ek olarak çeşitli kurallar ekleyerek daha etkin bir nesne sınıflandırma işlemi gerçekleştirmişlerdir [113]. Buna göre;

Eğer;

En küçük genişlik 1 metre ise

→

Araçtır.

L şeklinde bir cisimse

Kapatılmayan ve boyu 1 metreden küçük olan nesne

→

Motosiklettir

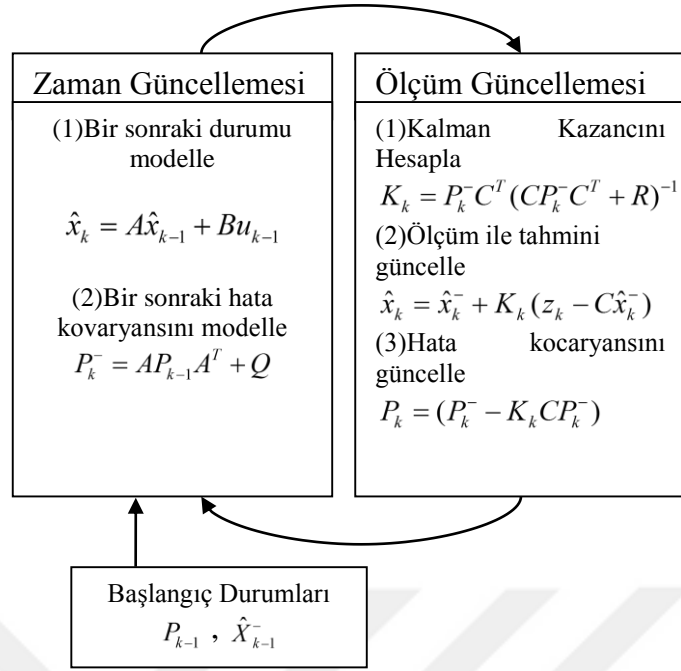
Tekrarlı bir biçimde  
karşılaşılan hareketsiz  
nesneler

→

Çevresel  
cisimlerdir (trafik  
işaretleri gibi)

#### 3.1.4. Kalman Filtre İzleme

Kalman filtre algoritması, sistemin bilinen durumlarıyla sistemin doğal hatalarının bir araya getirilmesiyle sistemin sonraki durumunun dinamik tahmininin yapıldığı tekrarlı filtreleme metodudur. Algoritma, gürültülü veriler üzerinde döngüsel ve gerçek zamanlı olarak çalışıp hataları, en az kareler eğriye sığdırma yöntemi ile filtre etmektedir. Sistemin fiziksel karakteristiklerinin modellenmesi ile gelecek durumun matematiksel tahminine göre optimize edilir. Modelin önceki bilgileriyle birlikte giriş ve çıkış bilgilerinden sistemin durumunu tahmin etmektedir. Bu tahmin Şekil 3.6.’ da görüldüğü gibi döngü halinde devam ederek sürekli yapılır.



**Şekil 3.6.** Kalman filtre algoritması

Kalman filtresi, genelde ölçüm modelinde Gauss gürültüye sahip doğrusal sistemler için uygulanır. Tasarlanan çarpışma önleme sistemi için gerekli olan nesne izleme işlemi kalman filtresi ile yapılmıştır.

Kalman filtresi iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde sistemin durumu tahmin edilmektedir ve ikinci bölümde ise birinci bölümde tahmin edilen değerler yapılan ölçümlere göre güncellenmektedir. Kesikli zaman kalman filtresi için tahmin ve güncelleme eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

Tahmin: Her bir t zaman adımı için, tahmin edilen zaman adımı  $\hat{x}_t^-$  aşağıda verilen eşitlikteki gibidir;

$$\hat{x}_t^- = F_t \hat{x}_{t-1} + B_t u_t \quad (3.9)$$

Burada  $\hat{x}$  tahmin edilen durum, F durum geçiş matrisidir. B ise  $u_t$  kontrol vektörünü durum uzayına çevirmektedir.

Hareket eden nesnelerin 2-boyutlu lazer tarayıcı görüntüsü üzerinde izlenmesi için, 4-boyutlu vektör Eşitlik 3.10' da görüldüğü gibidir;

$$\hat{x}_t = [x \quad y \quad V_x \quad V_y] \quad (3.10)$$

Burada x ve y nesnenin koordinatını;  $V_x$  ve  $V_y$  ise nesnenin hızını göstermektedir.

Geçiş matrisi F ise Eşitlik 3.11' de görüldüğü gibidir.

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$u_t$  yi durum geçiş matrisine çeviren B matrisi ise Eşitlik 3.12' deki matristir.

$$B = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \quad (3.12)$$

Sonuç olarak Kalman filtre tahmini ,  $P_t^-$  hata kovaryans matrisi Eşitlik 3.13' de görüldüğü gibi elde edilir.

$$P_t^- = F_t P_{t-1} F_t^T + Q_t \quad (3.13)$$

Burada P matrisi durum tahminindeki hatanın kovaryansını ve Q ise gürültünün kovaryansını temsil etmektedir.

Güncelleme:  $\hat{x}_t^-$  nin durumu tahmin edildikten sonra, durum tahmininin doğrulanması için Kalman kazancı hesaplanmaktadır. Kalman kazancı hesaplanması Eşitlik 3.14' te görüldüğü gibidir;

$$K_t = P_t^- H_t^T (H_t P_t^- H_t^T + R_t)^{-1} \quad (3.14)$$

R ölçüm gürültü kovaryansıdır ve R aşağıdaki Eşitlik 3.15'teki gibidir;

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_m^2 & 0 \\ 0 & \sigma_m^2 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$\hat{x}_t^-$  durumu tahmin edildikten ve t zamanındaki hata kovaryansı zaman güncellemesi adımı yapıldıktan sonra, Kalman filtresi lazer tarayıcıdan alınan ölçümleri ve kalman kazancını kullanarak durum tahminini günceller Eşitlik 3.16' da verilen formülü kullanarak güncellemektedir;

$$\hat{x}_t = \hat{x}_t^- + K_t(y_t - H_t \hat{x}_t^-) \quad (3.16)$$

Burada y lazer tarayıcıdan elde edilen ölçümlerdir. X ve Y eksenleri boyunca elde edilen ölçümler 2-boyutlu verilerdir. n sayıdaki ölçüm için elde edilen izleme algoritması Eşitlik 3.17' deki gibidir;

$$[x_0, y_0, x_1, y_1, \dots, x_{n-1}, y_{n-1}] \quad (3.17)$$

Sonuç olarak, durum uzayından ölçüm uzayına geçişi sağlayan H matrisi Eşitlik 3.18' deki gibidir;

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Son olarak, Kalman filtresi hatanın kovaryansını Eşitlik 3.19' da verilen denklemlerle güncelleyerek  $P_t^-$  yi  $P_t$  haline getirmektedir.

$$P_t = (I - K_t H_t) P_t^- \quad (3.19)$$

Kalman filtre algoritması izleme için çok güçlü bir algoritma olmasına rağmen, kalman kazancının hesaplanmasından kaynaklanan problemlere sahiptir. Nolmalde, ölçüm gürültü kovaryans matrisi olan R' ye karar vermek oldukça güçtür fakat burada lazer

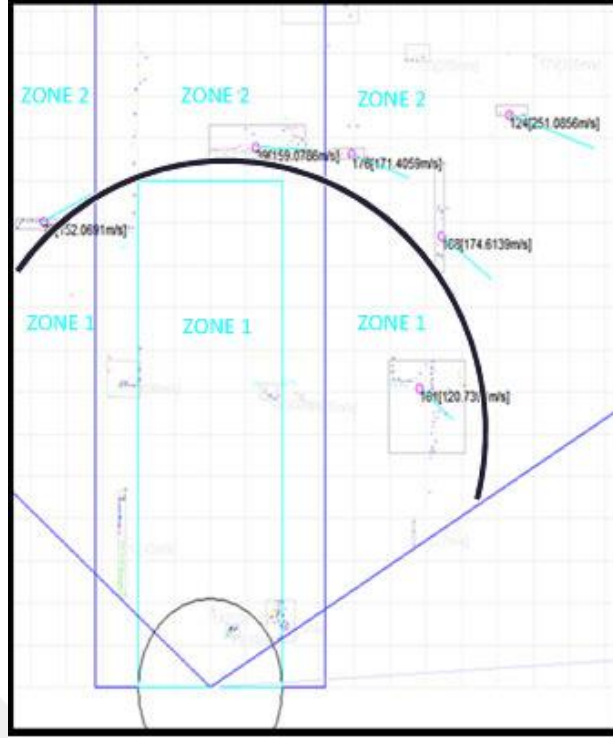
tarayıcının yüksek hassasiyetteki ölçüm kabiliyetinden dolayı, küçük gürültü kovaryansı pozisyon ölçümü için yeterlidir.

### **3.1.5. Risk Değerlendirme**

Nesne tanıma ve izleme modülünün sonucu olarak hareketli veya statik nesnelerin yerleri belirlendikten sonra, risk değerlendirme modülü ile her bir nesne için çarpışma ihtimali tahmin edilmektedir. Bu tahmin yapılırken, her bir nesnenin hızı sabit olarak kabul edilir ve nesnenin en yakın noktasının test aracına olan en kısa mesafesi, lazer tarama sensörü tarafından tespit edilir. Böylece, çarpışma zamanı ve öngörülen çarpışma noktası, bağıl hız bilgisi ile en kısa mesafe kullanılarak tahmin edilmektedir. Ancak, nesnelere hareketlerini değiştirebildikleri için, tahminler kesin olamaz ve nesnelerin gelecekteki olası durumlarının da dikkate alınması gerekmektedir. Yayalar, araçlardan farklı olarak, hızlı manevralar yapabildiklerinden, risk değerlendirme modülü, araçlara göre yayaların akustik uyarısından sonra ekstra zaman toleransına sahiptir.

Bu çalışmada, lazer tarayıcısından elde edilen ekran görüntüsü, tramvayın maksimum hızı, boyutları ve rotası dikkate alınarak iki bölgeye ayrılmıştır. Lazer tarayıcı test aracının önündeki 110°'lik alanı sürekli olarak tarmaktadır. Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi, Bölge 1 tehlikeli bölge iken, Bölge 2 ile gösterilen alan güvenli bölgeyi ifade etmektedir.



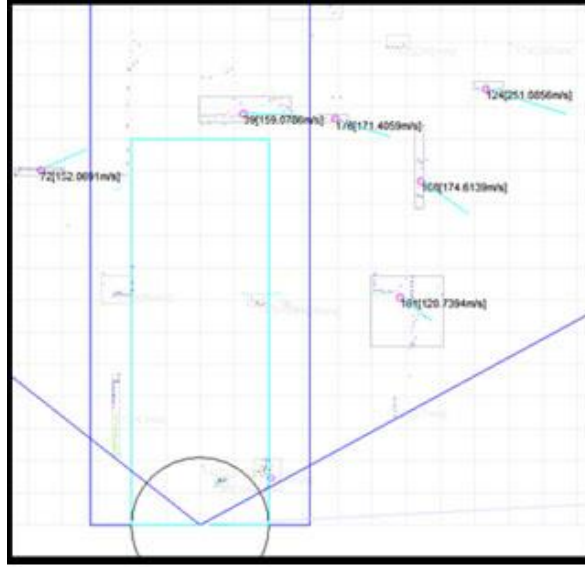


**Şekil 3.7.** Taranan alandaki tehlikeli bölgeler ve algılanan nesnelere

Çarpışma olasılığı sadece bölgeye değil, aynı zamanda nesnenin türüne ve hızına da bağlı olarak değişmektedir. Tasarlanan sistemde üç farklı çarpışma senaryosu belirlenmiştir. Bu senaryolar aşağıdaki verilmiştir:

- **Çarpışma İhtimali Yok:**

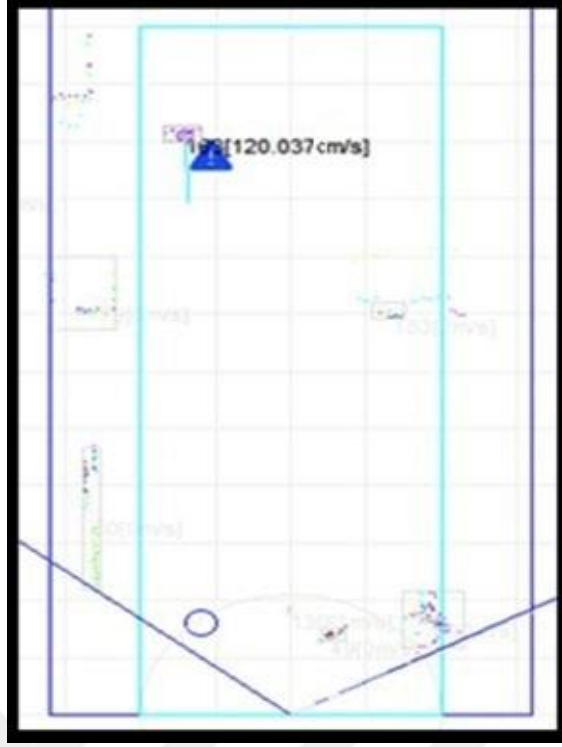
Tramvay hattı üzerinde veya tramvay hattına yakın bir yerde bulunan herhangi bir nesnenin yönü, hızı, pozisyonu ve tramvaya olan mesafesi göz önüne alındığında herhangi bir çarpışma ihtimalinin olmadığı durumdur. Böyle bir durum oluştuğunda, Şekil 3.8.' de de görüldüğü gibi herhangi bir sesli ve görsel uyarı veya fren aktivasyonu söz konusu olmamaktadır.



**Şekil 3.8.** Taranan alandaki nesnelerin güvenli bölgede olma durumu.

- **Çarpışma İhtimali Var:**

Bu senaryo iki farklı durumda değerlendirilebilir. İlk durumda, tespit edilen nesne güvenli bölgede olmasına rağmen hızına ve istikametine bağlı olarak tehlikeli bölgeye yaklaşmaktadır. İkinci durumda ise, nesne tehlikeli bölgede olmasına rağmen, tramvay ile aynı yönde hareket etmekte fakat tramvaydan daha yavaş hareket ettiği için tramvaya yaklaşmaktadır. Böyle bir durum söz konusu olduğunda, Şekil 3.9.' da da görüldüğü gibi tramvay kontrol ekranı üzerinde bir ünlem işareti belirlemekte ve bir sesli alarm sinyali devreye girmektedir.

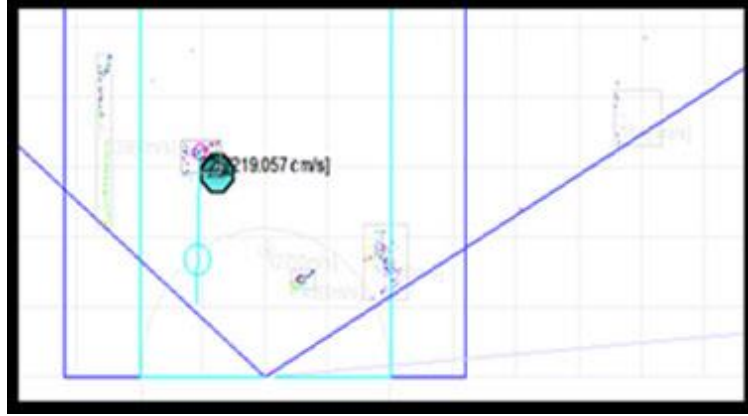


**Şekil 3.9.** Tehlike bölgesinde yüksek derecede risk taşımayan nesne durumu.

Şekil 3.9 ile gösterilen durumda tehlike bölgesinde bir adet nesne bulunmaktadır ve test aracına doğru yaklaşmaktadır. Bu durumda tramvay kontrol ekranı üzerinde ünlem işareti belirlemekte ve sesli uyarı sistemi devreye girmektedir. Kırmızı çizgi algılanan nesnenin yönünü, sarı çember ise tahmini çarpışma pozisyonunu göstermektedir.

- **Çarpışma İhtimali Çok Yüksek:**

Bu senaryoda, tespit edilen nesnenin konumu, hızı, yönü ve uzaklığı dikkate alındığında çarpışma olasılığının çok yüksek olduğu durum ifade edilmektedir. Böyle bir senaryo gerçekleştiğinde tramvay kontrol ekranı üzerinde Şekil 3.10.' da görüldüğü gibi kırmızı renkte bir dur işareti belirlemekte, aynı zamanda sesli uyarı sistemi devreye girmektedir. Bütün bu uyarı durumlarına rağmen vatman herhangi bir işlem yapmazsa, sistem 2 saniye sonunda otomatik freni devreye almaktadır. Lee ve arkadaşlarının çalışmasına göre [114] herhangi bir acil durumda şoför için tepki süresi 1.19 saniyedir. Bu yüzden 2 saniye içerisinde herhangi bir tepki verilmemişse tehlikenin fark edilmediği anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.10.** Çarpışma ihtimalinin yüksek olduğu durum.

Şekil 3.10 ile gösterilen durumda, tehlike bölgesinde bir nesne vardır ve çarpışma ihtimali çok yüksektir. Tramvay kontrol ekranı üzerinde “Dur işareti” belirir, sesli alarm devreye girer. Eğer vatman herhangi bir işlem yapmazsa iki saniye sonar fren devreye girer. Kırmızı çizgi algılanan nesnenin yönünü gösterirken, kırmızı çember ise muhtemel çarpışma pozisyonunu göstermektedir. Tramvay kontrol ekranı üzerinde ünlem işareti belirir ve sesli alarm devreye girer.

### **3.2. Uygun Hız Kontrol Ünitesi**

Tez çalışması esnasında tasarlanan Uygun Hız Kontrol Ünitesi (UHKÜ) iki algoritmanın birleşmesinden oluşmaktadır. Bu algoritmalar Uygun Hız Belirleme Algoritması (UHBA) ve Hız Kontrol Algoritmasıdır (HKA).

#### **3.2.1. Uygun Hız Belirleme Algoritması**

Normal trafik koşullarında araç kontrolü çok karmaşık ve doğrusal olmayan bir kontrol türüdür. Bu tarz sistemlerin kontrolü sadece çevresel etkenlere değil, şoförün tecrübelerine de dayanmaktadır. Bu yüzden bu sistemlerin kontrollerinde klasik

kontrol algoritmaları uygun çözümler verememektedir. Bu çalışmada çevre şartlarına göre en uygun hızı bulmak için Yapay Sinir Ağı (YSA) algoritması kullanılmıştır.

YSA, insan beyninin bilgi işleme tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş ve basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini taklit eden bir bilgi işleme teknolojisidir. YSA, çok geniş alanlardaki problemlere cevap verebilen bir hesaplama işlemidir. Bu kadar farklı alanlarda hızlı çözüm bulması ve kolay takip edilebilir bir algoritma olması YSA' ları karmaşık problemleri çözmede güçlü bir araç haline getirmektedir. Kullanıldığı sisteme göre performansları farklı olan çeşitli YSA teknikleri vardır. Bu çalışmada Geri Yayılımlı Sinir Ağı (Backpropagation Neural Network-BPNN) tekniği kullanılmıştır. Bu yöntem sadece özel ağ topolojilerini kullanan genel analitik türevlerden daha genel değil, aynı zamanda diğer yöntemlere göre takip edilmesi de çok kolaydır. Ayrıca, bu algoritma yerel bilgilerin ağ üzerinden taşınabileceği hesaplama sistemlerinde nasıl verimli bir şekilde uygulanabileceğini de gösterir. Bu nedenlerden dolayı, değişen trafik koşullarının optimum hızını tahmin etmek için bu çalışmada BPNN kullanılmıştır.

Yapay Sinir Ağı kullanılmadan önce eğitim işlemine tabi tutulmalıdır. Eğitim işlemi, giriş verilerinin özelliklerini yansıtmak için ağdaki ağırlıkların değerlerinin ayarlanmasıdır. Öğrenme işlemi esnasında giriş ve çıkış bilgileri arasındaki ilişkiye göre bir harita oluşturulur. Eğer bir ağ uygun şekilde eğitilirse, giriş verisi setine doğru çıkış verileri sunulacaktır.

BPNN algoritması dört adımda işlemlerini yapar:

Birinci adım "İleri Beslemeli Hesaplama" işlemidir. Bu adımda ağ, giriş verilerine göre çıkış verilerini oluşturan ağırlık değerleri ileri yönde hesaplayacak şekilde çalışır. Bu işlemleri 3.20 ve 3.21' deki eşitlikleri kullanarak hesaplamalar yapılır.

$$net_j = w_0 + \sum_{i=1}^n x_i w_{ij}, \quad (3.20)$$

$$O_j = \frac{1}{1 + \exp(-net_j)} \quad (3.21)$$

Burada  $w$  ağırlıklar,  $x$  girişler ve  $O$  ise ağırlık çıkışlarıdır. Bu çalışmadaki hesaplamalar için sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

İkinci adım “Çıktı Katmanına Geri Yayılım” adımıdır. Hesaplanan hatalar çıkış katmanından gizli katmanlara doğru Eşitlik 3.22’ de verildiği gibi yayılır.

$$\delta_j = (t_j - o_j)o_j(1 - o_j) \quad (3.22)$$

Üçüncü adım “Gizli Katmana Geri Yayılım” adımıdır. Bu adımda, hesaplanan hatalar giriş katmanına doğru Eşitlik 3.23’ teki gibi yayılmaktadır.

$$\delta_j = o_j(1 - o_j) \sum_k \delta_k w_{k,j} \quad (3.23)$$

Son adım “Ağırlıkların Güncellenmesi” adımıdır. Ağırlıklar Eşitlik 3.24 kullanılarak güncellenmektedir.

$$\Delta w_{i,j}(n+1) = \eta(\delta_j o_i) + \alpha \Delta w_{i,j}(n) \quad (3.24)$$

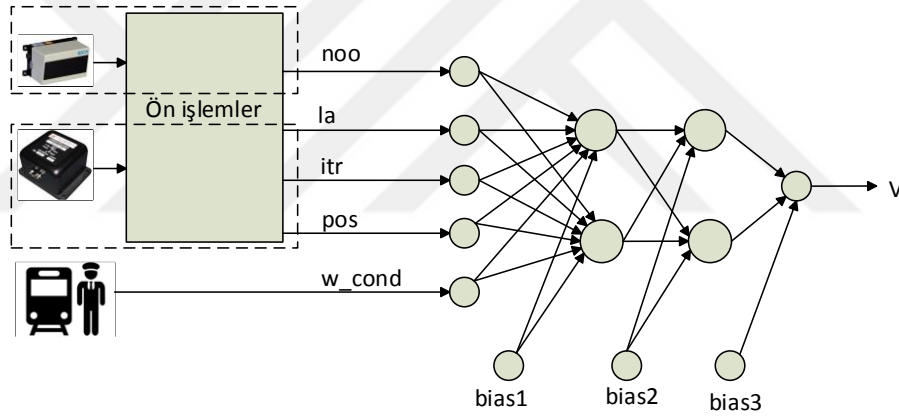
Bu eşitlikte  $\delta$  hata,  $\eta$  öğrenme katsayısı ve  $\alpha$  ise momentum katsayısıdır.

Bu dört adımda yapılan işlemler, programın başında belirtilen iterasyon sayısı kadar kendisini tekrar ederek ağırlıkları günceller.

Tramvayın en uygun hızla hareket edip etmediğini belirlemeden önce, BPNN algoritması için hangi değişkenlerin giriş olarak belirleneceği oldukça önemli bir adımdır. Bu çalışmada BPNN algoritmasının eğitimi ve öğrenmesi için 5 adet giriş değişkeni belirlenmiştir. Bunlar tramvay hattının eğimi (itr), tramvay istasyonuna, keskin viraja veya dar bölgeye olan uzaklık (pos), tehlike bölgesindeki nesne sayısı (noo), yanal ivmelenme (la) ve hava şartları (w\_cond) dır. BPNN algoritmasının çıktısı

ise tramvayın hızıdır (vel). Bu değişkenlerden yolun eğimi, yanal ivme ve durma noktalarına yakınlık verileri GPS destekli AHRS sensöründen elde edilirken tehlikeli bölgedeki nesne sayısı Lazer Tarayıcı sensör tarafından elde edilmektedir. Hava koşulları ise vatman tarafından tramvay hattında her bir tura başlamadan önce, 0 ile 10 arasında bir değer olacak şekilde manuel olarak girilmektedir. Hava koşullarından hızı en çok etkileyecek olan durum yoğun sisli hava iken en az etkileyecek durum açık havadır.

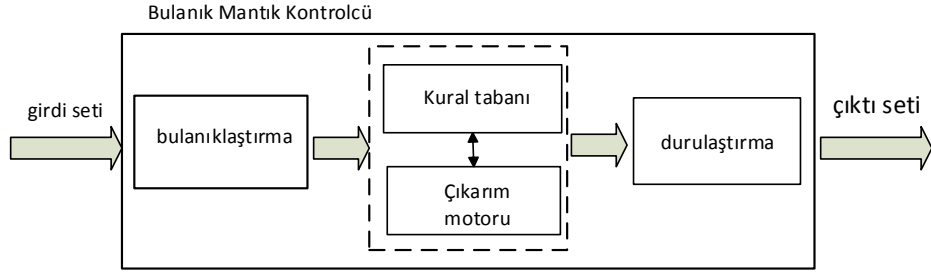
BPNN modellenirken Şekil 4.12.' de görüleceği üzere, iki gizli katman ve her katmanda iki nöron olacak şekilde modellenmiştir. Yapılan çeşitli denemeler sonucunda öğrenme katsayısı olarak 0.7 ve momentum katsayısı olarak ise 0.3 değerleri alındığı ağ en iyi sonuçları vermiştir.



**Şekil 3.11.** En uygun hız için önerilen BPNN algoritması.

### 3.2.2. Hız Kontrol Algoritması

Bu çalışmada, YSA ile hesaplanan En Uygun Hızın kontrol edilmesi işlemi, bir Bulanık Mantık Kontrolcü (BMK) ile yapılmıştır. İlk olarak 1965 yılında Lütüf Askerzade tarafından bulunan Bulanık Mantık, insan tepkisini tahmin etmek için “bulanık kümeler” olarak adlandırılan linguistik verileri kullanır [92]. Basit anlamda, bulanık bir kontrolcünün çıkışı, Şekil 3.26.' 'da görülebilen üyelik fonksiyonlarını kullanarak hem girdilerin hem de çıktılarının bulanıklığından elde edilmektedir.



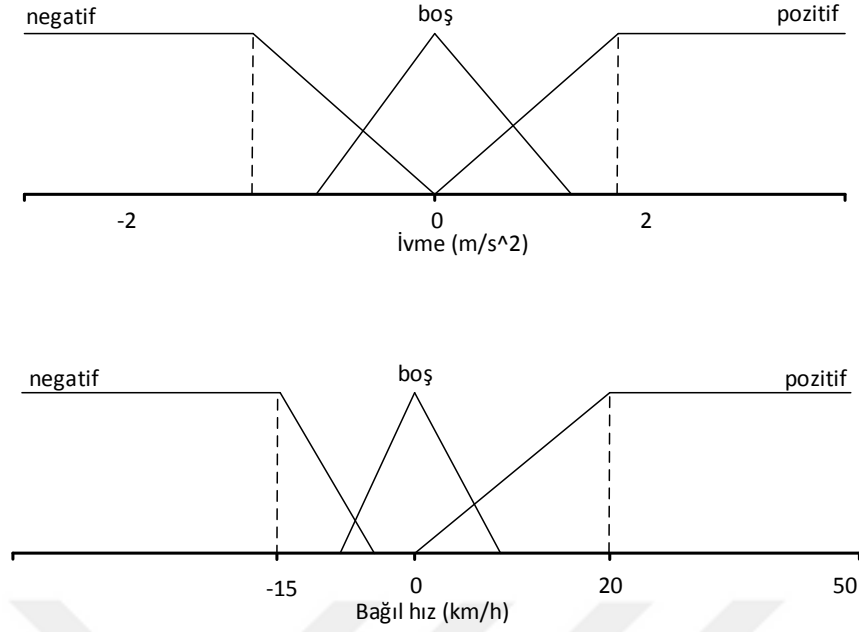
**Şekil 3.12.** Tasarlanan bulanık mantık kontrolcünün genel görünümü.

Araç sürüşü lineer olmayan bir durumdur ve şoförün deneyimlerine dayalı sürüş kabiliyeti en önemli etkenlerden birisidir. Sürücünün bu sezgisel deneyimi, araç hızını kontrol etmek için bir bulanık mantık denetleyicisi vasıtasıyla modellenmiştir.

Bir BMK tasarlanırken en önemli adım uygun giriş ve çıkışların belirlenmesidir. Tramvay hızının kontrol edilmesi için iki tane giriş seçilmiştir. Bunlar; bağıl hız ve araç ivmesidir. Bağıl hız, tramvayın anlık hızı ile BPNN algoritması tarafından belirlenen hız arasındaki farktır. Araç ivmesi ise aracın hareket yönü doğrultusunda oluşan ivme değeridir ve GPS destekli AHRS tarafından elde edilmektedir. BMK için iki adet çıkış söz konusudur. Bu çıkışlar; gaz ve fren kontrolüdür. Bağıl hız sistem için oransal, tramvay ivmesi ise türevsel bir bileşendir. Dolayısıyla, eğer aracın hızı istenilen hızdan farklıysa bağıl hız gaz kontrol çıkış voltajını ayarlar ve tramvay ivmesi ise bu hız geçişlerinin yumuşak olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada Şekil 4.14.' de görüldüğü gibi, üçgen üyelik fonksiyonlu Mamdani tipi BMK tercih edilmiştir.





**Şekil 3.13.** Bulanık mantık girişleri için üyelik fonksiyonları

Uzman bilgisi içeren BMK için kurallar aşağıdaki gibidir:

- R1: EĞER Bağıl hız is pozitif VE İvme negatif ise İvme Aşağı
- R2: EĞER Bağıl hız is pozitif VE İvme negatif ise Gaz Aşağı
- R3: EĞER Bağıl hız is pozitif VE İvme normal ise Gaz Aşağı
- R4: EĞER Bağıl hız is negatif VE İvme negatif ise Gaz Aşağı
- R5: EĞER Bağıl hız negatif VE İvme pozitif ise Fren Aşağı
- R6: EĞER Bağıl hız negatif VE İvme pozitif ise Gaz Yukarı
- R7: EĞER Bağıl hız negatif VE İvme normal ise Gaz Yukarı
- R8: EĞER Bağıl hız normal VE İvme pozitif ise Gaz Yukarı
- R9: EĞER Bağıl hız normal VE İvme negatif ise Gaz Aşağı
- R10: EĞER Bağıl hız pozitif ise Fren Aşağı
- R11: IF Bağıl hız negatif ise Fren Yukarı

Tramvay hızı kontrol edilirken iki tane öncelik söz konusudur. Bu öncelikler, tramvayın yavaşlaması veya hızlanması anında tekerleklerin patinaj yapmaması ve yolcu konforudur. İpekböceği, maksimum hızlanma ivmesi  $1.3 \text{ m/s}^2$  ve maksimum

yavaşlama ivmesi  $2.8\text{m/s}^2$  olarak şekilde üretilmiştir. Bechtel' in yaptığı çalışmaya göre yolcu konforu için kabul edilebilir ivme sınırı  $2\text{m/s}^2$  dir [68]. Tasarlanan BMK algoritması, bütün hızlanma ve yavaşlama durumlarında bu değerler içerisinde hareket edilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu durumun tek istisnası ÇES' in devreye girmesidir.



## 4. ALAN TESTLERİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

### 4.1. Çarpışma Engelleme Sistemi Sonuçları

Alan testleri, Durmazlar Makine A.Ş. firmasının Bursa ilinde bulunan test ortamında gerçekleştirilmiştir.

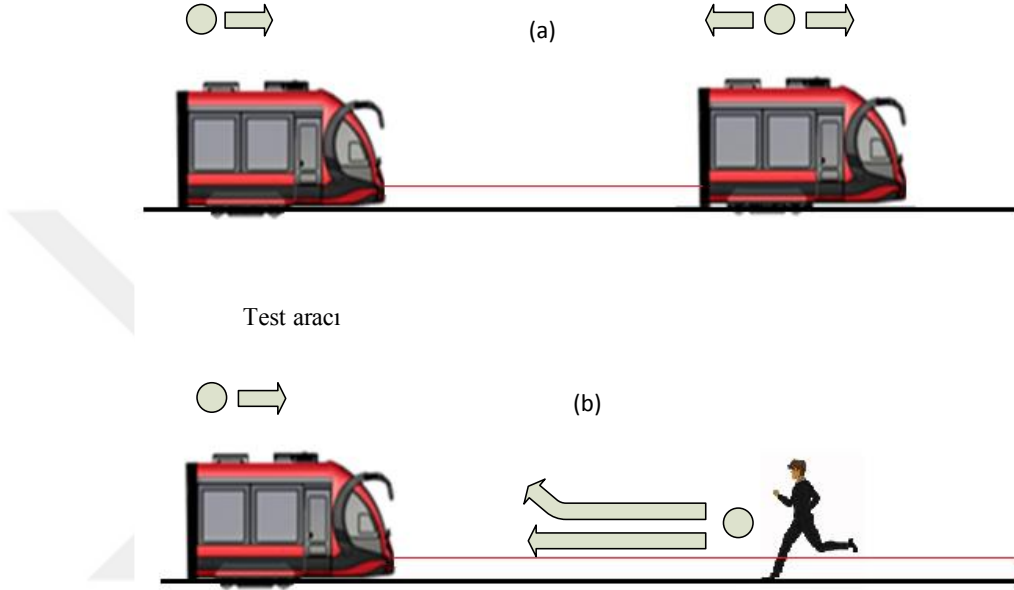
Günlük şehir hayatında, normal trafik koşullarında otomobil, kamyon, otobüs, sokak hayvanları, bisiklet gibi çok çeşitli nesnelere karşı çıkmaktadır. Ancak bu nesnelere hareket dinamiklerine göre sınıflandırılacak olursa iki farklı nesneden söz edilebilir: Yaya ve araçlar. “Yol Güvenliği için Sigorta Enstitüsü” tarafından yapılan bir istatistiğe göre [115], trafik esnasındaki ölümlü kazaların çarpışma noktasında göre oranları Çizelge 4.1.’de görüldüğü gibi olmaktadır.

**Çizelge 4.1.** Çarpma noktasına göre ölüm istatistikleri

Çarpışma Noktası	Ölüm oranı %
Önden çarpışma	62
Sol taraftan çarpışma	14
Sağ taraftan çarpışma	13
Şase kısmından çarpışma	5
Arkadan çarpışma	3
Bilinmeyen	<1
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>

Tablodan da anlaşılacağı gibi, ölümlü kazaların çoğu önden çarpışmalar şeklinde gerçekleşmektedir. Yandan çarpışmalar şeklinde gerçekleşen %27 oranındaki durum için ise, tramvaylarda yan hareket söz konusu olmadığı için bir önlem alınabilmesi söz konusu değildir. Ayrıca arkadan çarpışma ile ilgili bir önlem bu çalışmanın kapsamında değildir. Bu sebeplerden dolayı, çarpışma senaryoları sadece önden çarpışma durumunun benzetimi şeklinde düşünülmüştür.

Yapılan alan testleri Şekil 4.1.' de görüleceği üzere iki nesne ile çeşitli senaryolar düşünülmüş ve hazırlanmıştır. İlk senaryolar aynı hat üzerinde bulunan başka bir Hafif Raylı Araç olması, diğer senaryolar ise tramvay hattı üzerinde yaya bulunması durumudur. Bu testler yapılırken test aracı 20 km/s olarak sabit hızda hareket ettirilmiştir.



**Şekil 4.1.** Testler için tasarlanan senaryolar. (a) Hat üzerinde başka bir HRA' nın olması. (b) Hat üzerinde yayanın olması

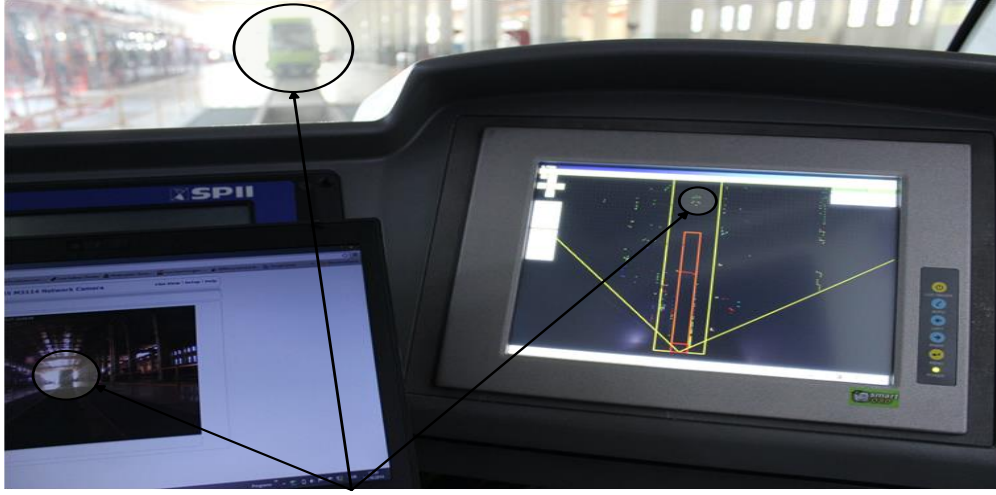
Bazı özel senaryolar çizelge 4.2.' de görüleceği üzere düşünülmüş ve uygulanmıştır.

#### Çizelge 4.2. Test Senaryoları

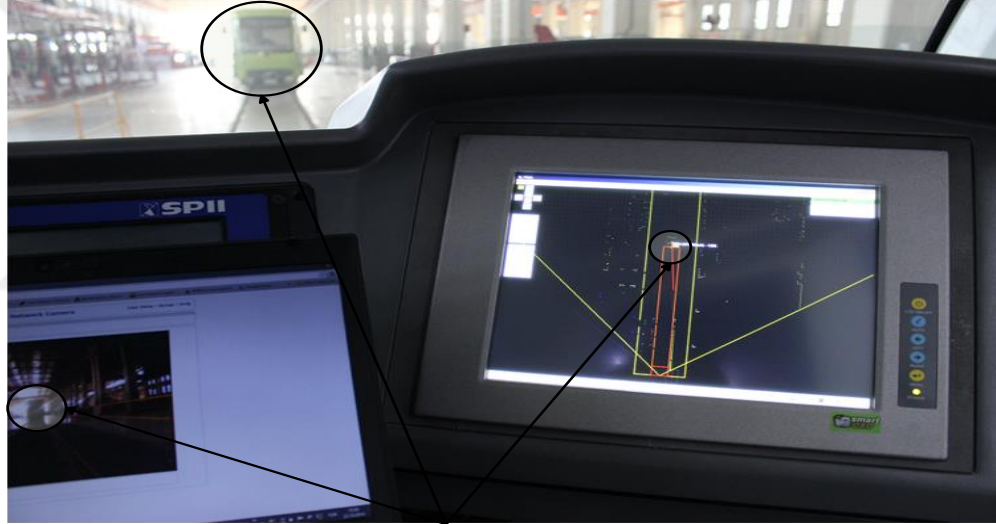
Aynı hat üzerinde bulunan başka bir Hafif Raylı Araç		İlişkili Şekil
1	Aynı hatta bulunan durağan bir Hafif Raylı Araç	Şekil 4.2.
2	Aynı hatta bulunan ve test aracına doğru 10 km/s hızla yaklaşan başka bir Hafif Raylı Araç	Şekil 4.3.
3	Aynı hatta bulunan ve test aracına doğru 10 km/s hızla yaklaşan başka bir Hafif Raylı Araç. Bu senaryo, öncekinin devamı niteliğinde olup test aracına oldukça yaklaştığı durumudur.	Şekil 4.4.
4	Aynı hatta bulunan ve test aracına doğru 20 km/s hızla yaklaşan başka bir Hafif Raylı Araç	Şekil 4.5.
5	Aynı hatta bulunan ve test aracı ile aynı doğrultuda 20 km/s hızla hareket eden başka bir Hafif Raylı Araç	Şekil 4.6.
Test Aracına Yaklaşmakta Olan Yaya Senaryoları		
6	Test aracına doğru 5 km/s hızla koşan yaya.	Şekil 4.7.
7	Test aracına doğru 11 km/s hızla koşan yaya	Şekil 4.8.
8	Test aracına doğru 14 km/s hızla koşan yaya.	Şekil 4.9.
9	Test aracına doğru 13 km/s hızla koşarken tramvayın sesli uyarısı sonucu yönünü değiştiren yaya.	Şekil 4.10.
Karışık Tip Senaryo		
10	Aynı hat üzerinde durağan bir Hafif Raylı Araç varken iki yayanın tehlikeli şekilde karşıdan karşıya geçmesi.	Şekil 4.11.

Birinci senaryoda, test aracı 20 km/s hızla hat üzerinde ilerlerken hat üzerinde başka bir HRA durağan bir şekilde bulunmaktadır (Şekil 4.2.). Bulunduğu konum itibariyle durağan haldeki araç ile herhangi bir çarpışma riski bulunmamaktadır. Fakat test aracı belirli bir hızla ilerlediği için duran araca yaklaşmaktadır. Bu yüzden tramvay şoförünü uyarmak için ekran üzerinde görüntülü uyarı belirir. Sesli uyarı veya fren aktivasyonu durumu söz konusu değildir. Şekil 4.3’ de görülen ikinci senaryoda ise birinci senaryodan farklı olarak HRA durağan değildir ve test aracına doğru 10 km/s hızla

yaklaşmaktadır. Test aracının da 20 km/s hızla ilerlediği düşünülduğünde araçlar birbirlerine hızlı bir şekilde yaklaşmaktadır. Tramvay kontrol ekranı üzerinde de görüldüğü gibi HRA tehlike bölgesine girmiştir fakat an itibariyle olası bir çarpışma söz konusu değildir. Bu yüzden tramvay kontrol ekranı üzerinde bir uyarı işareti belirir fakat herhangi bir sesli uyarı veya fren aktivasyonuna gerek yoktur. Şekil 4.4.' de görülen üçüncü senaryo, bir önceki senaryonun bir adım sonraki durumudur. 10 km/s hızla hareket eden HRA, test aracına tehlikeli bir şekilde yaklaşmıştır. An itibariyle 2 saniyelik zaman dilimi içerisinde bir çarpışma söz konusu değildir fakat ilerleyen durumda çarpışma olasılığı vardır. İki saniye içerisinde çarpışma ihtimali olmadığı için fren devreye girmez fakat karşıdan gelen aracın uyarılması için sesli uyarı sistemi devreye girmektedir. Bir sonraki senaryo, aynı hatta bulunan ve test aracına doğru 20 km/s hızla yaklaşmakta olan bir HRA durumudur. HRA tehlike bölgesine girmiştir. An itibariyle konumu, yönü ve hızı göz önüne alındığında 2 saniye içerisinde çarpışma ihtimali yüksektir. Görsel ve sesli uyarı sistemi devreye girerken aynı zamanda otomatik fren de devreye girmektedir (Şekil 4.5). Şekil 4.6.' da görülen senaryo, tramvayın sıklıkla karşılaşılabileceği bir senaryodur. Bu senaryoda aynı hat üzerinde ve aynı yönde ilerleyen başka bir HRA bulunmaktadır. HRA' nın tehlike bölgesinde bulunmasına rağmen yönü ve hızı göz önüne alındığında test aracıyla herhangi bir çarpışma riski taşımamaktadır. Bu tarz durumlarda vatmanın uyarılması için tramvay kontrol ekranı üzerinde görsel bir uyarı belirir. Kısa bir zaman içerisinde herhangi bir çarpışma durumu söz konusu olmadığı için sesli uyarı sistemi ve fren aktivasyonu söz konusu değildir.



Şekil 4.2. Test aracıyla aynı hatta bulunan durağan bir HRA



Şekil 4.3. Test aracıyla aynı hatta bulunan ve test aracına doğru 10 km/s hızla yaklaşmakta olan bir HRA.

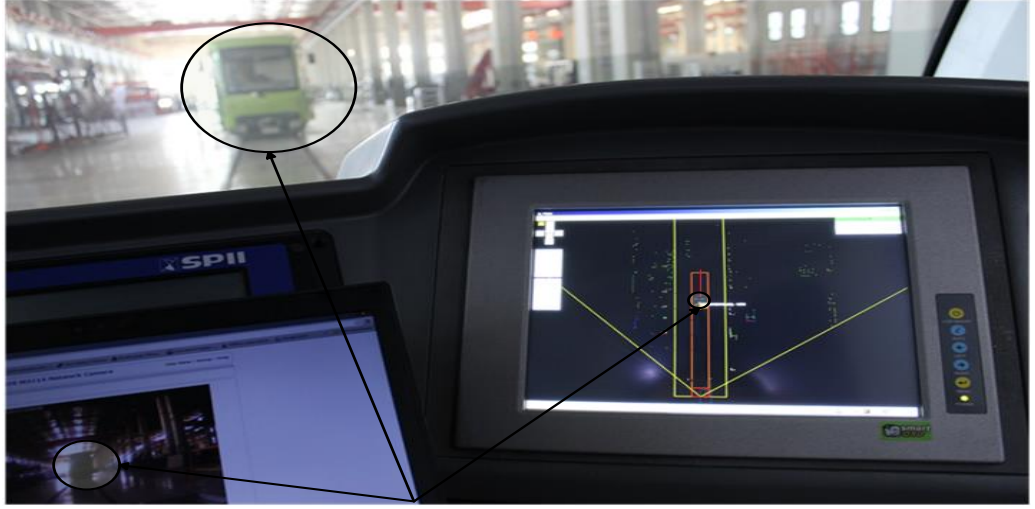


**Şekil 4.4.** Test aracıyla aynı hatta bulunan, 10 km/s hızla test aracına yaklaşmakta olan ve tehlike bölgesine girmiş başka bir HRA.



**Şekil 4.5.** Test aracıyla aynı hatta bulunan ve test aracına doğru 20 km/s hızla yaklaşan başka bir HRA.





Şekil 4.6. Test aracıyla aynı hatta ve aynı yönde 20 km/s hızla ilerleyen başka bir HRA.



Şekil 4.7. Test aracına doğru 5 km/s hızla koşan yaya.



**Şekil 4.8.** Test aracına doğru 11 km/s hızla koşan yaya.



**Şekil 4.9.** Test aracına doğru 14 km/s hızla koşan yaya.



**Şekil 4.10.** HRA' ya doğru 13 km/s hızla koşarken sesli uyarıyla yön değiştiren yaya.



**Şekil 4.11.** Aynı hatta durağan bir HRA bulunurken iki yayanın karşıdan karşıya geçmesi durumu.

Şekil 4.7.' de görülen senaryo, bir yayanın 5 km/s hızla test aracına doğru koşması durumudur. Yaya tehlike bölgesinde olmasına rağmen çarpışma ihtimali çok yüksek değildir. Vatman' ın dikkatli olması için tramvay kontrol ekranında bir görsel uyarı belirir fakat sesli uyarı sistemi an itibariyle devreye girmez. Bir diğer senaryo şekil

4.8.' de görüleceği gibi bir yayanın test aracına doğru 11 km/s hızla koşması durumudur. Yaya tehlikeli bir şekilde yaklaşmakta olduğu için görsel ve sesli uyarı sistemi devreye girmektedir. An itibariyle 2 saniye içerisinde bir çarpışma ihtimali olmadığı için otomatik frenin devreye girmesine gerek yoktur. Şekil 4.9.' da görülen senaryoda ise, yaya test aracına doğru 14 km/s hızla yaklaşmaktadır. Bulunduğu konum, yönü ve hızı göz önüne alındığında iki saniye içerisinde çarpışma ihtimali hayli yüksektir. Bu yüzden sesli uyarı sisteminin yanında otomatik fren sistemi de devreye girer. Şekil 4.10.' da görülen senaryo da ise, bir yaya 13 km/s hızla bir test aracına doğru koşmaktadır. Bulunduğu konum itibariyle tehlike bölgesinde olan yayayla çarpışma ihtimali oldukça yüksektir. Sesli uyarı sistemi devreye girdikten sonra yaya yönünü değiştirmesine rağmen, bulunduğu konum itibariyle hala tehlike barındırmaktadır. Bu yüzden otomatik fren devreye girmektedir.

Şekil 4.11' de görülen senaryo, son senaryo ile önceki senaryoların karıştırılmış bir halidir. Bu senaryoya göre hat üzerinde başka bir HRA durağan şekilde bulunurken iki yaya karşıdan karşıya geçmektedir. HRA bulunduğu konum itibariyle herhangi bir tehlike arz etmemektedir. Yayalar ise tehlikeli bölgede bulunmalarına rağmen yönleri ve hızları açısından çarpışma ihtimali taşımamaktadırlar. Yayalar tehlikeli bölgede oldukları için sesli uyarı sistemi devreye girmekte fakat herhangi bir fren aktivasyonu söz konusu olmamaktadır.

İlk 5 senaryoda ve 7,8 ve 9' uncu senaryolarda nesne tanıma ve nesne sınıflandırma algoritmaları herhangi bir hatalı ölçüm yapmadan çalışmış ve ÇES görüntülü, sesli ve otomatik fren aktivasyonlarını yüksek güvenilirlik oranında yapmıştır.

Şekil 4.7.' de 5 km/s hızla araca doğru koşmakta olan yaya nesne tanıma algoritmasının tarafından doğru tanınmış fakat nesne sınıflandırma algoritması tarafından doğru tanımlanamamıştır. Çünkü yaya hareketine birden başlamış ve yavaş bir şekilde hareketine devam etmiştir. Sınıflandırma algoritması zamanla daha iyi sonuç veren bir algoritma olduğu için birkaç saniye sonra nesneyi yaya olarak algılamıştır. Şekil 4.11. ile gösterilen senaryoda ise, iki yaya birbirlerine çok yaklaştıkları zaman sınıflandırma algoritması bu iki yayayı ayırt edememiştir.

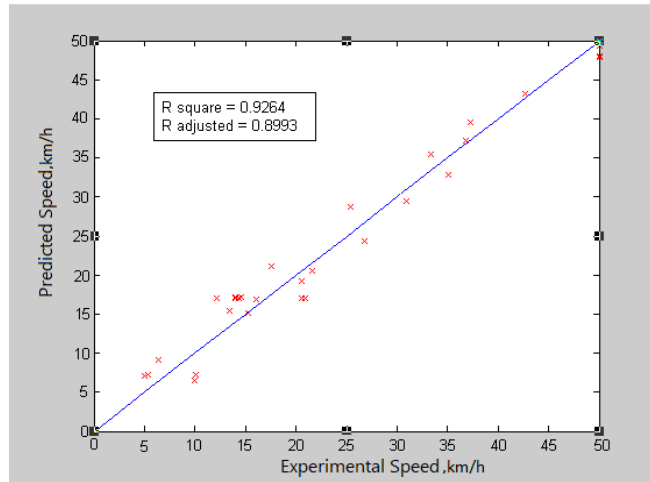
Bu iki senaryoda hatalı nesne sınıflandırması yapılmasına rağmen ÇES aktivasyonlarını doğru bir şekilde yapmıştır çünkü nesne tanıma algoritmaları nesnelere doğru bir şekilde algılamıştır.

## 4.2. Uygun Hız Kontrol Ünitesi

Uygun Hız Kontrol Ünitesi iki farklı algorithmadan oluşmaktadır. Bu algoritmalarından ilki, tramvay hattı için önceden belirlenmiş değerlere ve sensörler tarafından alınan verilere göre en uygun hızı hesaplayan BPNN algoritmasıdır. İkinci algoritma ise, belirlenen en uygun hızı kontrol eden BMK algoritmasıdır.

### 4.2.1. Uygun Hız Belirleme Algoritması Sonuçları

T1 tramvay hattında, çeşitli zaman ve hava koşullarında 80 adet tur atılmış ve veriler kaydedilmiştir. Bu 80 turdan 50 turun sonucunda elde edilen veriler BPNN algoritmasının eğitilmesi için kullanılırken 30 tur sonucu elde edilen veriler ile deneme yapılmıştır. Tasarlanan sistem için R-kare testi sonucu Şekil 4.13’ de görüldüğü gibi 0.9264 çıkmıştır.



Şekil 4.13. BPNN Sonuçları

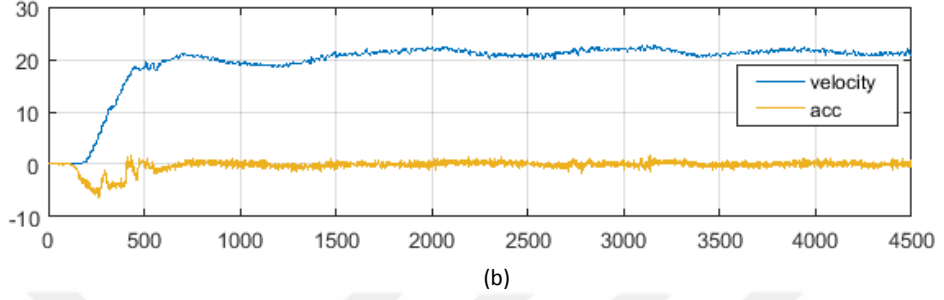
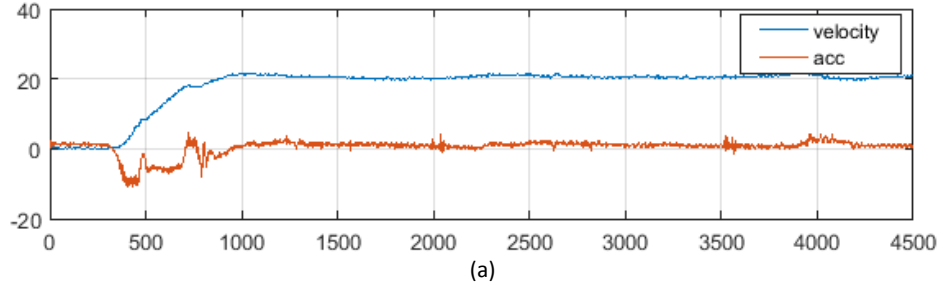
Trafik koşullarının lineer olmayan durumu düşünülduğünde elde edilen bu değer tatmin edici bir sonuçtur. Bu değer bu kadar tatmin edici çıkmasının sebebi ise, tramvayların trafikte önceliği olan araçlar olmasından ve tramvaylarda yanal hareketin olmamasından kaynaklanmaktadır.

#### **4.2.2. Hız Kontrol Algoritması Sonuçları**

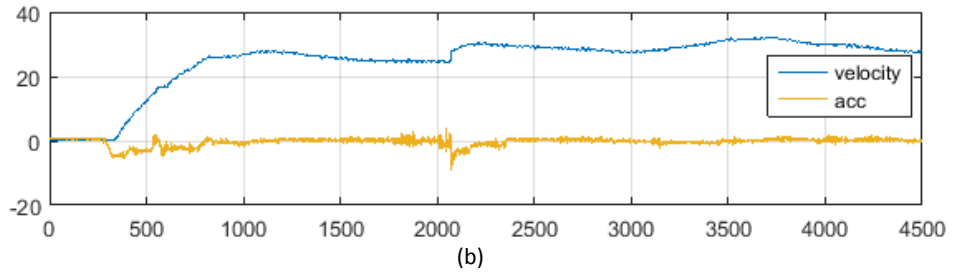
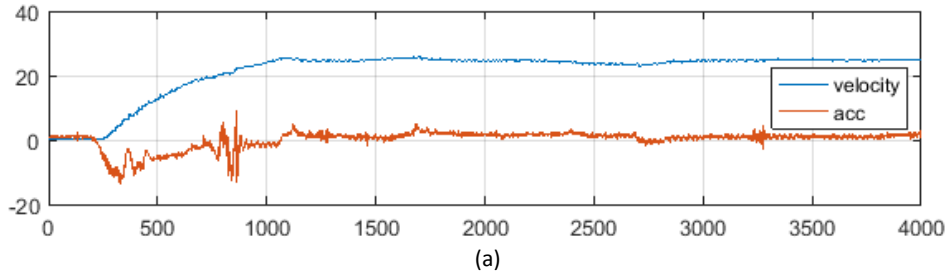
Tasarlanan BMK' nın davranışını kontrol etmek için çeşitli sürüş denemeleri yapılmıştır. Öncelikle Vatman normal trafik şartlarında tramvayla T1 tramvay hattında turlar atmıştır. Bu turlar esnasında elde edilen veriler tasarlanan algoritmaya uygulanmış ve Vatman ile BMK karşılaştırılmıştır. Bu deneylerin temel amacı UHKÜ' nin alt sistemleri olan BMK ve BPNN algoritmalarının davranışlarını izlemektir.

Tasarlanan UHKÜ ile vatmanın sürüş şekillerinin karşılaştırılması için öncelikle 4 farklı hız için değerler alınmıştır (Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18). Bu hızların haricinde tasarlanan sistemin 0-30-50 km/s hızlar arasındaki geçişi için de bir deneme yapılmıştır (Şekil 4.19.).

Vatman ile sistemin farklılıkları ve bu farklılıkların nedenleriyle ilgili detaylar tartışma kısmında verilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere tasarlanan sistem için hız kontrol algoritması birbirine çok yakın çalışmaktadır.

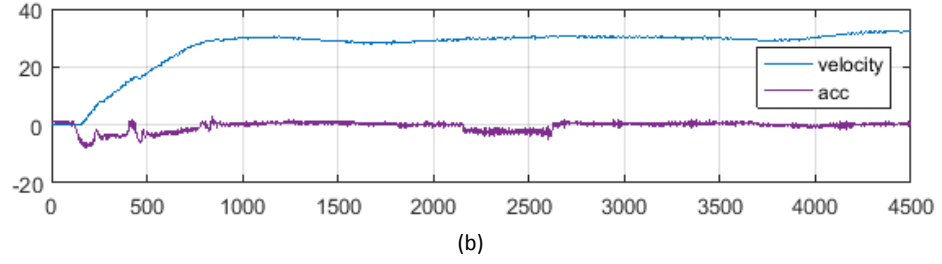
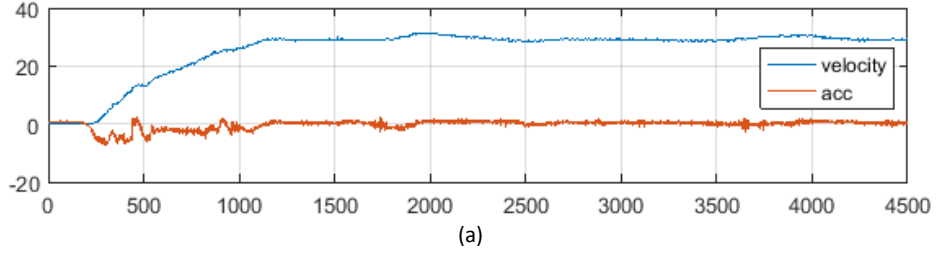


Şekil 4.15. 0-20 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b) UHKÜ sürüşü

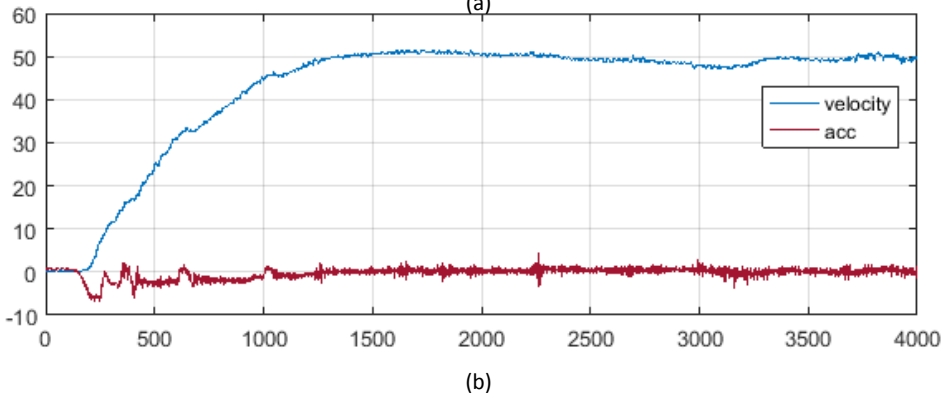
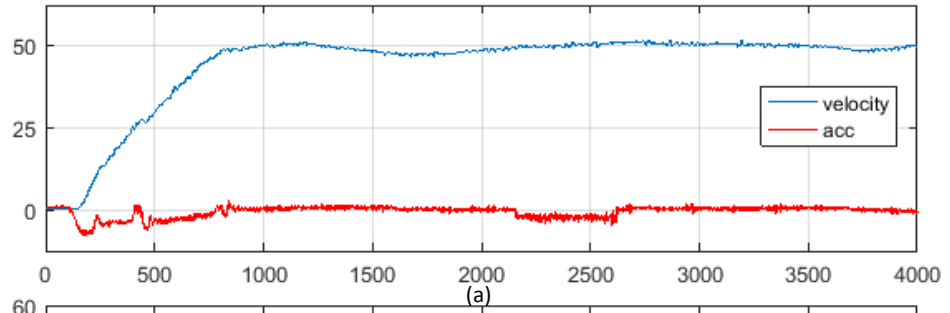


Şekil 4.16. 0-25 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b) UHKÜ sürüşü



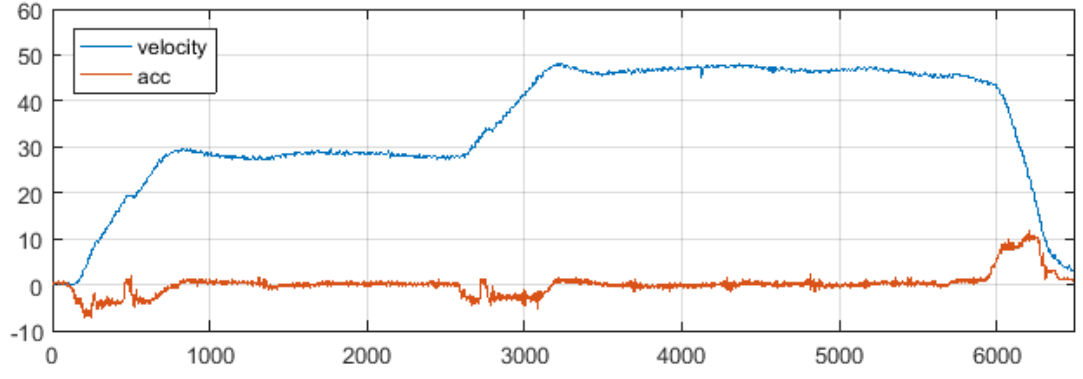


Şekil 4.17. 0-30 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b) UHKÜ sürüşü



Şekil 4.18. 0-50 km/s hıza çıkış (a) Vatman sürüşü (b) UHKÜ sürüşü





Şekil 4.19. 0-30-50 km/s hız geçişleri için UHKÜ çıkışı.



## 5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, tramvayların daha güvenli ve otonom bir şekilde kontrol edilebilmesi için bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem birbirinden tamamen bağımsız fakat uyumlu bir şekilde çalışan iki alt sistemden oluşmaktadır.

Bu alt sistemlerden ilki, lazer tarayıcı sensör tabanlı ÇES' dür. ÇES üç tane alt modülden oluşmaktadır. Birinci alt modül "Sensör Modülü" olup, en son teknolojiye sahip SICK LD-MRS Lazer Tarayıcı sensörün bulunduğu modüldür. İkinci alt modül ise "Nesne Belirleme ve İzleme" diye adlandırılan ve tramvay rotası üzerindeki nesnelerin algılandığı ve takip edildiği modüldür. Üçüncü alt modül ise, algılanan ve bir sonraki hareketleri takip edilen nesnelerin oluşturduğu potansiyel tehlikenin hesaplandığı ve bu potansiyel tehlikeyi bertaraf etmek için fren mekanizmasının devreye alındığı "Risk Değerlendirme ve Aktivasyon" modülüdür. Tasarlanan ÇES sistemi, Durmazlar Makine A.Ş. tarafından üretilmiş "İpekböceği" isimli tramvaya uygulanmış ve Durmazlar Makine A.Ş. nin, Bursa ilindeki altyapılarında bazı başlangıç testleri yapılmıştır.

Normal trafik koşullarında bir tramvayın en çok karşılaşacağı nesnelere başka bir araç ve yayalardır. Bu yüzden yapılan bu testlerde, başka bir HRA ve yayaların olduğu senaryolar üzerinde durulmuştur. Üç temel test senaryosu uygulanmıştır. Birinci test senaryosu, test aracı ile aynı hat üzerinde bulunan bir diğer HRA' nın bulunması durumu, ikinci test senaryosu test aracıyla aynı hatta ve doğrultuda yaya bulunması durumu ve son olarak da hem HRA hem de yayaların aynı anda bulunması durumudur. Bu testlerin sonucunda "Nesne Belirleme ve İzleme" algoritması hızlı hareket eden ve aniden yönünü değiştiren nesnelere ve 6 km/s hızdan daha yüksek hızda koşan yayaları çok iyi bir şekilde algıladığı ve ayırt ettiği görülmüştür. Tasarlanan sistemin uyarı kısmı, vatman için görsel uyarı- yaya ve diğer araçlar için sesli uyarı- otomatik fren aktivasyonu, olmak üzere üç farklı bölümden oluştuğu için sistemin çarpışma önleme oranı çok yüksek çıkmıştır. Çizelge 4.2.' de gösterilen 10 farklı senaryonun hepsinde nesne algılanmış ve sistem algılanan nesneye göre çıkış vermiştir. Fakat "Sınıflandırma" algoritması iki durumda hatalı sonuç vermiştir. Bu hatalı durumlar;

1. Aniden harekete geçen ve yavaş bir şekilde hareketine devam eden yaya (Çizelge 4.2. Senaryo 6)
2. İki yayanın birbirine çok yakın bir şekilde hareket etmesi (Çizelge 4.2. Senaryo 10)

Tasarlanan ÇES için henüz kalifikasyon süreçleri tamamlanmadığı için, şehir içi test sürüşleri yapılamamıştır. Bu yüzden testler kapalı test alanında yapılan testlerle sınırlı kalmış ve çeşitli hava koşullarında sistemin tepkisi ölçülememiştir. Fakat sadece Lazer Tarayıcı sensör kullanılarak Tramvaylar üzerinde yapılan ilk çarpışma engelleme çalışması olmasından dolayı önem arz etmektedir.

Tasarlanan alt sistemlerden ikincisi, çevreden alınan verilere göre gidilmesi gereken uygun hızın hesaplandığı ve hesaplanan hızın kontrol edildiği UHKÜ' dür. UHKÜ, uygun hızın hesaplandığı UHBA ve belirlenen en uygun hızın kontrol edildiği HKA olmak üzere iki farklı algoritmadan oluşmuştur. UHBA, bir yapay sinir ağı algoritması kullanarak en uygun hızı tahmin eden algoritmadır. UHBA tarafından belirlenen hız, bulanık mantık kontrolcü tabanlı HKA' ya bir giriş olarak verilir. HKA' nın çıkışları olan gaz ve fren sayesinde istenilen hız kontrol edilmiştir.

UHKÜ tasarlanırken dikkat edilen bir diğer etken konfor limitidir. Tramvay yolculuğu esnasında hız geçişleri yapılırken, yolcuların konforları bozulmamasına dikkat edilmelidir. "İpekböceği" tramvayında iki farklı fren sistemi vardır. Bunlar Mekanik Fren Sistemi ve Manyetik Fren Sistemidir. Mekanik fren sistemi tramvayın hızının düşürülmesi ve tamamen durdurulması için kullanılan fren sistemidir. UHKÜ, yolculuk esnasındaki hız kontrolünü yaparken hızın artırılması için gaz sistemini kullanırken aracın hızının azaltılması veya durdurulmasının istendiği durumlarda mekanik fren sistemini kullanır. Manyetik fren sistemi ise olası bir çarpışma durumu gibi acil durumlarda kullanılan fren sistemidir. Eğer herhangi bir zaman diliminde olası bir çarpışma ihtimali oluşursa ÇES manyetik fren sistemini devreye alır ve UHKÜ devre dışı kalır. UHKÜ için hızlanma ve yavaşlama ivme sınırları tasarımı  $2 \text{ m/s}^2$  konfor limitinin altında kalacak şekilde tasarlanmıştır fakat ÇES devreye girdiği zaman güvenlik sebeplerinden dolayı, yavaşlama ivmesi  $2.8 \text{ m/s}^2$  olacak şekilde bırakılmıştır.

UHKÜ için hızın belirlendiği yapay sinir ağı algoritması MATLAB programı kullanılarak modellenmiştir. YSA' nın eğitimi ve denemesi için gerekli veriler tramvayın vatman tarafından normal sürüşleri esnasında alınmıştır. Bu veriler ile eğitilen verilerin R-kare testi 92.64 çıkmıştır. Normal trafik koşulları düşünüldüğünde bu değer gayet iyi bir değerdir. Değerin bu kadar yüksek çıkmasının iki temel sebebi vardır. Birincisi tramvaylar trafik esnasında öncelikli araçlardır ve diğer araçlardan yol üstünlüğüne sahiptir. İkincisi ise tramvaylar raylar üzerinde hareket ettiğinden dolayı yanal bir hareket söz konusu değildir.

Belirlenen en uygun hızın kontrolünü yapan bulanık mantık algoritması için sonuçlar ise Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19' da görüldüğü gibidir. Bu şekillerde, aynı şartlar altında BMK' nın ve Vatmanın sürüş performansları karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.15.' de test aracı 0' dan 20 km/s hıza çıkıp 35 saniye boyunca bu hızda sabit hareket ettirilmiştir. Bu hız nispeten düşük bir hız olduğu için, düşük hızlardaki ve düşük viteslerdeki güç fazlalığından dolayı vatmanın sürüş deneyimi, UHKÜ' den daha doğrusal bir şekilde olmuştur. Benzer bir durum Şekil 4.16.' da kendini göstermiştir. Bu testte ise aracın hızı 25 km/s' dir ve bu hız aracın 1. vitesten 2. vitese geçme aralığında bir hız olduğu için UHKÜ, vatman kadar doğrusal bir hareket yakalayamamıştır. Aracın torkunun en yüksek olduğu bölge 1. Vitesteki durumudur. Dolayısıyla, özellikle 20 saniye civarlarında araç vites değiştirmesi sonucu güç ayarlaması düzgün yapılamamıştır. Her ne kadar bu iki hız değerinde UHKÜ vatman kadar iyi bir performans sağlayamamış olsa da, sürüş olarak çok kötü bir durumdan söz edilemez ve tolere edilebilecek sınırlar içerisinde.

Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.' de görüleceği üzere, 30 km/s ve 50 km/s hızlar için yapılan testlerde UHKÜ vatmandan daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu hızlar tam olarak vites değişim aralığında değildir ve sabit hızla giderken gücün ayarı UHKÜ tarafından çok iyi bir şekilde yapılmıştır.

Şekil 4.19. ile gösterilen test ise aracın ilk önce 30 km/s hıza ulaşması, daha sonra da 50 km/s hıza ulaşip sabit gitmesi durumudur. UHKÜ' nün bu test performansı da yine çok iyi çıkmıştır.

İpekböceği tramvayı için maksimum hız 50 km/s olmakla birlikte daha yüksek hızlar için denemeler yapılmamıştır. Bu hızın ve bu hızın altındaki hızlarda BMK' nın performansı vatmanın performansına çok yakın çıktığı görölmüştür.



## KAYNAKLAR

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 Revision, New York, USA, 2015. Available Online: [http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)
- [2] European Union Agency for Railways. Railway Safety Performance in the European Union, 2016.
- [3] “Global status report on road safety 2013: Supporting a decade of action,” World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 2013
- [4] M. Peden, “World report on road traffic injury prevention: Summary,” World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 2004.
- [5] “Decade of action for road safety 2011–2020: Global launch,” World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland. [Online]. Available: [http://www.who.int/roadsafety/publication/decade\\_launch](http://www.who.int/roadsafety/publication/decade_launch)
- [6] ANCAP, “South-East Asian crash test program commences,” ed, 2012
- [7] O. Gietelink, “Design and validation of advanced driver assistance systems,” Ph.D. dissertation, Technical Univ. Delft, Delft, The Netherlands, 2007.
- [8] Mukhtar, A., Xia, L., & Tang, T. B. (2015). Vehicle detection techniques for collision avoidance systems: A review. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16(5), 2318-2338.
- [9] Research News: “Key” Technologies for Preventing Crashes, vol. 2, Thatcham, Ed. 10 ed. Berkshire, U.K., 2013.

- [10] C. Jensen, "Volvo Crash Prevention System Receives High Marks From Insurance Institute," in *Automobiles*, ed. New York, NY, USA: The New York Times, 2011.
- [11] "Volvo Car Group introduces world-first Cyclist Detection with full auto brake," in *Global Newsroom*, ed. Gothenburg, Sweden: Volvo Car Group, 2013.
- [12] Gidel, S.; Checchin, P.; Blanc, C.; Chateau, T.; Trassoudaine, L. Pedestrian detection and tracking in an urban environment using a multilayer laser scanner. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Sept. 2010., vol. 11, no. 3, pp. 579-588.
- [13] Jiménez, F.; Naranjo, J. E. Improving the obstacle detection and identification algorithms of a laserscanner-based collision avoidance system. *Transportation Res. Part C, Emerg. Technol.*, Nov. 2010., vol. 19, no. 4, pp. 658-672.
- [14] Fuerstenberg, K. C.; Linzmeier, D. T.; Dietmayer, K. C. J. Pedestrian recognition and tracking of vehicles using a vehicle based multilayer laserscanner. *Proc. 10th World Congr. Intell. Transp. Syst.*, Madrid, Spain, 2003, pp. 1-12.
- [15] Fuerstenberg, K. Ch.; Dietmayer, K.C.J.; Eisenlauer, S. Willhoeft, V.; Multilayer laserscanner for robust object tracking and classification in urban traffic scenes. *Proc. 9th World Congr. Intell. Transp. Syst.*, Chicago, 2002, pp. 7-16.
- [16] Guivant, J.; Nebot, E.; Baiker, S. Autonomous navigation and map building using laser range sensors in outdoor applications. *Journal of Robotic Syst.*, Oct. 2000, vol. 17, no. 10, pp. 565-583,.
- [17] Polychronopoulos, A.; Tsogas, M.; Amditis, J.A.; Andreone, L. Sensor fusion for predicting vehicles' path for collision avoidance systems. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Sept. 2007, vol. 8, no. 3, pp. 549-562.

- [18] Le Beux S.; Gagné, V.; Aboulhamid, E.M.; Marquet, P.; Dekeyser, J.L. Hardware/software exploration for an anti-collision radar system. IEEE 49th International Midwest Symp. on Circ. and Syst., San Juan, PuertoRico, Aug. 2006, pp. 385-389.
- [19] Pierowicz, J.; Jocoy, P.; Lloyd, M.; Bittner, A.; Pirson, B. Intersection collision avoidance using ITS counter measures task 9: final report. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, Tech. Rep. NHTSA Rev 1: Sept. 2000.
- [20] Abou-Jaoude, R. ACC radar sensor technology, test requirement and test solution. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. Jan. 2004, Vol.4, no.3, pp. 115–122.
- [21] Caraffi, C.; Cattani, S.; Grisleri P. Off-road path and obstacle detection using decision networks and stereo vision. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. Dec. 2007, Vol. 8, no. 4, pp.607–618.
- [22] Broggi, A.; Caraffi, C.; Fedriga, R.I.; Grisleri, P. Obstacle detection with stereo vision for off-road vehicle navigation. Proc. of the Int. IEEE Workshop Machine Vision for Intell. Veh., San Diego, Jun. 2005, pp.65,.
- [23] Elzein, H.; Lakshmanan, S.; Watta, P. A motion and shape-based pedestrian detection algorithm. Proc. of IEEE Intell. Veh. Symp., June 2003, vol. 22, pp. 500–504.
- [24] Ball, D.; Upcroft, B.; Wyeth, G.; Corke, P. Vision based Obstacle Detection and Navigation for an Agricultural Robot. Journal of Field Robotics, Oct. 2015, vol. 33, no. 8, pp. 1107-1130.
- [25] Gavrilu, D. M.; Kunert, M.; Lages, U. A multi-sensor approach for the protection of vulnerable traffic participants – the PROTECTOR project. IEEE Instrumentation and Measurement Techn. Conf., vol. 3, Budapest, Hungary, May. 2001, pp. 2044–2048,.



- [26] Garcia, F.; Ponz, A.; Martin, D.; De la Escalera, A.; Armingol, J. M. Computer vision and laser scanner road environment perception” in IEEE systems, signals and image processing (IWSSIP) proc., May 2014, pp. 63-66.
- [27] Kim, S.; Kim, H.; Yoo, W.; Huh, K. Sensor Fusion Algorithm Design in Detecting Vehicles Using Laser Scanner and Stereo Vision. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., Apr. 2016, vol. 17, no. 4, pp. 1072-1084.
- [28] García, F.; García, J.; Ponz, A.; De la Escalera, A.; Armingol, J. M. Context aided pedestrian detection for danger estimation based on laser scanner and computer vision. Expert Systems with Applications, Nov. 2014, vol. 41, no. 15, pp. 6646–6661.
- [29] Fuerstenberg, K.Ch.; Roessler B. Results of the EC project INTERSAFE. 12th International Conference on Advanced Microsystems for Automotive Applications, Berlin, Germany, Mar. 2008, pp. 91-102,.
- [30] Chen, X.; Ren, W.; Liu, M.; Jin, L.; Bai, Y. An Obstacle Detection System for a Mobile Robot Based on Radar-Vision Fusion. Proc. of the 4th Int. Conf. Comp. Eng. and Networks, 2015, vol. 355, pp. 677-685.
- [31] Hermann, D.; Galeazzi, R.; Andersen, J. C.; Blanke, M. Smart Sensor Based Obstacle Detection for High-Speed Unmanned Surface Vehicle. 10th IFAC Conf. on Manoeuvring and Cont. of Marine Craft (MCMC), Copenhagen, Denmark, Aug. 2015, vol. 48, no. 16, pp. 190-197.
- [32] Tokoro, S.; Moriizumi, M.; Kawasaki, T.; Nagao, T.; Abe, K.; Fujita, K. Sensor fusion system for pre-crash safety system. IEEE Intell. Veh. Symp., University of Parma, Parma, Italy, Jun. 2004, pp. 945-950.
- [33] Floudas, N.; Polychronopoulos, A.; Aycard, O.; Burlet, J.; Ahrholdt, M. High level sensor data fusion approaches for object recognition in road environment. Proc. of the 2007 IEEE Intell. Veh. Symp., Istanbul, Turkey, Jun. 2007, pp. 136-141.

- [34] Fuerstenberg, K.Ch.; Baraud, P.; Caporaletti, G.; Citelli, S.; Eitan, Z.; Lages, U.; Lavergne, C. Development of a pre-crash sensorial system – the CHAMELEON project. Proc. of Joint VDI/VW Congr. Veh. Concepts for the 2nd Century of Autom. Techn., Wolfsburg, Germany, Nov. 2001, pp. 289-310.
- [35] Wender, S.; Weiss, T.; Fuerstenberg, K. Ch.; Dietmayer, K. Object classification exploiting high level maps of intersections. Advanced microsystems for automotive applications, Berlin, Germany, 2006, pp. 187–203,.
- [36] Huang, M. C.; Yen, S. H. A real-time and color-based computer vision for traffic monitoring system. IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME), Jun. 2004, vol. 3, pp. 2119-2122.
- [37] Zielke, T.; Brauckmann, M.; Vonseelen, W. Intensity and edge-based symmetry detection with an application to car-following. CVGIP, Image Underst., Sep. 1993, vol. 58, no. 2, pp. 177–190.
- [38] Tzomakas, C.; Von Seelen, W. Vehicle detection in traffic scenes using shadows. Inst. Neuro informatik, Ruht Univ.,Bochum, Germany, 1998, Tech.Rep. 98–06.
- [39] Bertozzi, M.; Broggi, A.; Fascioli, A.; Nichele, S.; Stereo Vision-based Vehicle Detection. Proc. of the IEEE Intell. Veh. Symp., Dearbon (MI), USA, Oct. 2000, pp. 39-44.
- [40] Lefaix, G.; Marchand, T.; Bouthemy, P. Motion-based obstacle detection and tracking for car driving assistance. IEEE Pattern Recognition, 2002. Proc. 16th Int. Conf. on, Aug. 2002, vol. 4, pp. 74-77.
- [41] Rasshofer, R. H.; Naab, K. 77 GHz long range radar systems status, ongoing developments and future challenges. IEEE Proc. eur. radar conf., Oct. 2005, pp. 161–164.

- [42] Klotz, M.; Rohling, H. A 24 GHz short range radar network for automotive applications. IEEE Radar CIE International Conference on, Proc., Oct. 2001, pp. 115-119.
- [43] C. Blanc, R. Aufrere, L. Malaterre, J. Gallice, and J. Alizon, "Obstacle detection and tracking by millimeter wave radar," in Proc. IEEE Symp. IAV, Lisboa, Portugal, 2004, pp. 1–6. [Online]. Available: <http://christophe-blanc.info/fics/iav2004/iav04blanc.pdf>
- [44] S. Xuan, Z. Zheng, Z. Chenglin, and Z. Weixia, "A compressed sensing radar detection scheme for closing vehicle detection," in Proc. IEEE ICC, 2012, pp. 6371–6375.
- [45] Scharenbroch, G. Safety vehicles using adaptive interface technology (SAVE-IT) (Task 10): Technology review. Delphi electronics and safety systems Tech. Rep., 2005. Available Online: [http://www.volpe.dot.gov/opsad/saveit/docs/dec04/finalrep\\_10.pdf](http://www.volpe.dot.gov/opsad/saveit/docs/dec04/finalrep_10.pdf)
- [46] Swartz, J.; Harrison, S. A.; Barkan, E.; Delfine, F.; Brown, G. Portable laser scanning arrangement for and method of evaluating and validating bar code symbols. U.S. Patent No. 4,251,798, Feb.17, 1981.
- [47] Heinemann, T., Becker, S. Axial Fan Blade Vibration Assessment under Inlet Cross-Flow Conditions Using Laser Scanning Vibrometry. Applied Sciences. 2017, volume 7, no 8, 862.
- [48] S. Velupillai and L. Guvenc, "Laser scanners for driver-assistance systems in intelligent vehicles [Applications of Control]," IEEE Control Syst., vol. 29, no. 2, pp. 17–19, Apr. 2009
- [49] F. Nashashibi and A. Bargeton, "Laser-based vehicles tracking and classification using occlusion reasoning and confidence estimation," in Proc. IEEE Intell. Veh. Symp., 2008, pp. 847–852.

- [50] J. P. Laumond, ed., "Robot Motion Planning and Control", vol. 229. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [51] S. E. Shladover, "Review of the state of development of advanced vehicle control systems (avcs)," *Vehicle System Dynamics*, vol. 24, pp. 551–595, 1995.
- [52] S. Zhao, Y. Li, L. Zheng, and S. Lu, "Vehicle lateral stability control based on sliding mode control," in *Proc. IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 18–21 Aug. 2007, pp. 638–642.
- [53] L. Xiao and F. Gao. A Comprehensive Review of the Development of Adaptive Cruise Control Systems. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 48(10):1167–1192, 2010.
- [54] L. Nouvelière and S. Mammar. Experimental Vehicle Longitudinal Control Using a Second Order Sliding Mode Technique. *Control Engineering Practice*, 15:943–954, 2007.
- [55] E. M. Lim. Lateral and Longitudinal Vehicle Control Coupling in the Automated Highway System. Master's thesis, University of California at Berkeley, 1998.
- [56] P. Shakouri, A. Ordys, M. Askari, and D. S. Laila. Longitudinal Vehicle Dynamics Using Matlab/Simulink. In *UKACC International Conference on Control*, Coventry, UK, 2010.
- [57] K. ElMajdoub, F. Giri, H. Ouadi, L. Dugard, and F.Z. Chaoui. Vehicle Longitudinal Modeling for Nonlinear Control. *Control Engineering Practice*, 20:69–81, 2012.
- [58] L. Menhour, B. d'Andréa Novel, C. Boussard, M. Fliess, and H. Mounier. Algebraic Nonlinear Estimation and Flatness-based Lateral/Longitudinal

Control for Automotive Vehicles. In International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'11), Washington, DC, USA, 2011.

- [59] L. Nehaoua and L. Nouvelière. Backstepping Based Approach for the Combined Longitudinal-Lateral Vehicle Control. In IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV'12), Alcalá de Henares, Spain, 2012.
- [60] Lusetti B., Nouveliere L., Glaser S., Mammar S. Experimental Strategy for A System Based Curve Warning System for A Safe Governed Speed of A Vehicle. Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium; Eindhoven, The Netherlands. June 2008; pp. 660–665.
- [61] Van Nes N., Houtenbos M., Van Schagen I. Improving Speed Behaviour: the Potential of In-Car Speed Assistance and Speed Limit Credibility. IET Intell. Transp. Syst. 2008;2:323–330.
- [62] Milanés V., Onieva E., Pérez J., de Pedro T., González C. Control de Velocidad Adaptativo para Entornos Urbanos Congestionados. Rev. Iberoam. Automát. Informát. Ind. 2009;6:66–73.
- [63] M. A. Denai, F. Palis, and A. Zeghib, "Modeling and control of non-linear systems using soft computing techniques," Applied Soft Computing Journal, vol. 7, pp. 728-738, 2007.
- [64] J.-S. R. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- [65] R. Babuska and H. Verbruggen, "Neuro-fuzzy methods for nonlinear system identification," Annual Reviews in Control, vol. 27, pp. 73-85, 2003.
- [66] H. Chen, "Fuel Injection Control and Simulation of EFI Engine Based on ANFIS," in Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2008 International Conference on, 2008, pp. 191-194.

- [67] R. Vatankhah, M. Rahaeifard, A. Alasty, "Vibration control of vehicle suspension system using adaptive critic-based neurofuzzy controller", 6th International Symposium on Mechatronics and its Applications, ISMA 2009.
- [68] Bechtel, C. Compendium of Executive Summaries from the Maglev System Concept Definition Final Reports; Final Rep. NO. A315823; U.S. Department of Transportation: San Francisco, CA, USA, 1993.
- [69] Eskandarian, A. (Ed.). (2012). Handbook of intelligent vehicles. Springer.
- [70] Rendon, E. (1995). U.S. Patent No. 5,416,476. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [71] Son, J., Yoo, H., Kim, S., & Sohn, K. (2015). Real-time illumination invariant lane detection for lane departure warning system. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 1816-1824.
- [72] Harris, D., & Smith, F. J. (2017). College of Aeronautics, Cranfield University, UK\* Rank Xerox Research Centre, Cambridge, UK. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Volume 1: Transportation Systems*, 339.
- [73] <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2918.pdf> (erişim tarihi 01.06.2018)
- [74] EN15227, B. S. (2008). A1: 2010. Railway applications-Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies.
- [75] DeLurgio S.A., 1998. *Forecasting Principles and Applications*, Irwin McGraw Hill, Boston.
- [76] Qi M., 2001. Predicting US recessions with leading indicators via neural network models, *International Journal of Forecasting*, 17, 383-401.

- [77] Smith K. and Gupta J., 2001. *Neural Networks in Business: Techniques and Applications*, Idea Group Publishing, Hershey.
- [78] Gately, E., 1996. *Neural Networks for Financial Forecasting*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [79] Tcaz G., 2001., *Neural Network Forecasting of Canadian GDP Growth*, *International Journal of Forecasting*, 17, 57-69.
- [80] Hecht-Nielsen, R. *Neurocomputing*. (1990). Addison-Wesley, Reading, MA
- [81] Schalkoff, R. J. (1997). *Artificial Neural Networks*. McGraw-Hill, New York.
- [82] Jain, A. K., Mao, J. and Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, (3), 31-44
- [83] Ripley, B. D., 2007, *Pattern recognition and neural networks*, Cambridge University Press, UK.
- [84] Destexhe, A, and Sejnowski, T. J., 1995, G protein activation kinetics and spillover of gamma-aminobutyric acid may account for differences between inhibitory responses in the hippocampus and thalamus, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(21), 9515-9519.
- [85] Jain, A. K., Mao, J. and Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, (3), 31-44
- [86] Lingireddy, S., & Brion, G. M. (Eds.). (2005). *Artificial neural networks in water supply engineering*. ASCE Publications.
- [87] Masters, T., 1993. *Practical neural network recipes in C++*, Academic Press, Inc.

- [88] Larose, D. T. (2005). Discovering knowledge in data: an introduction to data mining. Statistics (Vol. 1st). <https://doi.org/10.1016/j.cll.2007.10.008>
- [89] Gries, D., & Schneider, F. B. (2008). Fundamentals of the New Artificial Intelligence. Texts in Computer Science. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-839-5>
- [90] Zhang G. P., Patuwo B. E. and Hu, M., Y., 1998. Forecasting with artificial neural networks: The state of the art, International Journal of Forecasting, 14, 35-62.
- [91] Lavine, B. K., & Blank, T. R. (2009). 3.18 - Feed-Forward Neural Networks. Comprehensive Chemometrics, 571–586. <https://doi.org/10.1016/B978-044452701-1.00026-0>
- [92] Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy sets. In Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A Zadeh (pp. 394-432).
- [93] Klir, G., & Yuan, B. (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic (Vol. 4). New Jersey: Prentice hall
- [94] Van Leekwijck, W., & Kerre, E. E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. Fuzzy sets and systems, 108(2), 159-178.
- [95] Mamdani, E. H. (1974). Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant. In Proc IEEE, 121-159.
- [96] Sugeno, M., and Kang, G.T. (1988). Structure identification of fuzzy model, Journal of Fuzzy sets and systems, 28(1), Pages 15–33
- [97] Mavaei, S.M.; Imanzadeh, R.H. Line Segmentation and SLAM for rescue robots in unknown environments. World Appl. Sci. J. 2012, 17, 1627–1635.



- [98] Yang, S.W.; Wang, C.C.; Chang, C.H. Ransac matching: Simultaneous registration and segmentation. In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), Anchorage, AK, USA, 3–7 May 2010; pp. 1905–1912.
- [99] Premebida, C.; Nunes, U. Segmentation and Geometric Primitives Extraction from 2D Laser Range Data for Mobile Robot Applications; Technical Report No ISRLM2005/02; Institute of Systems and Robotics: Coimbra, Portugal, 2005.
- [100] Dietmayer, K.; Sparbert, J.; Streller, D. Model based object classification and object tracking in traffic scenes from range images. In Proceedings of the IV IEEE Intelligent Vehicles Sysposium, Tokyo, Japan, 13–17 May 2001.
- [101] Lee, K.J. Reactive Navigation for an Outdoor Autonomous Vehicle. Master's Thesis, University of Sydney, Sydney, Australia, 2001.
- [102] Borges, G.A.; Aldon, M. Line extraction in 2D range images for mobile robotics. *Robot. Syst.* 2004, 40, 267–297.
- [103] An, S.Y.; Kang, J.G.; Lee, L.K.; Oh, S.Y. Line segment-based indoor mapping with salient line feature extraction. *Adv. Robot.* 2012, 26, 437–460.
- [104] Jimenez, F.; Naranjo, J.E. Improving the obstacle detection and identification algorithms of a laserscanner-based collision avoidance. *Transp. Res. Part C* 2011, 19, 658–672.
- [105] Petrovskaya, A., & Thrun, S. (2009, May). Model based vehicle tracking in urban environments. In IEEE International Conference on Robotics and Automation, Workshop on Safe Navigation (Vol. 1, pp. 1-8).
- [106] Ogawa, T., Sakai, H., Suzuki, Y., Takagi, K., & Morikawa, K. (2011, June). Pedestrian detection and tracking using in-vehicle lidar for automotive

- application. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE* (pp. 734-739). IEEE.
- [107] Aycard, O. (2010). *Contribution to perception for intelligent vehicles* (Doctoral dissertation, Université de Grenoble).
- [108] Zhao, L., & Thorpe, C. (1998, June). Qualitative and quantitative car tracking from a range image sequence. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1998. Proceedings. 1998 IEEE Computer Society Conference on* (pp. 496-501). IEEE.
- [109] Burke, M. G. (2010). Laser-based target tracking using principal component descriptors.
- [110] Sparbert, J., Dietmayer, K., & Streller, D. (2001). Lane detection and street type classification using laser range images. In *Intelligent Transportation Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE* (pp. 454-459). IEEE.
- [111] Mendes, A., Bento, L. C., & Nunes, U. (2004, June). Multi-target detection and tracking with a laser scanner. In *Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE* (pp. 796-801). IEEE.
- [112] Premebida, C., & Nunes, U. (2006, September). A multi-target tracking and GMM-classifier for intelligent vehicles. In *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC'06. IEEE* (pp. 313-318). IEEE.
- [113] Nashashibi, F., & Bargeton, A. (2008, June). Laser-based vehicles tracking and classification using occlusion reasoning and confidence estimation. In *Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE* (pp. 847-852). IEEE.
- [114] Lee, J.D.; McGehee, D.V.; Brown, T.L.; Reyes, M.L. Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator. *Hum. Factors* 2002, 44, 314–334.

[115] <http://www.iihs.org/iihs/topics/t/roadway-and-environment/fatalityfacts/fixed-object-crashes/2009> (erişim tarihi 02.06.2018)



## EKLER

### ÖZGEÇMİŞ

Faruk Ulaamıř

Kırıkkale

E-mail : [farukulamis@kku.edu.tr](mailto:farukulamis@kku.edu.tr)

#### KİŞİSEL BİLGİLER

Doęum Tarihi 1979

Medeni Durum Evli

Askerlik Durumu Yaptı

#### İŐ TECRÜBESİ

2003 - 2005 Yeřilvadi Su Arıtma Tesisi, KIRIKKALE

- Vardiya Őefi

2006 - 2011 MKE Mühimmat Fabrikası Bakım Onarım Müdürlüęü,  
KIRIKKALE

- Bakım Onarım Müdürlüęü Elektrik Bakım Onarım  
Mühendisi

2011 - 2016 MKE Mühimmat Fabrikası Bakım Onarım Müdürlüęü,  
KIRIKKALE

- ARGE Müdürlüęü Proje Grup Lideri (Tapa Projeleri)

2016 - Halen Kırıkkale Üniversitesi Hacılar Hüseyin Aytemiz Meslek  
Yüksekokulu, KIRIKKALE

- Öğretim Görevlisi

## EĞİTİM BİLGİLERİ

### **Lisans : ( 1998-2002 )**

Okul/Fakülte: Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Bölüm/ABD: Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Elektronik A.B.D

### **Yüksek Lisans : (2010-2012)**

Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Tez Konusu: Mühimmatlar için Elektrikli Ateşleyici Sistem Tasarımı

### **Doktora : (2013-2019)**

Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Tez Konusu: Hafif Raylı Sistemlerde Güzergâh Öğretilmesi ve Sistemin Sürüş Dinamiklerinin Modellenmesi

## YAYIN BİLGİSİ

Ulusal/Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

1. Lüy, M., Çam, E., Ulaşmış, F., Uzun, İ., & Akın, S. İ. (2018). Initial Results of Testing a Multilayer Laser Scanner in a Collision Avoidance System for Light Rail Vehicles. *Applied Sciences*, 8(4), 475.
2. ULAMIS, F., Murat, LUY., Ertugrul, CAM., & Ibrahim, UZUN. (2017). Effects of Zero Velocity Update on Total Displacement for Indoor Inertial Positioning Systems. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 5(2), 59-63.
3. Lüy, M., Ulaşmış, F., & Çam, Ertugrul. Position Estimation with Fuzzy Logic Based Dead Reckoning for GPS-Denied Environment. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(3), 21-28.