

**IQ-BIKE: ÇEVRECİ, SAĞLIKLI, ENERJİ MALİYETİ DÜŞÜK,
PARALEL HİBRİT, YENİLİKÇİ BİR ŞEHİR İÇİ ULAŞIM
ARACI**

**IQ-BIKE: AN ENVIROMENT-FRIENDLY, HEALTHY,
ENERGETICALLY LOW COST, PARALLEL HYBRID,
NOVEL URBAN TRANSPORTATION VEHICLE**

ALİ EMRE UTAŞ

DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZGÜR ÜNVER

Tez Danışmanı

DOÇ. DR. S. ÇAĞLAR BAŞLAMIŞLI

Tez Eş Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

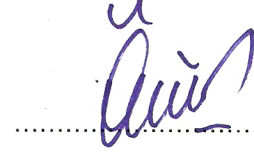
2018

ALİ EMRE UTAŞ'ın hazırladığı "IQ-Bike: Çevreci, Sağlıklı, Enerji Maliyeti Düşük, Paralel Hibrit, Yenilikçi Bir Şehir İçi Ulaşım Aracı" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

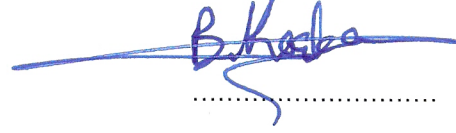
Prof. Dr. Bora YILDIRIM
Başkan



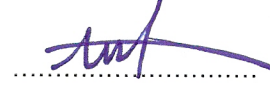
Dr. Öğr. Üyesi Özgür ÜNVER
Danışman



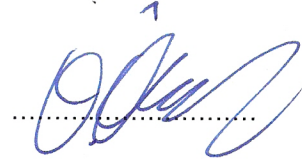
Doç. Dr. Benat KOÇKAR
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Bilsay SÜMER
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Onur ÖZCAN
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 31/05/2023 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

01 / 06 / 2018

Ali Emre UTAŞ

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

31/05/2018



ALİ EMRE UTAŞ

ÖZET

IQ-BIKE: ÇEVRECİ, SAĞLIKLI, ENERJİ MALİYETİ DÜŞÜK, PARALEL HİBRİT, YENİLİKÇİ BİR ŞEHİR İÇİ ULAŞIM ARACI

Ali Emre UTAŞ

Yüksek Lisans, Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Özgür ÜNVER

Tez Eş Danışmanı: Doç. Dr. S. Çağlar BAŞLAMIŞLI

Mayıs 2018, 73 sayfa

Dünya çapında artan obezite oranı ve kentleşmenin getirmiş olduğu masabaşı iş yoğunluğunun artmış olması nedeniyle insanlar yeteri kadar hareket edememekte ve spor aktiviteleri asgari düzeye inmektedir. Bisiklet sürme, motorlu taşıtla ulaşım göre daha yorucu bir aktivite olması nedeniyle bir çok kişi tarafından tercih edilmemektedir. Bu noktadan yola çıkarak, tez çalışması kapsamında, bisikletçinin aşırı yorulmasını veya az efor sarf ederek düşük tempoda bisiklet kullanmasını önleyen, bununla birlikte, batarya doluluk oranını anlık olarak takip ederek verilen destek oranını ayarlayan, böylece daha uzun bir menzil boyunca bisikletçiye destek olan yenilikçi bir paralel hibrit elektrikli bisiklet (IQ-Bike) geliştirilmiştir. IQ-Bike'ta destek oranının ayarlanması ve/veya sürüş şartlarının transmisyon oranı değiştirilerek hafifleştirilmesi veya zorlaştırılması amacıyla bulanık mantık kontrolcü kullanılmıştır.

IQ-Bike, bisikletçinin nabız seviyesi, yol eğimi, pedal gücü, fren durumu, batarya doluluk oranı parametrelerini anlık takip ederek bisikletçiye destek verme/vermeme ve transmisyon oranını artırma/azaltma yönünde karar vererek bisikletçinin nabzının

istenen aralıkta kalmasını sağlamaya çalışmakta, böylece bir noktadan başka bir noktaya ulaşımını sağlarken aynı zamanda ideal koşullarda spor yapmasını desteklemektedir.

Test sonuçları incelendiğinde, IQ-Bike'ın, geliştirilme amacına uygun olarak, ortalama nabız seviyesini istenen aralıkta veya bu aralığa çok yakın tutabildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Elektrik destekli bisiklet, paralel hibrit bisiklet, CVT, sürekli değişken transmisyon, bulanık mantık

ABSTRACT

IQ-BIKE: AN ENVIROMENT-FRIENDLY, HEALTHY, ENERGETICALLY LOW COST, PARALLEL HYBRID, NOVEL URBAN TRANSPORTATION VEHICLE

Ali Emre UTAŞ

Master of Science, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özgür ÜNVER

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. S. Çağlar BAŞLAMIŞLI

May 2018, 73 pages

Due to the increase in the world-wide rate of obesity and the workforce that urbanization brings, people don't move enough and the sporting activities are minimized. Bicycling is not preferred by many because it is a more tiring activity than motorized transportation. From this point of view, an innovative electric assisted parallel hybrid bike (IQ-Bike) that prevents the cyclist from being excessively tired or using light effort during riding, along with adjusting the rate of support given by instantly monitoring state of charge of battery, thus supporting the cyclist for a longer range has been developed within the scope of this thesis study. The fuzzy logic controller is used to adjust the support ratio and/or to lighten or harden the driving conditions by changing the transmission rate in IQ-Bike.

The IQ-Bike tries to keep the biker's heart rate in a desired range by deciding on the bike's pulse rate, road pitch, pedal power, braking status and state of charge of battery parameters in order to increase or decrease support rate and transmission ratio. while at the same time promoting sport on ideal conditions.

Examining the test results, it is seen that IQ-Bike could keep biker's average heart rate level close to or within the desired range in accordance with the purpose of development.

Keywords: Electric assisted bike, parallel hybrid bicycle, CVT, continuously variable transmission, fuzzy logic

TEŞEKKÜR

BaŐta, tez alıŐmamın ortaya çıkması s¼recinde beni motive eden, her konuda değerli destek ve yorumlarıyla bana yol g¼steren ve s¼re boyunca sabır g¼steren saygıdeğer tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özg¼r ÜNVER ve saygıdeğer tez eş danışmanım Doç. Dr. S. ağlar BAŞLAMışLI'ya olmak üzere; değerli yorum ve eleŐtirileri için j¼ri üyeleri Sayın Prof. Dr. Bora YILDIRIM'a, Sayın Doç. Dr. Benat KOÇKAR'a, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Bilsay S¼MER'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Onur ÖZCAN'a; tez çalışmamın olgunlaŐması sırasında her t¼rl¼ bilgi ve emekleriyle katkıda bulunan değerli arkadaşlarım Mertcan KOÇAK'a ve Ahmet YOLCU'ya; s¼re boyunca beni motive eden ve manevi desteklerini esirgemeyen dostum Eray Teoman ÖNDER'e minnet duyar ve en içten teŐekk¼rlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER	ix
ŞEKİLLER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Egzersiz, Metabolizma, Yorulma ve Nabız İlişkisi	1
2. ELEKTRİK DESTEKLİ HİBRİT BİSİKLET SİSTEMLERİ	4
2.1. Elektrik Destekli Hibrit Bisiklet Sistemlerinin Özellikleri	5
3. BULANIK MANTIK KAVRAMI	8
3.1. Bulanık Mantık Temelleri	8
3.2. Bulanık Mantık Kümeleri	10
3.2.1. Bulanık Küme İşlemleri	10
3.3. Bulanık Mantık Sistemlerin Çalışma Biçimi	11
3.3.1. Dilsel Değişkenler	12
3.3.2. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları	12
3.3.3. Bulanıklaştırma	13
3.3.4. Bulanık Kurallar Tabanı	14
3.3.5. Bulanık Çıkarım	15
3.3.6. Durulaştırma	16
3.4. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları	17
4. IQ-BIKE	18
4.1. Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi	18
4.1.1. Güç İhtiyacının Belirlenmesi	18
4.1.2. Sensörler, Transmisyon, Kontrolcü Modülü ve Veri Kaydedici	19
4.2. Sistem Mimarîsinin Oluşturulması	20
4.3. Sistem Donanımlarının Belirlenmesi	20
4.3.1. Elektrikli Bisiklet	20
4.3.2. Sürekli Değişken Transmisyon (CVT)	21

4.3.3. Servo Motor	21
4.3.4. Entegre Pedal Hızı ve Pedal Torku Sensörü	22
4.3.5. Geliştirme Kartı	22
4.3.6. Eğim Sensörü	23
4.3.7. Voltaj Sensörü	23
4.3.8. Arka Teker Hız Sensörü	24
4.3.9. Nabız Sensörü ve Alıcısı	24
4.3.10. Veri Kaydedici	25
4.3.11. Diğer Donanımsal Bileşenler	25
4.3.12. Sistem Donanımlarının Entegrasyonu	25
5. BULANIK MANTIK KONTROLCÜ TASARIMI	32
5.1. Sistem Girişleri ve Üyelik Fonksiyonları.....	32
5.1.1. Fren Durumu	32
5.1.2. Pedal Gücü.....	33
5.1.3. Arka Teker Hızı	34
5.1.4. Batarya Doluluk Oranı	35
5.1.5. Eğim	35
5.1.6. Nabız	36
5.2. Sistem Çıktıları ve Üyelik Fonksiyonları.....	37
5.2.1. Destek Oranı	37
5.2.2. CVT Oranı	38
5.3. Sistem Algoritması	39
5.3.1. Bulanık Mantık Kurallar Tabanının Oluşturulması	40
5.4. Bulanık Mantık Sistemin Modellenmesi ve Simulasyonlar	44
5.5. IQ-Bike Bulanık Mantık Sisteminin Yazılımının Oluşturulması	47
5.5.1. Ana Kod.....	48
5.5.2. Genel Fonksiyonlar	48
5.5.3. Veri Kaydedici	49
5.5.4. Nabız	49
5.5.5. Eğim	49
5.5.6. Pedal Hızı-Torku	49
5.5.7. Batarya Voltajı	49
5.5.8. Teker Hızı	49
5.5.9. Şalterler	49

5.5.10. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Giriş Verilerinin Tanımlanması	50
5.5.11. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Çıkış Verilerinin Tanımlanması	50
5.5.12. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Giriş Verilerinin Filtrelenmesi	50
5.5.13. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Kurallar Tabanının Oluşturulması	52
6. TESTLER	54
6.1. Test Prosedürü	54
6.2. Test Verileri	54
6.2.1. Test 1 (Destek Sistemi Devre Dışı)	54
6.2.2. Test 2 (Destek Sistemi Aktif)	56
6.2.3. Test 3 (Destek Sistemi Aktif)	59
6.2.4. Test 4 (Destek Sistemi Aktif)	62
6.3. Test Verilerinin Değerlendirilmesi	65
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
7.1. Sonuçlar	68
7.2. Öneriler	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1 Farklı yaş grupları için nabız aralıkları	3
Çizelge 2.1 Dünyadaki elektrik destekli bisikletler ve özellikleri.....	5
Çizelge 2.2 Dünyadaki elektrik destekli bisikletler için uygulanan sınırlandırmalar.	5
Çizelge 2.3 Literatürde yer alan çalışmalar ile IQ-Bike'ın karşılaştırılması	7
Çizelge 3.1 Örnek bir bulanık mantık kurallar tabanı.....	15
Çizelge 3.2 Çıkış değişkeninin belirlenmesi	15
Çizelge 4.1 Donanımlar ve kullanım amaçları	19
Çizelge 4.2 ADABİS elektrikli bisiklet özellikleri.....	20
Çizelge 4.3 Servo motor özellikleri	21
Çizelge 4.4 Arduino Mega mikrodenetleyici kart özellikleri	23
Çizelge 4.5 Diğer donanımsal bileşenler	25
Çizelge 5.1 Sistem girişleri ve üyelik fonksiyonları	32
Çizelge 5.2 Sistem çıkışları ve üyelik fonksiyonları	37
Çizelge 5.3 Destek oranı ve motor sürücüsü giriş sinyali	37
Çizelge 5.4 Destek oranını belirleyen bulanık mantık kuralları	40
Çizelge 5.5 CVT oranını belirleyen bulanık mantık kuralları.....	40
Çizelge 5.6 Farklı giriş değişkenleri ve öncüllere karşılık simülasyon tarafından oluşturulan çıkış değişkenlerinin sayısal değerleri.....	47
Çizelge 5.7 Giriş verilerine uygulanan filtreleme yöntemleri parametreleri	51
Çizelge 6.1 Test sürüşleri sonucu elde edilen veriler	65

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Bir çok farklı denek üzerinde yapılmış testlerin, bazal metabolizma dahil olacak şekilde, tekerlekteki gücün harcan güce olan ilişkilerinin gösterimi; a) Tekerlekte ortaya çıkan güç ile metabolik güç ilişkisinin en uygun lineer regresyonu, b) Tekerlekte ortaya çıkan güç ile verim ilişkisinin en uygun regresyonu.	2
Şekil 1.2 a) Ortaya çıkarılan güce karşılık dayanma süresi regresyon eğrisi, b) Harcanan oksijen miktarı oranına göre dayanma süresi regresyon eğrisi	3
Şekil 2.1 Paralel hibrit bisiklet mimarîsi gösterimi.....	4
Şekil 3.1 Bulanık mantık ile klasik mantık kümelerinin grafiksel karşılaştırması	9
Şekil 3.2 Farklı üyelik fonksiyonu tipleri.....	10
Şekil 3.3 Bulanık kümelerde kesişim işlemi.....	10
Şekil 3.4 Bulanık kümelerde bileşim işlemi.....	10
Şekil 3.5 Bir A bulanık kümesinin tümleyeni.....	11
Şekil 3.6 Bulanık mantık sistem mimarîsi	11
Şekil 3.7 “Mesafe” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları	12
Şekil 3.8 “Hız” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları.....	13
Şekil 3.9 “Frene basma” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları	13
Şekil 3.10 “Gaza basma” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları	13
Şekil 3.11 “Yakın”, “Yeterli” ve “Uzak” bulanık kümelerine ait trapezoidal üyelik fonksiyonları	14
Şekil 3.12 Yeniden şekillendirme işlemi (implication)	15
Şekil 3.13 Birleştirme işlemi (aggregation)	16
Şekil 3.14 Durulaştırma işlemi sonrası elde edilen bulanık sistem çıkışı.....	17
Şekil 4.1 4 farklı bisiklet sürücüsünün ağırlık, eğim ve karşı rüzgar hızına göre ürettikleri mekanik enerjinin farklı hızlara göre çizilmiş eğrileri, a) farklı sürücü ağırlıklarında değişen hız ile üretilen mekanik enerji grafiği, b) bisiklet+sürücünün 81 kg olduğu durumda farklı eğimlerde değişken hızlara göre ortaya çıkan mekanik enerji grafiği, c) bisiklet+sürücünün 81 kg olduğu durumda karşı rüzgar hızına göre ortaya çıkan mekanik enerji grafiği.....	18
Şekil 4.2 IQ-Bike sistem mimarîsi.....	20
Şekil 4.3 NuVinci N360 sürekli değişken transmisyon (CVT)	21
Şekil 4.4 TDCM tork-hız sensörü.....	22
Şekil 4.5 Arduino Mega mikrodenetleyici kart.....	22

Şekil 4.6 9DOF Razor IMU	23
Şekil 4.7 AttoPilot 45A voltaj sensörü	23
Şekil 4.8 Manyetik Enkoder	24
Şekil 4.9 Nabız ölçme donanımları	24
Şekil 4.10 SD Kart Modülü	25
Şekil 4.11 Sistem donanımları	26
Şekil 4.12 IQ-Bike	27
Şekil 4.13 BLDC Hub Motor	27
Şekil 4.14 CVT - Sürekli Değişken Transmisyon	28
Şekil 4.15 Servo Motor	28
Şekil 4.16 Batarya	29
Şekil 4.17 Pedal Tork-Hız Sensörü	29
Şekil 4.18 Elektronik Donanımlar	30
Şekil 4.19 Kumanda Kutusu	31
Şekil 5.1 Fren durumu üyelik fonksiyonları	33
Şekil 5.2 Pedal gücü üyelik fonksiyonları	34
Şekil 5.3 Arka teker hızı üyelik fonksiyonları	34
Şekil 5.4 Batarya doluluk oranı üyelik fonksiyonları	35
Şekil 5.5 Eğim üyelik fonksiyonları	36
Şekil 5.6 Nabız seviyesi üyelik fonksiyonları	36
Şekil 5.7 Destek oranı üyelik fonksiyonları	38
Şekil 5.8 CVT oranı üyelik fonksiyonları	39
Şekil 5.9 IQ-Bike bulanık mantık kontrolcü modeli	44
Şekil 5.10 Bulanık mantık kontrolcü giriş verileri üyelik fonksiyonları	45
Şekil 5.11 Bulanık mantık kontrolcü çıkış verileri üyelik fonksiyonları	46
Şekil 5.12 Bulanık mantık kurallar tabanı	46
Şekil 5.13 IQ-Bike ana kodu ve fonksiyonları	47
Şekil 5.14 Filtreleme performansının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen GUI	51
Şekil 6.1 1. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi	54
Şekil 6.2 1. test sürüşünde pedala uygulanan güç	54
Şekil 6.3 1. test sürüşünde pedala uygulanan tork	55
Şekil 6.4 1. test sürüşünde pedal hızı	55
Şekil 6.5 1. test sürüşünde teker hızı	55
Şekil 6.6 1. test sürüşünde yol eğimi	55

Şekil 6.7 2. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi	56
Şekil 6.8 2. test sürüşünde pedala uygulanan güç	56
Şekil 6.9 2. test sürüşünde pedala uygulanan tork	56
Şekil 6.10 2. test sürüşünde pedal hızı.....	57
Şekil 6.11 2. test sürüşünde teker hızı	57
Şekil 6.12 2. test sürüşünde batarya doluluk oranı.....	57
Şekil 6.13 2. test sürüşünde yol eğimi	58
Şekil 6.14 2. test sürüşünde bisikletçiye sağlanan destek oranı.....	58
Şekil 6.15 2. test sürüşünde CVT servo motorunun açısal konumu	58
Şekil 6.16 3. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi	59
Şekil 6.17 3. test sürüşünde pedala uygulanan güç	59
Şekil 6.18 3. test sürüşünde pedala uygulanan tork	59
Şekil 6.19 3. test sürüşünde pedal hızı.....	60
Şekil 6.20 3. test sürüşünde teker hızı	60
Şekil 6.21 3. test sürüşünde batarya doluluk oranı.....	60
Şekil 6.22 3. test sürüşünde yol eğimi	61
Şekil 6.23 3. test sürüşünde bisikletçiye sağlanan destek oranı.....	61
Şekil 6.24 3. test sürüşünde CVT servo motorunun açısal konumu	61
Şekil 6.25 4. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi	62
Şekil 6.26 4. test sürüşünde pedala uygulanan güç	62
Şekil 6.27 4. test sürüşünde pedala uygulanan tork	62
Şekil 6.28 4. test sürüşünde pedal hızı.....	63
Şekil 6.29 4. test sürüşünde teker hızı	63
Şekil 6.30 4. test sürüşünde batarya doluluk oranı.....	63
Şekil 6.31 4. test sürüşünde yol eğimi	64
Şekil 6.32 4. test sürüşünde bisikletçiye sağlanan destek oranı.....	64
Şekil 6.33 4. test sürüşünde CVT servo motorunun açısal konumu	64
Şekil 6.34 1. ve 2. test sürüşlerine ait nabız verileri.....	65
Şekil 6.35 Test 3'e ait nabız ve pedal gücü grafikleri.....	66
Şekil 6.36 Nabız verisi için filtreleme performansı (SMA, n=100).....	67
Şekil 6.37 Teker hızı verisi için filtreleme performansı (EMA, $\alpha = 0.5$).....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

e_{net}	Net verim
P	Güç
P_t	Tekerlekte üretilen güç
W	Watt
V	Volt
X_A	Karakteristik fonksiyonu
X	Uzay kümesi (kesin küme)
x	Uzay kümesinin elemanları
A	A bulanık kümesi
B	B bulanık kümesi
\bar{A}	A bulanık kümesinin tümleyeni
\wedge	VE işlemi
\vee	VEYA işlemi
\forall	Her
\in	Elemanıdır
f_A	Üyelik fonksiyonu
$f_A(x)$	x elemanının üyelik derecesi
$f_o(z)$	Çıkış verisine ait birleşim üyelik fonksiyonu
Z_{COG}	Bulanık sistemin çıkış verisi
P_p	Pedal gücü [W]
W_p	Pedal hızı [rpm]
T_p	Pedal gücü [N.m]
W_{rw}	Arka teker hızı [rpm]
SoC	Batarya doluluk oranı [%]
HR	Nabız [bpm]
HR_{max}	Maksimum nabız [bpm]
$\min\{\}$	Minimum alma işlemi
$\max\{\}$	Maksimum alma işlemi
α	Ağırlık Katsayısı (EMA filtreleme için)
n	Ortalaması alınacak veri sayısı (SMA filtreleme için)

Kısaltmalar

CVT	Continuously Variable Transmission (Sürekli Değişken Transmisyon)
<i>MH</i>	Metabolizma hızı
<i>DMH</i>	Dinlenme metabolizma hızı
HR	Heart Rate (Nabız)
<i>kg</i>	Kilogram
km	kilometre
<i>km/s</i>	Saatteki hız
<i>Wh</i>	Watt-saat
SoC	State of Charge (Batarya doluluk oranı)
<i>bpm</i>	Beat per minute (dakikadaki atım sayısı)
<i>rpm</i>	Revolution per minute (dakikadaki devir sayısı)
IMU	Inertial Measurement Unit
FLC	Fuzzy Logic Controller (Bulanık Mantık Kontrolcü)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
PI	Proportional-Integral (Oransal-İntegral)
SOSM	Second Order Slider Mode (İkinci Derece Kayma Kipli)
NiMH	Nikel Metal Hidrit
NiCd	Nikel Kadmiyum
L-A	Kurşun-Asit
N.m	Newton-metre
Kg.cm	Kilogram-santimetre
A	Amper
mA	Miliamper
DC	Direct Current (Doğrusal Akım)
KB	Kilobayt
MHz	Megahertz
LED	Light Emitting Diod (Işık Yayan Diyot)
IDE	Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)
bps	bits per second (saniyedeki bit sayısı)
SMA	Simple Moving Average
EMA	Exponential Moving Average

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında; bisikletçinin seyahati sırasında aşırı yorulmasına engel olan, çevreci, sağlıklı ve enerji maliyeti düşük yenilikçi bir şehir içi ulaşım aracı (IQ-Bike) geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Dünya çapında obezite, 1975 yılına göre üç kat artmıştır. 2016 yılında, 18 yaş ve üstü 1.9 milyar yetişkin aşırı kiloludur ve bu yetişkinlerin 650 milyonu obezdir, 5 yaşın altındaki 41 milyon çocuk aşırı kilolu veya obezdir [1]. Sadece şeker hastalığının Amerika Birleşik Devletine 2017 yılında olan maliyeti 327 milyar dolar olarak kayıtlara geçmiştir [2]. Obezitenin en temel nedeni, alınan enerjinin harcanan enerjiye göre çok fazla olmasıdır [1]. Günümüzde; özellikle kentleşmenin getirmiş olduğu masabaşı iş yoğunluğunun artması, yürüme miktarının azalması ve spor aktivitelerinin asgari düzeye inmesi nedeniyle insanlar gerektiği kadar hareket edememektedirler ve bu yüzden çoğu zaman erken yaşlarda sağlıklarını kaybetmektedirler.

1.1. Egzersiz, Metabolizma, Yorulma ve Nabız İlişkisi

Uzun süreli egzersizlerde kandaki laktat miktarı harcanan oksijen miktarıyla ve kalp ritmi ile ilişkili olup egzersiz yapanların yorgunluk miktarlarının belirlenmesinde kullanılır [3],[4]. Harcanan oksijen miktarı ya da ölçülen kalp ritmi ise bisiklet sürücüsünün harcamış olduğu enerji ile doğrudan ilişkili olup bisiklete aktarılan mekanik enerjinin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Eğer bisiklet sürücüsünün üretmiş olduğu net mekanik enerji bulunursa, literatürde geçen ortalama değerler kullanılarak, harcanan enerji ve yorgunluk değerleri hakkında yaklaşık bir yorum yapmak mümkün olmaktadır.

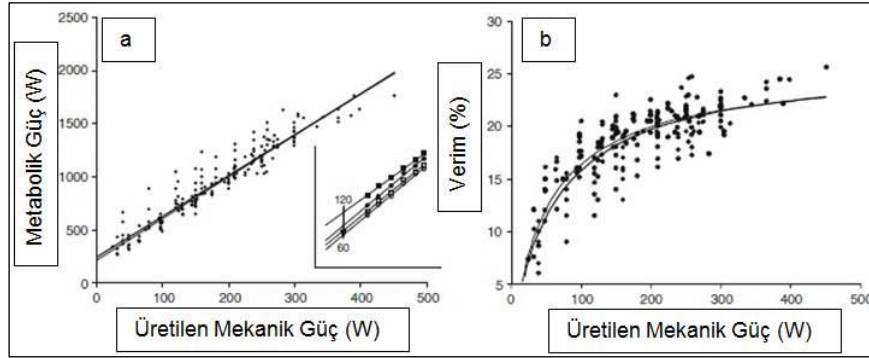
Literatürde, bisiklet sürücüsünün tükettiği enerji harcamış olduğu oksijen miktarı ile, ortaya çıkan mekanik enerji ise bisiklete bağlanan dinamometre ve pedal hızı ölçümü ile bulunmaktadır. Verimlilik, üretilen enerjiye karşılık metabolizmanın harcadığı toplam enerjidir [5]. Uzun süreli bisiklet egzersizlerinin en önemli parametresi Joyner ve Coyle tarafından verimliliğin maksimum olduğu nokta olarak tanımlanmıştır [4]. Çok yavaş giden bir bisikletin mekanik güç çıktısı çok düşüktür, ancak insanın bazal metabolizmasının ihtiyacı olan güç bu çıktıya oranla çok yüksektir ve verim %0'dan biraz yüksek olacak şekilde bulunur. Yükselen hız ve tork ile üretilen mekanik güç artar, buna bağlı olarak kişinin harcadığı güç de artar. Böylece toplam sistem verimi, Şekil 1.1a'dan da görüleceği gibi % 25'lere kadar

çıkabilir [4]. Ettema ve Loras'ın verim hesabı yaklaşımı ise; 200 - 450 W arasında olan anlık bazal metabolizmanın hesaplara katılmaması yönündedir. Bunun en büyük sebebi; metabolik enerjinin sindirim vb. gibi hayatsal fonksiyonları yerine getirmekle yükümlü olup doğrudan yapılan iş ile ilgili olmamasıdır. Buna göre Ettema ve Loras'ın net verimlilik hesabı şu şekildedir [6];

$$e_{net} = \frac{P}{MH - DMH}$$

Üretilen mekanik enerjiyi ölçerek kişinin harcadığı enerjiyi yüksek güvenlik oranıyla tahmin etmek mümkün olmaktadır [6]. Şekil 1.1a'da verilen noktalardan elde edilen en iyi lineer eğri denklemi aşağıda verilmiştir:

$$MH = DMH + 3.833 \times P_t$$

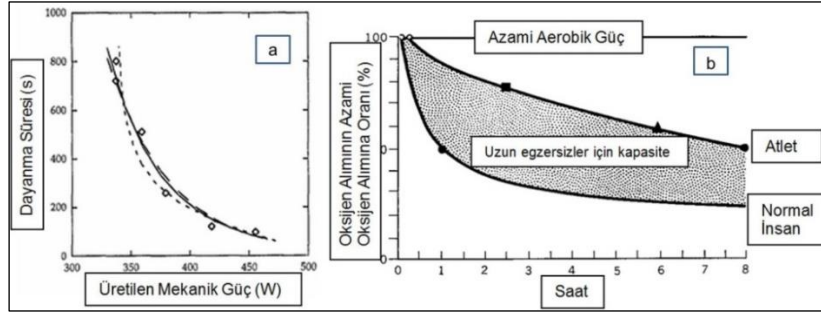


Şekil 1.1 Bir çok farklı denek üzerinde yapılmış testlerin, bazal metabolizma dahil olacak şekilde, tekerlekteki gücün harcan güce olan ilişkilerinin gösterimi; a) Tekerlekte ortaya çıkan güc ile metabolik güc ilişkisinin en uygun lineer regresyonu, b) Tekerlekte ortaya çıkan güc ile verim ilişkisinin en uygun regresyonu.

Dinlenme metabolizma hızının, kişinin harcadığı güçten düşülmesi ile verim sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu verim; tekerlekten 1 birim güç almak için kişinin 3.833 birim güç tüketmesi anlamına gelmekte ve verimi yaklaşık % 26,1'e sabitlemektedir. Şekil 1.1a'da görülen doğrusallık özellikle yüksek mekanik güç çıktısında bozularak verim düşme eğilimi göstermeye başlamaktadır.

Bir çok çalışmaya göre, 40-80 rpm arasındaki pedal hızı daha verimli olmakta ya da düşük pedal hızlarında bir optimum nokta bulunmaktadır [7]–[11]. Bu tezin aksini savunan fikirler de literatürde yer almaktadır [12]. Ettema ve Loras'ın çalışmaları ile McDaniel'in çalışmaları ise ortaya çıkarılan gücün verim ile korelasyonunun %90'ın üzerinde, pedal hızının ise %10'un altında olduğunu ortaya koymuştur [6], [13].

Egzersiz esnasında harcanan enerji ile dayanma süresi arasında bir bağıntı vardır. Örneğin, kısa çalışmalar yüksek eforlu yapılabilirken, uzun süreli çalışmalar düşük efor ile yapılmalıdır (laktat eşiği geçilmemelidir). Morton ve Hodgson'un yapmış olduğu çalışmalar sonucu istenilen güç ile bu güce karşılık dayanma süresi grafiksel olarak Şekil 1.2a'da deneysel olarak gösterilmiştir [14]. Bir başka çalışmada ise Şekil 1.2b'de görüleceği gibi aerobik solunum ile uzun süreli egzersizlerin yapılması için harcanması gereken maksimum güç oranları (ihtiyaç duyulan oksijen miktarı) ilişkisi çıkarılmıştır. Buna göre; yarım saatlik, 1 saatlik, 2 saatlik ve 8 saatlik çalışmalar için kullanılması gereken güçler sırası ile maksimum gücün %70'i, %50'si, %40'ı ve %24'ü olmalıdır [15]. Gross ve arkadaşları sağlıklı normal bir insanın 8 saat boyunca 75 W anlık olarak ise 12 saniye boyunca 746 W güç üretebileceğini belirtmişlerdir [16].



Şekil 1.2 a) Ortaya çıkarılan güce karşılık dayanma süresi regresyon eğrisi, b) Harcanan oksijen miktarı oranına göre dayanma süresi regresyon eğrisi

Çizelge 1.1'de farklı yaş gruplarına yönelik, farklı zorluk derecelerindeki egzersizler için ideal nabız aralıkları sunulmuştur [17]. Çizelgeye göre, orta şiddette dayanıklılık egzersizi baz alındığında, 20-39 yaş grubu için ortak nabız aralığı 126-137 bpm'dir.

Çizelge 1.1 Farklı yaş grupları için nabız aralıkları

Yaş	Geri Kazanım (Düşük Şiddet) (% 50-65 HR_{max})	Dayanıklılık (Orta Şiddet) (% 65-75 HR_{max})	Güçlülük (Yüksek Şiddet) (% 75-85 HR_{max})
20-23	97-126	126-146	146-165
24-27	96-124	124-143	143-163
28-31	94-122	122-141	141-160
32-35	93-121	121-139	139-158
36-39	91-119	119-137	137-155
40-43	91-117	117-135	135-153
44-47	89-115	115-133	133-151
48-51	87-113	113-131	131-148
52-55	86-112	112-129	129-156

2. ELEKTRİK DESTEKLİ HİBRİT BİSİKLET SİSTEMLERİ

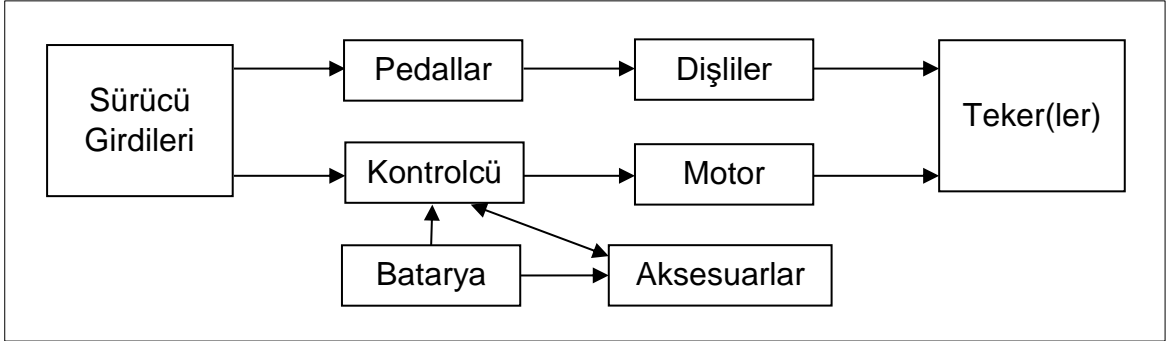
Elektrikli bisiklet sistemleri; ucuz (birim mesafe seyahatindeki düşük enerji maliyeti), çevre dostu (şebeke elektriğinden aldığı enerji haricinde sıfır-emisyonlu olması) ve sağlıklı olmaları nedeniyle özellikle gelişmiş ülkelerde şehir içi ulaşım aracı olarak tercih edilmektedir.

Elektrikli bisiklet kontrol donanımının merkezinde, bataryadan elektrikli motora güç akışını kontrol eden bir kontrolcü bulunmaktadır. Motor tarafından sağlanan güç ve bisikletçi tarafından bisiklet pedalı aracılığı ile iletilen güç, paralel hibrit transmisyonu ilkeleri kapsamında eşzamanlı olarak bisikletin çekiş gücünü oluşturmaktadır.

Standart elektrikli bisikletlerde aşağıda verilen üç kullanım şekli söz konusudur:

- I. Sadece elektrik motorunun aktif olduğu, kullanıcının güç girdisi sağlamadığı kullanım
- II. Hem elektrik motorunun aktif olduğu hem de kullanıcının güç girdisi sağladığı paralel hibrit kullanım
- III. Sadece kullanıcının güç girdisi sağladığı kullanım

Elektrikli bisiklet sistemlerinin genel mimarîsi Şekil 2.1'de genel hatları ile sunulmuştur.



Şekil 2.1 Paralel hibrit bisiklet mimarîsi gösterimi

Dünyada kullanıma sunulmuş elektrikli bisikletler ve özellikleri Çizelge 2.1'de sunulmuştur [16].

Dünya çapında, elektrik destekli bisiklet tasarımı ve kullanımını düzenleyen yasal düzenlemeler yer almaktadır. Bu düzenlemelerde, elektrik destekli bisikletler, bir bisiklet sınıfı olarak tanımlanmış ve azami motor gücü ile azami bisiklet hızına yönelik sınırlandırmalar getirilmiştir. Bu sınırlamalar Çizelge 2.2'de özetlenmiştir [16].

Çizelge 2.1 Dünyadaki elektrik destekli bisikletler ve özellikleri

Üretici	Motor Gücü [W]	Menzil [km]	Azami Hız [km/s]	Batarya [V]	Batarya [Ah]	Batarya Tipi
RabbitTool	500	32	32	24	8	NiMH
Giant Lite	240	37	29	24	6,5	NiMH
Panasonic	240	29	24	24	3,5	NiCd
Aprilia Enjoy	250	49	25	24	13	NiMH
M. PowerCycle	230	40	24	24	9	NiMH
P. Mikado	259	20	24	24	5	NiCd
E&P Systems	250	24	32	24	8	NiMH
F/R/D	250	25	24	36	5	L-A
Sparto Pharos	250	40	24	24	7	L-A
V. Dolphin	270	20	30	24	7	NiCd
P. Albatross	250	30	24	36	5	L-A
Yoker City	240	25	24	24	7	L-A
SUEL Jet Bike	150	30	20	24	7	NiMH
M. Goodluck	235	20	15	24	3,6	NiCd
N. E. ViVi-L	240	23	15	24	2,8	NiMH

Çizelge 2.2 Dünyadaki elektrik destekli bisikletler için uygulanan sınırlandırmalar

Ülke	Motor Gücü Limiti [W]	Hız Limiti [km/s]	Ağırlık Limiti [kg]
Avrupa Birliği	250	25***	Yok
Britanya Adası	200	25	40
Kanada	500	32	Yok
Tayvan	*	30	40
Japonya	**	24	Yok
Çin	240	20	Yok
ABD	750	32,2	Yok

* Sadece pedal çevrildiğinde devreye girer.

** Motor gücü pedala verilen güç ile 20 km/s hıza kadar aynı olur, sonra doğrusal olarak azalarak 24 km/s hıza sona erer.

*** Hız arttıkça motor gücü de azalır ve 25 km/s'te motor desteği sona erer.

2.1. Elektrik Destekli Hibrit Bisiklet Sistemlerinin Özellikleri

Bu tez çalışmasında geliştirilen IQ-Bike ile günümüz insanının hareketsizliğine düşük maliyetli çözüm getirilerek ilerleyen yaşlarda fazla kilo ve dolaşım sistemi bozukluklarından kaynaklı bir çok problemin ortaya çıkma olasılığının düşürülmesi hedeflenmiştir.

Bu kapsamda; elektrikli bir bisiklete nabız ölçer, sürekli değişken transmisyon (CVT: continuously variable transmission), pedal torku sensörü, pedal hızı sensörü, teker hızı sensörü, eğim sensörü, voltaj sensörü, veri kaydedici ve geliştirme kartı eklenerek modifiye edilmiş, özgün bir bulanık mantık algoritması geliştirilerek CVT

oranı ve elektrik motorunun otomatik kontrolü sağlanarak bisikletçinin nabzının belirli bir seviyede tutulması ve böylece aşırı yorulmasının engellenmesi amaçlanmıştır.

Elektrik destekli hibrit bisiklet sistemi üzerine çalışmalar 20 yılı aşkın bir süredir devam etmektedir. Bu çalışmaların bir çoğunda geliştirilen elektrik destekli bisikletler, bir motorsiklet mantığı ile kullanılmaktadır ve bisikletçinin spor yapmasına katkı sağlamamaktadır. Dünyada yeni olan bir diğer konseptte ise amaç sürücünün zorlandığı durumlarda sürücüye destek olmak, sürücünün çok rahat olduğu durumlarda ise sürücüyü zorlamak ve böylece sürücünün uygun seviyede spor yapmasını teşvik etmektir.

Chen ve arkadaşları [18] "Elebike" isimli elektrik motoru destekli bisiklette, biri bisikletçinin düşüncesindeki hız ve ivmelenme isteğini yakalayan, diğeri bisikletçiye destek verecek olan elektrik motorunun tork ve elektrik akımını belirleyen iki katmanlı bulanık mantık kontrolcü (FLC) geliştirmişlerdir.

Lin ve arkadaşları [19] çalışmalarında bisiklet hızı, pedal dönüş hızı ve pedal torkuna bağlı olarak, yumuşak vites geçişini sağlamak için gereken vites oranını hesaplayan bir bulanık mantık kontrol yöntemi geliştirmişlerdir. Bu çalışma, geleneksel dişlili vitese sahip bir bisiklete yönelik yapılmıştır.

Liang ve arkadaşları [20] bir elektrikli bisikletin hızını otomatik olarak kontrol eden PWM (Pulse Width Modulation) sinyalini ayarlayan bulanık mantık tabanlı kontrolcü geliştirmişlerdir. Normal mod, sabit hız modu ve akıllı mod olmak üzere üç farklı modda çalışan bu sistemde, normal modda bisikletçi el gazı ile hızı ayarlamakta, sabit hız modunda kontrolcü bisikletin hızını 15 km/s'te tutmak üzere otomatik olarak PWM sinyalini ayarlamakta, akıllı modda ise kontrolcü yolun eğimine bağlı olarak motor gücünü otomatik ayarlayıp bisikletin kolay sürülmesini sağlamaktadır.

Spagnol ve arkadaşları [21] çalışmalarında bisikletçinin verimini artıran bir paralel hibrit elektrikli bisiklet tasarımı sunmuşlardır. Belirli bir güzergahta farklı sürüş karakteristiklerinde (sabit hız, düşük ivme, orta ivme, yüksek ivme) yapılan deneyler sonucu elde edilen metabolik verilerin (oksijen tüketimi, mekanik güç) analizlerini gerçekleştirerek, bu verileri kontrol algoritması tasarımında kullanmışlar ve bu tasarımı deneysel olarak doğrulamaya çalışmışlardır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, doğru bir strateji ile bisikletçinin veriminin % 30'a kadar artırılabileceğini göstermiştir.

Meyer ve arkadaşları [22] bisikletçinin nabzını istenen seviyede tutmak amacıyla elektrik motoru desteğini otomatik ayarlayan bir doğrusal olmayan kontrol stratejisi sunmuşlardır. Bisikletçinin nabız tepkilerinin doğrusal olmayan modellemesini yapmak amacıyla tek bir denekle farklı yoğunluk seviyelerinde test sürüşleri gerçekleştirmişlerdir. İstenen nabız seviyesi ile fiilî nabız seviyesi arasındaki farkı gidermek amacıyla bir kayma kipli kontrolcü geliştirmişlerdir.

Corno ve arkadaşları [23] sürekli değişken transmisyonlu (CVT) bir bisiklet için nabız kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Kontrol sistemi, bisikletçinin sürüş boyunca sabit bir fiziksel efor sarfetmesine yardımcı olmaktadır. Tüm sistemin (bisiklet, bisikletçi ve nabız dinamikleri) tam bir modeli türetilerek deneysel verilerle doğrulanmıştır. Bu model doğrultusunda biri oransal-integral (PI) diğeri ikinci derece kayma kipli (SOSM) olmak üzere iki kontrolcü tipi geliştirilmiştir. Analizler sonucu SOSM kontrolcünün modellenmemiş dinamiklere ve parazitlere karşı daha gübüz sonuçlar verdiği görülmüştür. SOSM kontrolcü, gerçek koşullarda iki denek ile test edilmiş ve deneklerin nabızlarının istenen nabız seviyesinin 10 bpm (beat per minute) aralığında kaldığı görülmüştür. Literatürde yer alan çalışmalar ile tez çalışması kapsamında geliştirilen IQ-Bike'ın karşılaştırılması Çizelge 2.3'te sunulmuştur.

Çizelge 2.3 Literatürde yer alan çalışmalar ile IQ-Bike'ın karşılaştırılması

	Özellik					
	Kontrolcü Tipi	Transmisyon Tipi	Transmisyon Kontrolü	Elektrik Motoru	Motor Destek Kontrolü	Nabız Kontrolü
Chen ve arkadaşları [18]	FLC	Konvansiyonel dişli tip	Yok	Var	Otomatik	Yok
Lin ve arkadaşları [19]	FLC	Konvansiyonel dişli tip	Yok	Yok	Yok	Yok
Liang ve arkadaşları [20]	FLC	Konvansiyonel dişli tip	Yok	Var	Otomatik	Yok
Spagnol ve arkadaşları [21]	PI	Konvansiyonel dişli tip	Yok	Var	Otomatik	Yok
Meyer ve arkadaşları [22]	SMC	Konvansiyonel dişli tip	Yok	Var	Otomatik	Var
Corno ve arkadaşları [23]	SOSM	CVT	Otomatik	Yok	Yok	Var
IQ-Bike	FLC	CVT	Otomatik	Var	Otomatik	Var

3. BULANIK MANTIK KAVRAMI

3.1. Bulanık Mantık Temelleri

Bir çok kavram, sınırları kesin olarak belirlenmiş kategorilere ayrılabilir (dişi/erkek, canlı/cansız, elma/karpuz örneklerinde olduğu gibi). Bazı kavramlar ise birden fazla özelliği taşıyor olabilir, birden fazla kategoriye dahil edilebilir (Örneğin, 30 °C'deki su farklı koşullar altında soğuk, ılık, sıcak veya çok sıcak kabul edilebilir). Klasik mantık, "1/0 - var/yok - doğru/yanlış" gibi sadece iki doğruluk değeri olan bir mantık sistemi olup, kesin veriler içerir. Bir başka deyişle, klasik mantık kümesi iki elemandan oluşur. Bu iki durum dışında başka bir durumun gerçekleşemeyeceğini varsayar [24]. Klasik mantıkta bir A kümesinin karakteristik fonksiyonu (χ_A) matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

X bir küme ve A X 'in bir alt kümesi olmak üzere ($A \subseteq X$)

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

Karakteristik fonksiyon; bir eleman, A kümesinin elemanı ise 1 değerini alır, A kümesinin elemanı değilse 0 değerini alır.

Bulanık mantık ise, klasik mantıkla açıklanamayan, ara durumların da söz konusu olduğu olayları ele almak için 1965 yılında Zadeh tarafından tanımlanan "bulanık küme" kavramıyla birlikte ortaya çıkmıştır [25]. Bir X kümesindeki bir A bulanık mantık kümesinin üyelik fonksiyonu $f_A(x)$, X kümesindeki her bir elemanı $[0,1]$ aralığına eşleştiren fonksiyon olarak tanımlanır:

$$f_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

$f_A(x)$ fonksiyonunun bir x noktasında aldığı değer, x 'in üyelik derecesini temsil eder. $f_A(x)$ fonksiyonunun aldığı değer 1'e ne kadar yakın ise, x 'in üyelik derecesi de o ölçüde yüksektir.

$\chi_A(x)$ ve $f_A(x)$ fonksiyonları karşılaştırmalı ele alındığında, bulanık mantıkta 0 ve 1 değerlerine ek olarak 0.2, 0.85 gibi ara değerlerin de dikkate alındığı görülür. Şöyle ki, klasik mantıkta bir eleman bir kümenin üyesidir ($\chi_A = 1$) veya değildir ($\chi_A = 0$). Bulanık mantıkta ise bir eleman bir kümenin $f_A = [0,1]$ derecesinde üyesidir ve bu durum, gündelik kavramları açıklamakta daha başarılıdır.

Sınırların kesin bir şekilde belli olmadığı, dilsel (linguistic) bilgilere bağlı durumlarda etkili bir karar almak insanın düşünce sisteminin çok belirgin bir özelliğidir. Araç kullanan bir kişinin verdiği anlık kararları örnekleyecek olursak, sürücü önünde giden araca yaklaştığını "hissettiğinde" "bir miktar" frenleme yaparak önündeki araçla

arasındaki takip mesafesini korumaya çalışır. Frenleme yaparken, önündeki araçla arasındaki mesafeyi kesin olarak ölçmemesine rağmen “tecrübesine” dayanarak takip mesafesini koruyabilir. Bu örnekte olduğu gibi, bulanık mantık disiplini de tecrübelerle dayalı bir yaklaşık karar verme yöntemi içermektedir. Kişi(ler)in tecrübelerine dayanan dilsel kurallar bütünü bulanık mantığın karar verme algoritmasını oluşturur.

Bir insanın boyunun “uzun” veya “kısa” oluşu, klasik mantığa göre belirlenecek olursa, örneğin, 1.80 m “uzun” ve “kısa” arasındaki limit olarak tanımlanırsa;

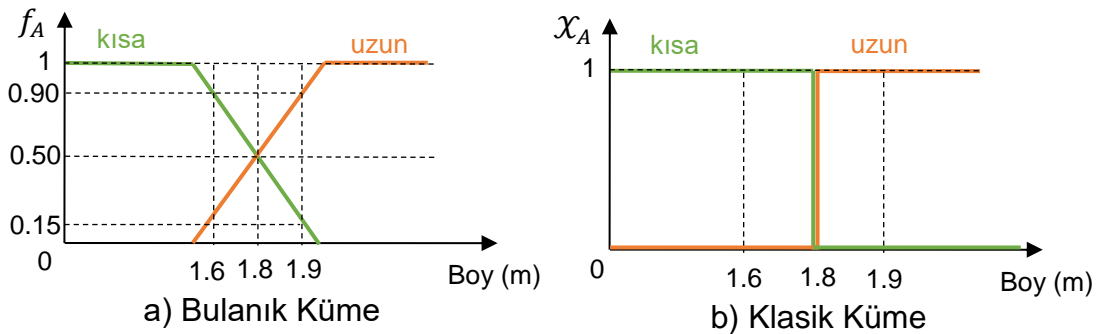
- 1.60 m uzunluğundaki bir insan “kısa” kabul edilir ($\mathcal{X}_A = 1$), “uzun” kabul edilmez ($\mathcal{X}_A = 0$).
- 1.90 m uzunluğundaki bir insan “uzun” kabul edilir ($\mathcal{X}_A = 1$), “kısa” kabul edilmez ($\mathcal{X}_A = 0$).

Klasik mantıkta, 1.79 m boyundaki bir insanın kısa sayılıp, 1.81 m boyundaki bir insanın uzun sayılması, klasik mantığın zayıf noktasını ortaya koymaktadır.

Bulanık mantık disiplini ise, klasik mantıkta olduğu gibi kesin sınırlar yoktur. Bunun yerine, “uzun” ve “kısa” kümeleri için üyelik fonksiyonları tanımlanır ve bu üyelik fonksiyonlarının aldığı değere göre “üyelik derecesi” belirlenir.

- 1.60 m uzunluğundaki bir insan 0.90 derecesinde “kısa” kabul edilirken ($f_A = 0.90$), 0.15 derecesinde “uzun” kabul edilebilir ($f_A = 0.15$).
- 1.90 m uzunluğundaki bir insan 0.15 derecesinde “kısa” kabul edilirken ($f_A = 0.15$), 0.90 derecesinde “uzun” kabul edilebilir ($f_A = 0.90$).

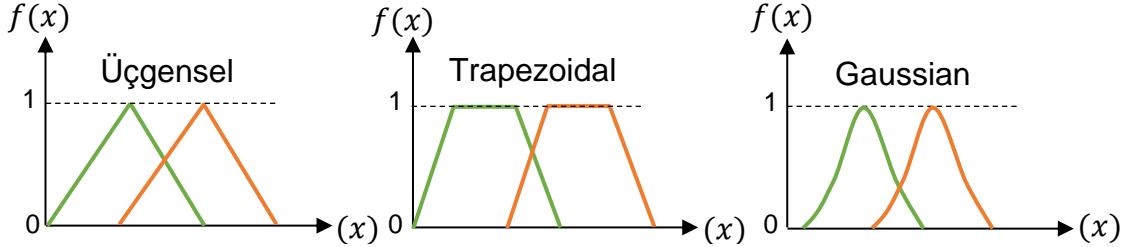
Klasik mantık ve bulanık mantık kümelerinin grafiksel karşılaştırması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Bulanık mantık ile klasik mantık kümelerinin grafiksel karşılaştırması

3.2. Bulanık Mantık Kümeleri

Üyelik fonksiyonları, bulanık mantık kümelerini karakterize eder. Üyelik fonksiyonları çoğunlukla üçgensel, trapezoidal ve Gaussian formlarda tercih edilmektedir (Şekil 3.2). Üyelik fonksiyonlarının formu ve sınırları genellikle kullanıcı tecrübesine göre belirlenmektedir.



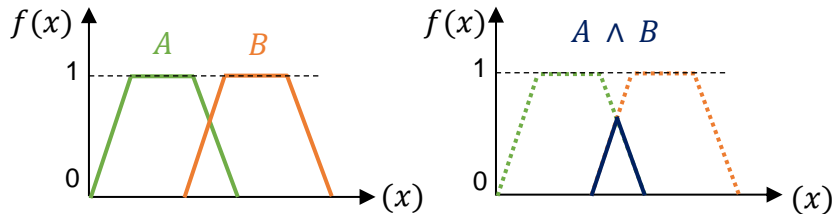
Şekil 3.2 Farklı üyelik fonksiyonu tipleri

3.2.1. Bulanık Küme İşlemleri

A ve B , X uzay kümesi içinde birer bulanık küme ve $x \in X$ olmak üzere bulanık kümelerde işlemler aşağıda tariflenmiştir:

Bulanık kümelerde kesişim işlemi ($A \wedge B$), mantıksal “VE” operasyonuna karşılık gelmekte olup, aşağıdaki şekilde tanımlanır:

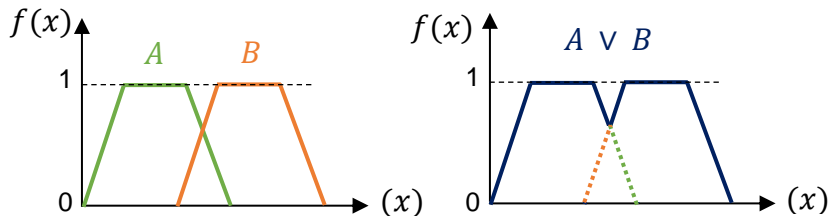
$$(A \wedge B)(x) = \min\{A(x), B(x)\} = A(x) \wedge B(x), \quad \forall x \in X$$



Şekil 3.3 Bulanık kümelerde kesişim işlemi

Bulanık kümelerde bileşim işlemi ($A \vee B$), mantıksal “VEYA” operasyonuna karşılık gelmekte olup, aşağıdaki şekilde tanımlanır:

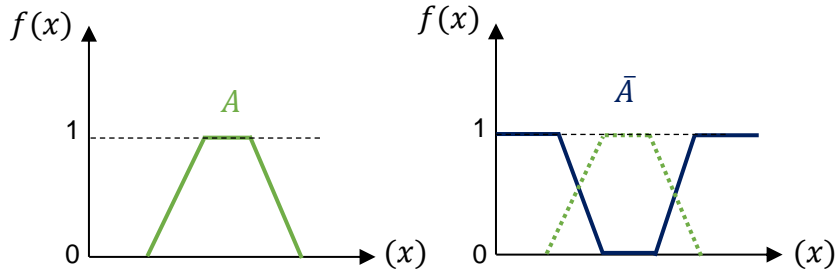
$$(A \vee B)(x) = \max\{A(x), B(x)\} = A(x) \vee B(x), \quad \forall x \in X$$



Şekil 3.4 Bulanık kümelerde bileşim işlemi

Bir A bulanık kümesinin tümleyeni \bar{A} aşağıdaki şekilde ifade edilir:

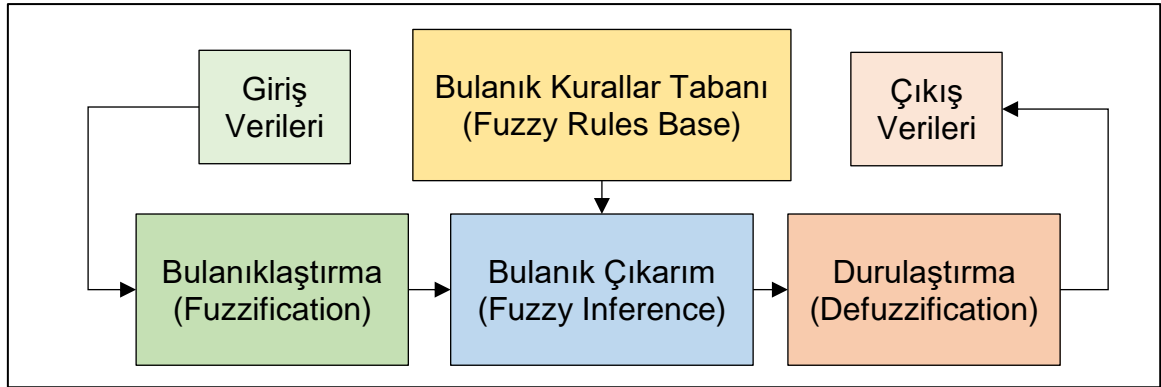
$$\bar{A}(x) = 1 - A(x), \quad \forall x \in X$$



Şekil 3.5 Bir A bulanık kümesinin tümleyeni

3.3. Bulanık Mantık Sistemlerin Çalışma Biçimi

Bulanık mantık sistemler, bulanıklaştırma (fuzzification), bulanık kurallar tabanı (fuzzy rules base), bulanık çıkarım (fuzzy inference) ve durulaştırma (defuzzification) olmak üzere 4 temel bileşenden oluşur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Bulanık mantık sistem mimarisi

Bulanık mantık sistemlerinin algoritması, aşağıdaki 6 temel adımla özetlenebilir:

- 1) Dilsel değişkenlerin ve terimlerin tanımlanması (Linguistic variables)
- 2) Üyelik fonksiyonlarının yapılandırılması (Membership functions)
- 3) Bulanık kurallar tabanının yapılandırılması (Fuzzy Rules Base)
- 4) Bulanıklaştırma (Fuzzification): Bulanık sistem giriş verilerinin kesin değerlerinin bulanık değerlere dönüştürülmesi
- 5) Bulanık Çıkarım (Fuzzy Inference)
 - a. Bulanık kurallar tabanında yer alan kuralların değerlendirilmesi
 - b. Her bir kuralın sonuçlarının birleştirilmesi
- 6) Durulaştırma (Defuzzification): Çıkış verilerinin bulanık olmayan değerlere dönüştürülmesi

Bulanık mantık sistemlerin çalışma biçimi, bir sürücünün önündeki araç ile arasındaki mesafesini koruması örneği ile, ilgili başlıklar altında açıklanmıştır. Sürücü, önündeki araç ile arasındaki “Mesafe” ve kullandığı aracın “Hızı”nı temel alarak “Frene basma” veya “Gaza basma” kararı almaktadır. Burada, “Mesafe” ve “Hız” bulanık sistem veri girişlerini, “Frene basma” ve “Gaza basma” bulanık sistem veri çıkışlarını, kişinin karar alma mekanizması ise bulanık çıkarımı temsil etmektedir.

3.3.1. Dilsel Değişkenler

Dilsel değişkenler, bir bulanık mantık sistemin tüm giriş verilerinin ve çıkış verilerinin sayısal değerler yerine doğal dilsel terimlerle ifade edilmiş şeklidir.

“Mesafe” ve “Hız” değişkenleri, bulanık sistemin veri girişlerini oluşturan dilsel değişkenler, “Frene basma” ve “Gaza basma” ise bulanık sistemin veri çıkışlarını ifade etmektedir.

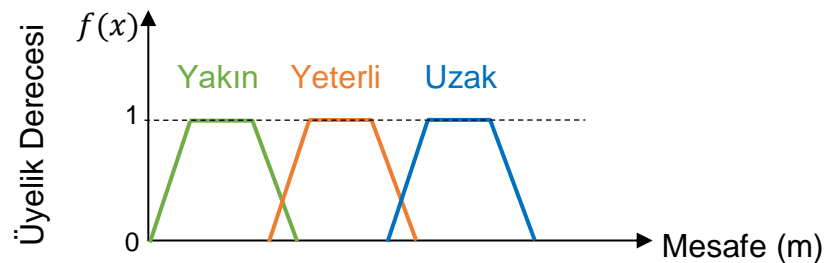
3.3.2. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları bulanık sistemde yer alan her bir giriş verisinin bulanıklaştırılması ve her bir çıkış verisinin durulaştırılması aşamasında devreye girer. Bulanık küme, bu kümenin elemanlarına 0 ve 1 aralığında bir üyelik değeri belirleyen bir üyelik fonksiyonu ile betimlenmektedir.

A , X uzay kümesi içinde bir bulanık küme, $x \in X$ ve $f_A(x)$ x kesin sayısının üyelik derecesi olmak üzere A bulanık kümesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

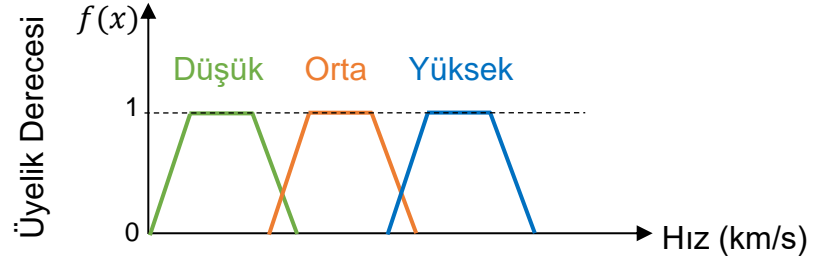
$$A = \{(x, f_A(x)), \quad x \in X\}$$

“Mesafe” değişkeni, “Yakın”, “Yeterli” ve “Uzak” bulanık kümeleri ve bu kümeleri betimleyen üyelik fonksiyonlarıyla Şekil 3.7’deki örnek gibi ifade edilebilir.



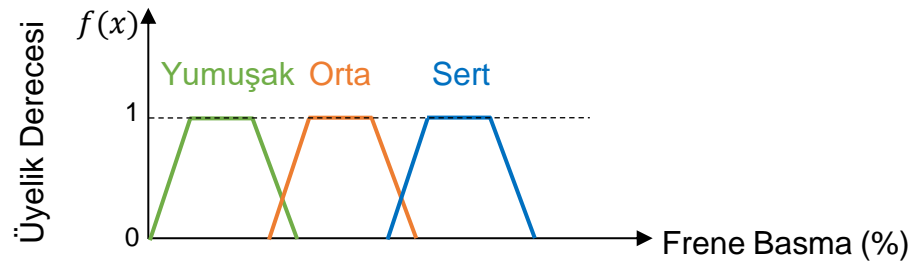
Şekil 3.7 “Mesafe” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

“Hız” değişkeni, “Yüksek”, “Orta”, “Düşük” bulanık kümeleri ve bu kümeleri betimleyen üyelik fonksiyonlarıyla Şekil 3.8’deki örnek gibi ifade edilebilir.



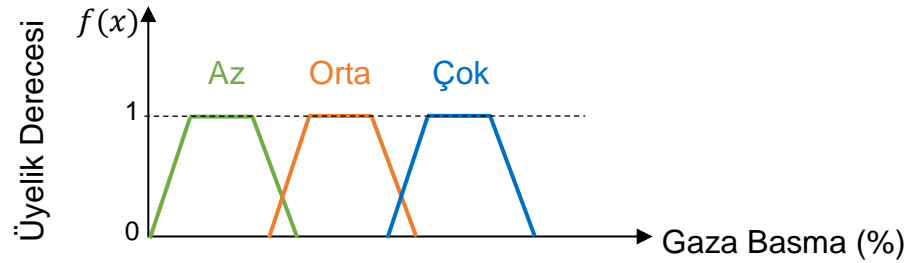
Şekil 3.8 “Hız” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

“Frene basma” değişkeni, “Yumuşak”, “Orta” ve “Sert” bulanık kümeleri ve bu kümeleri betimleyen üyelik fonksiyonlarıyla Şekil 3.9’daki örnek gibi ifade edilebilir.



Şekil 3.9 “Frene basma” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

“Gaza basma” değişkeni, “Az”, “Orta” ve “Çok” bulanık kümeleri ve bu kümeleri betimleyen üyelik fonksiyonlarıyla Şekil 3.10’daki örnek gibi ifade edilebilir.



Şekil 3.10 “Gaza basma” değişkenine ait bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

3.3.3. Bulanıklaştırma

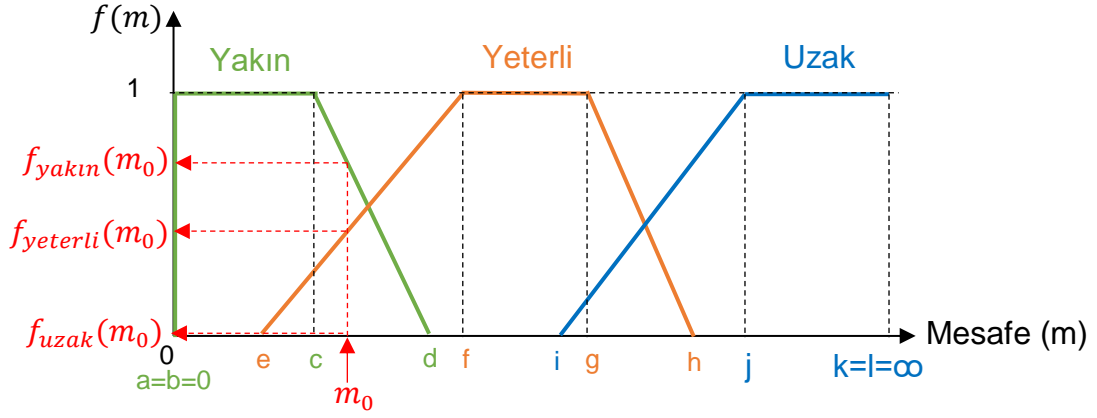
Bulanık sistemin giriş verilerinin kesin değerlerinin bulanık kümelere sahip olduğu üyelik derecesinin araştırılması işlemi bulanıklaştırma olarak adlandırılır.

Bir X kümesindeki bir A bulanık mantık kümesinin üyelik fonksiyonu $f_A(x)$, X kümesindeki her bir elemanı $[0,1]$ aralığına eşleştiren fonksiyon olarak tanımlanır:

$$f_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

$f_A(x)$ fonksiyonun herhangi bir x noktasında alacağı değer, üyelik fonksiyonun formuna (üçgensel, trapezoidal, Gaussian...) bağlıdır. Şekil 3.11’deki gibi

tanımlanan “Mesafe” değişkenine ait “Yakın”, “Yeterli” ve “Uzak” bulanık kümeleri ve bu kümeleri betimleyen üyelik fonksiyonlarının sınırları ile, bir m mesafe değerine ait üyelik derecelerinin matematiksel ifadeleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.11 “Yakın”, “Yeterli” ve “Uzak” bulanık kümelerine ait trapezoidal üyelik fonksiyonları

$$f_{yakın}(m, c, d) = \begin{cases} 1, & 0 \leq m \leq c \\ \frac{d-m}{d-c}, & c \leq m \leq d \\ 0, & d < m \end{cases}$$

$$f_{yeterli}(m, e, f, g, h) = \begin{cases} 0, & m < e \\ \frac{m-e}{f-e}, & e \leq m \leq f \\ 1, & f \leq m \leq g \\ \frac{h-m}{h-g}, & g \leq m \leq h \\ 0, & h < m \end{cases}$$

$$f_{uzak}(m, i, j) = \begin{cases} 0, & m < i \\ \frac{m-i}{j-i}, & i \leq m \leq j \\ 1, & j < m \end{cases}$$

3.3.4. Bulanık Kurallar Tabanı

Bulanık kurallar tabanı, bulanık sistemdeki giriş verilerinin bulanıklaştırılmasından sonra yorumlanması sırasında temel alınan kurallar bütünü olup, bu kurallar çoğunlukla kullanıcıların tecrübeleri baz alınarak oluşturulurlar. Bulanık mantık kuralları, birbirine “VE” veya “VEYA” operatörleriyle bağlanan koşullardan oluşan bir “Öncül”den (Antecedent) ve “Sonuç”tan (Consequent) oluşur. Öncül ve sonuç birbirine “EĞER ... İSE ...” kalıbıyla bağlanır. Çizelge 3.1’de örnek bir bulanık mantık kurallar tabanı sunulmuştur.

Örnekte olduğu gibi, birden fazla giriş verisinin bulunduğu durumlarda, her bir öncülün tek bir veri çıkışı olmalıdır. $f_A(x)$ bir x girişinin A bulanık kümesindeki üyelik

derecesi, $f_B(y)$ bir y girişinin B bulanık kümesindeki üyelik derecesi, F_i i'inci kuralın çıkış değişkeni olmak üzere, bu çıkış değişkenin en çok kullanılan belirlenme yöntemleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Örnek bir bulanık mantık kurallar tabanı

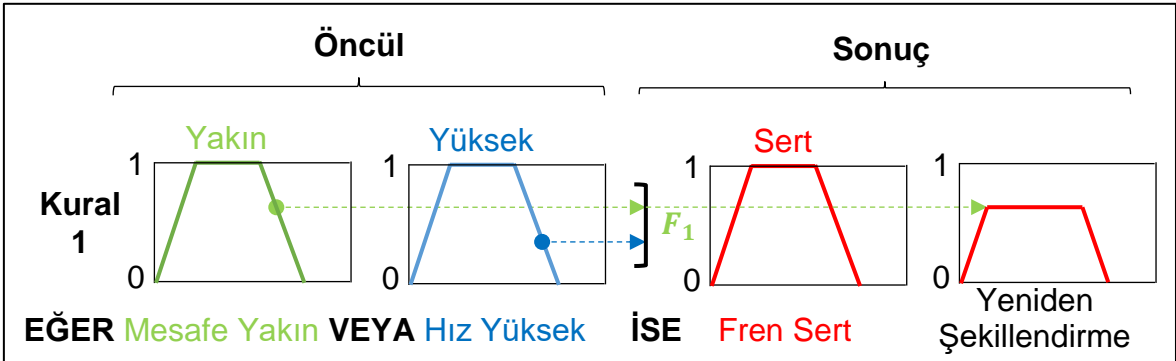
		Öncül					Sonuç		
Kural 1	EĞER	Mesafe	Yakın	VEYA	Hız	Yüksek	İSE	Frene Basma	Sert
Kural 2		Mesafe	Yakın	VE	Hız	Orta		Frene Basma	Orta
Kural 3		Mesafe	Uzak	VE	Hız	Düşük		Gaza Basma	Çok
Kural 4		Mesafe	Uzak	VE	Hız	Yüksek		Gaza Basma	Az

Çizelge 3.2 Çıkış değişkeninin belirlenmesi

OPERATÖR	F_i ÇIKIŞ DEĞİŞKENİ
VE	$F_i = \min\{f_A(x), f_B(y)\}$
VEYA	$F_i = \max\{f_A(x), f_B(y)\}$

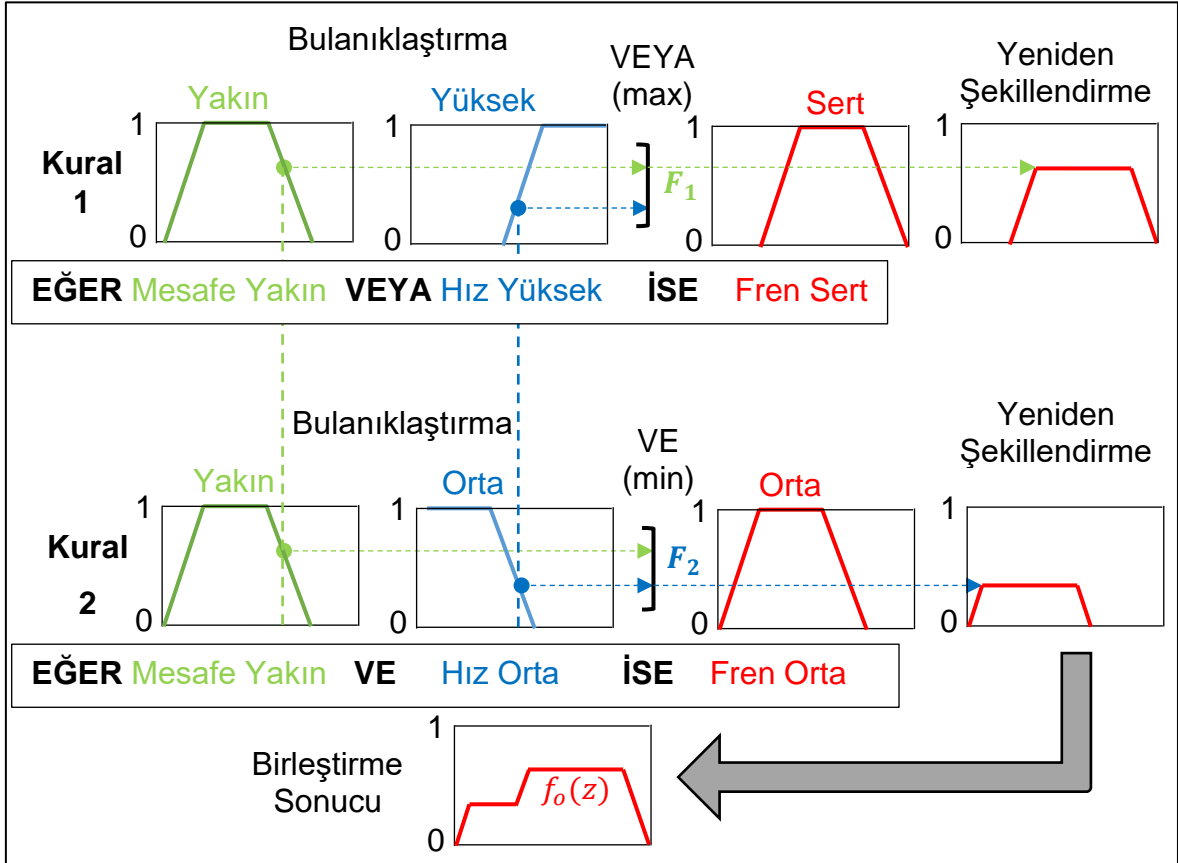
3.3.5. Bulanık Çıkarım

Bulanıklaştırma ve her bir kurala ait F_i çıkış değişkenlerinin belirlenmesinden sonra, bu değişkenlerin değerlendirilerek genel bulanık sistemin veri çıktılarıyla ilişkilendirilmesi gerekir. Bu aşama, bulanık sistemin “bulanık çıkarım” bölümünü oluşturmaktadır. Mamdani tarafından [26]'da tariflenen yöntem göre, her bir kuralın “sonuç” (consequent) kısmı bir bulanık küme ile ifade edilir ve bu küme ilgili kuralın F_i çıkış değişkenine göre yeniden şekillendirilir (implication). Yeniden şekillendirme işlemi kesişim “VE” (minimum) operatörü ile gerçekleştirilir. Yeniden şekillendirme işlemi Çizelge 3.1'de yer alan “Kural 1” ile Şekil 3.12'de örneklendirilmiştir.



Şekil 3.12 Yeniden şekillendirme işlemi (implication)

Her bir kurala ait sonuç bulanık kümesi yeniden şekillendirildikten sonra (implication) bu bulanık kümelerin tek bir bulanık kümede birleştirilmesi (aggregation) gerçekleştirilir. Birleştirme işlemi bulanık kümelerdeki VEYA (maximum) operatörü ile gerçekleştirilir. Birleştirme işlemi Çizelge 3.1’de yer alan “Kural 1” ve “Kural 2” kullanılarak Şekil 3.13’te örneklendirilmiştir.



Şekil 3.13 Birleştirme işlemi (aggregation)

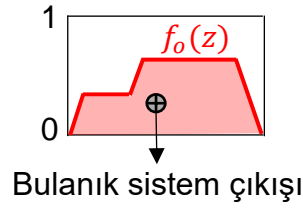
3.3.6. Durulaştırma

Bulanık çıkarım sürecinde, birleştirme işlemi sonucu elde edilen bulanık kümenin nihaî kesin bir çıkışa dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem durulaştırma (defuzzification) adını almaktadır. Durulaştırma işlemi, birleştirme işlemi sonucu oluşan çıkış değişkenine ait üyelik fonksiyonu göz önüne alınarak gerçekleştirilir.

Literatürde yer alan durulaştırma yöntemleri içinde en çok alan ağırlık merkezi yöntemi tercih edilmektedir. Z_{COG} bulanık sistemin çıkış verisi, $f_0(z)$ çıkış verisine ait birleşim üyelik fonksiyonu olmak üzere aşağıdaki cebirsel ifade ile tanımlanır:

$$Z_{COG} = \frac{\int_z f_0(z) \cdot z \, dz}{\int_z f_0(z)}$$

Durulaştırma işleminin grafiksel gösterimi Şekil 3.14'te sunulmuştur.



Şekil 3.14 Durulaştırma işlemi sonrası elde edilen bulanık sistem ıkışı

3.4. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları

Bulanık mantık, matematiksel modellemesi çok zor olan veya modellenemeyen, doğrusal olmayan, eksik tanımlanmış, birden fazla anlık değişkenlik gösteren parametresi olan, gerçek zamanlı karmaşık problemlerin ve sistemlerin çözümü ve kontrolü için uygun olmaktadır. Bulanık mantık işleyişi, insan karar verme tarzında olup matematiksel modele ihtiyaç duymaz. Bu yüzden uygulaması kolaydır.

Bulanık mantık, yapay zeka, mühendislik bilimleri, tıp bilimi, sosyoloji ve psikoloji bilimleri, işletme, sinyalizasyon ve ulaştırma, sinyal işleme gibi bir çok uygulama alanında kullanılmaktadır. Otomatik kontrol sistemleri, görüntü işleme, çamaşır makinesi kontrolü, elektrik süpürgesi kontrolü, içten yanmalı motor kontrolü, ABS fren sistemi, klima kontrolü, metro sistemleri gibi mühendislik uygulamalarında bulanık mantık tabanlı kontrolcülerin kullanımına rastlanmaktadır.

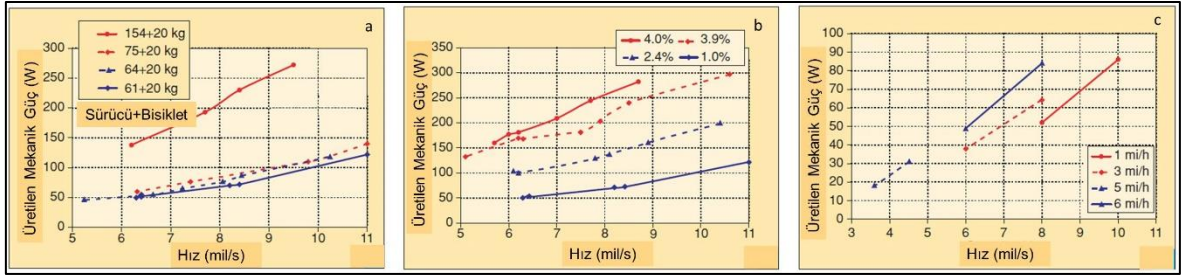
Diğer taraftan, bulanık mantık karar algoritmasını oluşturan kuralların uygun bir Şekilde belirlenmesi, tecrübe ve/veya uzmanlık bilgisi gerektirir. Kuralların ve üyelik fonksiyonlarının tanımlanması sırasında zorluklar yaşanabilir ve uzun bir zaman ihtiyacı duyulabilir. Üyelik fonksiyonlarının sınırlarının belirlenmesinde bir çok deneme yanılma yapılması gerekebilmektedir.

4. IQ-BIKE

4.1. Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi

4.1.1. Güç İhtiyacının Belirlenmesi

Yapılan bir araştırmada, dört farklı sürücü desteksiz test bisikletini farklı sürüş koşullarında sürmüştür [16]. Deneylerde kullanılan azami hız şehir içi kullanımlarda tipik olan 19 km/s'e kadar hava yoğunluğu sabit kabul edilerek yapılmıştır. Ayrıca, yuvarlanma ve rüzgar direnci katsayıları sabit kabul edilmiş ve detaylı olarak incelenmemiştir. Test sonuçları Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 4 farklı bisiklet sürücüsünün ağırlık, eğim ve karşı rüzgar hızına göre ürettikleri mekanik enerjinin farklı hızlara göre çizilmiş eğrileri, a) farklı sürücü ağırlıklarında değişen hız ile üretilen mekanik enerji grafiği, b) bisiklet+sürücünün 81 kg olduğu durumda farklı eğimlerde değişken hızlara göre ortaya çıkan mekanik enerji grafiği, c) bisiklet+sürücünün 81 kg olduğu durumda karşı rüzgar hızına göre ortaya çıkan mekanik enerji grafiği

Bu çalışmanın sonucunda araştırmacıların vardıkları sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Düz yolda şehir içi yasal hız sınırları dahilinde seyreden 60 ila 75 kg'lık kullanıcılar için tam destek verilen durumlarda güç gereksinimi benzerdir ve 150 W'ın altında kalmaktadır.
- 81 kg'lık bir kullanıcının % 4'lük bir yokuşu çıkabilmesi için toplamda 300 W civarında bir güç harcaması gerekmektedir.
- 10 mil/s ile giderken 6 mil/s'lik bir karşı rüzgarın etkisini yenmek için fazladan 90 W'lık güç harcamak gerekmektedir.
- Dört sürüş profili ortalama/maksimum güç, tork ve hızın geniş bir spektrumunu kapsamaktadır.
- 4. sürücünün atletik yapısını göz ardı edildiğinde, ortalama bir sürüş için ortaya çıkan maksimum tork 30 N.m, maksimum güç 400 W'tan bir miktar daha az, ortalama tork 6-8 N.m ve ortalama güç 100 W civarındadır.

Bu sonuçlar göz önüne alınarak, bu tez kapsamında 250 W güç üretebilen, azami torku 30-40 N.m olan, azami dönüş hızı 300 rpm olan (20 km/s bisiklet hızı), 24 km/s hıza kadar destek veren, 24-36 volt arasında çalışan bir elektrik destekli bisiklet kullanılmıştır.

4.1.2. Sensörler, Transmisyon, Kontrolcü Modülü ve Veri Kaydedici

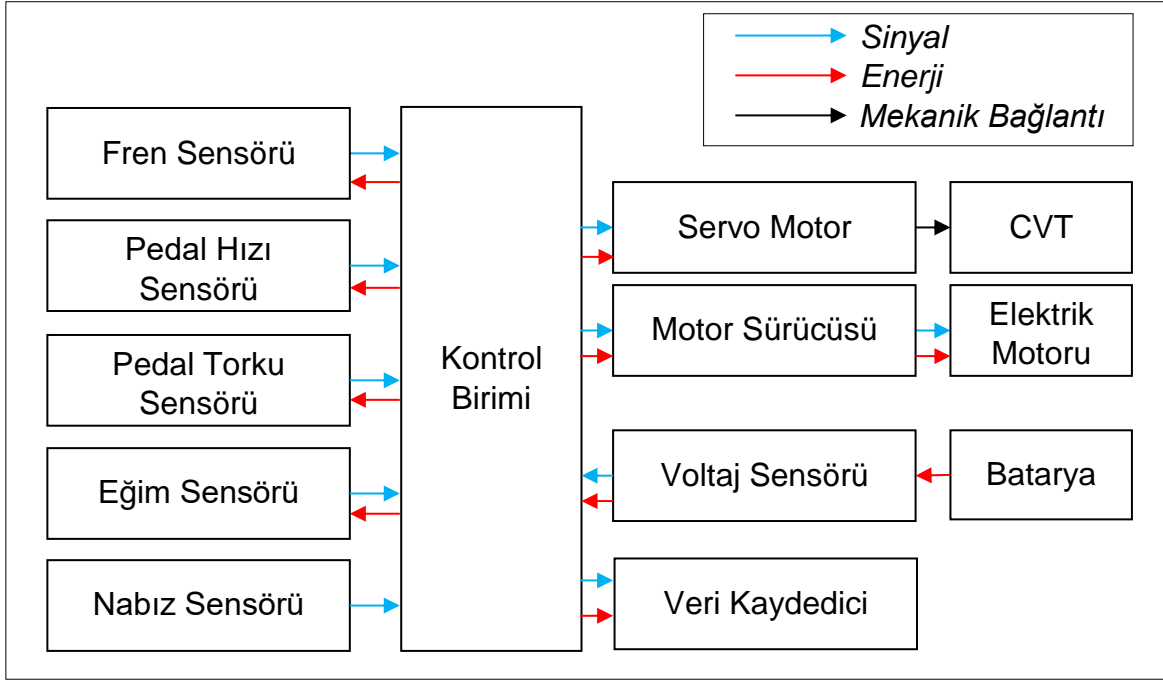
IQ-Bike'ta yer alan donanımlar ve kullanım amacı Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Donanımlar ve kullanım amaçları

Donanım	Kullanım Amacı
Fren sensörü	Kullanıcı tarafından frene basılıp basılmadığının tespiti
Entegre tork-hız sensörü	Kullanıcı tarafından pedala uygulanan tork ve pedal dönüş hızının ölçülmesi
Arka teker hız sensörü	Bisikletin durağan veya hareket halinde olup olmadığının belirlenmesi, hareket halinde ise hızının ölçülmesi
Eğim sensörü	Sürüş esnasında takip edilen yolun eğiminin ölçülmesi
Nabız sensörü	Bisikletçinin nabız seviyesinin ölçülmesi
Voltaj sensörü	Batarya voltajının anlık olarak takip edilmesi
Sürekli değişken transmisyon (CVT)	Otomatik ayarlamaya uygun, yumuşak vites geçişlerinin sağlanması
Servo motor	Transmisyon oranının (vites oranının) kullanıcıdan bağımsız olarak, tamamen otomatik olarak ayarlanabilmesi amacıyla CVT kontrolünün sağlanması
Geliştirme kartı	Sistemde yer alan sensörlerden verilerin toplanması, filtrelenmesi, işlenmesi ve bulanık mantık kontrolcünün uygulanması
Veri kaydedici	Geliştirme kartına uyumlu, sistemdeki sensörlerden gelen giriş verilerinin ve kontrolcü çıkış verilerinin kaydedilmesi

4.2. Sistem Mimarîsinin Oluşturulması

IQ-Bike sistemini oluşturan temel bileşenler ve sistem mimarîsi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 IQ-Bike sistem mimarîsi

4.3. Sistem Donanımlarının Belirlenmesi

4.3.1. Elektrikli Bisiklet

IQ-Bike sistemi, hazır tedarik edilen ADABİS marka elektrikli bisikletin tadil edilmesi ve ilave donanımların eklenmesiyle oluşturulmuştur. Elektrikli bisikletin özellikleri Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 ADABİS elektrikli bisiklet özellikleri

Donanım	Açıklama
Elektrik Motoru	Golden Motor Magic Pie II BLDC Hub - Entegre kontrolcü - Kontrolcü sinyali: 1.0 - 4.0 V - Çalışma voltajları: 24 - 60 V - Güç: 250 - 1000 W - Akım: sürekli 25 A, max. 45 A - Ağırlık: 7.5 kg - Hız: max. 178 rpm (@ 24 V) - Tork: max. 22.6 N.m (@ 24 V, 130 rpm) - Verim: max. % 76 (@ 160 rpm)
Batarya	24V 10Ah Li-ion
Tekerler	26 inç
Fren sensörleri	Anahtar tipi (switch)

4.3.2. Sürekli Değişken Transmisyon (CVT)

Bisikletlerde bulunan geleneksel dişli tip viteslerin otomatik kumanda edilmesi zordur ve vites geçişleri sürekli olmadığından sürüş konforunu olumsuz yönde etkileri. Bisikletin arka tekerinde yer alan mevcut dişlili vites sökülerek, yerine otomatik ayarlamaya uygun ve yumuşak vites geçişlerini sağlayan, bisikletler için geliştirilmiş NuVinci N360 marka sürekli değişken transmisyon (CVT) entegre edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 NuVinci N360 sürekli değişken transmisyon (CVT)

Bu CVT sistemi, girişi ve çıkışı arasında 0.5 - 1.8 aralığında olmak üzere sonsuz oranda transmisyon oranı ayarlanmasına imkan vermektedir. Bu oran, sistemin kumanda mekanizmasının 0-270 derece arasında döndürülmesiyle elde edilmektedir.

4.3.3. Servo Motor

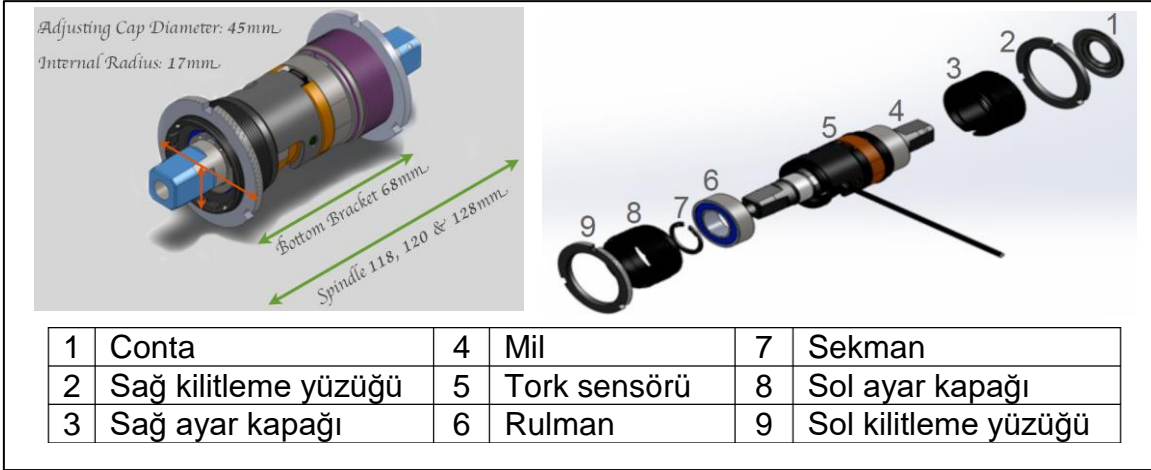
CVT kumanda mekanizmasının, kontrolcüden gelen komutlar doğrultusunda otomatik olarak ayarlanabilmesi ve transmisyon oranının değiştirilmesi için sisteme bir adet servo motor entegre edilmiştir. Servo motorun özellikleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3 Servo motor özellikleri

Çalışma Voltajı	4.8 - 6 V	
	4.8 V	6 V
Çalışma hızı (yüksüz)	0.16 s/60°	0.14 s/60°
Çalışma akımı (yüksüz)	400 mA	500 mA
Boşta çalışma akımı (durağan)	400 mA	500 mA
Durma torku	15.5 kg.cm	17 kg.cm
Durma akımı	2300 mA	2500 mA
Çalışma açısı	180° ± 10°	
Redüksiyon oranı	1:298	
Kontrol sistemi	PWM	

4.3.4. Entegre Pedal Hızı ve Pedal Torku Sensörü

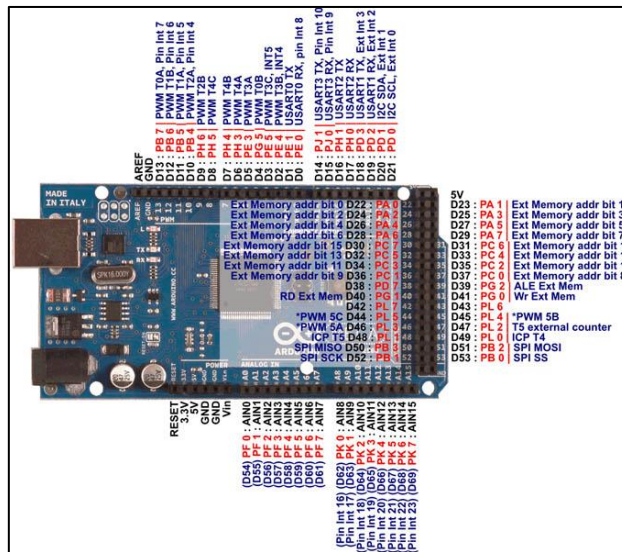
Bisikletçinin pedala uyguladığı torkun ve pedal dönüş hızının ölçülmesi için, pedal göbeğine TDCM marka tork-hız sensörü entegre edilmiştir. Sensöre ilişkin detaylar Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.4 TDCM tork-hız sensörü

4.3.5. Geliştirme Kartı

Sistemde yer alan sensörlerden verilerin toplanması, filtrelenmesi, işlenmesi, bulanık mantık kontrolcünün uygulanması, BLDC motor kontrolü ve CVT kontrolünün gerçekleştirilmesi amacıyla, ATmega2560 temelli Arduino Mega mikrodenetleyici kartı kullanılmıştır. Üzerinde 15 adedi PWM çıkışı olarak kullanılabilen 54 adet dijital giriş/çıkış pini, 16 analog giriş pini, 4 adet donanımsal seri port (UART), USB soketi ve ICSP konnektörü bulunmaktadır.



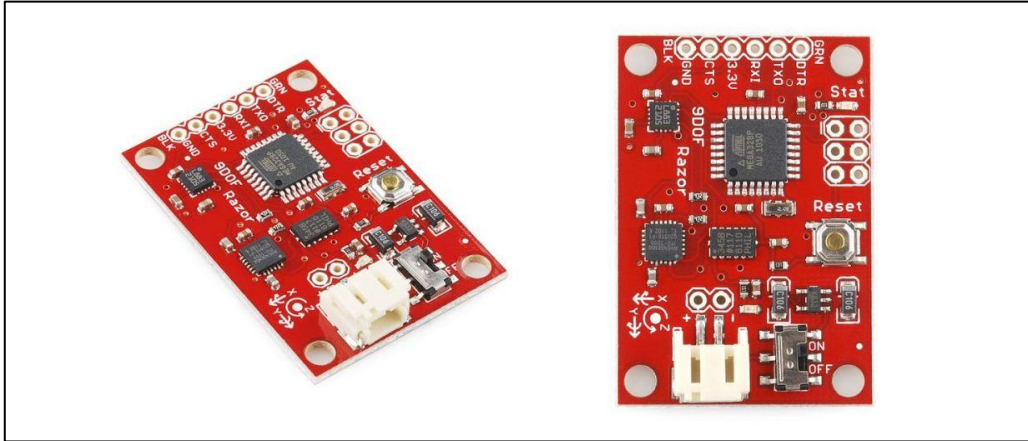
Şekil 4.5 Arduino Mega mikrodenetleyici kart

Çizelge 4.4 Arduino Mega mikrodenetleyici kart özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega2560
Çalışma gerilimi	+5 V DC
Tavsiye edilen besleme gerilimi	7 - 12 V DC
Besleme gerilimi limitleri	6 - 20 V
Dijital giriş / çıkış pinleri	54 adet (15 tanesi PWM çıkışı destekli)
Analog giriş pinleri	16 adet
Flash hafıza	256 KB
EEPROM	4 KB
Saat frekansı	16 MHz

4.3.6. Eğim Sensörü

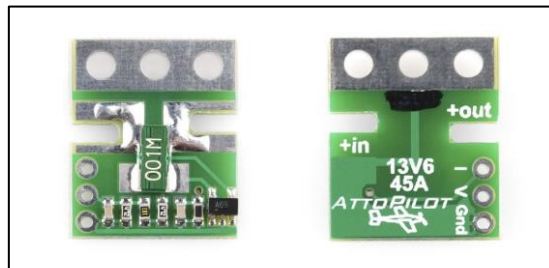
Sürüş esnasında takip edilen yolun eğiminin ölçülmesi amacıyla 9DOF Razor IMU (atalet ölçüm ünitesi) kullanılmıştır. Üzerinde ITG-3200 (MEMS yapılı 3 eksenli dijital çıkışlı jiroskop), ADXL345 (13-bit çözünürlüklü, 3 eksen ivmeölçer) ve HMC5883L (3 eksen dijital magnetometre) bulunmaktadır.



Şekil 4.6 9DOF Razor IMU

4.3.7. Voltaj Sensörü

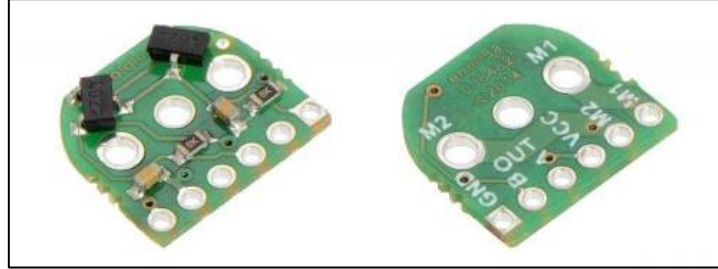
Batarya voltajının anlık takibi için AttoPilot 45A voltaj sensörü kullanılmıştır. 51.8 Volt ve 44.7 Ampere kadar ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 4.7 AttoPilot 45A voltaj sensörü

4.3.8. Arka Teker Hız Sensörü

Bisikletin durağan veya hareket halinde olup olmadığının belirlenmesi, hareket halinde ise hızının ölçülmesi amacıyla, bisiklet şasisi üzerine manyetik enkoder yerleştirilmiştir. Arka teker monte edilen bir mıknatısın dönüş hızını takip etmektedir.



Şekil 4.8 Manyetik Enkoder

4.3.9. Nabız Sensörü ve Alıcısı

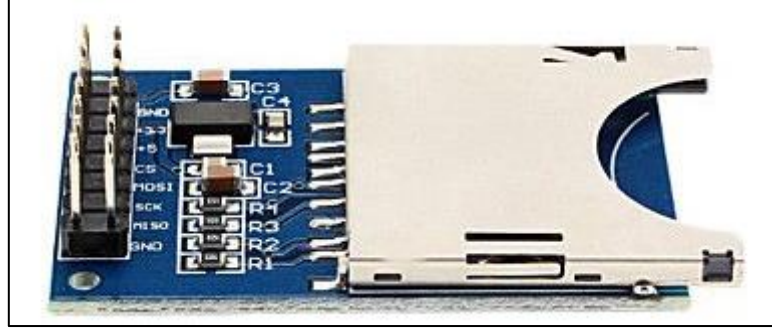
IQ-Bike'in kontrolünü sağlayan Arduino tipi geliştirme kartlarına uyumlu olarak Polar T31, T31C, T61C ve Wearlink vericileri için tasarlanan "SparkFun Polar Heart Rate Monitor" değerlendirme kartı ve bu kartla haberleşebilen Polar T31C nabız ölçer göğüs bandı tipi verici ile bisikletçinin nabızı anlık takip edilmekte ve kontrolcüye aktarılmaktadır. Nabız ölçer verici ile alıcısı düşük frekanslı elektromanyetik alan üzerinden kablosuz veri alışverişi yapmaktadır.



Şekil 4.9 Nabız ölçme donanımları

4.3.10. Veri Kaydedici

Sistemdeki sensörlerden toplanan giriş verilerinin ve kontrolcü çıkış verilerinin kaydedilmesi amacıyla, Arduino geliştirme kartı ile SPI protokolü üzerinden haberleşen bir SD kart modülü kullanılmıştır.



Şekil 4.10 SD Kart Modülü

4.3.11. Diğer Donanımsal Bileşenler

IQ-Bike'ta yer alan diğer donanımsal bileşenler ve kullanım amaçları Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

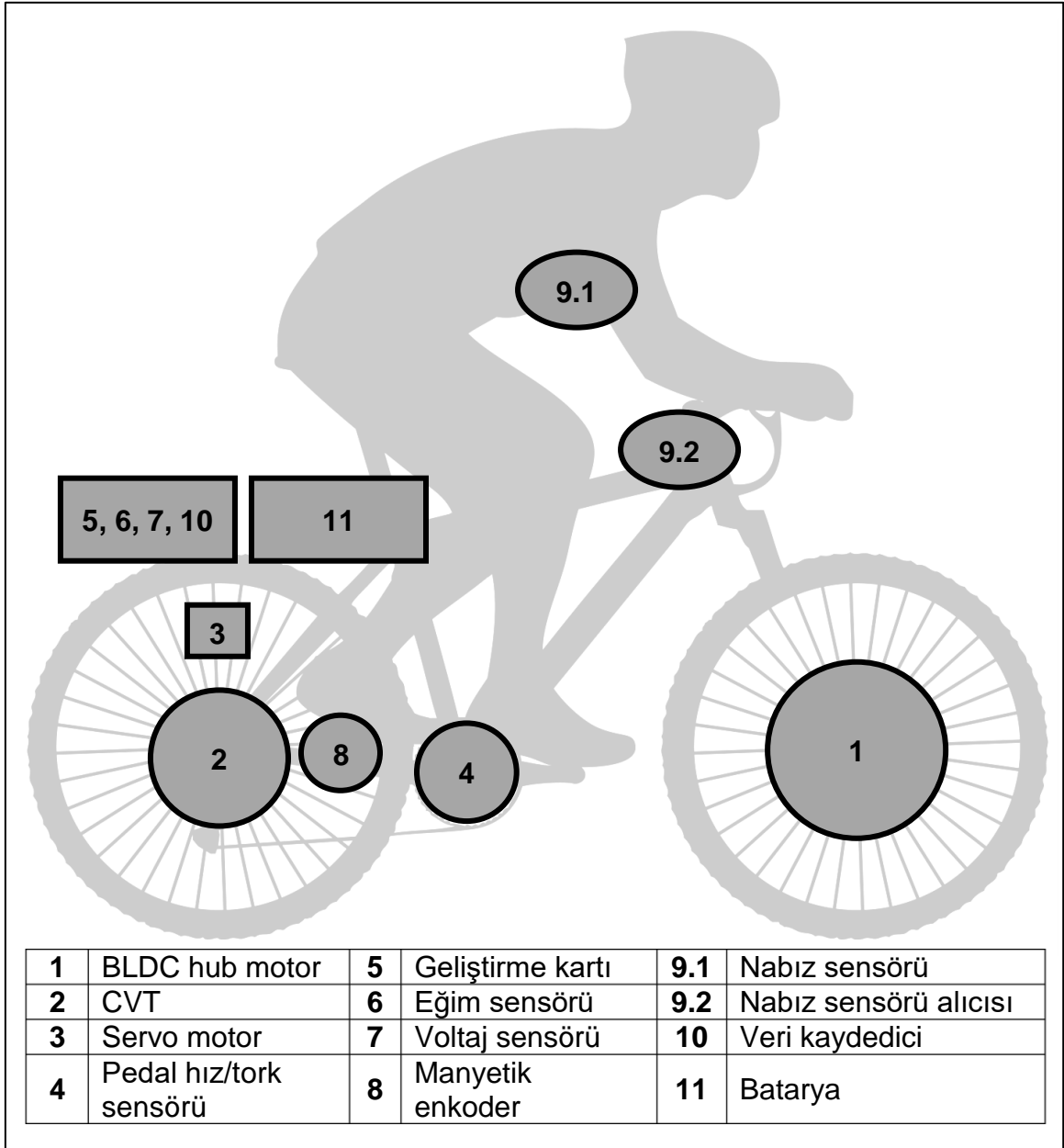
Çizelge 4.5 Diğer donanımsal bileşenler

Ana şalter	Tüm sistemin enerjisinin verilmesi ve kesilmesi
FLC kontrol şalteri	Bulanık mantık kontrolcünün devreye alınması ve devreden çıkarılması
Veri kayıt şalteri	Veri kaydının başlatılması ve durdurulması
5 Volt voltaj regülatörü	Servo motorun beslenmesi
5 Volt voltaj regülatörü	Sensörlerin beslenmesi
3.3 Volt voltaj regülatörü	SD kart modülünün beslenmesi
Kırmızı LED	Veri kaydı yapılmadığının gösterilmesi
Yeşil LED	Veri kaydı yapıldığının gösterilmesi
Turuncu LED	Elektrik motoru desteği verildiğinin gösterilmesi
Buzzer	Sistemin aktifleşmesi, veri kaydının başlaması ve durması durumlarında sesli uyarı verilmesi

4.3.12. Sistem Donanımlarının Entegrasyonu

Elektrik motoru ve sürücüsü, bisiklette ön tekerin göbeğinde yer almaktadır. Arka teker göbeğine ise CVT entegre edilmiştir. CVT'yi kumanda eden servo motor, arka tekerin sağ üstüne denk gelecek şekilde, arka bagajın yanına monte edilen

pleksiglas yapıya bağlanmıştır. Pedal göbeğine pedal hız-tork sensörü takılmıştır. Geliştirme kartı, eğim sensörü, voltaj sensörü, ve veri kaydedici SD kart modülü delikli bakır plaket üzerine yerleştirilmiştir, lehim ve tellerle bağlantıları yapılmıştır. Bu donanımlar pleksiglas kutuya yerleştirilerek bisikletin arka bagajına bağlanmıştır. Batarya selenin altında bulunmaktadır. Nabız sensörü bisikletçinin göğsüne takılmaktadır. Nabız sensörü alıcısı, kayıt başlatma-durdurma düğmesi, kontrolcüyü devreye alma-devreden çıkarma düğmesi ve LED'ler gidonun ortasındadır. Sistem donanımlarının IQ-Bike üzerindeki pozisyonları Şekil 4.11'de sunulmuştur.



Şekil 4.11 Sistem donanımları



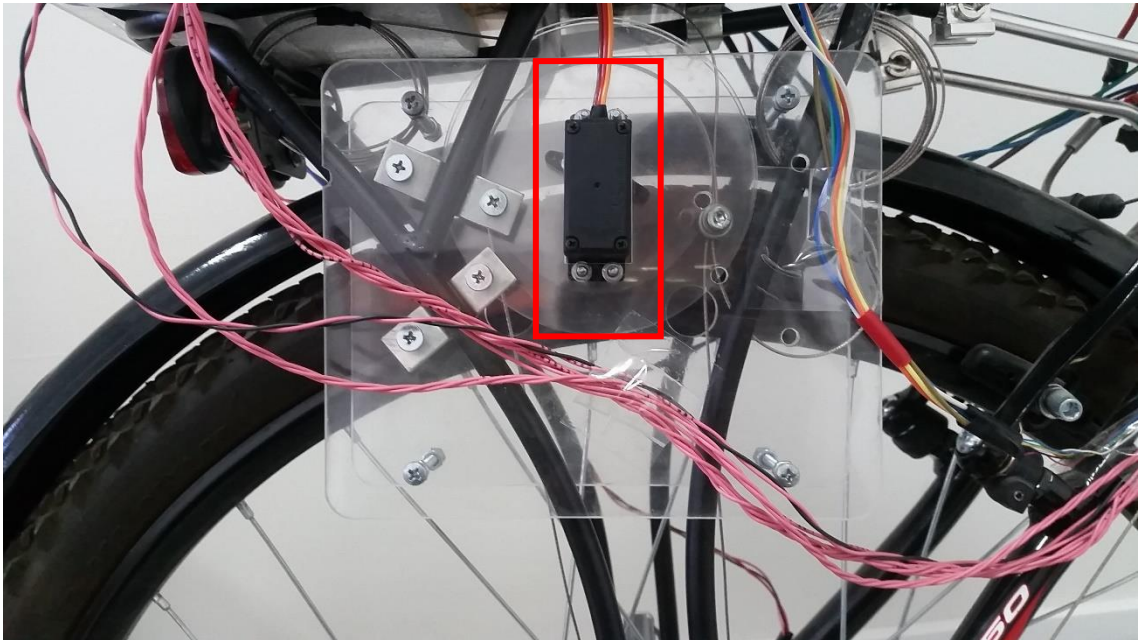
Şekil 4.12 IQ-Bike



Şekil 4.13 BLDC Hub Motor



Şekil 4.14 CVT - Sürekli Değişken Transmisyon



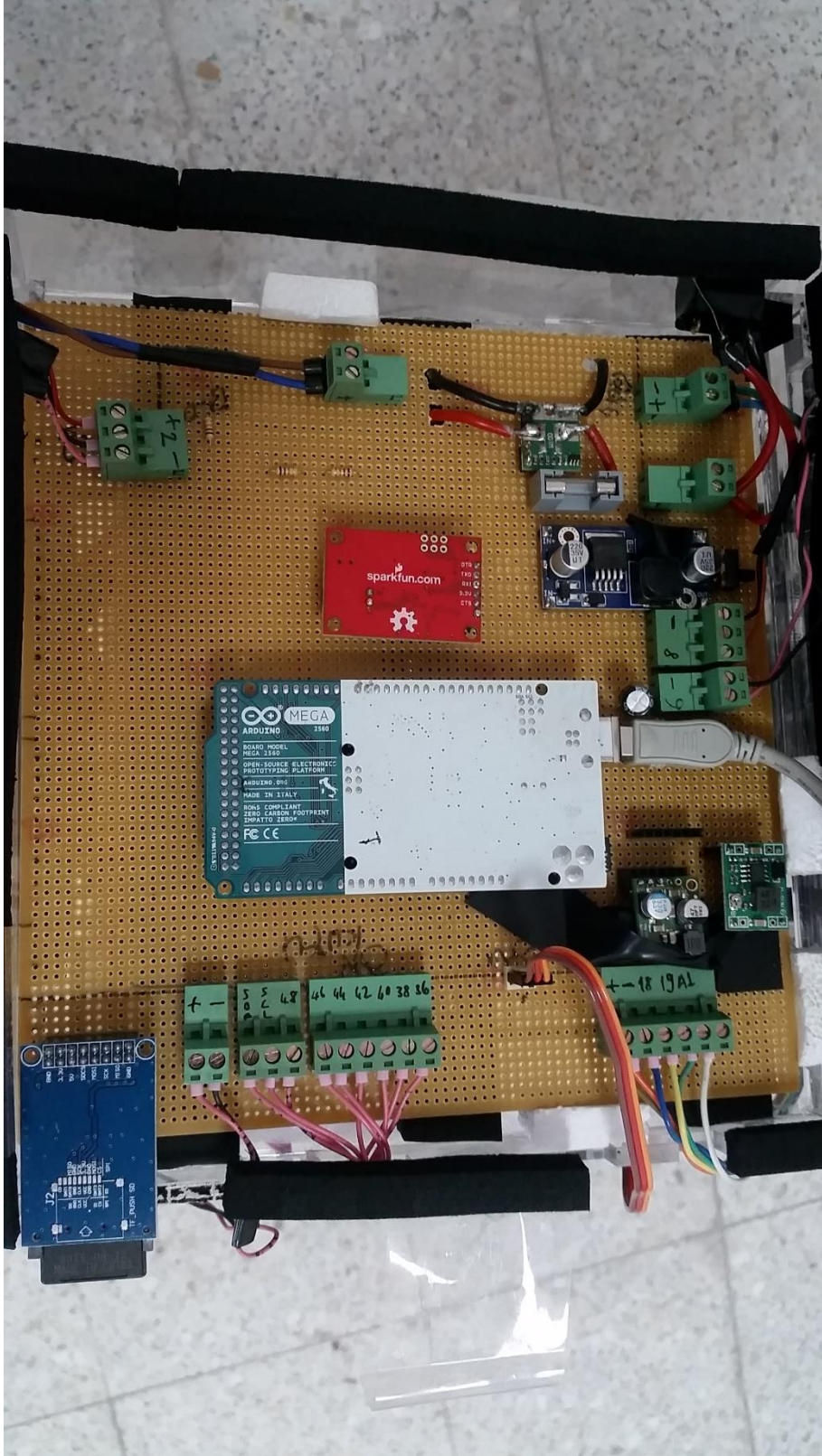
Şekil 4.15 Servo Motor



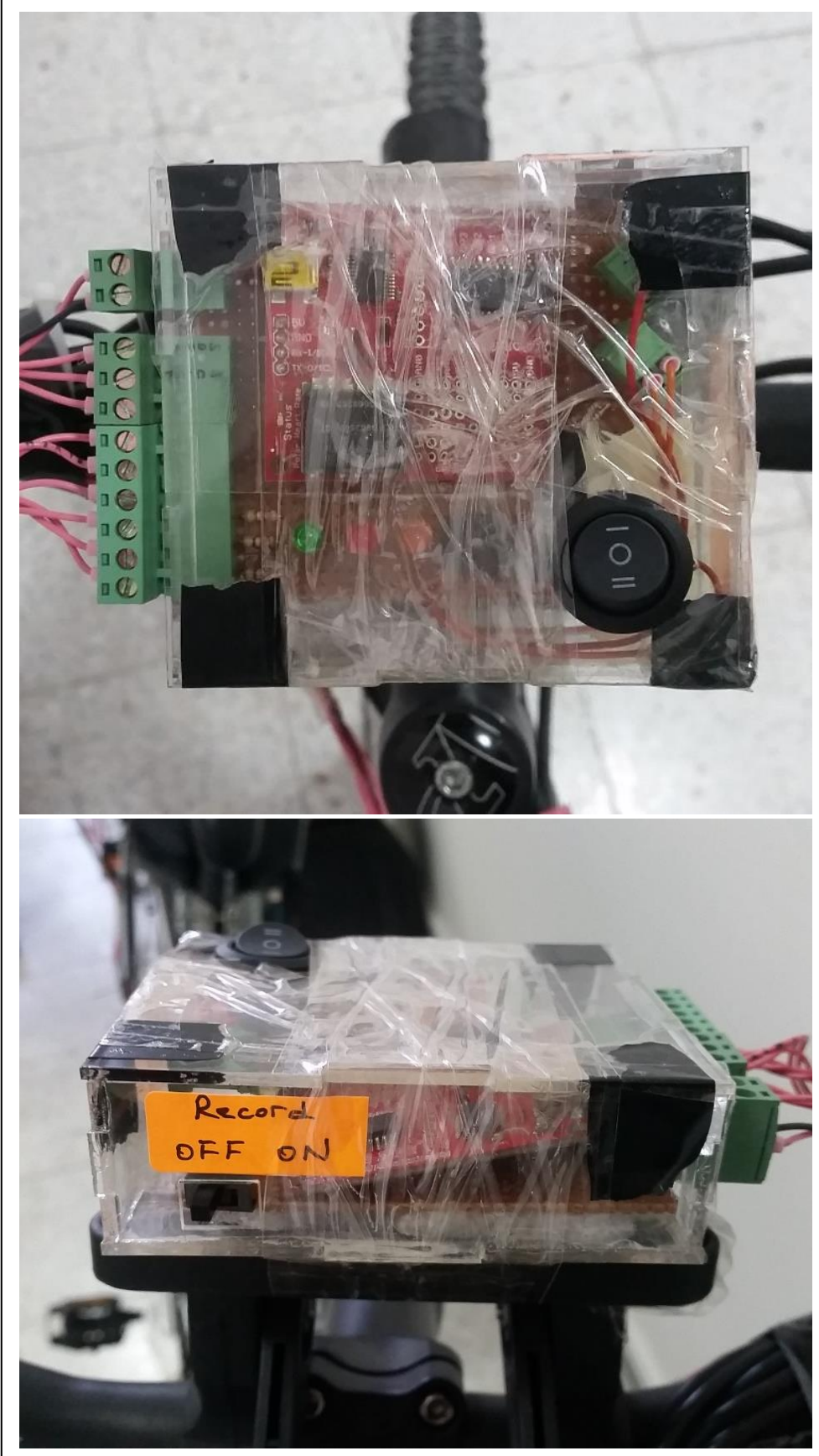
Şekil 4.16 Batarya



Şekil 4.17 Pedal Tork-Hız Sensörü



Şekil 4.18 Elektronik Donanımlar



Şekil 4.19 Kumanda Kutusu

5. BULANIK MANTIK KONTROLCÜ TASARIMI

5.1. Sistem Girişleri ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık mantık kontrolcüye ait giriş verileri ve her bir girişin üyelik fonksiyonları Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

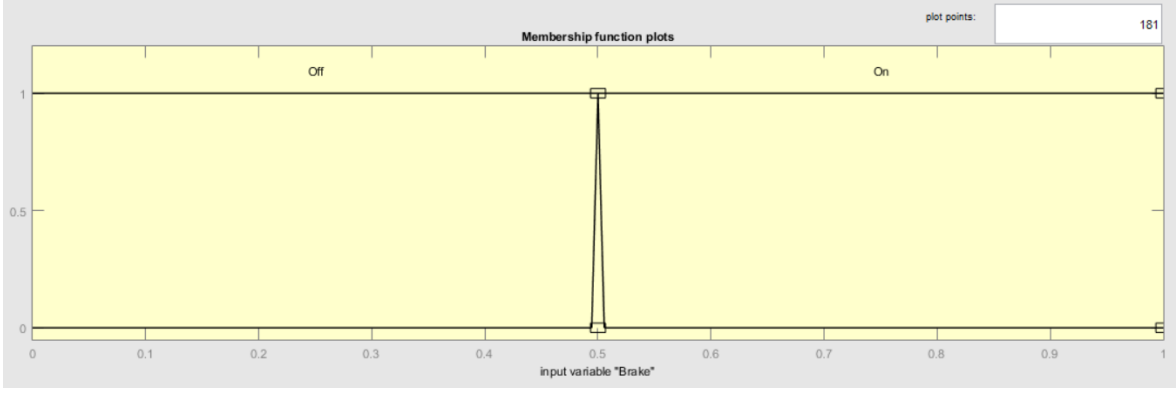
Çizelge 5.1 Sistem girişleri ve üyelik fonksiyonları

#	Giriş	Birim	Değer Aralığı	Simge	Üyelik Fonksiyonları	Fonksiyon Tanımı
i.1	Fren Durumu	Açık Kapalı	[0,1]	Fren		
i.1.1	Açık				[0.5 0.5 1 1]	
i.1.2	Kapalı				[0 0 0.5 0.5]	
i.2	Pedal Gücü	[W]	[0 200]	Pp		
i.2.1	Sıfır				[-100 -100 1 1]	
i.2.2	Düşük				[1 1 50 60]	
i.2.3	Orta				[50 60 80 90]	
i.2.4	Yüksek				[80 90 180 200]	
i.3	Arka Teker Hızı	[rpm]	[0 310]	Wrw		
i.3.1	Dönmüyor				[-100 -100 1 1]	
i.3.2	Yavaş				[1 1 80 120]	
i.3.3	Orta				[80 120 160 200]	
i.3.4	Hızlı				[160 200 320 320]	
i.4	Batarya Doluluk Oranı	%	[0 100]	SoC		
i.4.1	Düşük				[0 0 20 30]	
i.4.2	Normal				[20 30 40 50]	
i.4.3	Yüksek				[40 50 100 100]	
i.5	Eğim	[der]	[-15 15]	Eğim		
i.5.1	Negatif				[-50 -50 0 0]	
i.5.2	Düşük				[0 1 1 2]	
i.5.3	Yüksek				[0 6 30 30]	
i.6	Nabız	[bpm]	[0 250]	HR		
i.6.1	Düşük				[0 0 70 90]	
i.6.2	Optimum				[80 90 110 120]	
i.6.3	Yüksek				[110 130 300 300]	

5.1.1. Fren Durumu

Fren durumu (Fren), bulanık mantık kontrolcüye dijital giriş olarak verilmektedir. Frene basılması durumunda 1 (ilgili pin gerilimi 5 V), frene basılmadığı durumda ise 0 (ilgili pin voltajı 0 V) sinyali göndermektedir. Fren durumunu tanımlayan üyelik fonksiyonları aşağıda sunulmuştur:

$$f_{açık}(x, 0, 0.5, 1) = \begin{cases} 1, & 0.5 \leq x \leq 1 \\ 0, & 0 \leq x \leq 0.5 \end{cases}, \quad f_{kapalı}(x, 0, 0.5, 1) = \begin{cases} 0, & 0.5 \leq x \leq 1 \\ 1, & 0 \leq x \leq 0.5 \end{cases}$$



Şekil 5.1 Fren durumu üyelik fonksiyonları

5.1.2. Pedal Gücü

Entegre pedal hızı ve pedal torku sensöründen gelen pedal hızı ve pedal torku verileri aşağıda verilen formül kullanılarak pedal gücü (P_p) hesaplanmakta ve bulanık mantık kontrolcüsüne girilmektedir.

$$P_p = T_p \cdot W_p \cdot \frac{\pi}{30} [W]$$

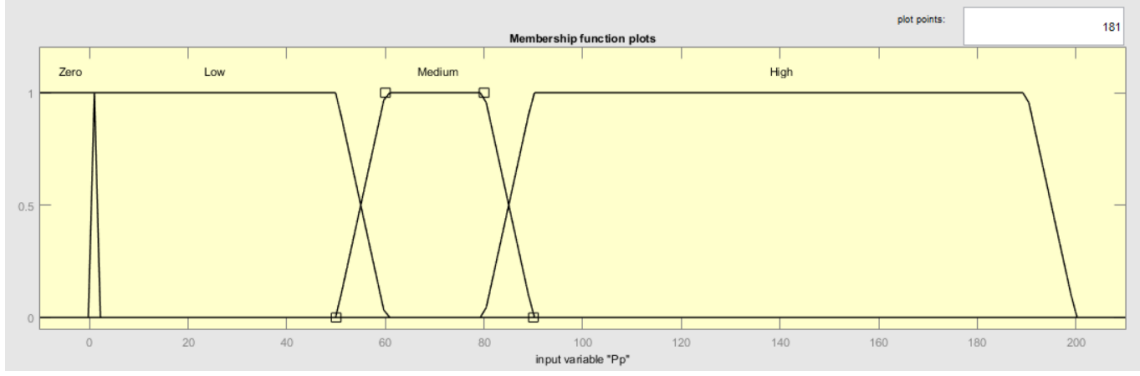
Pedal gücünü tanımlayan üyelik fonksiyonları aşağıda sunulmuştur:

$$f_{sıfır}(x, 0, 1) = 1, \quad x \leq 1$$

$$f_{düşük}(x, 1, 1, 50, 60) = \begin{cases} 0, & x < 1 \\ 1, & 1 \leq x \leq 50 \\ \frac{60 - x}{60 - 50}, & 50 \leq x \leq 60 \\ 0, & 60 < x \end{cases}$$

$$f_{orta}(x, 50, 60, 80, 90) = \begin{cases} 0, & x < 50 \\ \frac{x - 50}{60 - 50}, & 50 \leq x \leq 60 \\ 1, & 60 \leq x \leq 80 \\ \frac{90 - x}{90 - 80}, & 80 \leq x \leq 90 \\ 0, & 90 < x \end{cases}$$

$$f_{yüksek}(x, 80, 90, 180, 200) = \begin{cases} 0, & x < 80 \\ \frac{x - 80}{90 - 80}, & 80 \leq x \leq 90 \\ 1, & 90 \leq x \leq 180 \\ \frac{200 - x}{200 - 180}, & 180 \leq x \leq 200 \\ 0, & 200 < x \end{cases}$$



Şekil 5.2 Pedal gücü üyelik fonksiyonları

5.1.3. Arka Teker Hızı

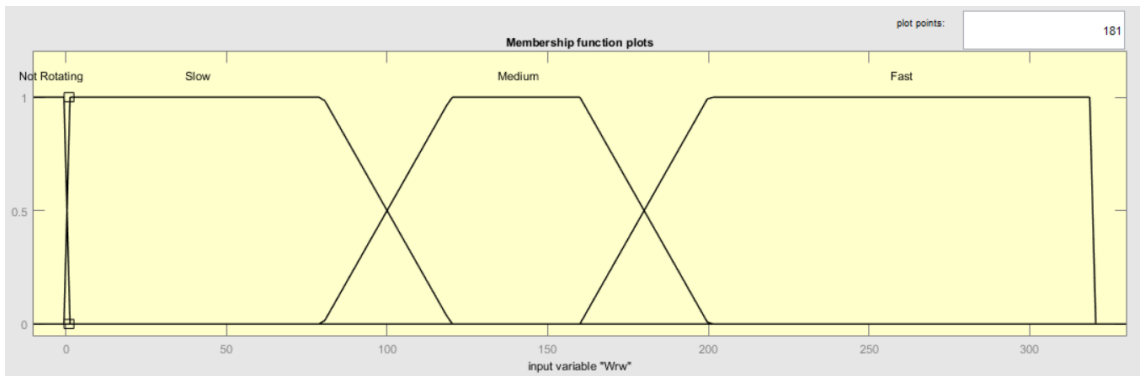
Arka teker hızı sensörü (W_{rw}) verilerine ait üyelik fonksiyonları aşağıda tanımlanmıştır:

$$f_{dönmiyor}(x, 0, 0, 1, 1) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ 0, & 1 < x \end{cases}$$

$$f_{yavaş}(x, 1, 1, 80, 120) = \begin{cases} 0, & x < 1 \\ 1, & 1 \leq x \leq 80 \\ \frac{120 - x}{120 - 80}, & 80 \leq x \leq 120 \\ 0, & 120 < x \end{cases}$$

$$f_{orta}(x, 80, 120, 160, 200) = \begin{cases} 0, & x < 80 \\ \frac{x - 80}{120 - 80}, & 80 \leq x \leq 120 \\ 1, & 120 \leq x \leq 160 \\ \frac{200 - x}{200 - 160}, & 160 \leq x \leq 200 \\ 0, & 200 < x \end{cases}$$

$$f_{hızlı}(x, 160, 200, 320, 320) = \begin{cases} 0, & x < 160 \\ \frac{x - 160}{200 - 160}, & 160 \leq x \leq 200 \\ 1, & 200 \leq x \leq 320 \\ 0, & 320 < x \end{cases}$$



Şekil 5.3 Arka teker hızı üyelik fonksiyonları

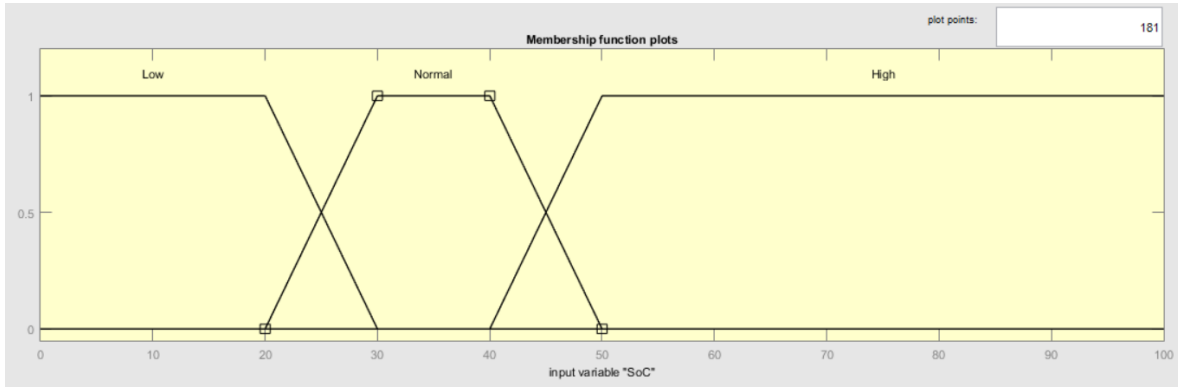
5.1.4. Batarya Doluluk Oranı

IQ-Bike'ta yer alan bataryanın doluluk oranı (*SoC*) değişkenine ait üyelik fonksiyonları aşağıda tanımlanmıştır:

$$f_{düşük}(x, 0, 0, 20, 30) = \begin{cases} 1, & x < 20 \\ \frac{30 - x}{30 - 20}, & 20 \leq x \leq 30 \\ 0, & 30 < x \end{cases}$$

$$f_{orta}(x, 20, 30, 40, 50) = \begin{cases} 0, & x < 20 \\ \frac{x - 20}{30 - 20}, & 20 \leq x \leq 30 \\ 1, & 30 \leq x \leq 40 \\ \frac{50 - x}{50 - 40}, & 40 \leq x \leq 50 \\ 0, & 50 < x \end{cases}$$

$$f_{yüksek}(x, 40, 50, 100, 100) = \begin{cases} 0, & x < 40 \\ \frac{x - 40}{100 - 40}, & 40 \leq x \leq 100 \\ 1, & 100 \leq x \end{cases}$$



Şekil 5.4 Batarya doluluk oranı üyelik fonksiyonları

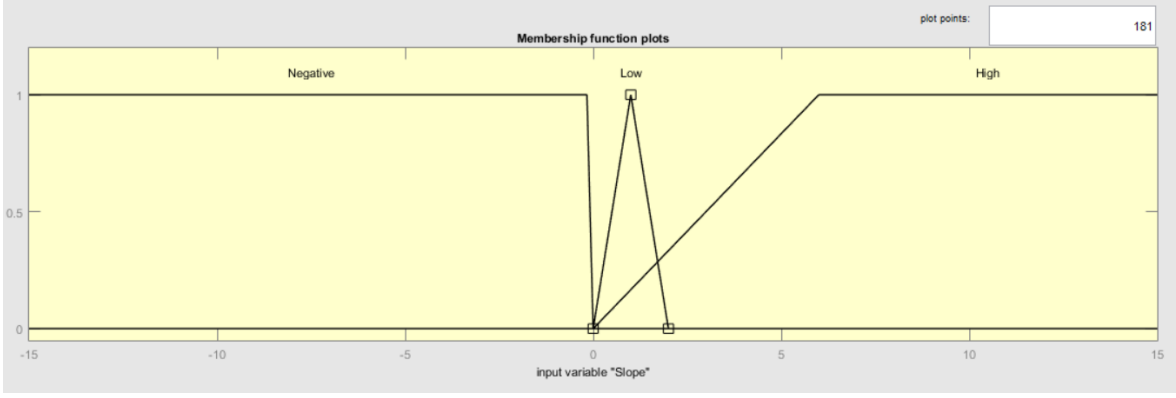
5.1.5. Eğim

Yol eğimine (Eğim) ait üyelik fonksiyonları aşağıda sunulmuştur:

$$f_{negatif}(x, 0) = \begin{cases} 1, & x < 0 \end{cases}$$

$$f_{düşük}(x, 0, 1, 2) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{x - 0}{1 - 0}, & 0 \leq x \leq 1 \\ \frac{2 - x}{2 - 1}, & 1 \leq x \leq 2 \\ 0, & 2 < x \end{cases}$$

$$f_{yüksek}(x, 0, 6, 30, 30) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{x - 160}{200 - 160}, & 0 \leq x \leq 6 \\ 1, & 6 \leq x \leq 30 \end{cases}$$



Şekil 5.5 Eğim üyelik fonksiyonları

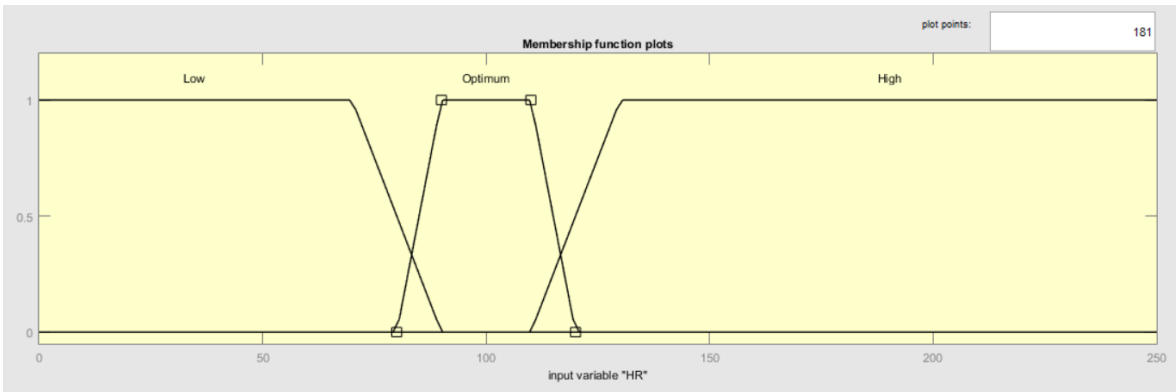
5.1.6. Nabız

Bisikletçinin anlık nabız seviyesini (HR) tanımlayan üyelik fonksiyonları aşağıda sunulmuştur:

$$f_{düşük}(x, 0, 0, 70, 90) = \begin{cases} 1, & x < 70 \\ \frac{90 - x}{90 - 70}, & 70 \leq x \leq 90 \\ 0, & 90 < x \end{cases}$$

$$f_{optimum}(x, 80, 90, 110, 120) = \begin{cases} 0, & x < 80 \\ \frac{x - 80}{90 - 80}, & 80 \leq x \leq 90 \\ 1, & 90 \leq x \leq 110 \\ \frac{120 - x}{120 - 110}, & 110 \leq x \leq 120 \\ 0, & 120 < x \end{cases}$$

$$f_{yüksek}(x, 110, 130, 300) = \begin{cases} 0, & x < 110 \\ \frac{x - 110}{130 - 110}, & 110 \leq x \leq 130 \\ 1, & 130 \leq x \leq 300 \end{cases}$$



Şekil 5.6 Nabız seviyesi üyelik fonksiyonları

5.2. Sistem Çıktıları ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık mantık kontrolcüye ait çıkış verileri ve her bir çıkışın üyelik fonksiyonları Çizelge 5.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 Sistem çıktıları ve üyelik fonksiyonları

#	Çıkış	Birim	Değer Aralığı	Simge	Üyelik Fonksiyonları	Fonksiyon Tanımı
o.1	Destek Oranı	%	[0 100]	Destek		
o.1.1					Destek Yok	[0 0 0.25 0.25]
o.1.2					Düşük	[0 20 40 60]
o.1.3					Orta	[40 60 80 100]
o.1.4					Yüksek	[80 100 120 120]
o.2	CVT Oranı (Servo Açısı)	[der]	[0 180]	CVT		
o.2.1					Yüksek	[2 2 24 39]
o.2.2					Orta	[23 38 53 68]
o.2.3					Düşük	[52 67 82 97]
					Çok Düşük	[81 96 120 120]

5.2.1. Destek Oranı

IQ-Bike’ta yer alan fırçasız DC hub motor kontrolcüsünün giriş sinyali 4.08 - 0.73 volt arasındadır. Bu giriş sinyali geliştirme kartının PWM-çıkış pininden kontrolcüye beslenmektedir. Motor sürücüsünün giriş sinyali voltajı, 4.08 V % 0’a 0.73 V %100’e karşılık gelmek üzere ölçeklendirilerek, bu ölçek “Destek Oranı” olarak isimlendirilmiştir.

Çizelge 5.3 Destek oranı ve motor sürücüsü giriş sinyali

Sürücü Giriş Sinyali [V]	PWM Sinyali (0-255)	Destek Oranı (%)
4.08	208	0
0.73	38	100

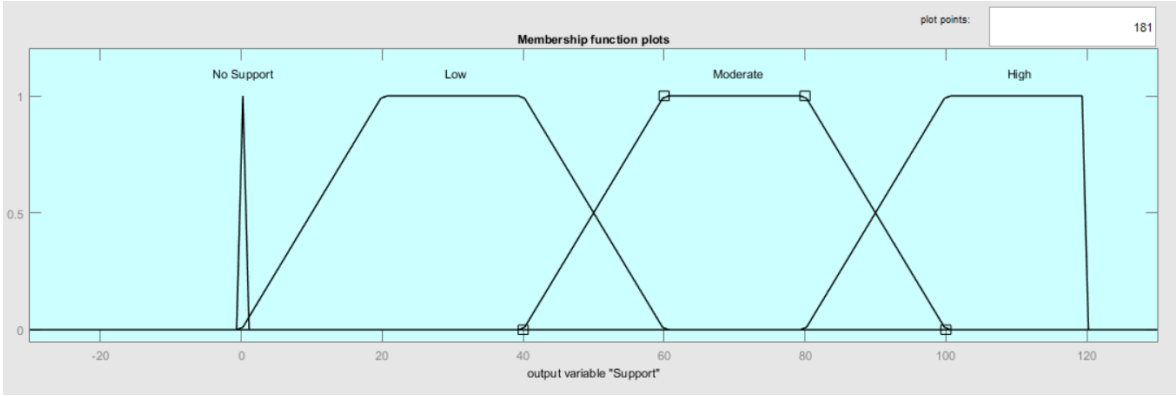
Destek oranını (Destek) tanımlayan üyelik fonksiyonları aşağıda sunulmuştur:

$$f_{destek\ yok}(x, 0, 0, 0.25, 0.25) = \begin{cases} 1, & x \leq 0.25 \\ 0, & 0.25 < x \end{cases}$$

$$f_{düşük}(x, 0, 20, 40, 60) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{x - 0}{20 - 0}, & 0 \leq x \leq 20 \\ 1, & 20 \leq x \leq 40 \\ \frac{60 - x}{60 - 40}, & 40 \leq x \leq 60 \\ 0, & 60 < x \end{cases}$$

$$f_{orta}(x, 40, 60, 80, 100) = \begin{cases} 0, & x < 40 \\ \frac{x - 40}{60 - 40}, & 40 \leq x \leq 60 \\ 1, & 60 \leq x \leq 80 \\ \frac{100 - x}{100 - 80}, & 80 \leq x \leq 100 \\ 0, & 100 < x \end{cases}$$

$$f_{yüksek}(x, 80, 100, 120, 120) = \begin{cases} 0, & x < 80 \\ \frac{x - 80}{100 - 80}, & 80 \leq x \leq 100 \\ 1, & 100 \leq x \leq 120 \end{cases}$$



Şekil 5.7 Destek oranı üyelik fonksiyonları

5.2.2. CVT Oranı

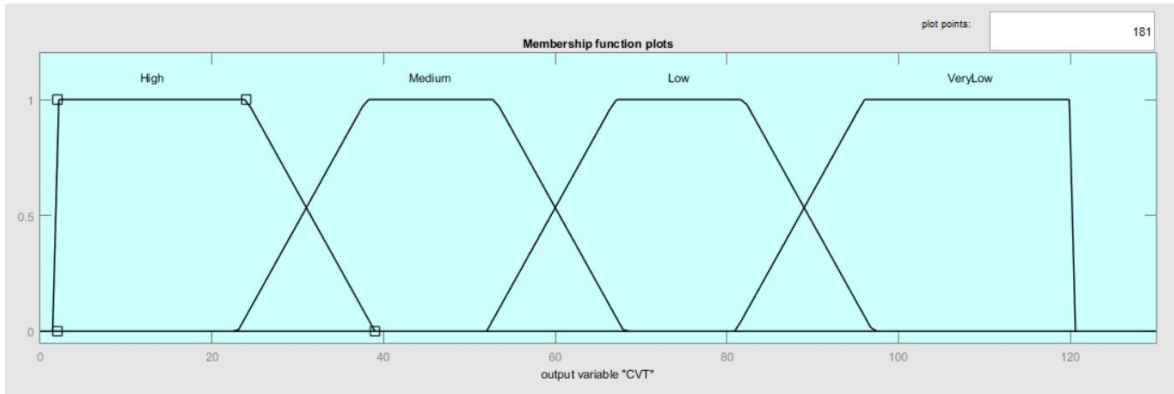
Sürekli değişken transmisyon (CVT) oranı, servo motor ile ayarlanmaktadır. Servo motorun 2° konumuna gelmesi, CVT oranını 0.5'e çekmekte; 120° konumuna gelmesi CVT oranını 1.8'e yükseltmektedir. CVT çıkış değişkenine ait üyelik fonksiyonları aşağıda tanımlanmıştır:

$$Yüksek Vites: f_{yüksek}(x, 2, 2, 24, 39) = \begin{cases} 0, & x < 2 \\ 1, & 2 \leq x \leq 24 \\ \frac{39 - x}{39 - 24}, & 24 \leq x \leq 39 \\ 0, & 39 < x \end{cases}$$

$$Orta Vites: f_{orta}(x, 23, 38, 53, 68) = \begin{cases} 0, & x < 23 \\ \frac{x - 23}{38 - 23}, & 23 \leq x \leq 38 \\ 1, & 38 \leq x \leq 53 \\ \frac{68 - x}{68 - 53}, & 53 \leq x \leq 68 \\ 0, & 68 < x \end{cases}$$

$$Düşük Vites: f_{düşük}(x, 52, 67, 82, 97) = \begin{cases} 0, & x < 52 \\ \frac{x - 52}{67 - 52}, & 52 \leq x \leq 67 \\ 1, & 67 \leq x \leq 82 \\ \frac{97 - x}{97 - 82}, & 82 \leq x \leq 97 \\ 0, & 97 < x \end{cases}$$

$$Çok Düşük Vites: f_{çok düşük}(x, 81, 96, 120, 120) = \begin{cases} 0, & x < 81 \\ \frac{x - 81}{96 - 81}, & 81 \leq x \leq 96 \\ 1, & 96 \leq x \leq 120 \\ 0, & 120 < x \end{cases}$$



Şekil 5.8 CVT oranı üyelik fonksiyonları

5.3. Sistem Algoritması

IQ-Bike sisteminin temel hedefi, bisikletçiye, menzil boyunca (ihtiyaç duyulan süre boyunca) destek vererek, bisikletçinin nabzını istenen aralıkta tutmaktır ve böylece bisikletçinin daha az yorulmasını sağlamaktır. Bu amaçla, sistemin verdiği destek oranı (Destek) batarya doluluk oranına (SoC) bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte, sistem bisikletçinin zorlandığını algıladığında vites düşürerek (CVT→ Düşük), daha az efor sarfetmesini sağlamalıdır.

IQ-Bike sisteminin bir diğer hedefi de bisikletçinin ideal şartlarda spor yapmasını sağlamaktır. Bu amaçla, nabzın henüz düşük olduğu anlarda destek vermemeli (Destek: Destek Yok), nabzın istenen seviye yükselmesi için (HR: Optimum), vitesi artırarak (CVT→ Yüksek) bisikletçiyi zorlamalıdır.

Frene basılması durumunda (Fren: Açık), bisikletin hareket etmemesi durumunda (W_{rw} : Dönmüyor), bisikletçi pedal çevirmiyorken (P_p : Sıfır), bisiklet yokuş aşağı sürülüyorken (Eğim: Negatif) veya nabız seviyesi düşük iken (HR: Düşük) sistem elektrik motorunu devreye sokmamalıdır (Destek: Destek Yok).

Bulanık mantık sistemin çıkış değişkenleri olan “Destek oranı” ve “CVT oranı” birbirinden bağımsız değişkenler olup, farklı kurallara bağlı olarak ayarlanabilir.

5.3.1. Bulanık Mantık Kurallar Tabanının Oluşturulması

Yukarıda tariflenen koşullar, dilsel giriş değişkenlerine ait farklı üyelik fonksiyonları ve bu değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve ilişkileri göz önüne alınarak, toplam 16 kural içeren bulanık mantık kurallar tabanı Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’teki gibi oluşturulmuştur. Bu kurallardan 9 tanesi elektrik motoruyla verilen destek oranını belirlemekte, 7 tanesi ise transmisyon (CVT) oranını belirlemektedir.

Çizelge 5.4 Destek oranını belirleyen bulanık mantık kuralları

Kural No	Kural Adı	EĞER											İSE		
		1	Kural 1.1	Fren	Açık	VEYA									
Pp	Sıfır			VEYA											
Wrw	Dönmüyor			VEYA											
SoC	Düşük			VEYA											
Eğim	Negatif			VEYA											
		HR	Düşük												
2	Kural 1.2	Fren	Kapalı	VE	SoC	Normal	VE	Slope	Düşük	VE	HR	Optimum	Destek	Destek Yok	
3	Kural 1.3	Fren	Kapalı	VE	SoC	Normal	VE	Slope	Düşük	VE	HR	Yüksek	Destek	Düşük	
4	Kural 1.4	Fren	Kapalı	VE	SoC	Normal	VE	Slope	Yüksek	VE	HR	Optimum	Destek	Düşük	
5	Kural 1.5	Fren	Kapalı	VE	SoC	Normal	VE	Slope	Yüksek	VE	HR	Yüksek	Destek	Orta	
6	Kural 1.6	Fren	Kapalı	VE	SoC	Yüksek	VE	Slope	Düşük	VE	HR	Optimum	Destek	Düşük	
7	Kural 1.7	Fren	Kapalı	VE	SoC	Yüksek	VE	Slope	Düşük	VE	HR	Yüksek	Destek	Orta	
8	Kural 1.8	Fren	Kapalı	VE	SoC	Yüksek	VE	Slope	Yüksek	VE	HR	Optimum	Destek	Orta	
9	Kural 1.9	Fren	Kapalı	VE	SoC	Yüksek	VE	Slope	Yüksek	VE	HR	Yüksek	Destek	Yüksek	

Çizelge 5.5 CVT oranını belirleyen bulanık mantık kuralları

Kural No	Kural Adı	EĞER										İSE	
		10	Kural 2.1	Wrw	Dönmüyor	VEYA							
HR	Düşük												
11	Kural 2.2	Fren	Kapalı	VE	Pp	Düşük	VE	HR	Optimum	CVT	Yüksek		
12	Kural 2.3	Fren	Kapalı	VE	Pp	Düşük	VE	HR	Yüksek	CVT	Orta		
13	Kural 2.4	Fren	Kapalı	VE	Pp	Orta	VE	HR	Optimum	CVT	Orta		
14	Kural 2.5	Fren	Kapalı	VE	Pp	Orta	VE	HR	Yüksek	CVT	Düşük		
15	Kural 2.6	Fren	Kapalı	VE	Pp	Yüksek	VE	HR	Optimum	CVT	Düşük		
16	Kural 2.7	Fren	Kapalı	VE	Pp	Yüksek	VE	HR	Yüksek	CVT	Çok Düşük		

Verilen destek oranının belirlenmesinde; “Fren Durumu”, “Pedal Gücü”, “Arka Teker Hızı”, “Batarya Doluluk Oranı”, “Eğim” ve “Nabız” dilsel değişkenleri dikkate alınmaktadır.

Destek oranının kontrolünü sağlayan bulanık mantık kuralları aşağıda açıklanmıştır:

Kural 1.1: Bu kural, kontrolcünün destek vermemesi gereken durumları kontrol etmektedir. Giriş değişkenleri birbirine “VEYA” bağlacıyla bağlanmıştır. Bisiklet sürüş sırasında, aşağıdaki durumlardan herhangi birinin gerçekleşmesi halinde, kontrolcü elektrik motoru desteğini kesmektedir:

- Frene basılması durumunda (Fren: Açık),
 - Bu durumda, bisikletçi yavaşlamak veya durmak istiyordur.
- Pedal gücünün sıfır olması durumunda (Pp: Sıfır),
 - Bu durumda, bisikletçi pedala herhangi bir kuvvet uygulamıyordur ve bisikletin hızlanmasını beklememektedir.
- Arka teker dönmüyor ise (Wrw: Dönmüyor),
 - Arka teker hızının sıfır olması, bisikletin duruyor olduğu anlamına gelir ve bu durumda elektrik motoru devreye girmemelidir.
- Batarya doluluk oranı düşük ise (SoC: Düşük),
 - Batarya doluluk oranı kritik derecede düşük ise elektrik motoru devreye girmemelidir.
- Eğim negatif ise (Eğim: Negatif),
 - Yol eğiminin negatif olması durumunda, bisiklet kendi ataleti ile hareket edebileceği için ve bisikletçiyi yoran bir durum olmadığı için destek verilmesine gerek yoktur.
- Nabız düşük ise (HR: Düşük),
 - Bisikletçinin nabzının düşük olması durumunda, nabız istenen aralığa yükselene kadar destek verilmemektedir.

Kural 1.2'den Kural 1.9'a kadar olan kurallarda giriş değişkenleri “VE” bağlacıyla bağlanmıştır. Bu kuralların hepsinde, öncülün ilk giriş değişkeni “Fren Durumu”nun “Kapalı” olması, frene basılmıyor olmasıdır.

Kural 1.2'den Kural 1.5'e kadar olan kurallarda öncülün ikinci giriş değişkeni “Batarya Doluluk Oranı”nın “Normal” olması durumudur. “Fren Durumu”nun “Kapalı” olması ve “Batarya Doluluk Oranı”nın “Normal” olması durumunda; “Düşük” “Eğim”

ve “Optimum” “Nabız”, “Düşük” “Eğim” ve “Yüksek” “Nabız”, “Yüksek” “Eğim” ve “Optimum” “Nabız”, “Yüksek” “Eğim” ve “Yüksek” “Nabız” olmak üzere dört olası öncül türetilir.

Kural 1.2: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı normal (SoC: Normal), eğim düşük (Eğim: Düşük) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise destek verilmemektedir (Destek: No Destek).

Kural 1.3: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı normal (SoC: Normal), eğim düşük (Eğim: Düşük) ve nabız yüksek (HR: Yüksek) ise düşük seviyede destek verilmektedir (Destek: Düşük).

Kural 1.4: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı normal (SoC: Normal), eğim yüksek (Eğim: Yüksek) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise düşük seviyede destek verilmektedir (Destek: Düşük).

Kural 1.5: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı normal (SoC: Normal), eğim yüksek (Eğim: Yüksek) ve nabız yüksek (HR: Yüksek) ise orta seviyede destek verilmektedir (Destek: Orta).

Kural 1.2’den Kural 1.5’e kadar olan kurallarda öncülün ikinci giriş değişkeni “Batarya Doluluk Oranı”nın “Yüksek” olması durumudur. “Fren Durumu”nun “Kapalı” olması ve “Batarya Doluluk Oranı”nın “Normal” olması durumunda; “Düşük” “Eğim” ve “Optimum” “Nabız”, “Düşük” “Eğim” ve “Yüksek” “Nabız”, “Yüksek” “Eğim” ve “Optimum” “Nabız”, “Yüksek” “Eğim” ve “Yüksek” “Nabız” olmak üzere dört olası öncül türetilir.

Kural 1.6: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı yüksek (SoC: Yüksek), eğim düşük (Eğim: Düşük) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise düşük seviyede destek verilmektedir (Destek: Düşük).

Kural 1.7: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı yüksek (SoC: Yüksek), eğim düşük (Eğim: Düşük) ve nabız yüksek (HR: Yüksek) ise orta seviyede destek verilmektedir (Destek: Orta).

Kural 1.8: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı yüksek (SoC: Yüksek), eğim yüksek (Eğim: Yüksek) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise orta seviyede destek verilmektedir (Destek: Orta).

Kural 1.9: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı yüksek (SoC: Yüksek), eğim yüksek (Eğim: Yüksek) ve nabız yüksek (HR: Yüksek) ise yüksek seviyede destek verilmektedir (Destek: Yüksek).

Kural 1.2'ye göre; frene basılmıyor (Fren: Kapalı), batarya doluluk oranı normal (SoC: Normal), eğim düşük (Eğim: Düşük) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise destek verilmemektedir (Destek: Destek Yok). Bu durum, her ne kadar destek sisteminin mantığına ters görünse de, destek sisteminin çalışır halde kalması için gereklidir. Bu kural aktif iken elektrik motoru desteği verilmemesine karşın, pedal gücü ve nabız seviyesi takip edilerek CVT oranı ayarlanmakta ve egzersiz şiddeti uygun seviyede tutulmaya devam edilmektedir. Eğer bisikletçinin nabız seviyesi yüksek ise, CVT oranı yükseltilerek egzersiz şiddeti hafifletilmekte, böylece bisikletçinin daha az yorulması hedeflenmektedir.

Transmisyon oranının (CVT Oranı) kontrolünü sağlayan bulanık mantık kuralları aşağıda açıklanmıştır:

Kural 2.1: Bu kural, arka teker dönmüyor -bisiklet durağan halde- (Wrw: Dönmüyor) ise veya nabız seviyesi düşük (HR: Düşük) ise transmisyon oranını orta seviyede (CVT: Orta) tutmaktadır. Transmisyon oranı orta seviyeye çekilerek bisiklet durağan halde iken egzersiz yoğunluğu hep aynı şiddette başlatılmaktadır, bisikletçinin nabız seviyesi düşük ise orta şiddette egzersiz yoğunluğu ile nabız seviyesinin yükseltilmesi hedeflenmektedir.

Kural 2.2'den Kural 2.7'ye kadar olan kurallarda giriş değişkenleri "VE" bağlacıyla bağlanmıştır. Bu kuralların hepsinde, öncülün ilk giriş değişkeni "Fren Durumu"nun "Kapalı" olması, frene basılmıyor olmasıdır. "Fren Durumu"nun "Kapalı" olması durumunda; "Düşük" "Pedal Gücü" ve "Optimum" "Nabız", "Düşük" "Pedal Gücü" ve "Yüksek" "Nabız", "Orta" "Pedal Gücü" ve "Optimum" "Nabız", "Orta" "Pedal Gücü" ve "Yüksek" "Nabız", "Yüksek" "Pedal Gücü" ve "Optimum" "Nabız", "Yüksek" "Pedal Gücü" ve "Yüksek" "Nabız" olmak üzere altı olası öncül türetilir.

Kural 2.2: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), pedal gücü düşük (Pp: Düşük) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise yüksek vitese geçilmektedir (CVT: Yüksek). Yüksek vitese geçildiğinde, pedal ve arka teker arasındaki transmisyon oranı küçüleceğinden, bisikletçi daha fazla efor sarfeder.

Kural 2.3: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), pedal gücü düşük (Pp: Düşük) ve nabız yüksek (HR: Yüksek) ise orta vitese geçilmektedir (CVT: Orta).

Kural 2.4: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), pedal gücü orta (Pp: Orta) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise orta vitese geçilmektedir (CVT: Orta).

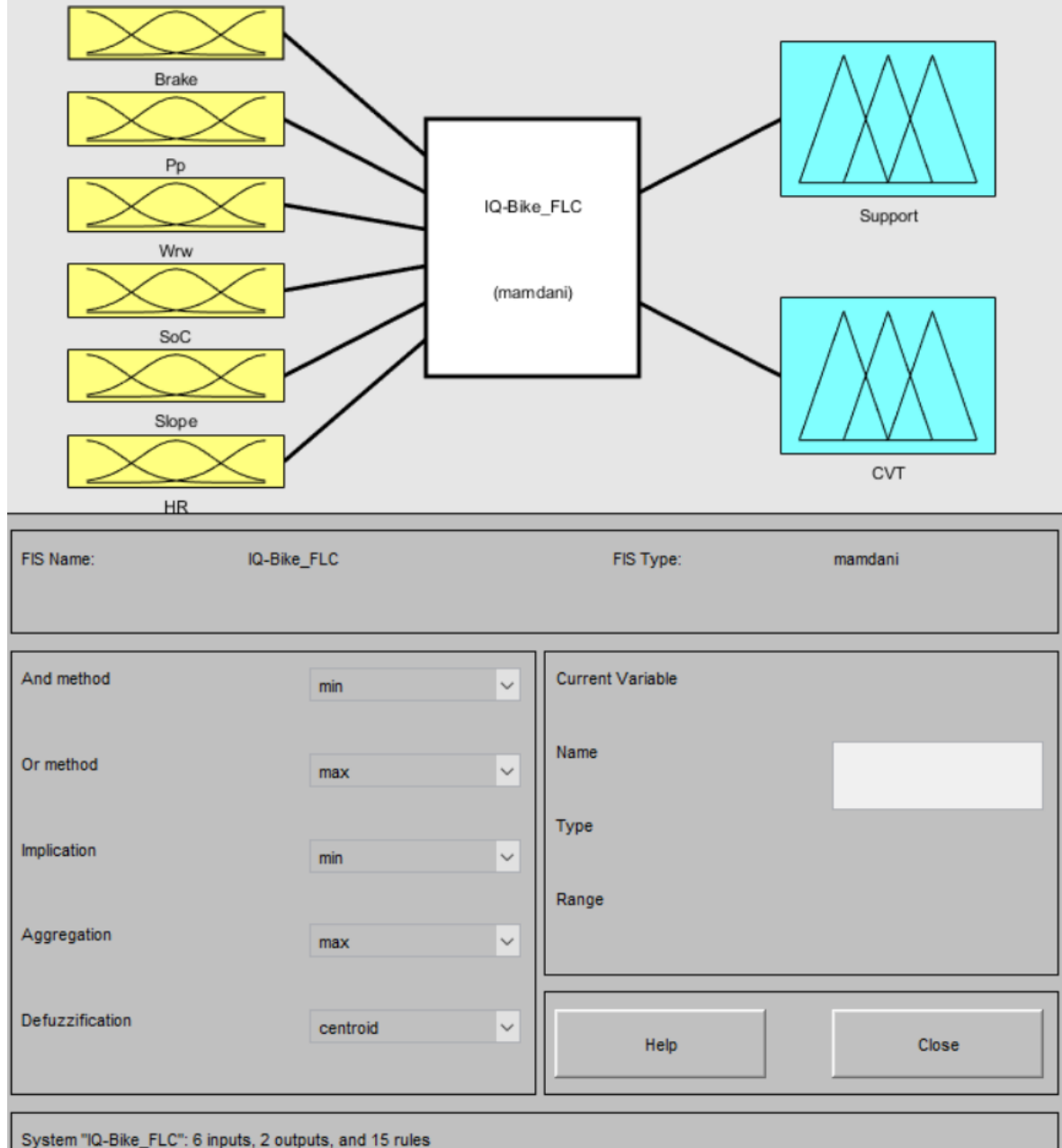
Kural 2.5: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), pedal gücü orta (Pp: Orta) ve nabız yüksek (HR: Yüksek) ise düşük vitese geçilmektedir (CVT: Düşük).

Kural 2.6: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), pedal gücü yüksek (Pp: Yüksek) ve nabız ideal aralıkta (HR: Optimum) ise düşük vitese geçilmektedir (CVT: Düşük).

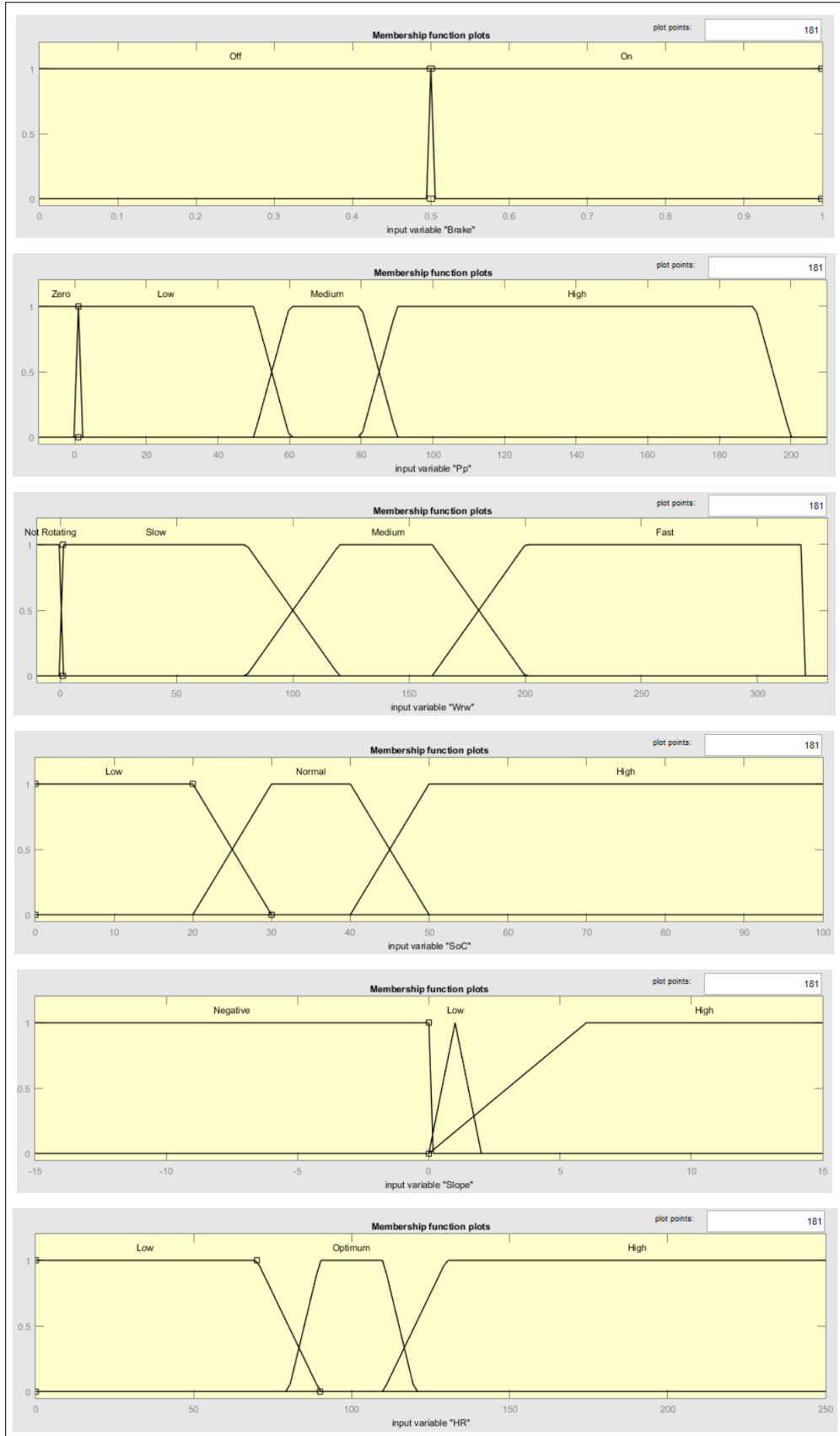
Kural 2.7: Frene basılmıyor (Fren: Kapalı), pedal gücü yüksek (Pp: Orta) ve nabız yüksek (HR: Yüksek) ise en düşük vitese geçilmektedir (CVT: Çok Düşük).

5.4. Bulanık Mantık Sistemin Modellenmesi ve Simulasyonlar

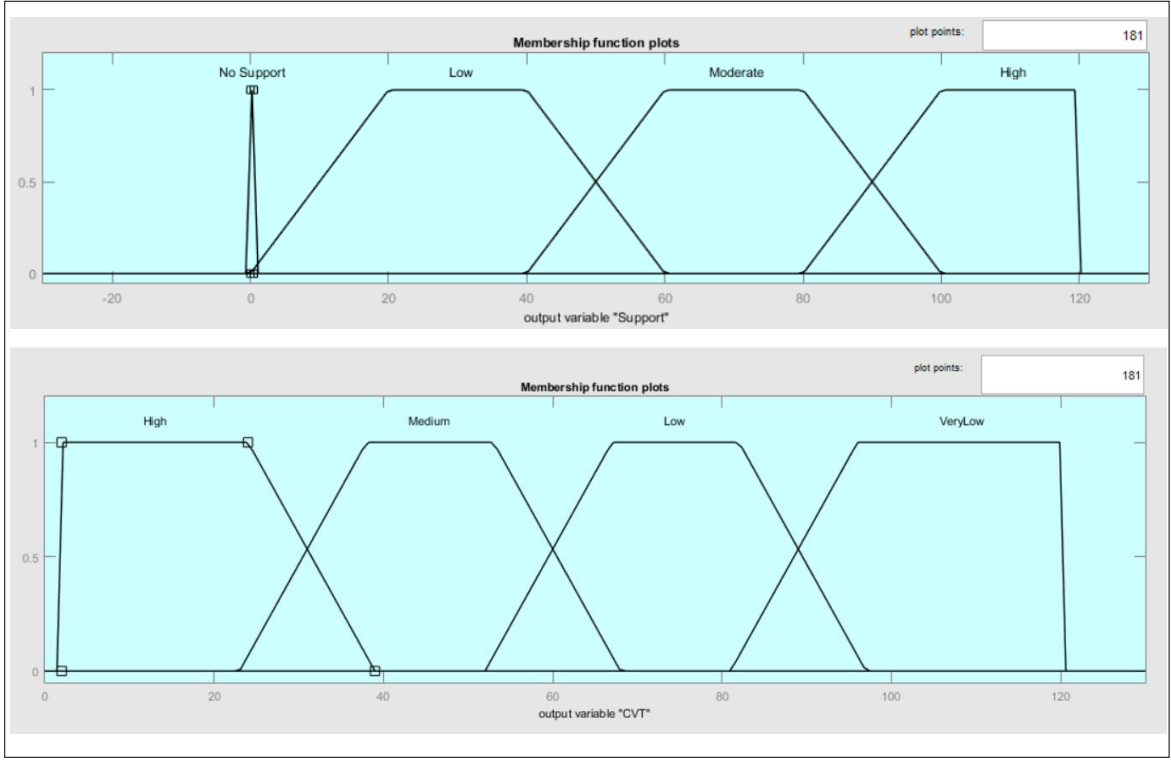
Tasarlanan bulanık mantık kontrolcü, Matlab Fuzzy Logic Toolbox kullanarak modellenmiştir. Modele ait görseller Şekil 5.9'da sunulmuştur:



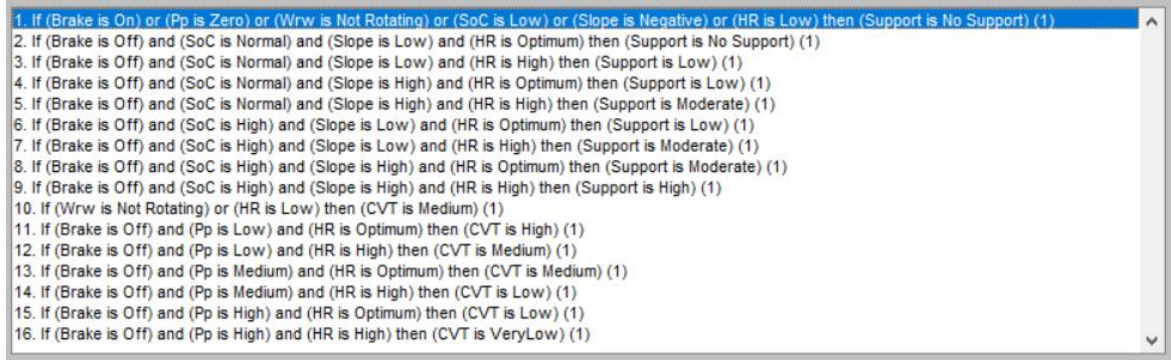
Şekil 5.9 IQ-Bike bulanık mantık kontrolcü modeli



Şekil 5.10 Bulanık mantık kontrolcü giriş verileri üyelik fonksiyonları



Şekil 5.11 Bulanık mantık kontrolcü çıkış verileri üyelik fonksiyonları



Şekil 5.12 Bulanık mantık kurallar tabanı

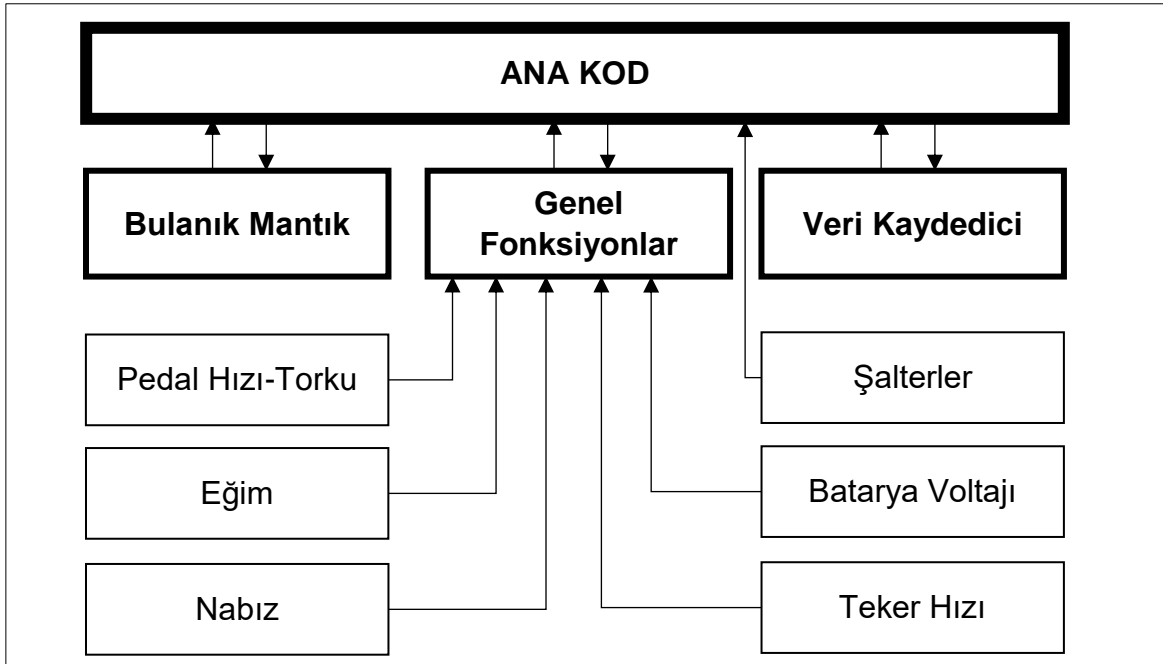
Simülasyonun beklenen şekilde çalışıp çalışmadığının değerlendirilmesi amacıyla giriş değişkenlerine çeşitli değerler atanarak çıkış değişkenleri gözlemlenmiştir. Farklı giriş değişkenleri ve öncüllere karşılık simülasyon tarafından oluşturulan çıkış değişkenlerinin sayısal değerleri Çizelge 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6'da yer alan veriler, bulanık mantık kurallarıyla karşılaştırıldığında, öncüllerin ve bu öncüllere bağlı çıkış değişkenlerinin beklendiği gibi sonuçlandığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.6 Farklı giriş değişkenleri ve öncüllere karşılık simülasyon tarafından oluşturulan çıkış değişkenlerinin sayısal değerleri

No	Öncül						Aktifleşen Kural No	Sonuç	
	Fren	Pp	Wrw	SoC	Eğim	HR		Destek	CVT
1	0	50	80	80	3	110	8,11	70	17
2	0	70	90	50	2	130	9,14	97.4	74.5
3	0	18	66	60	6	70	1,11	0	45.5
4	0	25	52	40	5	85	4,10,11	29.6	28.7
5	0	30	40	30	1	150	3,5,12	71,8	45.5
6	0	105	160	35	0.5	100	2,15	0	74.5
7	0	65	78	90	0.5	106	6,13	30	45.5
8	0	90	102	67	0.7	115	6,7,15,16	43.6	82.8
9	1	90	102	67	0.7	115	1	0	N/A
10	0	0	0	67	0.7	115	1,10	0	45.5
11	0	85	98	50	3	148	9,14,16	99.3	88
12	0	57	81	45	4	148	5,9,12,14	79.8	65,3
13	0	152	177	46	0.9	132	3,7,16	53,6	104
14	0	55	69	85	3.8	128	9,12,14	100	60
15	0	51	59	28	2.6	100	4,11,13	29.5	20.8
16	0	125	144	25	4.7	42.6	4,5,15,16	42.6	82.8

5.5. IQ-Bike Bulanık Mantık Sisteminin Yazılımının Oluşturulması



Şekil 5.13 IQ-Bike ana kodu ve fonksiyonları

Sensör verilerinin toplanması, bulanık mantık kontrolcünün oluşturulması, elektrik motoru kontrolü ve servo motor kontrolü için kullanılan Arduino Mega geliştirme kartı, Arduino'ya özgü C++ tabanlı entegre geliştirme ortamı (IDE) ile programlanmıştır.

IQ-Bike bulanık mantık sistemi yazılımı, bir ana kod ve dokuz alt koddan (fonksiyondan) oluşturulmuştur (Şekil 5.13).

5.5.1. Ana Kod

Ana koda atanan görevler aşağıda listelenmiştir:

- Algoritmada ihtiyaç duyulan Servo, SPI, EEPROM, Bulanık Mantık, SD kart ve Wire kütüphanelerinin çağırılması
- Dijital giriş, dijital çıkış, analog input, interrupt, I2C pinlerinin tanımlanması
- Global değişkenlerin tanımlanması
- SD kart parametrelerinin tanımlanması
- SD kart kayıt dosyası adının otomatik oluşturulması
- Sensör verilerinin filtrelenmesi
- Seri port haberleşme hızının tanımlanması (baud rate, bps)
- LED'lerin yakılıp söndürülmesi
- Buzzer ile uyarı verilmesi
- Kayıt başlatma ve durdurma
- Bulanık mantık kontrolcüyü devreye alma ve devreden çıkarma

Bisikletin arka tekerine entegre edilen CVT'nin ayar mekanizması, pedal dönmüyorken kitlenebilmektedir. Bu durum özellikle sistemin ilk açılması anında servo motorun aşırı yüke binerek bozulmasına veya servo motoru besleyen voltaj regülatörünün aşırı akım yüzünden yanmasına sebep olabilmektedir. Bunu önlemek için, servo motor pozisyon bilgisi her döngü sonunda EEPROM'a (kalıcı hafıza) kaydedilmektedir. Sistem, bisiklet durağan haldeyken herhangi bir sebeple yeniden başlarsa, servo motor pozisyon bilgisi EEPROM'dan çekilmekte böylece servo motor ve voltaj regülatörü korunmaktadır.

5.5.2. Genel Fonksiyonlar

Bu fonksiyonun yerine getirdiği görevler aşağıda sunulmuştur:

- Arduino Mega üzerindeki pinlerin türünün (Input/Output) atamasını yapmaktadır (kayıt başlatma şalteri, kontrolcü seçim şalteri, fren mandalı şalteri, BLDC motor sinyal çıkışı, kırmızı LED, yeşil LED, turuncu LED, buzzer, SD kart pinlerinin ataması).
- Nabız sensörü alıcı modülü ile haberleşmenin sağlanması
- Servo pininin atanması
- Sensör verilerinin okunduğu döngülerin başlatılması

5.5.3. Veri Kaydedici

Sensörlerden toplanan verilerin ve bulanık mantık kontrolcü çıkışlarının kaydını gerçekleştiren fonksiyondur. Fonksiyon, ana kod tarafından çağırıldığında, SD kart modülünde kart takılı olup olmadığını kontrol etmekte, kart takılı ise SD kart içeriğini tarayarak mevcut dosyaların isimlerini kontrol etmekte ve oluşturulacak olan yeni dosyaya benzersiz bir isim vererek dosyayı oluşturmaktadır. Dosya ismi otomatik olarak "DATAXX.csv" formatında oluşturulmaktadır (XX: iki basamaklı sayı).

Dosya oluşturulduktan sonra, başlık satırı yazdırılmakta, kaydın başladığını haber vermek üzere buzzer kısa aralıklarla iki defa aktifleştirilmekte ve yeşil LED yakılmaktadır. Ardından, kayıt durdurma komutu gelene kadar ana kod tarafından filtrelenmiş sensör verileri ve çıkış verileri kayıt altına alınmaktadır. Kaydın durdurulması durumunda yeşil LED söndürülmekte, kırmızı LED yakılmakta ve buzzer ile kısa sesli uyarı verilmektedir.

5.5.4. Nabız

Bu algoritma nabız sensörü alıcı modülünün kurulması, modülün çalışma modunun ayarlanması ve nabız sensörü verilerinin ana koda gönderilmesi görevini yerine getirmektedir.

5.5.5. Eğim

Seri port üzerinden gelen IMU verisinin işlenerek yol eğimi bilgisinin elde edilmesi ve ana koda gönderilmesi görevini yerine getirmektedir.

5.5.6. Pedal Hızı-Torku

Entegre pedal hızı-torku sensöründen gelen ham verinin tork ve hız bilgisine çevrilmesi ve pedal gücünün hesaplanarak ana koda gönderilmesi görevini yerine getirmektedir.

5.5.7. Batarya Voltajı

Batarya voltajı verisinin okunup % 0-100 arası ölçeklendirildiği fonksiyondur.

5.5.8. Teker Hızı

Arka tekere bağlı manyetik enkoder verisinden arka teker hızını hesaplayan fonksiyondur.

5.5.9. Şalterler

Kontrolcüyü devreye alma-devreden çıkarma, kaydı başlatma-durdurma ve frene basılıp-basılmama durumlarını ilgili pinlerden okuyarak ana koda komut göndermektedir.

5.5.10. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Giriş Verilerinin Tanımlanması

Bulanık mantık fonksiyonu, entegre sistemler için geliştirilen bulanık mantık kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu kütüphanede yer alan “FuzzyInput()”, “FuzzySet()”, “addFuzzySet()“ ve “fuzzy->addFuzzyInput()” fonksiyonları kullanılarak giriş verileri ve üyelik fonksiyonları aşağıdaki örnekteki gibi tanımlanmıştır:

```
// 1. Fren
FuzzyInput* Fren = new FuzzyInput(1);
FuzzySet* Fren_Acık = new FuzzySet(0.5, 0.5, 1, 1);
FuzzySet* Fren_Kapali= new FuzzySet(0, 0, 0.5, 0.5);
Fren->addFuzzySet(Fren_Acık);
Fren->addFuzzySet(Fren_Kapali);
fuzzy->addFuzzyInput(Fren);
```

5.5.11. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Çıkış Verilerinin Tanımlanması

Bulanık mantık çıkış verileri, bulanık mantık çıkış verileri “FuzzyOutput()”, “FuzzySet()”, “addFuzzySet()“ ve “fuzzy->addFuzzyOutput()” fonksiyonları kullanılarak giriş verileri ve üyelik fonksiyonları aşağıdaki örnekteki gibi tanımlanmıştır:

```
FuzzyOutput* Destek = new FuzzyOutput(1);
FuzzySet* Destek_DestekYok = new FuzzySet(0, 0, 0.5, 0.5);
FuzzySet* Destek_Düşük = new FuzzySet(0, 20, 40, 60);
FuzzySet* Destek_Orta = new FuzzySet(40, 60, 80, 100);
FuzzySet* Destek_Yüksek = new FuzzySet(80, 100, 120, 120);
Destek->addFuzzySet(Destek_DestekYok);
Destek->addFuzzySet(Destek_Düşük);
Destek->addFuzzySet(Destek_Orta);
Destek->addFuzzySet(Destek_Yüksek);
fuzzy->addFuzzyOutput(Destek);
```

5.5.12. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Giriş Verilerinin Filtrelenmesi

Verilerin filtrelenmesi amacıyla Exponential Moving Average (EMA) ve Simple Moving Average (SMA) tipi filtreleme yöntemleri denenmiştir. EMA tipi filtreleme, sensörden gelen son verinin [0,1] aralığında bir α ağırlık katsayısıyla çarpılıp, bir önceki verinin $1 - \alpha$ ağırlık katsayısı ile çarpımına eklenmesi şeklinde çalışır.

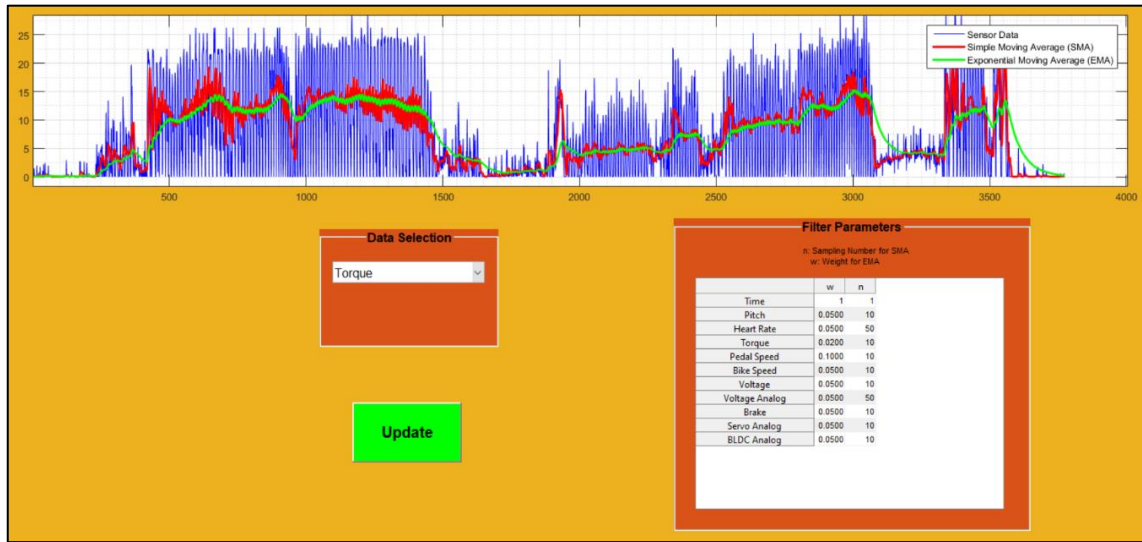
$x_{filtelenmiş}$ filtreleme sonucu elde edilen veri, $x_{filtelenmiş,eski}$ bir önceki filtreleme işleminin sonucu olan veri, x_{yeni} sensörden okunan yeni veri ve α ağırlık katsayısı olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$EMA: x_{filtelenmiş} = (1 - \alpha) \cdot x_{filtelenmiş,eski} + \alpha \cdot x_{yeni}$$

Simple Moving Average (SMA) tipi filtreleme yönteminde ise, sensörden son olarak okunan belirli bir sayıdaki verinin ortalaması alınmaktadır. $x_{filtelenmiş}$ filtreleme sonucu elde edilen veri, n ortalaması alınacak veri sayısı ve x_i i'inci veri olmak üzere filtreleme işlemi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$$SMA: x_{filtelenmiş} = \frac{x_i + x_{i-1} + \dots + x_{i-n}}{n}$$

Matlab ortamında bir grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) geliştirilerek Exponential Moving Average (EMA) ve Simple Moving Average (SMA) tipi filtreleme yöntemleri farklı veriler üzerinde test edilmiş ve filtreleme parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 5.14 Filtreleme performansının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen GUI

Çizelge 5.7 Giriş verilerine uygulanan filtreleme yöntemleri parametreleri

Veri	Filtreleme Yöntemi	n	α
Nabız	SMA	100	-
Pedal Gücü	EMA	-	0.05
Pedal Hızı	EMA	-	0.05
Pedal Torku	EMA	-	0.05
Teker Hızı	EMA	-	0.05
Batarya Doluluk Oranı	EMA	-	0.05

5.5.13. Bulanık Mantık Kontrol Sistemi Kurallar Tabanının Oluşturulması

Bulanık mantık öncülleri (Antecedent) “FuzzyRuleAntecedent()”, “joinSingle()”, “joinWithOR()” ve “joinWithAND()” fonksiyonları kullanılarak aşağıdaki örneklerdeki gibi tanımlanmıştır:

```
FuzzyRuleAntecedent* IF_Fren_ON = new FuzzyRuleAntecedent();
IF_Fren_ON->joinSingle(Fren_ON);
FuzzyRuleAntecedent* IF_Fren_ON_OR_IF_Pp_Zero = new
FuzzyRuleAntecedent();
IF_Fren_ON_OR_IF_Pp_Zero->joinWithOR(IF_Fren_ON,IF_Pp_Zero);
FuzzyRuleAntecedent*
IF_Fren_KAPALI_AND_IF_SoC_Normal_AND_IF_Eğim_Yüksek = new
FuzzyRuleAntecedent();
IF_Fren_KAPALI_AND_IF_SoC_Normal_AND_IF_Eğim_Yüksek-
>joinWithAND(IF_Fren_KAPALI_AND_IF_SoC_Normal, IF_Eğim_Yüksek);
```

Bulanık mantık sonuçları (Consequent) “FuzzyRuleConsequent()” ve “addOutput()” fonksiyonları kullanılarak aşağıdaki örneklerdeki gibi tanımlanmıştır:

```
FuzzyRuleConsequent* THEN_Destek_Düşük= new FuzzyRuleConsequent();
THEN_Destek_Düşük->addOutput(Destek_Düşük);
```

Öncüller ve sonuçlar, “FuzzyRule()” ve “addFuzzyRule()” fonksiyonları ile aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi birbirleriyle ilişkilendirilmiştir:

```
FuzzyRule* FuzzyRule01 = new FuzzyRule(1,
IF_Fren_ON_OR_IF_Pp_Zero_OR_IF_Wrw_NotRotating_OR_IF_SoC_Düşük_O
R_IF_Eğim_Negative_OR_IF_HR_Düşük, THEN_Destek_NoDestek);
fuzzy->addFuzzyRule(FuzzyRule01);
```

Bulanık mantık giriş ve çıkış verilerinin tanımlanması ve bulanık mantık kurallar tabanının oluşturulmasından sonra sensörlerden toplanarak filtrelenen veriler bulanık mantık giriş verileri olarak aşağıdaki şekilde atanmıştır:

```
int data_i_1 = FrenActive; // Fren - int - [0,1]
int data_i_2 = Wp_filtered; // Wp - [0 200]
int data_i_3 = Wrw_filtered; // Wrw - [0 310]
int data_i_4 = SoC_filtered; // SoC - [0 100]
int data_i_5 = Eğim_filtered; // Eğim - [-15 15]
int data_i_6 = HR_filtered; // HR - [00 250]
int data_o_1 = 0; // Destek - [0 100]
int data_o_2 = 0; // CVT - [0-180]
```

```
fuzzy->setInput(1, data_i_1);
fuzzy->setInput(2, data_i_2);
fuzzy->setInput(3, data_i_3);
fuzzy->setInput(4, data_i_4);
fuzzy->setInput(5, data_i_5);
fuzzy->setInput(6, data_i_6);
```

Bulanık mantık giriş verileri tanımlandıktan sonra bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemleri yapılmıştır:

```
fuzzy->fuzzify();  
float output1 = fuzzy->defuzzify(1);  
float output2 = fuzzy->defuzzify(2);
```

Elde edilen çıkış verileri ile servo motor ve BLDC motor kumanda edilmiştir:

```
Servo_Angle = output2;  
cvtServo.write(Servo_Angle);  
Bldc_Rate = output1;  
Bldc_Pwm = map(Bldc_Rate,0,100,38,205);  
analogWrite(bldcMotorPin, Bldc_Pwm);
```

Bulanık mantık kontrol sistemi aktif olarak bisikletçiye destek verdiği zaman (BLDC motor sürücüsü devrede iken) turuncu led yakılmaktadır:

```
if (Bldc_Rate > 0)  
{  
digitalWrite(orangeLedPin, YÜKSEK);  
}  
else  
{  
digitalWrite(orangeLedPin, DÜŞÜK);  
}
```

6. TESTLER

6.1. Test Prosedürü

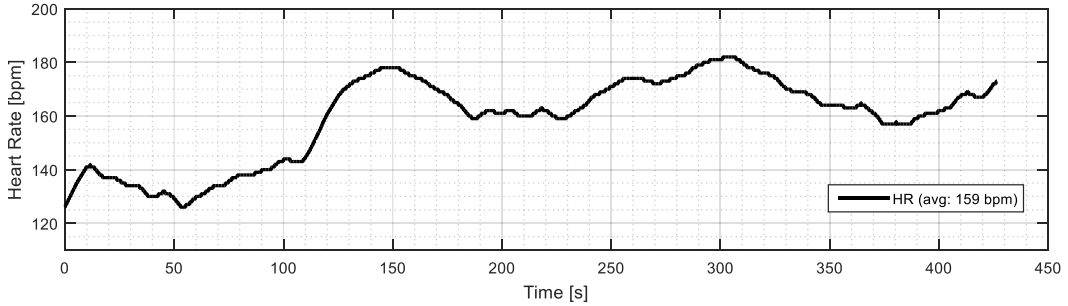
IQ-Bike sisteminin 30 yaşındaki bir bisikletçiye sağladığı desteğin, bisikletçinin metabolik parametrelerine olan etkilerinin gözlemlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla 4 test sürüşü yapılmıştır. Her bir test sürüşünden önce ısınma turu atılarak, nabız seviyesinin bir miktar yükselmesi sağlanmıştır.

1. test sürüşünde destek sistemi devre dışı bırakılmıştır, 2. test sürüşünde destek sistemi aktifleştirilmiştir. Her iki test sürüşü de yaklaşık olarak aynı ortalama hızda ve sürede gerçekleştirilmiştir.

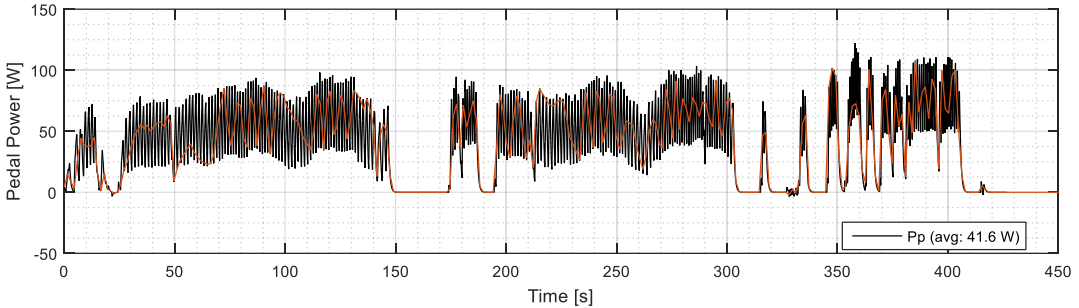
3. ve 4. test sürüşlerinde ise destek sistemi aktiftir ve bisikletçiye herhangi bir sınırlandırma yapılmamış olup, güzergah, ortalama hız ve test süresi bisikletçinin inisiyatifine bırakılmıştır.

6.2. Test Verileri

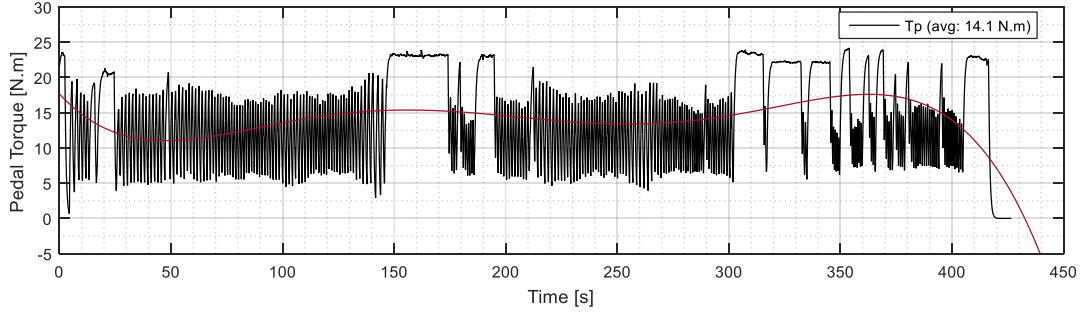
6.2.1. Test 1 (Destek Sistemi Devre Dışı)



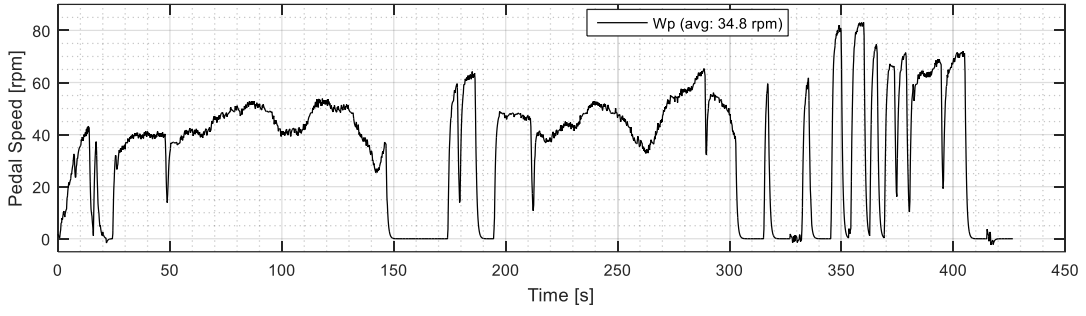
Şekil 6.1 1. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi



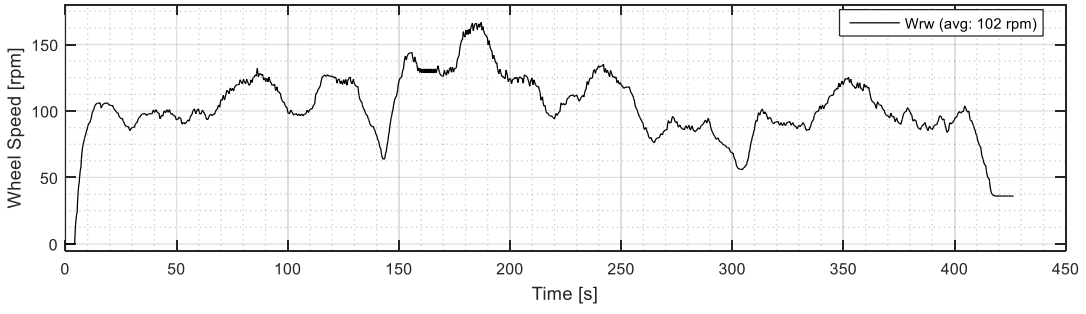
Şekil 6.2 1. test sürüşünde pedala uygulanan güç



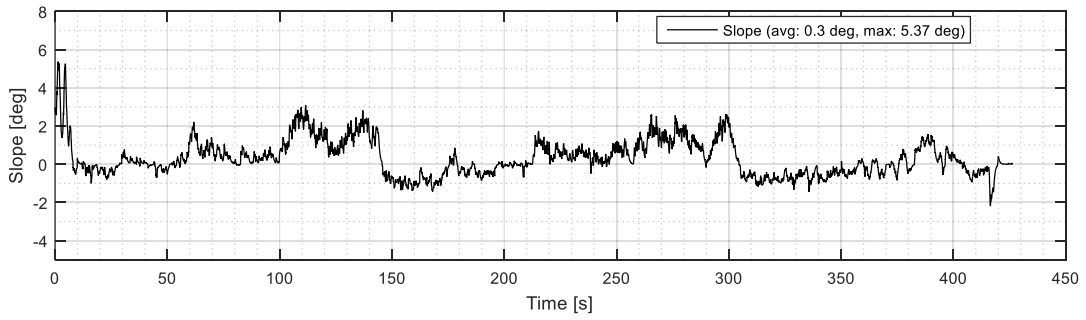
Şekil 6.3 1. test sürüşünde pedala uygulanan tork



Şekil 6.4 1. test sürüşünde pedal hızı

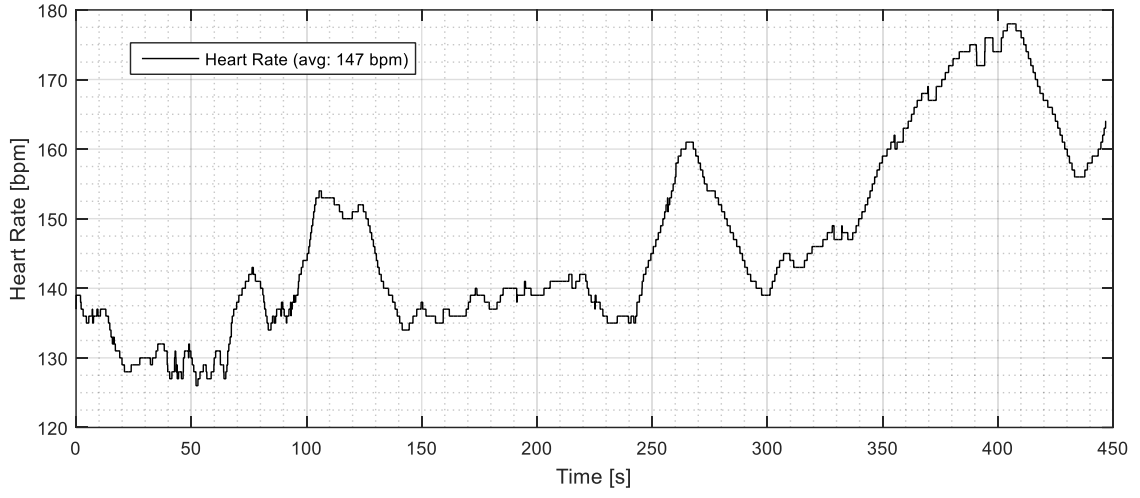


Şekil 6.5 1. test sürüşünde teker hızı

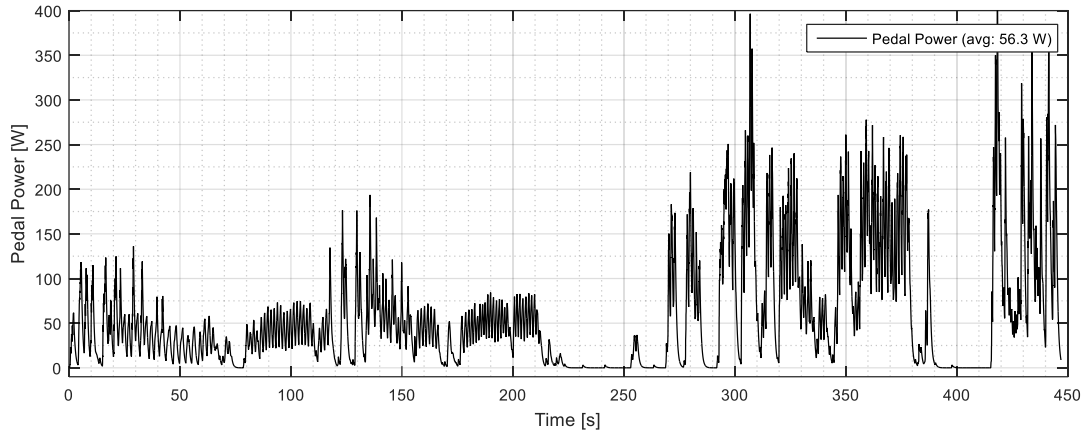


Şekil 6.6 1. test sürüşünde yol eğimi

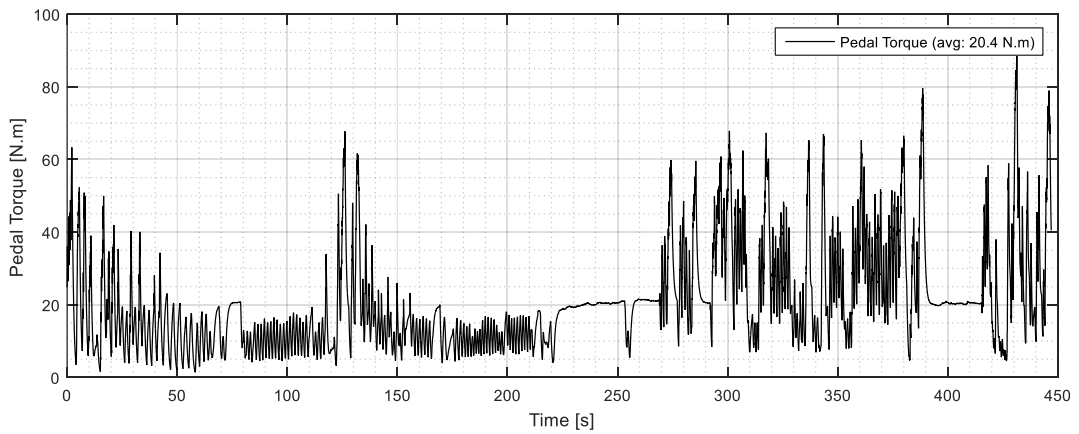
6.2.2. Test 2 (Destek Sistemi Aktif)



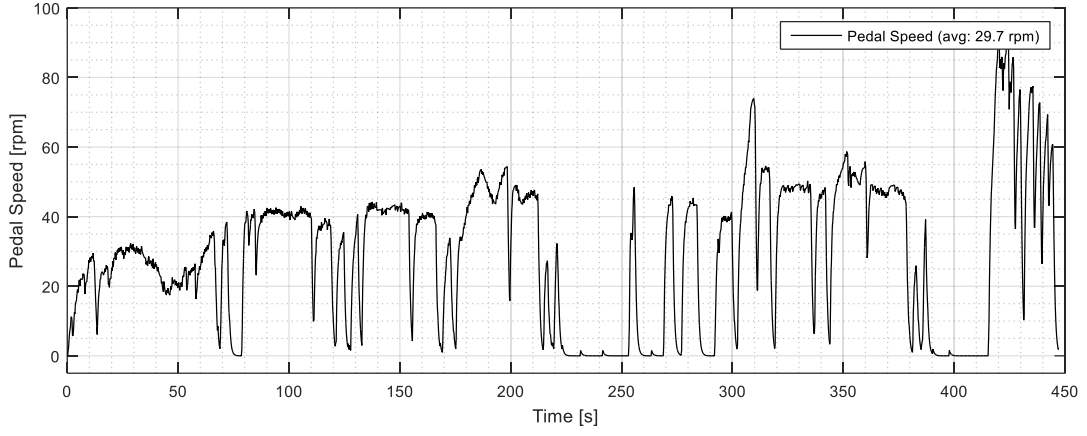
Şekil 6.7 2. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi



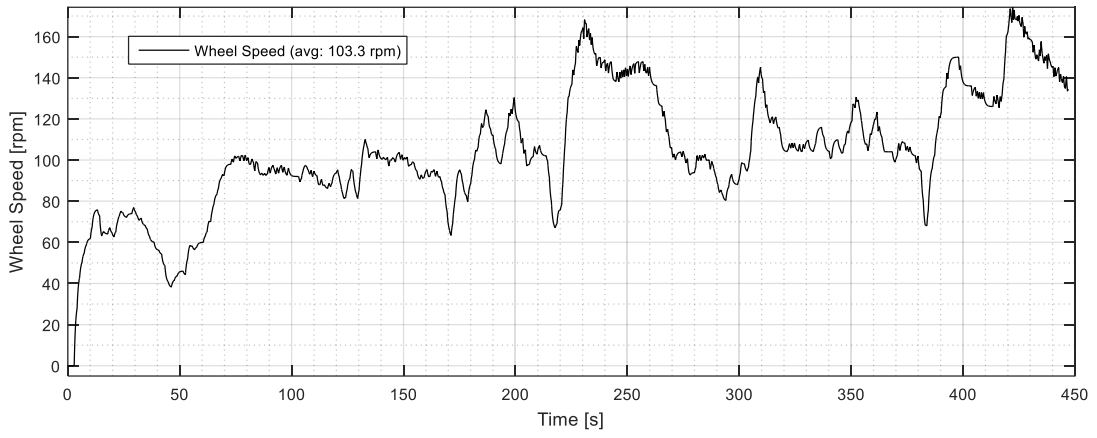
Şekil 6.8 2. test sürüşünde pedala uygulanan güç



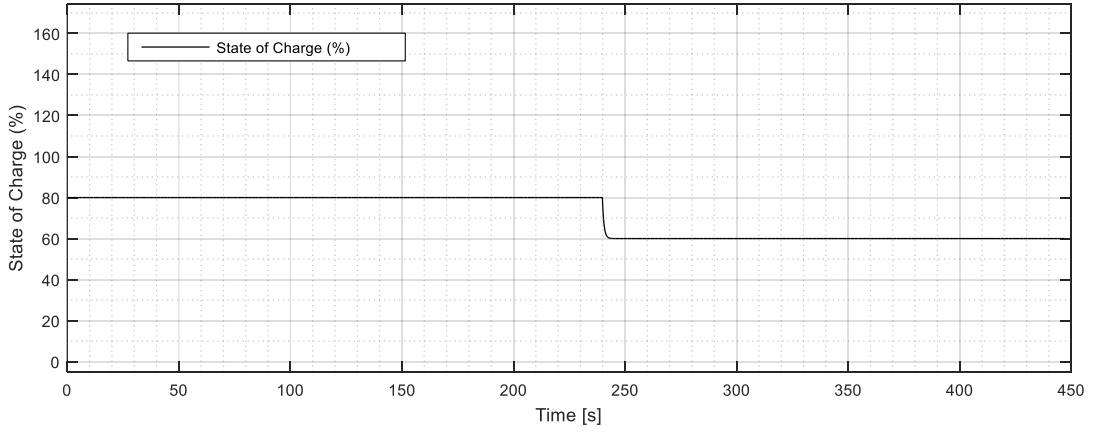
Şekil 6.9 2. test sürüşünde pedala uygulanan tork



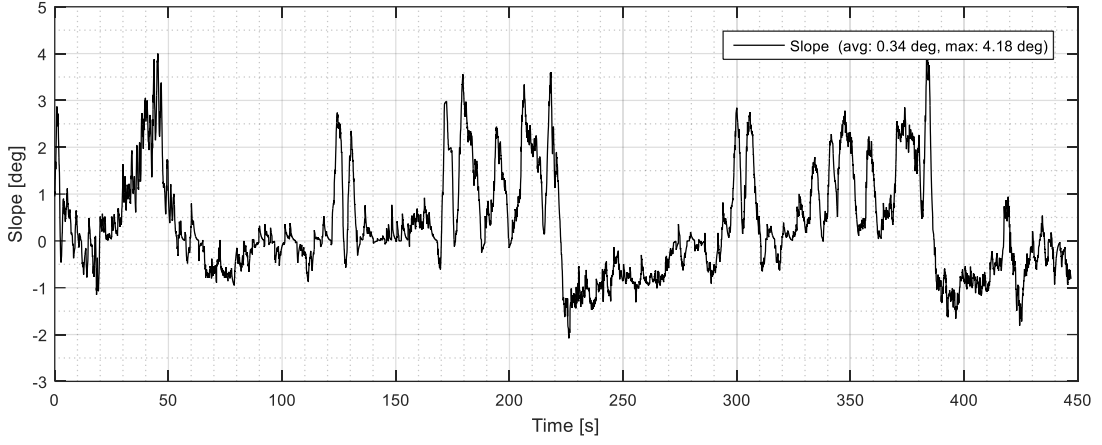
Şekil 6.10 2. test sürüşünde pedal hızı



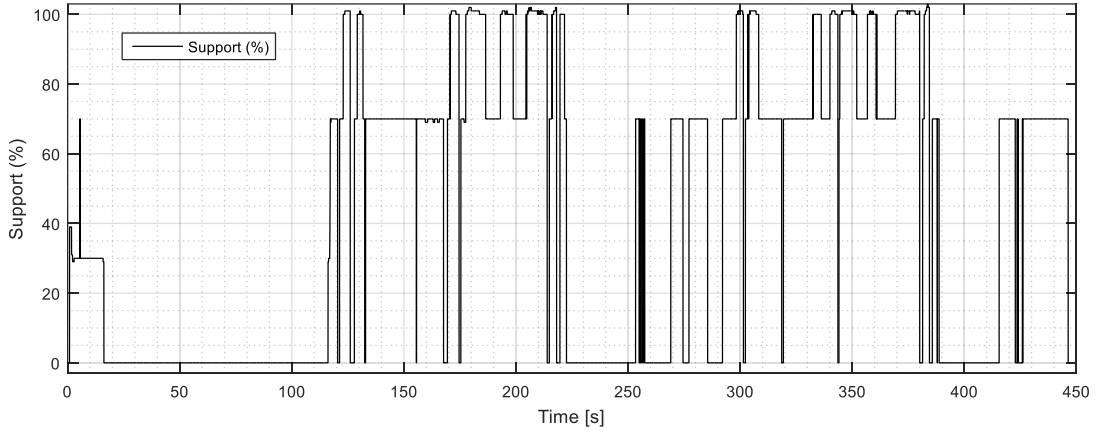
Şekil 6.11 2. test sürüşünde teker hızı



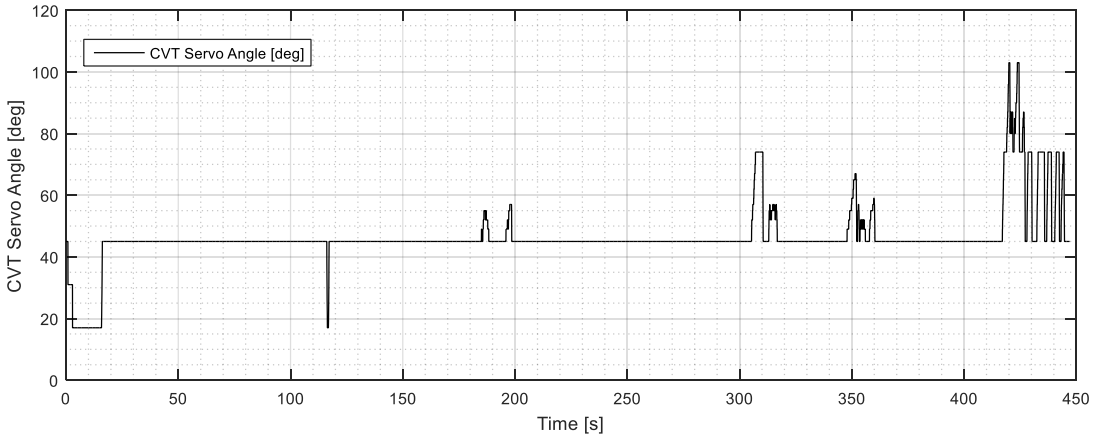
Şekil 6.12 2. test sürüşünde batarya doluluk oranı



Şekil 6.13 2. test sürüşünde yol eğimi

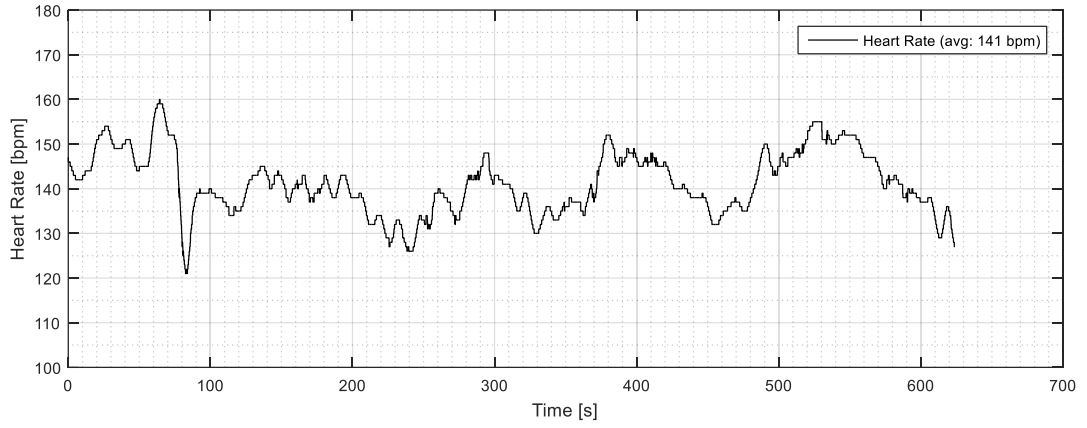


Şekil 6.14 2. test sürüşünde bisikletçiye sağlanan destek oranı

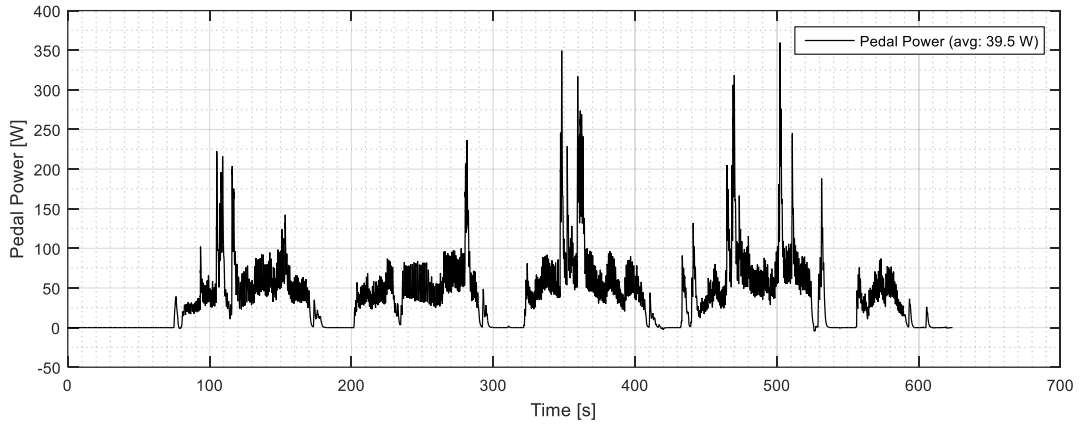


Şekil 6.15 2. test sürüşünde CVT servo motorunun açıl konumu

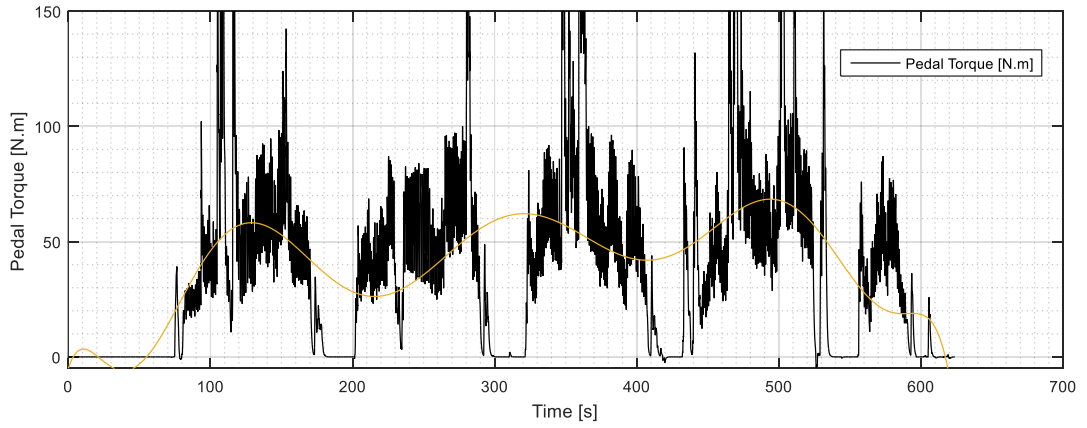
6.2.3. Test 3 (Destek Sistemi Aktif)



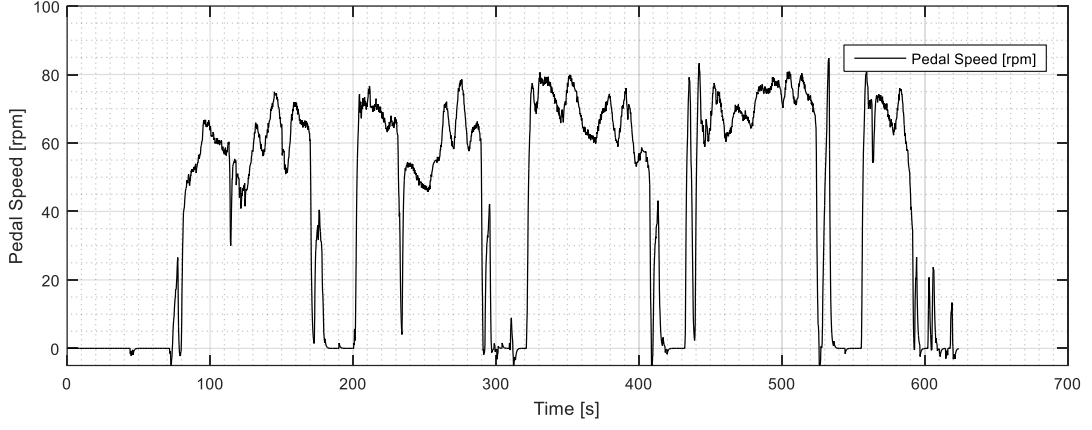
Şekil 6.16 3. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi



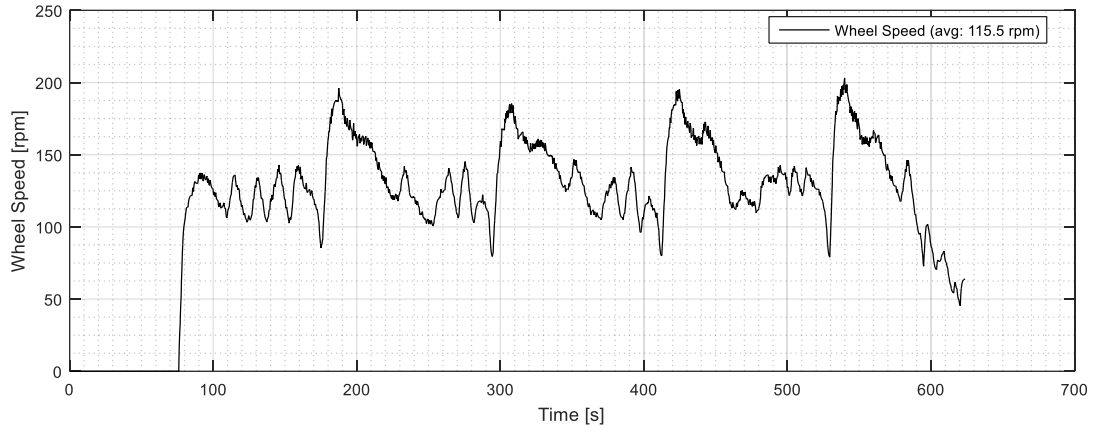
Şekil 6.17 3. test sürüşünde pedala uygulanan güç



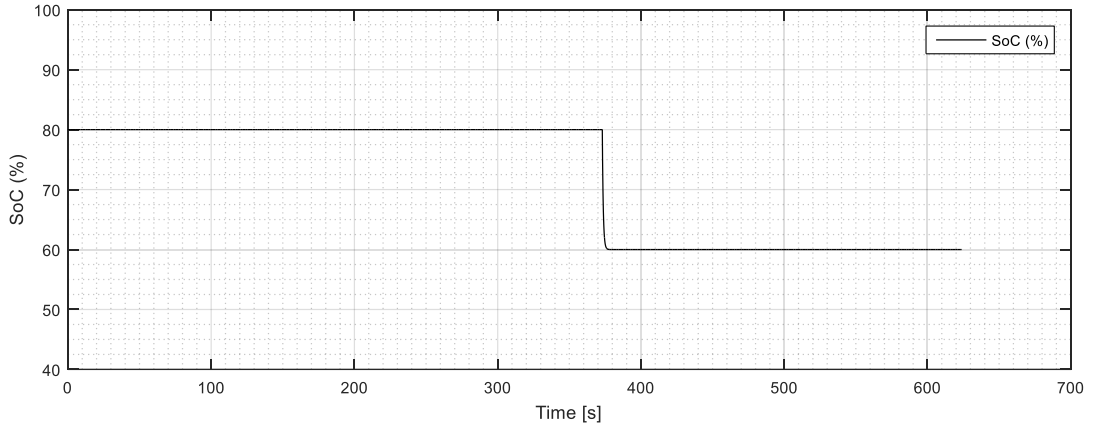
Şekil 6.18 3. test sürüşünde pedala uygulanan tork



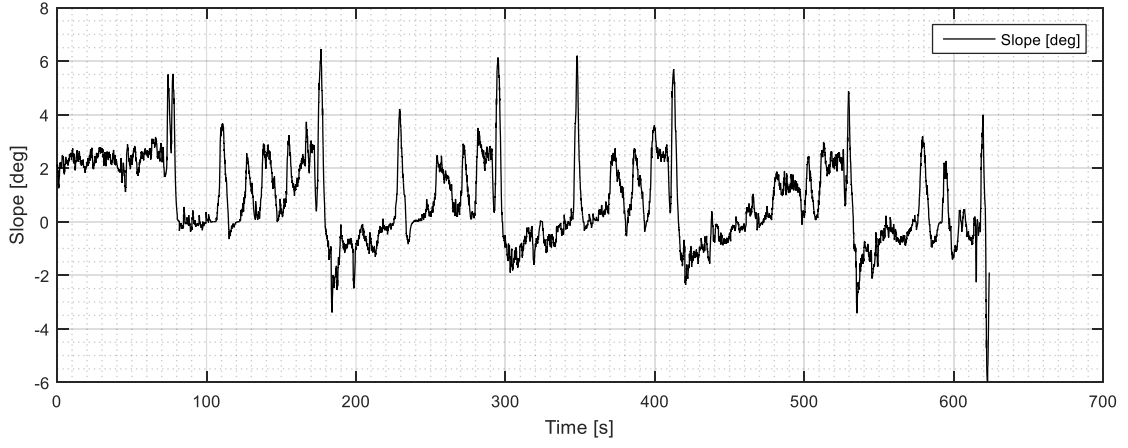
Şekil 6.19 3. test sürüşünde pedal hızı



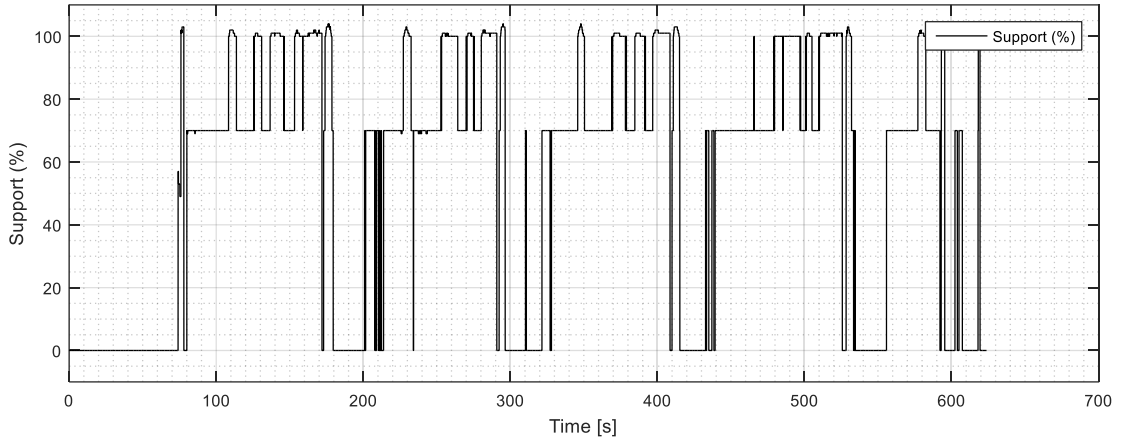
Şekil 6.20 3. test sürüşünde teker hızı



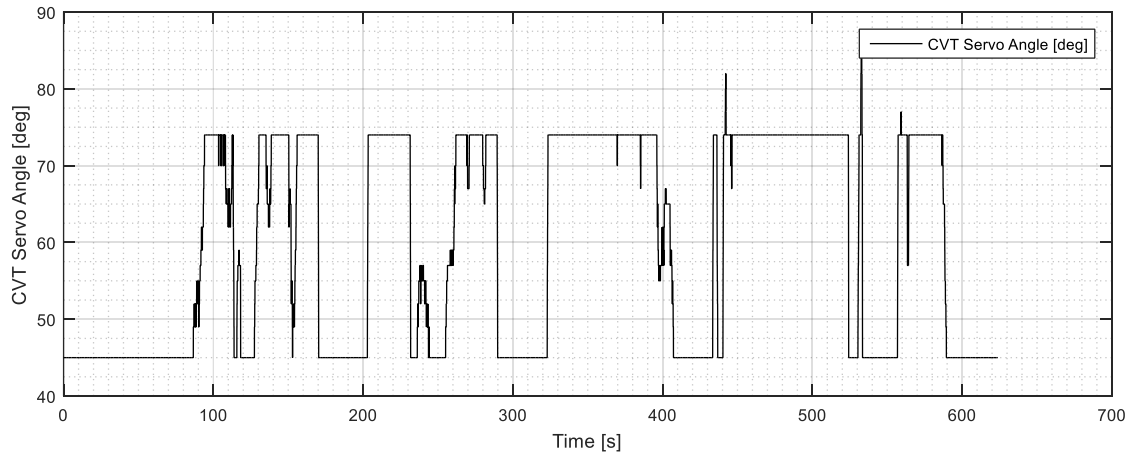
Şekil 6.21 3. test sürüşünde batarya doluluk oranı



Şekil 6.22 3. test sürüşünde yol eğimi

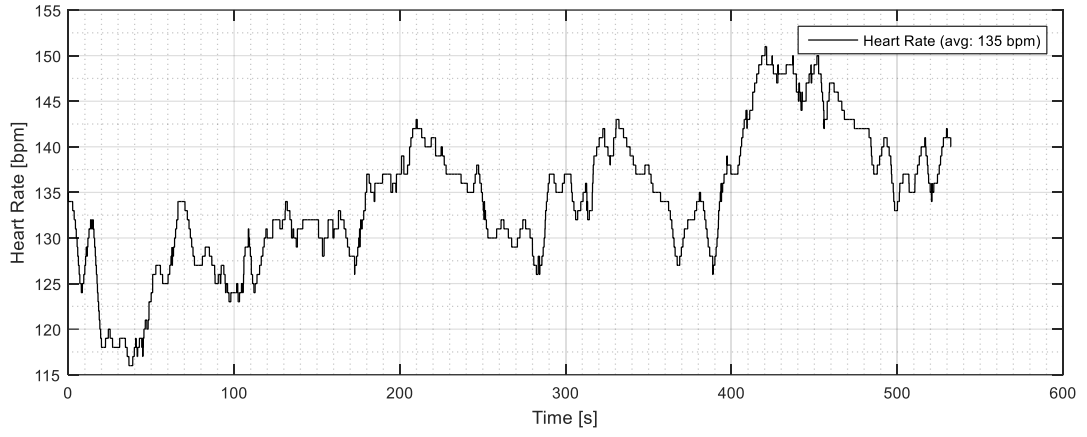


Şekil 6.23 3. test sürüşünde bisikletçiye sağlanan destek oranı

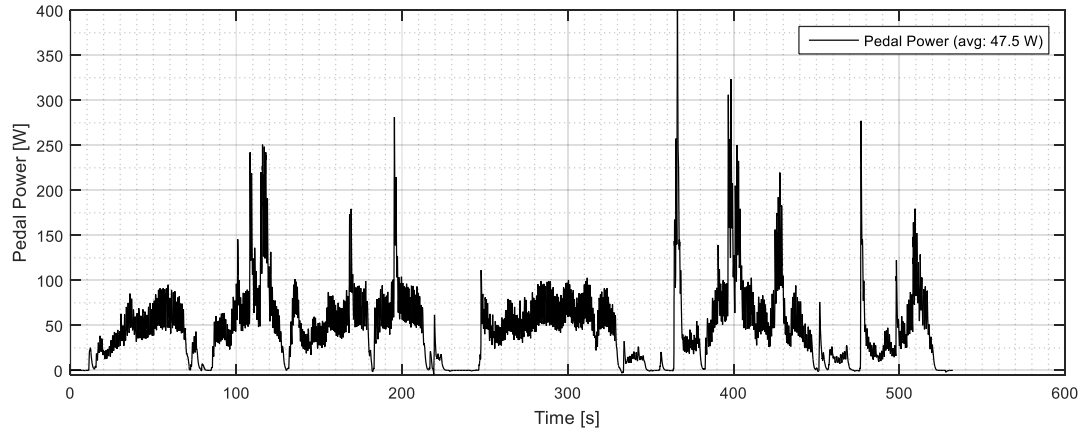


Şekil 6.24 3. test sürüşünde CVT servo motorunun açısal konumu

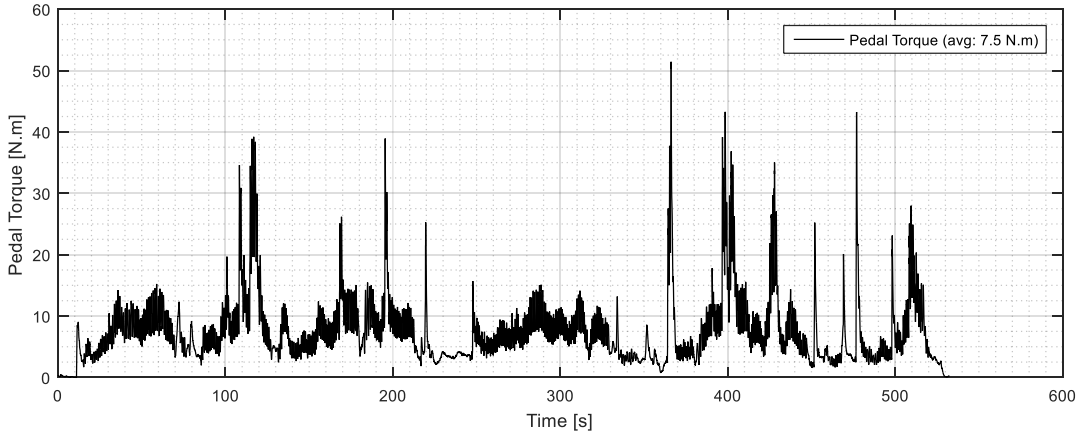
6.2.4. Test 4 (Destek Sistemi Aktif)



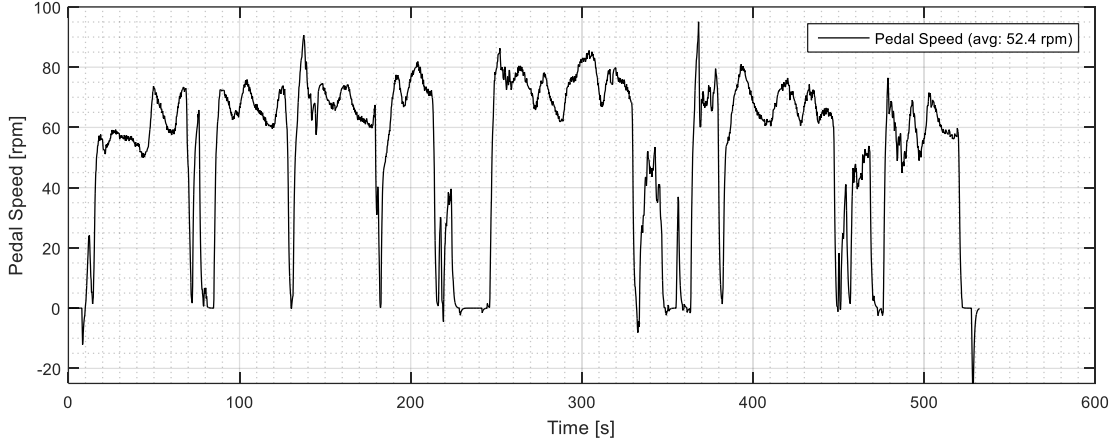
Şekil 6.25 4. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesi



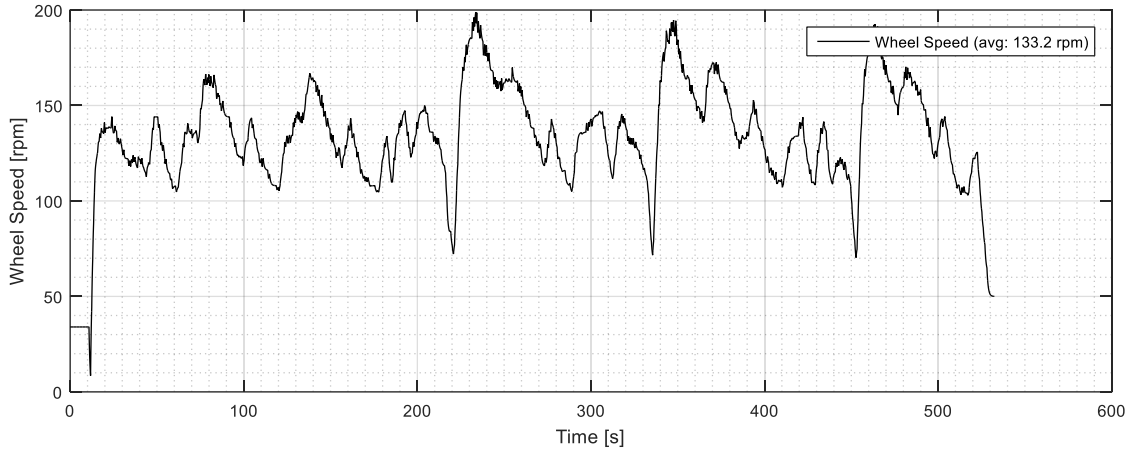
Şekil 6.26 4. test sürüşünde pedala uygulanan güç



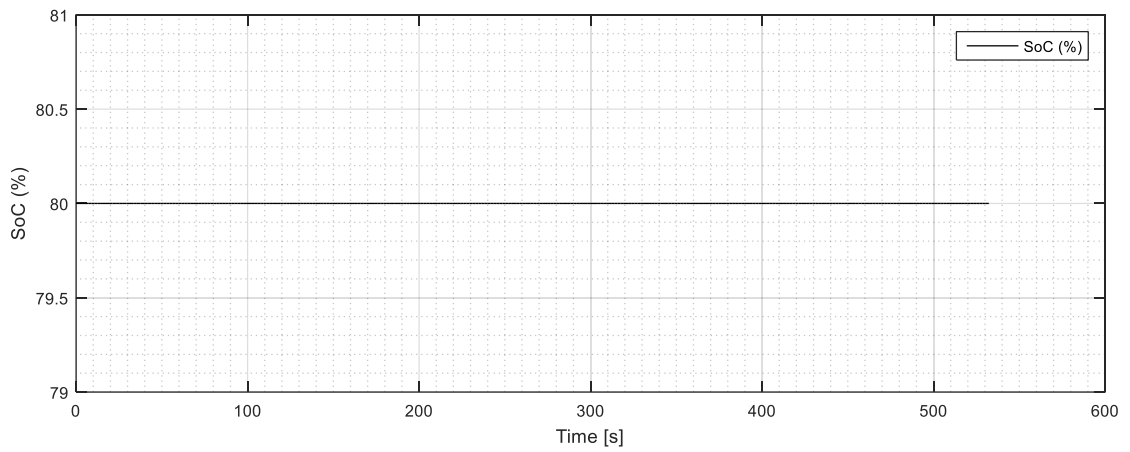
Şekil 6.27 4. test sürüşünde pedala uygulanan tork



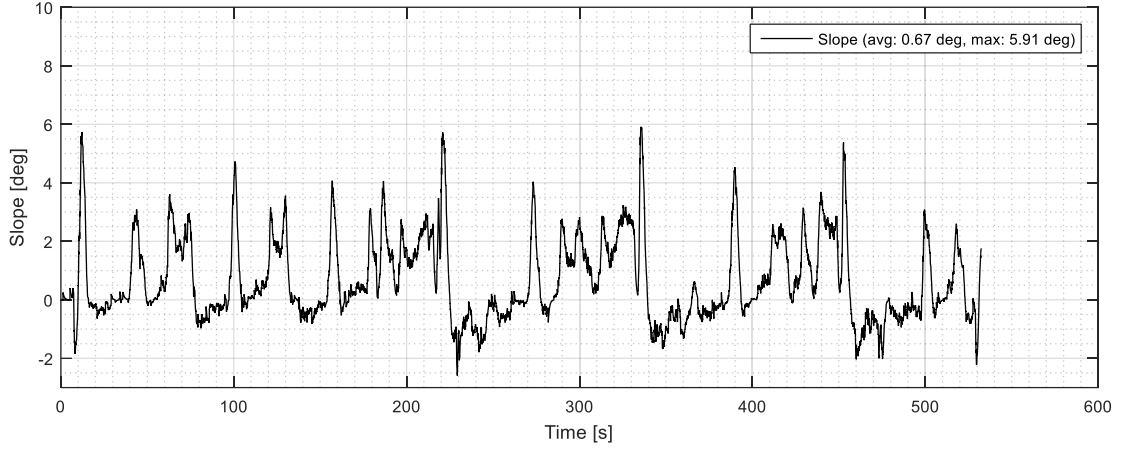
Şekil 6.28 4. test sürüşünde pedal hızı



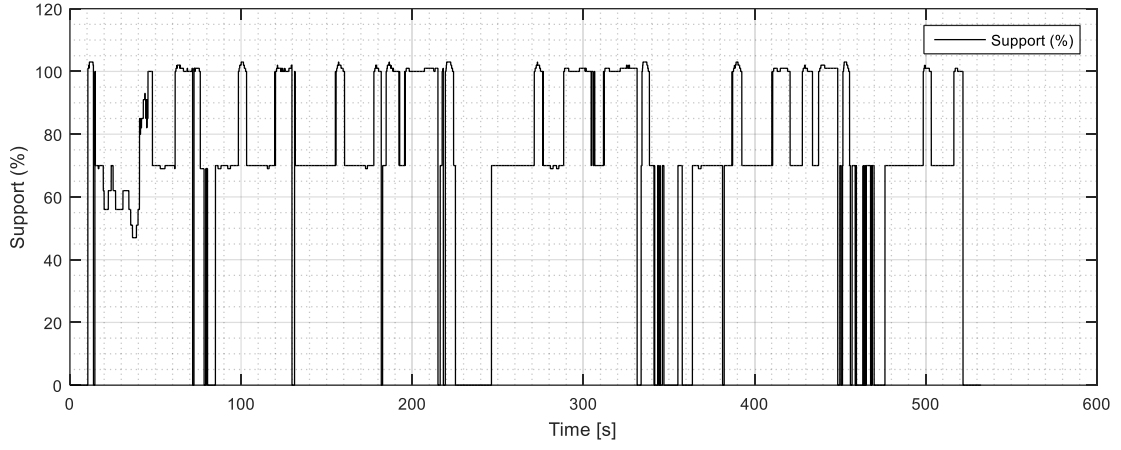
Şekil 6.29 4. test sürüşünde teker hızı



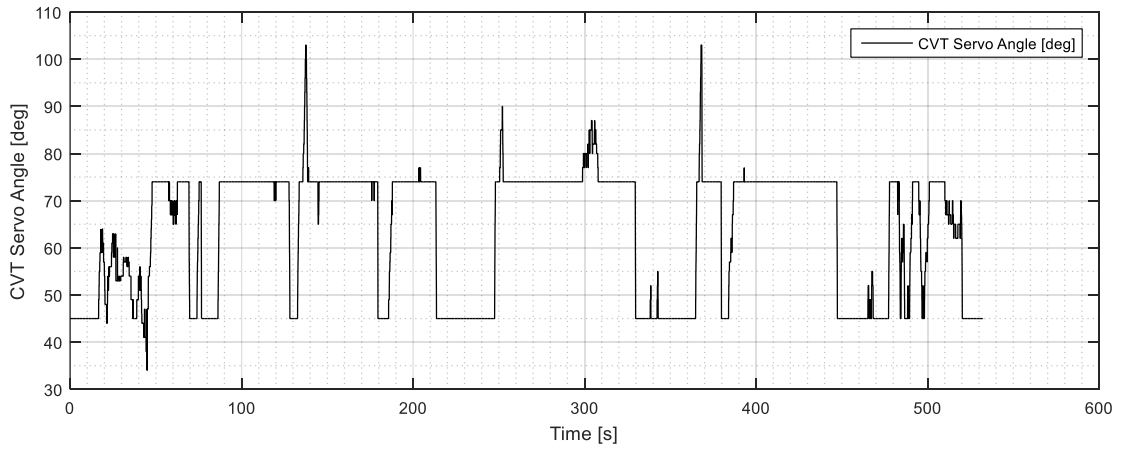
Şekil 6.30 4. test sürüşünde batarya doluluk oranı



Şekil 6.31 4. test sürüşünde yol eğimi



Şekil 6.32 4. test sürüşünde bisikletçiye sağlanan destek oranı



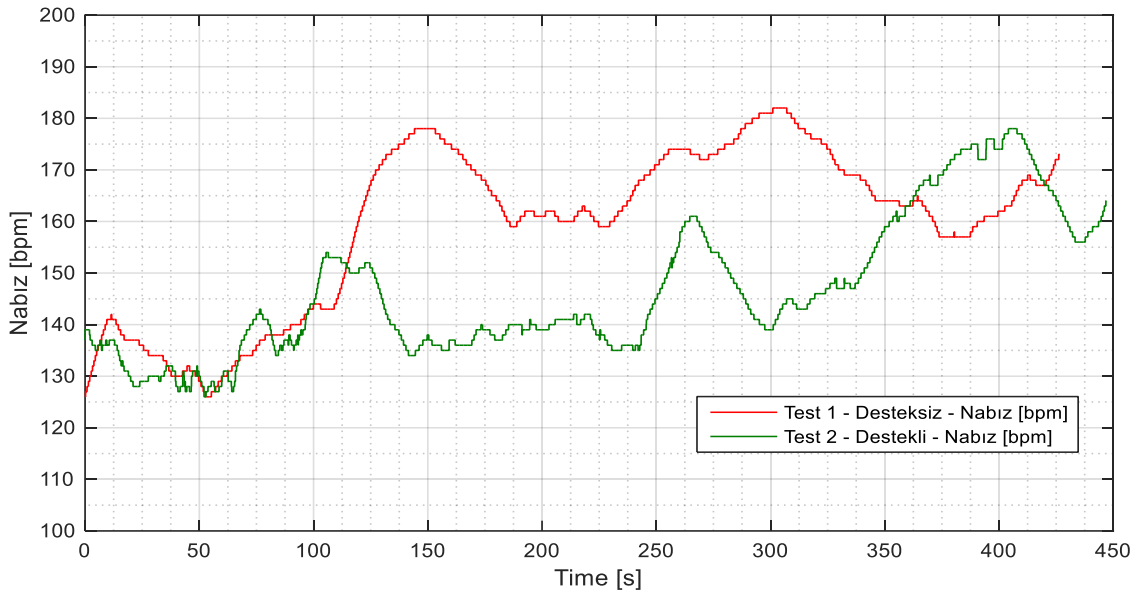
Şekil 6.33 4. test sürüşünde CVT servo motorunun açıl konumu

6.3. Test Verilerinin Değerlendirilmesi

4 farklı test sürüşünden elde edilen veriler Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1 Test sürüşleri sonucu elde edilen veriler

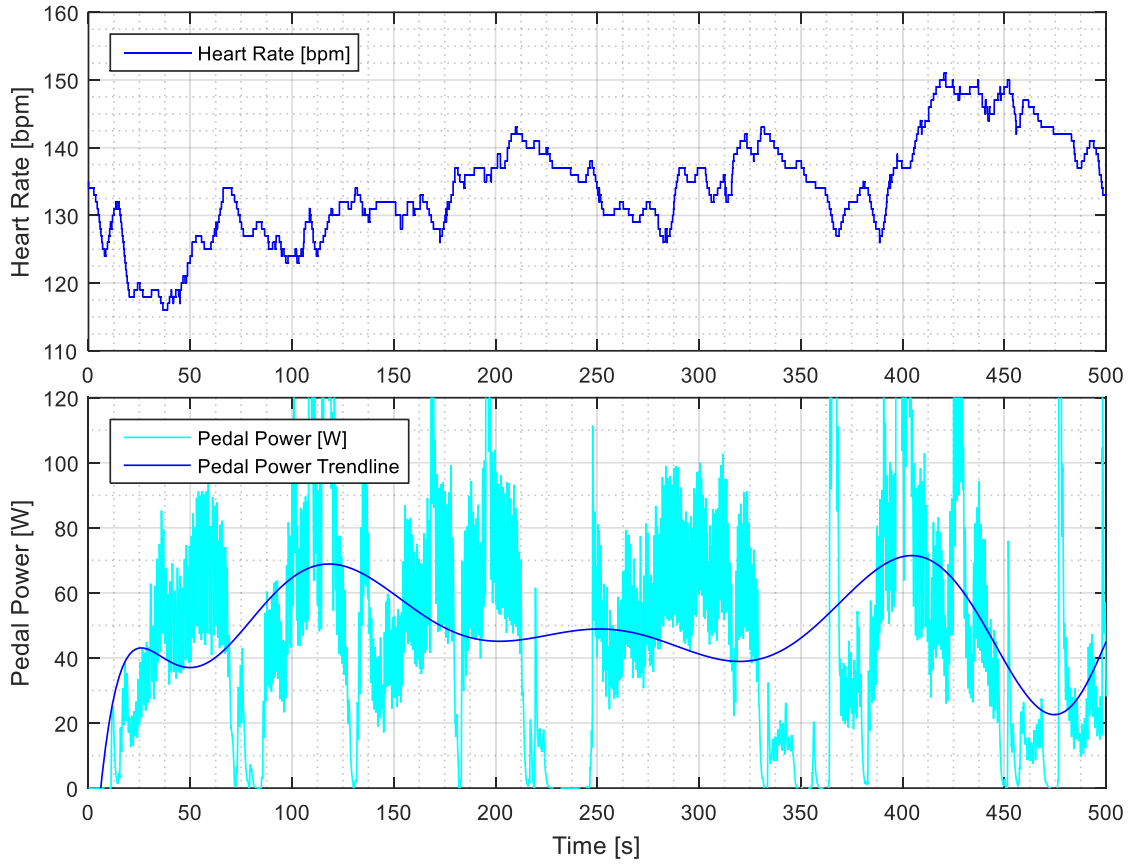
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Test Türü	Desteksiz	Destekli	Destekli	Destekli
Test Süresi [s]	427	447	625	530
Ortalama Nabız [bpm]	159	147	141	135
Nabız Seviyesi Aralığı [bpm]	125-185	126-178	121-160	116-151
Minimum Nabız [bpm]	125	126	121	116
Maksimum Nabız [bpm]	185	178	160	151
Ortalama Pedal Gücü [W]	41.6	56.3	39.5	47.5
Ortalama Pedal Hızı [rpm]	34.8	29.7	42.5	52.4
Ortalama Teker Hızı [rpm]	102	103.3	115.5	133.2



Şekil 6.34 1. ve 2. test sürüşlerine ait nabız verileri

1. ve 2. test sürüşleri yaklaşık olarak aynı sürede ve aynı ortalama hızda tamamlanmıştır. Veriler karşılaştırıldığında, destek sistemi aktifken bisikletçinin ortalama nabız seviyesinin desteksiz durumdan 12 bpm daha düşük olduğu görülmektedir. 1. ve 2. test sürüşleri karşılaştırılırken, 2. test sürüşünde bisikletçinin nabız seviyesinin 1. test sürüşüne göre 13 bpm daha yüksek olduğu göz önüne alınmalıdır (Şekil 6.34).

Destek sistemi aktifken gerçekleştirilen 2., 3. ve 4. test sürüşleri sonuçları ele alındığında, 3. ve 4. test sürüşlerinde bisikletçilerin nabız seviyesinin 28-31 yaş arası için orta şiddetteki egzersizlerde hedeflenen aralıkta (122-141 bpm) kaldığı, 2. test sürüşünde ise bu aralığın üst sınırının +6 komşuluğunda kaldığı görülmektedir. Destek sistemi aktif değilken gerçekleştirilen 1. testte bisikletçinin nabız seviyesi 125-185 bpm aralığında değişmektedir. Destek sistemi aktif iken gerçekleştirilen 2., 3. ve 4. testlerde ise bisikletçinin nabız seviyesi sırasıyla 126-178 bpm, 121-160 bpm ve 116-151 bpm aralığında kalmaktadır.

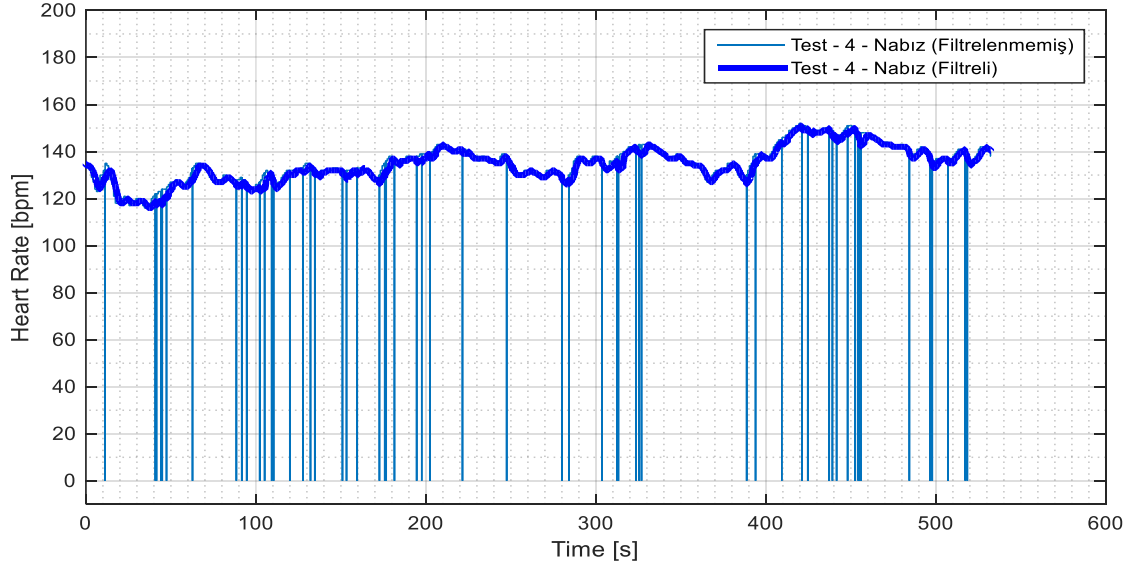


Şekil 6.35 Test 3'e ait nabız ve pedal gücü grafikleri

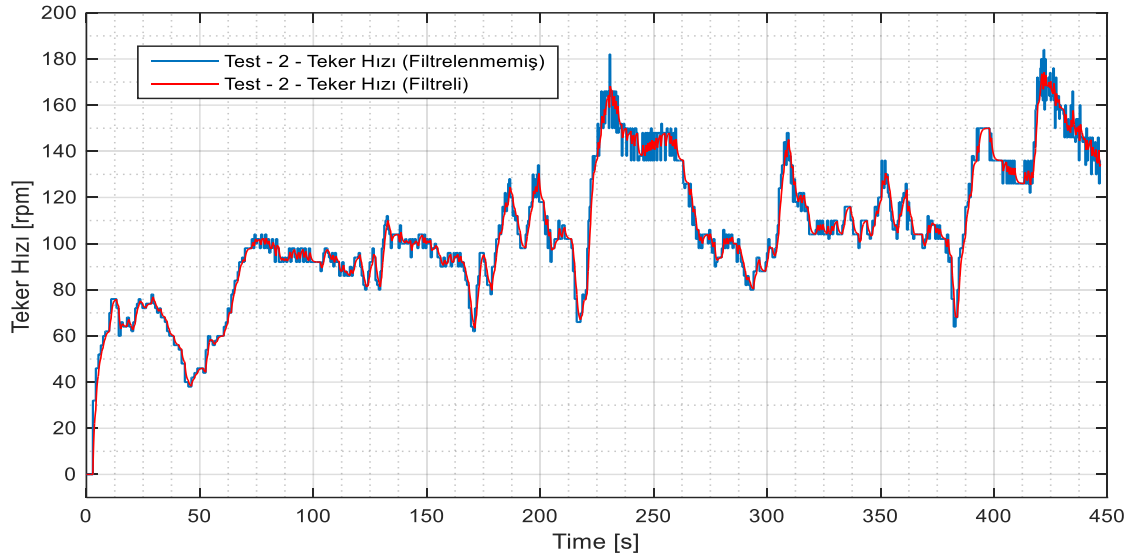
Şekil 6.35'te yer alan nabız ve pedal gücü grafikleri incelendiğinde, değişen pedal gücüne karşılık, nabız seviyesinin gecikmeli olarak değiştiği görülmektedir. Örneğin, pedal gücü yaklaşık 15. saniyeden itibaren artma trendi gösterirken, nabız yaklaşık 36. saniyede artış trendi göstermeye başlamaktadır.

Sistemde uygulanan filtreleme yöntemlerinin performansının gözlemlenmesi için, kullanılan iki farklı tip yöntem (SMA ve EMA) ait birer grafik Şekil 6.36 ve Şekil 6.37'de sunulmuştur. Nabız verisi için kullanılan SMA tipi ($n=100$) filtrenin, nabız sensöründen gelen hatalı ölçümleri bertaraf edebildiği Şekil 6.36'da görülmektedir.

Teker hızına ait ham sensör verileri, EMA ($\alpha = 0.5$) yöntemiyle filtrelenmiştir. Uygulanan filtrenin ham sensör verilerindeki gürültüyü azalttığı görülmüştür.



Şekil 6.36 Nabız verisi için filtreleme performansı (SMA, $n=100$)



Şekil 6.37 Teker hızı verisi için filtreleme performansı (EMA, $\alpha = 0.5$)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Dünya çapında ortan obezite oranı ve kentleşmenin getirmiş olduğu masabaşı iş yoğunluğunun artmış olması nedeniyle insanlar yeteri kadar hareket edememekte ve spor aktiviteleri asgari düzeye inmektedir. Bisiklet sürme, motorlu taşıtla ulaşım göre daha yorucu bir aktivite olması nedeniyle bir çok kişi tarafından tercih edilmemektedir. Bu noktadan yola çıkarak, tez çalışması kapsamında, bisikletçinin aşırı yorulmasını veya hafif bir efor sarf ederek düşük tempoda bisiklet kullanmasını önleyen, bununla birlikte, batarya doluluk oranını anlık olarak takip ederek verilen destek oranını ayarlayan, böylece daha uzun bir menzil boyunca bisikletçiye destek olan yenilikçi bir paralel hibrit elektrikli bisiklet (IQ-Bike) geliştirilmiştir.

IQ-Bike'ta destek oranının ayarlanması ve/veya sürüş şartlarının transmisyon oranı değiştirilerek hafifleştirilmesi veya zorlaştırılması amacıyla bulanık mantık kontrolcü kullanılmıştır. Bulanık mantık, sağladığı esneklik sayesinde destek oranı ve transmisyon oranının sürüş şartlarına ve bisikletçinin metabolik parametrelerine göre kolaylıkla ayarlanabilmesine olanak tanımıştır. Klasik tipteki kontrolcülerden farklı olarak, dilsel değişkenler ve "Eğer ... ise ..." tarzında öncüllerden ve sonuçlardan oluşan dilsel cümleler ile (bulanık mantık kuralları) oluşturulabilmekte ve sistemin tamamının modellenmesine ihtiyaç duyulmamaktadır.

IQ-Bike, bisikletçinin nabız seviyesi, yol eğimi, pedal gücü, fren durumu, batarya doluluk oranı parametrelerini anlık takip ederek bisikletçiye destek verme/vermeme ve transmisyon oranını artırma/azaltma yönünde karar vererek bisikletçinin nabzının istenen aralıkta kalmasını sağlamaya çalışmakta, böylece bir noktadan başka bir noktaya ulaşımını sağlarken aynı zamanda ideal koşullarda spor yapmasını desteklemektedir.

Test sonuçları incelendiğinde, IQ-Bike'ın, geliştirilme amacına uygun olarak, destek sistemi aktifken, ortalama nabız seviyesini 28-31 yaş arası için orta şiddetteki egzersizlerde hedeflenen aralıkta (122-141 bpm) veya bu aralığa çok yakın tutabildiği görülmüştür. Bununla birlikte, testler süresince, bisikletçinin nabzının hedeflenen aralığın üstüne çıktığı, yer yer 30 yaş için kritik üst eşik olan 190 bpm seviyesinin 10 bpm altına kadar (180 bpm) yaklaştığı veya hedeflenen aralığın altına düştüğü de görülmektedir.

7.2. Öneriler

IQ-Bike'ta kullanılan bulanık mantık kuralları değiştirilerek ve bulanık mantık sistemine ait giriş ve çıkış verilerine ait üyelik fonksiyonları optimize edilerek, destek sisteminin performansı artırılabilir. Nabız seviyesinin, yorulma başladıktan bir süre sonra gecikmeli olarak arttığı göz önünde bulundurularak, destek oranını tanımlayan üyelik fonksiyonlarının ve nabız değişkenini tanımlayan üyelik fonksiyonlarının yeniden oluşturulması yoluyla, destek sisteminin daha erken devreye girmesi sağlanarak bu performansın artırılacağı düşünülmektedir.

Sistemde sürekli değişken transmisyon kullanılmasına karşın, vites oranının keskin geçişler yaptığı görülmüştür. CVT oranını tanımlayan üyelik fonksiyonlarının yeniden değerlendirilerek, bu geçişlerin daha pürüzsüz gerçekleşmesi sağlanabilir. Destek sistemi, nabız seviyesi ve pedal hızı optimizasyonu gibi farklı hedeflere yönelik olarak geliştirilen algoritmalarla kurulabilir.

IQ-Bike'ın bir kaç saatlik uzun süreli ve uzun menzilli sürüşlerdeki performansları test edilerek, sistemin, bisikletçinin nabzını hedeflenen aralıkta ne seviyede tutabildiği gözlemlenmelidir.

Sistemde kullanılan sensör sayısı azaltılarak -örneğin sadece nabız sensörü ve pedal gücü sensörü kullanılarak- sistemin toplam maliyetinin aşağıya çekilmesi, sistemin ticarileşebilme potansiyelini artıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] World Health Organisation, Obesity and Overweight, <http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (Eylül, **2017**).
- [2] American Diabetes Association, Statistics About Diabetes, <http://www.diabetes.org/diabetes-basics/statistics/> (Şubat, **2018**).
- [3] de Araújo Ruas, V.D., Figueira, T.R., Denadai, B.S., Greco, C.C., Effect of Cycling Exercise at Different Pedal Cadences on Subsequent Muscle Strength, *Journal of Exercise Science & Fitness*, 9, 2, 93–99, Dec. **2011**.
- [4] Joyner, M.J., Coyle, E.F., Endurance exercise performance: the physiology of champions, *The Journal of Physiology*, 586, 1, 35–44, **2008**.
- [5] Jobson, S.A., Hopker, J.G., Korff, T., Passfield, L., Gross efficiency and cycling performance: a brief review, *Journal of Science and Cycling*, 1, 1, 3–8, **2012**.
- [6] Ettema, G., Lorås, H.W., Efficiency in cycling: a review, *European Journal of Applied Physiology*, 106, 1, 1–14, **2009**.
- [7] Chavarren, J., Calbet, J.A.L., Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80, 6, 555–563, **1999**.
- [8] Gaesser, G.A., Brooks, G.A., Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate, *Journal of Applied Physiology*, 38, 6, **1975**.
- [9] Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., Santalla, A., Chicharro, J.L., Inverse relationship between VO₂max and economy/efficiency in world-class cyclists, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34, 12, 2079–84, **2002**.
- [10] Nickleberry, B., Brooks, G., No effect of cycling experience on leg cycle ergometer efficiency, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28, 11, **1996**.

- [11] Pierre, S., Nicolas, H., Frédérique, H., Interactions between cadence and power output effects on mechanical efficiency during sub maximal cycling exercises, *European Journal of Applied Physiology*, 97, 1, 133–139, **2006**.
- [12] Foss, Ø., Hallén, J., The most economical cadence increases with increasing workload, *European Journal of Applied Physiology*, 92, 4–5, 443–51, **2004**.
- [13] McDaniel, J., Durstine, J.L., Hand, G.A., Martin, J.C., Determinants of metabolic cost during submaximal cycling, *Journal of Applied Physiology*, 93, 3, 823–8, **2002**.
- [14] Morton, R.H., Hodgson, D.J., The relationship between power output and endurance: a brief review, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73, 6, 491–502, **1996**.
- [15] Bassett, D.R., Howley, E.T., Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1, 70–84, **2000**.
- [16] Morchin, W.C., Oman, H., *Electric Bicycles: A Guide to Design and Use*, IEEE Press, **2006**.
- [17] Anonim, Heart Rate Chart, <https://spinning.com/energy-zone-chart/> (Eylül, **2017**).
- [18] Chen, P.H., Application of fuzzy intelligence to Elebike control design, *Proceedings of 6th International Fuzzy Systems Conference*, 1. 199–206, 5 Temmuz, **1997**.
- [19] Lin, T.Y., Apply fuzzy logic to smart-bike controller design, *4th International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis, ISUMA 2003*, 208–212, 21-24 Eylül, **2003**.
- [20] Liang C., Lin, W.C., Applying fuzzy logic control to an electric bicycle, *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2006, ICICIC'06*, 513–516, 30 Ağustos - 1 Eylül, **2006**.

- [21] Spagnol, P., Alli, G., Spelta, C., Lisanti, P., Todeschini, F., Savaresi, S.M., Morelli, A., A full hybrid electric bike: How to increase human efficiency, *American Control Conference (ACC)*, 2761–2766, 27-29 Haziran, Kanada, **2012**.
- [22] Meyer, D., Zhang, W., Tomizuka, M., Senner, V., Heart Rate Regulation with Different Heart rate Reference Profiles for Electric Bicycle Riders, *Procedia Manufacturing*, 3, 4213–4220, **2015**.
- [23] Corno, M., Giani, P., Tanelli, M., Savaresi, S.M., Human-in-the-Loop Bicycle Control via Active Heart Rate Regulation, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23, 3, 1029–1040, **2015**.
- [24] Bede, B., Mathematics of fuzzy sets and fuzzy logic, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, **2013**.
- [25] Zadeh, L.A., Fuzzy sets, *Information and Control*, 8, 3, 338–353, **1965**.
- [26] Mamdani E.H., Assilian, S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 1, 1-13, **1975**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Ali Emre UTAŞ
Doğum Yeri : Ankara
Medeni Hali : Bekâr
E-Posta : aeutas@gmail.com
Adresi : Şafaktepe Mah. 114. Sok. 14/15 Mamak, ANKARA

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü (2006-2011)
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2011-2018)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : İyi
Almanca : Orta

İş Deneyimi

Unova Mühendislik (04.2017 - Halen)
Hacettepe Teknoloji Transfer Merkezi (10.2012 - 03.2017)
Konsol Ar-Ge ve Teknoloji AŞ (07.2011 - 08.2012)

Deneyim Alanları

Mekanik ve Mekatronik Tasarım

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

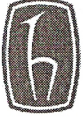
-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 01/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: IQ-BIKE: ÇEVRECI, SAĞLIKLI, ENERJİ MALİYETİ DÜŞÜK, PARALEL HİBRİT, YENİLİKÇİ BİR ŞEHİR İÇİ ULAŞIM ARACI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 70 sayfalık kısmına ilişkin, 01/06/2018 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

01/06/2018

Adı Soyadı: Ali Emre UTAŞ

Öğrenci No: N10235590

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Tezli Yüksek Lisans

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Özgür ÜNVER

(Unvan, Ad Soyad, İmza)