T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERBESTLİK DERECESİ İKİ OLAN İNSAN KOLUNUN HAREKETİNİN CPG (MERKEZİ DESEN ÜRETEÇLERİ) METODU KULLANILARAK OPTİMİZASYONU

Ltfei Ahmed A. ABDALSMD

Danışman	**Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI**
II. Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DEMİREL**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Haluk KORALAY**
Jüri Üyesi	**Dr.Öğr. Üyesi Javad RAHEBI**
Jüri Üyesi	**Dr.Öğr. Üyesi Seçil KARATAY**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr.Üyesi Temel Kan BAKIR**

DOKTORA TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Ltfei Ahmed A. ABDALSMD tarafından hazırlanan "**Serbestlik Derecesi İki Olan İnsan Kolunun Hareketinin CPG (Merkezi Desen Üreteçleri) Metodu Kullanılarak Optimizasyonu**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Haluk KORALAY Gazi Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Javad RAHEBI Türk Hava Kurumu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Temel Kan BAKIR Kastamonu Üniversitesi	.....

16 /07/2018

Enstitü Müdür V. Doç. Dr. Mehmet Altan KURNAZ .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

İmza
Ltfei Ahmed A. ABDALSMD

ÖZET

Doktora Tezi

SERBESTLİK DERECESİ İKİ OLAN İNSAN KOLUNUN HAREKETİNİN CPG (MERKEZİ DESEN ÜRETEÇLERİ) METODU KULLANILARAK OPTİMİZASYONU

Ltfei Ahmed A. ABDALSMD

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DEMİREL

Günümüzde bilimde ve robotik alanlarda rekabetin artmasıyla birlikte insanlar ve makineler arasındaki uyum, otomasyonun yaygın olarak kullanıldığı ve bu uyumun performansı önemli ölçüde etkilediği imalat sanayi, tıbbi uygulamalar gibi alanlarda hassasiyet, konfor ve kullanılabilirlik açılarından önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla bilgisayar teknolojisindeki gelişmeyle birlikte, üreticiler test süresini azaltmak ve maliyetleri düşük tutmak için simülasyona daha fazla yönelmektedirler. Hareket kontrolü sorunu,sinirbilimin ve robotik biliminin verimli bir şekilde etkileşime girebileceği bir durumdur.Bu tezde, insan kolunun hareketleri üzerine, genetik algoritmalar (GA) ve hibrit fonksiyonu aracılığıyla merkezi desen üreteçleri (CPGs) kullanılarak yapılan araştırmaları gözden geçirmekte ve genel bir değerlendirme yapmaktadır. Bunun yanı sıra, CPG'lerin doğadakine benzer şekilde hiçbir girdi veya duyusal geri bildirim olmadığı zaman görülebilenlere benzer ritmik desenler (RPs) üretebildiklerini göstermektedir. Burada kolun hareketi dart atma olarak uygulanacak ve bunda da GA ve hibrit fonksiyonunu kullanan gelişmiş algoritma yazılımı kullanılacaktır. Ayrıca bu çalışma serbestlik derecesi iki olan (DOF) ayrık, tek yönlü, çift yönlü iki CPG'si olan üç farklı CPG durumunu incelemektedir. Her bir durum için, optimizasyon sırasında farklı senaryolar kullanılarak analiz ve karşılaştırma yapılacaktır. Bu optimizasyon, objektif fonksiyona, basit doğrusal ve doğrusal olmayan kısıtlamalara bağlıdır. Bu tez, CPG'lerin parametrelere duyarlılığını da incelemektedir. Son olarak CPG'lerin gerçek verilere benzer ritmik desenler üretebildiğini göstermek için gerçek veriler toplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Merkezi Desen Üreteçleri, Kinematik Denklemleri (Cpgs), Hareket Üretimi Optimizasyonu, Genetik Algoritma (GA).

2018, 72 Sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

OPTIMIZING CPGS METHOD FOR THE MOVEMENT OF THE HUMAN'S ARM WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

Ltfei Ahmed A. ABDALSMD

Kastamonu University
Institute of Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Co-Supervisor: Asst.Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL

Nowadays with an increase in competition in science ve robotics sector, the harmony between human ve machines plays an important role in precision, comfortable ve usability, where that harmony affect the performance of automation, that commonly used in manufacture industry ve medical uses Etc. Therefore, with improvement in computer technology, manufacturers are looking toward computational simulation to reduce the testing time ve keep the cost low. The problem of controlling motion is an area in which neuroscience ve robotics can fruitfully interact. This study reviews researches carried out on human's arm motion by Central Pattern Generators (CPGs) using the Genetic Algorithms (GA) ve hybrid function. As well as, it shows that the CPGs are able to produce rhythmic patterns (RPs) similar to those that can be seen in nature without any input or sensory feedback. Moreover, the movement of the arm would be implemented as dart throwing ve can be used by developed algorithm software that uses the GA ve hybrid function. In addition, this study investigates three cases of the CPGs which are uncoupled, unidirectional, bidirectional two CPGs with two degrees of freedom (DOFs). For each cases, analysis ve comparison would be done by using different scenarios during the optimization. That optimization depends on objective functions, simple linear, ve nonlinear constraints. This thesis studies the sensitive of the parameters of CPGs. Finally, the real data is collected in order to show that the output of CPGs are able to produce RPs similar to real data.

Keywords: Central Patterns Generators (Cpgs), Kinematics Equations, Optimizing Motion Generation, Genetic Algorithm (GA).

2018, 72 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her türlü desteği ve imkânı sağlayarak değerli bilgilerinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na, Tezimin içeriğindeki özel ölçümlerin düzenlemesi ve devreler tasarımında bana sürekli desdeklerini ve emeğini esirgemeyen eş danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin DEMİREL hocama, Tez İzleme Komitesi üyeleri Dr.Öğr.Üyesi Seçil KARATAY ve Dr.Öğr.Üyesi Temel kan BAKIRA,Kastamonu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, Labrotuvar ve Simülasyon ölçüm imkanlarını bana sağlayan Atılım Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölüm öğretim üyelerine, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Bölümü öğretim üyelerine ve en kalbi duygularımla teşekkür ederim.Ayrıca Türkiye'de bulunduğum süre içinde eğitim ve araştırma faaliyeleri süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Libya Hükümeti'ne şükranlarımı sunarım. Bu çalışmayı benim için hayati önem arz eden aileme ithaf ediyorum.

Ltfei Ahmed A. ABDALSMD
Kastamonu, Temmuz,2018

İÇİNDEKİLER SAYFA

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER Sayfa	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLOLAR DİZİNİ	xi
GRAFİKLER DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1.CPG (Merkezi Desen Üreteçleri)	4
1.1.1.CPG nin Donanım Uygulaması	4
1.1.2.CPG nin Yazılım Uygulaması	5
1.2.Literatür Taraması	5
2.KURAMSAL BİLGİ	13
2.1.Serbestlik Derecesi iki Olan Robot Kolunun Modellenmesi	13
2.2.Robotik Sistemin Matematiksel Modellemesi	14
2.3.Kinematik Denklemler	15
2.3.1.Üst kolun Hareketlerinin Gösterilmesi	16
2.3.2.Önkolun Hareketlerinin Gösterilmesi	17
2.4.CPG'lerin Matematiksel Yapisi	17
2.4.1.CPG'lerin Matematiksel Yapısının Türleri	18
2.4.2.Seçilen CPG'lerin Matematiksel Yapısı	19
2.4.2.1.*Ayrık CPG'ler*	19
2.4.2.2.*Tek Yönlü Iki CPG*	24
2.4.2.3.*Çift Yönlü İki CPG*	25
3.MALZEME VE ÖLÇME YÖNTEMİ	28
3.1.CPG'lerin Optimizasyonu	28
3.1.1.Genetik Algoritmalar (GA)	30

3.1.2.Hibrit Fonksiyon 31
3.2.Objektif Fonksiyon (OF) 32
3.3.Hareket Optimizasyonuyla Ilgili Veriler 33
3.3.1.Kullanılan video için yazılım programlaması 37
4.BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER 40
4.1.CPG'lerin Optimizasyon Sonuçları 40
4.1.1.İki Ayrık CPG'nin Optimizasyonu 40
4.1.1.1.*İki Ayrık CPG'nin GA Ile Optimizasyonu* 40
4.1.1.2.*İki Ayrık CPG'nin (GA + fmincon) ile Optimizasyonu* 42
4.1.1.3.*İki Ayrık CPG'nin (GA + Desen Arama) ile Optimizasyonu* 43
4.1.2.Tek yönlü iki CPG'nin Optimizasyonu 46
4.1.2.1.*Tek yönlü İki CPG'nin GA ile Optimizasyonu* 46
4.1.2.2.*Tek yönlü İki CPG'nin (GA & fmincon) ile Optimizasyonu* 48
4.1.2.3.*Tek yönlü İki CPG'nin (GA + desen arama) ile Optimizasyonu* 49
4.1.3.Çiftyönlü İki CPG'nin Optimizasyonu 51
4.1.3.1.*Çiftyönlü İki CPG'nin GA Kullanımıyla Optimizasyonu* ... 51
4.1.3.2.*Çiftyönlü İki CPG'nin (GA + fmincon) Kullanımıyla Optimizasyonu* 53
4.1.3.3.*Çiftyönlü İki CPG'nin (GA + desen arama) Kullanımıyla Optimizasyonu* 55
4.2.CPG Çıktılarının Gerçek Verilerle Kıyaslanması 57
4.2.1.Ayrık İki CPG'nin Gerçek Verilerle Optimizasyonu 57
4.2.2.Tek yönlü iki CPG'nin Gerçek Verilerle Optimizasyonu 59
4.2.3.Çift yönlü iki CPG'nin Gerçek Verilerle Optimizasyonu 61
5.SONUÇ VE ÖNERİLER 65
KAYNAKLAR 66
ÖZGEÇMİŞ 72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Merkezi Desen Üreteci Şemasi 2
Şekil 2.1. Insan Kolunun Yapi Modelemesi 13
Şekil 2.2. Dart Atarken Kolun Yönlenişi 14
Şekil 2.3. Dart Atişinda L_1 ve L_2 Uzunluklu Kol Sistemi 15
Şekil 2.4. Kolun Üst Kisminin Normal Hareketi 16
Şekil 2.5. Kolun Ön Kisminin Normal Hareketleri 17
Şekil 2.6. Ayrik Iki CPG 22
Şekil 2.7. Ayrik Iki CPG Için Simulink Bloklari 22
Şekil 2.8. Ayrik Ilk Cpg'nin Simulink Yapisi 23
Şekil 2.9. Ayrik Ikinci CPG'nin Simulink Yapisi 23
Şekil 2.10. Tek Yönlü Iki Cpg 24
Şekil 2.11. Tek Yönlü CPG'ler Için Simulink Bloğu 24
Şekil 2.12. Tek Yönlü Iki CPG Için Simulink Yapisi 25
Şekil 2.13. Çift Yönlü Iki CPG 26
Şekil 2.14. Çift Yönlü Iki CPG Için Simulink Bloğu 26
Şekil 2.15. Çift Yönlü Iki CPG'nin Simulink Yapisi 27
Şekil 3.1. Optimizasyon Sürecinin Beş Aşamasi 29
Şekil 4.1. Iki Ayrik CPG de GA Kullaminin 5 sn Animasyonu 41
Şekil 4.2. Ayrik Iki CPG'de GA Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik Animasyonu (GA + Fmincon) 42
Şekil 4.3. Ayrik Iki CPG'de GA Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik Animasyonu (GA + Desen Arama) 44
Şekil 4.4. Tek Yönlü Iki CPG'de GA Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik animasyonu 47
Şekil 4.5. Tek Yönlü Iki CPG'de (GA + Fmincon) Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik animasyonu 48
Şekil 4.6. Tek Yönlü Iki CPG'de (GA + Desen Arama) Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik animasyonu 50
Şekil 4.7. Çift Yönlü Iki CPG'de GA Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik Animasyonu 52
Şekil 4.8. Çift Yönlü Iki CPG'de (GA + Fmincon) Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik animasyonu 54
Şekil 4.17. Çiftyönlü Iki CPG'nin (GA + Desen Arama) Kullaniminda
Şekil 4.9. Çift Yönlü Iki CPG'de (GA + Desen Arama) Kullaniminda Kolun 5 Saniyelik animasyonu 55
Şekil 4.10. 8.188 sn gerçek verilerin kullanimi, ayrik ıki CPG kullanimiyla kolun 58
Şekil 4.11. Bir Sn Gerçek Verilerin Kullanimi, Ayrik Iki CPG Kullanimiyla Kolun Animasyonu 58
Şekil 4.12. 8.188 Sn Gerçek Verilerin Kullanimi, Tek Yönlü CPG Kullanimiyla Kolun 60
Şekil 4.13. Bir Sn Gerçek Verilerin Kullanimi, Tek Yönlü Iki CPG Kullanimiyla Kolun 60

Şekil 4.14. 8.188 Sn Gerçek Verilerin Kullanimi, Çift Yönlü Iki CPG Kullanimiyla Kolun 62
Şekil 4.15.Bir Sn Gerçek Verilerin Kullanimi, Çift Yönlü Iki CPG Kullanimiyla Kolun 63

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Kol Hareketinin Gerçek Verileri..... 38
Tablo 4.1. Ayrik Durum Için Optimizasyon Parameter Değerleri..... 45
Tablo 4.2. Tekyönlü Durum Için Optimizasyon Sonuçlari..... 51
Tablo 4.3. Çiftyönlü Durum Için Optimizasyon Sonuçlari..... 56

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa

Grafik 3.1. Genetik Algoritmalarda Yerel Ve Genel Optimumlar..... 31
Grafik 3.2. Gerçek Verilerin Grafiği..... 39
Grafik 4.1. Ayrik Iki CPG'de GA Kullamin Animasyonu 41
Grafik 4.2. Ayrik Iki CPG'de GA Kullaniminda Çiktilar (GA + Fmincon)..... 43
Grafik 4.3. Ayrik Iki CPG'de GA Kullaniminda Çiktilar (GA + Desen Arama) 45
Grafik 4.4. Tek Yönlü Iki CPG'de GA Kullaniminda Çiktilar..... 47
Grafik 4.5. Tek Yönlü Iki CPG'de (GA + Fmincon) Kullaniminda Çiktilar..... 49
Grafik 4.6. Tek Yönlü Iki CPG'de (GA + Desen Arama) Kullaniminda Çiktilar 50
Grafik 4.7. Çift Yönlü Iki CPG'de GA Kullaniminda Çiktilar..... 53
Grafik 4.8. Çift Yönlü Iki CPG'de (GA + Fmincon) Kullaniminda Çiktilar..... 54
Grafik 4.9. Çift Yönlü Iki CPG'de (GA + Desen Arama) Kullaniminda Çiktilar 56
Grafik 4.10. 8.188 Sn Gerçek Verilerin Kullanimi Ile Ayrik Iki CPG'nin Çiktilari 59
Grafik 4.11. 8.188 Sn Gerçek Verilerin Kullanimi Ile Tek Yönlü Iki CPG'nin Çiktilari 61
Grafik 4.12. The 8.188 Sn Gerçek Verilerin Kullanimi Ile Çift Yönlü Iki CPG'nin Çiktilari 63

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Fotoğraf 1.1. CPG'nin bulunduğu (a) Salamvera (b) Taşemen (lamprey) 3
Fotoğraf 1.2. Salamvera ve taşemenin kuyrukları 3
Fotoğraf 3.1. . Fastcam Mc2.1 kamera kullanılarak dart tipi verilerin elde edilişi 34
Fotoğraf 3.2. Fotoğraf makinası (Photron Fastcam Mc) ve parçaları 35
Fotoğraf 3.3. Eklem yamalarının hazırlanması 35
Fotoğraf 3.4. Dart atma şeklinde kol hareketleri..... 36
Fotoğraf 3.5. Video kliplerin filitreleme işlemi 36
Fotoğraf 3.6. TEMA Version 3.5 yazılım programı 37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CPGs	Merkezi Desen Ürete
CNs	Komuta Nöronları
FPGA	Alan Programlanabilir Kapı Dizisi
GA	Genetik Algoritma
UPGs	Birim Desen Üreteçleri
RPG	Ritmik Desen Üreteçlerinden
RPs	Ritmik Desenler
DOFs	Serbestlik Derecesi
UPGs	Birim Desen Üreteçleri
NN	Nöral Ağın

1. GİRİŞ

Robotik alanında bilim adamları bir dereceye kadar, karmaşık görevlerin nasıl çözüldüğünü anlayabilmek için doğaya bakmışlardır. Bu bakış insansı robotlar, robot yılanlar (snakebot), dört ayaklı vb tüm robotik alanlarda yapılmıştır. Çoğunlukla, el veya ayak gibi uzuvların fiziksel yapısı modele esas alınmıştır; ancak aynı hareket desenlerini hayata geçirebilmek ve doğada görüldüğü gibi robotlarda da güç verimliliği sağlamak gibi benzer avantajları kazveırmak için kontrol sistemleri de kopyalanmaya başlamıştır. Bu tez çalışmamızda kontrol sistemleri tarafına, daha özel ve ergonomic olan yazılım Merkezi Desen Üreteçleri (Central Pattern Generators, CPGs) insan kolunun optimize edilmesi üzerine odaklanmıştır. CPG'ler robotlar üzerinde lokomosyon kontrolü için kontrol sistemi olarak gittikçe daha fazla kullanılmaktadır, çünkü iyi bilinen eski sistemler ile aynı yeteneklerin yanı sıra yeni avantajlar da sağlamaktadırlar. CPG'lerin yetenekleri:

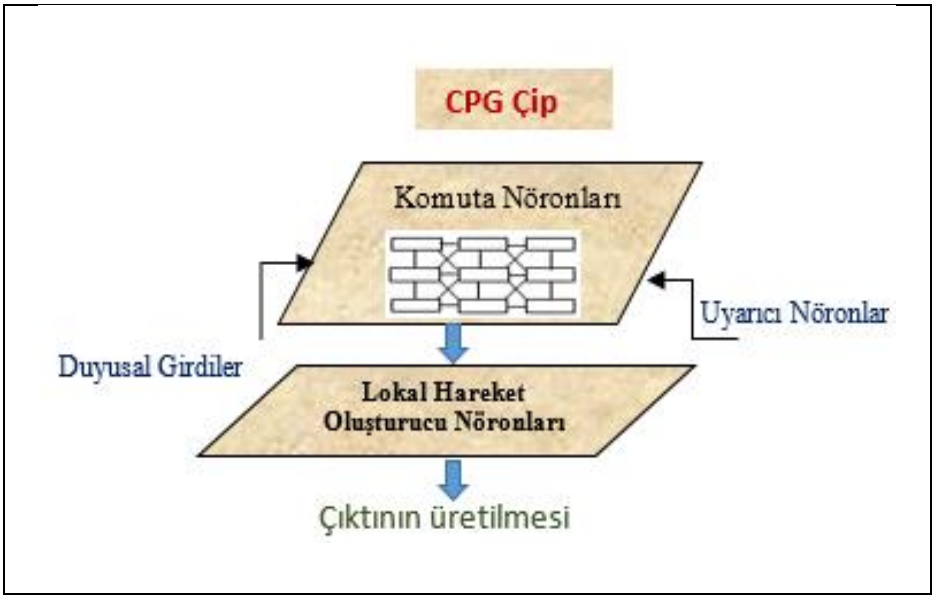
a) Girdi ve çıktı arasında düzgün modülasyon.
b) Hızlı kontrol döngülerin.
c) CPG nöronlarının otomatik olarak senkronizesi.
d) Çevrimiçi eklenebilme veya kaldırılabilme ve sistemin bu esnada çalışmaya. devam etmesi.
e) Çevrimiçi uyarlanır öğrenme (adaptive learning) ve duyusal girdilere dayalı çevreye yönelik uyarlamalar.

CPG kontrolörlerinin alanı henüz tam olarak keşfedilmemesine rağmen, uzuvların ve bacakların pek çok fiziksel yapısı modellenmiştir; bu nedenle bu çalışmada CPG’lerin kol hareket modelinde kullanılması daha fazla ele alınacaktır.CPG'ler son yıllarda robotlarda yürüme, koşma, sürünme/emekleme ve yüzme için kontrol sistemlerinde giderek daha fazla gündeme gelen bir konu olmuştur. Hareket kontrolü yeteneği ve yürüme için kararlı, uyarlanabilir olması, fazla parametre ve giriş sinyali gerektirmemesi bir kontrol sisteminde aranan başlıca özelliklerdir. Geçtiğimiz birkaç yıl içinde, birçok çalışma ve proje CPG'lerin kontrolörlerde aranan özellikler için gerekli formülü içinde barındırdığını ve CPG kontrol sistemleri alanının henüz tam olarak keşfedilmemiş olduğunu gösterilmiştir.CPG'lerin tasarımında biyolojik olarak, daha yüksek kontrol merkezleri devreye girmeden ritmik desenler üretebilen,

doğrusal olmayan salınımlı nöron ağlarından esinlenilmiştir. CPG'ler hem omurgalı hem de omurgasız hayvanların sinir sisteminde bulunurlar.

Geçen yüzyılın başından beri, hayvanlarda lokomosyonun ortaya çıkmasını sağlayan bir tür ritim üretecinin varlığı bilinmektedir.

Yapılan birçok çalışmalar sayesinde hayvanların omurgalarında CPG'lerin varlığı bugün bilinen bir gerçektir ve insanlar üzerinde yürüyüşün kontrolünün de CPG'ler ile gerçekleştiğini ortaya koymayı amaçlayan pek çok yeni çalışma yapılmıştır. Benzer çalışmalar, vücudumuzda bilinçli olarak kontrol etmediğimiz birçok fonksiyonun aslında CPG'ler tarafından kontrol edildiğini dahi göstermiştir. Bu fonksiyonlara nefes alma ve sindirim gibi şeyler dahil olabilir. Şekil 1.1 bir CPG'nin genel yapısını ve nasıl çalıştığını göstermektedir (Arena 2000).



Şekil 1.1. Merkezi desen üreteci şeması

Merkezi kısım Komuta Nöronları (CN) dır. Bu modül beyinden ve duyusal girdilerden gelen uyarıları alır. CN'ler daha sonra çıktıyı üreten Lokal Hareket Oluşturucu Nöronlara kontrol sinyalleri iletir. Normal kontrol sistemlerinin, duyusal girdiden gelen geri bildirim sinyallerine bağımlı olduğu durumlara nazaran, CPG'ler herhangi bir duyusal geri bildirim olmaksızın ritmik desenler üretebilir. Çiftler halinde bağlaşık olduklarında, CPG'ler salınmaya ve salınımlarını senkronize etmeye

başlarlar (Ijspeert 2008).Bütün omurgalı hayvanların omuriliklerinde CPG'ler yer almaktadır (Elbori, Turan ve ark. 2017), Fotoğraf 1.1'de örnekler verilmektedir.

Fotoğraf 1.1. CPG'nin bulunduğu (a) Salamvera (b) Taşemen (lamprey)

Bilim adamları, salamvera (salamveer) ve taşemen (lamprey) gibi hayvanların bazı davranışlarını ve hareketlerini incelemiş ve bu hayvanların omuriliklerinde osilatörlerle elde edilen ritmik desenler üreten bazı nöronların varlığını ortaya koymuşlardır. Biyoloji biliminde, salamveranın kuyruğu kesildiğinde bu kuyruğun, Fotoğraf 1.2'de gösterildiği gibi osilatöre benzer şekilde hareket etmeye devam ettiği ve bunun CPG'lerin bir anlamda özgürlüğünden kaynaklveığı bilinmektedir.

Fotoğraf 1.2. Salamvera ve taşemenin kuyrukları

Bu çalışmada, CPG'lerin insanın kol hareketini kontrol etmek için gerekli olan ritmik desenleri üretebildiğini gösterdik. Bu tip CPG'ler biyolojik olarak insanın omuriliğinde bulunmaktadır.

1.1. CPG (Merkezi Desen Üreteçleri)

Matematiksel bir bakış açısıyla değerlendirecek olursak, CPG'ler, yazılımla programlanan ve bir işlemci veya mikro denetleyici üzerinde çalışan bağlaşık (coupled) diferansiyel denklemlerdir. CPG'lerin işleyişi iki yolla mümkündür; donanım metotlar veyazılım metotlar.

1.1.1. CPG nin Donanım Uygulaması

CPG'lerin sadece donanım üzerinden nasıl işleyebileceği hakkında çalışmalar yapılmıştır. Bunu yaparken güç tüketimini en aza indirmek ve aynı zamvea kontrolü daha hızlı ve pürüzsüz hale getirmek için hesaplama hızını arttırmak amaçlanmıştır. Donanım uygulamalarındaki temel problem, robotlarda sıklıkla kullanılan mimarilerin oldukça basit olması ve yüksek hızlarda hesaplama yapma yeteneklerinin olmamasıdır.

Donanım uygulamaları alanında, bilim adamları CPG'lerin nasıl uygulanacağı konusunda iki farklı yaklaşımı benimsemektedir. Bir yaklaşım, sistemi bir FPGA içinde inşa etmek; diğer yaklaşım ise CPG uyarıcı sinyalleri üretebilen bir silikon çip kullanmaktır (Lewis, Tenore ve ark. 2005, Simoni ve DeWeerth 2007). En basit ve en hızlı yöntem, ritmik salınımlar üretebilen bir silikon çipin kullanılması olabilir; ancak bu durumda sistem silikon çipin işlevselliğine bağımlı olduğu için esnek olmayacaktır. Bu, donanım kurulduktan sonra, değişikliğin tek yolunun çip dahil olmak üzere tüm yapıyı yeniden tasarlamak olduğu anlamına gelir. Donanım inşa edildikten sonra küçük ayarlamalar yapmanın bir yolu yoktur. (Nakada, Asai ve diğ. 2003, Torres-Huitzil ve Girau 2008).

1.1.2. CPG nin Yazılım Uygulaması

CPG'lerin yazılım yoluyla uygulanması, tasarımcıya daha fazla özgürlük verir çünkü tasarımcı donanımda bir diferansiyel devre vb gibi zorlayıcı tasarımlarla kısıtlanmamaktadır. Sadece donanım uygulamasıyla ilgili en büyük problem, matematiğin yazılımdaki kadar basit olmamasıdır. Soyutlama seviyesi daha yüksektir, bu da tasarımın uygulamasını kolaylaştırır.

Yazılım boyutunda, neredeyse tüm uygulamalar sayısal olarak entegre edilmiş bir çeşit bağlaşık diferansiyel denklem içerir. Yazılımlarda, CPG'ler bağlantı modelleriyle, vektör eşlemlemeleriyle veya bağlaşık osilatör sistemleriyle ve nadiren de başaklama nöral ağlarla uygulanmıştır.

Bağlantı modelleri, bilimin farklı alanlarında sıklıkla kullanılan geniş anlamlı bir terimdir. Bu terim "yapay zeka, bilişsel psikoloji, bilişsel bilim, nörobilim ve zihin felsefesi" alanlarında kullanılsa da en yaygın kullanımı Sinir Ağ Modelleridir.

Bağlaşık Osilatörler, robot kontrol sistemlerinde CPG'leri uygulamak için belki de en çok kullanılan modeldir. Bu sistemler, belirli bir yürüyüş deseni için sabit fazda olacak şekilde çıktılarını senkronize eden bir çok osilatöre sahiptirler; ve daha sonra robotların bacaklarının hareketini kontrol etmek için bu osilatörlerin çıktı sinyallerini kullanmak suretiyle işlev görürler (Crespi ve Ijspeert 2006, Ijspeert, Crespi ve arkadaşları, 2007).

1.2. Literatür Taraması

Lokomosyonun kontrol edilmesi sinirbilim ve robotiğin verimli bir şekilde birbiriyle etkileşebileceği bir alveır. Bu literatür taramasında, merkezi lokomotor CPG'leri üzerine yapılan çalışmalar ele alınacaktır; yani basit, düşük boyutlu, giriş sinyalleri alıp, koordineli yüksek boyutlu ritmik çıkış sinyal desenleri üretebilen sinir devreleri incelenecektir. Bu tarama ayrıca robotların, böceklerde ve alt omurgalılarda (taşemen, ilkel yılanbalığı benzeri bir balık) biyolojik CPG'lerin işleyişini daha iyi anlamada bilimsel araçlar olarak nasıl kullanılabileceğini de göstermektedir. Son olarak, bazı spesifik lokomosyon modlarını kontrol etmek için CPG'lerin

tasarlanmasıyla alakalı çeşitli yöntemler kısaca gözden geçirilecektir. Ayrıca, farklı CPG modelleri (robotlarda CPG'lerin kullanımının avantaj ve dezavantajları) ve robotların bilimsel araçlar olarak kullanımı da değerlendirilmiştir.

(Brown 1911) tarafından yapılan çalışmada, lokomosyonun altında yatan ritimlerin açıklaması için önerilen iki farklı açıklama üzerinde durdu. Birincisi, ritimlerin, bir lokomotor döngünün farklı bölümleri arasındaki anahtarların tetiklenmesinde, duyusal geribildirimin önemli bir rol oynadığı bir refleks zincirinin sonucu olduğudur. İkincisi ise ritimlerin, döngüsel davranış oluşturmak için duyusal geri bildirim olmaksızın sinir ağları tarafından merkezi olarak üretilmesiydi.

(Brown 1914) tarafından yapılan çalışmada, yarı-merkezi model olarak adlveırılan ve engelleyici bağlantılarla karşılıklı olarak bağlanmış olan ve bir fatigue (duyusal reseptörlerin herhangi birinde aşırı uyarılmadan kaynaklanan geçici his kaybı) mekanizmasına sahip olan iki nöron popülasyonunun münavebeli ritmik aktivite ürettiği bir model önermiştir.

(Bässler 1986) tarafından yapılan çalışmada, CPG'lerin vücutta eklem (artikülasyon) başına (yani, serbestlik derecesi başına) en az bir birim ile bağlaşık birim-patlama elemanları olarak organize edildiğini belirtmiştir.

(Williams, Sigvardt, vd. 1990) tarafından yapılan çalışmada, sayısal simülasyonların; lokomotor devrenin kavramsal bir modelinin, bir hayvanın kaydedilmiş lokomotor desenlerini yeniden üretip üretemeyeceğini test etmeye ve taşemenin kuyruğunu CPG ritimleriyle mekanik olarak hareket ettirmenin etkisini araştırmaya olanak sağlıyacağını belirtmiştir.

(Taga, Yamaguchi ,vd. 1991) tarafından yapılan çalışmada, nöromekanik simülasyonlar üzerine yaptığı ufuk açıcı çalışma, pek çok araştırmacının insansı robotlarda iki ayaklı lokomosyonu kontrol etmek için kullanılan CPG modelleri üzerinde çalışmasına ilham vermiştir.

(McClellan ve Jang 1993) tarafından yapılan çalışmada, CPG'lerin ve vücut hareketlerinin koordineli olduğunu kanıtlayabilmek için, CPG aktivitesi üzerindeki

duyusal geribildirimin önemli etkisini gösteren çeşitli deneyler yapıldığını belirtmiştir. Örneğin, taşemenin kuyruğunu mekanik olarak hareket ettirmek, mekanik hareketlerin frekansı ile frekans kilitli olan CPG aktivitesini indükleyecektir.

(Traven, Brodin vd. 1993) tarafından yapılan çalışmada, küçük nöral (sinir) devrelerinde ritimlerin ortaya çıkışı, yani ritmik aktivitenin oluşumu problemini araştırmak için ayrıntılı biyofiziksel modeller oluşturulduğunu belirtmiştir.

(Pearson 1995) tarafından yapılan çalışmada, hayvanlarda, CPG ve refleks yollarının sıklıkla aracı nöron kanallarını ortaklaşa kullveıklarını belirtti.

(Grillner, Deliagina vd. 1995) tarafından yapılan çalışmada, taşemen benzeri robot modellerinin, taşemen CPG'lerinin kavramsal modellerini anlamada yardımcı olduğunu belirtmiştir; bu modeller, taşemendeki segmental (parçasal) salınım ağlarının, baştan kuyruğa komşu segmanlar (bölümler) arasında pozitif bir faz gecikmesi ile salındığı gerçeğini açıklayabilecek farklı olası mekanizmaların açığa çıkarılmasına yardımcı olmuştur.

(Sigvardt ve Williams 1996) tarafından yapılan çalışmada, üç olası mekanizmayı ileri sürmüştür; asimetrik bağlaşma, omurilik boyunca farklı intrinsik frekanslar ve aksonal ve sinaptik iletime bağlı zaman gecikmeleri. Modeller, en olası açıklamanın asimetrik bağlaşmanın olduğuna dair kanıtlar sağlamıştır.

(Grillner, Georgopoulos vd. 1997) tarafından yapılan çalışmada, omurgalılarda yürüyüş biçimleri arasında geçişlerin ve CPG'lerin karmaşık lokomotor davranışlar üretebilen ve hatta sadece basit giriş sinyalleri alırken farklı yürüyüş biçimleri arasında geçiş yapabilen karmaşık devreler olduğunu bildirmiştir. Kontrol açısından bakıldığında; CPG'ler, belirli bir lokomosyon hızını elde etmek için hangi komut sinyallerinin ritmik olarak üretilmesi gerektiğini “bilecek” türden bir iç model uygulamaktadırlar.

(Delvolvé, Branchereau vd. 1999) tarafından yapılan çalışmada, salamvera deneylerinde, CPG'lerin çoklu bağlaşık (akuple edilmiş) salınımlı merkezlerden

oluşan dağıtık ağlar (distributed network) olduğunu gözlemlemiştir. Taşemen omuriliklerinin birçok segmenti (parçası) vardır ve omuriliğin küçük bölümleri ritmik aktivite üretebilmektedir.

(Golubitsky ve Stewart 2003) tarafından yapılan çalışmada, osilatör modelleri, popülasyon dinamiklerini incelemek için osilatörlerin bağlaştırılmış doğrusal olmayan matematik modellerine dayanmaktadır. Bu modellerin amacı ritimlerin ortaya çıkışını açıklamak değildir; bir salınım merkezi popülasyonu içinde osilatörler arası bağlaştırıcıların ve iç frekans farklılıklarının senkronizasyonu ve faz gecikmelerini nasıl etkilediğini incelemektir.

(Kuramoto 2003) tarafından yapılan çalışmada, osilatör modellerinin salınım merkezlerinin popülasyon dinamiklerinin esas olarak ritim oluşumunun yerel mekanizmalarına değil, bağlaşımların tipine ve topolojisine bağlı olduğu gerçeğine dayveığını belirtmiştir.

(Arena, Fortuna vd. 2004) tarafından yapılan çalışmada, CPG modellerinin farklı türde robotları ve böcek lokomosyonlarından esinlenilen farklı lokomosyon modlarını kontrol etmek için kullanıldığını belirtmiştir.

(Kamimura, Kurokawa vd. 2004) tarafından yapılan çalışmada, İnsanlarda, ritmik hareketlerin kontrolüne olanak sağlayan, merkezi sinir sisteminin daha yüksek seviyelerinde CPG'lerin varlığını vurgulamıştır. Burada insanların ritmik kol hareketini taklit etmek için CPG fikrini kullanan bir model önermişlerdir. Bu model, karşılıklı inhibisyonlarla bağlaşık ve farklı tiplerde patlama (Inagaki, Yuasa ve ark. 2006) ve tonik nöronal davranışlar sergileyen iki nörondan oluşan nöral bir osilatördür. Bu çalışmada hem sinaptik bağlaşımın hem de motor kontrol parametrelerinin, kol hareketinin davranışında kritik bir rol oynayan başaklama frekansı üzerinde doğrudan etkileri olduğunu bulmuşlardır.

(Inagaki, Yuasa vd. 2006) tarafından yapılan çalışmada, Böceklerdeki lokomotor kontrolünün robotları kontrol etmek için yararlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Örneğin, CPG modelleri altı ayaklı ve sekiz ayaklı robotlar ile kullanılmıştır.

(Ijspeert, Crespi vd. 2007) tarafından yapılan çalışmalarında, salamvera lokomosyonunun CPG modellerinde, robotun matematiksel modelin çeşitli yönlerini anlamak ve doğrulamak için çok kullanışlı olduğunu vurgulamışlardır. Robot, özellikle CPG modellerinin değişken hız ve istikamette ileriye doğru hareket üretebildiğini göstermeye olanak sağladı, ayrıca salamveranın oluşturduğu yürüyüşlere niteliksel olarak karşılaştırabilecek yürüyüşler üretti. Ayrıca, yürüyüş sırasında vücut dalgalanması ve bacak hareketleri arasındaki koordinasyonun, salamveranın yürüme hızını optimize etmesine izin verdiğini göstermeleri de aynı robot aracalığıyla mümkün olmuştur.

(Kimura, Fukuoka vd. 2007) tarafından yapılan çalışmada, CPG'leri kullanarak dört ayaklı yürüyüş kontrolünü kapsamlı bir şekilde araştırmıştır. Diğer şeylerin yanı sıra, lokomosyon kontrolünde duyusal geribildirimi farklı yollarla entegre ederek araştırmalar yaptılar ve CPG aktivitesini modüle eden duyusal geri bildirimin, karmaşık/kompleks yüzeylerde en stabil lokomosyona yönlendirme eğiliminde olduğunu buldular.

(Kazem, Mahdi vd. 2008) tarafından yapılan çalışmada, genetik algoritmalar (GA) kullanarak bir robot kolu için hareket planlaması sundular. 3R düzlemsel robot metodunun, başka objektif fonksiyonların kullanımıyla, özellikle engellerle çarpışmayı engellemek için etkili olduğunu gösterdiler. Aynı zamvea, GA doğrudan kinematiği kullveığı için, tekillikler/aykırılıklar bir sorun teşkil etmez. Son olarak, kinematik artıklığı belirlenen objektif fonksiyonlarına göre GA içerisinde çözülebilir.

(Crespi ve Ijspeert 2008) tarafından yapılan çalışmada, CPG’leri taşemen balık robotlarının yüzmesini kontrol etmek için kullanmıştır. CPG modelleri genellikle taşemen yüzme devresinden esinlendiğinden dolayı; yılanbalığı tarzı yüzme, ileri hareketin elde edilmesi için uzayan gövdenin baştan kuyruğa doğru hareket eden bir dalgalı hareketini gerektirir. Bu çalışmada bağlaştırılmış osilatör sistemleri uygulanmıştır.

(Righetti ve Ijspeert 2008) tarafından yapılan çalışmada, beş ilginç özellik tespit etmiştir.Bunlar sırasıyla;CPG modellerinin amacı, kararlı ritmik kalıplar

üretmek,CPG'ler dağıtık uygulamalar için çok uygundur, bu da yılan robotu gibi modüler robotlar için oldukça ilginç olabilir,CPG modellerinde tipik olarak lokomosyonun hız, yön, yürüyüş biçimi vb modülasyonuna izin veren sadece birkaç kontrol parametresi (hareket sinyalleri vb) bulunur,CPG'ler, duyusal geri bildirim sinyallerini entegre etmek için idealdir (bu sinyaller diferansiyel denklemlere bağlaştırma (coupling) terimleri olarak eklenebilir),CPG modelleri genellikle öğrenme ve optimizasyon algoritmaları için iyi bir alt katman sunar.

(Degallier, Righetti vd. 2011) tarafından yapılan çalışmada, birim desen üreteçleri (UPGs) adını verdikleri bir modüler hareket üreteci tanımladılar ve bunu daha yüksek serbestlik derecesine sahip robotlar için CPG inşa etmekte kullanılır. Aynı çalışma şablonunu insansı robotların emeklemesine ve etkileşimli davul çalmasına uyguladılar. Çalışmalarında serbestlik derecesi yüksek olan robotların kontrolü için hareketin modüler üretilmesi kavramını uyguladılar, çok sayıda serbestlik derecesine sahip robotların kontrolüne uyguladılar, bu durumda, özellikle zamanla değişen ortamlarda karmaşık, çok boyutlu yörüngelerin planlanması oldukça zahmetli ve maliyetli bir süreçtir. Bu nedenle planlama safhasının karmaşıklığını, ayrık ve ritmik motor primitiflerin bir kombinasyonu kullanılarak azaltmayı amaçlamışlar, bu da planlama aşamasının ve gerçek yörünge oluşumunun ayrışmasını sağlamıştır. Böyle bir uygulama kontrolü kolaylaştırmaktadır.

(Azodi-Avval ve Bahrami 2011) tarafından yapılan çalışmada, Salamveralar gibi bazı hayvan türlerinde, CPG'lerin omurilik seviyesinde, ritmik hareketler üretmekten sorumlu olduklarına dair fizyolojik kanıtlar olduğunu belirtmiş, ve bu nedenle ritmik motor aktivitesi sırasında kol hareketine dair bir matematiksel model sunmuşlardır. Bu model iki nöronun karşılıklı bağlaşmasından oluşan nöral bir osilatördür.

(Shahbazi, Parveeh vd. 2016) tarafından yapılan çalışmada, salınımlı desenler oluşturabilen yeni bir sinir ağı tasarımı sundular. Bu tasarımı inşa etmek için, her bir nöronda CPG tabanlı kontrol cihazı kullanarak yeni bir öğrenme sistemi geliştirdiler. Bu çalışmanın ana katkısı, bu yeni öğrenim sisteminin tasarımıdır, bu sistem eşzamanlı olarak ağın ağırlıklarını ve topolojisini araştırabilmektedir. Önerilen yöntem robotik bir uygulamada kullanılmaktadır. Bir NAO insansı robotunu

eğitilmiş ve ritmik bir hareket yapmayı nasıl öğrenebileceği öğretilmiştir. Aslında robot, CPG tabanlı bir kontrolör ile donatılarak bir model olmaksızın da öğrenebilir. Simülasyon sonuçları, robotun farklı koşullarda ritmik hareketi tekrarlama yeteneğinin CPG kontrolörleri kullanılarak arttığını göstermiştir.

(Elbori, Turan vd. 2017) tarafından yapılan çalışmada, hareket oluşturmada CPG'leri kullanarak serbestlik derecesi iki olan tek ayak için lokomosyon konusunu ele almıştır. Dahası, genetik algoritmalar ve hibrit fonksiyonların kullanımıyla global bir bölge bulmak zor görünmektedir, çünkü bahsedilen üç vakada parametreler için bifürkasyon (çatallaşma) yoktur. Sonuç olarak; çalışmayı yapan araştırmacılar bunun fiziksel olarak uygulanabileceğine inanmaktadırlar. En önemlisi, bu çalışma, CPG'lerin sadece hayvanlarda değil, insanlarda da iki ayaklı lokomosyonu kontrol edebileceğini ortaya koymaktadır.

Elbori et al (2017) tarafından yapılan çalışmada, iki ayaklı lokomosyon konusuna değinmiş, ayrıca, CPG kullanarak tek ayak için yürüyüş oluşumuna odaklanmıştır. Çalışma ayrıca sınırsız bir bölgede optimizasyon yapıldığında, sonuçların fiziksel olarak uygulanmasının imkansız olduğunu; ancak stabilite koşulları kullanıldığında sonuçların çok daha iyi olduğunu belirtmiştir. Yine de bu sonuçları iyileştirmek, genlik ve frekansları kontrol etmek için duyusal geribildirim veya kontrol cihazı kullanmamışlardır.

Tüm bu çalışmalardan da görüldüğü gibi, sayısal ve nümerik modellerin, CPG'lerin işleyişiyle alakalı hipotezleri test etmek için çok yararlı araçlar olduğu kanıtlanmıştır. RPG'lere, hareket sırasında önemli bir rol verildiğinden, hem modeller hem de hareketler, sayısal ve nümerik çözümlere; sayısal ve nümerik çözümler de, parametrelerdeki değişime bağlıdır (omurgalı) lokomotor sistemi, omuriliğin temel Ritmik Desen Üreteçlerinden (RPG) sorumlu olacağı, daha üst seviyelerin ise bu desenlerin çevresel koşullara göre modüle edilmesinden sorumlu olacağı şekilde organize edilmiştir. Bu şekilde dağıtılmış bir organizasyon ilginç özellikler sunmaktadır. Ritimler omurilikten kısa geri bildirim döngüleri kullanarak mekanik hareketlerle koordine edilir.Gerçekten de, kontrol sinyallerinin genel olarak kas aktivitesini belirlemesine gerek yoktur, sadece CPG aktivitesini modüle etmesi

yeterlidir.Bu nedenle, yüksek seviyeli merkezler ve omurilik arasında gerekli olan bant genişliği önemli ölçüde azalır.

Bu tez çalışmamızın temel amacı duyusal geribildirim olmaksızın CPG'lerin optimizasyonuyla insan kolununun hareket etmesinin mümkün olduğunu ispatladık. Diğer bir deyişle, bu çalışmada donanım kullanımına göre daha fazla esneklik sağlayan yazılım kullanımına odaklanarak daha ergonomik ve optimizasyon durumlarını belirledik.

Çalışmamızda, CPG'lerin optimize edilmesi yoluyla serbestlik derecesi (DOF) iki olan bir kolun hareketleri için kinematik hareket oluşturduk *dart atma modeline* dayanan serbestlik derecesi 2 olan bu kol hareketi, optimizasyon sırasında farklı üç farklı senaryo ve her birinde üç farklı durum inceledik .

Ayrıca optimizasyon sırasında bu senaryolar için karşılaştırma ve istatistiksel analiz yapıldı. CPG'lerin GA ve hibrit fonksiyonlar kullanılarak çevrim dışı optimizasyonunu yapan yeni bir strateji kullanılmıştır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır;

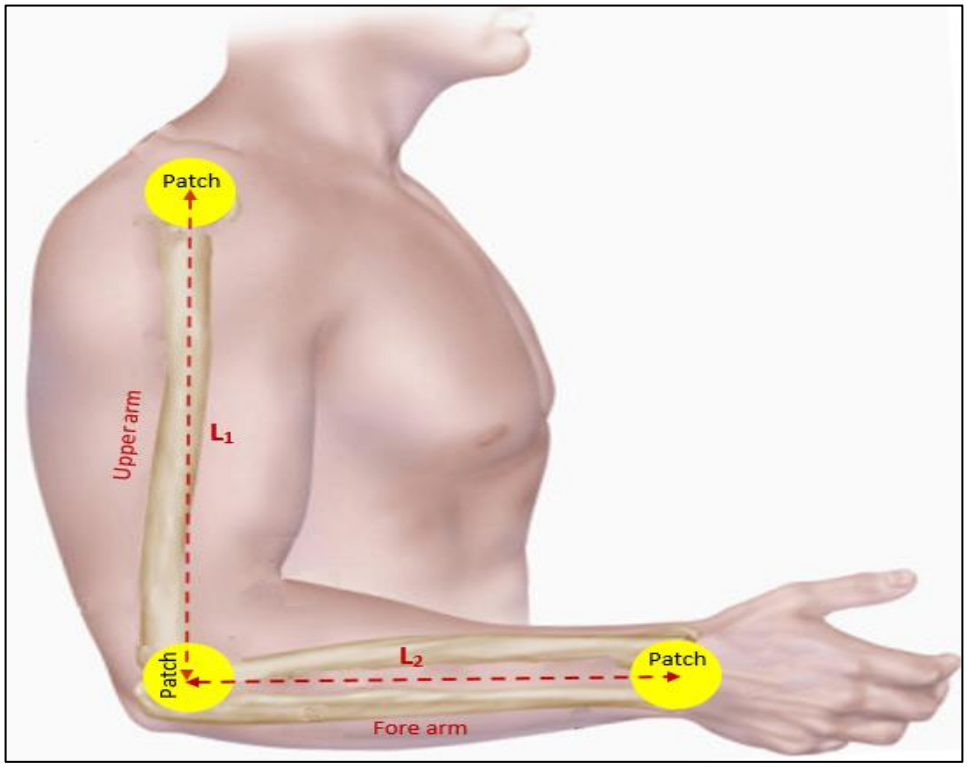
Tezin birinci bölümünde, çalışmanın önemi ve literatür çalışmalarının sonuçları değerlendirilmiştir. Tezin ikinci bölümünde, CPG'lerin matematiksel yapısının elde edilişini ve serbestlik derecesi iki olan robot kolu modelini açıkladık. Ayrıca, CPG'lerin optimizasyon ve gerekli olan fonksiyonlarından kuramsal olarak bahsettim. Tezin üçüncü bölümünde, kullandığım metot ve ölçme yöntemlerinden CPG çıktılarını, optimizasyonu tanımlar ve objektif fonksiyonlarını tartıştım.

Tezin dördüncü bölümünde, CPG verilerini değerlendirek, lisanslı Matlab 2017 programı kullanıp, fotoron hızlı kamera MC 2.1/Tema software 3.5 den elde ettiğim gerçek değerlerle karşılaştırdım. Tezin beşinci bölümünde sonuç ve yeni çalışmalar için önerilerden bahsettim.

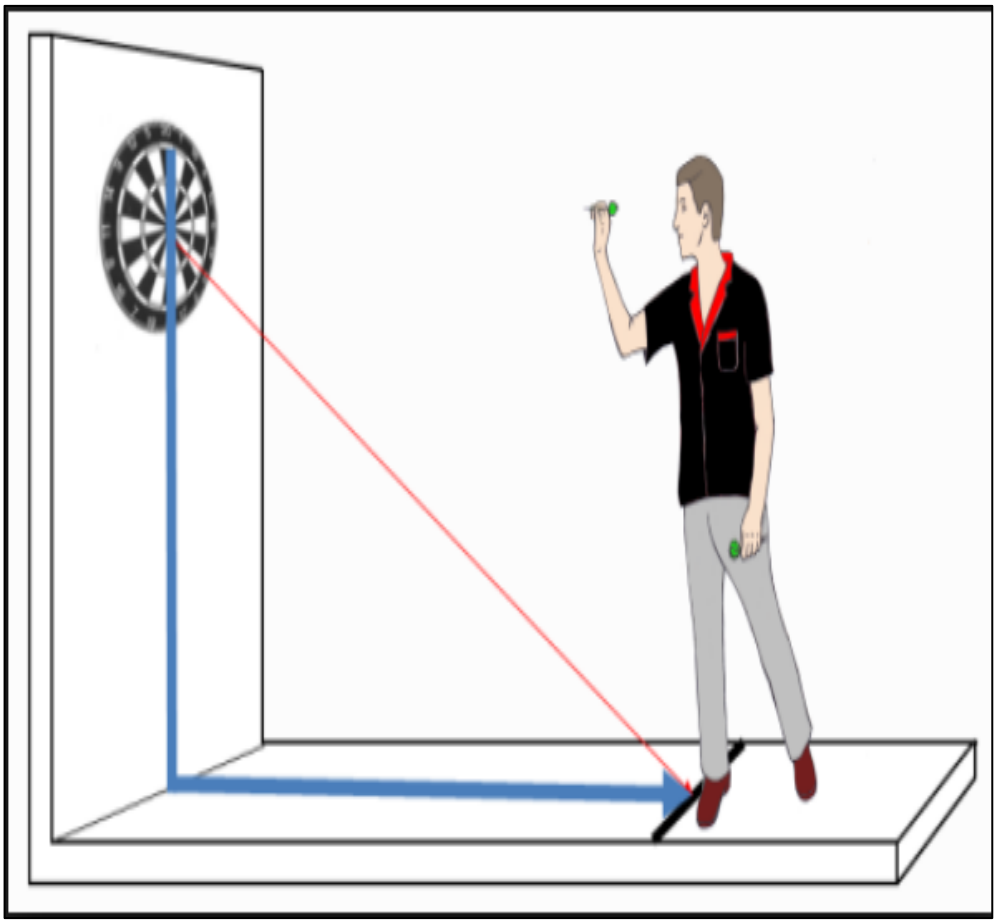
2. KURAMSAL BİLGİ

2.1. Serbestlik Derecesi iki Olan Robot Kolunun Modellenmesi

Robotik bilimi günlük hayatın pek çok alanında artan kullanımından dolayı temel ve zorunlu unsurlardan biri haline gelmektedir. Kollar robotların içinde bulundukları ortamla, çevreleriyle etkileşimini sağlayan eklemli bir robot manipülatör çeşididir. Pek çoğunun kendi üzerinde bütünleşik kontrolörleri veya iletişimi basitleştirmek için çeviricileri vardır, ve direkt olarak veya farklı şekillerde kontrol edilebilirler. Bu sebepten ötürü bağımsız olarak çalışabilen kollar tam bir robot olarak kabul edilir. Robot kollarının pek çok farklı çeşidi olsa da mekanik yapısına göre temel olarak 6 kategoriye ayrıştırılabilirler. Daha iyi anlayabilmek için Şekil 2.1'de insan kolunun yapısı, Şekil 2.2'de ise dart atımı sırasında insan vücudunun pozisyonu gösterilmektedir.



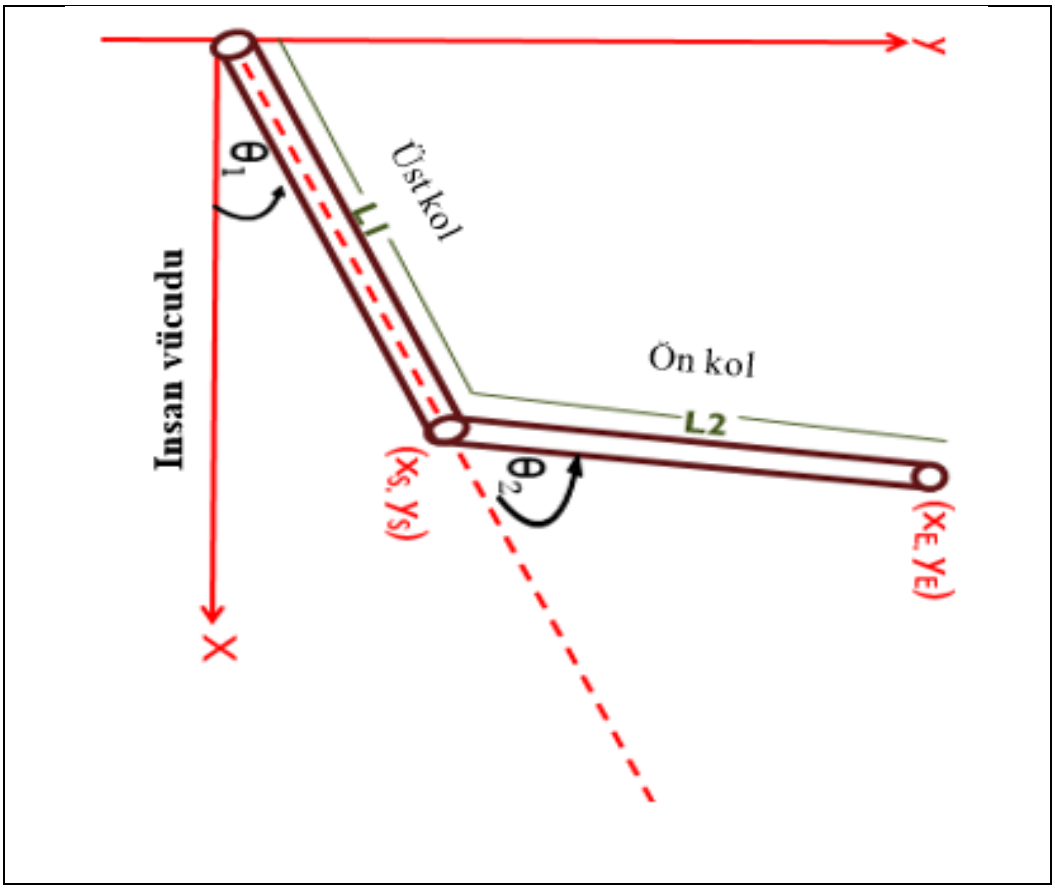
Şekil 2.1. İnsan kolunun yapı modelemesi



Şekil 2.2. Dart atarken kolun yönlenişi

2.2. Robotik Sistemin Matematiksel Modellemesi

Robotik sistemin matematiksel bir modeli kabul edilen kinematik model temel analizleri yapabilmek için geliştirilmiştir. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi modelemede bir insanın kol hareketine bağlı kalınan,örneğin dart atım hareketinde belirlenen L_1,L_2, θ_1, θ_2 ve üst ve ön kola ait olan bağımsız koordinatlartımızı matematiksel olarak şöyle ifade edebiliriz;burada ,L_1 ve L_2 sırasıyla üst kolun ve önkolun uzunluklarını, θ_1 vücutla üst kol arasında omuzda oluşan ilk açıyı, θ_2 ise üst kol ile ön kol arasında dirsekte oluşan ikinci açıyı, (x_s, y_s) üst kolun koordinatlarını ve (x_e, y_e) ise önkolun koordinatlarını belirtmektedir.



Şekil 2.3. Dart atışında L_1 ve L_2 uzunluklu kol sistemi

2.3. Kinematik Denklemler

Çalışmamızda dinamik sistemleri yerine, sadece basit kinematik denklemleri kullanılmıştır. Denklem (2.1) de, sisteminde verilen basit kinematik denklemlerin tanımlanması çok önemlidir. Bu çalışmanın ana fikri kol hareketlerini seçmek, ve bu hareketlerin beyni dahil etmeden CPG'ler aracılığıyla nasıl gerçekleştirilebileceğini anlamaktır. Bunun için şu adımları takip edelim.

İlk eklem olarak omuz eklemini ele alacak olursak, ilk koordinatları şu şekilde yazabiliriz:

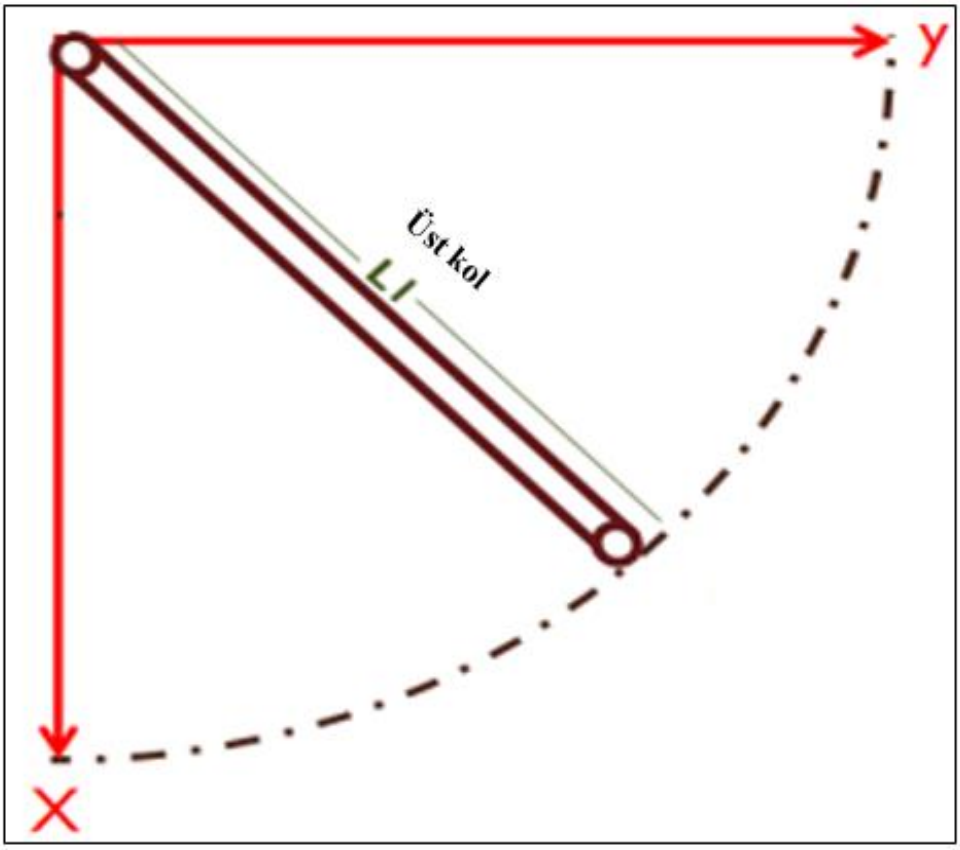
$$\left.\begin{array}{l} x_s = L_1 cos\ \theta_1 \\ y_s = L_1 sin\ \theta_1 \end{array}\right\} \longrightarrow (x_s, y_s) \qquad (2.1)$$

İkinci koordinatlar için de dirsek eklemini kullanırsak, denklem (2.2) de sistemiyle bunu gösterebiliriz:

$$\left.\begin{aligned} x_e &= L_1 cos\,\theta_1 + L_2 cos\,(\theta_1 + \theta_2) = x_s + L_2 cos\,(\theta_1 + \theta_2) \\ y_e &= L_1 sin\,\theta_1 + L_2 sin\,(\theta_1 + \theta_2) = y_s + L_2 cos\,(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned}\right\} \longrightarrow (x_e, y_e) \quad (2.2)$$

2.3.1. Üst kolun Hareketlerinin Gösterilmesi

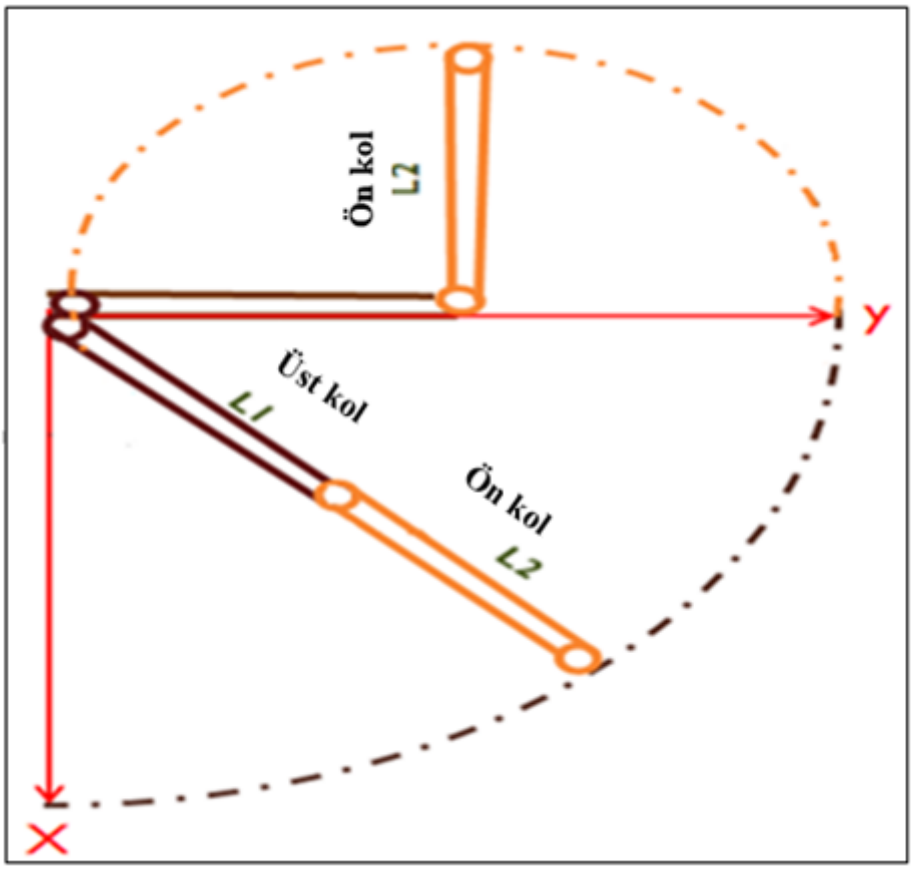
Üst kolun normal hareketi Şekil 2.4'te gösterildiği gibi vücuttan ($\theta_1 = 0^\circ$) başlar ve omuz hizasına ($\theta_1 = 90^\circ$) kadar devam eder.



Şekil 2.4. Kolun üst kısmının normal hareketi

2.3.2. Önkolun Hareketlerinin Gösterilmesi

Önkolun normal hareketi Şekil 2.5'te gösterildiği gibi ilk açı (θ_1) vücutla üst kol arasındayken (0°dan 90° kadar), ve ikinci açı (θ_2) ise üst kolla önkol arasındayken dirsektendir.



Şekil 2.5. Kolun ön kısmının normal hareketleri

2.4. CPG'lerin Matematiksel Yapisi

Bölüm'de CPG'lerin biyolojik ve mühendislik boyutundan bahsettik, bu bölümde ise CPG modellerinin matematiksel yapısına ve ortak özelliklerine kısaca değineceğiz. Buna ek olarak, belirli CPG modellerinin matematiksel yapısını ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

2.4.1. CPG’lerin Matematiksel Yapısının Türleri

İnsansı veya hayvansı robotlarda hareket kontrolü için kullanılan CPG'lerin matematiksel yapısının sıklıkla kullanılan belirli türleri vardır.CPG'lerin matematiksel yapısının ilk türü, Hopf osilatörü olarak adı verilir. Hopf osilatörü çok ilginç bir özelliğe sahiptir; ritmik girdiler üzerinde senkronizasyon eğilimi. Senkronizasyon özelliği Hopf osilatörlerini CPG oluşturmak için güzel bir yapı taşı yapar. Hopf osilatörlerinin en büyük avantajlarından biri, genlik ve çıkış frekansını bağımsız olarak kolayca kontrol etme imkanıdır. Bu osilatör (Qijun ve Chengju, McMillen, D’Eleuterio ve diğerleri, 1999, Ijspeert ve Cabelguen 2006, Wu, Teng ve diğ. 2013) gibi yayınlarda daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.CPG'lerin matematiksel yapısının ikinci türü ise Rowat ve Selverston Nöral Osilatörüdür. Bu tür, her ritmik nöronun tek iletkenlik parametresinin değiştirilmesiyle kontrol edilebilir bir yürüyüş şekli oluşturmak için kolayca kullanılabilir. Buna ek olarak, bu tür ritmik seviyeden oluşan temel biyolojik prensiplere dayanan duyumotor (sensorimotor) nöral ağ mimarisine (duyusal geri bildirim) ihtiyaç duyar. Duyusal geri bildirimleri olan bu tip nöronlar, ayaklı robotlarda ihtiyaç duyulan uyarlamalı nöral CPG'ler için etkili bir seçenek olarak tavsiye edilmektedir (Rowat ve Selverston 1991, Amrollah ve Henaff 2010).CPG'lerin matematiksel yapısının üçüncü türü, Matsuoka Nöral Osilatörüdür. Bu matematiksel yapı, iki ayaklı bir robotta istenen eklem açısını üreten CPG'lerin modellenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür, parametre sayısının fazlalığıyla bilinir. Bu parametreler grubu, Nöral Ağın (NN) eğitim seti olarak kullanılır. Bu eğitimi tamamlveıktan sonra, var olan sensör girdisiyle, mevcut olan CPG'lerin uygun parametrelerini seçmek için NN kullanılır; ayrıca tek bir CPG için bu tür, GA kullanarak optimize edilmesi zor olan ondan fazla parametreye sahiptir; GA kullanımın burada zor olmasının sebebi ancak altı ve daha az parametre olduğu durumlarda GA’nın etkili olabilmesidir (Shan, Junshi ve diğ. 2000, Ok, Miyashita ve ark. 2001, Kim ve Lee 2007).CPG'lerin matematiksel yapısının dördüncü türü, taşemen, salamvera, yılan robotlarda hareketi kontrol etmek için ve iki ayaklı robotlarda lokomosyon için kullanılır. CPG modeli, limit döngüsü davranışı olarak yürüyen dalgalar üretmek; ve yürüyen dalganın frekansı, genliği ve faz gecikmesinin basit uyarlamasına olanak sağlamak için tasarlanmıştır. Bu tür, parametreleri ve çıktıları filtreleyerek bazı dezavantajların üstesinden gelir. Bu yaklaşım, entegre duyusal geri

bildirim sinyallerini kullanır (Ijspeert ve Crespi 2007, Ijspeert, Crespi ve ark. 2007, Sproewitz, Moeckel ve ark. 2008).

2.4.2. Seçilen CPG'lerin Matematiksel Yapısı

Tarafından yapılan son çalışmada dördüncü tür CPG kullanılmıştır. Bu tür, serbestlik derecesi iki olan robotun bir ayağını kontrol etmek için kullanılmıştır, ayrıca genlik ve frekans kontrolü için kontrolör veya sensör geri bildirimi kullanılmamıştır. Gelecekteki olası çalışmalara yönelik önerileri, uygulamalarının nefes alma veya vücudun üst bölgelerinin kontrolü gibi insan vücudundaki diğer işlevleri kontrol edip edemeyeceğini test etmekti.

Dart atmada robot kolunu kontrol etmek için bu tür CPG'leri herhangi bir sensör geri bildirimi olmaksızın kullanacağız. Genel matematiksel formülasyon, aşağıdaki diferansiyel denklem (2.3) sisteminde verilmiştir (Ijspeert ve Crespi 2007, Ijspeert, Crespi ve ark. 2007, Ijspeert 2008, Sproewitz, Moeckel ve ark. 2008).

$$\left.\begin{aligned} \dot{\varphi}_i &= 2\pi v_i + \textstyle\sum_j r_j w_{ij} \sin\left(\varphi_j + \varphi_i - \emptyset_{ij}\right) \\ \ddot{r}_i &= a_i \left(\tfrac{a_i}{4}(R_i - r_i) - \dot{r}_i\right) \\ \theta_i &= r_i(1 + \cos(\varphi_i)) \end{aligned}\right\} \tag{2.3}$$

Durum değişkenleri θ_i ve r_i sırasıyla fazı ve genliği temsil etmektedir. CPG'nin izole edilmesi halinde yakınsayacağı frekans ve genlik ise v_i ve R_i ile gösterilmektedir. a_i pozitif sabiti, r_i'nin R_i'ye ne hızda yakınsayacağını belirler. Birden fazla CPG olduğunda, w_{ij}bağlaşma ağırlıklarını, $\emptyset_{ij}$ ise faz farklılıklarını belirtir.

Denklem (2.3) elde ettiğimizde üç farklı CPG türü ortaya çıkmaktadır; Ayrık, Tek yönlü ve Çift yönlü CPG'ler:

2.4.2.1. *Ayrık CPG'ler*

Ayrık iki adet CPG (2.4) sistemiyle gösterilir, ilk iki denklem birinci CPG'yi, üçüncü ve dördüncü denklemler ise ikinci CPG'yi temsil etmektedir ve bu her iki CPG birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır.

$$\left.\begin{array}{l}\dot{\varphi}_1 = 2\pi v_1 \\ \ddot{r}_1 = a_1\left(\frac{a_1}{4}(R_1 - r_1) - \dot{r}_1\right) \\ \\ \dot{\varphi}_2 = 2\pi v_2 \\ \ddot{r}_2 = a_2\left(\frac{a_2}{4}(R_2 - r_2) - \dot{r}_2\right)\end{array}\right\} \tag{2.4}$$

Bu sistemin çıktısı $\theta_1 = r_1(1 + \cos(\varphi_1))$ & $\theta_2 = r_2(1 + \cos(\varphi_2))$'yı verir, ve bu durumda bütün CPG'ler bağımsız olarak çalışmaktadır.

İlk CPG'nin ikinci denkleminin genel adı homojen olmayan sönümlü diferansiyel denklemdir, ve şu şekilde yazılabilir:

$$\ddot{r}_1 + a_1\dot{r}_1 + \frac{a_1^2}{4}r_1 = R\frac{a_1^2}{4} \tag{2.5}$$

Homojen olmayan lineer denklemi çözmek için: Genel çözümü ve özel çözümü bulmamız gerekir.

$$\mathrm{r}_1 = r_c + r_p$$

r_c genel çözüm ve r_p ise özel çözümdür. Genel çözüm r_c'yi bulmak için, (2.5) denkleminin homojen, adi diferansiyel denklem olduğu durumu ele alalım.

$$\ddot{r}_1 + a_1\dot{r}_1 + \frac{a_1^2}{4}r_1 = 0$$

O zaman karakteristik denklem şu şekilde yazılabilir

$$\lambda^2 + a_1\lambda + \frac{a_1^2}{4} = 0$$

$$\left(\lambda + \frac{a_1}{4}\right)^2 = 0$$

$$\lambda_{1=}\lambda_2 = -\frac{a}{2}$$

Dolayısıyla genel çözüm

$$r_c = (C_{1+}C_2)^{e^{-\frac{a}{2}t}}$$

Özel çözüm r_p'yi bulmak için, $r_p = C$ diyecek olursak:

$$\ddot{r_p} = \dot{r_p} = 0$$

$$\frac{a_1^2}{4} * r_p = \frac{a_1^2}{4} R_1$$

$$\frac{a_1^2}{4} * C = \frac{a_1^2}{4} * R_1 \ \rightarrow C = R_1$$

$$\therefore r_p = R_1$$

Bu durumda (2.5) denkleminin çözümü,

$$\mathrm{r}_1 = (C_{1+}C_2)^{e^{-\frac{a}{2}t}} + R_1$$

Bu durumda şöyle yazabiliriz

$$\mathrm{r(t)} = (C_{1+}C_2)^{e^{-\frac{a}{2}t}} + R_1$$

Burada $t \rightarrow \infty$'ken, dolayısıyla da $r_1 \rightarrow R_1$.

Zaman 0'ya yaklaşırken genlik r_1 ise R_1'e yakınsar.

$\because \theta_1 = r_1(1 + \cos(\varphi_1))$ tek CPG'li sistemin çıktısıdır.

$(1 + \cos(\varphi_1)) \in [0\,, 2]$ iken

$$0 \leq \theta_1 \leq \frac{\pi}{2}\ ,\ 0 \leq \theta_2 \leq \pi$$

Dolayısıyla çıktıyı şu şekilde yazabiliriz:

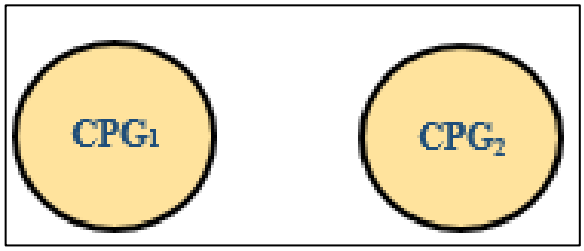
$R_1(1 + \cos(\varphi_1))$

ve $\quad R_1 \in \left[0\,, \frac{\pi}{4}\right]$

Benzer şekilde

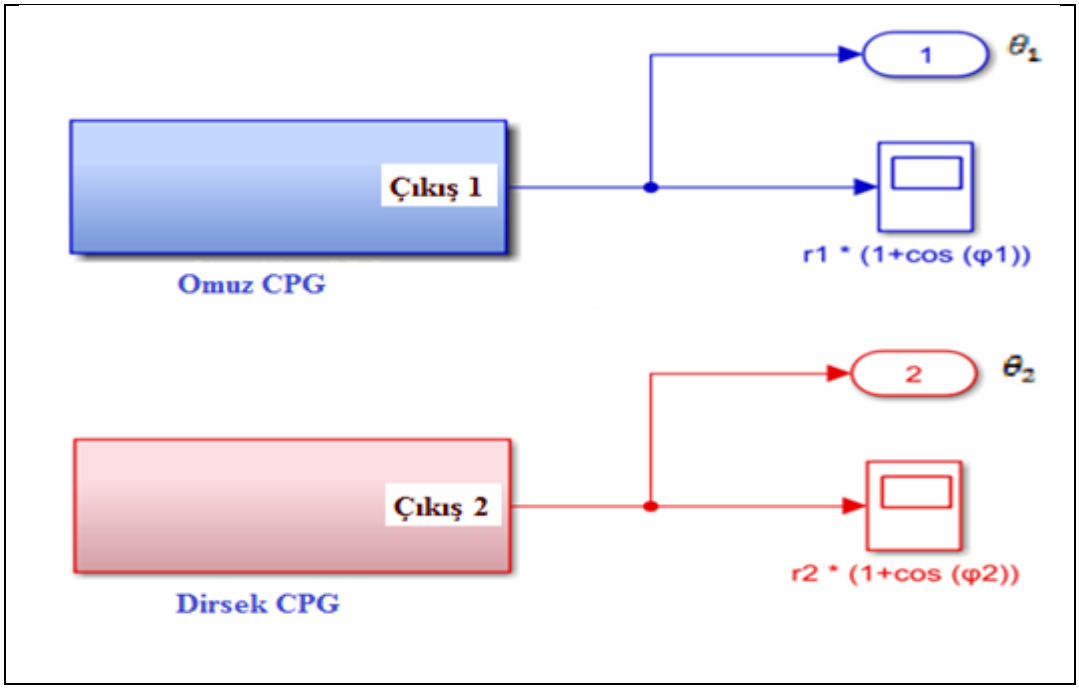
$$R_2 \in \left[0\,, \frac{\pi}{2}\right]$$

Bu iki parametrenin yukarıdaki bölgede değerleri artarsa CPG sistemimizde oldukça etkili olurlar. Burada ayrık iki CPG'yi Şekil 2.6'deki gibi gösterebiliriz:



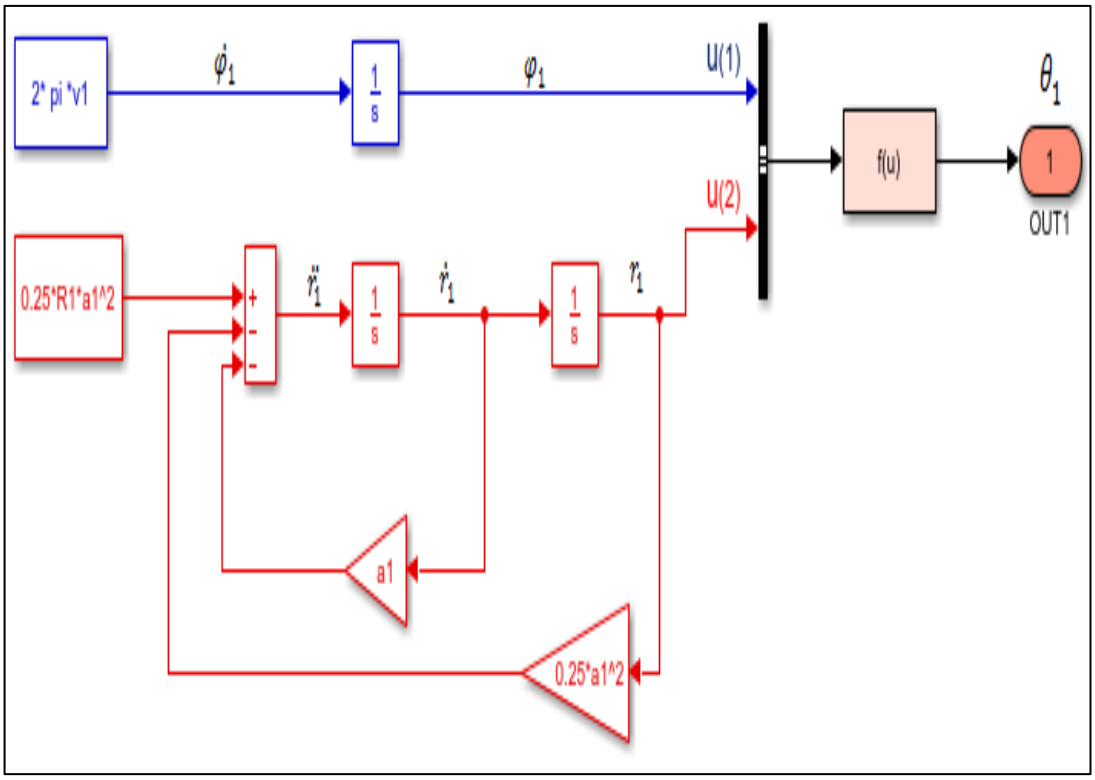
Şekil 2.6. Ayrık iki CPG

Şekil 2.7'de ise Simulink blokları görülmektedir. Birinci blok çıktısı θ_1 (omuzdaki dönme açısı) olan matematiksel yapıyı, ikinci Blok ise Çıktısı θ_2 (dirsekteki dönme açısı) olan matematiksel yapıyı temsil etmektedir.

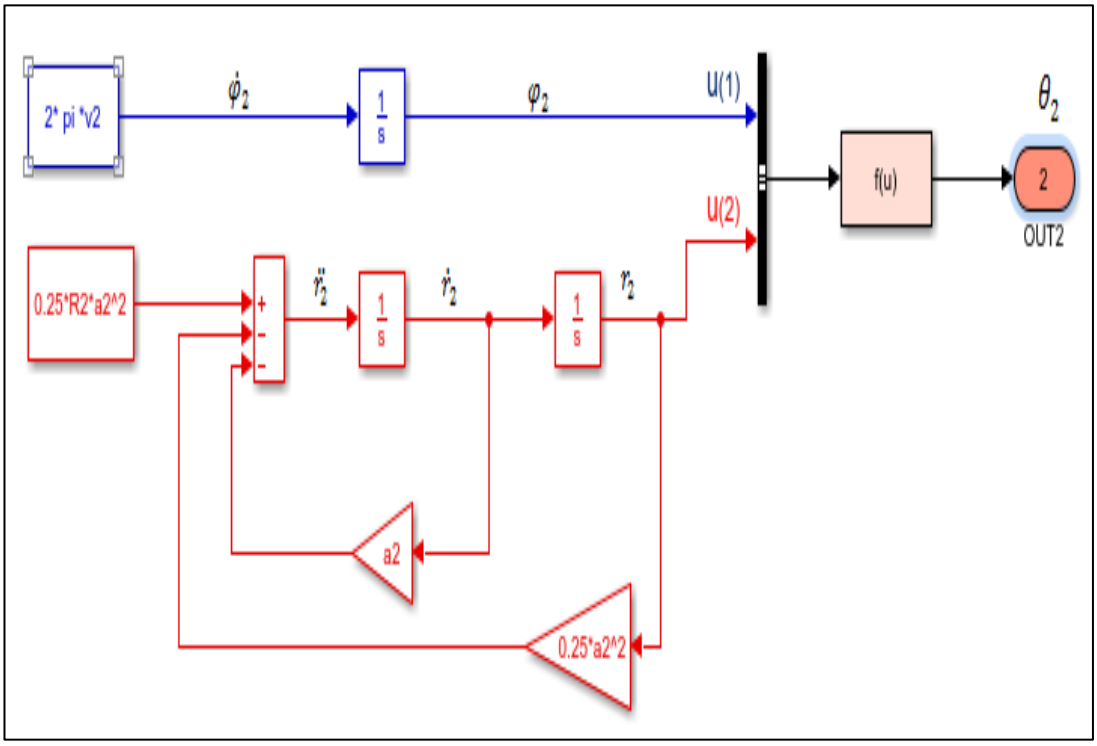


Şekil 2.7. Ayrık iki CPG için simulink blokları

Şekil 2.8 de, ilk CPG'nin θ_1'i veren Simulink yapısını, Şekil 2.9 ise ikinci CPG'nin θ_2'yi veren Simulink yapısını göstermektedir.



Şekil 2.8. Ayrık ilk CPG'nin simulink yapısı



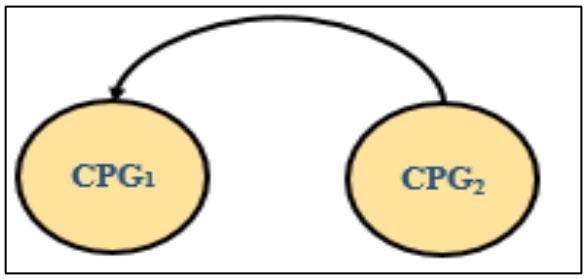
Şekil 2.9. Ayrık ikinci CPG'nin simulink yapısı

2.4.2.2. *Tek Yönlü Iki CPG*

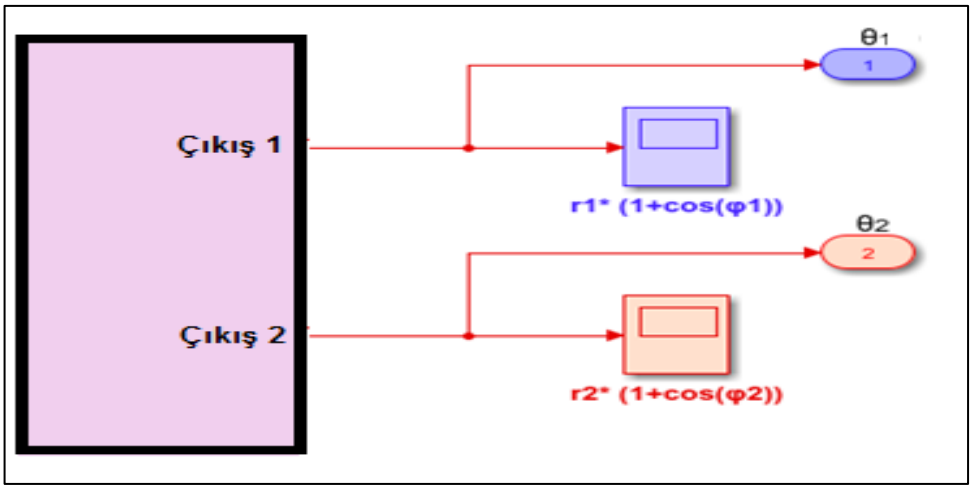
Genel sistem 2.3' elde ettikten sonra, tek yönlü iki CPG sistem 2.6 da görüldüğü gibi verilebilir; burada ikinci CPG bağımsız olarak çalışmaktadır, ancak ikinci CPG'nin ilk CPG'ye bir projeksiyonu söz konusudur.

$$\left.\begin{aligned} \dot{\varphi}_1 &= 2\pi v_1 + r_2 w_{12} \sin(\varphi_2 + \varphi_1 - \emptyset_{12}) \\ \ddot{r}_1 &= a_1 \left(\frac{a_1}{4}(R_1 - r_1) - \dot{r}_1\right) \\ \dot{\varphi}_2 &= 2\pi v_2 \\ \ddot{r}_2 &= a_2 \left(\frac{a_2}{4}(R_2 - r_2) - \dot{r}_2\right) \end{aligned}\right\} \tag{2.6}$$

Bu sistemin çıktısı $\theta_1 = r_1(1 + \cos(\varphi_1))$ & $\theta_2 = r_2(1 + \cos(\varphi_2))$'dir, daha önce belirttiğimiz gibi ikinci CPG bağımsızken ilk CPG ikinci CPG'ye bağımlı haldedir. Tek yönlü iki CPG Şekil 2.10'te görüldüğü gibi temsil edilebilir.

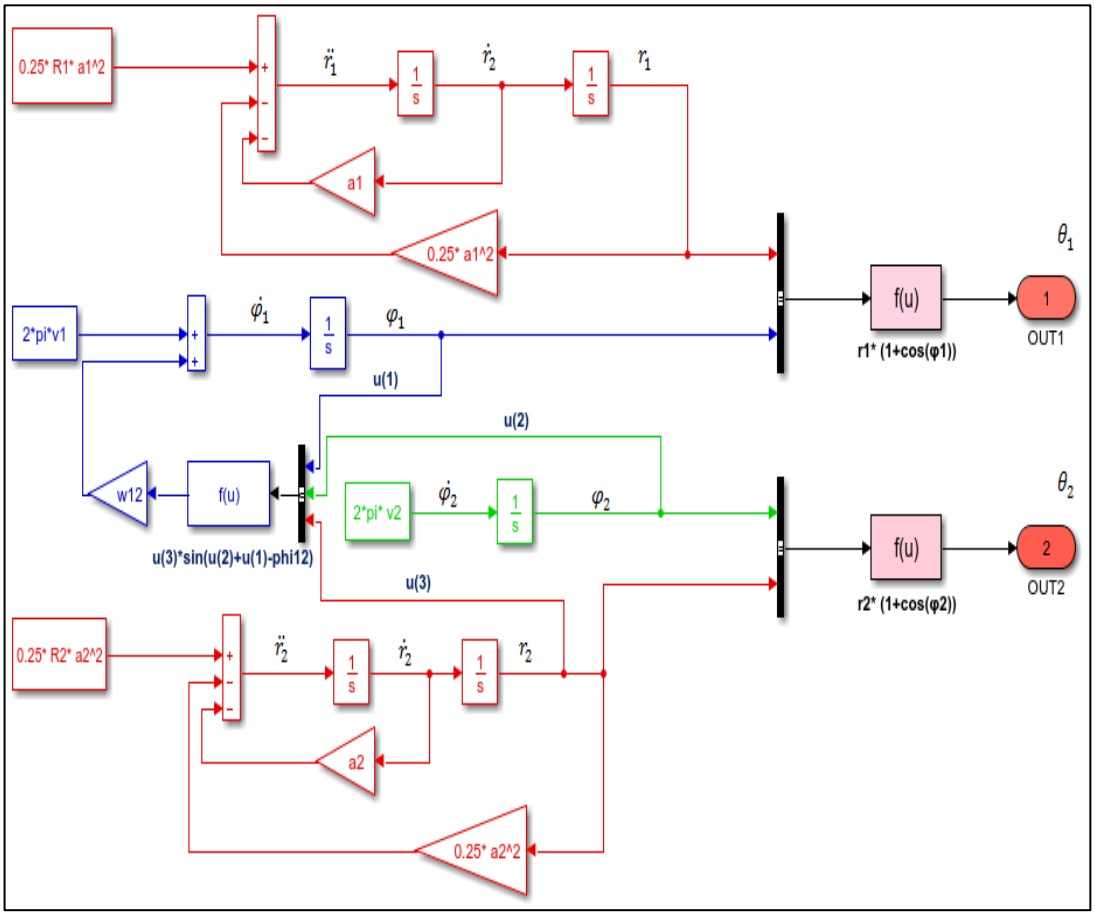


Şekil 2.10. Tek yönlü iki CPG



Şekil 2.11. Tek yönlü CPG'ler için simulink bloğu

Şekil 2.11 da Simulink bloğunu göstererirken, Şekil 2.12 ise tek yönlü iki CPG için Simulink yapısını vermektedir.



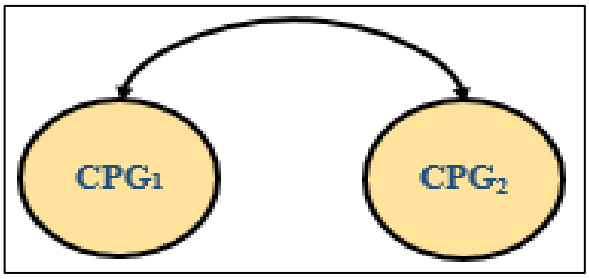
Şekil 2.12. Tek Yönlü Iki CPG için simulink yapısı

2.4.2.3. *Çift Yönlü İki CPG*

Çift yönlü iki CPG, genel sistemden elde edilebilir ve şu şekilde gösterilebilir:

$$\left.\begin{aligned} \dot{\varphi}_1 &= 2\pi v_1 + r_2 w_{12} \sin(\varphi_2 + \varphi_1 - \emptyset_{12}) \\ \ddot{r}_1 &= a_1\left(\frac{a_1}{4}(R_1 - r_1) - \dot{r}_1\right) \\ \dot{\varphi}_2 &= 2\pi v_2 + r_1 w_{21} \sin(\varphi_1 + \varphi_2 - \emptyset_{21}) \\ \ddot{r}_2 &= a_2\left(\frac{a_2}{4}(R_2 - r_2) - \dot{r}_2\right) \end{aligned}\right\} \tag{2.7}$$

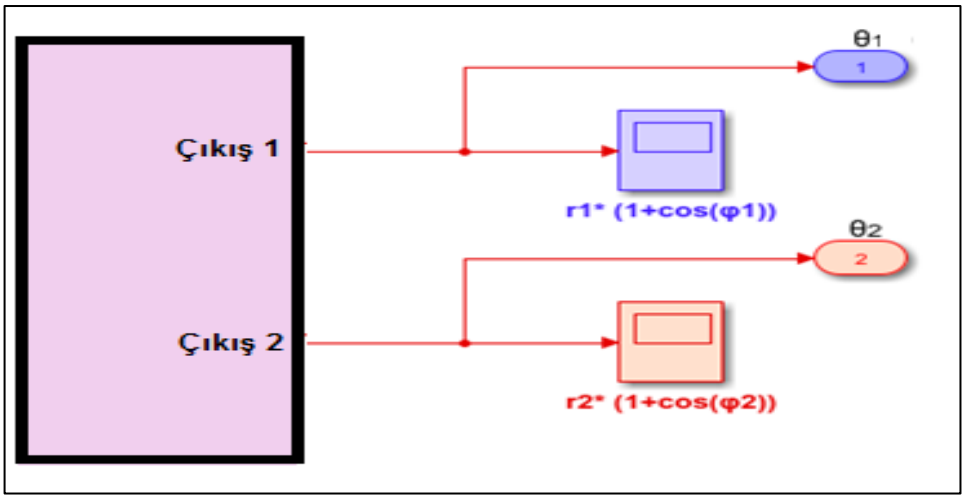
Çift yönlü iki CPG'yi Şekil 2.13'de görüldüğü gibi gösterilebilir:



Şekil 2.13. Çift yönlü iki CPG

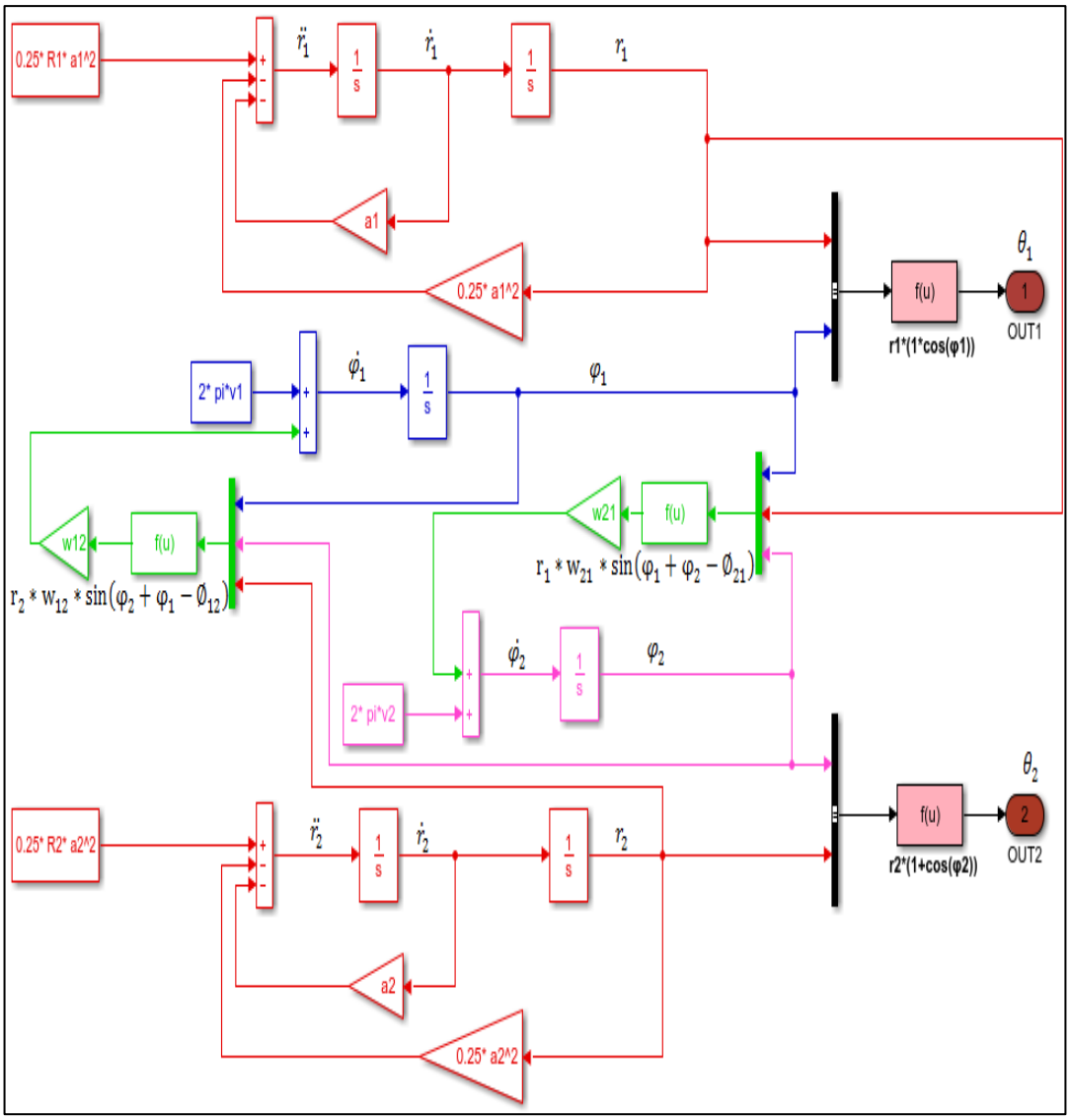
Bu sistemin çıktısı $\theta_1 = r_1(1 + \cos(\varphi_1))$ & $\theta_2 = r_2(1 + \cos(\varphi_2))$'i verir, ve burada iki CPG de birbirine bağımlıdır, her ikisi de birbirine sinyal göndermektedir.

θ_1 ve θ_2 sırasıyla omuz ve dirsekteki bağlantı noktalarında oluşan açıları, durum değişkenleri φ_i ve r_i ise benzer şekilde fazı ve genliği simgelemektedir. CPG eğer v_i ve R_i tarafından izole edilirse yakınsar. a_i pozitif sabiti r_i genliğinin R_i'ye hangi hızla yakınsayacağını belirler. Birden fazla CPG'nin olması durumunda, i, j =1,2 ve $i \neq j$ olmak üzere bağlaşma ağırlıkları w_{ij} ve faz farkları $\emptyset_{ij}$ ile bağlaşık hale gelirler. Parametrelerin sayısal değerlerini değiştirmek suretiyle belirli çıktıların alınması mümkündür. Farklı CPG'ler hakkında daha fazla bilgi için (Qijun ve Chengju , Shan, Junshi vd. 2000, Ok, Miyashita vd. 2001, Marbach 2004, Ijspeert ve Cabelguen 2006, Wolff, Pettersson vd. 2006, Kim, Lee vd. 2009, Van den Kieboom 2009, Amrollah ve Henaff 2010, Wu, Teng vd. 2013) gibi kaynaklara bakılabilir. Şekil 2.14 çift yönlü iki CPG için Simulink bloğu görülmektedir.



Şekil 2.14. Çift Yönlü Iki CPG Için Simulink Bloğu

Şekil 2.15'da çift yönlü iki CPG için Simulink yapısı verilmektedir.



Şekil 2.15. Çift Yönlü Iki CPG'nin Simulink Yapısı

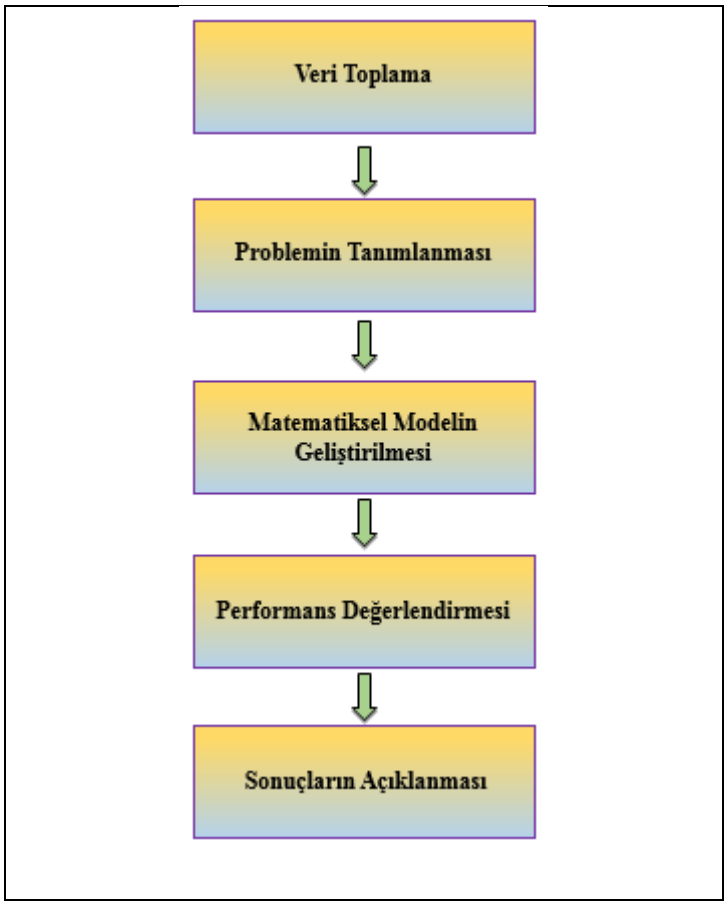
3. MALZEME VE ÖLÇME YÖNTEMİ

Bu çalışmada, tasarımın optimizasyonu için bilgisayar simülasyonuna (MATlab-2017) dayalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, bilgisayarın belirli kriterlere göre en iyi tasarımı bulması amaçlanmıştır. Bilgisayarın muazzam işlem gücü, anolog olarak yapabileceğimizden çok daha fazla tasarım kombinasyonunu değerlendirmemize izin verir. Ayrıca, çalışmamızda bilgisayarın optimumu verimli şekilde bulmasını sağlayan gelişmiş algoritmalar kullanılmıştır. Çoğunlukla algoritmalar genetic algoritma (GA) ve Hibrit fonksiyon (HF), bazen deneyim ve tecrübeye bazen sezgiye dayalı en iyi tasarımda gerçekleşmiştir (Rao ve Rao 2009, Parkinson, Balling ve diğ. 2013).

3.1. CPG'lerin Optimizasyonu

Bu kısımda, tez kapsamında yapılan CPG modeli için en iyi optimizasyonu elde ettik. Optimizasyon, mevcut problem için en iyi tasarımın ve optimum çözümün bulunması sürecidir. Optimizasyon işleminde, matematiksel modelin girdileri, amaç fonksiyonun maksimize veya minimize edilmesi için parametreler belirli bir aralıkta modifiye edilimesidir. (Malhotra, Singh ve diğ. 2011, Parkinson, Balling ve diğ. 2013).

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, optimizasyon süreci başlıca beş aşamadan oluşmaktadır: veri toplama, problemin tanımlanması, matematiksel modelin geliştirilmesi, performans değerlendirmesi ve sonuçların açıklanması (Chong ve Zak 2013).



Şekil 3.1. Optimizasyon sürecinin beş aşaması

Optimizasyon algoritmaları; doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, geometrik programlama, dinamik programlama, tamsayılı programlama, stokastik programlama, evrimsel algoritmalar (Malhotra, Singh ve diğ. 2011). Optimizasyon metotları hakkında literatürde pek çok araştırma makalesi mevcuttur; bu araştırmalar tipik olarak kalkülüs, nümerik metotlar, ve yansız atama gibi yöntemlere dayanmaktadır (Rangel-Merino, López-Bonilla ve diğ. 2005). Tasarım değişkenlerinin yanı sıra, optimize edilmek istenen kriterler de mevcuttur. Bu kriterler ikiye ayrılır: hedefler ve kısıtlamalar. Hedefler, maksimize etmek veya en aza indirmek istediğimiz amaçlardır. Kısıtlamalar; eşitsizlik kısıtlamaları ise içinde kalmamız gereken sınırları ifade eder; eşitlik kısıtlamaları söz konusu ise elde etmemiz gereken hedef değerleri temsil eder. Hedefler ve kısıtlamalara beraberce tasarım fonksiyonları denmektedir. Öncelikle tasarım değişkenleri kümesi, hedefleri ve kısıtlamaları belirlenir. Sonrasında ise optimizasyon başlayabilir; optimizasyon yazılımı, en iyi tasarımı ararken modelin üzerinden birçok kez (bazen binlerce, hatta milyonlarca kez) geçecektir (Rao ve Parkinson, 2009, Balling ve diğ. 2013).

3.1.1. Genetik Algoritmalar (GA)

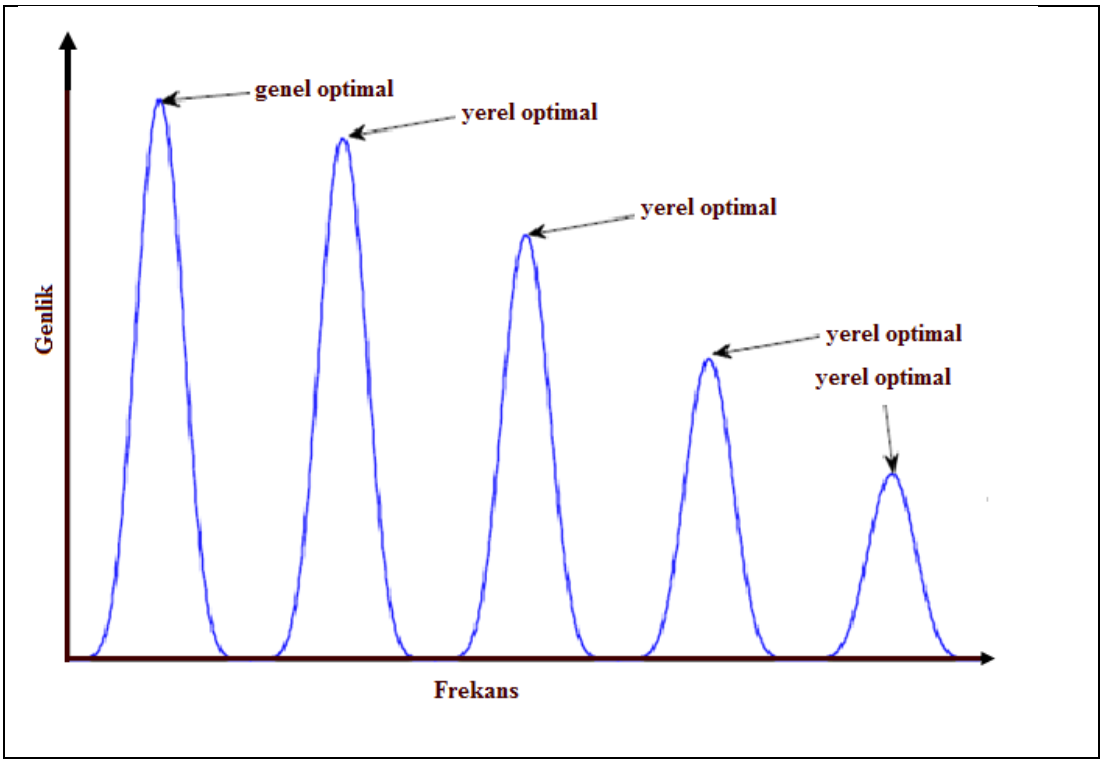
GA, bir tür optimizasyon algoritmasıdır, yani belirli bir problem için bir fonksiyonu maksimize veya minimize eden en uygun çözümü bulmak için kullanılırlar. GA, evrimsel algoritmalar olarak adlveırılan geniş bir alanının bir dalıdır. Algoritma, azami sayıda farklı durum üretilip kontrol edildiğinde ya da tatmin edici bir çözüm seviyesine ulaşıldığında durur (Palonen, Hasan ve diğ. 2009, Carr 2014).

GA arama teknikleri, sürekli değişen yüksek rekabet ortamına uyum sağlayan biyolojik organizmaların genetik mekanizmasından esinlenerek bilgisayara uyarlanmıştır. Bir genetik algoritmanın süreçlerinin çoğu rastlantısaldır, ancak bu optimizasyon tekniği rveomizasyon seviyesinin ve kontrol seviyesinin belirlenmesine izin verir (Veerson-Cook 2005, Carr 2014).

GA, doğal seleksiyon ve genetiğin evrimsel fikirlerine dayanan ve uyum sağlayabilen sezgisel arama algoritmasıdır. GA'nın temel teknikleri, doğal sistemlerdeki süreçleri simüle etmek için tasarlanmıştır. Bu nedenle optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan rastgele bir aramayı temsil ederler. Her ne kadar rastlantısallığı olsa da, GA aslında, arama yapılan uzayda, doğrudan daha iyi performansın bulunduğu bölgede arama yapmak için önceki bilgileri kullanmaktadır (Carr 2014).

Rasgele arama algoritmaları, matematik/kalkülüs tabanlı ve kapsamlı arama algoritmalarının eksiklikleri fark edildikçe daha popüler hale gelmektedir. Bu tarz bir algoritma, rasgele seçilmiş ve arama uzayını temsil eden bir örneklem seçer, ve bu örneklemde optimal değeri bulur.

GA'nın geleneksel yöntemlere göre birçok avantajı vardır. Kapsamlı bir aramadan daha hızlı olsa da, tepe-tırmanma gibi kalkülüs tabanlı yöntemlerden farklı olarak, GA tek bir değer yerine bir aday çözüm popülasyonu elde eder.Grafik 3.1'de gösterildiği gibi genel optimum yerine yerel bir optimum bulma olasılığını büyük ölçüde azaltır (Goldberg 1989).



Grafik 3.1. Genetik algoritmalarda yerel ve genel optimumlar

Genetik operatörler, problem çözümlerinin nesillerinin evrimini kontrol ederler. Dört temel genetik operatör, seçilim/seleksiyon (üreme/çoğalma), çaprazlama, mutasyon ve elitizmdir. Verilen bir çözümün üreme için seçilmesi olasılığı, bu çözümün uygunluğu, ya da hedefleri ne derece elde ettiği ile orantılıdır. Çaprazlama, rastgele seçilen iki kromozomun parçalarının yeni bir birey oluşturmak için karşılıklı olarak değiş-tokuş yapılacağını ima eder. Mutasyon, bir çözümdeki genlerin çözüm uzayında yeni noktaları aramak için rastgele değiştirilmesini ifade eder. Bu operatörlerin daha ayrıntılı versiyonları olmasına rağmen, temel prensipler çoğu GA için benzer şekildedir.GA, mevcut jenereasyon/nesilden yeni bir jenerasyon oluşturmak için dört aşamalı bir süreçten geçer (Caldas ve Norford 2002, Saraswat 2013). Genetik algoritmalar birçok problemin objektif değişkenlerini hızlı, güvenilir ve doğru bir şekilde optimize etmek için kullanılır (Malhotra, Singh ve diğ. 2011, Carr 2014).

3.1.2. Hibrit Fonksiyon

Tek amaçlı problemlerde GA optimale yakındır. GA kullanılarak yapılan simülasyonlar, genel olarak bir hibrit algoritmanın kullanıldıklarından daha fazladır.

Uygulanan GA, çeşitli denemelerde optimizasyon anlamında eşit sonuçlar verdi. Ancak, stokastik karakteristiğinden ötürü, GA'nın her koşuda optimal çözüme ulaşacağının bir garantisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tek amaçlı bir problemde ihtiyaç duyulan simulasyon sayısını azaltmak için hibrit fonksiyon kullanılmıştır. Bu şekilde optimale yakın bir çözüm elde edilmiştir, ve GA'nın yakınsaması dramatik bir şekilde yavaşlamıştır, dolayısıyla ihtiyaç duyulan simulasyon sayısının azalması ve elde edilen sonucun kalitesi anlamında hibrit algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Hibrit algoritmanın her kullanımında eşit veya daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Objektif fonksiyon değerinde sonuçlar daha iyi veya en azından aynıydı ve çözümü elde etmek için gereken simülasyon sayısı çok daha azalmıştı (Hasan, Vuolle ve diğ. 2008, Palonen, Hasan ve diğ. 2009).

3.2. Objektif Fonksiyon (OF)

Diğer algoritma yazılımlarına göre, tek fonksiyonlu, objektif fonksiyon değerinde sonuçlar daha iyi ve en azından çözümü elde etmek için gereken simülasyon sayısını çok daha azalmıştır (Hasan, Vuolle ve diğ. 2008, Palonen, Hasan ve diğ. 2009). Optimizasyonun başarısı, problemin özellikleri, objektif fonksiyonun formülasyonu ve uygun bir optimizasyon algoritmasının seçilmesi ile yakından alakalıdır (Palonen, Hasan ve diğ. 2009). Bu algoritmalar, rastgele veya kapsamlı arama algoritmalarından çok daha güçlü ve verimlidir. Diğer optimizasyon yöntemlerinin süreklilik, türev, doğrusallık vb. diğer özelliklerin yokluğu nedeniyle çözemediği problemlere çözüm bulmalarına olanak tanır. Bu bölümde aşağıdaki maliyet fonksiyonu kullanılmıştır; her bir desen üretecinin her bir eklem için açısal desen çıktısı sağladığı üç durum ele alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan sadece bir tane maliyet fonksiyonu vardır, farklı hareket desenleri bu maliyet fonksiyonuna dayanmaktadır (Nolfi ve Floreano 2000; Elbori, 2017). Hareket oluşumunu değerlendirmek için, merkezi desen üreteçlerini kullanarak optimal parametre kümelerinin bulunması gerekir. Bu da bize, x-ekseni boyunca hareket oluşturmak için omuz ve dirsek açısının zamanla nasıl değişmesi gerektiğini açıklar. Burada amacımız, GA ve hibrit fonksiyonu kullanarak bu fonksiyonu minimize etmek ve

böylece CPG'leri optimize etmektir; bunu yapmak için de CPG'lerin duyusal geri bildirim olmaksızın bir kol için RP'ler üretebildiğini göstermektir. Her bir durum için, her bir eklemin merkezi deseni için parametre kümeleri aşağıda verilmiştir:

$P1$= [a_1, v_1, R_1, a_2, v_2, R_2]; Ayrık durum.
$P2$= [a_1, v_1, R_1, a_2, v_2, R_2, w_{12}, $\emptyset_{12}$]; Tekyönlü durum.
$P3$= [a_1, v_1, R_1, w_{12}, $\emptyset_{12}$, a_2, v_2, R_2, w_{21}, $\emptyset_{21}$]; Çiftyönlü durum.

Optimal parametre kümelerinin bulunması için genetik algoritmalar kullanılmıştır.
Bu çalışmada kullanılan sadece bir tane maliyet fonksiyonu vardır, farklı hareket desenleri bu maliyet fonksiyonuna dayanmaktadır (Nolfi ve Floreano 2000, Elbori, 2017).

Aşağıdaki objektif fonksiyona dayalı algoritmanın optimize edilmesi gerekmektedir, farz edelim, L_1=0.28 cm ve L_2= 0.28 cm, sırasıyla L_1 ve L_2 sırasıyla üst kolun ve önkolun uzunlukları olmak üzere, objektif fonksiyon verildiğinde elips veya daire üzerinde 10 adet istenen nokta olduğunu düşünelim.(x_d) kolun x-ekseninde hareket edebileceği noktanın dairesi ve(y_d) kolun y-ekseninde hareket edebileceği noktanın dairesi olmak üzere; maliyet fonksiyonu ise:

$$F = dis\left((x_e, y_e), (x_d, y_d)\right) \tag{3.1}$$

Ve objektif fonksiyonu J nin denklemi ise

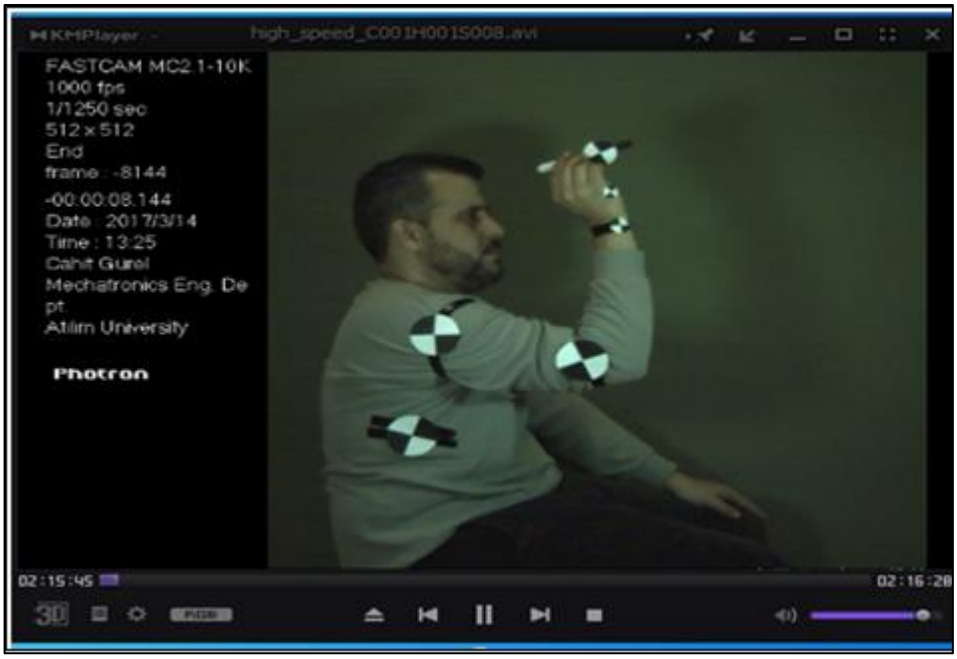
$$J = \sqrt{(x_e - x_d)^2 + (y_e - y_d)^2} \tag{3.2}$$

Şeklindedir. Burada, x_d, x için sanal bir nokta, y_d, y için sanal bir nokta, x_e dirseğin x-yatay eksen (girdilerini CPG'lerden alır). y_e dirseğin y-dikey eksenindedir (girdilerini CPG'lerden) alır.

3.3. Hareket Optimizasyonuyla Ilgili Veriler

Çalışmanın sonucunda bu algoritmalara (GA ve HF) dayalı verilerden elde edilen sonuçlarla tez çalışmada kullandığım simülasyona dayalı Objektif fonksiyonuna

(OFA) algoritmadan elde edilen verilerin(simülasyon) ile gerçek değerlerle (kamera kontolü) karşılaştırldığında standart yazılım hata sınırları için OFA nın çalışmamız için daha uygun olduğu görülmüştür.Bu bölümde, elimizdeki CPG'lerin gerçek verilere benzer ritmik üretip üretemediğine bakmak için, kol hareketinin (dart atma) gerçek verileri Ankara Atılım Üniversitesi Mekatronik kontrol labratuvarında $\boldsymbol{\theta_{1r}}$, $\boldsymbol{\theta_{2r}}$ açıları için (8188,8188) gerçek verileri fotoğraf 3.1 de gösterildiği gibi toplanmıştır. Kol hareketinin hareketi görüntüleyen (dart atma) ve gerçek verilerini elde etmek için, yüksek çözünürlüğe sahip *Photron Fastcam Mc2.1* fotoğraf makinesi fotoğraf 3.2 de görüldüğü gibi kullanılmıştır.



Fotoğraf 3.1. . Fastcam Mc2.1 kamera kullanılarak dart tipi verilerin elde edilişi

Kullandiğimiz hızlı video kamera sistemi, (512x512) çözünülüye sahip, yüksek hızlı 2000 fps. Bu kamera, geliştirme, üretim ve otomasyon ortamları için tasarlanmıştır. Kamera, ışığa duyarlı CMOS görüntü sensörü, görüntülerin en az ekstra ışık ile alınmasını sağlar.Yüksek kare hızı (HFR) ve yüksek görüntü çözünürlüğü net görüntü ve hareket analizine olanak sağlamıştır.

Fotoğraf 3.2. Fotoğraf makinası (Photron Fastcam Mc) ve parçaları

Yüksek hızlı çözünürlüye sahip kamerada verilerin toplanması için fotoğraf 3.3 de görüldüğü gibi, sağ kolumu kullanarak, kolumun eklem noktaları üzerlerine özel yama konularak tanımladım $\boldsymbol{\theta_{1r}}$ ve $\boldsymbol{\theta_{2r}}$ gerçek veri açı değerlerine ulaştım.

Fotoğraf 3.3. Eklem yamalarının hazırlanması

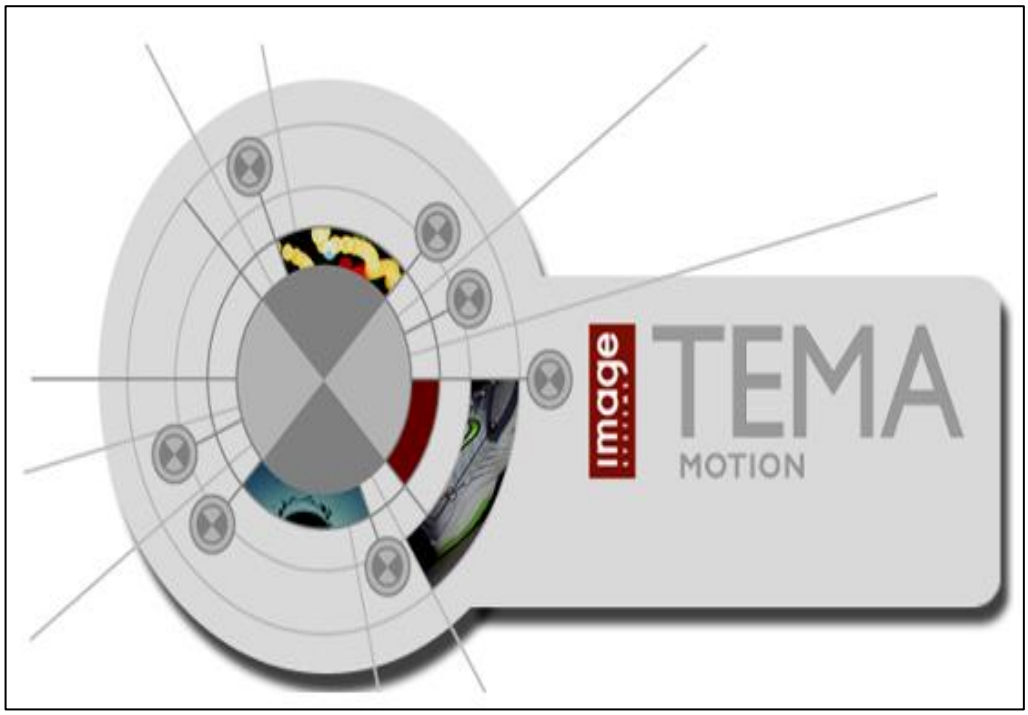
Daha sonra video kayıt halindeyken, dart atma şeklinde fotoğraf 3.4.de görüldüğü gibi kol hareketleri yapılmaya başladım. Daha sonra filitreleme yapabilmek için pek çok video klip fotoğraf 3.5 de görüldüğü gibi kaydedildi. Daha sonra videolar kaydedildi ve işlendi. Son olarak, en iyi videolar tespit edildi ve elverişli olmayan videolar silindi. Daha sonra MATlab 2017 yazılım program yardımıyla $\boldsymbol{\theta}_{\mathrm{CPG}1}$ ve $\boldsymbol{\theta}_{\mathrm{CPG}2}$ açı değerlerini CPG modelemesi için elde ettim.

Fotoğraf 3.4. Dart atma şeklinde kol hareketleri

Fotoğraf 3.5. Video kliplerin filitreleme işlemi

3.3.1. Kullanılan video için yazılım programlaması

Hareket analizi için yüksek hızlı kamera sisteminde TEMA MOTION -3.5 yazılımı fotoğraf 3.6 de gösterilen model kullanılmıştır. TEMA Camera Control, TEMA'nın sağladığı bir opsiyondur.Bu yazılım program ileri hareket analizi sahasında öncü diyebilirim.Ayrıca tek bir programla farklı markalara sahip yüksek hızlı fotoğraf makinelerinin kontrolüne olanak sağlamaktadır.



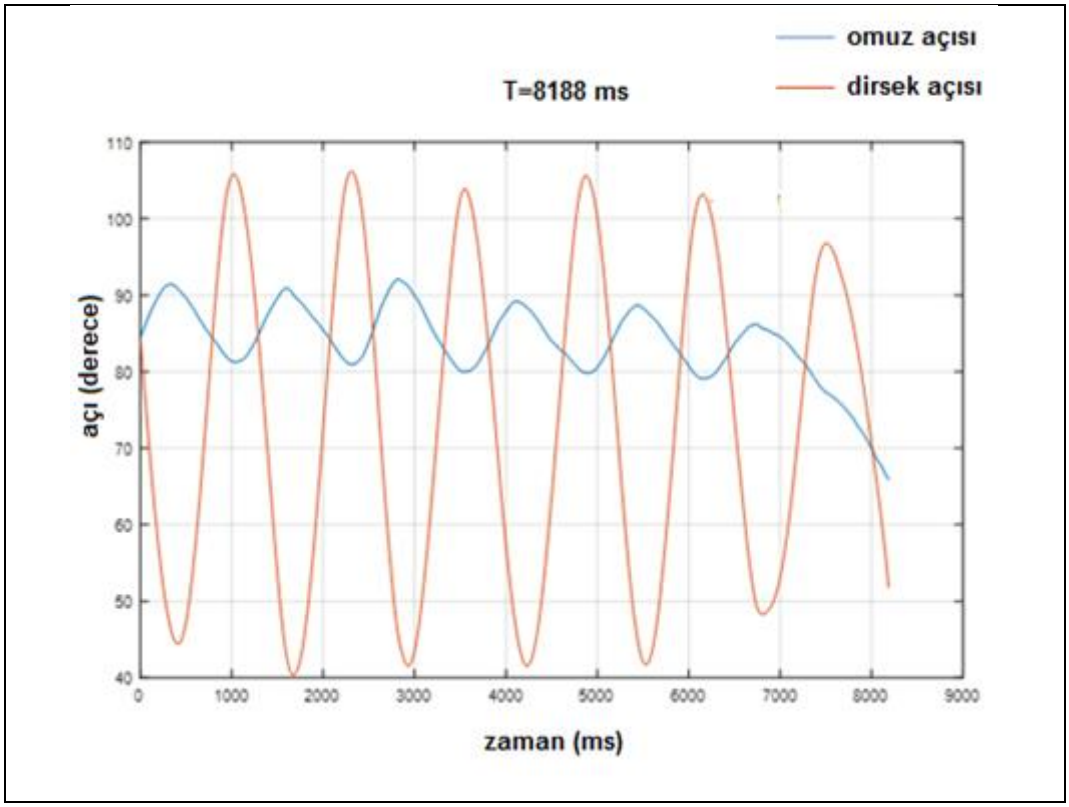
Fotoğraf 3.6. TEMA Version 3.5 yazılım programı

Tema Motion yazılımıyla videoyu analiz ettikten sonra, omuz açısını ve dirsek açısını veren aşağıdaki veri elde edilmiştir. Kol hareketleri sırasında farklı 8188 adet açı değerleri Tablo 3.1 de omuz açısı ve dirsek açıları verilmiştir.

Tablo 3.1. *Kol hareketinin gerçek verileri*

Zaman [ms]	Omuz Açıları	Dirsek Açıları
	Açı1(derece)	Açı2(derece)
0	84.544	84.094
1	84.595	83.991
2	84.628	83.782
3	84.662	83.673
4	84.667	83.534
5	84.683	83.374
6	84.703	83.251
7	84.733	83.08
8	84.759	82.946
9	84.79	82.833
10	84.802	82.662
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
8180	66.066	52.657
8181	66.051	52.54
8182	66.02	52.41
8183	66.024	52.269
8184	66.003	52.148
8185	65.959	52.021
8186	65.947	51.908
8187	65.918	51.777

Toplanan gerçek verileri içeren yukarıdaki tablo görsel hale getirilirse aşağıdaki grafik elde edilmektedir:



Grafik 3.2. Gerçek verilerin grafiği

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde simülasyon verileriyle (MATlab R2017a) dan elde edilen sonuçlar, gerçek değerler (hızlı kamera değerleriyle) tüm modeler için karşılaştırlmıştır.Burada objective fonksiyonun gerçek verilerle, tez de geliştirdiğim yeni CPG model sonuçları arasındaki istatiksel sonuçlar da verilmiştir. Önceki bölümde amaç fonksiyonunu (3.2) kullandık.

4.1. CPG'lerin Optimizasyon Sonuçları

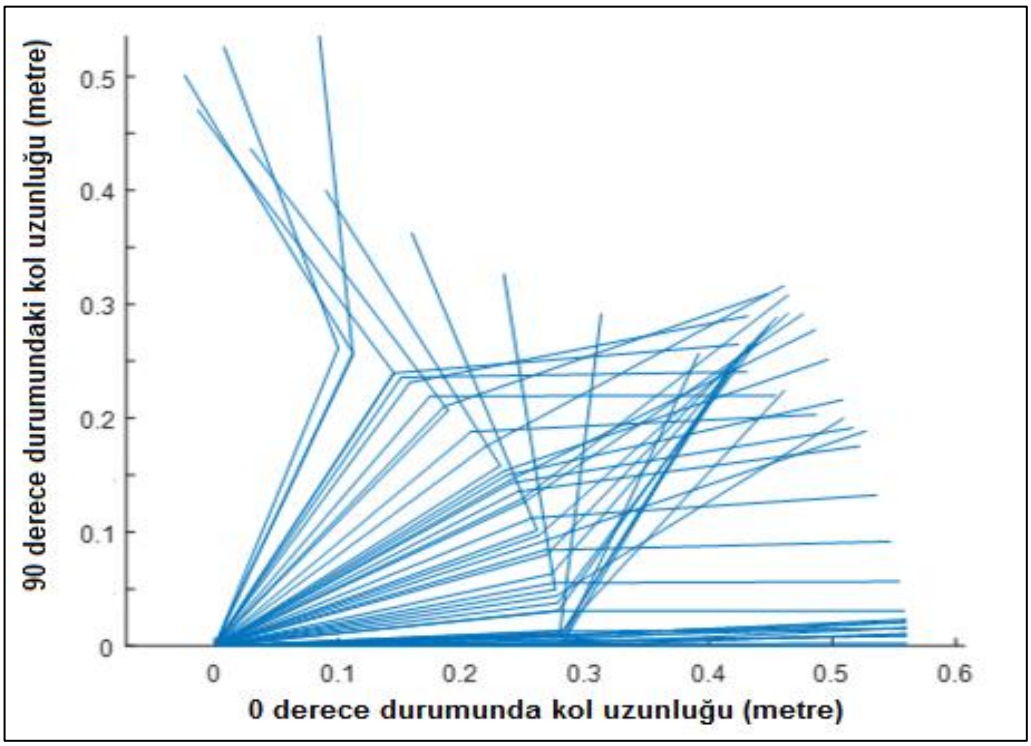
Bu bölümde iki CPG'nin (ayrık, tek yönlü, ve çiftyönlü) optimizasyonu şu şekilde sunulacaktır:

4.1.1. İki Ayrık CPG'nin Optimizasyonu

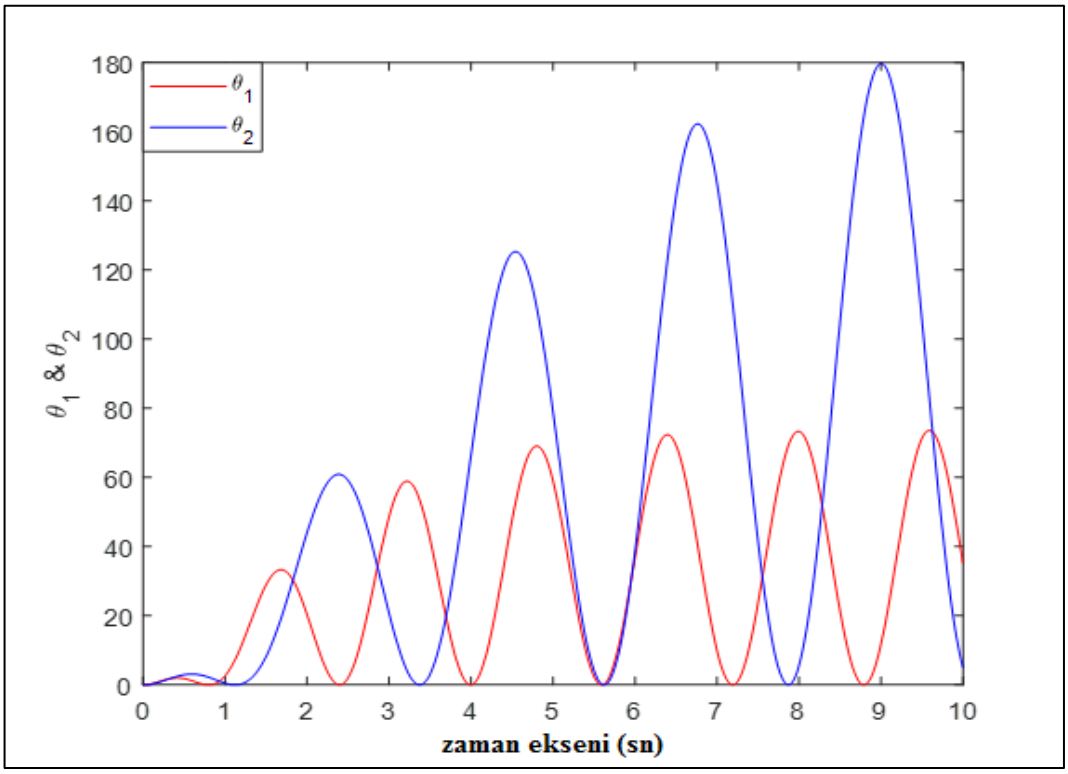
Sırasıyla önce ayrık iki CPG'nin optimizasyonu (sadece GA, GA+ fmincon *'Hibrit fonksiyon*' ve GA + Desen arama *'Hibrit fonksiyon'*) ile yapılmış optimal durumları daha sonra aynı modellerin iki ayrık,tek yönlü ve çift yönlü durumları ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.1.1. *İki Ayrık CPG'nin GA Ile Optimizasyonu*

MATlab - R2017 simülasyon sonucu elde edilen uygunluk fonksiyon J değeri 23.0540 olarak iz sayısına göre bulunmuştur.Sonuçlar için ayrık iki CPG'nin optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J ve CPG'lerin optimal parametreleri GA ile bulunarak yapılmıştır. CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından *(kolhareketi+2açili)* hesaplanan (υ_i) frekans, (R_i) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve a_i pozitif sabit olmak üzere Tablo 4.1 de İki CPG'nin (ayrık, tek yönlü, ve çiftyönlü) optimizasyonu ait tüm veriler gösterilmiştir. Sistem algoritması yaklaşık 20 saat sürmüştür. Şekil 4.1 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.1 de θ_1 (0-90) ve θ_2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematik olarak titreşimi gösterilmiştir.



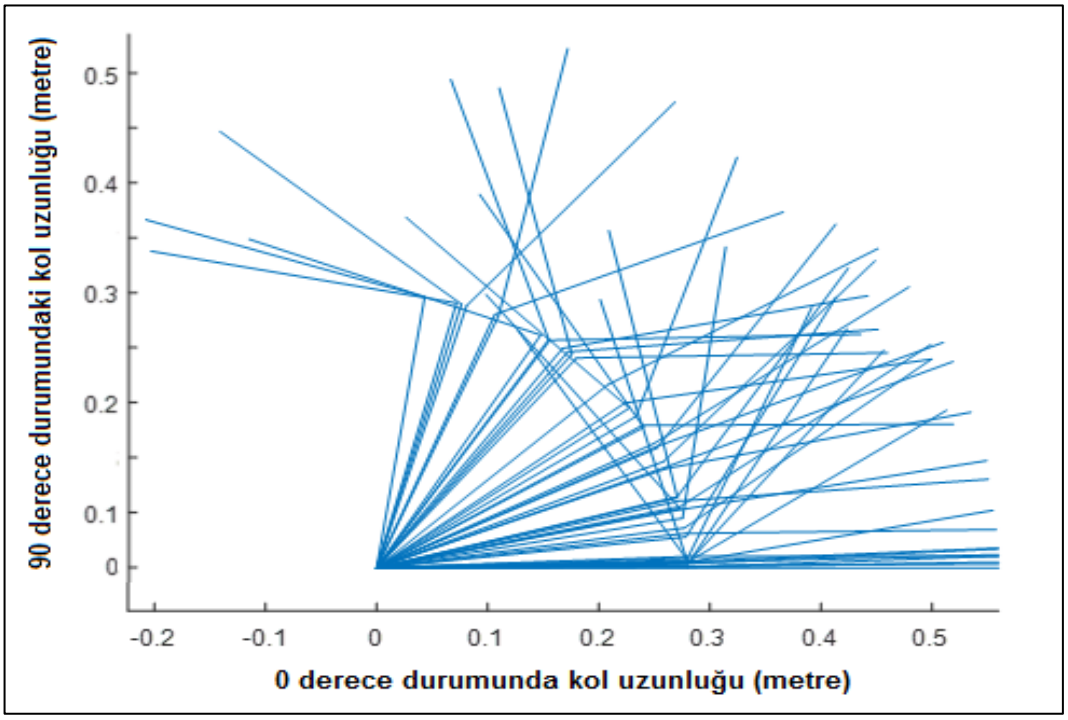
Şekil 4.1. Iki ayrık CPG de GA kullamının 5 sn animasyonu



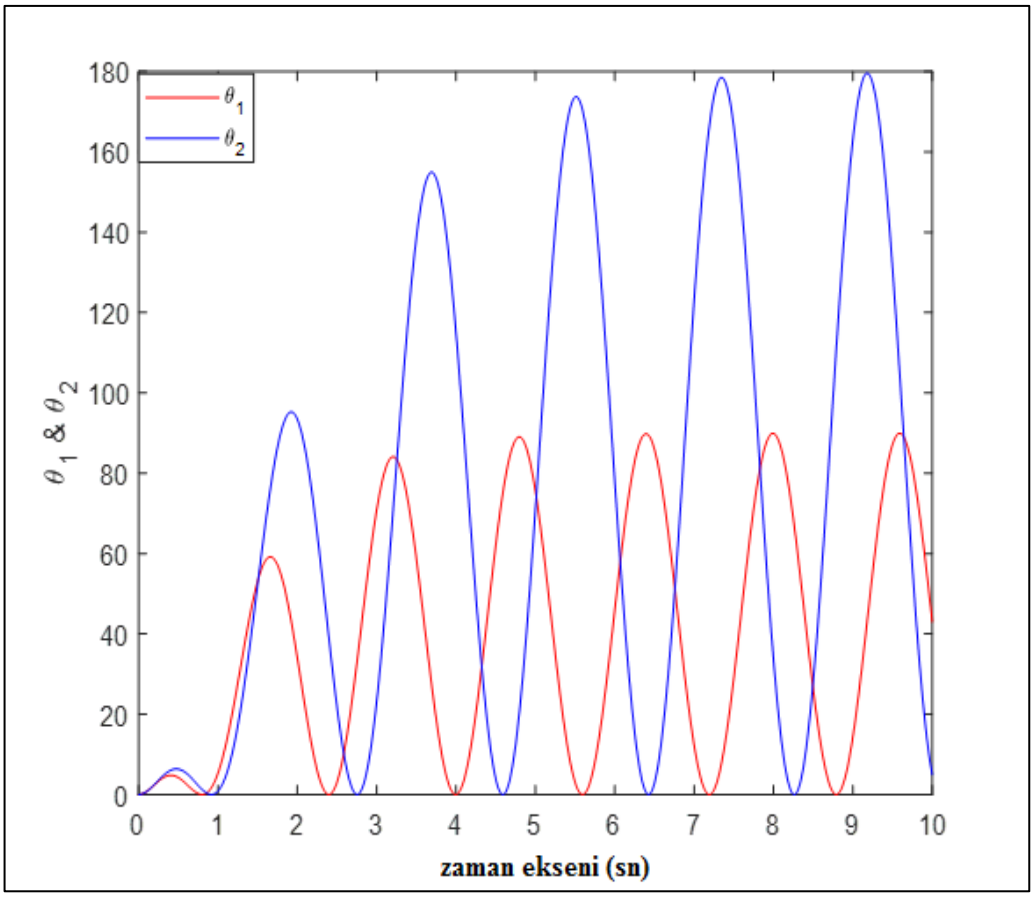
Grafik 4.1. Ayrık iki CPG'de GA kullamın animasyonu

4.1.1.2. *İki Ayrık CPG'nin (GA + fmincon) ile Optimizasyonu*

Bu kısımda, İki ayrık CPGnin GA ve fmincon ile yapılan optimizasyon modelemesinde hibrit fonksiyon olarak kullanılmıştır.Sonuçlara baktığımzda hata oranı bir önceki iki ayrık CPG de GA kullamınına göre daha az olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, MATlab -R2017a simülasyon sonucu de elde edilen (hesaplanan) sonuçlar için ayrık iki ayrık cpg'nin (GA + fmincon) ile optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri 22.8322 olarak bulunmuştur.CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından*(kolhareketi+2açili)* hesaplanan (υ_i) frekans, (R_i) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve a_i pozitif sabit olmak üzere.Çalışma algoritması ortalama 20 saat sürmüştür.Şekil 4.2 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.2 da, θ1 (0-90) ve θ_2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematic olarak titreşimi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ayrık Iki CPG'de GA Kullanımında Kolun 5 Saniyelik Animasyonu (GA + Fmincon)

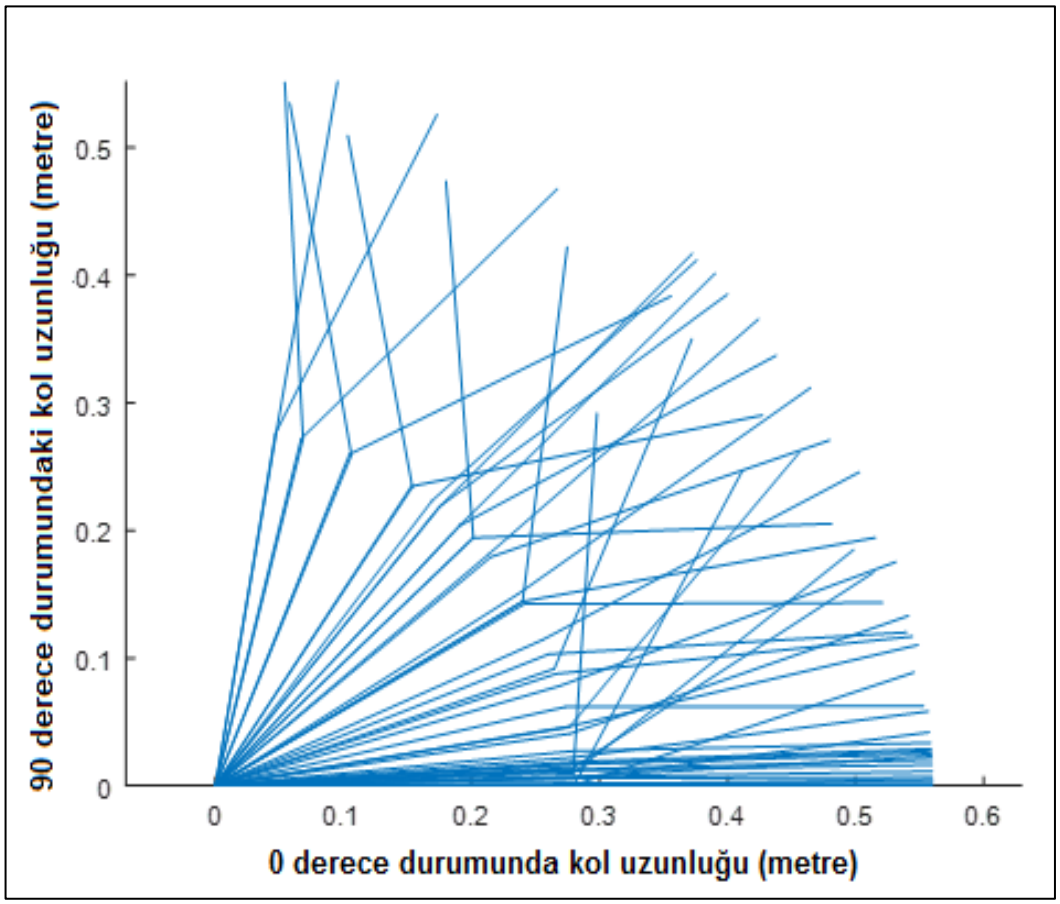


Grafik 4.2. Ayrık iki CPG'de GA kullanımında çıktılar (GA + fmincon)

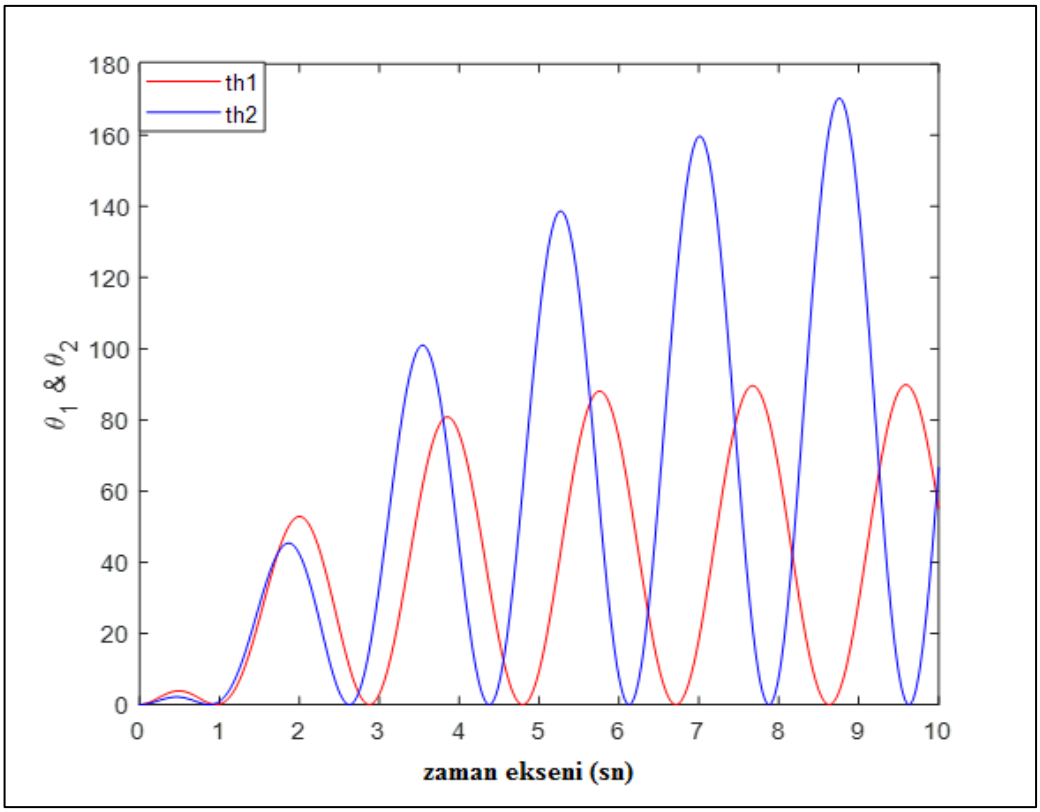
4.1.1.3. *İki Ayrık CPG'nin (GA + Desen Arama) ile Optimizasyonu*

Bu kısımda, aynı yolu izleyerek aynı objektif fonksiyonun iki ayrık CPGnin (GA + Desen arama) ile yapılan optimizasyon modelemesinde hibrit fonksiyon olarak kullanılmıştır.Sonuçlara baktığımzda hata oranı bir önceki iki ayrık CPG de GA kullamınına ve (GA + fmincon) göre ve daha az olduğu görülmektedir. MATlab - R2017a simülasyon sonucu elde edilen (hesaplanan) sonuçlar için ayrık iki ayrık cpg'nin (GA + Desen Arama) ile optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri 22.01250 olarak bulunmuştur.CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından *(kolhareketi+2açili)* hesaplanan (υ_i) frekans, (R_i) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve a_i pozitif sabit olmak üzere.Çalışma algoritması ortalama 20 saat sürmüştür.Şekil 4.3 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA, 5

saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir.Grafik 4.3de, θ1 (0-90) ve θ_2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematic olarak titreşimi gösterilmiştir. Ayrık iki CPG için bütün sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir:



Şekil 4.3. Ayrık iki CPG'de GA kullanımında kolun 5 saniyelik animasyonu (GA + desen arama)



Grafik 4.3. Ayrık iki CPG'de GA kullanımında çıktılar (GA + desen arama)

Tablo 4.1. *Ayrık durum için optimizasyon parameter değerleri*

Optimizasyon Türü	Parametre Değerleri (a_1, v_1,R_1, a_2, v_2,R_2)			J
GA	1.8640 0.9870	0.6257 0.4447	0.6430 1.6750	23.0540
GA +f_{mincon} (Hibrit Fonksiyon)	2.2140 1.4840	0.8106 0.6981	0.5583 1.9831	22.8322
GA + Desen Arama (Hibrit Fonksiyon)	2.0152 1.0690	0.5214 0.5712	0.7850 1.5700	22.01250

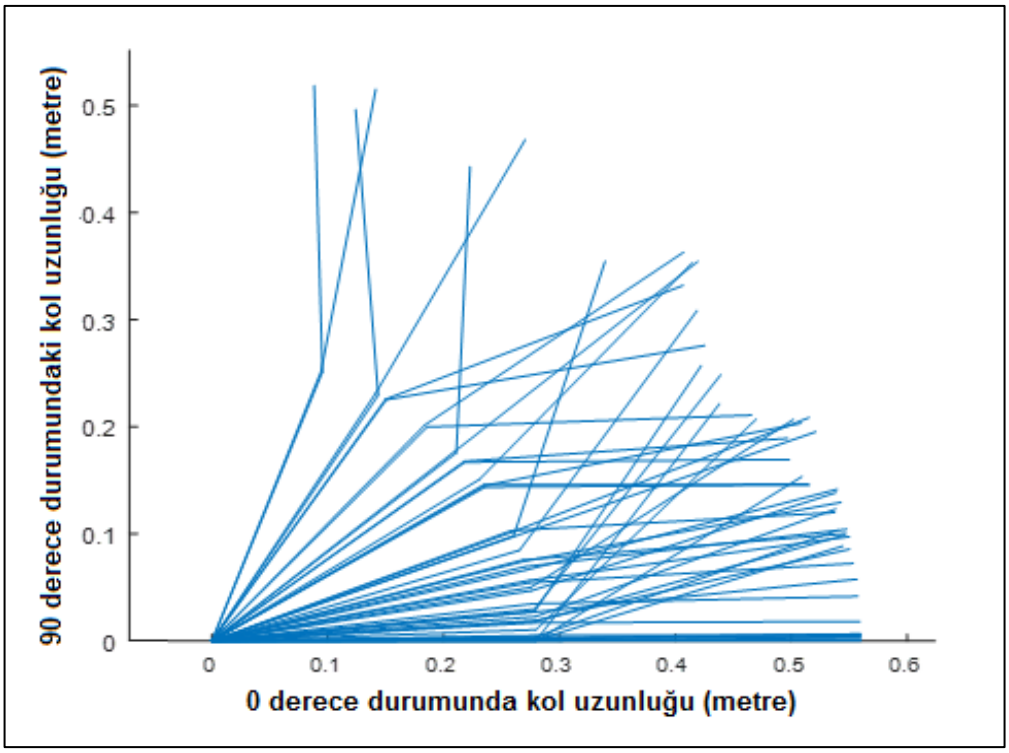
a_i (i=1,2) parametresi pozitif bir sayıdır, ve a_i'nin değeri arttığında frekans sayısı artmaktadır, ayrıca, R_1 ve R_2 parametreleri genliği vermektedir, ve CPG'lerin $0 \leq \theta_1 \leq \frac{\pi}{2}$, $0 \leq \theta_2 \leq \pi$ kısıtlamalarıyla sınırlıdırlar. Son olarak υ_1 ve υ_2 parametreleri, CPG'lerin φ_1 ve φ_2 fazlarını tanımlar.

4.1.2. Tek yönlü iki CPG'nin Optimizasyonu

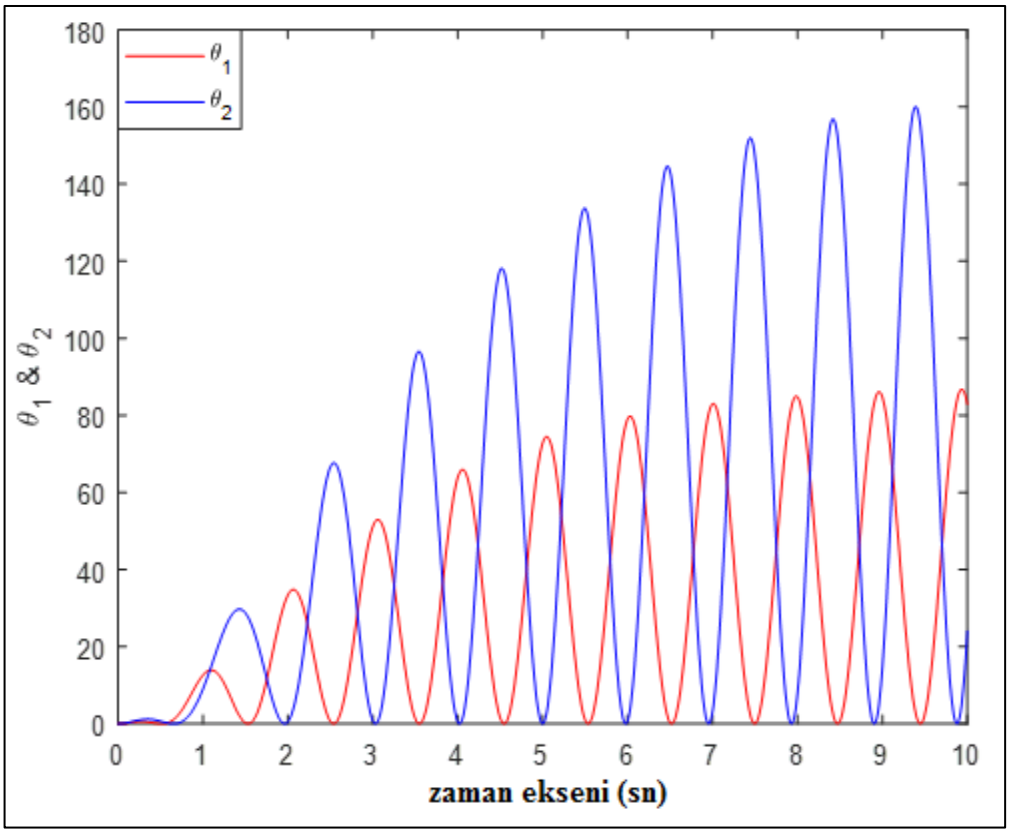
Bu kısımda tek yönlü durum için optimizasyon GA (sadece GA, GA + fmincon) hibrit fonksiyonu olarak fmincon kullanarak (GA + Desen arama) hibrit fonksiyonu olarak yapılmıştır.

4.1.2.1.*Tek yönlü İki CPG'nin GA ile Optimizasyonu*

Tek yönlü durumlar için, MATlab -R2017a simülasyon için elde edilen sonuçlar için tek yönlü iki CPG'nin optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri 21.7189 elde edilmiştir.CPG'lerin optimal parametreleri GA ile bulunarak yapılmıştır.CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından (kolhareketi+2açili) hesaplanan (υi) frekans, (Ri) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve a_i pozitif sabit olmak üzere, Tablo 4.2 de tek yönlü CPG'nin optimizasyonu ait tüm veriler gösterilmiştir. Sistem algoritması yaklaşık 20 saat sürmüştür. Şekil 4.4 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA, 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.4 de θ_1 (0-90) ve θ2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematik olarak titreşimi gösterilmiştir.



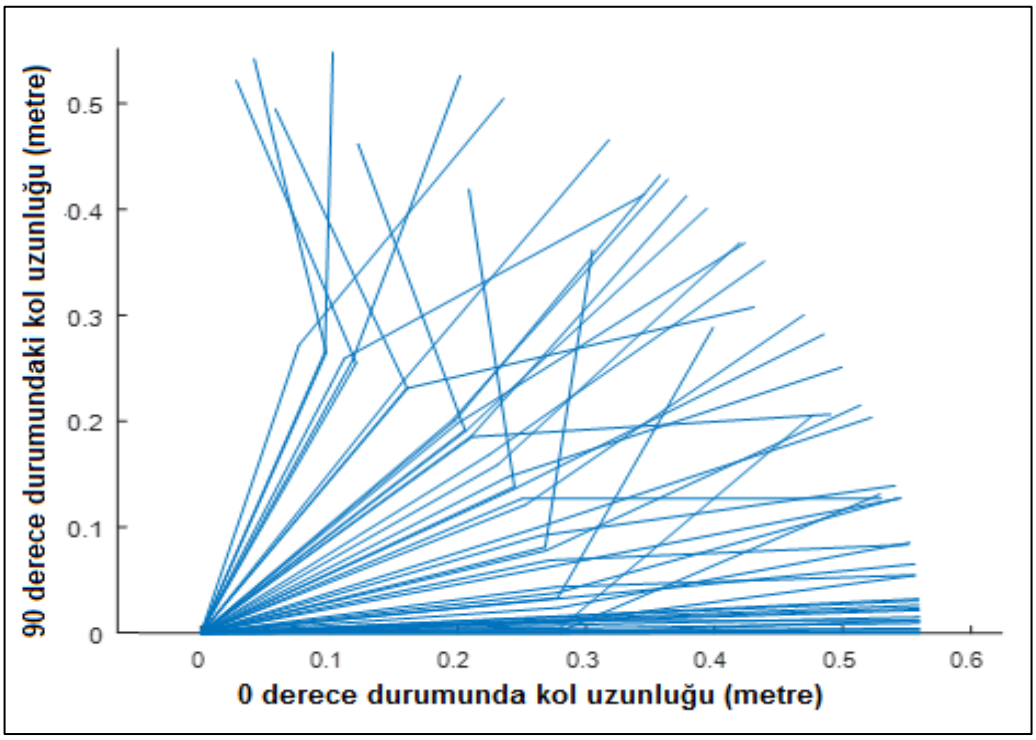
Şekil 4.4. Tek yönlü iki CPG'de GA kullanımında kolun 5 saniyelik animasyonu



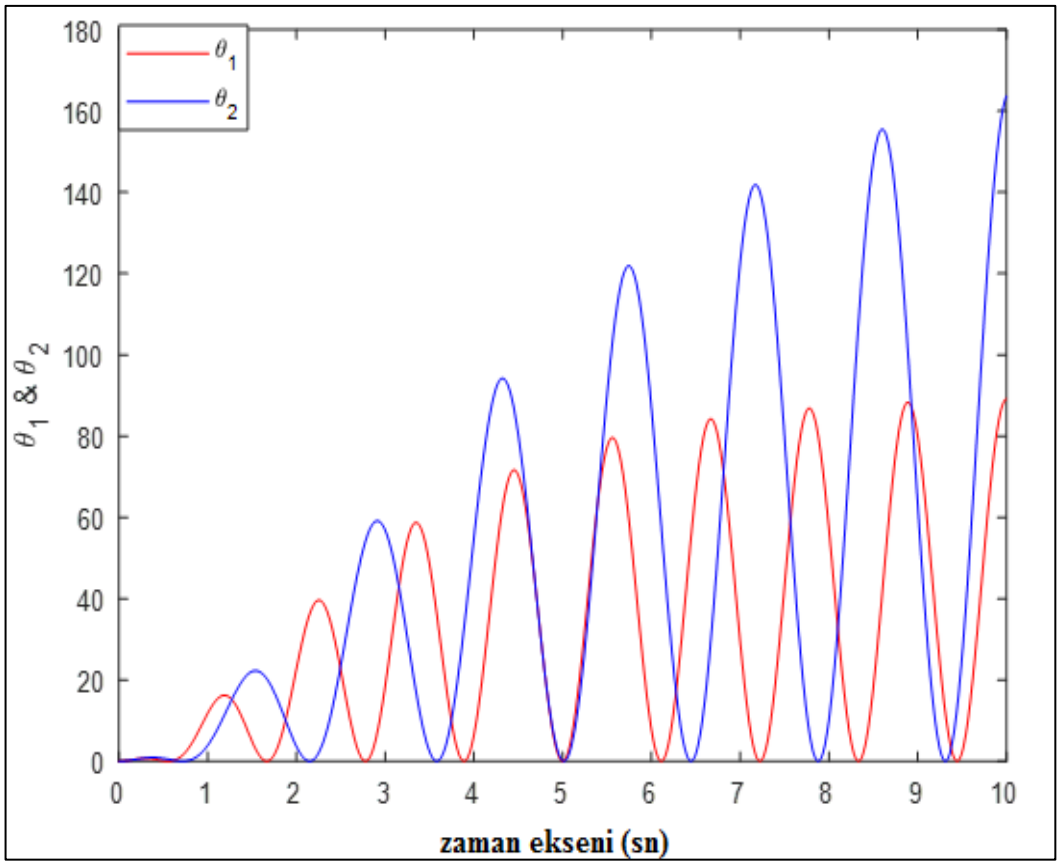
Grafik 4.4.Tek yönlü iki CPG'de GA kullanımında çıktılar

4.1.2.2.*Tek yönlü İki CPG'nin (GA + fmincon) ile Optimizasyonu*

MATlab-R2017 simülasyon sonucude elde edilen sonuçlar tek yönlü İki CPG'nin (GA + f_{mincon}) ile optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri 21.1874 olarak bulunmuştur.CPG'lerin optimal parametreleri GA ile bulunarak yapılmıştır.CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından (kolhareketi+2açili) hesaplanan (υi) frekans, (Ri) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve a_i pozitif sabit olmak üzere Sistem algoritması yaklaşık 20 saat sürmüştür. Şekil 4.5 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA, 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.5 de θ1 (0-90) ve θ2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematic olarak titreşimi gösterilmiştir.



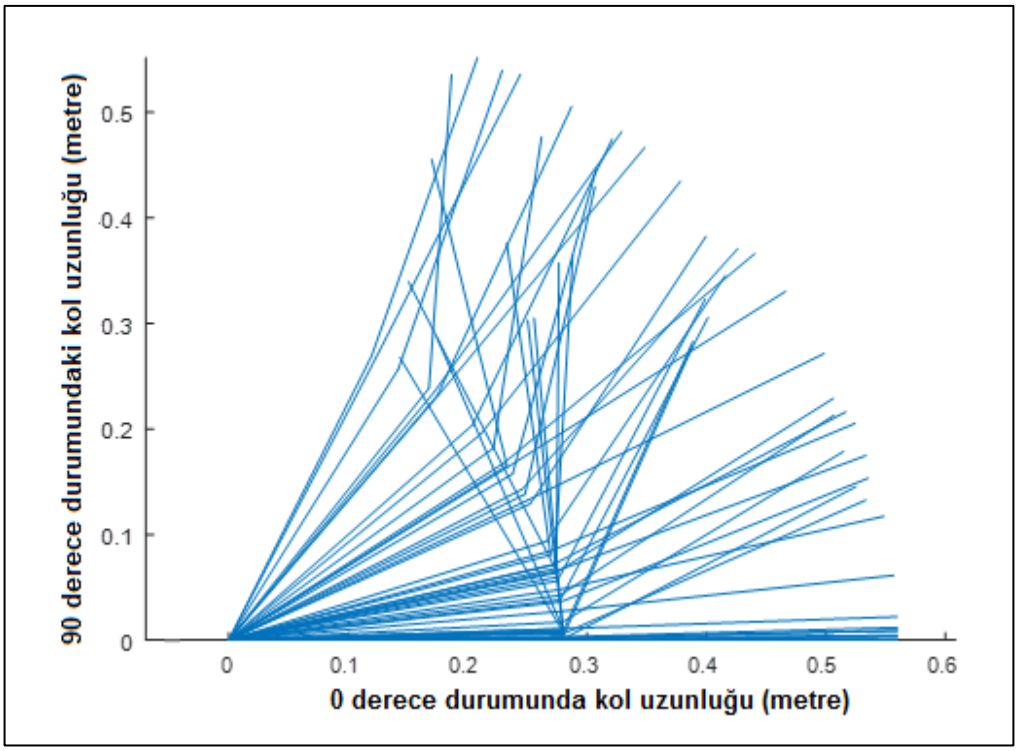
Şekil 4.5.Tek yönlü iki CPG'de (GA +fmincon) kullanımında kolun 5 saniyelik animasyonu



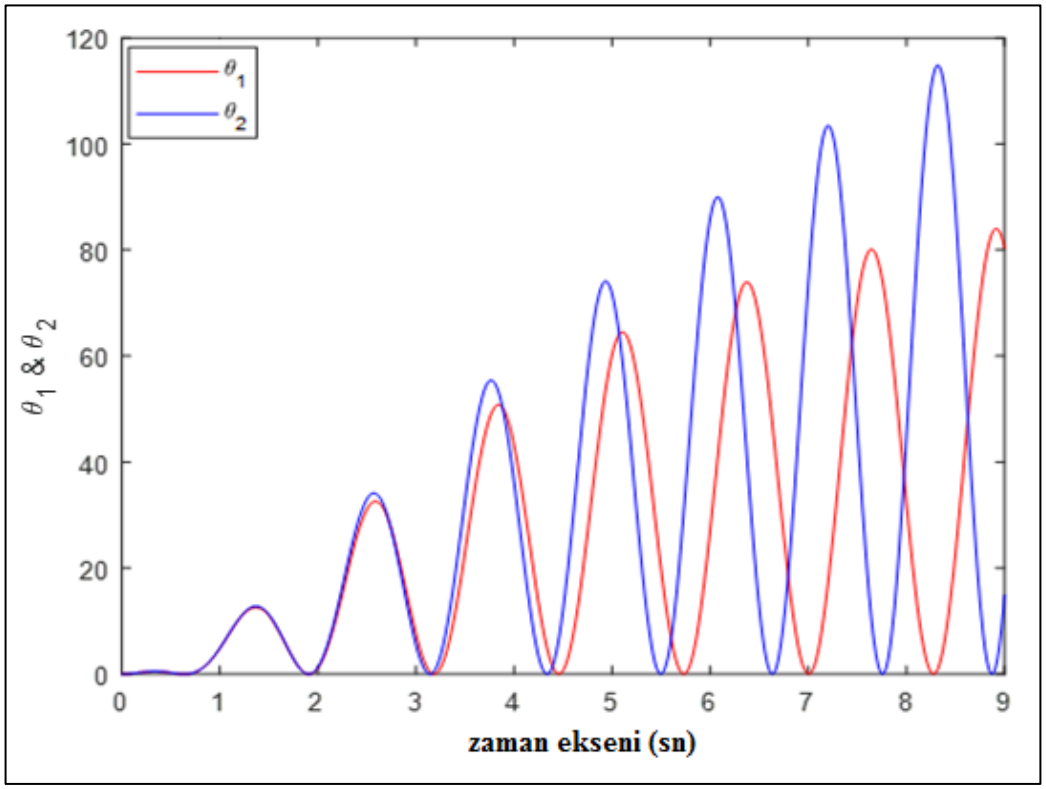
Grafik 4.5.Tek yönlü iki CPG'de (GA + fmincon) kullanımında çıktılar

4.1.2.3.*Tek yönlü İki CPG'nin (GA + desen arama) ile Optimizasyonu*

Tek yönlü iki CPGs in (GA +desen arama) ya ait MATlab -R2017a simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar tek yönlü İki CPG'nin (GA + desen arama) ile optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri 20.3571 olarak bulunmuş ve CPG'lerin optimal parametreleri GA ile bulunarak yapılmıştır. CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından (kolhareketi+2açili) hesaplanan (υi) frekans, (Ri) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve a_i pozitif sabit olmak üzere. Sistem algoritması yaklaşık 20 saat sürmüştür. Şekil 4.6 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA, 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.6 da θ1 (0-90) ve θ2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematic olarak titreşimi gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Tek yönlü iki CPG'de (GA + desen arama) kullanımında kolun 5 saniyelik animasyonu



Grafik 4.6. Tek yönlü iki CPG'de (GA + desen arama) kullanımında çıktılar

Tablo 4.2. *Tekyönlü durum için optimizasyon sonuçları*

Optimizasyon Türü	Parametre Değerleri (a_1, v_1, R1, a_2, v_2, R_2, w_{12}, φ_{12})	J
GA	2.6357 0.6900 0.7201 1.6322 0.6760 1.6479 0.9066 0.6349	21.7189
GA + f_{mincon} (Hibrit fonksiyon)	2.3021 0.6005 0.6850 1.3411 0.5452 2.0700 0.4561 0.3471	21.1874
GA + Desen arama (Hibrit fonksiyon)	2.4357 0.7000 0.7850 1.4143 0.6980 1.5700 0.8530 0.6523	20.3571

Tek yönlü iki CPG sisteminin bir denge noktası yoktur, doğrusal olmayan bir sistemdir, bu yüzden parametreler hakkında herhangi bir yorumda bulunmak zordur, ancak buna rağmen maliyet fonksiyonu bağlamında değerlendirildiğinde bir önceki duruma göre daha iyidir. Ayrıca çift ağırlık parametresi $w_{12,}$ ve faz sapma parametresi φ_{12} dengeyi bulmakta önemli bir görev görmektedir.

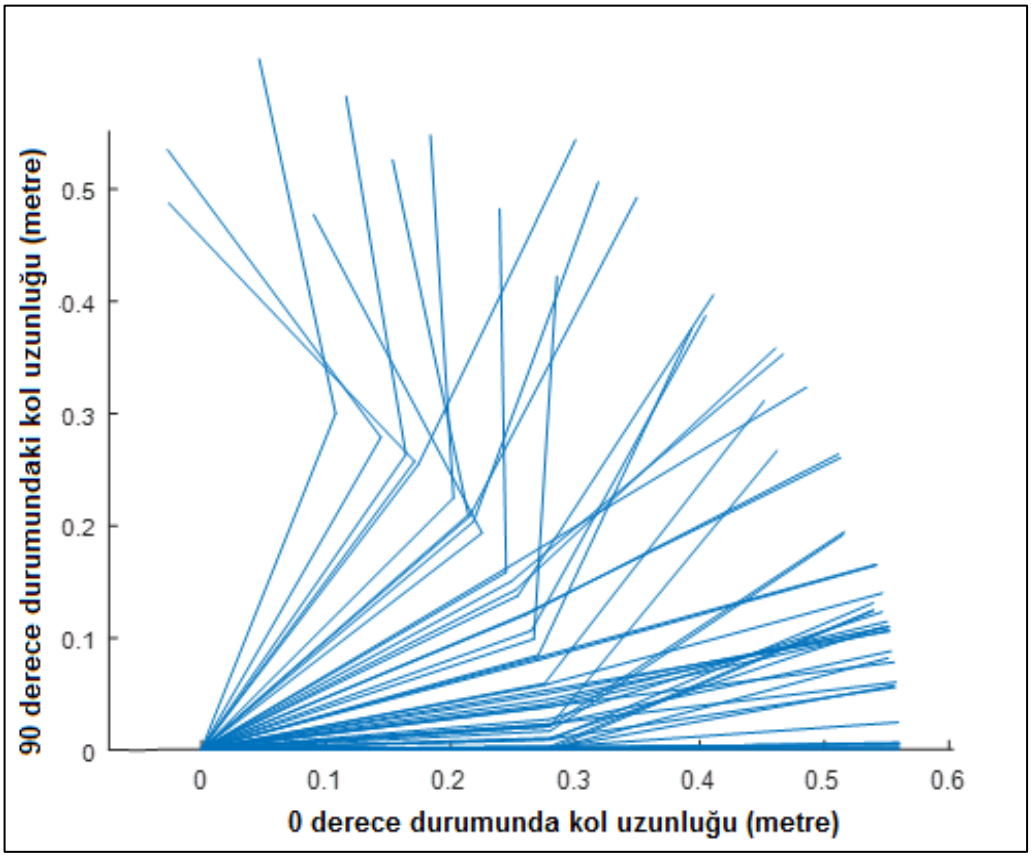
4.1.3. Çiftyönlü İki CPG'nin Optimizasyonu

Bu bölümde çiftyönlü durum için GA, (GA +fmincon) hibrit fonksiyonu olarak, ve (GA +Desen arama) hibrit fonksiyonu olarak) optimizasyon yapılmıştır.

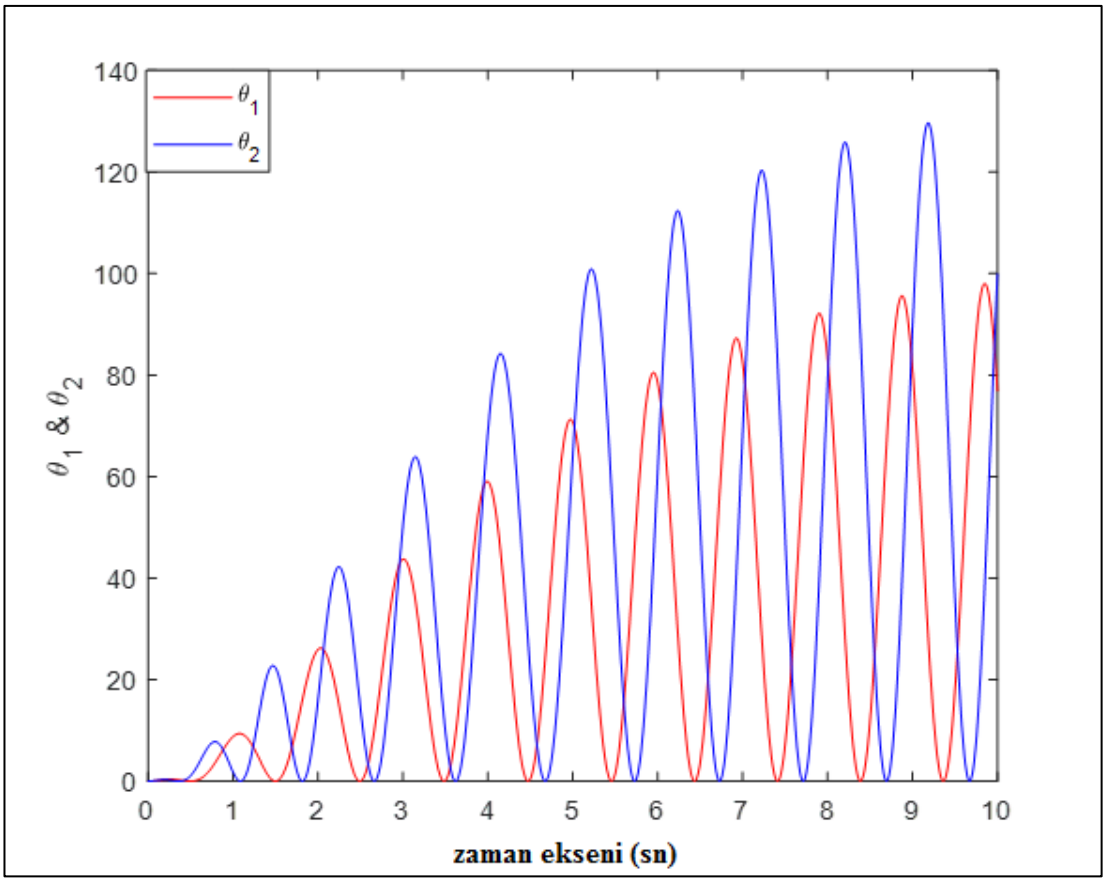
4.1.3.1. *Çiftyönlü İki CPG'nin GA Kullanımıyla Optimizasyonu*

Bubölümde CPG'lerin optimum parametrelerinibulmak için, daha önceki durumlardaki aynı yol izlenerek GA kullanılmıştır.MATlab -R2017a simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar için çift yönlü iki CPG'nin optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri 12.2467 ve CPG'lerin optimal parametreleri GA ile

bulunarak yapılmıştır.CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından (kolhareketi+2açili) hesaplanan (υi) frekans, (Ri) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve a_i pozitif sabit olmak üzere, tablo 4.3 de çift yönlü CPG'nin optimizasyonu ait tüm veriler gösterilmiştir. Sistem algoritması yaklaşık 20 saat sürmüştür. Şekil 4.7 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA, 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.7 de θ_1 (0-90) ve θ2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematic olarak titreşimi gösterilmiştir.



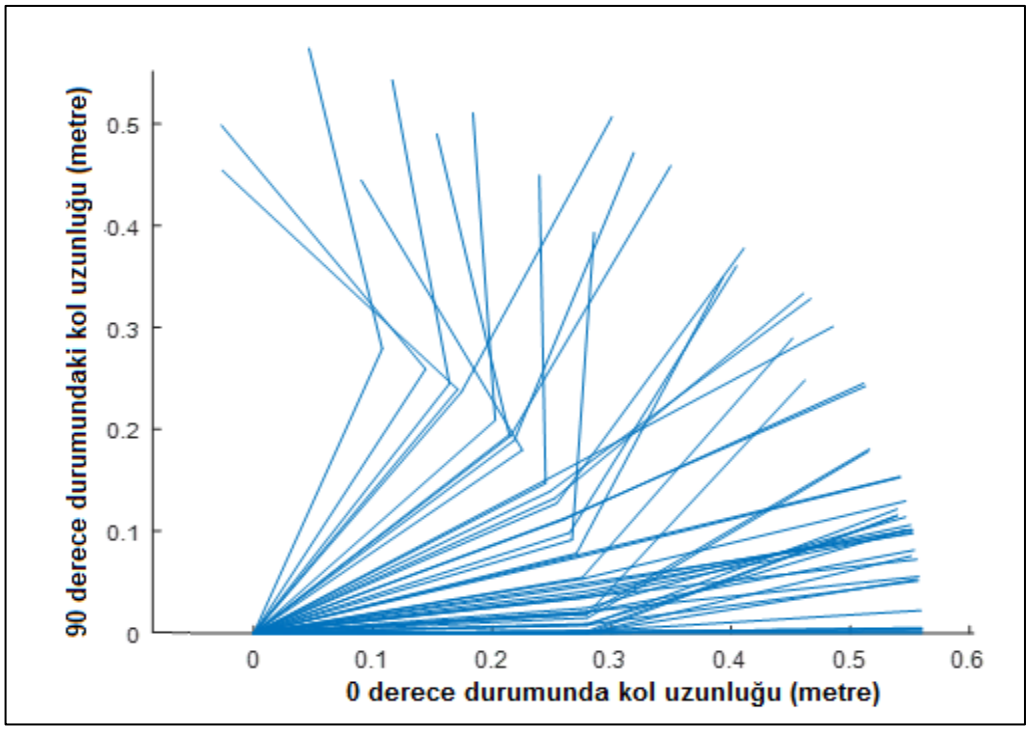
Şekil 4.7. Çift yönlü iki CPG'de GA kullanımında kolun 5 saniyelik animasyonu



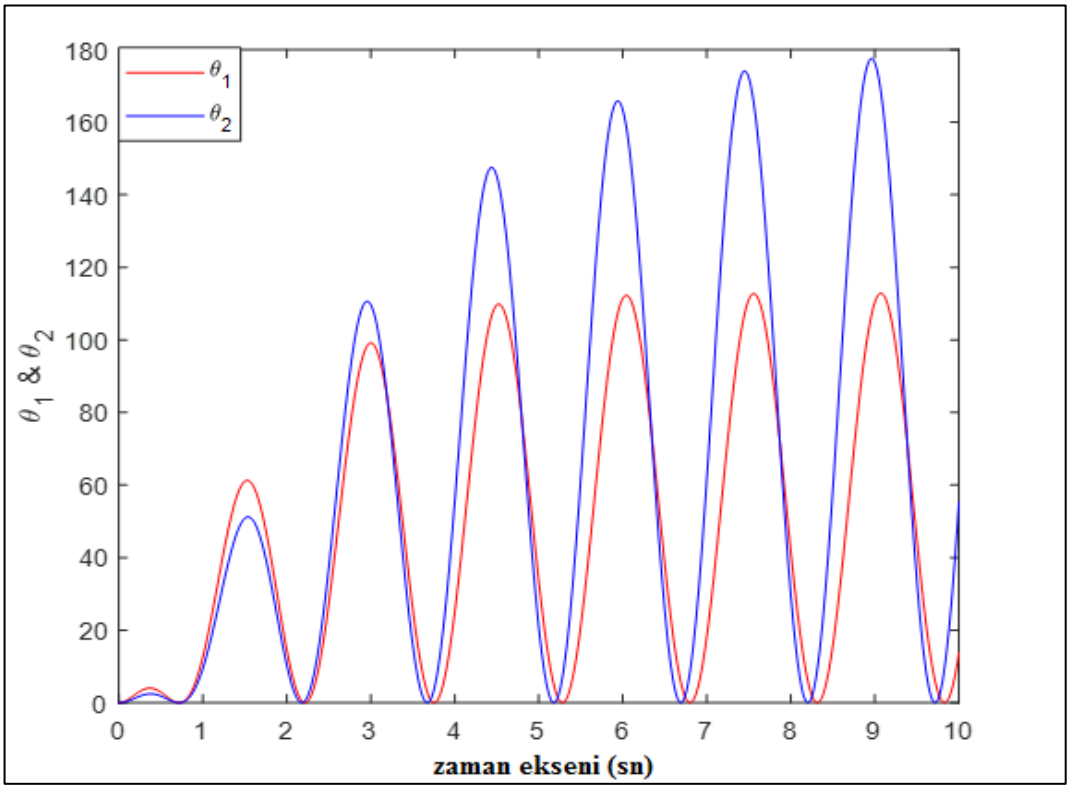
Grafik 4.7. Çift yönlü iki CPG'de GA kullanımında çıktılar

4.1.3.2. *Çiftyönlü İki CPG'nin (GA + fmincon) Kullanımıyla Optimizasyonu*

Bu bölümde CPG'lerin optimum parametrelerini bulmak için, daha önceki durumlardaki aynı yol izlenerek GA +f_{mincon} kullanılmıştır. Çift yönlü iki CPG nin(GA + f_{mincon}) için, MATlab -R2017a simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar için çift yönlü iki CPG'nin optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri için 12.1764 ve CPG'lerin optimal parametreleri GA +fmincon bulunarak yapılmıştır. CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından (kolhareketi+2açili) hesaplanan (υi) frekans, (Ri) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve ai pozitif sabit olmak üzere, sistem algoritması yaklaşık 20 saat sürmüştür. Şekil 4.8 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA, 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.8 de θ_1 (0-90) ve θ_2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematic olarak titreşimi gösterilmiştir.



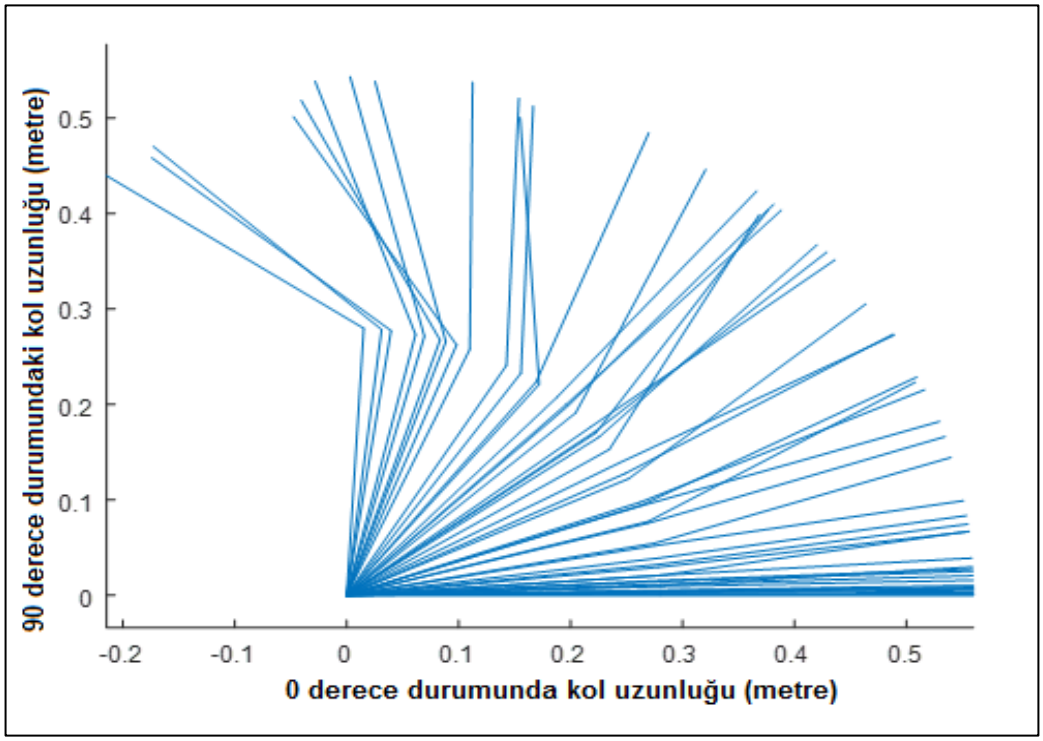
Şekil 4.8. Çift yönlü iki CPG'de (GA + fmincon) kullanımında kolun 5 saniyelik animasyonu



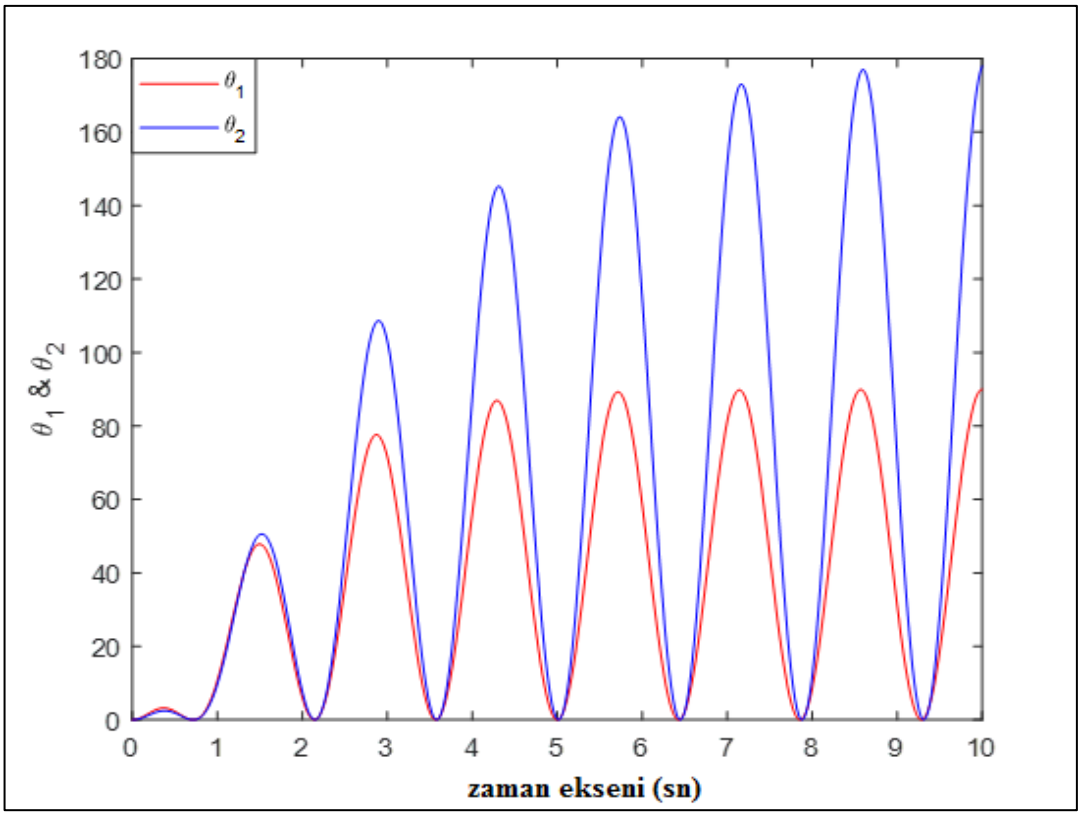
Grafik 4.8. Çift yönlü iki CPG'de (GA + fmincon) kullanımında çıktılar

4.1.3.3.*Çiftyönlü İki CPG'nin (GA + desen arama) Kullanımıyla Optimizasyonu*

Bu bölümde, CPG'lerin optimum parametrelerini bulmak için, daha önceki durumlardaki aynı yol izlenerek ve aynı objektif fonksiyon, (GA +Desen arama) hibrit fonksiyon olarak kullanılmıştır.Bu bölümde CPG'lerin optimum parametrelerini bulmak için, daha önceki durumlardaki aynı yol izlenerek (GA +Desen arama kullanılmıştır. Çiftyönlü İki CPG'nin (GA + desen arama) için, MATlab -R2017a de elde edilen sonuçlar için çift yönlü iki CPG'nin optimizasyonu objektif fonksiyon olarak J değeri 11.4665 değeri diğerlerine göre en küçük uygunluk fonksiyon değerine sahiptpr.CPG'lerin optimal parametreleri GA +fmincon bulunarak yapılmıştır. CPG paramateresi ile geliştirdiğim yazılım program tarafından (kolhareketi+2açili) hesaplanan (υi) frekans, (Ri) genlik objektif fonksiyonuna (J) ait hata oranı ve ai pozitif sabit olmak üzere, sistem algoritması yaklaşık 20 saat sürmüştür. Şekil 4.9 de sağ kolun ayrık iki CPG lerin optimal GA, 5 saniyelik animasyon görüntüsü orjinal lisanslı MATlab-R2017a de verilmiştir. Grafik 4.9 da, θ_1 (0-90) ve θ_2 (0-180) açılarında, 10 saniyelik zaman dilimindeki kolun kinematic olarak titreşimi gösterilmiştir.



Şekil 4.9.Çift yönlü iki CPG'de (GA + desen arama) kullanımında kolun 5 saniyelik animasyonu



Grafik 4.9. Çift yönlü iki CPG'de (GA + desen arama) kullanımında çıktılar

Tablo 4.3. *Çiftyönlü durum için optimizasyon sonuçları*

Optimizasyon türü	Parametre değerleri (a_1, v_1, R_1, a_2, v_2, R_2, w_{12}, φ_{12}, w_{21}, φ_{21})	J
GA	2.8650 1.0000 0.9030 1.7990 1.1580 1.5630 0.4465 1.9266 1.8951 2.1254	12.2467
GA + f_{mincon} (Hibrit fonksiyon)	2.1357 0.9742 0.7648 1.1075 1.0035 3.0414 0.3681 1.8054 1.9172 2.0161	12.1764
GA + desen arama (Hibrit fonksiyon)	2.4357 0.7000 0.8850 1.4143 0.9107 2.9760 0.8530 0.7523 2.2641 0.6452	11.4665

Çift yönlü durum için bütün bu sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir.Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'e incelendiğinde,, çift yönlü iki CPG'nin hibrit fonksiyon ve J maliyet fonksiyonu kullanımıyla optimizasyonu, toplam parametre sayısı 10 olsa dahi, kol için en iyi RP'leri vermektedir, ve çift yönlü iki CPG diğer iki durumdan daha etkilidir.

4.2. CPG Çıktılarının Gerçek Verilerle Kıyaslanması

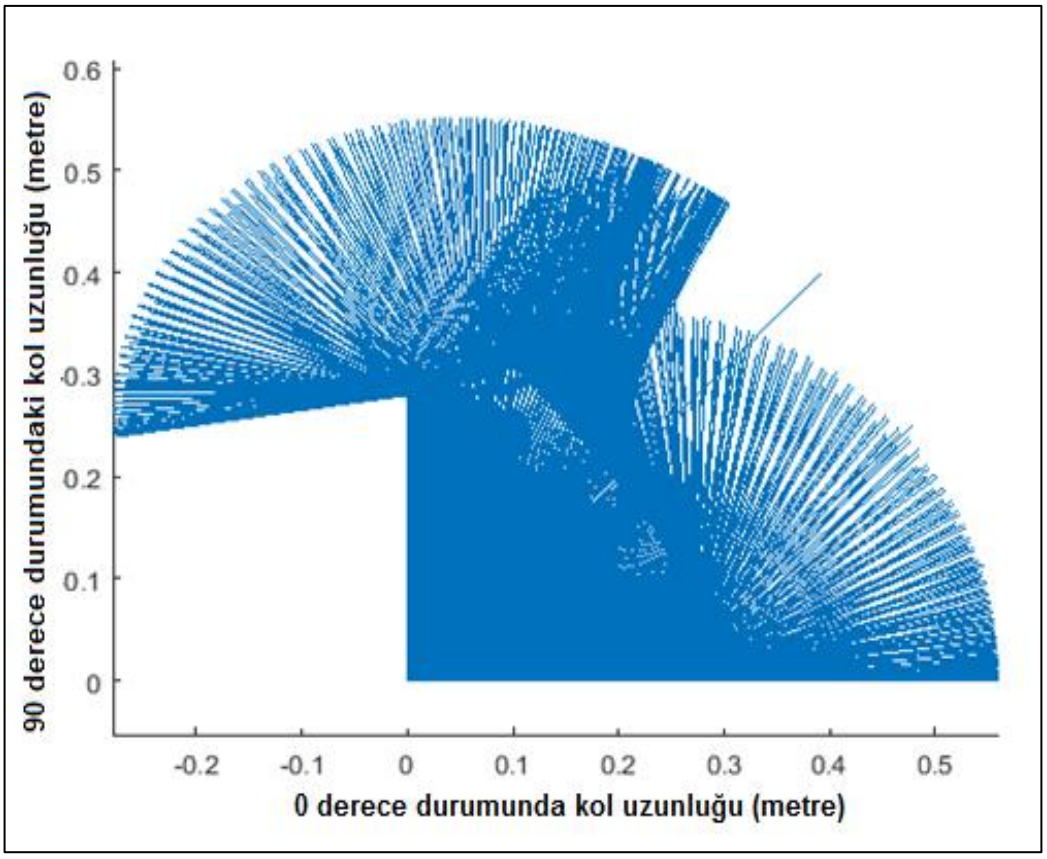
Çift yönlü iki CPG'nin optimizasyonunun diğer iki durumdan daha iyi olduğuna dair daha fazla kanıt elde etmek için gerçek veriler ve CPG çıktılarıyla karşılaştırılmıştır.Öncelikle CPG'lerin tek kolun dart atma hareketinden elde ettiğimiz RP (Ritmik Desenler), gerçek veri benzer RP'ler ürettiğini göstermek için kullanacağımız maliyet fonksiyonu şu şekildedir:

$$G = sum\ ((\theta_{CPG1} - \theta_{1r})^2 + (\theta_{CPG2} - \theta_{2r})^2) \tag{4.1}$$

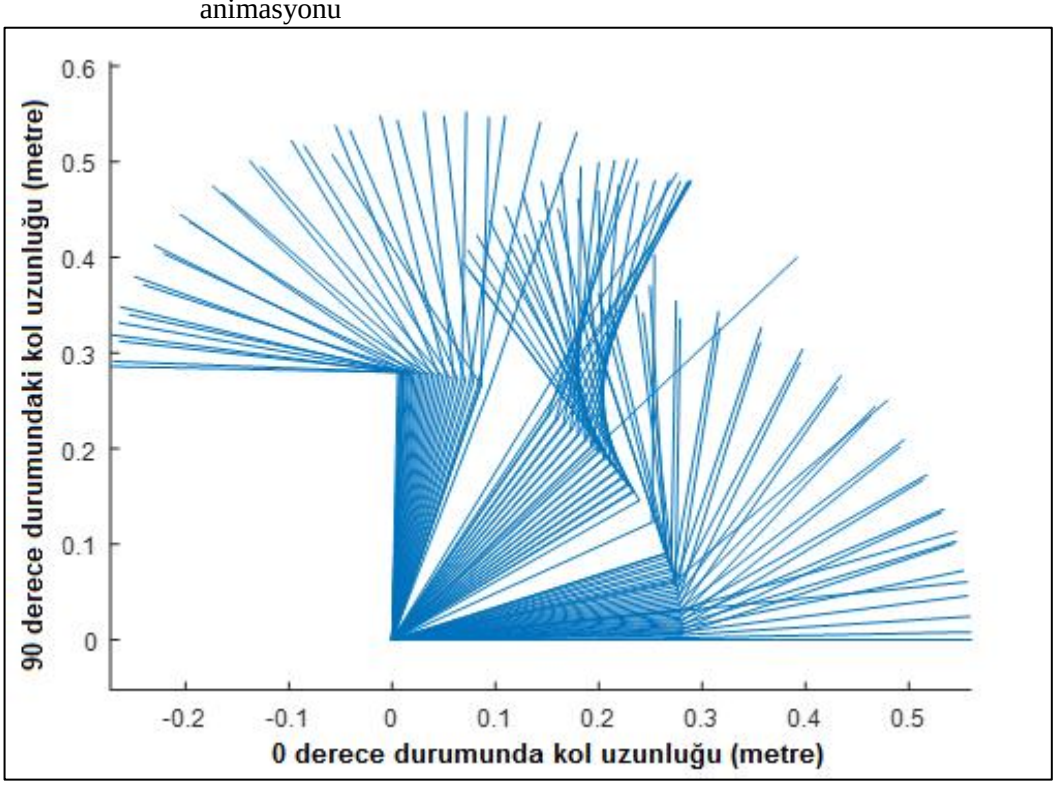
Burada,θ_{CPG1} CPG'den elde edilecek ilk çıktıyı, θ_{CPG2} ise CPG'nin ikinci çıktısını göstermektedir. Omuz açısıs,θ_{1r} ilk açının gerçek verisi ve dirsek açısı, θ_{2r} ikinci açının gerçek verisidir. Objektif fonksiyonun görevi CPG'ler ve gerçek veriler arasındaki hatayı azaltmaktır.
Üç farklı durum için (ayrık, tek yönlü ve çift yönlü) sonuçlara ait veriler aşağıda gösterilmiştir.

4.2.1. Ayrık İki CPG'nin Gerçek Verilerle Optimizasyonu

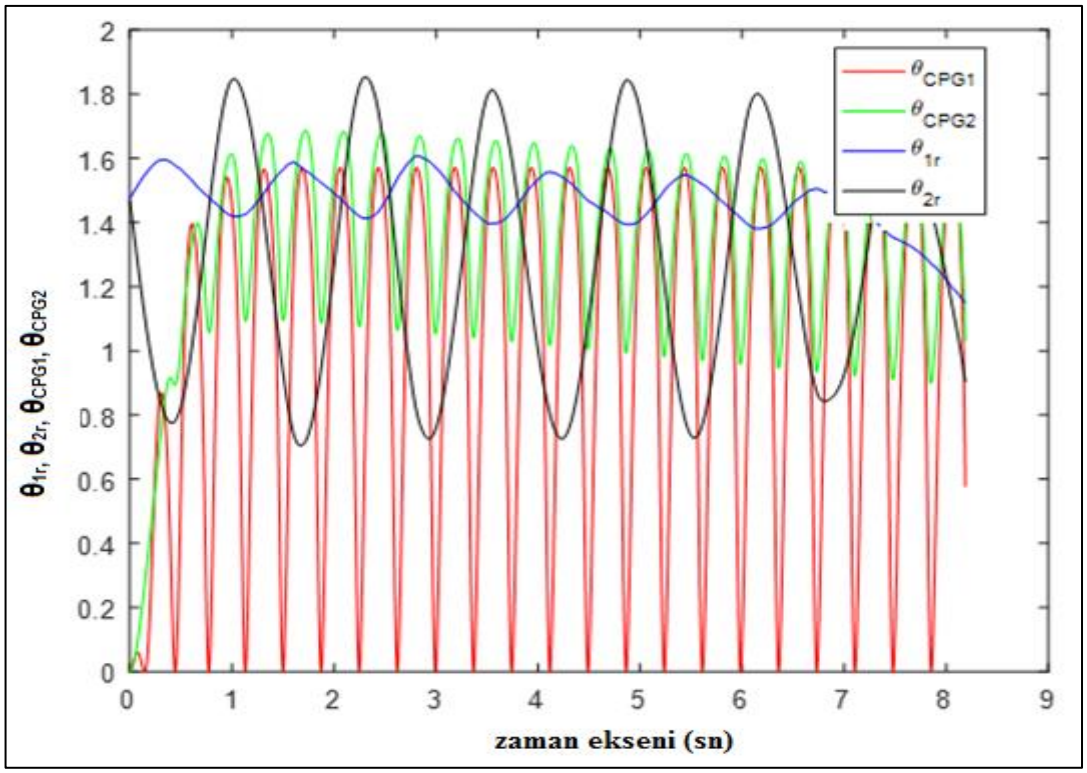
Ayrık İki CPG'nin uygunluk objektif fonksiyonu ilk olarak ayrık iki CPG'ye uyguladığımızda, aşağıdaki şekillerde de gösterildiği gibi CPG çıktılarıyla gerçek veriler arasında hata oranı en az mertebededir. Çünkü 4.1 formülünden de görüldüğü gibi uygunluk fonksiyonu olarak idaldir.



Şekil 4.10. 8.188 sn gerçek verilerin kullanımı, ayrık iki CPG kullanımıyla kolun animasyonu



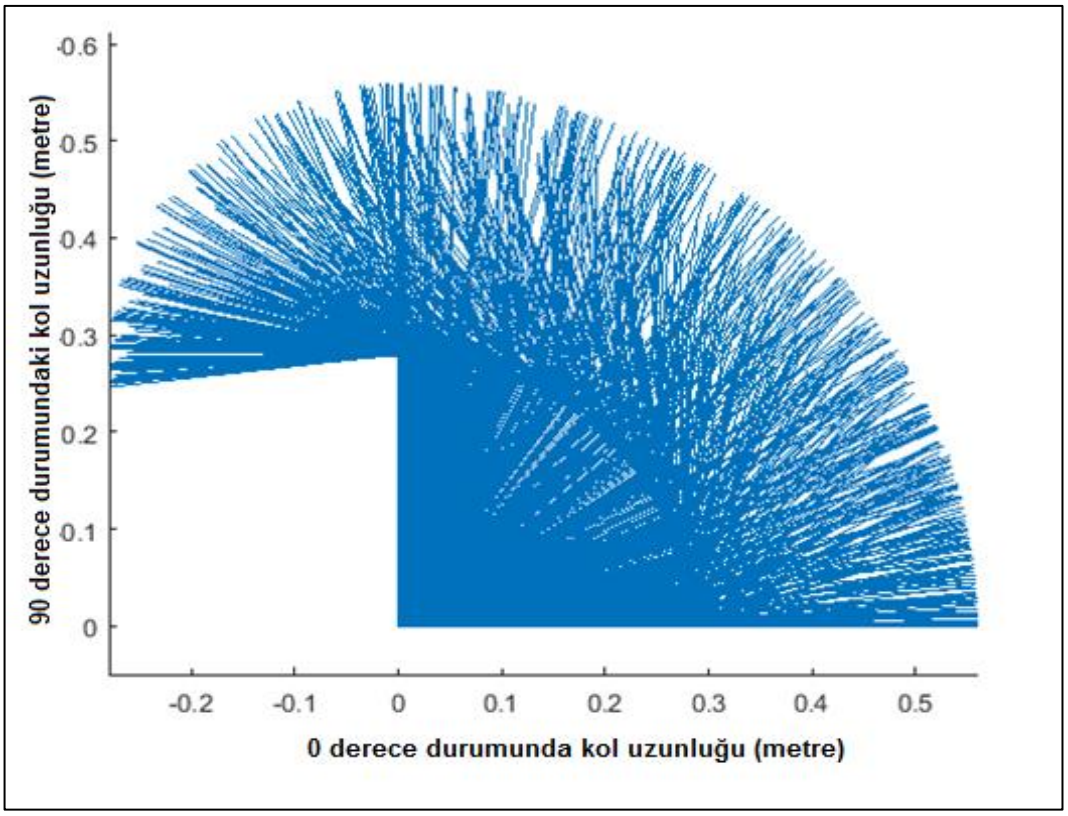
Şekil 4.11. Bir sn gerçek verilerin kullanımı, ayrık iki CPG kullanımıyla kolun animasyonu



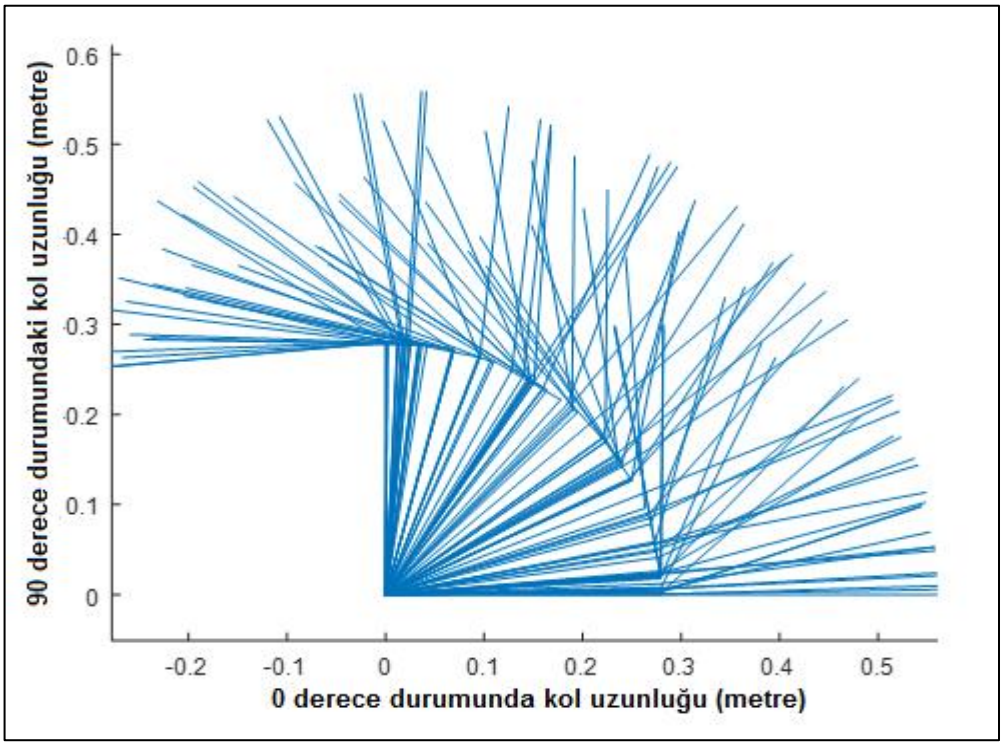
Grafik 4.10. 8.188 sn gerçek verilerin kullanımı ile ayrık iki CPG'nin çıktıları

4.2.2. Tek yönlü iki CPG'nin Gerçek Verilerle Optimizasyonu

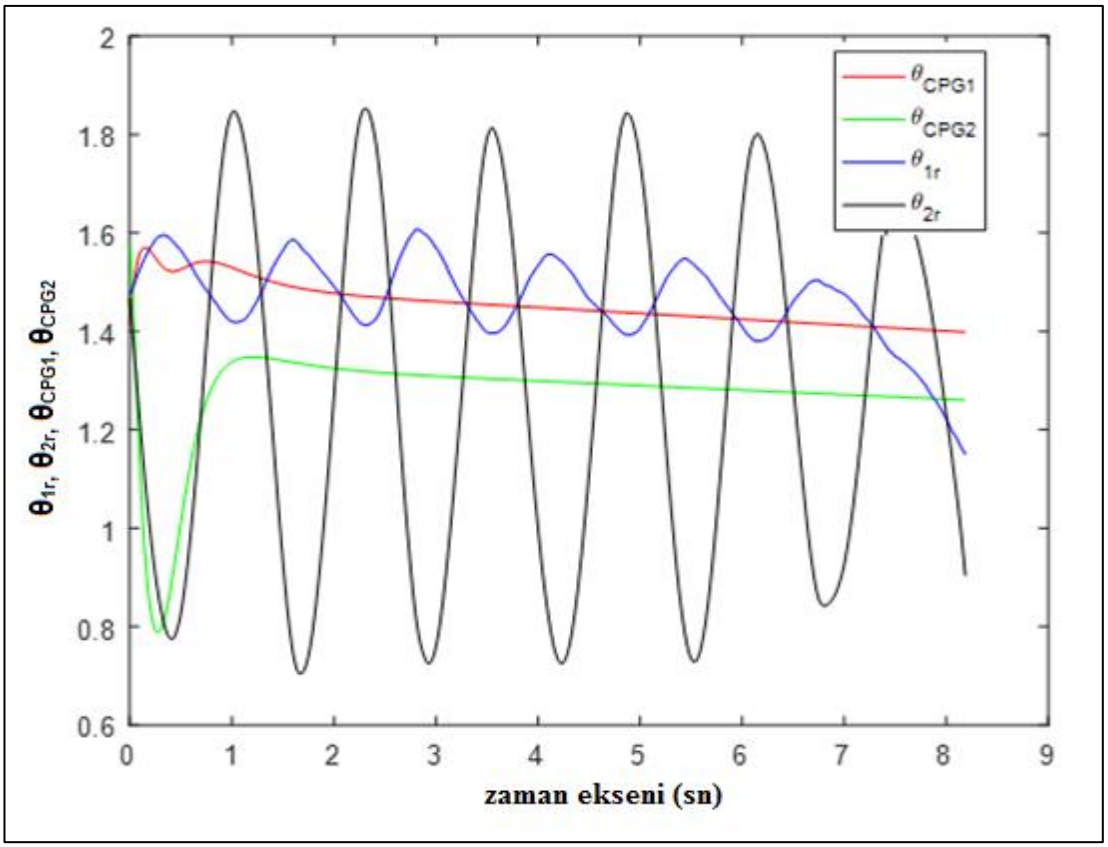
G ,uygunluk objektif fonksiyonu denklem 4.1 de ikinci olarak tek yönlü iki CPG'ye uyguladığımızda, aşağıdaki şekillerde de gösterildiği gibi CPG çıktılarıyla gerçek veriler arasında halen hata bulunmaktadır; ancak bu durumdaki hatalar ayrık duruma göre daha iyidir, yani daha küçüktür.



Şekil 4.12. 8.188 sn gerçek verilerin kullanımı, tek yönlü CPG kullanımıyla kolun animasyonu



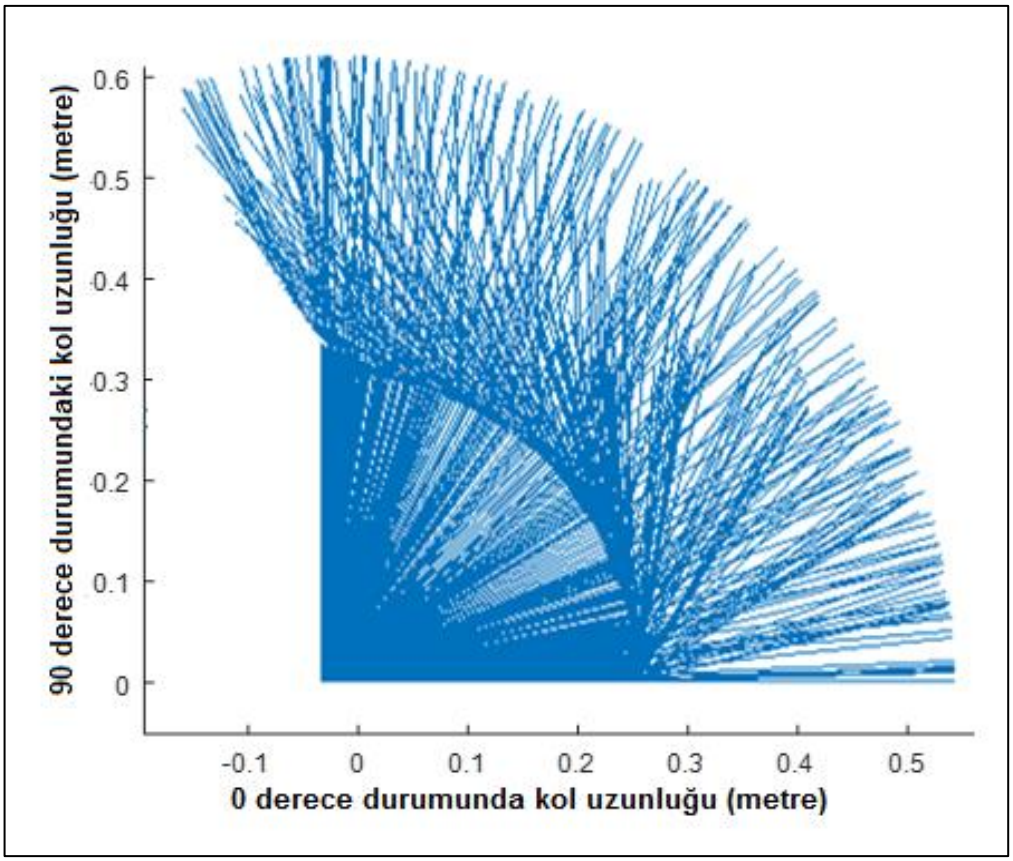
Şekil 4.13. Bir sn gerçek verilerin kullanımı, tek yönlü iki CPG kullanımıyla kolun animasyonu



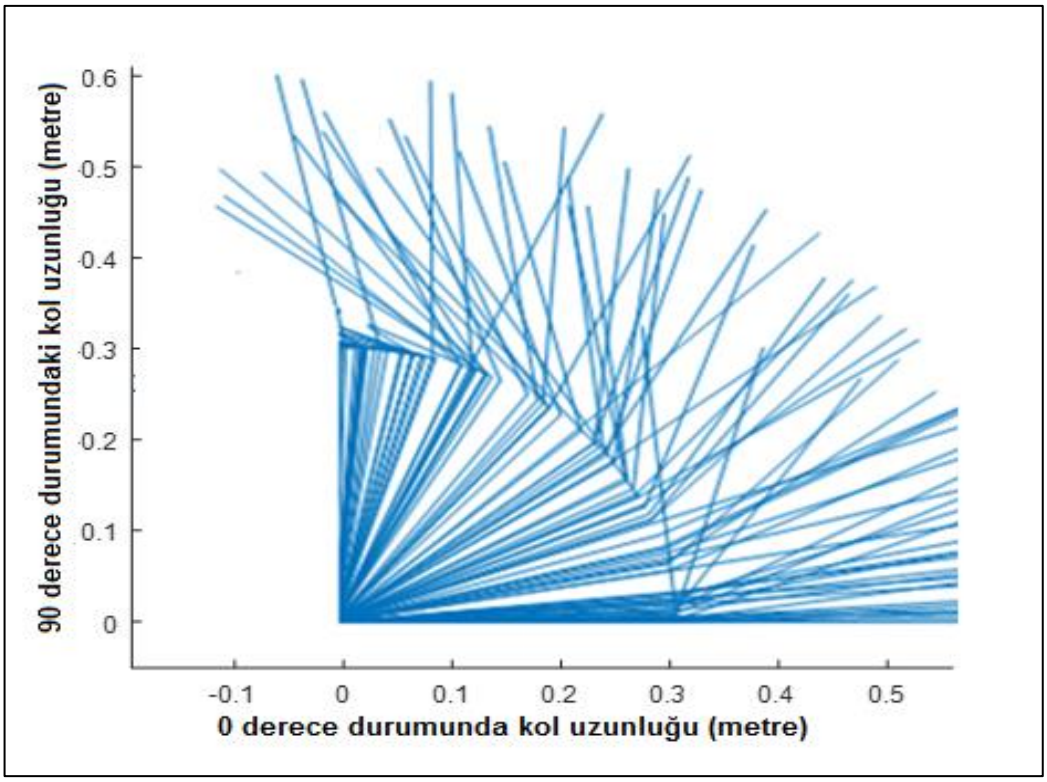
Grafik 4.11. 8.188 sn gerçek verilerin kullanımı ile tek yönlü iki CPG'nin çıktıları

4.2.3. Çift yönlü iki CPG'nin Gerçek Verilerle Optimizasyonu

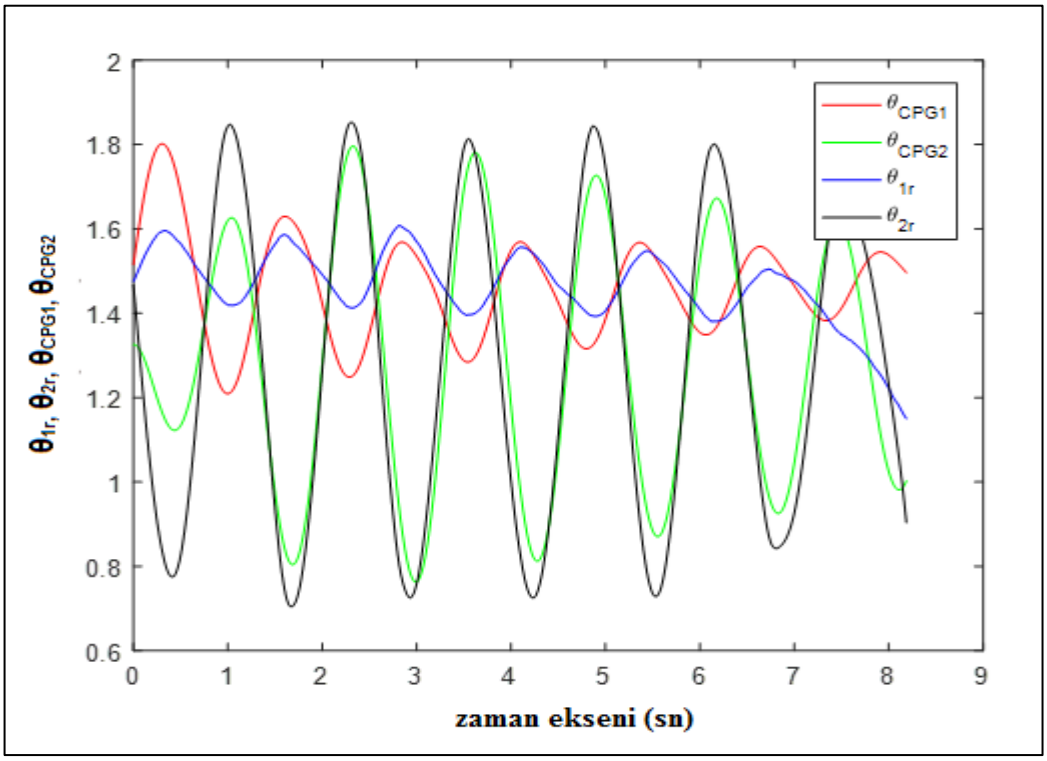
Objektif fonksiyonu üçüncü olarak çift yönlü iki CPG'ye uyguladığımızda, şekiL 4.8 de gösterildiği gibi CPG çıktılarıyla gerçek veriler arasında küçük de olsa hata bulunmaktadır; ancak bu durumdaki hatalar diğer iki duruma göre çok daha iyidir, yani çok daha küçüktür.



Şekil 4.14. 8.188 sn gerçek verilerin kullanımı, çift yönlü iki CPG kullanımıyla kolun animasyonu



Şekil 4.15. Bir sn gerçek verilerin kullanımı, çift yönlü iki CPG kullanımıyla kolun animasyonu



Grafik 4.12. The 8.188 sn gerçek verilerin kullanımı ile çift yönlü iki CPG'nin çıktıları

Çift yönlü iki CPG'nin, gerçek verilerden elde edilenlere benzer RP'ler ürettiği belirtilmelidir, ayrıca CPG'lerin insan kolu için duyusal geri bildirim olmaksızın RP'ler üretebildiğini güçlü bir şekilde söyleyebiliriz.

.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, CPG metodu kullanarak insan kolunun yeni bir robotik modelemesi geliştirlmiştir.Çalışmada özel olarak, CPG'lerin serbestlik derecesi (DOF) 2 olacak şekilde bir kolun hareketlerini durumu incelenmiştir. Burada hareket olarak dart oyununun her kol hareketindeki uygun davranışı dairesel hareketler baz alınmıştır.Bunun için GA ve Hibrit fonksiyonuyla optimizasyon tekniklerinin gelişmiş bir algoritması kullanılmıştır. Çalışmada,İki CPG'nin sırasıyla ayrık, tek yönlü ve çift yönlü olması durumları incelenmiştir.Bunların yanı sıra, optimizasyon sırasında farklı durumlar için analiz ve kıyaslamalar yapılmıştır.Çalışmada ayrıca duyusal geribildirim kolun şeklinin değiştirilmesinde çok önemli bir rol oynasa bile, herhangi bir duyusal geribildirim olmadan CPG'lerin kullanımıyla insan kolunun kontrol edilebileceğini ve CPG'lerin doğal olarak ortaya çıkanlara benzer RP'ler üretebileceğini gösterdik. CPG'lerin içinde yer alan bazı parametreler oldukça önemlidir ve CPG'lerin çıktılarını etkilemektedir; örneğin ayrık iki CPG durumunda çok önemli olan pozitif a_1 ve a_2 parametreleri. Tek yönlü iki CPG durumunda ise a_1, a_2 pozitif parametrelerinin yanı sıra bağlaşma ağırlığı w_{12} ve fazla ilgili φ_{12} parametreleri önemlidir. Ve çift yönlü iki CPG durumunda ise a_1, a_2 pozitif parametreleri, bağlaşma ağırlıkları w_{12}, w_{21} ve faz farklarını veren φ_{12} , φ_{21} önemlidir. R_1, R_2, v_1 ve v_2 gibi diğer parametrelerin ise çok etkili olmadıkları görülmüştür. Ayrıca daha iyi sonuçlar elde edebilmek için genlik ve frekansın kontrol edilmesi hayati önem taşımaktadır. Deneyler ve simülasyonlar sonunda çift yönlü iki CPG'nin diğer iki duruma göre (ayrık ve tek yönlü) daha iyi RP'ler üretebildiği, hem gerçek verilerle hem de simülasyon verileriyle gösterilmiştir.Sonuç olarak, farklı hayvanların robotik hareketlerini ve robotik lokomosyonlarını kontrol etmek için CPG'lerin kullanımına dair var olan literatürün taranması faydalı olmuştur.Bu çalışma CPG'lerin ayrıca herhangi bir duyusal geribildirim olmaksızın kol hareketlerini kontrol edebileceklerini göstermiştir.İleriki bilimsel araştırmalarda CPGs metoduyla insan vücudundaki daha başka fonksiyonların, örneğin beyin veya diğer organların bir kısım fonksiyonlarının kontrol edilip edilemeyeceği incelenebilir.Ayrıca ikiden fazla sebestlik dereceli için bu metotlar geliştilebilinir.

KAYNAKLAR

Elbori. A., Turan. M and Kutluk B.Arikan (2017). "Optima for animals."

Amrollah, E. and P. Henaff (2010). "On the role of sensory feedbacks in Rowat–Selverston CPG to improve robot legged locomotion." Frontiers in neurorobotics 4: 113.

Anderson-Cook, C. M. (2005). Practical genetic algorithms, Taylor & Francis.

Arena, P. (2000). "The central pattern generator: a paradigm for artificial locomotion." Soft Computing 4(4): 251-266.

Arena, P., L. Fortuna, M. Frasca and G. Sicurella (2004). "An adaptive, self-organizing dynamical system for hierarchical control of bio-inspired locomotion." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics) 34(4): 1823-1837.

Azodi-Avval, R. and F. Bahrami (2011). A mathematical model of arm movement during rhythmic motor activity. Biomedical Engineering (ICBME), 2011 18th Iranian Conference of, IEEE.

Bässler, U. (1986). "On the definition of central pattern generator and its sensory control." Biological cybernetics 54(1): 65-69.

Brown, T. G. (1911). "The intrinsic factors in the act of progression in the mammal." Proc. R. Soc. Lond. B 84(572): 308-319.

Brown, T. G. (1914). "On the nature of the fundamental activity of the nervous centres; together with an analysis of the conditioning of rhythmic activity in progression, and a theory of the evolution of function in the nervous system." The Journal of physiology 48(1): 18-46.

Caldas, L. G. and L. K. Norford (2002). "A design optimization tool based on a genetic algorithm." Automation in construction 11(2): 173-184.

Carr, J. (2014). "An introduction to genetic algorithms." Senior Project 1: 40.

Chong, E. K. and S. H. Zak (2013). An introduction to optimization, John Wiley & Sons.

Crespi, A. and A. J. Ijspeert (2006). AmphiBot II: An amphibious snake robot that crawls and swims using a central pattern generator. Proceedings of the 9th international conference on climbing and walking robots (CLAWAR 2006).

Crespi, A. and A. J. Ijspeert (2008). "Online optimization of swimming and crawling in an amphibious snake robot." IEEE Transactions on Robotics 24(1): 75-87.

Degallier, S., L. Righetti, S. Gay and A. Ijspeert (2011). "Toward simple control for complex, autonomous robotic applications: combining discrete and rhythmic motor primitives." Autonomous Robots 31(2-3): 155-181.

Delvolvé, I., P. Branchereau, R. Dubuc and J.-M. Cabelguen (1999). "Fictive rhythmic motor patterns induced by NMDA in an in vitro brain stem–spinal cord preparation from an adult urodele." Journal of Neurophysiology 82(2): 1074-1077.

Elbori, A. E. G., M. Turan and K. B. Arıkan (2017). Estimating Gait Patterns Of One Leg By Using Central

Pattern Generators. International Conference, Istanbul, Turkey

Elbori, A. E. G., M. Turan and K. B. Arıkan (2017). "Optimization of Central Patterns Generators."

Goldberg, D. (1989). "Genetic algorithms in optimization, search and machine learning." Reading: Addison-Wesley.

Golubitsky, M. and I. Stewart (2003). The symmetry perspective: from equilibrium to chaos in phase space and physical space, Springer Science & Business Media.

Grillner, S., T. Deliagina, A. El Manira, R. Hill, G. Orlovsky, P. Wallén, Ö. Ekeberg and A. Lansner (1995). "Neural networks that co-ordinate locomotion and body orientation in lamprey." Trends in neurosciences 18(6): 270-279.

Grillner, S., A. Georgopoulos and L. Jordan (1997). Neurons, networks, and motor behavior, Citeseer.

Hasan, A., M. Vuolle and K. Sirén (2008). "Minimisation of life cycle cost of a detached house using combined simulation and optimisation." Building and environment 43(12): 2022-2034.

Ijspeert, A. J. (2008). "Central pattern generators for locomotion control in animals and robots: a review." Neural networks 21(4): 642-653.

Ijspeert, A. J. and J.-M. Cabelguen (2006). Gait transition from swimming to walking: investigation of salamander locomotion control using nonlinear oscillators. Adaptive Motion of Animals and Machines, Springer: 177-188.

Ijspeert, A. J. and A. Crespi (2007). Online trajectory generation in an amphibious snake robot using a lamprey-like central pattern generator model. Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on, IEEE.

Ijspeert, A. J., A. Crespi, D. Ryczko and J.-M. Cabelguen (2007). "From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model." science 315(5817): 1416-1420.

Inagaki, S., H. Yuasa, T. Suzuki and T. Arai (2006). "Wave CPG model for autonomous decentralized multi-legged robot: Gait generation and walking speed control." Robotics and Autonomous Systems 54(2): 118-126.

Kamimura, A., H. Kurokawa, E. Yoshida, K. Tomita, S. Kokaji and S. Murata (2004). Distributed adaptive locomotion by a modular robotic system, M-TRAN II. Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on, IEEE.

Kazem, B. I., A. I. Mahdi and A. T. Oudah (2008). "Motion planning for a robot arm by using genetic algorithm." JJMIE 2(3).

Kim, J.-J. and J.-J. Lee (2007). Gait adaptation method of biped robot for various terrains using central pattern generator (CPG) and learning mechanism. Control, Automation and Systems, 2007. ICCAS'07. International Conference on, IEEE.

Kim, J.-J., J.-W. Lee and J.-J. Lee (2009). "Central pattern generator parameter search for a biped walking robot using nonparametric estimation based particle swarm optimization." International Journal of Control, Automation and Systems 7(3): 447-457.

Kimura, H., Y. Fukuoka and A. H. Cohen (2007). "Adaptive dynamic walking of a quadruped robot on natural ground based on biological concepts." The International Journal of Robotics Research 26(5): 475-490.

Kuramoto, Y. (2003). "Collective behavior of coupled phase oscillators." The handbook of brain theory and neural networks: 223-226.

Lewis, M. A., F. Tenore and R. Etienne-Cummings (2005). CPG design using inhibitory networks. Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on, IEEE.

Malhotra, R., N. Singh and Y. Singh (2011). "Genetic algorithms: Concepts, design for optimization of process controllers." Computer and Information Science 4(2): 39.

Marbach, D. (2004). "Evolution and Online Optimization of Central Pattern Generators for Modular Robot Locomotion." Unpublished Master Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne.

McClellan, A. D. and W. Jang (1993). "Mechanosensory inputs to the central pattern generators for locomotion in the lamprey spinal cord: resetting, entrainment, and computer modeling." Journal of Neurophysiology 70(6): 2442-2454.

McMillen, D. R., G. M. D'Eleuterio and J. R. Halperin (1999). "Simple central pattern generator model using phasic analog neurons." Physical Review E 59(6): 6994.

Nakada, K., T. Asai and Y. Amemiya (2003). "An analog CMOS central pattern generator for interlimb coordination in quadruped locomotion." IEEE Transactions on Neural Networks 14(5): 1356-1365.

Nolfi, S. and D. Floreano (2000). Evolutionary robotics: The biology, intelligence, and technology of self-organizing machines, MIT press.

Ok, S., K. Miyashita and K. Hase (2001). Evolving bipedal locomotion with genetic programming-a preliminary report. Evolutionary Computation, 2001. Proceedings of the 2001 Congress on, IEEE.

Palonen, M., A. Hasan and K. Siren (2009). A genetic algorithm for optimization of building envelope and HVAC system parameters. Proc. Of the 11th IBPSA Conference, Glasgow, Scotland.

Parkinson, A. R., R. Balling and J. D. Hedengren (2013). "Optimization methods for Engineering design." Brigham Young University 5.

Pearson, K. G. (1995). "Proprioceptive regulation of locomotion." Current opinion in neurobiology 5(6): 786-791.

Qijun, Z. J. T. M. C. and L. Chengju "Dynamic walking of AIBO with Hopf Oscillators." Chinese Journal of Mechanical Engineering 24(4): 1.

Rangel-Merino, A., J. López-Bonilla and R. L. Miranda (2005). "Optimization method based on genetic algorithms." Apeiron 12(4): 393-408.

Rao, S. S. and S. S. Rao (2009). Engineering optimization: theory and practice, John Wiley & Sons.

Righetti, L. and A. J. Ijspeert (2008). Pattern generators with sensory feedback for the control of quadruped locomotion. Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on, IEEE.

Rowat, P. F. and A. I. Selverston (1991). "Learning algorithms for oscillatory networks with gap junctions and membrane currents." Network: Computation in Neural Systems 2(1): 17-41.

Saraswat, M. (2013). "Genetic Algorithm for optimization using MATLAB." International Journal of Advanced Research in Computer Science 4(3).

Shahbazi, H., R. Parandeh and K. Jamshidi (2016). "Implementation of Imitation Learning using Natural Learner Central Pattern Generator Neural Networks." Neural Networks 83: 94-108.

Shan, J., C. Junshi and C. Jiapin (2000). Design of central pattern generator for humanoid robot walking based on multi-objective GA. Intelligent Robots and Systems, 2000.(IROS 2000). Proceedings. 2000 IEEE/RSJ International Conference on, IEEE.

Sigvardt, K. A. and T. L. Williams (1996). "Effects of local oscillator frequency on intersegmental coordination in the lamprey locomotor CPG: theory and experiment." Journal of Neurophysiology 76(6): 4094-4103.

Simoni, M. F. and S. P. DeWeerth (2007). "Sensory feedback in a half-center oscillator model." IEEE Transactions on Biomedical Engineering 54(2): 193-204.

Sproewitz, A., R. Moeckel, J. Maye and A. J. Ijspeert (2008). "Learning to move in modular robots using central pattern generators and online optimization." The International Journal of Robotics Research 27(3-4): 423-443.

Taga, G., Y. Yamaguchi and H. Shimizu (1991). "Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment." Biological cybernetics 65(3): 147-159.

Torres-Huitzil, C. and B. Girau (2008). Implementation of central pattern generator in an FPGA-based embedded system. International Conference on Artificial Neural Networks, Springer.

Traven, H., L. Brodin, A. Lansner, O. Ekeberg, P. Wallén and S. Grillner (1993). "Computer simulations of NMDA and non-NMDA receptor-mediated synaptic drive: sensory and supraspinal modulation of neurons and small networks." Journal of neurophysiology 70(2): 695-709.

Van den Kieboom, J. (2009). "Biped locomotion and stability: a practical approach."

Williams, T. L., K. A. Sigvardt, N. Kopell, G. B. Ermentrout and M. P. Remler (1990). "Forcing of coupled nonlinear oscillators: studies of intersegmental coordination in the lamprey locomotor central pattern generator." Journal of Neurophysiology 64(3): 862-871.

Wolff, K., J. Pettersson, A. Heralic and M. Wahde (2006). Structural evolution of central pattern generators for bipedal walking in 3D simulation. Systems, Man and Cybernetics, 2006. SMC'06. IEEE International Conference on, IEEE.

Wu, X., L. Teng, W. Chen, G. Ren, Y. Jin and g. Li (2013). "Cpgs with continuous adjustment of phase difference for locomotion control." International Journal of Advanced Robotic Systems 10(6): 269.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ltfei Ahmed A. ABDALSMD
Doğum Yeri ve Yılı : 08.09. 1977 Meselata -Libya

Medeni Hali : Evli

Yabancı dil : Arapça,İngilizce ve Türkçe

E-posta : lutfe.abd1977@gmail.com

EĞITIM DURUMU

Lise : Tark Ben Zıad/Libya-1993

Lisans : El Mrqıb Üniversitesi /Elektrik-Bilgisayar Mühendisliği Al Koms\Libya -2000

Yüksek Lisans : Libya Akademisi den Bilgi ve iletişim teknolojisi Ana Bilim Dalı - 2007

YAYINLAR VE KONFERANS

L. A. Abdalsmd, Aybaba Hançerlioğullari, Hüseyin Demire (2017), Optimization of Central Pattern Generators for control the one arm motion-international conference on advanced enginnering Technologies, Bayburt/Turkey.

A. Hançerlioğullari, A. Kurnaz, Y. G. Ali MADEE, **L. A. Abdalsmd**, S. A. A. Shufat,K. M. El hadad**,** H.Almezogi, M. M. A. Mansur (2017), Estimates of the Fast and Termal Flux inBlanket of Critical Reactors by Using Multi-Group Methods, Open Journal of Applied Sciences, 7, 68-81,2165-3917.

L. A. Abdalsmd, Aybaba Han\Erlioğulları, Hüseyin Demirel(2017), Optimizing Nonlinear Oscillators for One Arm with Two Joints; International Journal of Computer Sci ence And Technology, Vol.8, Iss ue 4.

Abdalftah Elbori, **L. A. Abdalsmd** (2017), Simulation of Simple Pendulum, International Journal of Engineering Science Invention ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726.