



**KTO KARATAY
ÜNİVERSİTESİ**

T.C.
KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**ELEKTRİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**MEKANİK KARAKTERLERİN DIŞLI MEKANİZMALAR İLE
ANİMASYONU İÇİN BİR HESAPLAMALI TASARIM METODU**

Esra Betül KEŞÇİ

KONYA

Ağustos 2018

Doc.Dr. Serai ÖZSEBEN

Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay Altun

Dr. Öğr. Üyesi

Kasım

ÖZTOPRAK

MEKANİK KARAKTERLERİN DİŞLİ MEKANİZMALAR İLE
ANİMASYONU İÇİN BİR HESAPLAMALI TASARIM METODU

Esra Betül KEŐCI

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

AĞustos, 2018

2 H.O.A M

Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür Vekili
Prof. Dr. Hüseyin Bekir Yıldız

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.



Anabilim Dalı Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay Altun

Esra Betül KEŞCİ tarafından hazırlanan MEKANİK KARAKTERLERİN DİŞLİ MEKANİZMALAR İLE ANİMASYONU İÇİN BİR HESAPLAMALI TASARIM METODU başlıklı bu çalışma 13.08.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay Altun



Jüri Üyeleri

Başkan: Doç. Dr. Seral Özgen

Üye: Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay Altun

Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Kasım Öztoprak



Tez Bildirimi

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orjinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarımı kabullendiğimi beyan ederim.

Ağustos-2018

Esra Betül KEŞÇİ

Özet

MEKANİK KARAKTERLERİN DİŞLİ MEKANİZMALAR İLE ANİMASYONU İÇİN BİR HESAPLAMALI TASARIM METODU

Esra Betül KEŞCİ

KTO Karatay Üniversitesi,

Fen Bilimleri Enstitüsü,

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay ALTUN

Ağustos 2018

Bu çalışmada makine, robot veya animasyon karakteri vb. tasarımların dişli mekanizmalarla oluşturulmasını otomatikleştirebilecek sayısal bir yöntem önerilmiştir. Basit dairesel dişliler ile karmaşık periyodik hareketleri gerçekleştirebilen bir sistem tasarım süreci önerilmiştir. Mekanizmaların oluşturulmasını istediğimiz hareket eğrileri için bir dişli sisteminin nasıl tasarlanacağı gösterilmiştir. Tasarlanmış olduğumuz algoritma ile kullanıcının istediği hareket eğrisinin oluşması için gerekli olan dişlilerin yarıçapları, konumları, dönme fazları ve dişlileri birbirlerine bağlayan çubuk uzunlukları gibi parametreler bulunur. Tasarım parametrelerini elde etmek için sırasıyla kritik noktalar arasındaki ilişkilerin analitik ifadesi, toplam en küçük kareler yöntemi ile hata formülasyonu ve eğriyi istenen forma en yakın hale getirmesi beklenen optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Tasarım süreci sezgisel optimizasyon problemi olarak ifade edilmiş ve bu problemin çözümü olarak bir dizi tasarım parametreleri elde edilmiştir. Bu parametreler kullanılarak elde edilen eğriler ve hedeflenen eğriler üst üste çizdirilerek ve ortalama kareli hata performansı hesaplanarak önerilen tekniğin başarısı raporlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Dişli Mekanizması Tasarımı, Sayısal Tasarım, Optimizasyon Tabanlı Mühendislik Yöntemleri, Robot Tasarımı, Animasyon Karakteri Tasarımı

Abstract

A CALCULATED DESIGN METHOD FOR ANIMATION OF MECHANICAL CHARACTERS WITH GEAR MECHANISMS

Esra Betül KEŞÇİ

KTO Karatay University,
The Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Master of Science Thesis in Electrical and Computer Engineering

Advisor: Asst. Prof. H. Oktay ALTUN

August 2018

In this study, a numerical method has been proposed to automate design of a machine, a robot or an animation character etc. by simple gear mechanisms. We propose a system design process that can perform complex periodic movements with simple circular gears. It is shown how to design a gear system for motion curves that we want to create. With the algorithm we have designed, parameters such as the radius, the position of the gears that are required for the user to create the desired motion curve, and the rod lengths that connect the gears to each other are estimated. In order to obtain the design parameters; we first formulated the analytic expression of the relationships between the critical points, then formulated the least squares expression between the formulation and the desired curve as a cost function, and finally utilized optimization algorithms to get closer to the desired form given by the user. The design process is expressed as a heuristic optimization problem and a number of design parameters have been obtained as a solution to this problem. The success of the proposed technique was reported by plotting the curves and target curves obtained using these parameters, and calculating the mean square error performance between these curves.

Keywords: Gear Mechanism Design, Numerical Design, Optimization Based Engineering Methods, Robot Design, Animation Character Design

Teşekkür

Çalışmalarım boyunca her türlü fedakarlığı gösteren, bana her konuda destek olan moral ve motivasyon konusunda beni hiç yalnız bırakmayan aileme, tez çalışmalarım ve yazım aşamasında kader ortaklığı yaptığımız, birbirimizi sakinleştirip, birbirimizden güç aldığımız arkadaşlarım Büşra MUTLU İPEK'e ve Meryem Betül ÖZKARDAŞ'a, çok yoğun olmasına rağmen hem projenin her aşamasında değerli fikirleriyle ve bilgisiyle sürekli yardımını esirgmeden birebir ilgilenen hem de moral olarak sıkıntıya girdiğim zamanlarda bana şevk vererek tezi tamamlamama yardımcı olan iyi ki de tez danışmanım olmuş dediğim Dr. Öğr. Üyesi H. Oktay ALTUN'a teşekkür ederim.

Esra Betül KEŞÇİ
Ağustos-2018

İçindekiler

Tez Bildirimi	iv
Özet	v
Abstract	vi
Teşekkür	vii
Şekil Listesi	ix
Tablo Listesi	x
Simge ve Kısaltmalar	xi
1 Giriş	1
2 Literatür	3
3 Kuramsal Temeller	8
3.1 Matematiksel Optimizasyon	8
3.2 En Küçük Kareler Yöntemi (Least Squares Method)	14
4 Metodoloji	15
5 Sonuç	27
6 Ekler	28
Kaynaklar	31
Özgeçmiş	34

Şekil Listesi

3.1	Konveks ve konveks olmayan kümeler	8
3.2	Yerel ve mutlak minimum maksimum noktaları	9
3.3	Yapay arı kolonisi algoritması çalışma düzeni	11
3.4	Yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı	12
4.1	Dişliler ile kurulmuş mekanizma	17
4.2	Dişli mekanizmanın hareketi sonucu ortaya çıkan yörünge örneği	18
4.3	Kullanıcıdan alınan hareket eğrileri örnekleri	19
4.4	Kullanıcıdan alınan hareket eğrileri ile geliştirilen algoritma sonucu bulunan eğrilerin karşılaştırılması	21
4.5	Kullanıcıdan alınan bir hareket eğrisi için geliştirilen algoritmanın farklı kontrol parametreleri ile çıkan sonuçlar	24
6.1	Kullanıcıdan alınan hareket eğrileri ile geliştirilen algoritma sonucu çıkan bazı beklenmedik sonuçlar	30

Tablo Listesi

4.1	Şekil 4.3'te gösterilmiş olan eğrilerin parametreleri verilmiştir.	20
4.2	Şekil 4.4 için sistemde kullanılan kontrol parametreleri verilmiştir.	22
4.3	Şekil 4.4 için kullanıcıdan alınan eğrinin ve geliştirilen yöntem sonucunda bulunan eğrinin parametreleri raporlanmıştır.	23
4.4	Şekil 4.5 için sistemde kullanılan kontrol parametreleri verilmiştir.	24
4.5	Şekil 4.5 için kullanıcıdan alınan eğrinin farklı kontrol parametreleri için geliştirilen yöntem sonucunda bulunan eğrinin parametreleri raporlanmıştır.	25
6.1	Şekil 6.1 için sistemde kullanılan kontrol parametreleri verilmiştir.	28
6.2	Şekil 6.1 için kullanıcıdan alınan eğrinin ve geliştirilen yöntem sonucunda bulunan eğrinin parametreleri raporlanmıştır.	29

Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
2B	2 boyutlu
3B	3 boyutlu
MFDS	Maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı
MSE	Ortalama karesel hata (<i>Mean square error</i>)
PB	Popülasyon boyutu

Semboller

Semboller Açıklama

Σ	Toplam sembolü
A_x	A dişlisine çubuğun sabitlendiği noktanın x koordinatı
A_y	A dişlisine çubuğun sabitlendiği noktanın y koordinatı
B_x	B dişlisine çubuğun sabitlendiği noktanın x koordinatı
B_y	B dişlisine çubuğun sabitlendiği noktanın y koordinatı
C^*	Kullanıcıdan alınan hareket eğrisi
C	Dişlilere sabitlenen kolların birleşme noktası
d	A ve B noktalarının arasındaki uzaklık
D	A, B ve C noktalarının köşe kabul edildiği üçgende C noktasından $[AB]$ kenarına indirilen dik doğrunun kesiştiği nokta
D_x	D noktasının x koordinatı
D_y	D noktasının y koordinatı
h	C ve D noktalarının arasındaki uzaklık
l_{AC}	A dişlisine sabitlenen çubuğun uzunluğu
l_{AD}	A ve D noktalarının arasındaki uzaklık
l_{CB}	B dişlisine sabitlenen çubuğun uzunluğu
l_{DB}	D ve B noktalarının arasındaki uzaklık
p	Kullanıcıdan alınan hareket eğrisinin parametreleri
\hat{p}	Geliştirilen algoritma sonucu bulunan eğrinin parametreleri
r_A	A dişlisinin yarıçapı
r_B	B dişlisinin yarıçapı
ϕ_A	A dişlisinin dönme fazı
ϕ_B	B dişlisinin dönme fazı
x_A	A dişlisinin merkezinin x koordinatı
x_B	B dişlisinin merkezinin x koordinatı
y_A	A dişlisinin merkezinin y koordinatı
y_B	B dişlisinin merkezinin y koordinatı

Semboller Açıklama

q	Hataların karelerinin toplamı
ω_A	A dişlisinin açısal hızı
ω_B	B dişlisinin açısal hızı
U	Uygunluk fonksiyonu

1 Giriş

Canlı varlıkların hareketlerinin taklit edilmesinin istendiği durumlarda, hareketlerin analiz edilmesi ve taklitin sağlanacağı fiziksel veya sanal ortamın parametre uzayı ile eşleştirilmesi gerekir. Sanal dünyada animasyon programları, gerçek dünyada dişli mekanizmalar vb. canlı hareketlerinin mimiklenmesinde kullanılabilirler. Canlıların doğal hareketlerinin mekanizmalarla analiz edilerek, mevzu bahis ortamlardaki kolayca eşlenebilmesi, önemi gittikçe artan bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Canlı hareketlerini gerçeğe yakın bir biçimde taklit edebilmek; animasyon film üreten yapımcıların işini kolaylaştıracak üç boyutlu (3B) yazıcılardan çıkarılabilecek bileşenlerin oluşturularak, hızlıca çekim alınıp diğer aşamalara geçmeyi sağlamaktadır.

Dişli mekanizmalar; robot, makine, mekanik kol veya animasyon karakteri gibi farklı alanlarda yapılacak olan faaliyetlerin tasarımı için kullanılabilir. Karakter animasyonu; animasyon filmleri, çizgi dizi ve bilgisayar oyunları gibi pek çok alanda kullanılır. Gerçek yaşamda kullanılan animasyon yapım teknikleri arasında *stop motion* animasyonu [1], kukla animasyonu [2] ve 3B animasyonu [3] gibi teknikler kullanılmaktadır. Yazılımcılar sayesinde bu yöntemler kullanılarak, karakterler oluşturulup canlandırılır. Fakat bu yöntemlerin hepsinin kullanılması çok zorlu ve uzun zaman alır.

Tez çalışmamızda geliştirmiş olduğumuz yaklaşım ile kullanılan tekniklerin bahsedilen dezavantajlarının ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Tasarımcıların tasarladıkları karakterlerin hareket üretim sürecinin kolaylaştırılıp, farklı ve yeni fikirler bulabilmeleri için daha özgür kullanabilecekleri zaman sağlanmak istenmiştir.

Hareket üretimini gerçekleştirmek için döngüsel hareketler sağlayan dişli sistemlerden faydalanılır. Dişli mekanizmalar ile oluşturulan sistem sayesinde hareket üretiminin otomatikleştirilmesi sağlanacaktır. Tasarımcıların, döngüsel hareketler sağlanabilmesi dışında bir kısıtlama yapılmadan istedikleri hareketleri üretebilmeleri için bir yöntem hazırlanmıştır. Tasarlamış olduğumuz yapıda bir hareket,

iki çubuk ile birbirine bağlanmış iki dişlinin hareketi sonucunda bağlantı yerinin de hareketiyle izlenen eğridir. İlk olarak kullanıcıdan bir hareket eğrisi istenir. Bu hareket eğrisinin matematiksel ifadesi yazılır. Sonrasında yazılmış olan matematiksel ifadenin içerdiği parametreler, optimizasyon uygulanarak kullanıcıdan alınan eğrinin parametrelerine en yakın olacak şekilde çıkartılır. Böylece, hareket üretimi için gerekli olan dişli sistemin nasıl tasarlanması gerektiğine dair parametreler bulunur. Alınan hareket eğrisi ile yapılmış olan yöntem sayesinde bulunan eğrinin aralarındaki hata değerinin en az olması sağlanır.

Bu şekilde sunulan yöntem, karakter tasarımında uzman olmayan kullanıcıların, karmaşık hareketli mekanik karakterlerin mekanizmalarını oluşturmasını sağlamış olacaktır. Karakter tasarımı ve hareketlendirilmesi süreci olabildiğince hızlı ve kolay hale getirilmesi için çalışılmıştır. Yöntem sayesinde animasyon yapımında kullanılan teknolojilere bir alternatif sağlamak istenilmiştir.

Disney araştırmacıları tarafından mekanik karakterlerin hesaplamalı tasarımı başlığı altında bir çalışma yapılmıştır [4]. Her türlü kullanıcı için mekanik karakterlerin tasarımını ve üretimini kolaylaştıracak bir sistem sunmuştur. Bu sistemde ilk önce, mekanik montaj türleri kütüphanesi oluşturulmuştur. Bu kütüphane, kullanıcıya hareket eğrisi için karakterin nasıl yerleşmesi gerektiğini verir.

Tez çalışmasında sunulan yöntem ile mekanizmaların istenilen hareketlerini gerçekleştirmek için dişli mekanizmalardan oluşan tasarımlardan faydalanılır. Yöntem ilk olarak kullanıcıdan istediği harekete dair bir eğri alır ve bu hareket eğrisine en yakın sonucu bulmaya çalışır. Alınan hareket eğrisinin matematiksel ifadesi yazılır. Sonrasında yazılmış olan matematiksel ifadenin içerdiği parametreler, optimizasyon uygulanarak istenilen eğrinin parametrelerine en yakın olacak şekilde çıkartılır. İstenilen hareket eğrisi ile yapılmış olan yöntem sayesinde bulunan eğri karşılaştırılıp aralarındaki hata değeri bulunur.

Bu tezde, öncelikle Bölüm 2'de çalışmanın arka planının anlaşılması ve kullanılan yöntemler hakkında genel bilgi verilmesi için temel bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te, yapılan literatür araştırmalarımızdan bahsedilerek bu çalışmanın literatürdeki yeri belirtilmiştir. Bölüm 4'te, kullanımdan alınmış olan eğriye en yakın ve mümkün olan sonucun hangi yöntemler kullanılarak nasıl bulunduğu bahsedilmiştir. Bölüm 5'te sonuçlar tartışılmış ve önerilere yer verilmiştir. Son bölüm olan Bölüm 6'da ise kullanıcıdan alınan hareket eğrileri ile geliştirilen algoritma sonucu çıkan bazı beklenmedik sonuçlar raporlanmıştır.

2 Literatür

Mekanizma analizi ve tasarımı için özel yazılımlar çok uzun zamandır mevcuttur. Bu zamana kadar mekanik yapıları temsil etmek için çeşitli bir çok yaklaşımlar sunulmuştur. Sunulan yaklaşımların önemli faydaları olmasına rağmen, mekanik karakterleri canlandırmak için gerekli olan karmaşık mekanizmaları oluşturmak uzman tasarımcılar gerektirir. Çalışmamız özellikle eklemli, mekanik karakterlerin tasarlanmasıyla ilgili yapılan son araştırmalardan ilham almıştır.

Çözüm üretmek istediğimiz probleme en yakın çalışma Coros ve ark. [4] tarafından sunulmuştur. Acemi kullanıcıların animasyonlu mekanik karakterler oluşturmalarına olanak tanıyan etkileşimli bir tasarım sistemi sunmuşlardır. Yöntem, eklemli bir karakteri girdi olarak ele alarak, karakterin farklı bölümlerinin nasıl hareket edeceğini gösteren hareket eğrileri çizerek yinelenen bir animasyon oluşturur. Her hareket eğrisi için, optimize edilmiş bir mekanizma oluşturulur. Ortaya çıkan mekanizmalar, yarı otomatik bir şekilde oluşturulur ve dişliler kullanılarak birbirine bağlanılır. Sistem ile üretilen mekanik tertibatlar, elle çalıştırılan bir krank veya bir elektrik motoru gibi tek bir giriş sürücüsü ile çalıştırılabilir ve hızlı prototipleme cihazları kullanılarak imal edilebilirler. Yöntem, düzlemsel mekanizmalarla hareket eden karakterler için tasarlanırken, önemli parçaları doğrudan düzlemsel olmayan mekanizmalara uzanarak, zorlayıcı 3B hareketleri olan karakterler yaratmamıza izin veriyor.

Bu yaklaşıma benzer olarak Thomaszewski ve ark. [5] sadece tek bir motorla giriş hareketine yaklaşık bir sonuç üretebilecek çoklu çubuk bağlantılarıyla ilgili kullanıcı güdümlü bir yöntem önermiştir. Bağlantıya dayalı karakterler için, formunu ve işlevini estetik bir şekilde açıdan birleştiren bir tasarım sistemi sunulmuştur. Bağlantı temelli karakter tasarımı, ayrık ve sürekli problemlerin karışımından oluşmaktadır. Bu da tasarımın uygulanmasını zorlaştırır. Sistem, kullanıcıların farklı topoloji seçeneklerini etkileşimli olarak gözden geçirmelerine izin vermektedir. Böylelikle yapılması gereken ayrık seçimlere rehberlik sağlanarak, bu işlem önemli ölçüde basitleştirilir. Sürekli optimizasyon adımı ile hareket kalitesi geliştirilir.

Başka bir yaklaşımda bağlantıya dayalı karakterler kablolu kinematik zincirler ile birleştirilmiştir. Megaro ve ark. [6] tarafından kablo tahrikli kinematik zincirlerin tasarımı için optimizasyon temelli bir yaklaşım sunulmuştur. Sistem, menteşe ile birleşen sert bağlantılar içeren bir montajı girdi olarak alır. Kullanıcı ayrıca ters kinematik kullanan bir dizi hedef poz veya anahtar kareyi belirtir. Yaklaşım, burulma yaylarını birleşim noktalarına yerleştirir ve belirtilen hedef pozları çoğaltmayı sağlayan bir kablo ağı oluşturur. Rastgele seçilen yönlendirme noktaları olan geniş bir kablo seti ile başlanılır ve aşamalı olarak fazlalıklar kaldırılır. Daha sonra kablo sayısını daha da azaltmak ve gerekli kontrol kuvvetlerini en aza indirmek için pozlar veya ana kareler arasındaki yolu dikkate alarak yönlendirme noktaları hassaslaştırılır. Kontrol kuvvetlerini eklem açlarına ve yönlendirme noktalarına bağlayan, gerekli çalıştırma kuvvetleri ile birlikte bir kablo ağının optimizasyonunu sağlayan azaltılmış bir koordinat formülasyonu önerilir.

Bağlantıya dayalı karakterlerin tasarlanmasında Megaro ve ark. [7] tarafından düzlemsel mekanik karakterlerin hızlı işlenmesi için interaktif bir tasarım sistemi önerilmiştir. Yöntem, taslak tabanlı modellemenin basitliğini, aşırı pozlar aracılığıyla hareketin tanımlanması kolaylığı ile birleştirir. Dijital tasarımları fabrikasyona hazır hale getirmek için, karakterleri istediği gibi hareket ettiren mekanik yapıyı otomatik olarak hesaplar. Bileşen çiftleri arasındaki mekanik yapıyı hareketlerini tanımlayan, düzelten ve yayılan basit yapı taşlarına sınırlandırarak gerçek zamanlı performans elde edilir. Sistem, şekil ve harekete odaklanarak alta yatan mekanik yapının inceliklerini gizleyerek karakter tasarımının yaratıcı yönlerini vurgular.

Geliştirmiş olduğumuz yöntemin mantığı herhangi bir yörüngeyi gerçekleyebilecek bir mekanik sistem tasarlamaya dayanmaktadır. Bu şekilde yörünge odaklı tasarımların yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Bharaj ve ark. [8] uyumlu ve istikrarlı bir şekilde yürüyebilen mekanik otomatlar oluşturmanın hem beceri hem de uzmanlık gerektiren zorlu bir görev olduğunu belirtmişlerdir. Bu sürecin teknik zorluklarını dengelemek için hesaplama tasarımının kullanılması önerilmiştir. Basit bir sürükme ve bırak arabirimi ile sıradan kullanıcıların, önceden tanımlanmış şablon mekanizmalarından oluşan bir kütüphaneden kişiselleştirilmiş yürüyüş oyuncakları oluşturmasına olanak tanır. Bu girdiyle sağlanan yöntem, elde edilen oyuncakların yürüyebileceği şekilde mekanik tasarımları iyileştirmek için fiziksel simülasyon ve evrimsel optimizasyondan yararlanmaktadır. Optimizasyon süreci, yürüme hareketlerinin kalitesini ölçen sezgisel bir hedef kümesi tarafından yönlendirilir.

İstenilen hareket yörüngesini gerçekleştirecek tasarımın yapılmasını hedefleyerek Megaro ve ark. [9] uyumlu mekanizmaların tasarlanması için bir hesaplama aracı sunmuşlardır. Yöntem, uyumlu tasarımın topolojisini tanımlayan eklemli bir mekanizmayı girdi olarak alır. Bu giriş hem düzlemsel hem de uzaysal olabilir. Yaklaşım,

yörünge eşlemesi, çarpışmadan kaçınma, yanal denge, arızaya karşı direnç ve motor torkunun en aza indirilmesi gibi tasarım alanını şekillendiren bir dizi hedef tanımlar. Bu alandaki en uygun tasarımlar, bir duyarlılık analizi kullanılarak çözülen denge kısıtlı bir minimizasyon problemine çözümler olarak elde edilir.

Mevcut olan bir hareket yörüngesinin istenilen hareket yörüngesine göre optimize ederek bir model oluşturan sistem geliştirilmiştir. Kim ve ark. [10] bağlantı temelli mekanizma tasarlama ve kurma konusunda uzman olmayanları desteklemek için bir prototipleme aracı olan *M.Sketch*'i sunmuşlardır. Kullanıcıların aşağıdan yukarıya (çizim bağlantıları) ve yukarıdan aşağıya (hareket yolunu optimize) yaklaşımlarını harmanlayarak mekanizmayı hızla oluşturmaları sağlanılır. Ortaya çıkan hareket, 3 boyutlu bir alanda gözden geçirilebilir. Kullanıcıların tasarlanan mekanizmayı fiziksel bir modele kolayca ve etkili bir şekilde dönüştürmeleri sağlanılır. *M.Sketch*'i, akıllı ürün, robot, oyuncak ve kinetik heykel gibi tasarımların ilk modellerini prototiplemek için uzman olmayanların kullanılabileceği şekilde geliştirilmiştir.

Tez çalışmamızda döngüsel hareket yörüngeleri çizen dişli mekanizmalardan oluşan bir tasarım sunulmuştur. Bu mantığa benzer olarak Liu ve ark. [11] da trigonometrik eğriler olarak bilinen sonlu Fourier serileri parametreleştirmeleri olan düzlem eğrilerini çizen bir mekanizma tasarım metodolojisi açıklamaktadırlar. Bu parametrenin katsayılarını, eğriyi çizen mekanik bir sistem inşa etmek için kullanmanın üç yolu sunulmuştur. Birisi, koordinat trigonometrik fonksiyonlarda her bir terim için Scotch yoke mekanizmalarını kullanır, bunlar daha sonra bir kayış veya kablo sürücüsü kullanılarak eklenir. İkinci yaklaşım, koordinat trigonometrik fonksiyonlardan elde edilen iki-bağlı seri zincirleri kullanır. Üçüncü yaklaşım, koordinat trigonometrik fonksiyonlarını, düzlem eğrisini çizen tekli birleştirilmiş bir zincir oluşturmak için birleştirir. Bu çalışma, her bir düzlem trigonometrik eğrinin eğriyi çizen bir bağlantıya sahip olduğunu gösteren, Kempe'nin evrensellik teoreminin bir versiyonudur. Çeşitli örnekler ile sınır noktalarının kullanımı ve trigonometrik eğriyi tanımlamak için ayrık Fourier dönüşümü içeren yöntemi gösterilmiştir.

Bir giriş hareketi alınıp hareket sırası gözetilerek harekete en yakın sonuç çıkartabilecek bir tasarım üretiliyor. Ceylan ve ark. [12] tarafından insan hareketlerini taklit eden mekanik figürlerin oluşturulabilmesi için bir yöntem sunulmuştur. Bu tarz otomatların oluşturulabilmesi için hareket planlamasında, mekanizma tasarımı bilgisinde ve üretim kısıtlamalarında uzmanlık gerektirir. Bu nedenle otomatik tasarım yapabilecek kişi sayısı azdır. Bir insansı karakterin hareket sırasını alan ve tek bir giriş krankı ile sürüldüğünde giriş hareketine yakın mekanik bir şekil için tasarım üreten otomatik bir algoritma öneriliyor. Yaklaşım iki aşamadan oluşuyor. Hareket yaklaşım aşaması, tasarımdaki mekanik parçaların hareket kısıtlamaları ile uyumlu olarak, giriş hareketine mümkün olduğunca yakın bir hareket hesaplar. Daha sonra düzen aşamasında, tüm imalat ve montaj kısıtlamalarını göz önünde

bulundarak, tüm elemanların boyutlandırma parametreleri ve mekansal yerleşimi çözülür.

Geliştirmiş olduğumuz algoritma ile dişli mekanizmalar kullanılarak karakter tasarlamak istenmiştir. Algoritma daha da geliştirilerek sonrasında tasarlanan karakterler 3B yazıcılardan çıkarılarak yap-boz oyuncaklar elde edilebilir. Zhang ve ark. [13] tarafından fonksiyonel mekanik objeler oluşturmak için interaktif bir tasarım sistemi sunulmuştur. Yaklaşım, acemi kullanıcıların kendileri tarafından belirlenen bir giriş şekline mevcut bir mekanik şablonun yönlendirilmesini sağlar. Mekanik bir şablon için önerilen temsil, parametrik bir mekanizmayı, fiziksel olarak geçerli bir konfigürasyonu sağlayan mekanik kısıtlamaları, mekanik parçaların kullanıcı tarafından sağlanan şekle ait mekansal ilişkileri ve amaçlanan bir işlevselliği belirleyen fonksiyonel kısıtlamaları kodlar. Sezgisel bir arabirim ve mekanizmanın geçerli bir konfigürasyonunu bulmak için döngü içinde optimizasyon ve daha yüksek seviyeli fonksiyonel hedeflerin karşılanmasını sağlayan şekil sağlanılır. Algoritma, kullanıcı, mekanik bileşenlerin ve şeklin yerleşimini manipüle ederken, mekanizmayı etkileşimli olarak optimize eder. Sistem, kullanıcıların çeşitli tasarım seçeneklerini verimli bir şekilde keşfetmelerini ve hızlı prototipleme teknolojileriyle üretililecek özelleştirilmiş mekanik nesnelere sentezlemelerini sağlar.

Hergel ve ark. [14] fizik tabanlı bulmaca oyunlarının başarısı, sıradan kullanıcıların ve hobilerinin eğitim veya eğlence amaçlı olarak mekanizmaların tasarlanmasından zevk aldıklarının güçlü bir göstergesi olduğundan bahsetmişlerdir. Bu uygulamalarda, iki boyutlu şekilleri birleştirerek, dişliler, kranklar ve kameralar oluşturarak çeşitli mekanizmalar tasarlanmıştır. Deneyim, kullanıcının gerçek bir mekanizma üretmek için gerekli olan karmaşık geometrik detaylar hakkında endişelenmesi gerekmediği için üretimi zevkli hale getirmiştir. Bu tür rahat mekanizmalardan başlamak ve bunları yaygın olarak bulunan ucuz filament bazlı 3B yazıcılara basılabilen bir 3B model haline getirmeyi önermişlerdir. Amaç, bu araçların kullanıcılarını mekanizmalarını fiziksel olarak gerçekleştirme ve onları gerçek dünyada faaliyet gösterme yeteneği ile güçlendirmektir. Bu hedefe ulaşmak için çeşitli zorluklarla mücadele ediliyor. Giriş 2B mekanizmasını simülasyon sırasında bazı parçaların üst üste gelmesine izin verir. Bu örtüşen parçaların, gerçek mekanizmada kesişmeyen 3B parçalara ayrılması gerekir. Mümkün olduğunda hareketli parçaların birbirine dahil edilmesi fikrine dayanan yeni bir şema sunuluyor. Bu, önceki yöntemlere kıyasla akslardaki eğilme gerilmelerini azaltır. Yaklaşım, 2B girişindeki kayar parçaları ve rasgele şekilli mekanik parçaları desteklemektedir. Parçaların tam 3B şekli, şekiller arasındaki boolean işlemleri kullanarak 2B girişinden ve mekanizmanın simülasyonundan çıkar. Giriş mekanizması genellikle arka plana eklenir. Şasi üzerinde mekanizma tarafından uygulanan gerilmeleri dikkate alarak bir topoloji optimizasyon problemi oluşturarak bir şasiyi otomatik

olarak sentezlenir.

Tez çalışmamızda sunulan yöntem sadece mekanik animasyon karakterlerinin tasarımında değil robot tasarımı alanında da kullanılabilir. Ha ve ark. [15] tarafından robotik cihazların yüksek seviyeli hareket özelliklerini tasarlamak için yeni bir hesaplama yaklaşımı sunulmuştur. Hesaplama sistemi, olası robot tasarımlarının alanını tanımlamak için modüler bileşenlerden oluşan bir kütüphane (aktüatörler, montaj braketleri ve konnektörler) kullanır. Yeni bir robot oluşturma süreci, vücudunun nasıl hareket etmesi gerektiğini belirten bir dizi girdi yörüngesi ile başlar. Yöntem, modüler bileşenlerin olası düzenlemelerinin birleştirici setini arayarak, giriş hareket yörüngelerini izleyebilen, işlevsel, basit bir robotik cihaz üretir. Bu ayrık optimizasyon sürecinin verimliliğini önemli ölçüde arttırmak için, uygun tasarımlar için rehberlik eden yeni bir metod öneriliyor. Kısaca, sezgisel işlev, bir ara robot tasarımının hedef hareket yörüngelerini yürütmeden önce ne kadar değişmesi gerektiğini tahmin etmektedir.

Nansai ve ark. [16] bacaklı robotların düzensiz arazilerde hareket edebileceklerinden ve bir serbestlik dereceli düzlemsel bağlantılara dayalı olanların enerji verimli olabileceklerinden bahsetmişlerdir. Ancak genellikle hareket kabiliyetleri sınırlı sayıda yürüyüş ile sınırlandırılırlar. Çalışmalarında, yenilikçi uygulamalar için yeni olanaklar sunan, çok çeşitli yürüyüş döngüleri yaratan, yeniden yapılandırılabilen bir Theo Jansen bağlantısının tasarımı anlatılmaktadır. Önerilen mekanizma, pim eklemli Grübler kinematik zincirinden, yeniden konfigürasyon işlemi sırasında 5 serbestlik dereceli eklemli bir mekanizmaya geçer. Bu yeniden yapılandırılabilir bağlantının, normal tasarım sırasında mekanik sadeliğini koruyarak, özgün tasarımın özelliklerini önemli ölçüde genişlettiği, sadece farklı kullanışlı yürüyüşlerini üretmediği, aynı zamanda hareketleri gerçekleştirdiği gösterilmiştir.

Tez çalışmamızda geliştirdiğimiz yöntem bir hareket eğrisini girdi olarak alır ve bu eğriye en yakın sonucu verecek dişli mekanik tasarımı kullanıcıya sunar. Bu işlemi gerçekleştirirken konveks olmayan optimizasyon tekniklerinden biri kullanılır. Goulet ve ark. [17] tarafından da konveks olmayan optimizasyon teknikleri kullanılarak dört çubuklu bağlantıların nasıl tasarlanabileceği gösterilmiştir. Üretken tasarım yazılımı, dört çubuklu bir bağlantı ile çoğaltılması gereken bir eğriyi girdi olarak alır ve bu eğriye yakın en iyi montajı verir. Sorun karesel kısıtlamalar kullanarak modellenir ve sorunu çözmek için ne kadar kısıtlamanın olduğu gösterilir. Ayrıca, eğrinin özelliklerini temel alan bir algoritma da sağlanılır.

3 Kuramsal Temeller

3.1 Matematiksel Optimizasyon

Optimizasyon kavramı, bir problemin olabilecek en iyi çözümünün bulunması süreci olarak tanımlanır. Bu çözüm süreci belli bir amaç fonksiyonunun değerinin varsa verilen kısıtlar dahilinde en yüksek seviyeye (maksimize) ya da en düşük seviyeye (minimize) getirilmesinden oluşur. Doğrusal, doğrusal olmayan, konveks, kesikli ve evrimsel optimizasyon gibi birçok optimizasyon türü vardır. Lakin optimizasyon tekniklerinde en önemli sınıflandırma konveks olup olmama durumuna göredir.

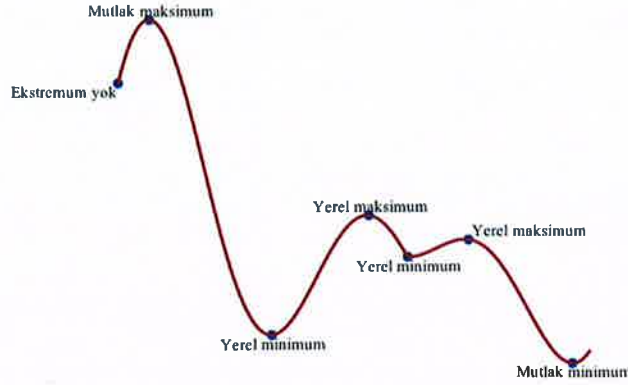
Amaç fonksiyonunun $f_0(x)$ konveks fonksiyon olduğu ve kısıtlayıcı fonksiyonların $g_i(x)$ konveks küme oluşturduğu optimizasyon problemlerine konveks optimizasyon problemi denilir.

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && f_0(x) \\ & \text{subject to} && g_i(x) \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \\ & && h_j(x) = 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1: Bazı basit konveks ve konveks olmayan kümeler gösterilmiştir. Altıgen, konvektir. Orta şekildeki küme konveks değildir, çünkü iki nokta arasındaki çizgi parçası kümenin dışında kalmaktadır. Kare şeklinde olan bazı sınır noktaları içerir diğerlerini içermez bu yüzden konveks değildir [18].

Bir konveks programlama probleminde sadece bir minimum vardır. Yani konveks problemde yerel (lokal) minimum aynı zamanda global minimumdur. Eğer fonksiyon konveks değilse, ulaşılan optimum noktanın yerel optimum olma ihtimali vardır.



Şekil 3.2: Yerel ve mutlak minimum maksimum noktaları [19]

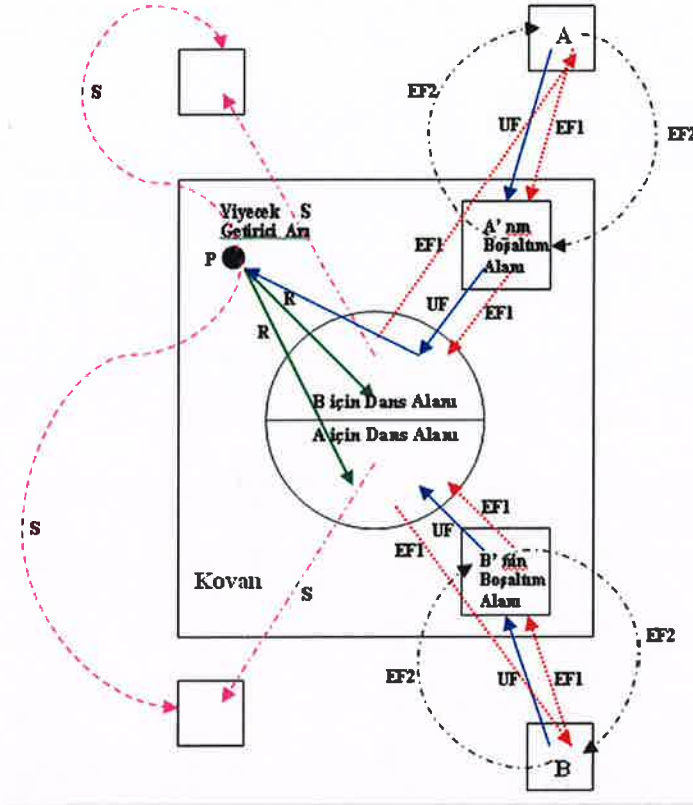
Bir optimizasyon probleminin konveks optimizasyon problemi haline getirilip, çözülmesi çok istenilen bir durumdur. Fakat birçok problem konveks problem haline getirilemez. Bu durumlarda mecburen sezgisel optimizasyon metodlarına başvurulur. Sezgisel optimizasyonun genetik, taklitçi, sezgi üstü ve evrimsel algoritmalar gibi çeşitleri vardır. Sezgisel optimizasyon yöntemlerinin doğruluğunun kanıtlanması gerekmez. Bu yöntemlerden beklenen karmaşık problemlerin daha basit hale getirilmesi ya da algoritmanın istenen sonuca en yakın sonucu bulabilmesidir.

Kullanılmakta olan analitik optimizasyon tekniklerinin büyük boyutlu ve karmaşık problemlerin çözümünde uygulanması zordur. Problemler kesin çözümlerinin bulunması için tanımlanamayabilir. Bu sebepten bu tür problemler için çözüm yöntemi olarak sezgisel optimizasyon teknikleri tercih edilebilir. Sezgisel optimizasyonlar, sonucun doğruluğunun kanıtlanabilir olmasıyla ilgilenmezler ve en iyi sonucu verecekleri de kesin değildir. Ancak, karmaşık bir problemin daha basit hale getirilmesine ve algoritmaları sayesinde iyiye yakın bir sonuç çıkarılmasına çalışılmaktadır. Farklı yöntemlerden etkili olanları seçerek en mümkün ve iyi olan çözüm yolları bulmayı hedeflerler. Olabilecek en kısa süre içerisinde bir sonuç bulacaklarının garantisini verirler. Genellikle en iyiye yakın olan çözüm yolunu hızlı ve kolay bir şekilde bulurlar.

Sezgisel optimizasyon yöntemleri arasında, tavlama benzetimi, yapay sinir ağları,

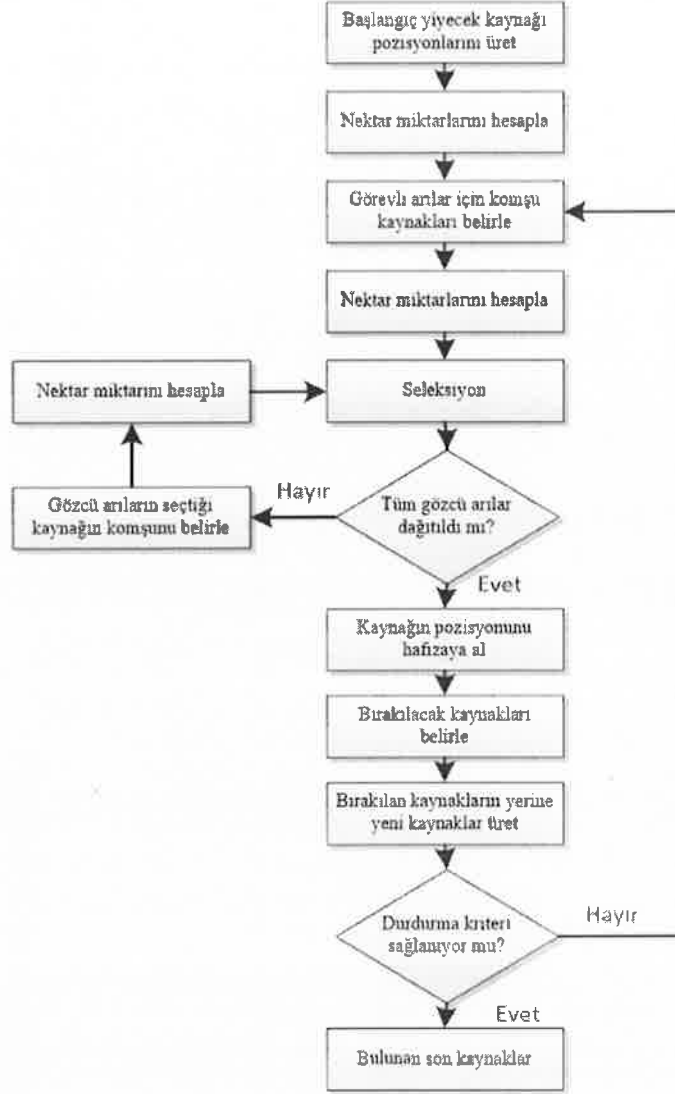
tabu arama ve parçacık sürü algoritmaları gibi yöntemler yer alır. Parçacık sürü algoritmaları doğada koloni halinde yaşayan canlıların hareket düzenlerinden yola çıkılarak geliştirilen algoritmalarıdır. Koloni şeklinde yaşayan canlılar, birbirleriyle olan etkileşimler ile belli bir soruna çözüm getirirler. bir çok parçacık sürü algoritmaları vardır. Bunların arasında yapay arı kolonisi [20], karınca kolonisi [21], kanguru [22] ve ateşböceği [23] algoritması gibi algoritmalar yer alır.

Yapay arı kolonisi algoritması, parçacık sürü tabanlı bir optimizasyon tekniğidir. Arıların yiyecek aramalarında ve haberleşmelerinde sergiledikleri davranışların modellenmesi ile oluşturulmuştur. Modellemede arılar üç çeşit olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar işçi, kâşif ve gözcü arılardır. İşçi arıların çalışma şekli komşuluk prensibine dayanır. Görevleri daha fazla nektarın olduğu besin kaynaklarını araştırmaktır. Gözcü arılar kovanda haber beklerler. Diğer arılar besin kaynaklarının bilgilerini dansla paylaştıktan sonra nektarın çok olduğu besin kaynağına gitmek için kovandan ayrılırlar. Kâşif arıların görevi ise rastgele dağılarak besin aramalarıdır. İlk olarak kâşif arılar rastgele besin kaynakları bulurlar. Daha sonra işçi arılar bulunan bu besin kaynaklarına nektar toplamak için giderler. İşçi arıların bu besin kaynağının konumunu rastgele başka bir komşu konumuyla geliştirme formülü uygulayarak yeni bir konum elde ederler. Yeni konum eski konumdan daha iyiye işçi arı eski besin kaynağını unutur ve yeni besin kaynağını hafızaya alır. Kovana geldiklerinde gözcü arılar işçi arıların danslarından iyi besin kaynaklarını anlarlar ve bir olasılığa bağlı olarak yiyecek kaynaklarına yönelirler. İşçi arılar gibi gözcü arılarda gittikleri besin kaynağını rastgele başka bir komşu konumuyla geliştirme formülü uygulayarak yeni bir besin kaynağı konumu elde ederler. Eğer bu besin kaynağı daha verimliyse eski besin kaynağı unutulur ve yeni besin kaynağı hafızaya atılır. Belirli bir sayıda gidilen besin kaynağı eğer tüketilmiş ise terk edilir ve gözcü arılar kâşif arıya dönerek yeni yiyecek kaynakları ararlar. Bu işlem maksimum döngü sayısına kadar işçi, gözcü ve kâşif arıların tekrar gönderilmesiyle devam eder. Algoritma, arı kolonilerinin sürü hareketlerinin çalışma düzenini örnek alarak bu şekilde kurulmuştur.



Şekil 3.3: Yapay arı kolonisi algoritması çalışma düzeni [20]

Şekil 3.3'te arıların yiyecek aramalarının ve haberleşmelerinin çalışma düzeni verilmiştir. Bu düzende A ve B önceden bulunmuş besin kaynakları olarak verilir. S ile gösterilen arı kaşif arıdır, kaynak bilgisi olmadan besin arar. R ile gösterilen arı gözcü arıdır. Dans eden arıları izler ve konumu verilen kaynaklara gider. Kaynaklardan besin getiren arılar işçi arı haline gelirler. Besin taşıyan arıların kovana geldikten sonra gerçekleştirebilecekleri üç yol vardır. Birinci yol, arıların kaynakların yerini diğer arılar ile paylaşmadan kaynaklardan besin taşıma işlemini devam ettirmeleridir. Bu tip arılar Şekil 3.3'te EF2 olarak verilmiştir. İkinci yol, arıların kaynağa geri dönmeden gerçekleştirdikleri danslarıyla diğer arılar ile kaynağın yeri ve miktarı hakkında ki bilgiyi paylaşarak, arıları kaynağa yönlendirir. Bu tip arılar da Şekil 3.3'te EF1 olarak verilmiştir. Üçüncü yol ise arıların kaynağa geri dönerek dans alanında gözcü arı olmalarıdır. Bu tip arılar da Şekil 3.3'te UF olarak verilmiştir.



Şekil 3.4: Yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı [20]

İşçi arıların sayısı algoritmada gözcü arıların sayısına eşit olarak alınır. Besin kaynağından nektar getiren işçi arı kaynaktaki nektar bittiğinde kaşif arı olmaktadır. Yapay arı kolonisi algoritmasında besin kaynaklarının konumları çözülmek istenen problemin olası çözümüne, besin miktarı ise çözümün kalitesine karşılık gelmektedir. Yapay arı kolonisi algoritması en çok nektara sahip olan kaynağın yerini tespit etmek için tasarlanmıştır. Arama uzayında bulunan çözümler arasından problemin minimumu ya da maksimumu olan nokta (çözüm)

bulunmaya çalışılmaktadır.

Algoritma ilk öncelikle rastgele besin kaynağı yerleri üreterek başlar. Besin kaynağı yerleri, çözümdeki her parametre için verilmiş olan alt ve üst sınırlar arasında rastgele değer üretilerek bulunur. Bir kaynağı terk etmek için maksimum çevrim sayısı olarak limit değeri belirlenir. Denklem 3.2'de besin kaynakları yerlerinin rastgele üretilme formülü verilmiştir. Denklem 3.2'de i yiyecek kaynağı sayısını (N), j ise çözümde bulunan parametre sayısını (D) ifade etmektedir. x_{ij} , besin kaynaklarının yerlerini belirtir. x_j^{min} ve x_j^{max} ifadeleri önceden belirlenmiş olan j . parametrenin alt ve üst sınırlarını gösterir. ϵ ise rastgele değer üretmeye yardımcı bir elemandır.

$$x_{ij} = x_j^{min} + \epsilon \cdot (x_j^{max} - x_j^{min}), \quad \epsilon \sim N(0, 1) \quad (3.2)$$

İşçi arılar besin taşıdıkları kaynaklar komşuluğunda yeni besin kaynakları bulurlar. Yeni kaynak olan v_{ij} , var olan kaynağı ifade eden x_{ij} komşuluğunda üretilir. Denklem 3.3 ile tanımlanmıştır. Denklem 3.3'de φ $[-1, 1]$ aralığında herhangi bir değeri ifade eder. Yeni kaynak üretilme işleminin rastgele olmasını sağlar.

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij} \cdot (x_{ij} - x_{kj}), \quad k \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (3.3)$$

Yeni kaynak olarak üretilen v_{ij} değerinin, üretiminde kullanılan x_{ij} değerlerinin önceden belirlenmiş olan alt ve üst sınırlarının arasında olması sağlanır. Denklem 3.4 ile gösterilmiştir.

$$v_{ij} = \left\{ \begin{array}{ll} x_j^{min}, & v_{ij} < x_j^{min} \\ v_{ij}, & x_j^{min} \leq v_{ij} \leq x_j^{max} \\ x_j^{max}, & x_j^{max} < v_{ij} \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Yeni kaynak v_{ij} değerinin Denklem 3.5 ile uygunluğu (U) hesaplanır. f_i , kaynağın uygunluk değeridir. Uygunluk fonksiyonu, yeni kaynak adayının kalite değerini hesaplamak için kullanılır. Sonuçta alınan değer ile kaynağın uygun olup olmadığı tespit edilir. Daha sonrasında yeni kaynak ve önceki kaynak çözümleri karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda yeni çözüm eski çözüme göre daha kötü değerlere sahip ise hata değeri bir artırılır ve programda belirtilen limit değeri ile karşılaştırılır. Hata ve limit değerleri kullanılarak kötü çözüm değerlerine sahip olan kaynakların değerlendirme dışı kalması sağlanır. Sayaç limit değerine ulaştığında o kaynak

artık kullanılmaz olacaktır. Yeni çözüm eski çözüme göre daha iyi değerlere sahipse sayaç sıfırlanır.

$$U = \left\{ \begin{array}{ll} 1/(1 + f_i), & f_i \geq 0 \\ 1 + |f_i|, & f_i < 0 \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

Arıların besin topladıkları kaynaklarının besininin tükenip tükenmediği belirlenir. Kaynakta besin tükenmiş ise arılar Denklem 3.3 ile üretilen yeni kaynaklara yönelir. Bu süreç belirlenmiş olan maksimum döngü sayısına ulaşıncaya kadar devam eder, ulaşıldığında algoritma sonlandırılır.

3.2 En Küçük Kareler Yöntemi (Least Squares Method)

Hayatın farklı alanlarında herhangi bir çalışma ile bir konu hakkında veriler toplanıp incelenir ve toplanan verileri içeren bir fonksiyon oluşturulmaya çalışılır. Çoğu zaman toplanan bu verilere karşılık gelecek uygun bir fonksiyon bulunamaz. O zaman bu veriler için en uygun fonksiyonun bulunmasına çalışılır. Bir konu için toplanan verilere en mümkün ve uygun fonksiyonun bulunması sürecine regresyon analizi denir. Yani regresyon analizi, iki ya da daha fazla değişken arasındaki bağlantıyı bulmak ve bu bağlantıdan yola çıkarak konu ile ilgili tahminlerde bulunabilmek için kullanılır. Regresyon analizi yapılırken en çok kullanılan yöntemlerden biri en küçük kareler yöntemidir.

$$q = \sum_i (y_i - f(x_i))^2 \quad (3.6)$$

En küçük kareler yöntemi veri noktalarına (x_n, y_n) en yakın noktalardan geçecek bir fonksiyonun bulunması metodudur. Gerçek y_n değerleri ile denklem sayesinde bulunan değerlerin arasındaki farkın karelerinin toplamını minimize etme mantığıyla çalışır. Denklem 3.6 ile gösterilmiştir. $n \in \{1, \dots, N\}$ olmak üzere (x_n, y_n) verilerine en uygun $y = a + bx$ olan doğru bulunur.

4 Metodoloji

Bu bölümde kullanıcıdan alınmış olan hareket eğrisinin oluşturulması için eğriyi oluşturacak olan dişlilerin konumları, yarıçapları, dönme fazları ve dişlilere bağlanacak çubuk uzunlukları gibi parametrelerin bulunmasında kullanılan yöntemlerden bahsedilecektir. Çözmeye çalıştığımız problem on iki boyutlu bir tasarım problemidir. Kullanıcıdan alınmış olan eğrinin dişli mekanizmalar sistemi ile en yakın oluşmasını sağlayan parametrelerin bulunması için matematiksel optimizasyon teknikleri uygulanmıştır. Biliyoruz ki bu tür tasarım problemlerinde parametre sayısı arttıkça, parametre uzayının boyutu da artacaktır. Çok boyutlu uzaylarda verilerin analizi yapılırken farklı sorunlar ortaya çıkar. Uzayın boyutu arttıkça veri noktaları uzayda çok dağınık bir şekilde yer alır. Uzayda yer alan noktaların yoğunlukları ve aralarındaki mesafe problemin çözümünde önemlidir. Fakat boyutun artması ile noktaların yoğunluğu ve aralarındaki mesafe bilgileri anlamsızlaşabilir. Bu durum problemin çözümü için kullanılan algoritmanın performansını da etkiler. Literatürde buna boyutun laneti denilmektedir.

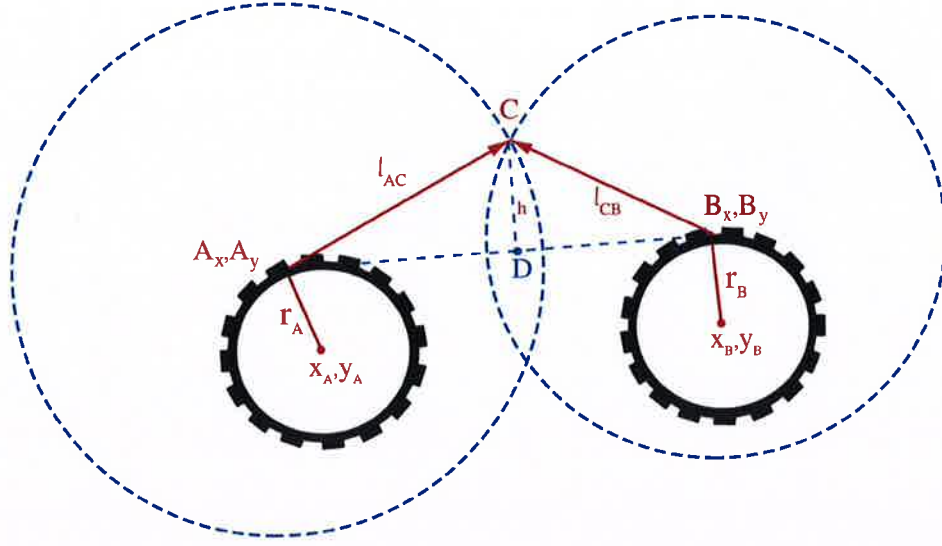
Uygulamış olduğumuz sistem, kullanıcıdan alınan hareket eğrisine en uygun eğriyi bulmaya çalışmaktadır. Bulunan eğrinin uygunluğu, alınan eğrinin parametreleri ile bulunan eğrinin parametrelerinin aralarındaki uzaklıklarının kareleri toplamı ile değerlendirilir. Bu değer düşüklüğü ile eğri uygunluğu doğru orantılıdır. Problemi çözmek için kurgulamış olduğumuz sistemde eğri, iki dişlinin birbirine iki doğrusal kol ile bağlanması ve dişlilerin hareketi sonucu bağlantı noktalarının entegre hareketiyle oluşur. Kullanıcıdan alınan hareket eğrisinin oluşması için dişlilerin nasıl yerleştirilmesi gerektiği bulunur. Bu işlem, matematiksel bir çözüm kullanılarak yapılmıştır. Çözümün içerdiği parametreler dişlilerin konumlarını (x_A, y_A, x_B, y_B) , yarıçaplarını (r_A, r_B) , dönme fazlarını (ϕ_A, ϕ_B) ve dişlilere bağlanacak çubuk uzunluklarını (l_{AC}, l_{BC}) içermektedir. Geliştirdiğimiz metot bu parametre değerlerini bulur. Denklem 4.1'de kullanıcıdan alınan eğri için geliştirmiş olduğumuz metot ile bulunmuş olan en yakın sonucun matematiksel ifadesi verilmiştir. Bu ifade de Şekil 4.1'de gösterildiği gibi h değeri C ve D noktaları arasındaki uzaklığı, l_{AB} değeri A ve B noktası arasındaki uzaklığı vermektedir. A, B ve D noktalarının konumlarını

göstermektedir. C ise geliştirilen metot ile bulunan noktaları vermektedir.

$$\begin{aligned} C_x(t) &= D_x(t) + h \cdot (B_y(t) - A_y(t)) / l_{AB}, \\ C_y(t) &= D_y(t) - h \cdot (B_x(t) - A_x(t)) / l_{AB} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Formüle ettiğimiz problem sınırlaması bulunmayan bir optimizasyon problemi-
dir. Geliştirmiş olduğumuz mekanizmada dişlilerin hareketi, sürücüye bağlı bir
dişli ya da bir sürüş krankı ile sağlanacaktır. Mekanizmada ki iki dişlide aynı
giriş sürücüsüne bağlı olduğundan açısal hızları sabit olarak alınmıştır. İki dişlinin
açısal hızlarını değiştirmek ortaya çıkan hareketi de etkiler. Giriş ve çıkış hareket-
lerinin aynı olduğundan emin olabilmek için açısal hızlar eşit olarak alınır. Proble-
min matematiksel formülasyonu yapıldığında, konveks bir optimizasyon problemi
şeklinde formüle edilemediği görülmüştür. Konveks optimizasyona çevirmek için
kullanılan teknikler de çalışmamıştır. İlk önce problem, Nelder-Mead algoritması
ile çözülmeye çalışılmıştır. Fakat bu çözüm ile program global minimum değerini
bulamamakta ve genellikle lokal minimuma takılmaktadır. Bu sorunu çözülmesi
için sezgisel optimizasyon türlerinden olan parçacık sürü algoritmaları mantığında
çalışan yapay arı kolonisi algoritması kullanılmıştır. Optimizasyon problemi, model
ve verilen data arasındaki uzaklığın karelerinin toplamını minimize edecek şekilde
çözülmesi sağlanmıştır.

Kullanıcıdan alınmış olan hareket eğrisinin oluşturulması için düzenlenmiş olan
sistemde merkezi sabitlenmiş dönebilen iki dişli birbirine iki çubuk kol yardımı ile
bağlanmıştır. Şekil 4.1'de iki dişlinin A ve B noktalarından iki çubuk kol [AC] ve
[BC] ile bağlantıları gösterilmiştir. r_A ve r_B dişlilerin yarıçaplarını vermektedir.
[AC] uzunluğu l_{AC} ve [BC] uzunluğu l_{BC} şeklinde verilmiştir. Şekil 4.1'de kesikli
çizgiler ile gösterilen çemberler, merkezi A ve B noktaları olan ve konumlarının bi-
lindiği bir sistemde, C noktasının konumunun bulunabilmesi için gerekli geometrik
çalışmanın kurgulandığı iki sanal çemberi göstermektedir.

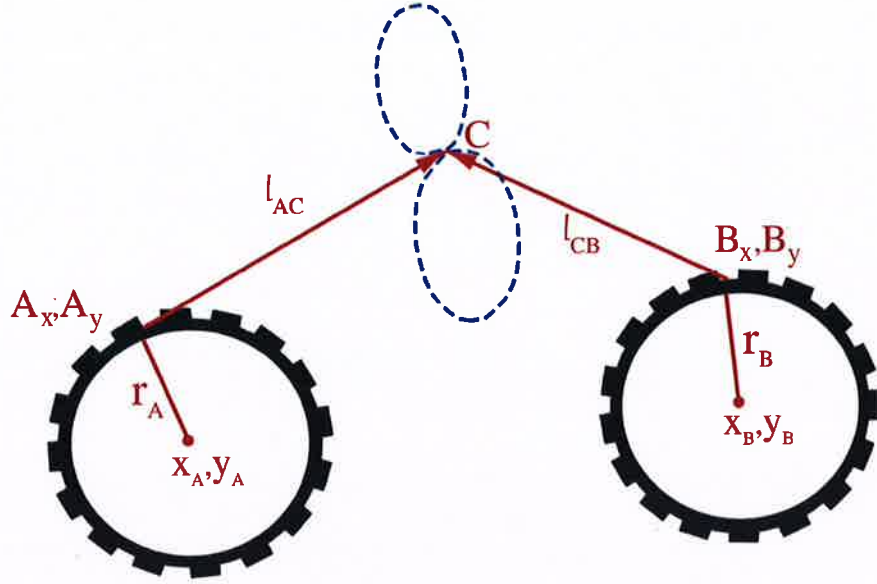


Şekil 4.1: Şekilde iki dişlinin A ve B noktalarından iki çubuk kol ([AC] ve [BC]) ile bağlantıları gösterilmiştir. r_A ve r_B dişlilerin yarıçaplarını vermektedir. [AC] uzunluğu l_{AC} , [BC] uzunluğu l_{BC} ve [DC] uzunluğu h şeklinde verilmiştir. Kesikli çizgilerle gösterilen çemberlerin merkezi A ve B noktaları olan iki hipotetik çemberi ifade eder.

Kullanıcı tarafından alınmış olan hareket eğrisinin gerçekleştirilmesi için bir sistem geliştirilmiştir. Şekil 4.1'de gösterilen sistemde dişlilerin hareketi sonucu C noktasının da hareketiyle çizilen eğrinin bulunması hedeflenmektedir. Bunun için C noktasının konumunu bulan bir yönteme ihtiyaç vardır. A ve B noktalarının konumları biliniyorsa C noktasının konumunu bulmak mümkündür. Noktaların konumlarını bulan denklemler şu şekilde verilmiştir [24]. Denklem 4.2'de [AD] uzunluğu l_{AD} , [DB] uzunluğu l_{DB} , [DC] uzunluğu h ve [AB] uzunluğu d şeklinde verilmiştir. A, B, C ve D noktalarının x ve y koordinatları da sırasıyla $A_x, A_y, B_x, B_y, C_x, C_y$ ve D_x, D_y olarak tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
 l_{AD}^2 + h^2 &= l_{AC}^2, \quad l_{DB}^2 + h^2 = l_{BC}^2, \quad d = l_{AD} + l_{DB} \\
 l_{AD} &= (l_{AC}^2 - l_{BC}^2 + d^2)/(2d), \quad h^2 = l_{AC}^2 - l_{AD}^2 \\
 D &= A + l_{AD} \cdot (B - A)/d \\
 C &= (C_x, C_y), \quad A = (A_x, A_y), \quad B = (B_x, B_y), \quad D = (D_x, D_y) \\
 C_x &= D_x \mp h \cdot (B_y - A_y)/d, \quad C_y = D_y \mp h \cdot (B_x - A_x)/d
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Dişlilerin hareketi sonucunda dişlilere bağlı olan kolların da hareketi ile C noktasının izlediği yörünge, bize istediğimiz hareket eğrisini çizmiş olur. Kullanıcıdan girdi olarak istenilen de bu eğridir.



Şekil 4.2: Şekilde iki dişlinin hareketi sonucunda dişlilere bağlı olan kolların da hareketi ile C noktasının izlemiş olduğu yörünge örnek olarak gösterilmiştir.

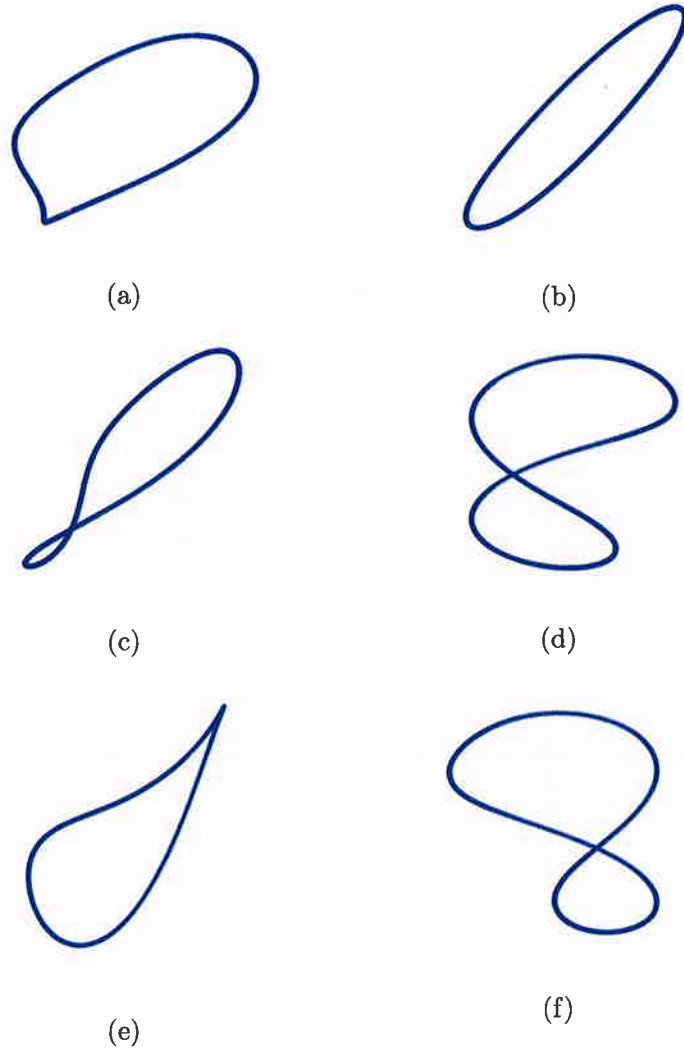
Geliştirmiş olduğumuz sistemin ilk adımı kullanıcıdan bir hareket eğrisinin alınmasıdır. Bu eğrinin sistemimiz tarafından çizdirilmesi için matematiksel bir formülasyon uygulanmıştır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi eğrinin oluşması için bazı parametrelere ihtiyaç vardır. İlk öncelikle çubuk kolların dişlilere bağlandıkları A ve B noktalarının t süre dönmesi ile izledikleri yolun koordinat bilgileri hesaplanır. Denklem 4.3’te formülasyonu verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 A_x &= x_A + r_A \cdot \cos(\omega_A \cdot t + \phi_A) \\
 A_y &= y_A + r_A \cdot \sin(\omega_A \cdot t + \phi_A) \\
 B_x &= x_B + r_B \cdot \cos(\omega_B \cdot t - \phi_B) \\
 B_y &= y_B + r_B \cdot \sin(\omega_B \cdot t - \phi_B)
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Denklem 4.2’deki formülasyon yardımı ile bulunan A ve B noktalarının koordinatları kullanılarak D ve C noktalarının izlemiş oldukları yörüngelerin koordinatları hesaplanır. Hesaplama formülasyonu Denklem 4.4’te verildiği gibidir. Sonrasında formülasyon sonucunda bulunan C noktasının koordinatları sisteme üretilir. Şekil

4.3'te sisteme ürettirilen bazı hareket eğrileri verilmiştir.

$$\begin{aligned} D_x &= A_x + l_{AD} \cdot (B_x - A_x)/d, & D_y &= A_y + l_{AD} \cdot (B_y - A_y)/d \\ C_x &= D_x + h \cdot (B_y - A_y)/d, & C_y &= D_y - h \cdot (B_x - A_x)/d \end{aligned} \quad (4.4)$$



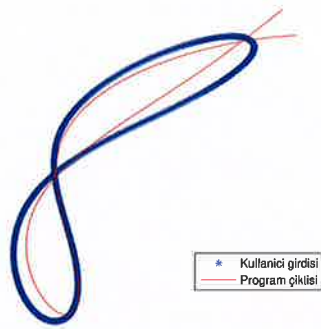
Şekil 4.3: Kullanıcıdan alınmış olan bazı eğriler sisteme ürettirildi. Tablo 4.1'de eğrilerin parametreleri verilmiştir.

Şekil 4.3'teki eğrilerin parametreleri												
	x_A	x_B	y_A	y_B	ϕ_A	ϕ_B	ω_A	ω_B	r_A	r_B	l_{AC}	l_{BC}
Şekil 4.3 (a)	0	0	0	5	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	2	1	5	4
Şekil 4.3 (b)	0	2	0	5	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	1	1	3	2
Şekil 4.3 (c)	0	0	0	5	$\pi/6$	$-\pi/2$	1	-1	2	1	4	5
Şekil 4.3 (d)	5	3	8	5	$\pi/2$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	5	4
Şekil 4.3 (e)	0	4	0	5	$\pi/3$	$-\pi/2$	1	-1	2	1	5	5
Şekil 4.3 (f)	1	0	1	5	$\pi/2$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	4	4

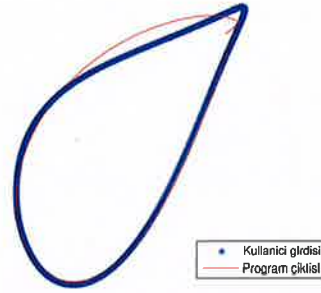
Tablo 4.1: Şekil 4.3'te gösterilmiş olan eğrilerin parametreleri verilmiştir.

Optimizasyon probleminin çözülmesi için yapay arı kolonisi algoritması kullanılmıştır. Algoritma için üç farklı fonksiyon tanımlanır. Bu fonksiyonların çalışma düzeni şu şekildedir:

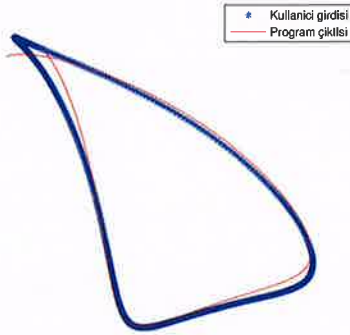
Geliştirdiğimiz sistem ile amaç fonksiyonuna minimizasyon uygulayarak kullanıcıdan alınan hareket eğrisini oluşturabilecek en yakın parametreler bulunur. Bu parametreler ile oluşturulan sistemin hareketi sonucu çıkan eğri ile kullanıcıdan alınan hareket eğrisinin uyduğunun kontrol edilmesi için ortalama karesel hata ölçümü kullanılır. Ortalama karesel hata değeri 0'a ne kadar yakın olursa programın sunmuş olduğu eğri istenilen hareket eğrisine o derece yakın olacaktır. Denklem 4.5'te formülasyon verilmiştir. Kullanıcıdan alınmış olan hareket eğrileri (kalın ve mavi) ile programın bulmuş olduğu eğrilerin (ince ve kırmızı) karşılaştırılmış örneklerinden bazıları ortalama karesel hata (MSE) değerleri ile Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



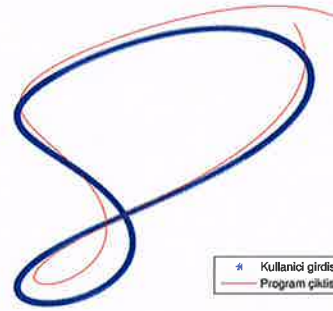
(a) MSE=4,89



(b) MSE=2,43



(c) MSE=26,13



(d) MSE=50,39

Şekil 4.4: Kullanıcı tarafından girilen hareket eğrisi (kalın ve mavi) ile programın bulmuş olduğu eğrinin (ince ve kırmızı) karşılaştırılmış örnekleri gösterilmiştir. Ortalama karesel hata (MSE) değerleri figürlerin altında raporlanmıştır. Tablo 4.3'te eğrilerin parametreleri verilmiştir.

Kullanıcıdan alınan eğri ile yöntem sonucunda bulunan eğri en küçük kareler yöntemi kullanılarak karşılaştırılır. Sonuç değeri iki eğri arasındaki hata oranını verir. Yöntemin uygulanışı Denklem 4.5'te verilmiştir.

$$err = \sum \left((C_x^* - C_x)^2 + (C_y^* - C_y)^2 \right) \quad (4.5)$$

Geliştirilen yöntemde amaç fonksiyonuna yapay arı kolonisi algoritması ile optimizasyon uygulanmıştır. Yapay arı kolonisi algoritmasının popülasyon boyutu, maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı ve limit olmak üzere üç adet kont-

rol parametresi bulunmaktadır. Popülasyon boyutu, bir popülasyondaki birey sayısını ifade etmektedir. Limit, yapay arı kolonisi algoritmasında bir kaynağın geliştirilememe sayacı bu değere eşit olduğunda, kaynağın terkedilmesi için gereken sınır değeridir. Maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı, problemin çözümünde kullanılan işlemin tekrar sayısını ifade etmektedir. Tablo 4.2’de, Şekil 4.4’teki figürler için yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılan popülasyon boyutu (PB) ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MFDS) değerleri verilmiştir. Limit değeri tüm örnekler için sabit olarak alınmıştır.

Figür	Şekil 4.4 (a)	Şekil 4.4 (b)	Şekil 4.4 (c)	Şekil 4.4 (d)
PB	500.000	200.000	400.000	300.000
MFDS	10.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000

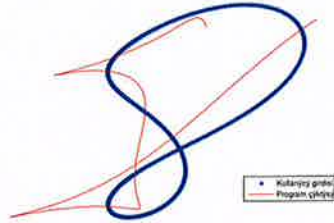
Tablo 4.2: Şekil 4.4’te gösterilmiş olan figürlerin oluşumunda kullanılan yapay arı kolonisi algoritmasında verilen popülasyon boyutu (PB) ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MFDS) değerleri raporlanmıştır.

Geliştirilen yöntem sonucunda oniki adet parametre elde edilir. Tablo 4.3’de, Şekil 4.4’te bulunan figürlerin kullanıcıdan alınan hareket eğrisinin parametreleri ve geliştirilen algoritma sonucunda bulunan parametreler verilmiştir. Her figür için p ve \hat{p} satırları oluşturulmuştur. p satırında kullanıcıdan alınmış olan hareket eğrisinin parametreleri yer almaktadır. \hat{p} satırında ise geliştirilen algoritmanın bulunduğu parametreler yer alır.

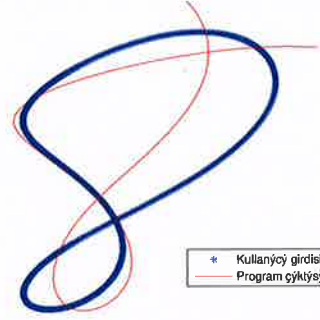
Şekil 4.5’te kullanıcıdan alınmış olan hareket eğrisi ve geliştirilen yöntem ile kontrol parametreleri değiştirilerek bulunan sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 4.4’te, Şekil 4.5’teki figürler için yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılan popülasyon boyutu (PB) ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MFDS) değerleri verilmiştir. Popülasyon boyutu ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı dengeli bir şekilde arttırıldığı zaman ortalama karesel hata değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Tablo 4.5’te, Şekil 4.5’te bulunan figürlerin kullanıcıdan alınan hareket eğrisinin parametreleri ve geliştirilen algoritma sonucunda bulunan parametreler verilmiştir. Her figür için p ve \hat{p} satırları oluşturulmuştur. p satırında kullanıcıdan alınmış olan hareket eğrisinin parametreleri yer almaktadır. \hat{p} satırında ise geliştirilen algoritmanın bulunduğu parametreler yer alır.

		Geliştirilen yöntemin parametreleri											
		x_A	x_B	y_A	y_B	ϕ_A	ϕ_B	ω_A	ω_B	τ_A	τ_B	l_{AC}	l_{BC}
Şekil 4.4 (a)	p	0	2	0	5	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	1	1	3	2
	\hat{p}	-0,93	1,13	-0,94	4,84	-1,81	-2,23	0,82	-1,11	-1,18	0,80	4,56	3,04
Şekil 4.4 (b)	p	1	5	3	8	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	1	1	4	4
	\hat{p}	5,12	0,12	3,27	2,02	-1,94	2,42	1,09	1,04	-0,71	-1,03	-1,01	5,12
Şekil 4.4 (c)	p	4	0	4	5	$\pi/2$	$-\pi/2$	1	-1	2	1	4	4
	\hat{p}	3,94	-1,35	2,87	5,12	1,77	-2,11	0,92	-1,10	2,13	0,77	-5,12	4,96
Şekil 4.4 (d)	p	3	3	0	4	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	4	4
	\hat{p}	2,08	2,66	0,06	3,92	1,25	5,05	0,79	-0,89	2,15	1,70	-5,12	3,92

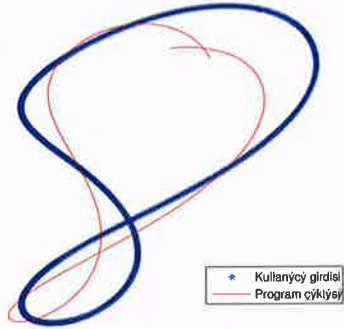
Tablo 4.3: Şekil 4.4'te gösterilmiş olan figürler için kullanılan yöntem sonucunda bulunan eğrinin parametreleri raporlanmıştır. p satırında kullanımdan alınmış olan eğrinin parametreleri, \hat{p} satırında ise yöntem ile bulunan eğrinin parametreleri yer almaktadır.



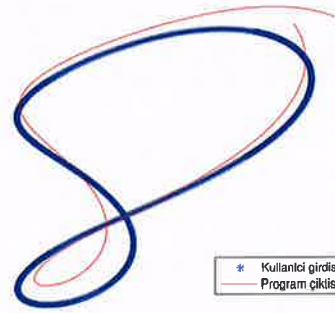
(a) MSE=139,79



(b) MSE=126,53



(c) MSE=119,42



(d) MSE=50,39

Şekil 4.5: Kullanıcı tarafından girilen hareket eğrisi (kalın ve mavi) ile programın bulmuş olduğu eğrinin (ince ve kırmızı) karşılaştırılmış örnekleri gösterilmiştir. Ortalama karesel hata (MSE) değerleri figürlerin altında raporlanmıştır. Tablo 4.5'te eğrilerin parametreleri verilmiştir.

Figür	Şekil 4.5 (a)	Şekil 4.5 (b)	Şekil 4.5 (c)	Şekil 4.5 (d)
PB	100.000	300.000	500.000	900.000
MFDS	4.000.000	8.000.000	10.000.000	13.000.000

Tablo 4.4: Şekil 4.5'te gösterilmiş olan figürlerin oluşumunda kullanılan yapay arı kolonisi algoritmasında verilen popülasyon boyutu (PB) ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MFDS) değerleri raporlanmıştır.

Geliştirilen yöntemin parametreleri

	x_A	x_B	y_A	y_B	ϕ_A	ϕ_B	ω_A	ω_B	τ_A	τ_B	l_{AC}	l_{BC}
Şekil 4.5 (a)	P	3	0	4	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	4	4
	\hat{p}	5,12	-1,83	4,93	-0,06	0,89	-0,92	1,11	2,17	-2,23	2,45	-5,04
Şekil 4.5 (b)	P	3	0	4	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	4	4
	\hat{p}	2,08	2,66	0,06	1,25	5,05	0,79	-0,89	2,15	1,70	-5,12	3,92
Şekil 4.5 (c)	P	3	0	4	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	4	4
	\hat{p}	1,61	2,22	-0,30	3,70	0,21	4,48	-1,04	1,57	1,54	4,77	-4,34
Şekil 4.5 (d)	P	3	0	4	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	4	4
	\hat{p}	2,28	2,87	-0,32	4,27	-1,68	-1,94	-1,12	-2,34	2,11	5,12	-4,33

Tablo 4.5: Şekil 4.5'te gösterilmiş olan figürler için kullanılan alınan eğrinin ve geliştirilen yöntem sonucunda bulunan eğrinin parametreleri raporlanmıştır. p satırında kullanımdan alınmış olan eğrinin parametreleri, \hat{p} satırında ise yöntem ile bulunan eğrinin parametreleri yer almaktadır.

Uygulamanın sözde-kodu

- 1: Kullanıcıdan istediği eğri C^* alınır.
 - 2: Optimizasyon sonucu elde edilen C eğrisi ile kullanıcıdan alınan C^* eğrisinin birbirine yakınlığı ortalama karesel hata ölçümü kullanılarak bulunur. Denklem 4.5'te verilmiştir.
 - 3: C^* eğrisine en uygun ve mümkün olan C eğrisinin bulunması için yapay arı koloni algoritması uygulanarak optimizasyon işlemi yapılır.
 - 4: Ortalama karesel hata değerini en küçük olarak veren parametreler dışı sisteminin nasıl yerleşeceğini gösterir.
-

5 Sonuç

Bu tezde önerilen metod yardımıyla, mekanik karakter tasarımı için yapılması gereken zor ve uzun tasarım aşamalarının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu sistem, dişli mekanizmalardan oluşan yapıları uzman olmayan kullanıcılara dahi kolayca mekanik karakterleri tasarlama imkanı sunuyor. Öncelikle oluşturulan algoritma probleme analitik metodlarla yaklaşımın bir ürünüdür. Problemin doğasının konveks olmadığı ve kolayca konveks optimizasyon problemi olarak formüle edilemeyeceği anlaşılınca, sezgisel algoritmalara yönelinmiştir. Problemin çözümü için *Nelder-Mead* algoritması, parçacık sürü algoritması, genetik algoritma ve yapay arı kolonisi algoritması gibi algoritmalar denenmiştir. Ancak *Nelder-Mead*, parçacık sürü ve genetik algoritmaları problemin çözümünde yeterince iyi sonuçlar vermemiştir. Denenen bu optimizasyon algoritmaları içerisinde en az hata oranı ile sonuç veren algoritma yapay arı kolonisi algoritması olmuştur.

Yöntem daha da geliştirilerek daha iyi ve daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir. Sistemin daha kullanışlı olması için kullanıcıdan alınan hareket eğrisi resim olarak alınıp, derin öğrenme yöntemleri kullanılarak resim ve sistem parametreleri arasındaki ilişki öğrenilebilir. Geliştirilen yöntem tek bir döngüsel hareketi sağlayan iki dişlinin tasarımını sunmaktadır. Yöntem geliştirilerek ikiden fazla dişlilerin gerektiği kompleks üç boyutlu dişli mekanizmaların tasarımı sağlanabilir. Yaklaşım robotik, makine tasarımı, mekanik kol ve hareket tasarımı, otomasyon gibi birçok farklı alanda entegre edilebilir.

6 Ekler

Tablo 6.1’de, Şekil 6.1’deki figürler için yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılan popülasyon boyutu ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı değerleri verilmiştir.

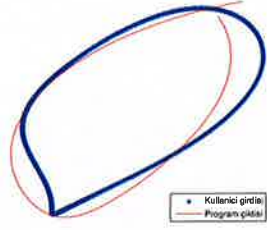
Figür	Şekil 6.1-a	Şekil 6.1-b	Şekil 6.1-c	Şekil 6.1-d	Şekil 6.1-e	Şekil 6.1-f
PB	800.000	800.000	900.000	1.000.000	600.000	800.000
MFDS	10.000.000	10.000.000	13.000.000	12.000.000	9.000.000	12.000.000

Tablo 6.1: Şekil 6.1’deki figürler için yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılan popülasyon boyutu (PB) ve maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (MFDS) değerleri raporlanmıştır.

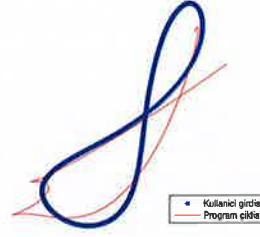
Geliştirilen yöntem sonucunda on iki adet parametre elde edilir. Tablo 6.2’de, Şekil 6.1’de bulunan figürlerin kullanıcıdan alınan hareket eğrisinin parametreleri ve geliştirilen algoritma sonucunda bulunan parametreler verilmiştir. Her figür için p ve \hat{p} satırları oluşturulmuştur. p satırında kullanıcıdan alınmış olan hareket eğrisinin parametreleri yer almaktadır. \hat{p} satırında ise geliştirilen algoritmanın bulduğu parametreler yer alır.

Geliştirilen yöntemin parametreleri													
	x_A	x_B	y_A	y_B	ϕ_A	ϕ_B	ω_A	ω_B	τ_A	τ_B	l_{AC}	l_{BC}	
Şekil 6.1 (a)	p	0	0	5	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	2	1	5	4	
	\hat{p}	4,45	-4,00	-2,54	4,37	1,62	1,58	0,64	-0,85	1,12	-2,31	1,53	-4,60
Şekil 6.1 (b)	p	0	1	0	$\pi/2$	$-\pi/2$	1	-1	2	1	4	3	
	\hat{p}	3,26	-1,13	-2,70	4,93	-5,12	-1,01	1,01	-0,85	0,98	1,49	4,33	2,78
Şekil 6.1 (c)	p	1	0	1	$\pi/2$	$-\pi/2$	1	-1	2	2	4	4	
	\hat{p}	1,78	2,92	1,64	5,12	-4,51	-0,56	1,01	-0,80	2,23	2,77	2,97	-2,19
Şekil 6.1 (d)	p	1	5	1	$\pi/3$	$-\pi/2$	1	-1	3	2	7	9	
	\hat{p}	5,12	3,44	-0,13	5,12	-2,66	2,65	1,01	-0,91	-2,50	-1,74	-0,50	0,33
Şekil 6.1 (e)	p	0	2	0	$\pi/4$	$-\pi/2$	1	-1	3	1	5	5	
	\hat{p}	3,91	-3,82	-4,35	4,97	0,85	-3,83	0,72	-0,76	2,48	-2,45	-1,64	-3,41
Şekil 6.1 (f)	p	3	0	4	$\pi/2$	$-\pi/2$	1	-1	3	2	5	4	
	\hat{p}	-2,49	-5,12	-0,91	4,51	1,54	0,25	1,06	-1,92	2,79	-2,27	3,33	-5,12

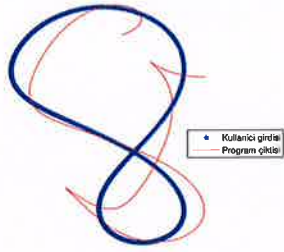
Tablo 6.2: Şekil 6.1'de gösterilmiş olan figürler için kullanılan alınan eğrinin ve geliştirilen yöntem sonucunda bulunan eğrinin parametreleri raporlanmıştır. p satırında kullanımdan alınmış olan eğrinin parametreleri, \hat{p} satırında ise yöntem ile bulunan eğrinin parametreleri yer almaktadır.



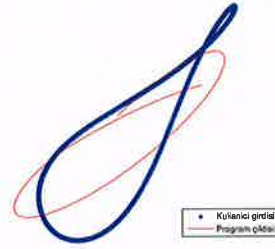
(a) MSE=56,81



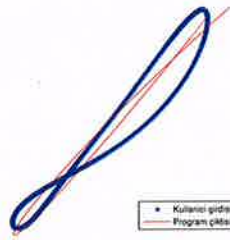
(b) MSE=68,88



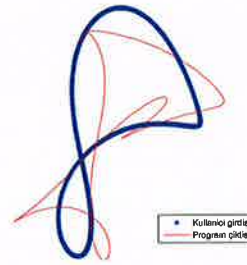
(c) MSE=107,14



(d) MSE=481,88



(e) MSE=61,52



(f) MSE=401,80

Şekil 6.1: Geliştirilen algoritma ile kullanıcıdan alınmış olan eğriler için bazı beklenmedik sonuçlara örnekler verilmiştir. Ortalama karesel hata (MSE) değerleri figürlerin altında raporlanmıştır. Tablo 6.2'de eğrilerin parametreleri verilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Dennis D Harper, J Cameron Petty, and Stephen R Riesenberger. Stop motion animation system, May 21 1996. US Patent 5.519.826.
- [2] Loyd Bruce Holman. *Puppet animation in the cinema: history and technique*. AS Barnes, 1975.
- [3] Julian E Gomez. Twixt: A 3d animation system. *Computers & Graphics*, 9(3):291–298, 1985.
- [4] Stelian Coros, Bernhard Thomaszewski, Gioacchino Noris, Shinjiro Sueda, Moira Forberg, Robert W Sumner, Wojciech Matusik, and Bernd Bickel. Computational design of mechanical characters. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(4):83, 2013.
- [5] Bernhard Thomaszewski, Stelian Coros, Damien Gauge, Vittorio Megaro, Eitan Grinspun, and Markus Gross. Computational design of linkage-based characters. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(4):64, 2014.
- [6] Vittorio Megaro, Espen Knoop, Andrew Spielberg, David IW Levin, Wojciech Matusik, Markus Gross, Bernhard Thomaszewski, and Moritz Bächer. Designing cable-driven actuation networks for kinematic chains and trees. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, page 15. ACM, 2017.
- [7] Vittorio Megaro, Bernhard Thomaszewski, Damien Gauge, Eitan Grinspun, Stelian Coros, and Markus Gross. Chacra: An interactive design system for rapid character crafting. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pages 123–130. Eurographics Association, 2014.
- [8] Gaurav Bharaj, Stelian Coros, Bernhard Thomaszewski, James Tompkin, Bernd Bickel, and Hanspeter Pfister. Computational design of walking auto-

- mata. In *Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pages 93–100. ACM, 2015.
- [9] Vittorio Megaro, Jonas Zehnder, Moritz Bächer, Stelian Coros, Markus Gross, and Bernhard Thomaszewski. A computational design tool for compliant mechanisms. *ACM Trans. Graph.*, 36(4):82, 2017.
- [10] Han-Jong Kim, Yunwoo Jeong, Ju-Whan Kim, and Tek-Jin Nam. M. sketch: Prototyping tool for linkage-based mechanism design. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 75–77. ACM, 2016.
- [11] Yang Liu and J Michael McCarthy. Design of mechanisms to draw trigonometric plane curves. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 9(2):024503, 2017.
- [12] Duygu Ceylan, Wilmot Li, Niloy J Mitra, Maneesh Agrawala, and Mark Pauly. Designing and fabricating mechanical automata from mocap sequences. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(6):186, 2013.
- [13] Ran Zhang, Thomas Auzinger, Duygu Ceylan, Wilmot Li, and Bernd Bickel. Functionality-aware retargeting of mechanisms to 3d shapes. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(4):81, 2017.
- [14] Jean Hergel and Sylvain Lefebvre. 3d fabrication of 2d mechanisms. In *Computer Graphics Forum*, volume 34, pages 229–238. Wiley Online Library, 2015.
- [15] Sehoon Ha, Stelian Coros, Alexander Alspach, James M Bern, Joohyung Kim, and Katsu Yamane. Computational design of robotic devices from high-level motion specifications. *IEEE Transactions on Robotics*, (99):1–12, 2018.
- [16] Shunsuke Nansai, Nicolas Rojas, Mohan Rajesh Elara, Ricardo Sosa, and Masami Iwase. On a jansen leg with multiple gait patterns for reconfigurable walking platforms. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(3):1687814015573824, 2015.
- [17] Vincent Goulet, Wei Li, Hyunmin Cheong, Francesco Iorio, and Claude-Guy Quimper. Four-bar linkage synthesis using non-convex optimization. In *International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 618–635. Springer, 2016.
- [18] Stephen Boyd and Lieven Vandenbergh. *Convex optimization*. Cambridge university press, 2004.
- [19] Temel matematik analiz. <https://suleymanogrekci.wordpress.com/temel-matematik-analiz/>.

- [20] Derviş Karaboğa. Yapay zeka optimizasyon algoritmaları. 2014.
- [21] Marco Dorigo, Mauro Birattari, Christian Blum, Maurice Clerc, Thomas Stützle, and Alan Winfield. *Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence: 6th International Conference, ANTS 2008, Brussels, Belgium, September 22-24, 2008, Proceedings*, volume 5217. Springer, 2008.
- [22] John M Pollard. Monte carlo methods for index computation (). *Mathematics of computation*, 32(143):918–924, 1978.
- [23] Xin-She Yang. Firefly algorithms for multimodal optimization. In *International symposium on stochastic algorithms*, pages 169–178. Springer, 2009.
- [24] Paul Bourke. Intersection of two circles. *website: <http://local.wasp.uwa.edu.au/pbourke/geometry/2circle>*, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KEŞÇİ, Esra Betül
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : 20/09/1991
Medeni Hali : Bekar
Tel : +90 0507 136 36 37
Fax : -
e-mail : ebetulkesci@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	: İstanbul Üniversitesi	Temmuz-2015
Yüksek Lisans	: KTO Karatay Üniversitesi	Temmuz-2018
Phd	: -	

Yabancı Dil

İngilizce(İyi)

Yayımlar

-