



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**STRANDBEEST MEKANİZMASININ FARKLI**  
**ARAZİ ŞARTLARINA ADAPTASYONU**

**İbrahim Ali KARTAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Aralık 2019**  
**KONYA**

## TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim Ali KARTAL tarafından hazırlanan “Strandbeest Mekanizmasının Farklı Arazi Şartlarına Adaptasyonu” adlı tez çalışması 13/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Ziya ŞAKA

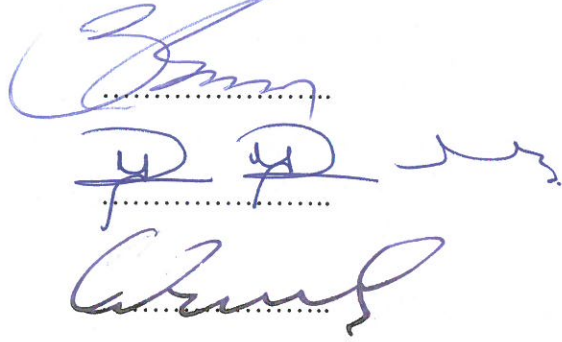
#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Koray KAVLAK

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ziya ÖZÇELİK

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İbrahim Ali KARTAL

13.12.2019



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### STRANDBEEST MEKANİZMASININ FARKLI ARAZİ ŞARTLARINA ADAPTASYONU

**İbrahim Ali KARTAL**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Koray KAVLAK**

**2019, 43 Sayfa**

**Jüri**

**Dr. Öğr. Üyesi Koray KAVLAK  
Prof. Dr. Ziya ŞAKA  
Dr. Öğr. Üyesi Ziya ÖZÇELİK**

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte afetlerde ilk yardım ve arama kurtarma işlemlerinde, maden ocaklarında, denizaltı araştırmalarında, insan sağlığına zararlı yerlerde yapılacak birçok işi robotlar üstlenmektedir. Günümüzde genellikle tekerlekli robotlar kullanılmaktadır. Tekerlekli robotlar düz zeminde kolaylıkla ilerleyebilirken, engebeli arazi şartlarında ise zorluklarla karşılaşılırlar. Engebeli arazi şartlarında ilerlemenin daha kolay olması için yürüme mekanizmalı robotlar tercih edilir. Bu robotlarda, yürümenin sağlanması için en az iki yürüme mekanizması vardır. Ayrıca denge şartları gereği mekanizmanın sayısı fazla seçilerek robot oluşturulur. Robottaki mekanizmanın biri boşta hareket yaparken diğeri ise robotun ilerlemesini sağlar. Farklı arazi şartlarında mekanizmalı robotların ilerleyebilmesi için, arazi koşullarına göre mekanizma adapte olmalıdır. Bunun için mekanizmanın arazideki engelleri aşacak biyel eğrisi elde edilmelidir. Strandbeest mekanizmasının farklı arazi şartlarına göre optimizasyonu yapılmıştır.

Bu çalışmada robotun yürüme mekanizması olarak seçilen Strandbeest mekanizmasının, yere temas eden noktasının biyel eğrisi çizilmiştir. Mekanizmanın kinematik, mukavemet ve modal analizi yapılmıştır. Biyel eğrisinin çizimi için Cinderella programı kullanılmıştır. Uzuvar Solidworks programında katı modellenmiştir. Ayrıca modal analizi de yapılarak doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Mukavemet analizi sonucunda ise Ansys programından gerilme ve yer değiştirme değerleri bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyel eğrisi, kinematik – mukavemet ve modal analiz, robot, Strandbeest, yürüme mekanizması.

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**ADAPTING DIFFERENT TERRAIN CONDITIONS  
OF STRANDBEEST MECHANISM**

**İbrahim Ali KARTAL**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Koray KAVLAK**

**2019, 43 Pages**

**Jury**

**Asst. Prof. Dr. Koray KAVLAK**

**Prof. Dr. Ziya ŞAKA**

**Asst. Prof. Dr. Ziya ÖZÇELİK**

With the development of technology, robots undertake many tasks in first aid and search and rescue operations in disasters, mines, submarine researches and places that are harmful to human health. Today, wheeled robots are generally used. While wheeled robots can easily move on flat ground, they face difficulties in rough terrain. Robots with gait mechanisms are preferred to make progress in rough terrain easier. These robots have at least two walking mechanisms to ensure walking. In addition, due to the balance conditions, the number of mechanisms is selected more and the robot is formed. One of the mechanisms in the robot moves idle, while the other allows the robot to advance. Mechanism must be adapted to the terrain conditions in order for the robots to move in different terrain conditions. For this, the coupler curve of the mechanism to overcome the obstacles in the field should be obtained. The Strandbeest mechanism will be optimized for different terrain conditions.

In this study, the coupler curve of the Strandbeest mechanism, which is selected as the basic mechanism of the robot, is drawn. Kinematic, strength and modal analysis of the mechanism is done. Cinderella program was used for drawing the connecting curve. Limbs are modeled solid in the Solidworks program. Additionally, natural frequency values were obtained by modal analysis. As a result of strength analysis, stress and displacement values were obtained from Ansys program.

**Keywords:** Coupler curve, kinematic – strength and modal analysis, robot, Strandbeest, walking mechanism.

## ÖNSÖZ

Robotlar, canlılar örnek alınarak insanların ihtiyaçlarını karşılamak için yapılırlar. Her robotun kendisine özgü hareketleri ve işlevi vardır. Günümüzde yaygın olarak mobil robotlar kullanılmaktadır. Mobil robotlar genel olarak tekerlekli ve bacaklı olarak sınıflandırılırlar. Düz zemin koşullarında tekerlekli robotlar işlevselliklerini korurlar. Fakat engebeli arazi şartlarında ilerlemeye uygun değildir. Engebeli arazi şartlarında ilerlemek için bacaklı robotlar geliştirilmiştir. Tekerlekli robotlara göre enerji verimliliği düşük olmasına karşı, değişken arazi koşullarında kolay ilerleme sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada yürüme mekanizması olarak Strandbeest mekanizmasının kullanıldığı bir robotun, farklı arazi şartlarındaki adaptasyonu araştırılmıştır. Bunun için mekanizmadaki uzuv boyutları optimize edilerek bacak uzvunun çizdiği biyel eğrisi değiştirilerek yeni eğriler elde edilmiştir. Bu eğriler yardımıyla robotun değişik arazi koşullarına uyumu sağlanmıştır.

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübesiyle bana kılavuzluk eden değerli danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Koray KAVLAK'a; çalışmalarımnda sabırla manevi desteğini esirgemeyen aileme ve sevgili eşime teşekkür ederim.

İbrahim Ali KARTAL  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER.....	ix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı.....	1
1.2. Tezin Önemi .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
<b>3. STRANDBEEST YÜRÜME MEKANİZMASI .....</b>	<b>12</b>
3.1. Strandbeest Mekanizmasının Tanıtımı .....	12
3.2. Strandbeest Mekanizmasının Diğer Mekanizmalarla Karşılaştırılması.....	13
<b>4. STRANDBEEST MEKANİZMASININ KİNEMATİK ANALİZİ .....</b>	<b>15</b>
4.1. Konum Analizi.....	15
4.2. Hız Analizi .....	17
4.3. İvme analizi.....	18
4.4. H Noktasının İncelenmesi.....	20
4.5. Strandbeest Mekanizmasının Mukavemet Analizi .....	22
4.5.1 Basma ve çekme gerilmeleri.....	23
4.5.2 Gerilme yığılmaları.....	24
4.5.3. Toplam deformasyon .....	24
4.6. Mekanizmanın Modal Analizi .....	25
<b>5. ARAZİ VE ENGEL TİPLERİ.....</b>	<b>26</b>
5.1. Set Tipi Engeller .....	27
5.2. Basmak Tipi Engeller .....	27
5.3. Hendek Tipi Engeller.....	28
<b>6. UZUV BOYUTLARINDAKİ DEĞİŞİMLERİN BİYEL EĞRİSİNE ETKİSİ ..</b>	<b>29</b>
6.1. Uzuv Boyutlarındaki Değişime Bağlı Biyel Eğrilerinin Çizilmesi .....	29
6.1.1. AB mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi.....	29
6.1.2. BC mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi.....	30
6.1.3. BG mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi.....	30

6.1.4. EG mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	31
6.1.5. DF mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	31
6.1.6. CD mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	32
6.1.7. CE mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	32
6.1.8. DE mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	33
6.1.9. FG mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	33
6.1.10. FH mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	34
6.1.11. GH mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi .....	34
6.1.12. AE sabit mafsal noktaları arasındaki mesafe değişiminin biyel eğrisine etkisi .....	35
6.2. Simülasyonlar .....	35
6.2.1 Robotun düz zemindeki ilerleme durumu .....	36
6.2.2. Robotun set tipi engel aşma durumu .....	36
6.2.3 Robotun eğimli zemindeki ilerleme durumu .....	37
6.2.4. Robotun konkav zemindeki ilerleme durumu .....	37
<b>7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>38</b>
<b>8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>39</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>40</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>43</b>



## SİMGELER

Simgeler	Birimler
$\vec{r}_i$ ; Vektör	
$\mathbf{i}$ ; Birim vektör	
$\mathbf{j}$ ; Birim vektör	
$\mu(\theta)$ ; $\theta$ doğrultusundaki birim vektör	
$\sigma(\theta)$ ; $\theta + 90^0$ doğrultusundaki birim vektör	
$t$ ; Zaman	[s]
$r_i$ ; Uzunluk	[mm]
$\theta_i$ ; Açı	[rad, derece]
$V$ ; Hız	[mm/s]
$\omega$ ; Açısal hız	[rad/s]
$a$ ; İvme	[mm/s <sup>2</sup> ]
$\alpha$ ; İvme	[rad/s <sup>2</sup> ]
$n$ ; Mekanizmanın uzuv sayısı	
$e_1$ ; Mekanizmadaki tek serbestlik dereceli çift sayısı	
$e_2$ ; Mekanizmadaki çift serbestlik dereceli çift sayısı	

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Tezin Amacı

Dairesel hareketli uzvun tahrikini lineer harekete dönüştürerek istenen hedefe ulaşmayı sağlayan mekanizmalara, yürüme mekanizmaları denir. Yapılan bu çalışmada, genellikle kullanılan yürüme mekanizmaları araştırılmış ve birbirleriyle kıyaslamalar yapılmıştır. Lineer yolda yürümesi en kararlı olan Strandbeest yürüme mekanizması seçilmiştir. Kinematik olarak analizi yapılmıştır. Konum, hız ve ivme parametre özellikleri belirlenmiştir. Mekanizmanın uzuv boyları uzatılıp kısaltılarak değiştirilmiş ve bacak uzvunun çizdiği biyel eğrisine olan etkisi analiz edilmiştir. Strandbeest mekanizması için iki boyutlu arazi şartları üzerinde çalışılmıştır. Mekanizmanın farklı arazi şartlarındaki davranışının simülasyonu yapılmış ve yorumlanmıştır.

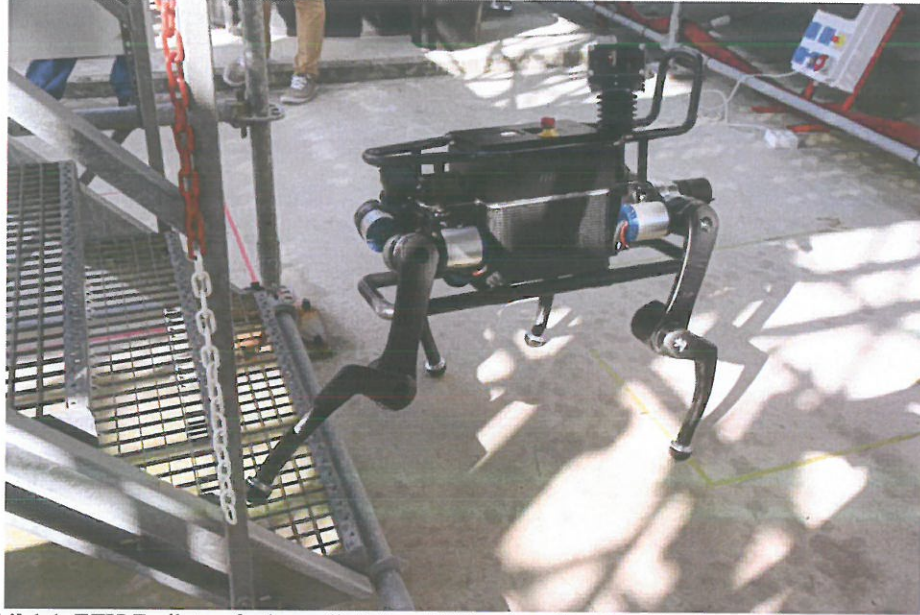
### 1.2. Tezin Önemi

Robotlar insanların ihtiyaçları sonucunda meydana çıkmıştır. Tasarımda hayvanların hareketleri referans alınmıştır. Dengeli bir şekilde ilerleyebilmeleri için gereken sistemler tersine mühendislik yapılarak bulunmaktadır.

Afetlerde, arama-kurtarma faaliyetlerinde; ilk yardım faaliyetlerinde, tehlikeli madde taşıma işlemlerinde; savunma sanayinde, bomba imha ve yer belirleme operasyonlarında, maden ocaklarında çok ağır yüklerin güvenli bir şekilde bir yerden başka bir yere taşınmasında robotlar kullanılır. Bu gibi durumlarda tekerlekli mobil robotlarla zeminin ilerlemeye mani olacak şekilde olması, yürüme mekanizmalı robotlarla çalışmayı zorunlu kılmıştır.

Yürüme mekanizmalı robotlar, tekerlekli robotlara karşı engebeli arazide daha rahat ilerleme sağlamaktadırlar. Tekerlekli robotlara göre, enerji verimliliği düşük olmasına karşı; kullanılan teknoloji ve maliyet bakımından daha üst seviyededir. Çünkü ayaklı robotlarda ilerlemenin dengeli olması; alınan anlık görüntünün işlenip gerçek zaman içinde tepki vermesi gibi birçok karmaşık yapının matematiksel ve fiziksel olarak hesaplanıp, servo motorlar yardımıyla ve yapay zeka yardımıyla kullanılması mümkün olmaktadır.

Dünyada bacaklı yürüme mekanizmaları teknolojisi son yarım asırda hızla gelişim göstermiştir. Yürüme mekanizmalarını geliştirmek için özel kuruluşlar ile birlikte üniversiteler ortak olarak çalışmaktadır. Günümüzde bu konuda öncülük yapan kuruluşlardan biriside Amerikan Boston Dynamics şirkettir.



Şekil 1.1. ETH Zürih tarafından geliştirilen ANYmal at ARGOS C1 robotu (Anonymous, 2019)

Boston Dynamics tarafında üretilen Big Dog robotu, Harvard Üniversitesi ve NASA iş birliği ile geliştirilmiştir. Şekil 1.1’de gösterilen ANYmal at ARGOS C1 robotu da, İsviçre’nin Zürih kentinde geliştirilmiştir (Hutter ve ark., 2016).

Yapılacak bu çalışmada sekiz uzuvlu bir mekanizma ile yürüme sağlanmıştır. Bacaklı robotlarda, düz yüzeylerde ilerlemenin olabilmesi için dengeli bir ilerleme şartının sağlanması gerekir. Yani mekanizmanın yere göre seviyesi sabit ve bacaklar robotun dengesini bozmayacak şekilde olmalıdır. Bunun için robotun çapraz ayaklarının yere teması önemlidir. Atın rahvan yürüyüşünü ele alalım. Yürüyüşü sırasında yere göre seviye sabit ve çapraz ayak çiftinin yerle teması neredeyse hiç kesilmemektedir. Dört nala koşusunda ise sıçrama olduğu için bahsedilen kararlılık olmayacaktır. Atların yürüyüşü sırasında meydana gelen vuruş ve esneme, atın ayak bilekleri yardımıyla sönmelenmektedir. Robotta bu gibi problemle karşılaşmamak için titreşim önleyici takozlar kullanılabilir.

Bu tezde, Strandbeest yürüme mekanizmasının uzuv boyutları değiştirilmiştir. Biyel eğrilerinin adım uzunluğu ve yüksekliği değiştirilerek ortaya çıkan yeni eğriler yorumlanmış ve farklı arazi şartlarına göre uyarlanarak, robotun farklı arazi şartlarına adaptasyonu sağlanmıştır. Aynı zamanda mekanizmaya uygun arazi şartları araştırılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Robotlarda, elektromekanik sistemlerin gelişmesiyle birlikte karmaşık mekanizmalara olan ihtiyaç azalmıştır. Bununla birlikte daha verimli, uzun ömürlü ve daha az maliyetli çözümler sunabilmek amacıyla bacaklı mekanizmalara olan ilgi artmıştır.

Bacaklı mekanizmalarda tasarım da önemlidir. Montaj, hareket zorlukları ve güç aktarımı yönünden zayıf olan kayar mafsallar, tasarımda kullanılmaz. Uzun sayısını ve ağırlığını nispeten azaltan kam ve dişli çiftleri kullanılır. Çoğunlukla döner mafsalların tercih edilmesinin sebepleri şöyle sıralanabilir:

- Kuvvetlerin büyük olması
- Yağlama kolaylığı
- Düşük maliyet
- Su, nem, toz gibi dış etkenlerden etkilenmeme

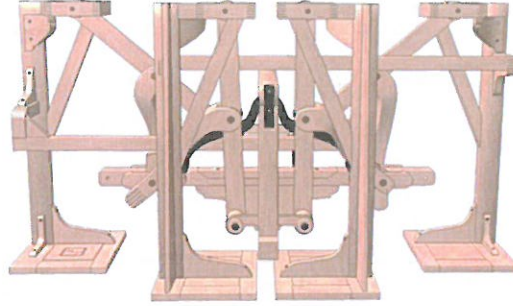
Yürüme hareketini sağlayan mekanizma çoğunlukla dört çubuk mekanizmasıdır.

Dört çubuk mekanizmasına bağlı diğer mekanizmalar da biyel eğrisini değiştirir.

Bir yürüme mekanizmasında bazı şartların sağlanması gerekir. Bunlar:

- Mekanizma sabit torkta tahrik edilmelidir.
- Destek bölgesi içerisinde ağırlık merkezi bulunmalıdır.
- Mekanizma temel yürüme eğrisini kararlı bir şekilde sağlamalıdır.
- Yere temas eden uzvun çizgisel hızı sabit olmalıdır.
- Yere temas etmeyen ayak, diğer ayak görev eğrisinin sonuna ulaşmadan evvel bu eğrinin başına ulaşmalıdır.
- Mekanizmanın yerden yüksekliği sabit kalmalıdır.
- Mekanizma ağırlığı az olmalıdır. Uzun sayısının artması, düşük bağlama açıları (uzuv kesit alanını artıracığından) vs. mekanizma ağırlığını artırıcı yönde etkide bulunacaktır.
- Mekanizma düz ve ters yönde hareket edebilmelidir (Shigley, 1960).

Bu şartlara uyan bir çok mekanizma tasarlanmıştır. Modern mekanizmaların temelini Rus Matematikçi Pafnuty Chebyshev (1821-1894) 'in tasarlamış olduğu Plantigrade (düztaban) mekanizması oluşturur. Aynı zamanda mekanizma Lambda mekanizması olarak da adlandırılır. Mekanizma temelde dört uzuvludur (Şekil 2.1).

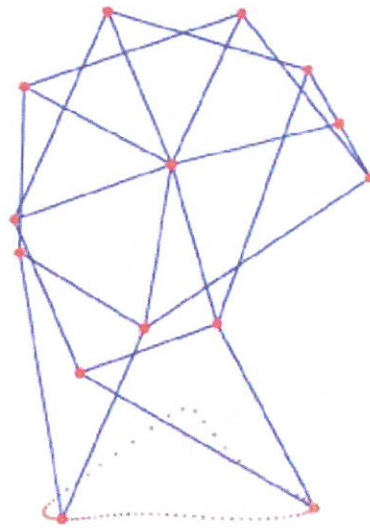


Şekil 2.1. Chebyshev'in Plantigrade mekanizması (Anonymous, 2019)

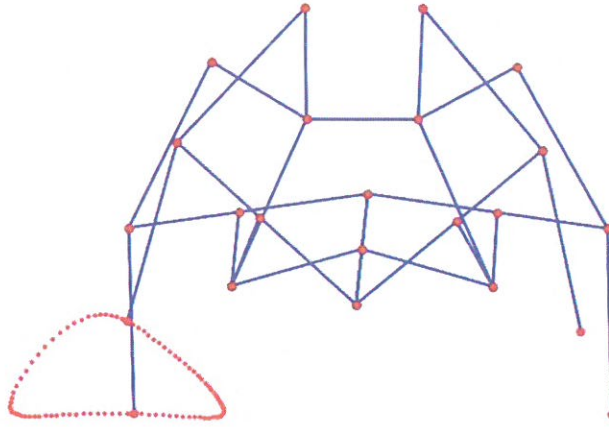
Bu çalışmadan türetilen yürüme mekanizması ise aralarında faz farkı bulunan iki ayaktan meydana gelir. Yürümenin sağlanabilmesi için eşlenik mekanizma sayısı iki veya daha fazla seçilir (Akihiro, S. A., 2004).

Literatür taraması yapıldığında Gahassaei (Anonymous, 2019), Klann (Anonymous, 2019), Strandbeest (Anonymous, 2019), Trotbot (Anonymous, 2019) ve Strider (Anonymous, 2019), mekanizmalarının yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür.

Bir çift Strandbeest mekanizmasının basit gösterimi Şekil 2.2'de görülmektedir. Mekanizma tek noktadan tahrikle, döner uzuvdan tahrik alan iki adet dört çubuk mekanizması ile hareket etmektedir. Mekanizma biyel eğrisini ikiz kenar üçgen şeklinde çizmektedir ve set tipi bir engeli aşmak için uygundur.



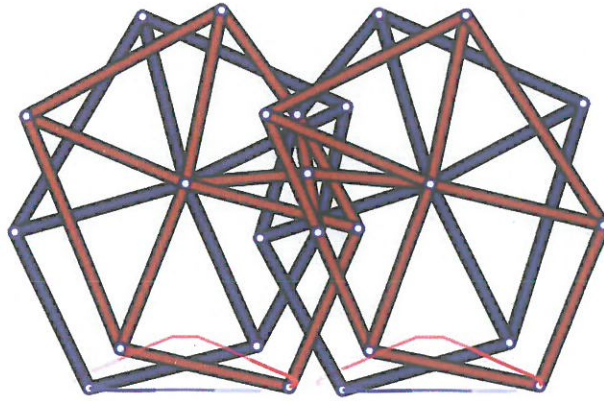
Şekil 2.2. Strandbeest mekanizması (Anonymous, 2019)



Şekil 2.3. Klann mekanizması (Anonymous, 2019)

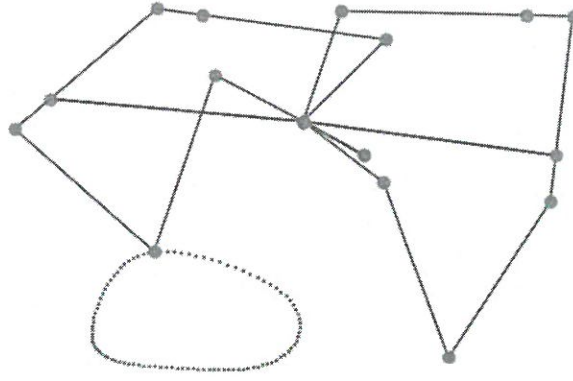
Şekil 2.3'te gösterilen altı uzuvlu Klann mekanizması, Jeo Klann tarafından 1994 yılında tasarlanmıştır. Tek noktadan tahrikle çalışan mekanizmada yatay doğrultudaki adım uzunluğu ve düşey doğrultudaki adım yüksekliği fazladır.

Sekiz uzuvlu, Amanda Ghassaei'nin tasarlamış olduğu bir mekanizma Şekil 2.4'te görülmektedir (Gassaei, 2011). Mekanizma tek bir uzuvdan tahrik edilir. Tork, hız ve seviyenin sabit olması koşulu sağlanmasına karşı adım uzunlukları arasındaki mesafenin kısa olmasından dolayı, zemindeki engelin aşılmasında güçlük çekilmektedir.



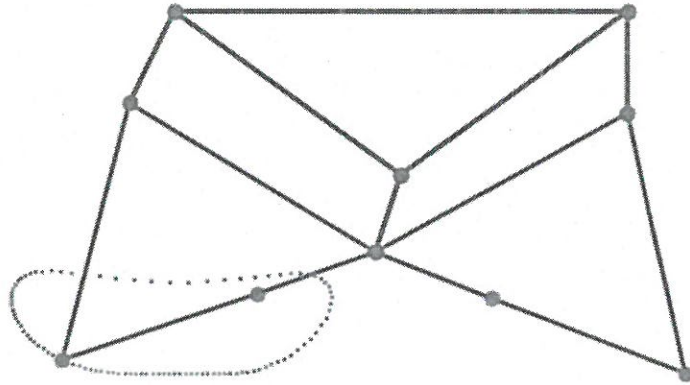
Şekil 2.4. Ghassaei mekanizması (Anonymous, 2019)

Şekil 2.5'te Trotbot mekanizması gösterilmiştir. Dört nala koşan bir atın örnek alındığı bu mekanizmada biyel eğrisinin, köşeleri kavisli dikdörtgen şeklinde olması mekanizmanın engel atlama kabiliyetini göstermektedir. Mekanizmanın enerji verimliliğinin az olmasına karşı, engebeli ve düz arazi koşullarında hareket etme kabiliyeti iyidir.



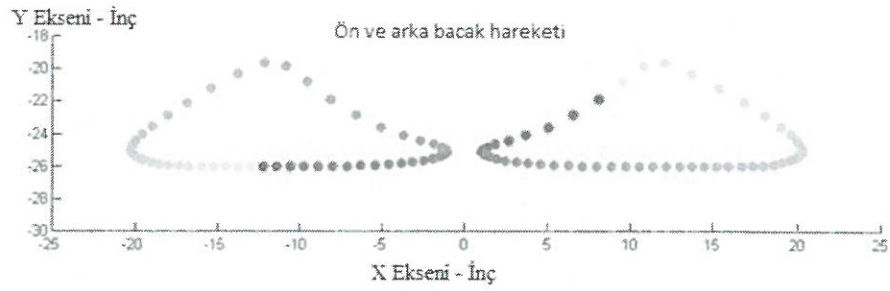
Şekil 2.5. Trotbot mekanizması (Anonymous, 2019)

Sekiz uzuvlu Trotbot mekanizması Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Bu mekanizmada diğerlerinden farklı olarak, ön ve arka ayakların tahriki iki mil yardımıyla gerçekleştirilir. Dolayısıyla ön ve arka ayaklar simetrik biyel eğirisi çizmezler. Robotun engel atlama yeteneği farklıdır. Bu özellik nedeniyle Trotbot mekanizmasının farklı versiyonu olan, Şekil 2.6’da gösterilen Strider bağlantısı ortaya çıkarılmıştır (Anonymous, 2019).



Şekil 2.6. Strider bağlantısı (Anonymous, 2019)

Yürüme mekanizmaları kumlu, çamurlu, karlı, buzlu, kayalıklı bölgelerde ve daha bir çok farklı zemin şartlarında kolaylıkla ilerleyebilir. Boyutlandırma ve imalatla ilgili literatürde yeterli bilgi yoktur. Bu sebeple mekanizmanın kullanılacağı yere göre özel tasarım yapılmaktadır.



Şekil 2.7. Strandbeest mekanizmasının ön ve arka bacaklarının çizdiği biyel eğrileri

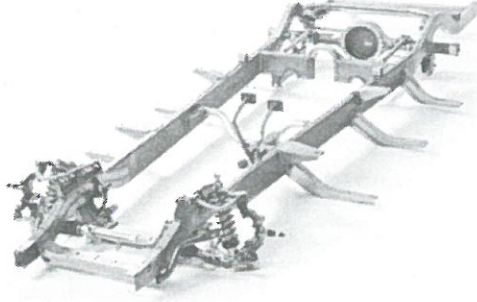
Strandbeest mekanizması, atın normal yürüyüşü ve yengeç yürüyüşünden esinlenerek oluşturmuştur. Bu nedenle ayak uzvu, ikiz kenar üçgene benzer biçimde bir biyel eğrisi çizer (Şekil 2.7). Biyel eğrisi şekli göz önüne alındığında diğer yürüme mekanizmalarına göre düz zeminde ve engebeli arazide hareket kabiliyeti daha iyidir ve enerji verimliliği yüksektir (Aguilar ve ark. 2014).

Giesbrecht, Strandbeest mekanizmasının engebeli arazilerde ilerleyecek şekilde tasarım ve optimizasyonunu yapmıştır. Uzuvlar vektörel olarak ifade edilip, matematiksel olarak modellenmiştir. Mekanizma için statik kuvvet analizi yapılarak, tahrik uzvunun torku hesaplanmıştır. Yeni yürüme eğrisine sahip mekanizma bulunarak, prototipi oluşturulmuştur. Bu çalışma sonucunda uzuvlardan bazılarının açı – hız ve açı – kuvvet grafikleri elde edilmiştir (Giesbrecht, 2010).

Rudy ve ark., Hollandalı sanatçı Theo Jansen'ın tasarımını incelemiştir. Jansen bağlantısı on bir çubuktan oluşur. Mekanizma hareketini kranktan almaktadır. Kranka hareket rüzgar enerjisi yardımıyla verilir. Krankın dönme hareketi doğrusal harekete dönüştürülür. Tasarımı ve enerji verimliliği yüksektir. Ölçeklendirilerek robotik uygulamalarda kullanılmaya elverişlidir. Jansen mekanizması bir serbestlik derecelidir. Yazarlar gelecekte insan benzeri robotların yapımında, bu mekanizmanın temel alınacağı sonucuna ulaşmışlardır (Rudy ve ark., 2016).

Patnaik, yük taşıyan damperli kamyonlarda lastiklerin yerine bacak mekanizmalarının kullanımı üzerine çalışmıştır (Şekil 2.8). Bu amaçla ilk önce yengeç hareketi yapan Klann mekanizması incelenmiştir. Klann mekanizmasının sarsıntılı hareketi ve aracın dönüşünde zorluk çekilmesinden dolayı mekanizma değiştirilmiştir. Herhangi bir arazide düzgün yürüme düzenine sahip ve her türlü koşullara kolayca adapte olabilen Strandbeest mekanizması seçilerek üzerinde çalışılmıştır. Sistemin yük taşıma kapasitesi belirlenmiş ve dampere etkileyen basınç yükü analizi yapılmıştır (Patnaik, 2015).





Şekil 2.8. Kömür taşımada kullanılan şase (Patnaik, 2015)

Lovasz ve ark., Strandbeest mekanizmasının engel aşma kabiliyeti üzerine çalışmışlardır. Engeli aşmak için adım yüksekliği matematiksel olarak modellenmiştir. Yeni yürüme ayağı için sürüş kontrolü ve parametreleri belirlenmiştir (Lovasz ve ark., 2014).

Palte ve ark. , madenlerde kullanılan tekerlekli araçların ağır yükleri taşımada performans düşüklüğü gösterdiğinden bahsetmiştir. Tekerlek yerine Strandbeest mekanizması kullanılması durumunda daha yüksek enerji verimliliği sağlandığını belirtmişlerdir. Tekerleğin kullanılmayacağı arazilerde bacaklı mekanizmaların engel atlama kabiliyetinden dolayı tercih edildiğinden bahsedilmiştir. Bu durumda yeni yürüngeler elde edilmiştir (Palte ve ark., 2017).

Başer araştırmasında, iki ayaklı yürüme mekanizması üzerinde çalışılmıştır. Matematiksel model oluşturulmuştur. Kalça ve ayak bileği yürüngeleri kontrolü yapılmış ve simüle edilmiştir. Ayrıca çok merkezli bir diz eklemine sahip yapay hibrit bacak tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan çok eksenli diz mafsalı aynı zamanda bir dört kol mekanizması olduğu için, kinematik ve dinamik analizlerinde içinde bulunduğu teorik yapı açıklanmıştır. Deney düzeneği kurulmuştur. Noktadan noktaya pozisyon kontrolü ve bozucu girdi etkisini yok eden ileri beslemeli kompanzasyonu şeklinde iki değişik yürünge kontrol yapısı geliştirilmiş ve deney düzeneğinde denemeler yapılmıştır (Başer, 2010).

Nansai ve ark. tarafından enerji verimliliği, düşük yük taşıma oranı, makine yük oranı, lokomotik ve deterministik ayak yürüngesi ile diğer mekanizmalardan daha popüler olan Theo Jansen mekanizmasının ölçülendirebilme özelliği kullanılarak, tek bir eyleyici tarafından tahrik edilen dört ayaklı bir robot üzerinde dinamik modelleme ve analiz yapılmıştır. İzdüşüm yöntemiyle mekanik sistemin hareket denklemleri elde edilmiştir. Bu çalışmada enerjiye dayalı bir pozisyon kontrol stratejisiyle ileri araştırmalar için teorik temel oluşturma amaçlanmıştır (Nansai ve ark., 2015).

Agiular ve ark., Strandbeest mekanizmasından oluşan oturaklı ve pedallı bir yürüyüş aracı oluşturmak için tasarım ve analiz yapmışlardır. Oluşturulan araç, insan taşımaya uygun şekilde tasarlanmıştır. Araç üç ana kısımdan oluşmuştur. Bunlar; çerçeve sistemi, bacak sistemi ve tahrik sistemidir. Tasarım için gerekli malzeme seçimleri ve analizler yapılmıştır (Agiular ve ark., 2014).

Komoda ve ark., bacaklı robotlardan Theo Jansen mekanizmasının düzensiz zeminde, yumuşak bir hareket düzeniyle yürüme pontansiyeli üzerine çalışmışlardır. Strandbeest mekanizmasının zıplama, tırmanma, koşma gibi hareketleri de araştırılmıştır (Komoda ve ark., 2011).

Nansai ve ark., Theo Jansen bağlantı mekanizmalı robotun dinamik analizini yapmak için Lagrange yöntemini kullanmışlardır. Sayısal simülasyonlar ve dinamik analizler yapılmıştır (Nansai ve ark., 2013).

Burns tarafından, güçlendirilmiş plastik tüp uzuvlarından oluşan ve krank hareketiyle çalışan Theo Jansen mekanizması imalatı yapılmıştır. Matematiksel bir optimizasyon tekniği kullanılarak ve mekanizmada sabit mafsallı noktalarının konumları değiştirilerek rampa tırmanma özelliği katılmıştır (Burns, 2015).

Dubhashi ve ark. tarafından Strandbeest mekanizmasının engebeli arazide hareketi sırasında; minimum enerjiyle, adım uzunluğunun en üst düzeye çıkartıldığı ve yol yüksekliğinin en aza indirildiği bir optimizasyon yapılmıştır (Dubhashi ve ark., 2016).

Moncal ve ark., altı ayağa sahip örümcek robotun tasarımı ve imalatı üzerine çalışılmışlardır. Robotun her konuma hareket edebilmesi için 18 serbestlik derecesi oluşturulmuştur. Mekanik tasarımı Ansys programında yapılmıştır. Bacak pozisyonları ve açıları Labview programı kullanılarak bulunmuştur. Gerekli elektronik devre elemanları yardımıyla robot oluşturularak imalatı tamamlanmıştır (Moncal ve ark., 2013).

Pop ve ark. tarafından, Strandbeest mekanizmasının boyutsal sentezi yapılmıştır. Matematiksel olarak modellendikten sonra, hesaplamaları Matlab'ta yapılarak yeni yürüngenin simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen verilere dayanılarak daha iyi çözüm yollarına ulaşılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Pop ve ark., 2016).

Ghassaei, bir krankla tahrik edilen Theo Jansen mekanizmalı robot imal edilmiştir. Seçilen ölçülere göre oluşturulan bağlantılar Mathematica programında

simüle edilmiştir. Elde edilen veriler, teoride kullanılan mekanizma ile karşılaştırılmıştır (Ghassaei, 2011).

Gupta ve ark., Klann mekanizması üzerinde çalışmışlardır. Kayalıklı ve pürüzlü alanlarda, tehlikeli madde taşımada, mayın tarlalarının temizlenmesinde kullanabilecek bir prototip robot imal etmişlerdir (Gupta ve ark., 2017).

Kartal ve Kavlak tarafından, Strandbeest mekanizmasının; kinematik, mukavemet ve modal analizi yapılmıştır. Biyel eğrisinin çizimi için Cinderella programı kullanılmıştır. Uzuvar Solidworks programında katı modellenmiştir. Ayrıca modal analizi de yapılarak doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Mukavemet analizi sonucunda ise Ansys programından gerilme ve yer değiştirme değerleri bulunmuştur (Kartal ve Kavlak, 2019).

Yürüme mekanizmalarında yerle olan mesafede, tahrik kuvvetinde ve ayak uzuv hızında dalgalanmanın az olması istenmektedir. Bunlar düz ve rijit zeminler için aranan özelliklerdir. Birçok yürüme mekanizması genel olarak küçük eklemeler ile bu kıstasları yerine getirir. Bu hareketi sağlayan biyel eğrisi Şekil 2.9 'da görülmektedir. Oysa engebeli, rampa, merdiven tipi, yüksek eğimli, gevşek zemin ve benzeri şartlarda ise aranan eğri çok daha farklı hale gelir. Örneğin yumuşak zeminde eğrinin ön hücum bölgesinin açılı olması gerekir (tank paletlerine benzer şekilde). Dik engele tırmanmak için ise eğrinin ön bölgesinde dik, düzlemsel bir kısmın bulunması gerekir.



Şekil 2.9. Standart biyel eğrisi (Anonymous, 2019)

Dört ayağı üzerinde hareket eden hayvanlarda hareketin herhangi bir anında çapraz ayak çifti (sağ ön-sol arka ayak gibi) yerle temas halindedir. Ön ayaklar hareket fazında bir miktar daha önce davranır. Robotta ek bir dengeleme sistemi kullanılmaması halinde yürüme mekanizmalarında da dengenin sağlanması açısından yerle temas aynı şekilde yapılmalıdır.

Hareket zemini ve engel tipinin tespiti için yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Tez çalışmasına konu olan kısım ise engel tiplerinin sınıflandırılması ve aşılması için aranan özelliklerdir. Robot yarışmalarında sprint, dik yüzeye tırmanma, basamak çıkma, hendek atlama vb. aşamalar yer almakta fakat bu parkur tipleri için

belirli bir standart bulunmamaktadır. Arazi, SUV, off-road, monster truck araçları ve spor parklarındaki engel tipleri içinse daha özelleşmiş sınıflandırmalar mevcuttur. SUV araçlar için çapraz platform, 3 teker parkuru, değişken eğimli yokuş, konik viraj gibi denge ve tutunma-tırmanma testleri bulunmaktadır (Raymond, 1984). Off-road yarışlarında da muhtelif engebeler, balçık, gevşek zemin koşullarına ait sınıflandırmalar bulunmaktadır (Bidaud ve ark., 2011). Yine spor, kaykay parkları dizaynı ve engel tipleri ile ilgili çalışmalar da mevcuttur (Daskalov, 2015).

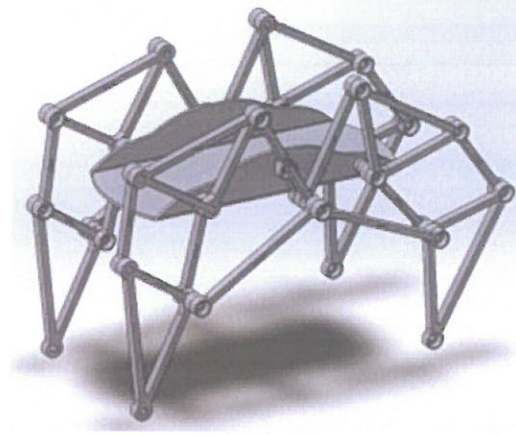
### 3. STRANDBEEST YÜRÜME MEKANİZMASI

#### 3.1.Strandbeest Mekanizmasının Tanıtımı

Kinetik heykel sanatçısı Hollandalı bilim insanı Theo Jansen, adına sahil canavarları (Strandbeest) dediği plastik, ahşap ve kumaştan yapılmış; meltem rüzgârlarıyla hareket eden sekiz uzuvlu bir mekanizma geliştirmiştir. Yürümenin sağlanabilmesi için en az dört tane aynı biyel eğrisini çizen ayağa ihtiyaç vardır (Burns, 2015).

Sonradan bu çalışma üzerine pek çok akademik çalışma ve tez oluşturulmuş, 2016 yılında NASA, Venüs'te kullanılacak keşif aracı için bu mekanizmanın konsept olarak kullanılacağını duyurmuştur (Sauder ve ark., 2017).

Strandbeest yürüme mekanizmalı robot Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Strandbeest yürüme mekanizmalı robotun genel görünümü

Robotun dengeli bir şekilde hareket edebilmesi için dört adet Strandbeest mekanizmasına ihtiyaç vardır. Strandbeest mekanizması Şekil 3.2'de gösterilmiştir. A ve E sabit mafsallardır. Mekanizma sekiz uzuvdan oluşmaktadır. 2, 3, 4, 6 ve 7 nolu uzuvlar kol; 5 ve 8 nolu uzuvlar ise plaka şeklindedir. Mekanizma 2 nolu uzuvdan tahrik edilmektedir. Tahrik uzvu tam dönme hareketi yaparken, 5 ve 8 nolu uzuvlar ise salınım hareketi yapar. Diğer uzuvlarda salınım hareketi yapmaktadır. Strandbeest yürüme mekanizması, temelde iki adet dört çubuk mekanizmasının birleşiminden meydana gelmiştir. Cinderella programında modellenmiş mekanizmanın şematik gösterimi ve mekanizmanın standart biyel eğrisi Şekil 3.2' de görülmektedir. Ön ve arka bacaklar simetrik biyel eğrisi çizer. H noktası yürüme mekanizmasındaki bacakların zeminle temas ettiği noktadır.



Çizelge 4.1. Strandbeest mekanizmasının diğer yürüme mekanizmalarıyla karşılaştırılması

Parametreler	Biyel eğrisi	Düz zemindeki ilerlemesi	Çakıllı ve toprak yoldaki ilerlemesi	Engel aşma durumu
Tchebysheva Mekanizması	Yarım daire şeklinde	İyi	Orta	Kötü
Klann Mekanizması	Dik üçgen şeklinde	Kötü	İyi	İyi
Ghassaei Mekanizması	Eşkenar üçgen şeklinde	İyi	İyi	İyi
Trotbot	Elips şeklinde	İyi	İyi	İyi
Theo Jansen (Strandbeest)	İkizkenar üçgen şeklinde	İyi	Orta	Çok iyi

#### 4. STRANDBEEST MEKANİZMASININ KİNEMATİK ANALİZİ

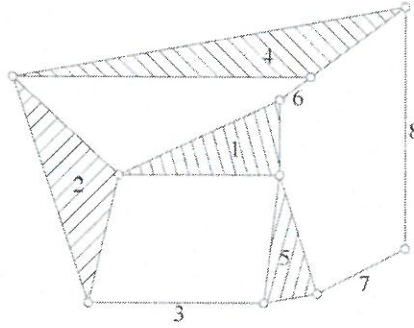
Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi mekanizma sekiz uzuvdan oluşmaktadır. 12, 23, 24, 35, 57, 78, 46, 48, 16 ve 15 olmak üzere mekanizma 10 adet çiftten oluşmaktadır. İki boyutlu mekanizmalar için Kutzbach Kriteri’ne göre (Li ve ark., 2013) uzuv sayısı 8, tek serbestlik dereceli uzuv sayısı 10, iki serbestlik dereceli çift sayısı 0 olduğuna göre serbestlik derecesi:

$$F = 3(n - 1) - 2e_1 - e_2 \quad (4.1)$$

$$F=3(8-1) - 2.10 - 0$$

$$F=1$$

olarak elde edilir. Strandbeest mekanizmasının kinematik zinciri de Şekil 4.1.’de gösterilmiştir. Kinematik zincirde de mecburi hareketliliği bozan bir durum olmadığı için mekanizma mecburi hareketlidir.



Şekil 4.1. Strandbeest mekanizmasının kinematik zincirinin şematik gösterimi

Mekanizma, Rudy ve ark.’nın (2019) yapmış olduğu çalışmadaki mekanizma ölçülerinin beş katı alınarak boyutlandırılmıştır. Theo Jansen’ in mekanizma boyutları referans alınarak Cinderella programında mekanizma ölçüleri tekrar düzenlenmiş ve yürüme hareketi için en uygun uzuv uzunlukları aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$EA=r_1=19.396 \text{ cm} \quad AB=r_2=7.5 \text{ cm} \quad BC=r_3=25 \text{ cm} \quad BG=r_4=30.95 \text{ cm}$$

$$CE=r_5=20.75 \text{ cm} \quad DE=r_5'=20.05 \text{ cm} \quad CD=r_5''=27.9 \text{ cm} \quad EG=r_6=19.65 \text{ cm}$$

$$DF=r_7=19.7 \text{ cm} \quad FG=r_8=18.3 \text{ cm} \quad GH=r_8'=24.5 \text{ cm} \quad FH=r_8''=32.8 \text{ cm}$$

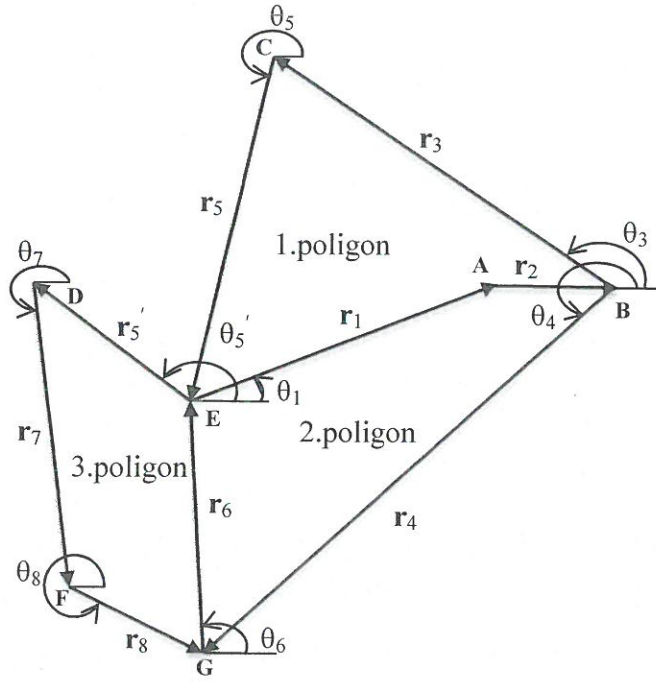
##### 4.1. Konum Analizi

Şekil 4.2.’deki H noktasının yerle temas ettiği konuma göre ölçülen açısal konumları aşağıda verilmiştir:

$$\theta_1=11.6^\circ \quad \theta_2=0^\circ \quad \theta_3=180.41^\circ \quad \theta_4=213.43^\circ \quad \theta_5=243.15^\circ \quad \theta_5'=149.42^\circ$$

$$\theta_6=81.9^\circ \quad \theta_7=267.53^\circ \quad \theta_8=326.98^\circ \quad \theta_8'=246.01^\circ$$





Şekil 4.2. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu uzuvların oluşturduğu poligonlar

Zeminle temas konumunda 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 nolu uzuvların açısal hızlarını ve açısal ivmelerini bulabilmek için mekanizmanın Şekil 4.2' de gösterilen poligonlara ayırma işlemi yapılmıştır. Birinci poligondan:  $|EA| + |AB| + |BC| + |CE| = 0$  yazılabilir. Uzuvlar vektörel olarak;

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 + \vec{r}_5 = 0 \quad (4.2)$$

yazılabilir. Benzer şekilde ikinci poligon için:

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_4 + \vec{r}_6 = 0 \quad (4.3)$$

üçüncü poligon için ise:

$$\vec{r}_6 + \vec{r}_5' + \vec{r}_7 + \vec{r}_8 = 0 \quad (4.4)$$

yazılabilir.

$\mu(\theta) = \cos\theta\mathbf{i} + \sin\theta\mathbf{j}$  olmak üzere bu vektörler  $\mu(\theta_i)$  doğrultulu birim vektörleri olarak yazıldığında (4.2), (4.3) ve (4.4) denklemleri sırasıyla,

$$r_1\mu(\theta_1) + r_2\mu(\theta_2) + r_3\mu(\theta_3) + r_5\mu(\theta_5) = 0 \quad (4.5)$$

$$r_1\mu(\theta_1) + r_2\mu(\theta_2) + r_4\mu(\theta_4) + r_6\mu(\theta_6) = 0 \quad (4.6)$$

$$r_6\mu(\theta_6) + r_5\mu(\theta_5') + r_7\mu(\theta_7) + r_8\mu(\theta_8) = 0 \quad (4.7)$$

şeklinde elde edilir.

#### 4.2. Hız Analizi

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_5', r_6, r_7, r_8$  uzunluklarının ve  $\theta_1$  açısının sabit olduğu,  $d\mu(\theta)/dt = \omega\sigma(\theta)$  denklemi göz önüne alınarak; sırasıyla (4.5), (4.6) ve (4.7) nolu denklemlerin zamana göre türevi alınır;

$$r_2\omega_2\sigma(\theta_2) + r_3\omega_3\sigma(\theta_3) + r_5\omega_5\sigma(\theta_5) = 0 \quad (4.8)$$

$$r_2\omega_2\sigma(\theta_2) + r_4\omega_4\sigma(\theta_4) + r_6\omega_6\sigma(\theta_6) = 0 \quad (4.9)$$

$$r_6\omega_6\sigma(\theta_6) + r_5'\omega_5\sigma(\theta_5') + r_7\omega_7\sigma(\theta_7) + r_8\omega_8\sigma(\theta_8) = 0 \quad (4.10)$$

denklemleri elde edilir. Burada  $\sigma(\theta)$ ,  $\mu(\theta)$  ' ya göre saat yönünün tersi doğrultusunda dik olan doğrultu birim vektörüdür. (4.8) nolu denklem,  $\mu(\theta_5)$  ile çarpıldığında;

$$r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_5 - \theta_2) + r_3\omega_3\text{Sin}(\theta_5 - \theta_3) = 0$$

bulunur. Buradan;

$$\omega_3 = -\frac{r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_5-\theta_2)}{r_3\text{Sin}(\theta_5-\theta_3)} \quad (4.11)$$

elde edilir. (4.8) nolu denklem,  $\mu(\theta_3)$  ile çarpıldığında;

$$r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_3 - \theta_2) + r_5\omega_5\text{Sin}(\theta_3 - \theta_5) = 0$$

bulunur. Bu durumda

$$\omega_5 = -\frac{r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_3-\theta_2)}{r_5\text{Sin}(\theta_3-\theta_5)} \quad (4.12)$$

eld edilir. (4.9) nolu denklem,  $\mu(\theta_6)$  ile çarpıldığında;

$$r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_6 - \theta_2) + r_4\omega_4\text{Sin}(\theta_6 - \theta_4) = 0$$

bulunur. Buradan;

$$\omega_4 = -\frac{r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_6-\theta_2)}{r_4\text{Sin}(\theta_6-\theta_4)} \quad (4.13)$$

elde edilir. (4.9) nolu denklem,  $\mu(\theta_4)$  ile çarpıldığında;

$$r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_4 - \theta_2) + r_6\omega_6\text{Sin}(\theta_4 - \theta_6) = 0$$

bulunur. Bu durumda;

$$\omega_6 = -\frac{r_2\omega_2\text{Sin}(\theta_4-\theta_2)}{r_6\text{Sin}(\theta_4-\theta_6)} \quad (4.14)$$

elde edilir. (4.10) nolu denklem,  $\mu(\theta_8)$  ile çarpıldığında;

$$r_6\omega_6\text{Sin}(\theta_8 - \theta_6) + r_5'\omega_5\text{Sin}(\theta_8 - \theta_5') + r_7\omega_7\text{Sin}(\theta_8 - \theta_7) = 0$$

bulunur. Buradan;

$$\omega_7 = -\frac{r_6\omega_6\text{Sin}(\theta_8-\theta_6)-r_5'\omega_5\text{Sin}(\theta_8-\theta_5')}{r_7\text{Sin}(\theta_8-\theta_7)} \quad (4.15)$$

elde edilir. (4.10) nolu denklem,  $\mu(\theta_7)$  ile çarpıldığında;

$$r_6\omega_6\text{Sin}(\theta_7 - \theta_6) + r_5'\omega_5\text{Sin}(\theta_7 - \theta_5') + r_8\omega_8\text{Sin}(\theta_7 - \theta_8) = 0$$

bulunur. Bu durumda;

$$\omega_8 = -\frac{r_6\omega_6\text{Sin}(\theta_7-\theta_6)-r_5'\omega_5\text{Sin}(\theta_7-\theta_5')}{r_8\text{Sin}(\theta_7-\theta_8)} \quad (4.16)$$

elde edilir. 2 numaralı tahrik uzvunun açısı  $\theta_2 = 0^\circ$  ve açısal hızı saat yönünün tersinde  $\omega_2 = 15$  rad/s sabit olarak kabul edilmiştir. (4.11), (4.12), (4.13), (4.14), (4.15) ve (4.16) nolu denklemlerden, açısal hızlar sırasıyla  $\omega_3 = 4.44$  rad/s,  $\omega_4 = 4.12$  rad/s,  $\omega_5 = 4.72$  rad/s,  $\omega_6 = 3.59$  rad/s,  $\omega_7 = 3.04$  rad/s ve  $\omega_8 = 5.88$  rad/s olarak hesaplanır.

### 4.3. İvme analizi

(4.8), (4.9) ve (4.10) nolu denklemlerin zamana göre türevleri alındığında sırasıyla:

$$-r_2\omega_2^2\mu(\theta_2) + r_3\alpha_3\sigma(\theta_3) - r_3\omega_3^2\mu(\theta_3) + r_5\alpha_5\sigma(\theta_5) - r_5\omega_5^2\mu(\theta_5) = 0 \quad (4.17)$$

$$-r_2\omega_2^2\mu(\theta_2) + r_4\alpha_4\sigma(\theta_4) - r_4\omega_4^2\mu(\theta_4) + r_6\alpha_6\sigma(\theta_6) - r_6\omega_6^2\mu(\theta_6) = 0 \quad (4.18)$$

$$-r_6\omega_6^2\mu(\theta_6) + r_6\alpha_6\sigma(\theta_6) - r_5'\omega_5^2\mu(\theta_5') + r_5'\alpha_5\sigma(\theta_5') - r_7\omega_7^2\mu(\theta_7) + r_7\alpha_7\sigma(\theta_7) - r_8\omega_8^2\mu(\theta_8) + r_8\alpha_8\sigma(\theta_8) = 0 \quad (4.19)$$

denklemleri elde edilir.

(4.17) nolu denklem,  $\mu(\theta_5)$  ile çarpıldığında;

$$-r_2\omega_2^2\text{Cos}(\theta_5 - \theta_2) + r_3\alpha_3\text{Sin}(\theta_5 - \theta_3) - r_3\omega_3^2\text{Cos}(\theta_5 - \theta_3) - r_5\omega_5^2 = 0$$

bulunur. Bu durumda;

$$\alpha_3 = \frac{r_2\omega_2^2 \text{Cos}(\theta_5 - \theta_2) + r_3\omega_3^2 \text{Cos}(\theta_5 - \theta_3) + r_5\omega_5^2}{r_3 \text{Sin}(\theta_5 - \theta_3)} \quad (4.20)$$

elde edilir. (4.17) nolu denklem,  $\mu(\theta_3)$  ile çarpıldığında;

$$-r_2\omega_2^2 \text{Cos}(\theta_3 - \theta_2) - r_3\omega_3^2 + r_5\alpha_5 \text{Sin}(\theta_3 - \theta_5) - r_5\omega_5^2 \text{Cos}(\theta_3 - \theta_5) = 0$$

bulunur. Buradan;

$$\alpha_5 = \frac{r_2\omega_2^2 \text{Cos}(\theta_3 - \theta_2) + r_3\omega_3^2 + r_5\omega_5^2 \text{Cos}(\theta_3 - \theta_5)}{r_5 \text{Sin}(\theta_3 - \theta_5)} \quad (4.21)$$

elde edilir. (4.18) nolu denklem,  $\mu(\theta_6)$  ile çarpıldığında;

$$-r_2\omega_2^2 \text{Cos}(\theta_6 - \theta_2) + r_4\alpha_4 \text{Sin}(\theta_6 - \theta_4) - r_4\omega_4^2 \text{Cos}(\theta_6 - \theta_4) - r_6\omega_6^2 = 0$$

bulunur. Bu durumda;

$$\alpha_4 = \frac{r_2\omega_2^2 \text{Cos}(\theta_6 - \theta_2) + r_4\omega_4^2 \text{Cos}(\theta_6 - \theta_4) + r_6\omega_6^2}{r_4 \text{Sin}(\theta_6 - \theta_4)} \quad (4.22)$$

elde edilir. (4.18) nolu denklem,  $\mu(\theta_4)$  ile çarpıldığında;

$$-r_2\omega_2^2 \text{Cos}(\theta_4 - \theta_2) - r_4\omega_4^2 + r_6\alpha_6 \text{Sin}(\theta_4 - \theta_6) - r_6\omega_6^2 \text{Cos}(\theta_4 - \theta_6) = 0$$

bulunur. Buradan;

$$\alpha_6 = \frac{r_2\omega_2^2 \text{Cos}(\theta_4 - \theta_2) + r_4\omega_4^2 + r_6\omega_6^2 \text{Cos}(\theta_4 - \theta_6)}{r_6 \text{Sin}(\theta_4 - \theta_6)} \quad (4.23)$$

elde edilir. (4.19) nolu denklem,  $\mu(\theta_8)$  ile çarpıldığında;

$$-r_6\omega_6^2 \text{Cos}(\theta_8 - \theta_6) + r_6\alpha_6 \text{Sin}(\theta_8 - \theta_6) - r_5'\omega_5^2 \text{Cos}(\theta_8 - \theta_5') + r_5'\alpha_5 \text{Sin}(\theta_8 - \theta_5') - r_7\omega_7^2 \text{Cos}(\theta_8 - \theta_7) + r_7\alpha_7 \text{Sin}(\theta_8 - \theta_7) - r_8\omega_8^2 = 0$$

bulunur. Bu durumda;

$$\alpha_7 = \frac{r_6\omega_6^2 \text{Cos}(\theta_8 - \theta_6) - r_6\alpha_6 \text{Sin}(\theta_8 - \theta_6) + r_5'\omega_5^2 \text{Cos}(\theta_8 - \theta_5') - r_5'\alpha_5 \text{Sin}(\theta_8 - \theta_5') + r_7\omega_7^2 \text{Cos}(\theta_8 - \theta_7) + r_8\omega_8^2}{r_7 \text{Sin}(\theta_8 - \theta_7)} \quad (4.24)$$

elde edilir. (4.19) nolu denklem,  $\mu(\theta_7)$  ile çarpıldığında;

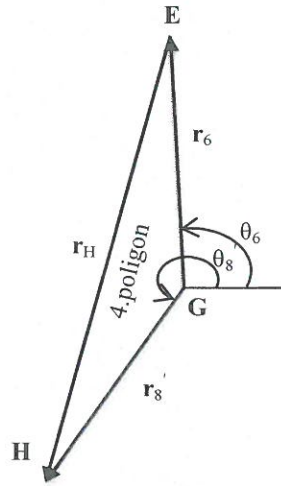
$$-r_6\omega_6^2 \text{Cos}(\theta_7 - \theta_6) + r_6\alpha_6 \text{Sin}(\theta_7 - \theta_6) - r_5'\omega_5^2 \text{Cos}(\theta_7 - \theta_5') + r_5'\alpha_5 \text{Sin}(\theta_7 - \theta_5') - r_7\omega_7^2 - r_8\omega_8^2 \text{Cos}(\theta_7 - \theta_8) + r_8\alpha_8 \text{Sin}(\theta_7 - \theta_8) = 0$$

bulunur. Buradan;

$$\alpha_8 = \frac{r_6\omega_6^2\cos(\theta_7-\theta_6)-r_6\alpha_6\sin(\theta_7-\theta_6)+r_5'\omega_5^2\cos(\theta_7-\theta_5')-r_5'\alpha_5\sin(\theta_7-\theta_5')+r_7\omega_7^2+r_8\omega_8^2\cos(\theta_7-\theta_8)}{r_8\sin(\theta_7-\theta_8)} \quad (4.25)$$

elde edilir. (4.20), (4.21), (4.22), (4.23), (4.24) ve (4.25) nolu denklemlerden açısal ivmeler;  $\alpha_3 = -22.49 \text{ rad/s}^2$ ,  $\alpha_4 = 5.3 \text{ rad/s}^2$ ,  $\alpha_5 = 39.59 \text{ rad/s}^2$ ,  $\alpha_6 = -58.1 \text{ rad/s}^2$ ,  $\alpha_7 = -47.78 \text{ rad/s}^2$  ve  $\alpha_8 = 32.36 \text{ rad/s}^2$  olarak hesaplanır.

#### 4.4. H Noktasının İncelenmesi



Şekil 4.3. 6 ve 8 nolu uzuvların oluşturduğu poligon

H noktasının yer vektörü Şekil 4.3' deki gibi sabit olan E noktasından başlanarak yazılırsa;

$$\vec{r}_H = -r_6\mu(\theta_6) + r_8'\mu(\theta_8') \quad (4.26)$$

elde edilir. Bur denklemin zamana göre türevi alındığında;

$$\vec{V}_H = -r_6\omega_6\sigma(\theta_6) + r_8'\omega_8\sigma(\theta_8') \quad (4.27)$$

hız denklemi elde edilir.  $\sigma(\theta) = -\sin\theta\mathbf{i} + \cos\theta\mathbf{j}$  olduğu göz önüne alınırsa  $\vec{V}_H$  denkleminde hız vektörünün yatay ve düşey bileşenleri:

$$V_{Hx} = r_6 \omega_6 \sin(\theta_6) - r_8' \omega_8 \sin(\theta_8') \quad (4.28)$$

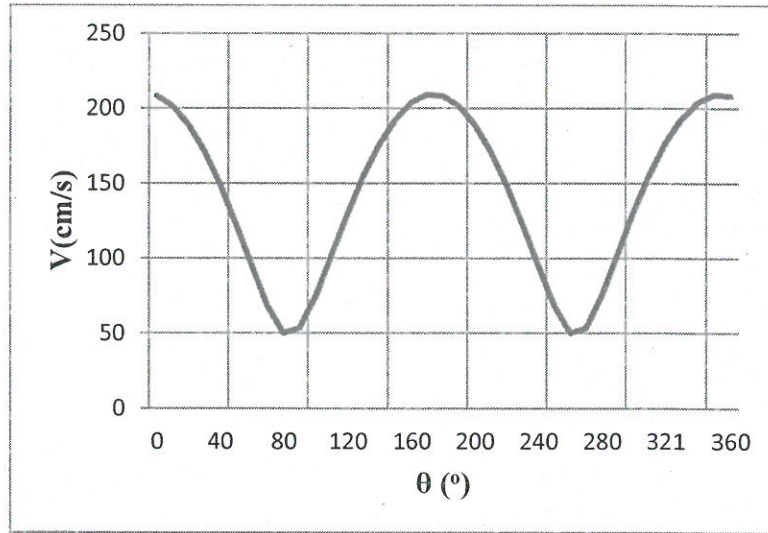
$$V_{Hy} = -r_6 \omega_6 \cos(\theta_6) + r_8' \omega_8 \cos(\theta_8') \quad (4.29)$$

olarak elde edilir. Bileşke hız büyüklüğü (4.28) ve (4.29) denklemlerinden:

$$V_H = \sqrt{V_{Hx}^2 + V_{Hy}^2} \quad (4.30)$$

olarak bulunabilir.

Hız bileşenlerini elde etmek için (4.28) ve (4.29) nolu denklemlerde boyutsal ve açısal parametre değerleri yerlerine yazıldığında;  $V_{Hx} = 201.7$  cm/s ve  $V_{Hy} = -52.4$  cm/s büyüklükleri hesaplanır. Hız bileşkesini elde etmek için (4.30) nolu denklemde hız bileşenleri yerine yazılırsa,  $V_H = 208.5$  cm/s olarak hesaplanır. Bacak uzvu  $360^\circ$  dönme yapamamaktadır. 2 numaralı tahrik uzvunun tam dönme yaptığı göz önüne alınarak,  $0^\circ$  ve  $360^\circ$  arasında,  $10^\circ$  aralıklarla alınan açısal konuma karşılık hesaplanan H noktasının hız grafiği Şekil 4.4.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. H noktasının hız grafiği

$\vec{V}_H$ 'in zamana göre türevi alındığında;

$$\vec{a}_H = -r_6 \alpha_6 \sigma(\theta_6) + r_6 \omega_6^2 \mu(\theta_6) + r_8' \alpha_8 \sigma(\theta_8') - r_8' \omega_8^2 \mu(\theta_8') \quad (4.31)$$

bulunur.  $\vec{a}_H$  x ve y doğrultularında bileşenlerine ayrılırsa;

$$a_{H_X} = r_6 \alpha_6 \sin(\theta_6) + r_6 \omega_6^2 \cos(\theta_6) - r_8' \alpha_8 \sin(\theta_8') - r_8' \omega_8^2 \cos(\theta_8') \quad (4.32)$$

$$a_{H_Y} = -r_6 \alpha_6 \cos(\theta_6) + r_6 \omega_6^2 \sin(\theta_6) + r_8' \alpha_8 \cos(\theta_8') - r_8' \omega_8^2 \sin(\theta_8') \quad (4.33)$$

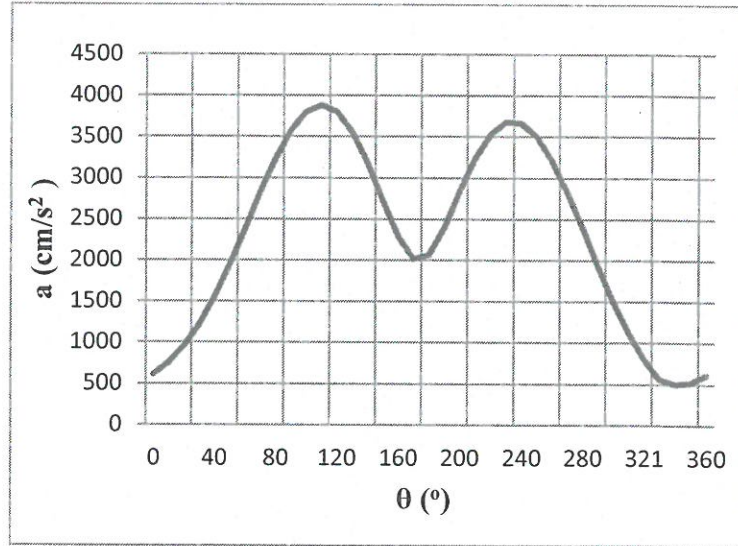
denklemleri elde edilir. Bileşke ivme (4.32) ve (4.33) denklemlerinden:

$$a_H = \sqrt{a_{H_X}^2 + a_{H_Y}^2} \quad (4.34)$$

olarak bulunabilir.

İvme bileşenlerini elde etmek için (4.32) ve (4.33) nolu denklemlerde boyutsal ve açısal parametre değerleri yerlerine yazıldığında;  $a_{H_X} = -90.9 \text{ cm/s}^2$  ve

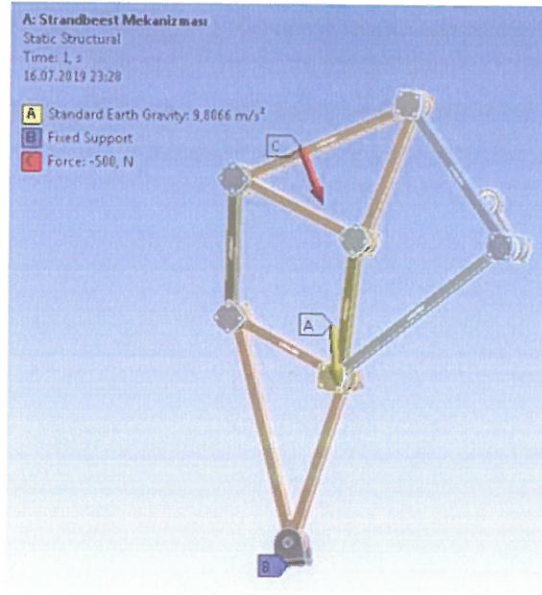
$a_{H_Y} = 603.3 \text{ cm/s}^2$  olarak hesaplanır. İvmeyi elde etmek için (4.34) nolu denklemde ivme bileşenleri yerine yazılırsa,  $a_H = 610.1 \text{ cm/s}^2$  olarak hesaplanır.  $0^\circ$  ve  $360^\circ$  arasındaki konumlarda tahrik uzvunun hareketine bağlı olarak elde edilen H noktasının ivme grafiği Şekil 4.5' de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. H noktasının ivme grafiği

#### 4.5. Strandbeest Mekanizmasının Mukavemet Analizi

Kinematik olarak incelenen mekanizmanın çalışma ortamlarındaki davranışının tespiti için simülasyon programlarına ihtiyaç vardır. Katı modellemesi yapılan yürüme mekanizmasının mukavemet analizi Ansys programında yapılmıştır. Şekil 4.6' da görülen sınır şartları, yürüme mekanizmalı robotun yaklaşık olarak 50 kg'lık bir yük taşıdığı varsayılarak ve yerçekimi ivmesi parametreleri girilerek oluşturulmuştur.

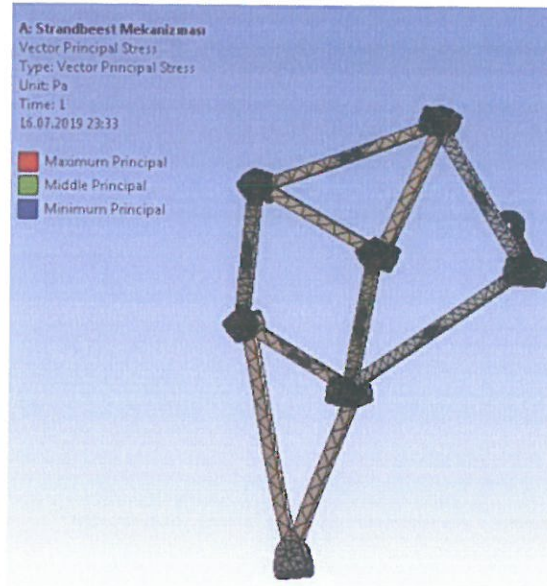


Şekil 4.6. Sınır şartları

Mekanizma E ve A sabit mafsıl noktalarından sabitlenmiştir. Bu şartlarda veriler elde edilmiştir.

#### 4.5.1 Basma ve çekme gerilmeleri

Basma ve çekme gerilmeleri Şekil4.7' de gösterilmiştir. Mavi ile gösterilen bölgeler basma, kırmızı ile gösterilen bölgeler ise çekme gerilmelerini göstermektedir. Bir bölgede basma ve çekme gerilmelerinin aynı anda görülmesi malzemenin yorulması demektir. Bu bölgeler uzvun ömrünü belirler. Analiz sonucunda elde edilen gerilme değerleri minimum düzeydedir.

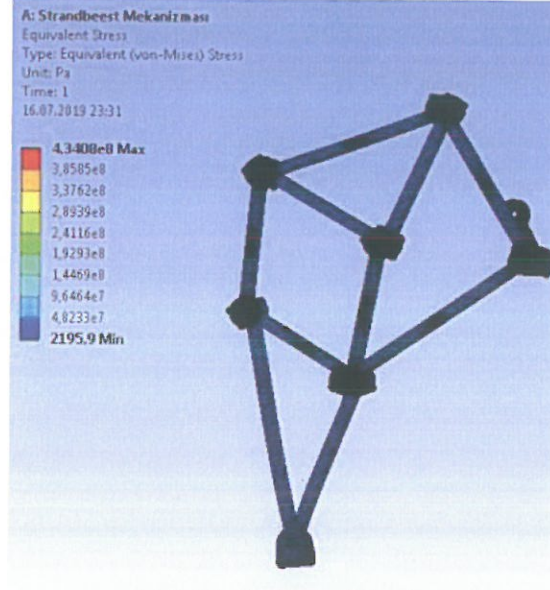


Şekil 4.7. Basma ve çekme gerilmeleri



#### 4.5.2 Gerilme yığılmaları

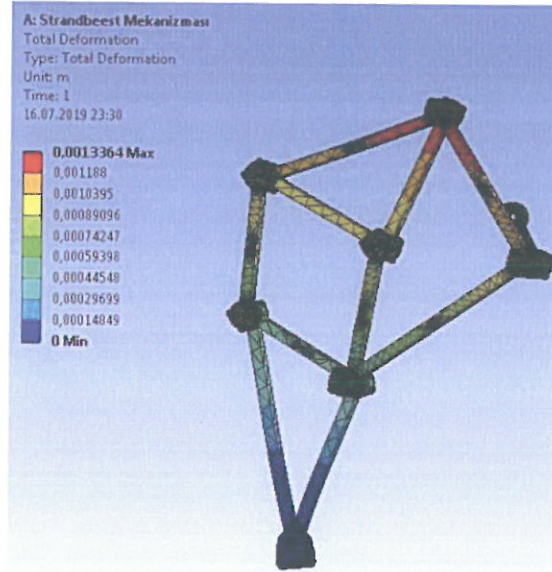
Von-Mises Stress uygulanmış ve buradan eşdeğer gerilmenin mekanizmanın mavi olarak görülen bölgelerinde minimum olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Gerilme yığılmaları

#### 4.5.3. Toplam deformasyon

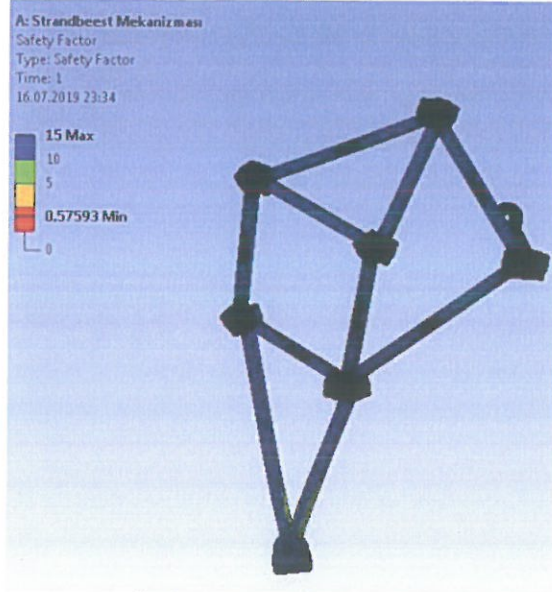
Toplam deformasyon ile, uygulanan 500N kuvvete göre ne kadar zemine doğru sehim yapacağı görülmektedir. Maksimum deformasyonun olduğu yer kırmızı renkte, minimum deformasyonun olduğu yer mavi renkle Şekil 4.9' da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 500N kuvvet ile toplam deformasyon

#### 4.5.4. Emniyet katsayısı

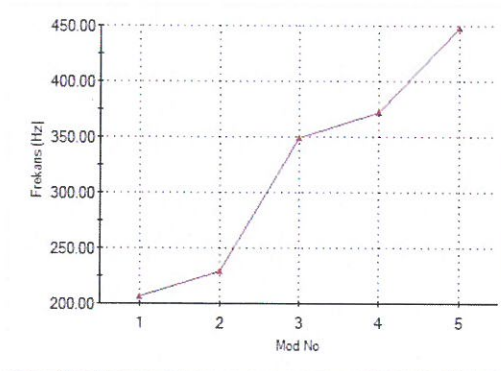
Şekil 4.10' da görüldüğü gibi robotun emniyet katsayısı 0.5 olarak bulunur. Mekanizmanın hafif olması göz önüne alındığında elde edilen katsayı yeterlidir. Uzun kesit alanları ve malzeme türü değiştirilerek emniyet katsayısı artırılabilir.



Şekil 4.10. Emniyet katsayısı

#### 4.6. Mekanizmanın Modal Analizi

Rezonans istenmeyen bir durumdur. Sistemin kararlılığını bozar. Farklı koşullarda ne kadar yüksek devirli motor kullanılabileceğini görmek için modal analiz gerçekleştirilir. Bunun için sistemin doğal frekansı hesaplanır. Robotu rezonansa getirecek motor devirleri sırasıyla Şekil 4.11' deki gibi birinci mod için 210 Hz, ikinci mod için 230 Hz, üçüncü mod için 350 Hz, dördüncü mod için 375 Hz ve beşinci mod için ise 450 Hz olarak elde edilmiştir. 60 rpm=1Hertz olmak şartıyla sırasıyla rezonans değerleri; 12600 rpm, 13800 rpm, 21000 rpm, 22500 rpm ve 27000 rpm olarak hesaplanır.

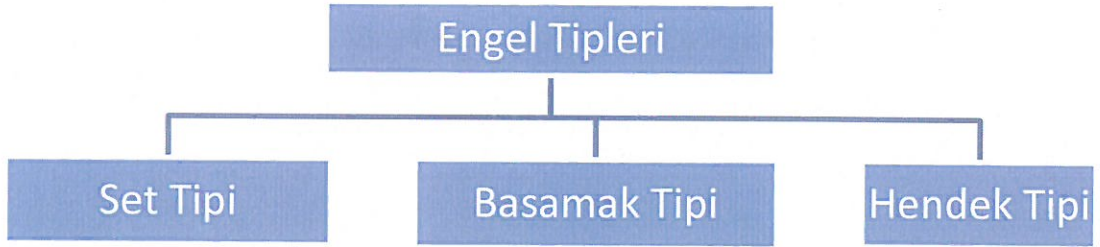


Şekil 4.11. Doğal frekans grafiği

## 5.ARAZİ VE ENGEL TIPLERİ

Yürüme mekanizmalı robotlar her zaman düz zeminde ilerlemezler. Tasarımları gereği, farklı arazilerde ilerlemeleri gerekmektedir. Engelleri aşmak için özel düzenlemelere gerek duyarlar. Arazi şartlarının belirlenmesiyle ilgili yapılan çalışmalar bulunmamakla birlikte, her robot için üreticisinin belirlemiş olduğu ve o robotun yapabilecekleri hakkında bilgi veren doküman ve belgeler bulunmaktadır.

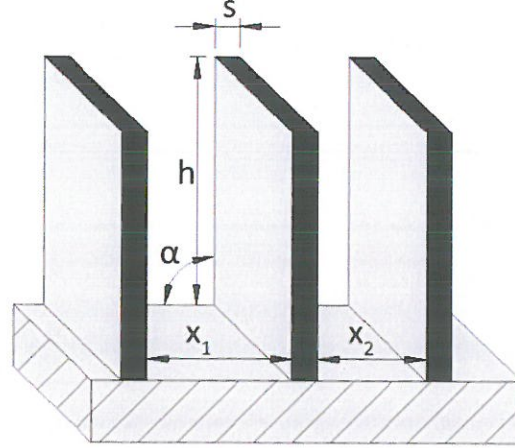
Mekanizmanın aşacağı engel kadar, yüzeyin temas şekli de önemlidir. Bu çalışmadaki mekanizma, iki boyutta sürtünmeli bir yüzeyde ilerleyecek şekilde optimize edilmiştir. Engel tiplerinin sınıflandırmasıyla ilgili yapılan detaylı çalışmalar bulunmamaktadır. Engel tipleri iki ve üç boyutlu olarak sınıflandırılabilirler. Bu çalışmada uygulanan iki boyutlu engel tipleri için yapılan sınıflandırma Şekil 5.1. 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Engel tiplerinin sınıflandırılması

### 5.1. Set Tipi Engeller

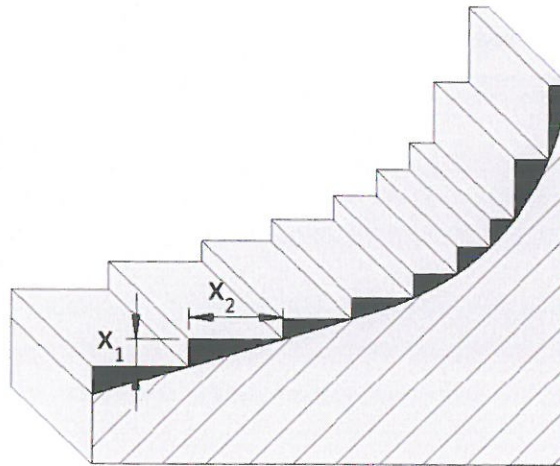
Engel yüzeyinin başladığı ve sonlandığı bölgeler hariç, geçmeye mani olan bir engel tipidir. Set tipi engellerde başlangıç ve bitiş bölgeleri belli bir yükseklikten sonra başlar ve sonu yok kabul edilir. Şekil 5.2'de de görülen düzlemsel set tipi engel için  $h$ ,  $s$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  mesafeleri ve  $\alpha$  açısı değeri temel değişkenlerdir (Feyzullah, 2019).



Şekil 5.2. Set tipi engel

### 5.2. Basamak Tipi Engeller

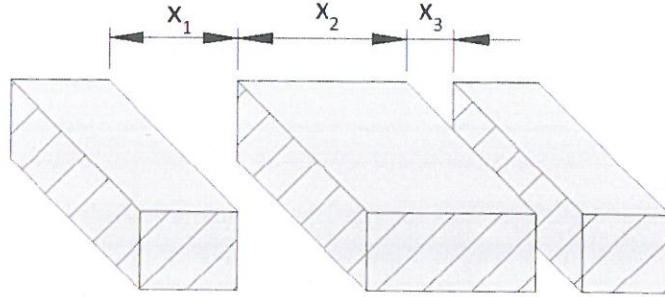
Basamak tipi engeller, yokuş yukarı veya aşağı sabit eğimli yüzeye yerleştirilmiş zikzak kasis tipi engellerden oluşur (Şekil 5.3). Zikzak kenarlarından düşey olanı, temas kuvvetine dike yakın; yatay olanı ise paralellığe yakın açıdadır. İnsan kullanımı için tasarlanmış merdivenlerde rampa açısı  $5^{\circ}$ – $50^{\circ}$  arasındadır (Anonymous, 1910). Gemi merdivenlerinde ise tırabzanlı olmak kaydıyla bu açı  $75^{\circ}$ 'ye kadar çıkabilir. Basamağın bulunduğu satıh eğimi sabit ise basamağın dikey ve yatay mesafeleri arasındaki oran ( $x_1$  ve  $x_2$  oranı) sabit kalır. Şayet eğim sabit değilse  $x_1$  ve  $x_2$ 'nin en küçük ve en büyük değerleri verilmelidir (Feyzullah, 2019).



Şekil 5.3. Basamak tipi engel

### 5.3. Hendek Tipi Engeller

Arazinin belirli bir veya birkaç bölümünün kesilmesi sonucunda oluşan engel tipidir. Yüzeyin engel bulunan bölümünde seviye aynı veya daha düşüktür. Hendek bölgesinde, araç için yüzey temas bölgesi yoktur. Eğer yüzeydeki bir bölgede temas mahsuru varsa bu durum sınıflandırmada hendek tipi engel olarak değerlendirilir. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi hendek tipi engel için temel parametreler  $x_1$  ve  $x_3$ 'ün en büyük ve  $x_2$ 'nin en küçük değeridir (Feyzullah, 2019).



Şekil 5.4. Hendek tipi engel

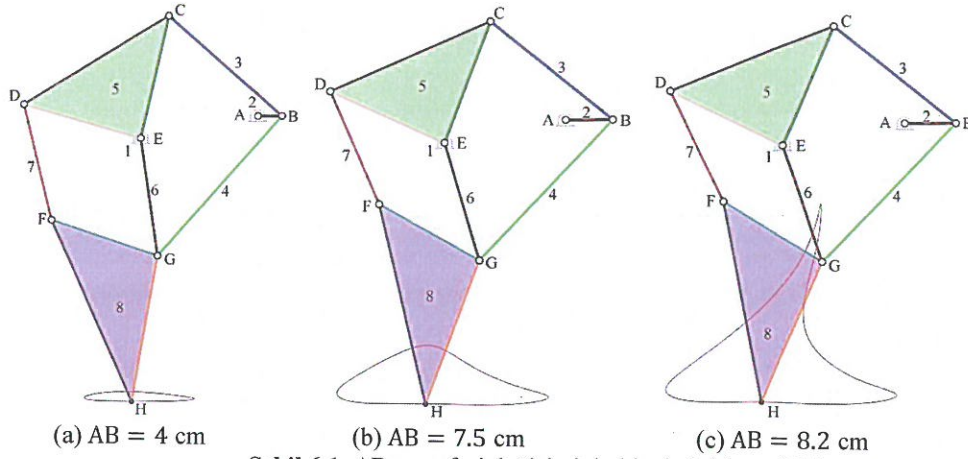
## 6. UZUV BOYUTLARINDAKİ DEĞİŞİMLERİN BİYEL EĞRİSİNE ETKİSİ

Strandbeest mekanizmasının uzuvlarının boyları Cinderella programında minimum 4 cm ile maksimum 42.5 cm arasında değiştirilerek biyel eğrileri elde edilmiştir. Bu aralıkların dışında kalan yörüngeler için, lineer durumundan sapma meydana gelmekte ve yörüngeler bozulmaktadır. Bu durumda bulunan yörüngeler göz önüne alınmamıştır. Ayrıca sabit mafsalları arasındaki açı ve düşey doğrultuda yapılan değişiklik incelendiğinde, mekanizmanın yere temas uzunluğunda sapma meydana gelmekte ve yerle temas kesilmektedir. Bu nedenle sabit mafsalları arasındaki değişim göz önüne alınmamıştır.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.12 arasındaki şekillerde mekanizmaya ait tüm uzuv boyları değişimlerinin H noktasının çizdiği biyel eğrisine etkileri görülmektedir. Şekillerin tamamında (b) harfli eğri, standart uzuv boylarındaki biyel eğrisini; (a) harfli eğri mesafenin azalması durumunda bulunan eğriyi ve (c) harfli eğri ise mesafenin artması durumunda bulunan eğriyi göstermektedir.

### 6.1. Uzuv Boyutlarındaki Değişime Bağlı Biyel Eğrilerinin Çizilmesi

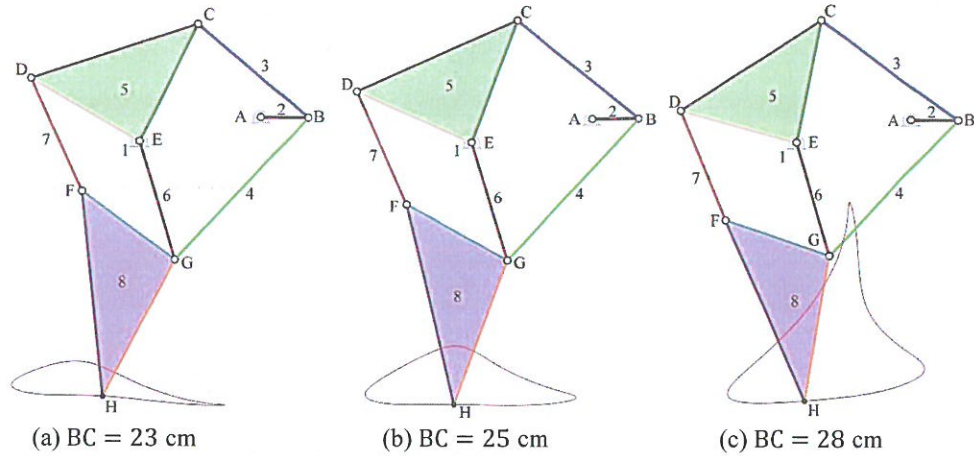
#### 6.1.1. AB mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi



Şekil 6.1. AB mesafesi değişiminin biyel eğrisine etkisi

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi AB mesafesinin azalması durumunda adım uzunluğu ve yüksekliğinde azalma meydana gelmektedir. Bu sayede, mekanizmanın, kaygan bir zeminde yürümeye elverişli hale geldiği görülmektedir. AB mesafesinin artması durumunda ise adım uzunluğu ve yüksekliğinde artma meydana gelmektedir. Adım yüksekliğindeki artış uzunluğa göre daha fazladır. AB mesafesi değiştirilerek engel atlamadaki adım yüksekliği ayarlanabilir. Bu sayede, mekanizmanın düzlemsel bir engeli aşacak şekilde biyel eğrisi çizdiği görülmektedir.

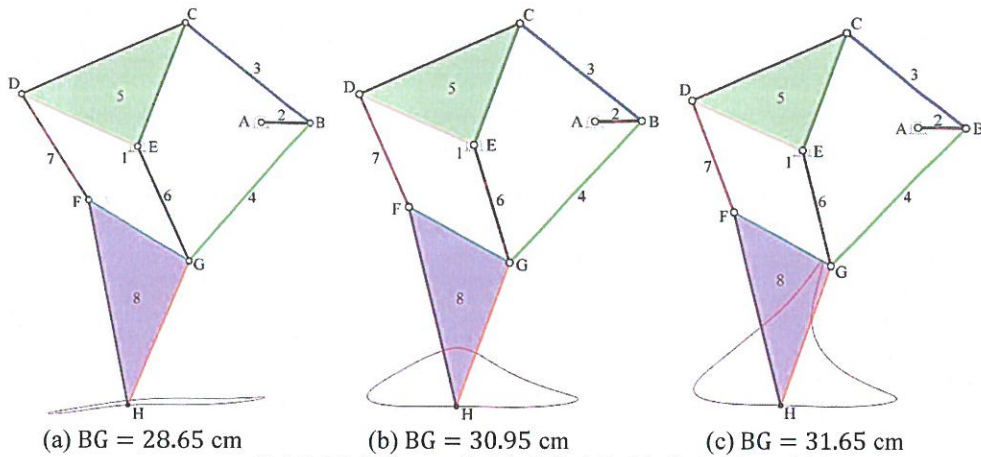
### 6.1.2. BC mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi



Şekil 6.2. BC mesafesi değişiminin biyel eğrisine etkisi

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi BC mesafesinin azalması durumunda adım yüksekliğinde azalma meydana gelmektedir. Bu sayede, mekanizmanın, tümsek çıkacak şekilde bir hareket yaptığı görülmüştür. Artması durumunda ise adım yüksekliğinde artma meydana gelmektedir. Bu sayede, mekanizmanın, az eğimli bir iniş için gerekli biyel eğrisini oluşturduğu görülmüştür. Biyel eğrilerinin adım uzunlukları standart biyel eğrisi uzunluğuna yakındır. BC mesafesinde değişiklik yapılarak, mekanizmanın engel atlama sağlanabilir. Aynı zamanda mesafenin azalması ve artması durumunda elde edilen eğrilerde, ayağın yere temas bölgesindeki doğrusallık bozulmaktadır.

### 6.1.3. BG mesafesindeki değişimlerin biyel eğrisine etkisi



Şekil 6.3. BG mesafesi değişiminin biyel eğrisine etkisi

BG mesafesinde azalma durumunda adım yüksekliğinde gözle görülebilir bir azalma meydana gelmektedir (Şekil 6.3). Bu sayede mekanizmanın, aşağı eğimli kaygan zeminde hareket edecek şekilde bir biyel eğrisi çizdiği görülmektedir. Mesafenin artması durumunda ise adım yüksekliğinde artma olmaktadır. Bu sayede mekanizmanın, set tipi bir engeli aşacak şekilde bir biyel eğrisi çizdiği görülmektedir.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tekerlekli robotların ilerleyemediği arazi şartlarında bacaklı yürüme mekanizmaları çok daha kolay ilerleyebilmektedir. Afetlerde ilk yardım ve arama kurtarma işlemlerinde, maden ocaklarında, denizaltı araştırmalarında, insan sağlığına zararlı yerlerde bu tip robotlar kullanılmaktadırlar. Bacaklı yürüme mekanizmaları kullanım şartlarına göre özel olarak tasarlanmaktadır. Yapılacak işin niteliğine göre mekanizmanın biyel eğrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Mukavemet analizi yapılarak tasarımın tamamlanması hem zaman hem de maliyet yönünden kazanç sağlayacaktır.

Bu çalışmada yürüme mekanizmalarının özellikleri araştırılmış, mekanizmaların engel atlama yönünden birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları verilmiştir. Strandbeest mekanizmasının konum, hız ve ivme analizleri yapılarak hız ve ivme grafikleri çizilmiştir. Strandbeest mekanizmasının mevcut kaynaklardaki boyutlarla orantılı olarak belirlenmiş büyüklüklerle tasarımı yapılmıştır. Daha sonra mekanizmanın uzuv mesafeleri değiştirilerek engel atlama durumları için en iyi yörüngeler bulunmuştur. Elde edilen biyel eğrileri göz önüne alındığında Strandbeest mekanizmasının engel atlama, kaygan zeminde ilerleme, yokuş tırmanma gibi engelleri aşabildiği simülasyon sunucunda görülmüştür.

Strandbeest mekanizmasının 50 kg'lık yük dikkate alınarak mukavemet analizi yapılarak yer değiştirme ve gerilme değerleri bulunmuş, grafikleri çizilmiştir. Tasarımın rezonans frekansları elde edilmiştir.



## KAYNAKLAR

- Aguilar, B., Lange, H., Laukkanen, E., Smith, C. M., Zmuidzinas, R., 2014, *Desing Review II*. Final Report.
- Akihiro, S. A., 2004, "Planar Hopping Robot with One Actuator: Design, Simulation and Experimental Results", MS Thesis, *Department of Mechanical Engineering, McGill University*, Montreal-Canada, 16.
- Anonymous, 2019, AnyMal Autonomous Legged Robot - <http://www.rsl.ethz.ch/robots-media/anymal.html> (Fotoğraf) [Ziyaret Tarihi: 2 Aralık 2019].
- Anonymous, 2019, Chebyshev's Plantigrade Mechanism - <http://en.tcheb.ru> (Fotoğraf) [Ziyaret Tarihi: 2 Aralık 2019].
- Anonymous, 2019, Ghassaei Link four legs.gif - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ghassaei\\_Linkage\\_four\\_legs.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ghassaei_Linkage_four_legs.gif) (Fotoğraf) [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- Anonymous, 2019, Klann's Mechanical Spider Using EV3's Brick - <https://www.diywalkers.com/mindstorms-klann.html> (Fotoğraf) [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2019].
- Anonymous, 2019, Strandbeest optimizer for lego - <https://www.diywalkers.com/strandbeest-optimizer-for-lego.html> [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2019].
- Anonymous, 2019, Strider's Linkage Dimensions and Prototype Performance - <https://www.diywalkers.com/strider-linkage-plans.html> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019].
- Anonymous, 2019, Team Trotbot - <https://www.teamtrotbot.com/mechanism.html> [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2019].
- Anonymous, Occupational Safety and Health Standards, Stairways, 1910, United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Standard Number: 1910.25, USA.
- Anonymous, Walking Mechanism Designing Principles <https://dogfeatherdesign.com/engineering-projects/mechanisms-mechanical-walker/> [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2019].
- Başer, Ö., 2010, Modelling And Application Of A Bipedal Mechanism, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi FBE*, İzmir.
- Bidaud, P., Tokhi, M. O. and Grand, C., 2011, Field Robotics - Proceedings Of The 14th International Conference On Climbing And Walking Robots And The Support Technologies For Mobile Machines, *World Scientific*, Paris-France, 463-666.

- Burns, S. A., 2015, Four-Legged Theo Jansen “Strandbeest” Walking Mechanism, <http://scottburns.us/walking-mechanism> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2019].
- Daskalov, T., 2015, Concrete Skateparks Design and Construction of A Skateboarding Recreational Facility, MS Thesis, Thesis Degree Programme in Construction Engineering, *Häme University of Applied Sciences*, Häme-Finland, 61-88.
- Dubhashi, V., Chavan U. S., 2016, Analysis And Optimization Of Quadruped Leg Walking Mechanism, *International Journal of Mechanical Engineering Research and Technology*: 1-8.
- Feyzullah, A., 2019, Sekiz uzuvlu bir yürüme mekanizmanın farklı arazi şartlarına uyarlanması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 47-49.
- Ghassaei, A., 2011, The Design and Optimization of a Crank-Based Leg Mechanism, *Pomona College Department of Physics and Astronomy*, Cleremont-USA, 45-54.
- Giesbrecht, D., 2010, Design And Optimization Of A One-Degree-Of-Freedom Eight-Bar Leg Mechanism For A Walking Machine, MS Thesis, *The University of Manitoba*, Canada.
- Gupta, A. K., Agarwal, A., Singh, A. and Singh, K., 2017, Mechaical Spider Robot By “Klann Mechanism”, Thesis, *Dr. APJ Abdul Kalam Technical University*, Uttar Pradeş.
- Hutter, M., Gehring, C., Jud, D., Lauber, A., Bellicoso, C. D., Tsounis, V., Hwangbo, J., Bodie K., Fankhauser, P., Bloesch, M., Diethelm, R., Bachmann, S., Melzer, A. and Hoepflinger, M. A., 2016, ANYmal - A Highly Mobile and Dynamic Quadrupedal Robot, *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Daejeon - South Korea, 38 - 44.
- Kartal İ.A. ve Kavlak K., 2019, Strandbeest Mekanizmasının Kinematik ve Mukavemet Analizi, *International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications HORA2019*, 146-151, Ürgüp, Nevşehir, Türkiye.
- Komoda, K., Wagatsuma, H., 2011, A study of availability and extensibility of Theo Jansen mechanism toward climbing over bumps, *The 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society*, Okinawa Institute of Science and Technology (OIST), Okinawa, 3-28.
- Li, Y., Wang, L., Liu, J. and Huang, Z., 2013, Applicability and generality of the modified Grübler-Kutzbach Criterion, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 26, Issue 2, 257-263.
- Lorenz, B., Persson, B. N. J., Fortunato, G., Giustiniano, M. and Baldoni, F., 2013, Rubber Friction For Tire Tread Compound on Road Surfaces, *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 25, 9.

- Lovasz, E., Pop, C., Dolga, V., 2014, Novel Solution For Leg Motion With 5-Link Belt, *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*, vol.19, No.4, 699-708.
- Mohsenizadeh, M., and Jenny Z., 2015, Kinematic Analysis And Simulation Of Theo Jansen Mechanism, *Proceedings of the Fifteenth Annual Early Career Technical Conference*, The University of Alabama, Alabama, 98-106.
- Moncal, K. K. ve Aydın, Ö. C., 2013, Örümcek Robot Sistem Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, *İnönü Üniversitesi*, Malatya, 1344-1349.
- Nansai, S., Elara, M. R. and Iwase, M., 2013, Dynamic Analysis and Modeling of Jansen Mechanism, *International Conference On DESIGN AND MANUFACTURING*, 1562-1571.
- Nansai, S., Mohan, R. E., Tan, N., Rojas, N. And Iwase, M., 2015, Dynamic Modeling and Nonlinear Position Control of a Quadruped Robot with Theo Jansen Linkage Mechanisms and a Single Actuator, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Robotics*, Article ID 315673, 15 pages.
- Palte, M. R., Mehekare M. S., Bisen, R. Y. and Shette, U. N., 2017, Analysis of Stride Length and Step Height of Theo Jansen Leg Motion, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4184-4189.
- Patnaik, S., 2015, Analysis Of Theo Jansen Mechanism (Strandbeest) And Its Comparative Advantages Over Wheel Based Mine Excavation System, *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 43-52.
- Pop, F., Lovasz, E., Pop, C. and Dolga, V., 2016, Dimensional synthesis of a leg mechanism, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 147*, 1-6.
- Rao, S. S., 2010, Mechanical Vibrations, University of Miami, 5th Edition, *Prentice Hall-Pearson*, New Jersey-USA, 654-698.
- Raymond, N. Y., Ezzat, A. F. and Nicolas S., 1984, Vehicle Traction Mechanics, Geotechnical Research Center, McGill University, *Elsevier*, Motreal-Canada, 9-40.
- Rudy, K., Fawzy, L., Bianco, S., Santelle, T., Bogert, A. J., <https://www.csuohio.edu/sites/default/files/47A-2016.pdf> [Ziyaret Tarihi: 3 Kasım 2019 ].
- Sauder, J., Hilgemann, E., Johnson, M., Parness, A., Bienstock, B. and Hall, J., 2017, Automation Rover for Extreme Environments, *NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) Phase I, Final Report*, Jet Propulsion Laboratory , California Institute of Technology, California-USA, 11-12.
- Shigley, J. E., 1960, The Mechanics of Walking Vehicles, Land Locomotion Laboratory Research Division Research and Engineering Directorate, *U. S. Army Ordnance Tank-Automotive Command 1501 Beard Detroit 9*, Michigan-USA, 2-3

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İbrahim Ali KARTAL  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Hollanda / 22.02.1986  
**Telefon** : 0542 332 50 59  
**E-Posta** : ibrahimalikartal@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram Konya	Meram	Konya	2003
Önlisans	: SÜ Teknik BMYO	Selçuklu	Konya	2008
Lisans	: Harran Üni.	Merkez	Şanlıurfa	2013
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üni.	Selçuklu	Konya	Devam ediyor

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008	Uzçelik Makine Sanayi Ltd. Şti.	Makine Teknikeri
2009	Osman Koç Dingil Sanayi Ltd. Şti.	Makine Teknikeri
2012	Tümosan Traktör Fabrikası AŞ.	Stajer Mühendis
2015	Kazeloğlu Hidrolik Ltd. Şti.	İşleme Merkezleri Sorumlusu
2016	İmaş Makine AŞ.	Talaşlı İmalat Sorumlusu
2017	Hürtek Kaynak Aparatları Ltd. Şti	Ar-ge Mühendisi
2017	Anadolu Hidrolik Endüstri AŞ.	Çapa Bölümü Sorumlusu
2019	Osm Makine Ltd. Şti.	Cam Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

Robotlar, ar-ge, inovasyon, tasarım ve tersine mühendislik, talaş kaldırma yöntemleri, cad-cam

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

Kartal, İ.A. ve Kavlak, K., Strandbeest Mekanizmasının Kinematik ve Mukavemet Analizi, *International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications HORA2019*, 146-151, 2019, Ürgüp, Nevşehir, Türkiye.