

# MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR



**Editör**  
**Doç. Dr. Bayram AKDEMİR**



# MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR

Editör

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR



***Mühendislikte Yenilikçi Çalışmalar***  
***Editör: Doç. Dr. Bayram AKDEMİR***

**Genel Yayın Yönetmeni:** Berkan Balpetek  
**Kapak ve Sayfa Tasarımı:** Duvar Design  
**Yayın Tarihi:** Ağustos 2023  
**Yayıncı Sertifika No:** 49837

**ISBN:** 978-625-6507-42-5

© Duvar Yayınları  
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir  
Tel: 0 232 484 88 68

## İÇİNDEKİLER

<b>Bölüm 1.....7</b>	
Köpürtülmüş Krema(Krem Şanti) ve Kahve Kreması Üretim Prosesi Ürünler <i>Cihat ÖZDEMİR, Salih ÖZDEMİR</i>	
<b>Bölüm 2.....25</b>	
Susuz Süt Yağı (Sadeyağ) <i>Salih ÖZDEMİR, Cihat ÖZDEMİR</i>	
<b>Bölüm 3.....45</b>	
Endüstri Mühendisliğinde Dijital Dönüşüm ve Akıllı Üretim Yaklaşımları <i>Abdulla SAKALLI</i>	
<b>Bölüm 4.....75</b>	
Türkiye’de Son Yüzyılda (1923-2023) Meydana Gelen Yıkıcı Depremler ve Kullanılan Deprem Yönetmelikleri <i>Ahmet Ferdi ŞENOL, Ayça AKBAŞ, Özlem ÇALIŞKAN</i>	
<b>Bölüm 5.....99</b>	
Zeolit ve Mühendislikte Kullanımı <i>Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU, Zülfü GÜROCAK</i>	
<b>Bölüm 6.....123</b>	
Endüstriyel Malzemelerde Yorulma Dayanımı <i>Aydın ŞIK, Aseña SOYLUK</i>	
<b>Bölüm 7.....155</b>	
Zirkon Bir Karakutu mu? <i>Ayşe Didem KILIÇ</i>	
<b>Bölüm 8.....167</b>	
Yenişehir (Bursa) Ovası Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri <i>Ayşen DAVRAZ</i>	

**Bölüm 9.....195**

Nöral-Bulanık Sistemlerin Sağlık Alanındaki Uygulamaları  
*Çiğdem İnan ACI, Gizen MUTLU, Mehmet ACI*

**Bölüm 10.....217**

Derin Öğrenme Metotlarını Kullanarak  
Arapça Metin Tabanlı Duygu Analizi  
*Mariam ABAKAR NOKOUR, Eyyüp GÜLBANDILAR*

**Bölüm 11.....247**

Tarımda Modern Teknolojiler: Lidar Görüntüleme  
Fatmanur ATEŞ, Ramazan ŞENOL

**Bölüm 12.....267**

Tarımda Otonom Sistemlerin Önemi  
Fatmanur ATEŞ, Ramazan ŞENOL

**Bölüm 13.....285**

Lojistik ve Tedarik Zincirinde Dijitalleşme  
*İlknur YARDIMCI COŞKUN*

**Bölüm 14.....307**

Esnek Robot Tutucu Tasarımı ve Kontrolü  
*Kusay DİB, Muhammet AYDIN*

**Bölüm 15 ..... 325**

Batarya Yönetim Sistemlerinde İleri Beslemeli  
Sinir Ağları Uygulamaları  
*Mete ÖZBALTAN, Mehmet KURUCAN*

**Bölüm 16.....349**

Temel Kazı Derinliği Deniz Seviyesi Altında Bulunan  
Baraj İçin Geçirimsizlik Perdesi Yapım Tekniği  
*Murat CAN*

**Bölüm 17.....369**

Üretim Sanayiinde Kullanılan Makine Koruyucularının  
İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Önemi  
*Mustafa ÖCAL, Okan ÖZBAKIR*

**Bölüm 18.....411**

Termal Konforun Yönetimi:  
Çevresel ve Kişisel Faktörlerin Etkileşimi ve İşyeri Performansına Etkileri  
*Okan ÖZBAKIR*

**Bölüm 19.....443**

Betonarme Binaların Tasarım ve İnşasında Yapılan  
Yaygın Uygulama Hatalarının Değerlendirilmesi  
*Özlem ÇALIŞKAN, Ahmet Ferdi ŞENOL*

**Bölüm 20.....469**

Açık Deniz Üzeri Yüzer Rüzgâr Türbini Platform Konseptleri  
*Selahattin Alp ERKURTULMUŞ*

**Bölüm 21.....507**

Beyin-Bilgisayar Arayüzleri ve Elektroensefalogram  
(EEG) Sinyal İşleme: Temel Prensipler ve Uygulama Yaklaşımları  
*Selma BULUT, İlhan UMUT*

**Bölüm 22.....539**

Lityumun (Li) Çevre Üzerine Olan Etkileri  
*Serpil SAVCI, Güllü KIRAT*

**Bölüm 23.....553**

Eğitim Kurumlarının Doğal Işık Performansının İncelenmesi:  
Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Örneği  
*Sertaç GÖRGÜLÜ, Hatice KOLAK*

**Bölüm 24.....569**

Hibiskusun (*Hibiscus sabdariffa* L.)  
Genel Özellikleri ve Mühendislikte Kullanım Alanları  
*Şule Azime YENİÇERİ, Ebru AKKEMİK*

**Bölüm 25.....583**

Mühendislikte Sürdürülebilir Bir Hammadde: Mermer Tozu  
*Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU, Zülfü GÜROCAK*

**Bölüm 26.....601**

Yılansı Robotun Tasarımı, Statik, Dinamik Ve Modal Analizi  
*Yusuf COŞKUN, Muhammet AYDIN*

**Bölüm 27.....615**

Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin  
Karşılaştırılması Üzerine Sistematik Bir Derleme  
*Hatice ÖZDEMİR*

**Bölüm 28.....641**

Aromatik Bileşiklerden Nirto Aromatik Bileşik Eldesi Mekanizması  
*Melek GÖKMEN KARAKAYA*

**Bölüm 29.....665**

Bulut Teknolojilerinde Veri Güvenliği  
*Çiğdem BAKIR*

**Bölüm 30.....689**

Otomotiv Sektöründe Kalite Yönetimi  
Sistem Uygulamalarında Sürdürülebilirlik  
*İkram DAŞTAN, Çiğdem BEKTAŞ*

**Bölüm 31.....725**

Gemi Manevra Matematiksel Modelleri ve  
Kontrol Sistemleri  
*Gökhan BUDAK*

**Bölüm 32.....741**

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Sonrası  
Yığma Yapılarda Yapısal Hasar Değerlendirmesi  
*Zeynep ÜNSAL ASLAN*

## **Bölüm 26**

# **Yıllansız Robotun Tasarımı, Statik, Dinamik Ve Modal Analizi**

**Yusuf COŞKUN<sup>1</sup>**  
**Muhammet AYDIN<sup>2</sup>**

---

<sup>1</sup> Arş. Gör.; İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü. yusuf.coskun@istun.edu.tr ORCID No:0009-0008-0959-311X

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü. muhammeta@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2746-9477



## ÖZET

Teknolojinin ilerlemesiyle robotların hayatımıza girmesi ciddi bir şekilde hızlanmıştır. Neredeyse her alanda bu insan yapımı akıllı makinelerden istifade ediyoruz. Arama kurtarma çalışmalarından sanayiye kadar her alanda kullandığımız bu robotlar üzerinde, çalışabilecekleri ortamların zorlu şartlarına fiziki olarak nasıl tepki vereceklerini öğrenmek için gerçek imalattan önce belli analizlerin yapılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada yılanı bir robot üzerine çalışılmış, yılanı robotun tasarımı gerçekleştirilmiş ve yılanı robot üretilmeden önce belli analizlere tabi tutulmuştur. Yılanı robot 7 adet eklemden oluşup her eklemi hareketlidir. Sistem tasarımı SolidWorks paket programında gerçekleştirilip sistemin montajı yapılmıştır. Oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri ve parametreleri kullanılarak Matlab ortamında, Denavit-Hertenberg parametrelerinden yararlanılarak yılanı robotun ileri kinematik sonuçları bulunmuştur. Daha sonra Ansys paket programında üç adet analize tabi tutulmuştur. Bu analizler statik analiz, doğal frekans analizi ve rijit dinamik analizidir. Dar ve pürüzlü yollarda, arama kurtarmada, araştırmalarda kullanılan bu robotların sınır şartları belirlenerek hareketlerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun sonucunda gerekli parametrelerle analiz gerçekleştirilmiş ve maksimum çalışma şartları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yılanı robot, Tasarım, Statik analiz, Dinamik analiz, Modal analiz

## GİRİŞ

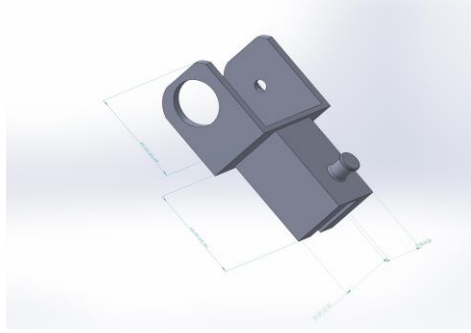
Doğadaki hareket kalıpları, yılanların süzülüşü veya çekirgenin zıplaması gibi, gerçek dünya ortamlarında etkili ve verimli mekanizmaların temsilcileridir. Bu doğal ritimler ve mekanizmalar, mobil robot tasarımlarına ilham verirken, belirli arazi ve ortam koşullarına göre optimize edilmiş her robotun her türlü arazide etkin hareket etme yeteneğine sahip olmayabileceğini unutmamak gerekir (Baysal ve Altas, 2022:353). İnce ve uzun yapıları, yılan robotlara esneklik kazandırır ve çeşitli engellerin üstesinden gelmelerini kolaylaştırır. Yılan robotlar, bu esneklikleri sayesinde dar alanlarda hareket edebilir, engebeli arazilerde tırmanabilir ve kavisli yüzeylerde dolaşabilir (Shmakov, 2006). Yüksek serbestlik derecesi, yılan robotların çok çeşitli hareketler yapabilmesini sağlar. Her bir segmentin bağımsız olarak hareket edebilmesi, robotun zeminle uyumlu bir şekilde ilerlemesini sağlar. Bu da yılan robotların düz, eğimli veya engebeli arazilerde etkin bir şekilde hareket edebilmelerine olanak tanır (Günel ve Kacar, 2016). Yılan robotlarla ilgili bilinen ilk çalışma Japon bilimci Shiego Hirose tarafından 1972 yılında gerçekleştirilmiştir. Hirose, arkadaşı Umetami ile birlikte yaklaşık 2 metre boyunda bir robot geliştirerek yılanların serpentine hareketlerini formülize etmesi, yılan robotlarının ilerlemesini ve dönmesini sağlayan hareket algoritmalarının geliştirilmesine temel oluşturmuştur. Bu tasarımın her bir uzvuna pasif tekerlekler yerleştirilmiştir ve sağ-sol hareketleri uzuvlarına yerleştirilen servolar sayesinde sağlanmıştır (Hirose ve Mori, 2004:1). Joel Burdick ve onun öğrencisi olan Greg Chirikjian, yılanların hareket mekanizmalarını inceleyerek, yılan robotlarının tasarımını ve kontrolünü geliştirmeye odaklanmışlardır. Burdick ve Chirikjian'ın tasarladıkları bu prototipte 10 adet uzuv bulunmaktadır. Serbestlik derecesini her uzuv için 3 er tane olacak şekilde ayarlamışlardır. Her ekleme servo motor yerleştirerek hareketin kontrol etmiş ve aynı anda konum bilgisini elde etmek için ise lineer potansiyometre kullanılmıştır (Chirikjian ve Burdick, 1994:343). Shan kendi çalışmasında tıpkı diğer araştırmacılar gibi her ekleme tahrik elemanı olarak birer servo motor eklemiştir. Ancak yılan robotun hareketine şekil verme sistemi diğerlerinin aksine farklıdır. Shan her ekleme birer tane selenoid ekleyerek selenoidin aktif olduğu uzvu kısıtlayarak robotun çalışma alanında kendine yön vermesini sağlamıştır (Shan ve Koren, 1993:1091).

Bu çalışmada Soliworks programında mevcutlarından farklı yeni bir yılan robot tasarlanmıştır. Tasarlanan katı model Matlab ortamına aktarılarak burada robotun kinematik hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca Ansys programda tasarlanan yılan robot hakkında üretilmeden önce önbilgi edinebilmek adına,

robotun dinamik analizi, statik analizi ve doğal frekans analizi gerçekleştirilmiştir.

### YILANSI ROBOT KATI MODEL TASARIMI

Yılanlı robot tasarım sürecinde, tasarımı oluştururken SolidWorks paket programı kullanılmıştır. Sistemin kafa, kuyruk ve gövde olarak 3 temel bölgesi vardır. Kafa yapısında 1, gövde yapısında 5 ve kuyruk yapısında 1 uzuv olmak üzere toplamda hareketli olarak 7 uzuv mevcuttur. Çizime ilk başlandığı zaman robotun gövde tasarımı yapılmış daha sonra kuyruk ve en son olarak kafa tasarımı yapılmıştır. Tasarım bittikten sonra yine SolidWorks paket programında tasarım hareket ettirilmiş ve yılanlı hareketler elde edilmiştir.

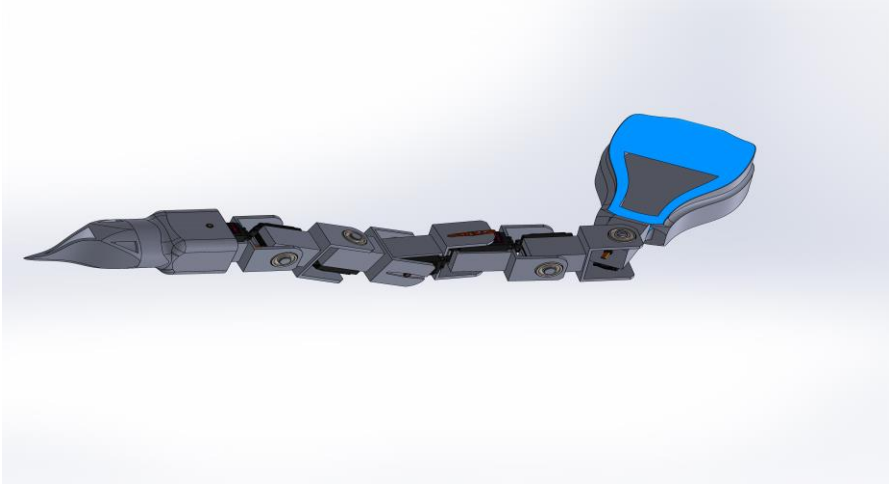


Şekil 1: Modelin Gövde Elamanının Görüntüsü



Şekil 2: Modelin Kafa Elemanının Görüntüsü

Yılanın tek bir eklemının uzunluğu Şekil 1’ de görüldüğü üzere 87,50 mm’ dir. Şekilde gösterilen eklem yapısında 5 adetın birleşmesiyle yılanlı robotun gövdesi oluşmaktadır. Şekil 2’ de verilen kafa yapısının uzunluğu ise 222,41 mm’ dir.



**Şekil 3:** Modelin Montaj Görüntüsü

Bütün eklemlerin birleştirilmesiyle montajı tamamlanan tasarım Şekil 3' te görüldüğü gibidir.

### **YILANSI ROBOTUN KİNEMATİĞİ**

Robot kinematiği, üç boyutlu olarak robotların hareketini inceler. Bu bilim maddelerin, cisimlerin ya da canlıların yer değiştirmelerini inceler. Robot kinematiği, robotun konumunu, hızını, ivmesini ve yönelimini analiz eder ve bu parametreleri hesaplamak için matematiksel yöntemler ve denklemler kullanır. Robot kinematiği, robotun eklem konfigürasyonu, uzuv uzunlukları ve eklemler arasındaki bağlantıları içeren geometrik bilgilere dayanır (Abut vd., 2013:554).

Robotun eklemleri, robotun hareketli parçalarının birbirine bağlanmasını sağlayan bağlantı elemanlarıyla birbirine bağlanır. Bu bağlantılar, genellikle sabitlenmiş veya hareketli eklem eksenleri etrafında dönme veya öteleme hareketi sağlayan bağlantı noktalarıdır. Eklemlerin her birinin konumu ve yönelimi kendinden önceki veya kendinden sonraki ekleme göre ifade edilir. Birbirini takip ederek oluşturulan bu sisteme kinematik zincir denilir. Bu kinematik zinciri oluşturan sistemde konum ve yönelim matrisini içinde barındıran homojen matrisler vardır. Bütün eklemler için 4x4 biçiminde homojen matrisler oluşturulur.

İleri kinematik, robotun eklemlerinin açılarını veya konumlarını girdi olarak alır ve robotun konumunu ve yönelimini hesaplar. Robot eklemleri birbirine sırayla bağlı eklemlerden oluşur. Bu eklemlerin arasındaki bağ ilişkisi homojen dönüşüm matrisi ile ifade edilir. Bu matrislerin birbiriyle çarpımından robotun uç işlevcisinin diğer eklemlere göre devinimi elde edilir. Kısacası ileri

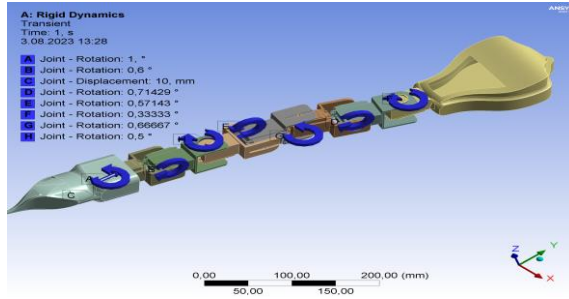
kinematik, robotun eklemlerine göre uç işlevcisinin konumunu belirler. Bu, robotun belirli bir ekleme sahip olduğunda uç işlevcisinin nerede olacağını tahmin etmek için kullanılır.

Robotların ters kinematiği ise, konumu verilen uç işlevcilerin bu konuma yönelmeleri için gerekli olan açıların hesaplanması olarak anlamlandırılır. İleri kinematiğe göre biraz karmaşıktır çünkü doğrusal denklemlere sahip değildir (Kurtulmuş, 2010).

### İleri Kinematik

Yedi eklemlili bir yılanlı robot için Matlab script dosyası kullanılarak ileri kinematiğini hesaplayan ve grafını çizdiren bir kod yazıldı. Bu kod, D-H parametrelerini, homojen matrislerini ve ileri kinematiğini içeren T dönüşüm matrisini hesaplayarak son konumu ve ilk konumu arasında kalan eklemlerle birlikte bir grafik eşliğinde tüm hesaplamaları vermektedir.

Hesaplamalardan önce robotun eklemleri üzerinde konum vektörleri Ansys programında Şekil 4' de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.

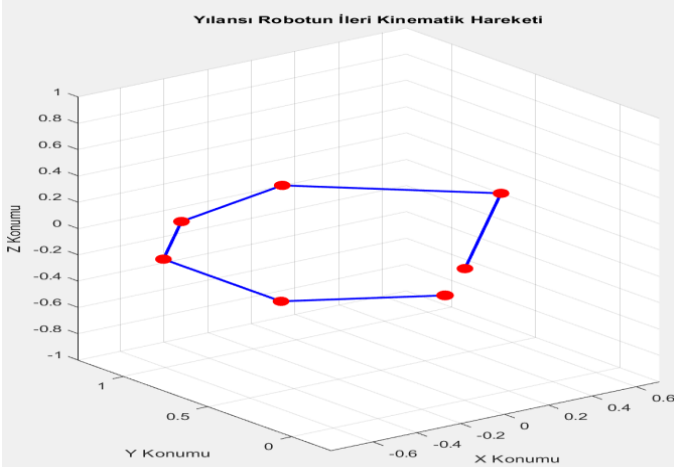


Şekil 4: Modelin Eksen Takımlarının Yerleştirilmiş Hali

Her bir eklemin dönüşü z eksenini etrafında olacak şekildedir. İleri kinematik için hesaplanan temel dönüşüm matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 0,866 & 0,5 & 0 & -0,272 \\ -0,5 & 0,866 & 0 & -0,2361 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Denklem 1’ de elde edilen temel dönüşüm matrisi kullanılarak Şekil 5’ de, tasarlanan yılanlı robotun ileri kinematik hareketi grafiksel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 5:** Yılanlı Robotun İleri Kinematik Hareketi

## MATERYAL VE METOD

Tasarımı gerçekleştirilen yılanlı robotun imalatı gerçekleştirilmeden önce ön bilgi edinilmesi amacıyla belli analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizler statik analiz, rijit dinamik analiz ve modal analizlerdir. Aşağıda sırasıyla detaylı olarak bu analizlerin nasıl gerçekleştirildiği açıklanmıştır.

### *Statik Analiz*

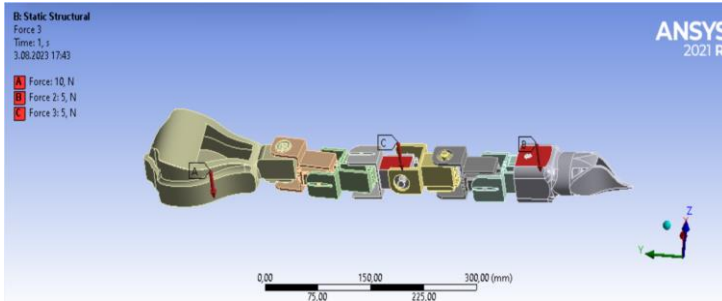
SolidWorks ortamında tasarımı gerçekleştirilen yılanlı robot, Ansys ortamına aktarılarak statik analize tabi tutulmuştur. Analiz yapılırken malzeme seçimi olarak paslanmaz çelik tercih edilmiştir. Paslanmaz çeliğin özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir (Abut vd.,2012).

**Tablo 1:** Paslanmaz Çeliğin Özellikleri

Özellikler	Değerler	Birimler
Elastise Modülü	190000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson Oranı	0,26	-
Von Mises	79000	N/mm <sup>2</sup>
Kütle Yoğunluğu	7700	kg/m <sup>3</sup>
Gerilme Mukavemeti	448,08	N/mm <sup>2</sup>
Akma Mukavemeti	241,28	N/mm <sup>2</sup>

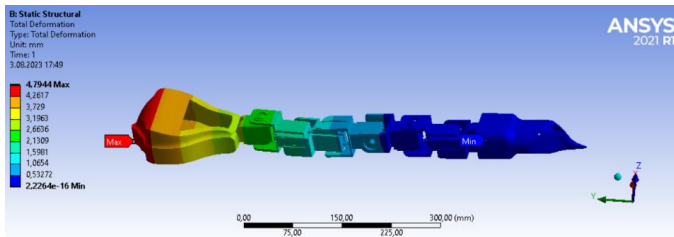
Statik analiz, bir yapı veya sistemdeki bileşenlerin, kuvvetlerin ve etkilerin dengesini incelemek için kullanılan bir mühendislik yöntemidir. Bu analiz yöntemi, yapıların veya sistemlerin dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla kullanılır. Sonlu elemanlar içerisinde statik analizi basite indirirsek eğer, analizi yapılmış parçanın lineer olan malzeme özelliğiyle anlık olarak görüntülenen çözümlenmesidir. Dinamik analizdeki gibi zamana bağlı olarak çözümlenen analiz türü değildir (Buğday, 2018).

Şekil 6’ da görüldüğü üzere yılanın kafa, gövde ve kuyruk kısımlarına sırasıyla 10 N, 5 N ve 5 N’ luk kuvvetler uygulanarak statik analiz için sınır şartları verilmiştir. Bu üç bölgeye kuvvet uygulanmasının nedeni yılanın hareket anında vücudunda en çok kasılmaya sebep olan bölgelerin bu alanlar olmasıdır. Buna ek olarak, dar alanlarda yılanların hareketlerini daha elverişli kılmak için doğrusal hareketlere başvurularını gerektiği daha önce de bahsedilmişti. Bu hareket tipinde, yılan kendisini katlayarak doğrusal hareket etmek için kendisini maksimum olarak en çok kastediği ana ulaşır. Bu kasılma anında yılanın kafa, kuyruk ve gövde bölgeleri aynı anda çalışır.



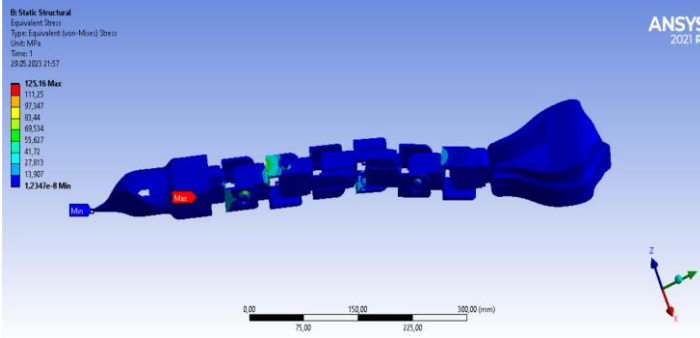
Şekil 6: Uygulanan Sınır Şartları

Analiz sonucunda ise maksimum 4,7944 mm’ lik bir yer değiştirme gerçekleşmiştir. Şekil 7’ de maksimum ve minimum deformasyon sonuçları da gösterilmiştir.



Şekil 7: Deformasyon Sonuçları

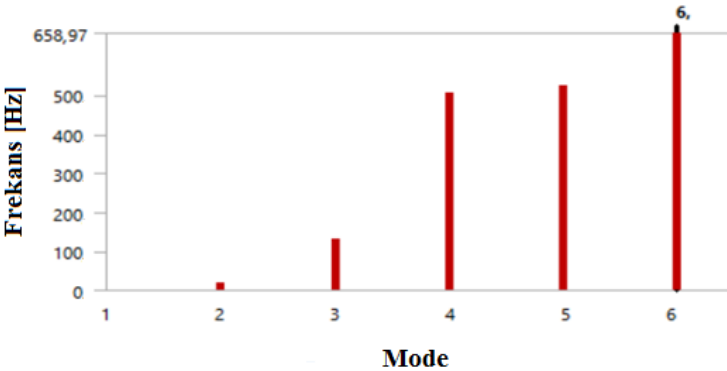
Analiz sonucunda maksimum gerilme (Von-mises) 125,16 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan maksimum gerilmenin değeri malzemenin akma değerinden küçük olduğu için deforme olmadığı anlaşılıyor. Fakat bulunan gerilme değeri, akma gerilmesinden büyük olsaydı istenmeyen bir sonuç olan deformasyon durumu oluşacaktı. Bulunan maksimum gerilme sonucu Şekil 8’ de görüldüğü gibidir.



Şekil 8: Maksimum Gerilme Sonuçları

### *Doğal Frekans (Modal) Analizi*

Doğal frekans, mühendislikte yapıların titreşim analizinde önemli bir etkidir. Bir sistem belirli bir kütle ve sertliğe sahip olduğunda sistemin kendine has bir frekansı oluşur. Her tasarım kendine özgü sertlik ve kütle sahiptir. Bu sahip olduğu özellikler sistemin parametrelerine bağlı olduğundan dolayı parametrelerin değişimi bu katsayıları da etkileyecektir. Dolayısıyla doğal frekansta kütle ve sertlik gibi katsayılarla bağlı olduğu için parametrelerin değişimi doğal frekansı da etkileyecektir. Tasarımın Modal analizinin sonuçları grafik olarak Şekil 9’ da ve Tablo 2’ de gösterilmiştir (Günyar vd. 2012:33).

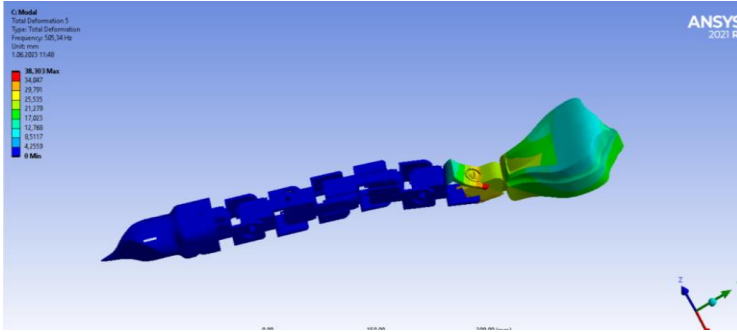


Şekil 9: Maksimum Gerilme Sonuçları

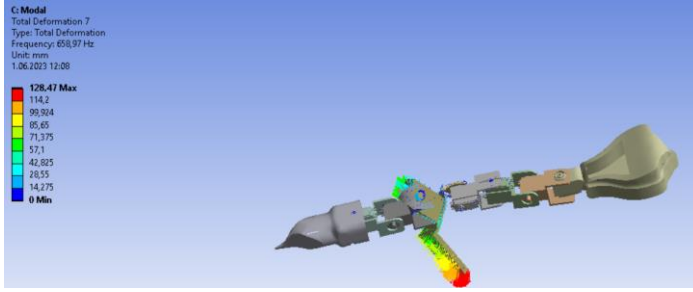
**Tablo 2:** Farklı Modlardaki Frekans Değerler

Mode	Frekans [Hz]
1	0
2	20,067
3	132,11
4	505,34
5	522,85
6	658,97

Doğal frekans analizinde, sisteme işleyen 6 adet mod değeri bulunmuştur. Bu mod değerleri sistemin rezonans değerlerini bulmamızda yardımcı olur. Eğer modelimiz ikinci mod değerimiz olan 20,067 Hz' lik bir frekansa maruz kalırsa 30,276 mm' lik bir yer değiştirmeye uğrayacaktır. Benzer şekilde, analiz sonucunda yılanı robot 5. modda Şekil 10' da verildiği gibi 38,303 mm' lik deformasyona maruz kaldığı gözlemlenmektedir.

**Şekil 10:** 5. Mod Değerinin Sonucu

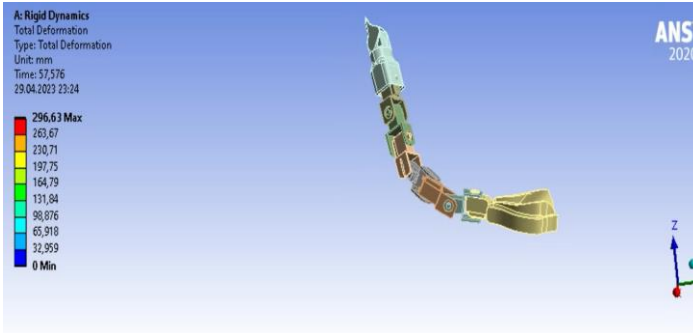
Eğer uyguladığımız kuvvetlerin frekansı bulduğumuz farklı değerlerdeki frekanslardan biriyle çakışırsa sistem rezonansa uğramış olur (Günyar vd. 2012:33). Buda istenmeyen bir durumdur, olumsuz sonuçlanır ve sistem deforme olmuş olur. Şekil 11' de 6. modda tasarımın rezonansa uğradığı açık bir şekilde görülmektedir.



**Şekil 11:** 6. Mod Değerinin Sonucu

### ***Rijit Dinamik Analiz***

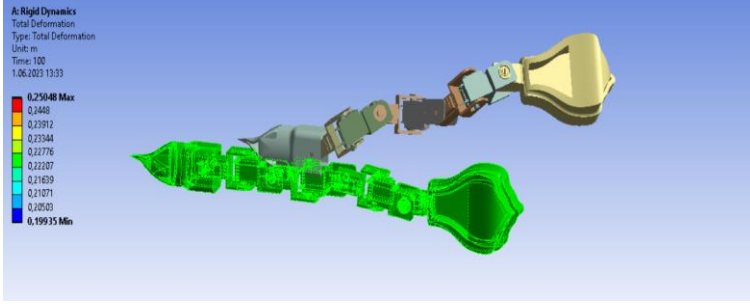
Bu bölümde yapılan çalışmalar rijit dinamik ara yüzünde yapılmıştır. Amaç verilen momentler doğrultusunda yılanı robotu hareket ettirmektir. Bu ara yüzde sistem, rijit cisim olarak kabul edildiği ve deformasyonlarının ihmal edildiği durumları modeller. Yani rijit cisimler yüzeylerinin tümünün sabit boyut ve şekilde olduğu kabul edilen cisimlerdir. Bu analizde rijit cismin hareketi incelenecektir. Kuvvet ve moment dikkate alındığı zaman modelin yer değiştirmesi hesaplanır ve dinamik davranışı değerlendirilebilir. Şekil 12’ de gösterildiği gibi momentler z ekseninde hareket gerçekleşecek şekilde yerleştirilmiştir. Sistemin hangi ekseninde hangi eklemden nasıl hareket etmesi gerektiği elle girilerek ayarlanmıştır. Sistemin hareket etmesi genel olarak tek düzlem üzerinde olacaktır fakat her eklemden farklı düzlemler arasında hareket mevcuttur, çünkü sistemin her eklemi hareketlidir (Sapietová vd., 2019:23).



**Şekil 12:** Kuyruk Hareketi

Sisteme hareket verildiği zaman robotun kuyruk hareketi Şekil 12’ de gözlemlenmektedir.

Sisteme uygulanan farklı moment değerleri üzerinden yılanı robotun durağan halinden hareketli hale geçerken ki durumu Şekil 13’ de gösterilmiştir.



Şekil 13: Hareket Başlangıç ve Bitiş Konumu

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yılan robot modelinin tasarımı ve analizine odaklanmıştır. Tasarım süreci SolidWorks tabanında gerçekleştirilmiştir. Tasarımın analizi için ise Ansys 2021 R1 programı kullanılmıştır.

Analizler arasında rijitlik, statik davranış ve doğal frekanslarının belirlenmesi yer almıştır. Rijitlik analizi, robotun yapısal sağlamlığını ve deformasyon miktarını değerlendirmek için yapılmıştır. Statik analizler, robotun üzerine uygulanan kuvvetler altında gerilme dağılımını ve yük taşıma kapasitesini incelerken, doğal frekans analizi ise robotun titreşim özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Bu analizler sayesinde, tasarlanan yılan robotunun deformasyon durumu, gerilme miktarı ve hareket kabiliyeti hakkında bilgi elde edilmiştir. Analiz sonuçları, tasarımın güvenilirliği ve performansı hakkında önemli bir geri bildirim sağlamıştır.

Bu çalışma, yılan robot tasarımının temel aşamalarını ve ön analizlerini içermektedir. Daha sonra, bu tasarımın üretimine geçilebilir. Yapılan bu çalışma sayesinde, ilk aşamada tasarımın doğruluğunu ve kullanılabilirliğini değerlendirmek için yapılan analizlerle önemli bir fikir edinilmiştir.

Her ne kadar yapılan çalışma belirli durumları dikkate alınarak yapılmış olsada önemli tasarım ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, robotun daha hızlı hareket edebilmesi için tasarım iyileştirmelerinin yanı sıra optimizasyon analizlerinin de yapılması önerilmektedir. Ayrıca, çeşitli çevresel koşullarda robotun verimliliğini ve dayanıklılığını artırmak için, kullanılan malzemelerin ve yapısal tasarımın detaylı bir değerlendirmesi yapılmalıdır. Buna ek olarak, robotun enerji verimliliği üzerine daha fazla araştırma yapılmalı ve enerji tüketimini azaltacak teknolojik yeniliklerin entegrasyonu değerlendirilmelidir.

**REFERANSLAR**

- Abut, T., Soygüder, S. ve Alli, H. (2013). Bir Yılsarı Robotun Dinamik Analizi ve Kontrolü. 16. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Erzurum.
- Abut, T., Soygüder, S. ve Alli, H. (2012). Bir Yılsarı Robotun Tasarımı ve Kinematik Analizi. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2012), Niğde.
- Baysal, Y. A. ve Altas, I. H. (2022). A fast non-dominated sorting multi-objective symbiotic organism search algorithm for energy efficient locomotion of snake robot. *Computer Science and Information Systems*, 19(1), 353-378.
- Buğday, M. (2018). Endüstriyel robot kollarının tasarımından kaynaklanan ölü yüklerin sonlu elemanlar yöntemi ile optimize edilmesi ve işletme maliyetlerine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Chirikjian, G. S. ve Burdick, J. W. (1994). A modal approach to hyper-redundant manipulator kinematics. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 10(3), 343-354.
- Günel, A. ve Kacar, İ. (2016). Mekatronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Bitirme Tezi.
- Günyar, A., Öztürk, H. ve Sabuncu, M. (2012). Kompozit Eğri Çubukların Doğal Frekans ve Burkulma Yükü Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 14(3), 33-42.
- Hirose, S. ve Mori, M. (2004). Biologically inspired snake-like robots. In 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ss. 1-7.
- Kurtulmuş, E. (2010). Locomotion and control of a modular snake like robot Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Sapietová, A., Novák, P., Sága, M., Šulka, P. ve Sapieta, M. (2019). Dynamic and stress analysis of a locking mechanism in the Ansys Workbench software environment. *Advances in Science and Technology*. Research Journal, 13(1), 23-28.
- Shan, Y. ve Koren, Y. (1993). Design and motion planning of a mechanical snake. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(4), 1091-1100.
- Shmakov, O. (2006). Snakelike robots locomotions control. *Mechatronics—Foundations and Applications*.