

NeuRoboScope ve Fiziksel İnsan-Robot Etkileşiminde Mekanik Çözümler

M. İ. Can Dede

Makina Mühendisliği Bölümü,
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

ToRK 2019
Fiziksel İnsan Robot Etkileşimi ve Uygulamaları Çalıştayı

1

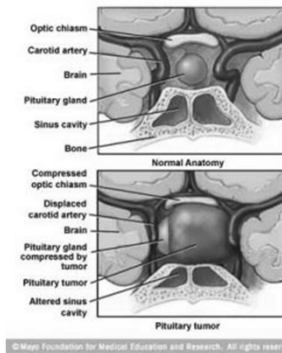
Outline

1. NeuRoboScope Sistemi Tanıtımı
2. FİRE Sistemlerinde Mafsal Direngenliği
3. SDA Temelli FİRE Sistemi Mafsalı
4. MRS Temelli Yarı-Aktif Eyleyiciler

2

1. Hipofiz Bezi Tümörü Ameliyatı

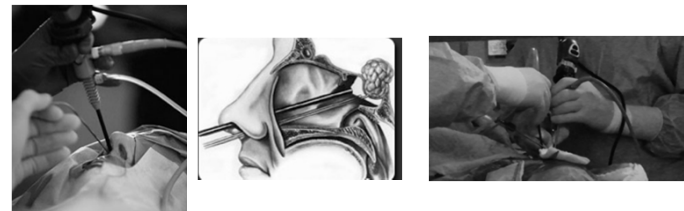
- Hipofiz (Pitüiter bez)
 - Sfenoid sinüsün arkasında sella turcicaya (Türk eyeri) yerleşmiş özel bir salgı organı
 - İki atardamar arasında
 - Bezelye büyüklüğünde
 - Metabolizmayı, büyüme-gelişmeyi, şeker-su-tuz dengesini, cinsel organların gelişimini düzenleme
- Hipofiz bezi tümörü nispeten sıklıkla ratlanan bir tümör
 - Radyolojik %22.5
 - Otopsi %14.5



3

1. Hipofiz Bezi Tümörü Ameliyatı

- Endoskopik hipofiz bezi tümörü ameliyatı prosedürü:
 - Endoskop ve cerrahi aletler burun deliğinden sokulur
 - Burun boşluğuna → hipofiz bezinin yerleştiği kafatabanındaki sella turcicanın hemen önündeki sfenoid sinüse (hava boşluğu) ilerletilir



4

1. Hipofiz Bezi Tümörü Ameliyatı

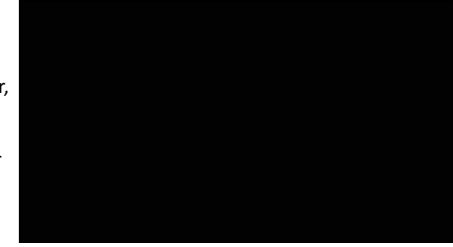
- Bu ameliyatın mikroskopik ameliyata göre tercih edilme sebepleri:
 - yüksek tümör rezeksiyon
 - daha kısa hastanede yatış süreleri
 - daha iyi hasta konforu
 - düşük maliyet, yüksek etki



5

1. Problem Tanımı

- **Çözümünü**
 - Sabit endoskop tutucular,
 - Cerrah zorlanır
 - Sesle veya joystick ile kontrol edilen robotik endoskop yönlendiriciler
- **Çözümlere ait genel problemler**
 - Kullanım kolaylığı
 - Operasyon hızı
 - Güvenlik

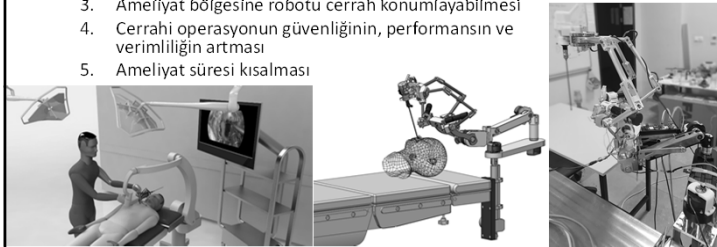


115E725 & 115E726
Cerrahi Aletlerle Yönlendirilebilen Robot Yardımlı Endoskop Kontrol Sistemi (NeuRoboScope)

6

1. NeuRoboScope Sistemi Tanıtımı

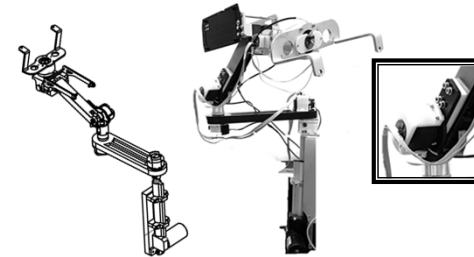
- Bu sistem ile amaçlananlar:
 1. Cerrahin -biri endoskop olmak üzere- üç adet aleti aynı anda kullanabilmesi
 2. Cerrah diğer iki eliyle farklı cerrahi aletleri kullanırken istediği zaman endoskopu yönlendirebilmesi
 3. Ameliyat bölgesine robotu cerrah konumlayabilmesi
 4. Cerrahi operasyonun güvenliğinin, performansın ve verimliliğinin artması
 5. Ameliyat süresi kısalması



7

1. NeuRoboScope Sistemi Tanıtımı

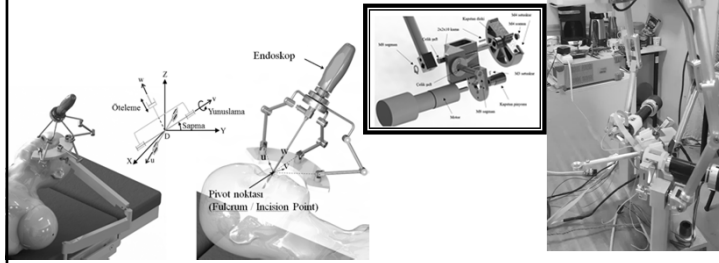
- Sistemin bileşenleri:
 - Pasif dEngelenmiş Kol (PEK)



8

1. NeuRoboScope Sistemi Tanıtımı

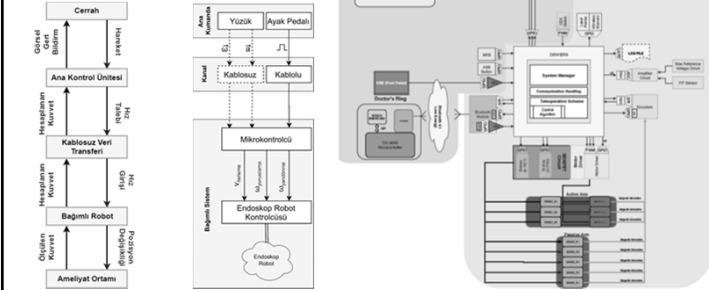
- Sistemin bileşenleri:
aktif Endoskop Yönlendirici (KEY),



9

1. NeuRoboScope Sistemi Tanıtımı

- Sistemin bileşenleri:
HABerleşme Sistemi (HAS)



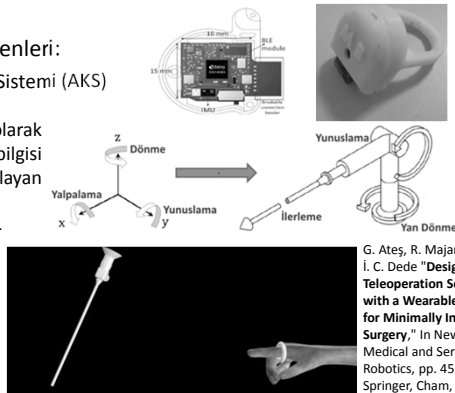
10

1. NeuRoboScope Sistemi Tanıtımı

- Sistemin bileşenleri:
Ana Kumanda Sistemi (AKS)

- Cerrahın anlık olarak KEY'e hareket bilgisi göndermesini sağlayan sistem

- 3 eksen dönüölçer
- 3 eksen ivmeölçer
- Ayak pedalı
- Bluetooth 4.0
- Sterilize edilebilir



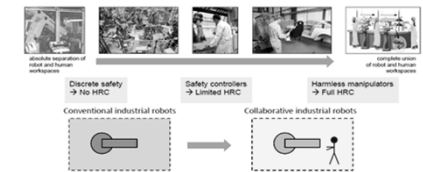
G. Ateş, R. Majani, and M. I. C. Dede "Design of a Teleoperation Scheme with a Wearable Master for Minimally Invasive Surgery," In New Trends in Medical and Service Robotics, pp. 45-53, Springer, Cham, 2019

11

2. FİRE Sistemlerinde Mafsal Empedansı

A. İnsan-Robot Etkileşiminin Evrimi

- ✓ ISO 10218-1 Standartları
- ✓ Özünde Güvenli Mafsallar
- Mekanik Çözümler
- Kontrol Çözümleri
- Bunların Birleşimi



(www.roboticsbusinessreview.com)

12

2. FİRE Sistemlerinde Mafsal Empedansı

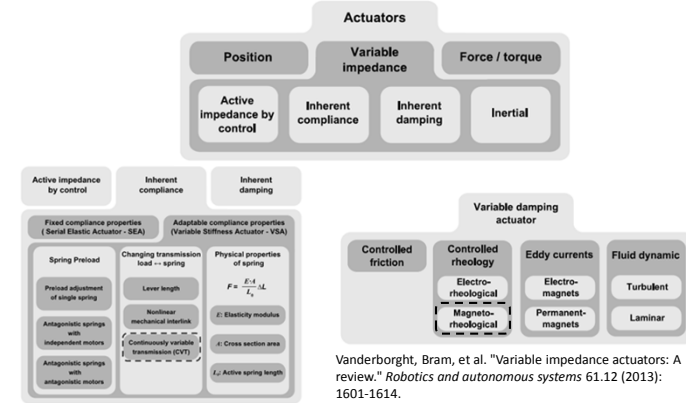
B. İnsan-Robot Etkileşimi Sistemlerin Mafsal Yapıları

- ✓ Geriye sürülebilirlik: hareketin çıkış milinden giriş miline aktarımının kolaylığı (Ishida and Takanishi, 2006)
- ✓ Düşük kütle / atalet
- ✓ Çalışma alanı
- ✓ Empedans aralığı (Z-width) $Z = \frac{F}{V}$
- Aktarım organı
- Sürtünme
- ✓ Bağımsız empedans – hareket regülasyonu
- ✓ Şok / darbe sönümleme



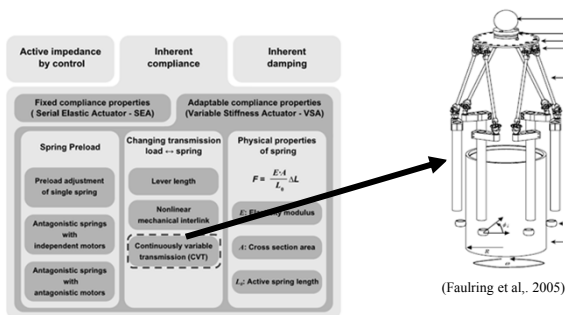
13

2. FİRE Sistemlerinde Mafsal Empedansı



14

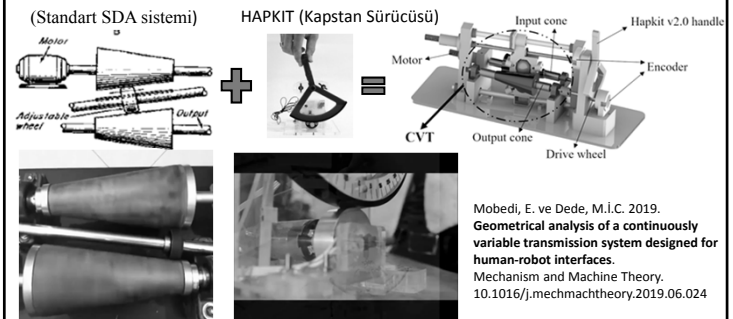
3. SDA Temelli FİRE Sistemi Mafsalı



15

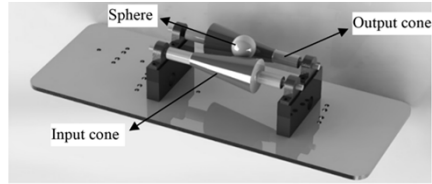
3. SDA Temelli FİRE Sistemi Mafsalı

- ✓ Özgün iki-konili sürekli değişken aktarma (SDA) sistemi temelli değişken dirençli mafsal tasarımı

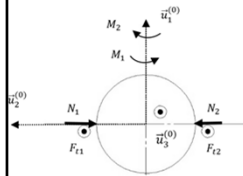


16

3. Çalışma Prensihi



1. Problem:



N_1 : Normal force applied by the input cone
 N_2 : Normal force applied by the output cone
 F_{t1} & F_{t2} : Tangential friction forces acting on the left & right side of the sphere in the opposite direction of the shifting force along $-u_3^{(0)}$

Kabül: $F_{t1} = F_{t2}$

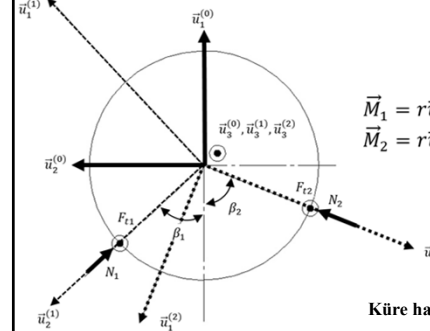
$$\vec{M}_1 = r\vec{u}_2^{(0)} \times F_{t1}\vec{u}_3^{(0)} = F_{t1}r\vec{u}_1^{(0)} \quad (1)$$

$$\vec{M}_2 = -r\vec{u}_2^{(0)} \times F_{t2}\vec{u}_3^{(0)} = -F_{t2}r\vec{u}_1^{(0)} \quad (2)$$

Küre aktarma oranı değişimi için kaymadan hareket edemez.

17

3. Çalışma Prensihi

Kabül: $F_{t1} = F_{t2}$

$$\vec{M}_1 = r\vec{u}_2^{(1)} \times F_{t1}\vec{u}_3^{(1)} = F_{t1}r\vec{u}_1^{(1)} \quad (3)$$

$$\vec{M}_2 = r\vec{u}_2^{(2)} \times F_{t2}\vec{u}_3^{(2)} = F_{t2}r\vec{u}_1^{(2)} \quad (4)$$

Küre hareket eder.

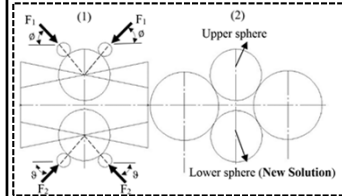
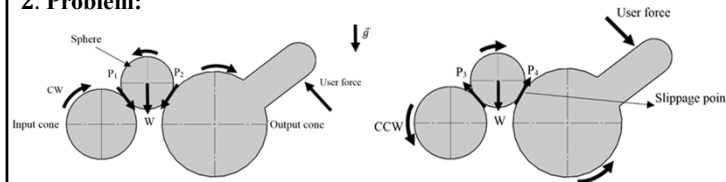
$$\vec{M}_1^{(0)} = \hat{C}^{(0,1)}\vec{M}_1^{(1)} = F_{t1}r e^{\tilde{u}_3(90-\beta_1)}\vec{u}_1 = F_{t1}r[\vec{u}_1 \sin \beta_1 + \vec{u}_2 \cos \beta_1] \quad (5)$$

$$\vec{M}_2^{(0)} = \hat{C}^{(0,2)}\vec{M}_2^{(2)} = F_{t2}r e^{\tilde{u}_3(90+\beta_2)}\vec{u}_1 = F_{t2}r[-\vec{u}_1 \sin \beta_2 + \vec{u}_2 \cos \beta_2] \quad (6)$$

18

3. Çalışma Prensihi

2. Problem:

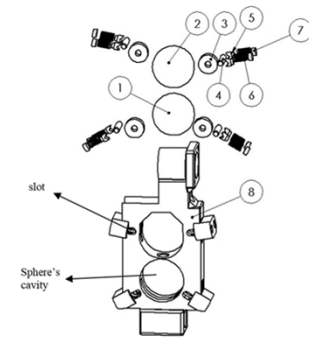
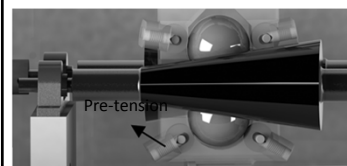
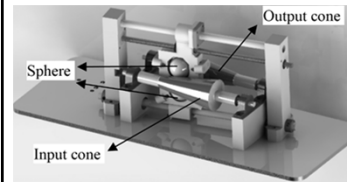


P_1, P_2, P_3, P_4 : Küreler ile koniler arasında oluşan sürtünme kuvvetleri
 W : Kürenin ağırlığı
 F_1, F_2 : Ön gerilme kuvvetleri
 \vec{g} : Yerçekimi vektörü

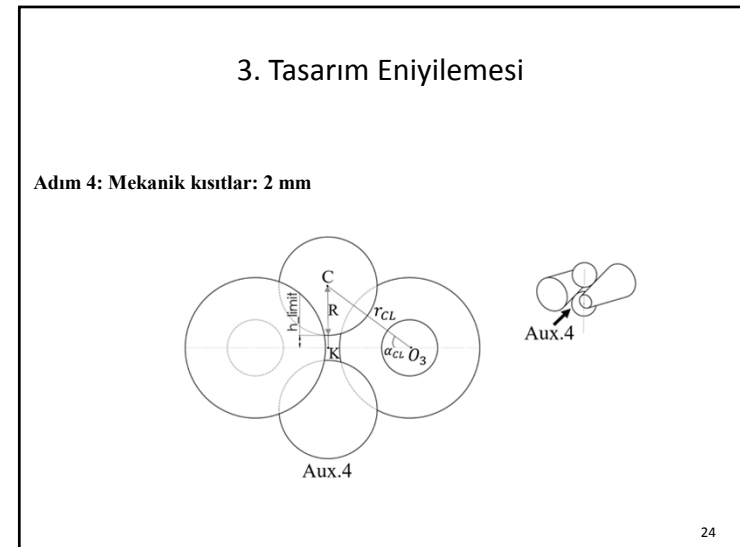
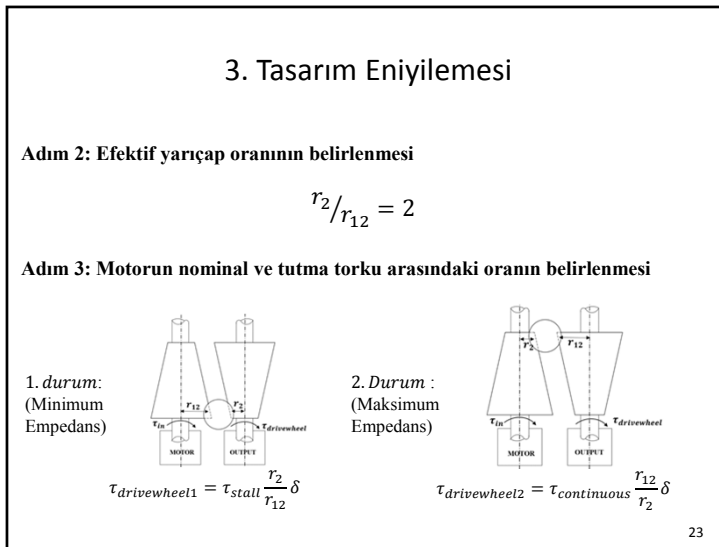
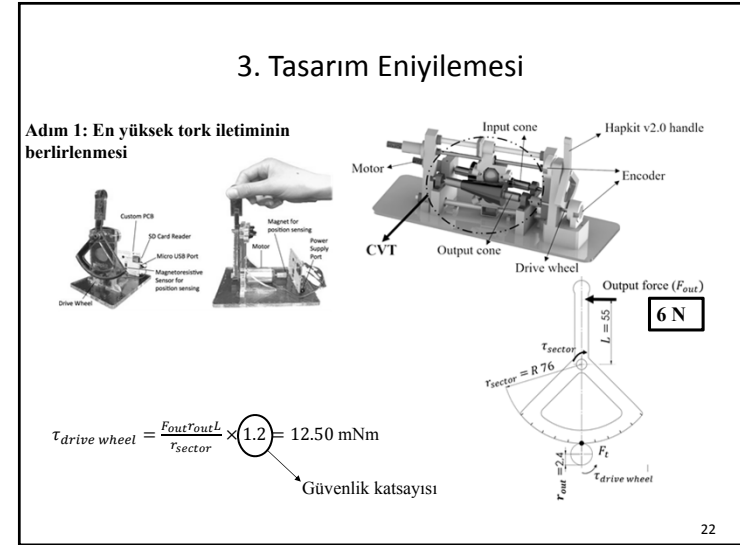
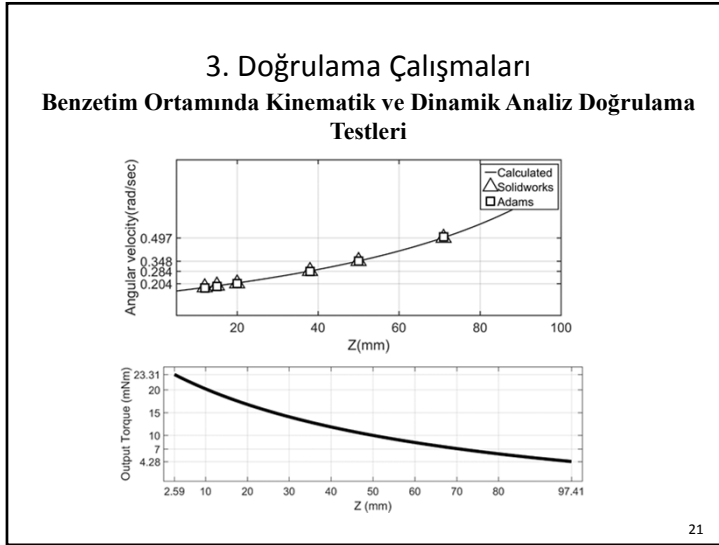
19

3. Çalışma Prensihi

Kavram doğrulama tasarımı:

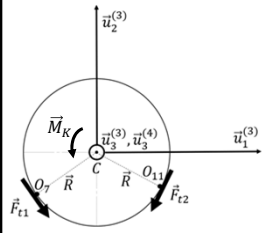


20



3. Tasarım Eniyilemesi

Adım 4: Mekanik kısıtlar:



$$\sum \vec{M}_C = [\vec{R} \times \vec{F}_{t1}] - [\vec{R} \times \vec{F}_{t2}] = 0$$

$$\vec{R} \times \vec{F}_{t1} = \vec{M}_K = \begin{bmatrix} \frac{R\tau_{in} \sin(\theta_{11} - \theta_{21}) \cos \theta_{22}}{r_2(\cos \alpha_1 \cos \theta_{12} + \sin \alpha_1 \cos \theta_{11} \sin \theta_{12})} \\ -\frac{R\tau_{in} \sin(\theta_{11} - \theta_{21}) \sin \theta_{22}}{r_2(\cos \alpha_1 \cos \theta_{12} + \sin \alpha_1 \cos \theta_{11} \sin \theta_{12})} \\ \frac{R\tau_{in} \cos(\theta_{11} - \theta_{21})}{r_2(\cos \alpha_1 \cos \theta_{12} + \sin \alpha_1 \cos \theta_{11} \sin \theta_{12})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{u}_1^{(6)} \\ \vec{u}_2^{(6)} \\ \vec{u}_3^{(6)} \end{bmatrix}$$

Aralarındaki oran M olarak tanımlandı

25

3. Tasarım Eniyilemesi

Adım 5: İterasyon yöntemi ile eniyileme tasarım parametreleri:
 R (mm), θ (rad), r_1 (mm), L (mm), D (mm)

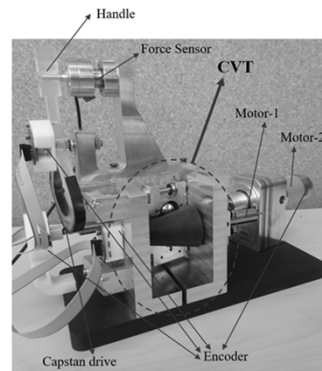
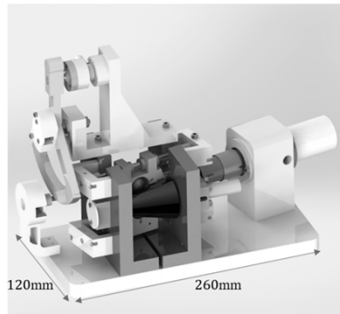
İterasyonun öncelikli hedefleri şu şekildedir:

- L boyutu (50 ± 2 mm)
- Küre yarıçapı (10 ± 5 mm)
- $\%M$ değeri (3 ± 2)
- h boyutu (3 ± 1 mm)

26

3. Deneysel Doğrulama

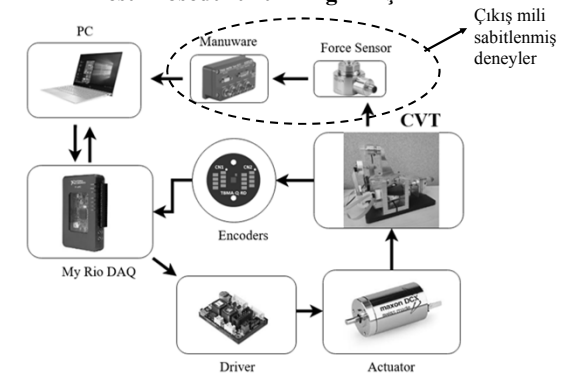
Eniyilenmiş Prototip



27

3. Deneysel Doğrulama

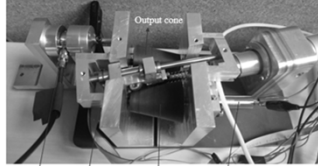
Test Prosedürünün Bilgi Akışı



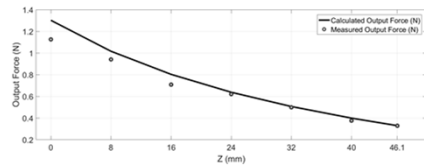
28

3. Deneysel Doğrulama

Test 1: Çıkış torku doğrulaması (Çıkış mili sabitlenmiş)



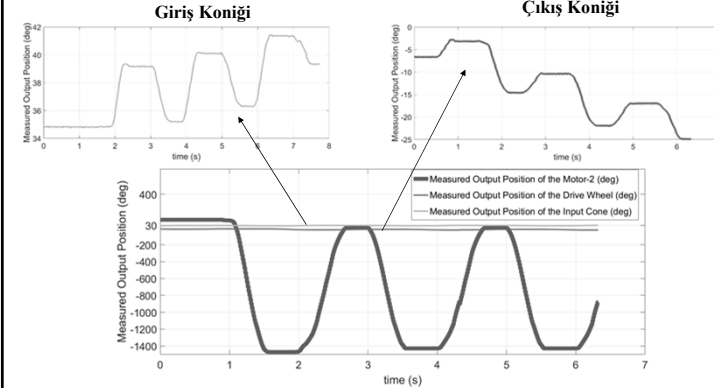
Ortalama hata 6.1550 %



29

3. Deneysel Doğrulama

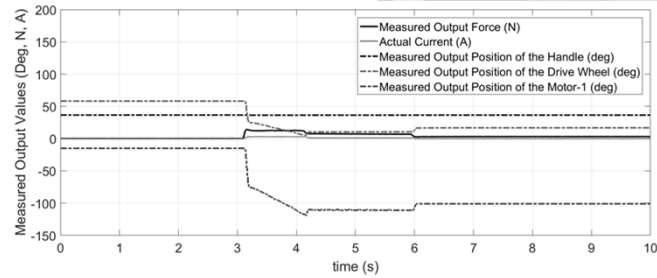
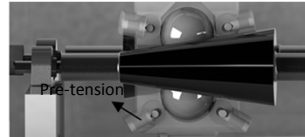
Test 2: Bağımsız Hareket ve Mafsal Direngenliği Değişimi (çıkış mili serbest)



30

3. Deneysel Doğrulama

Test 3: Şok Sönümleme (Çıkış mili sabit)

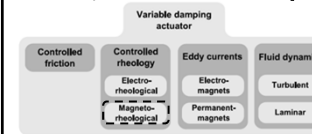


31

4. MRS Temelli Yarı-Aktif Eyleyici

Problem:

- Artırılmış fiziksel sönümleme
 - Daha kararlı bir yapı
 - Maksimum empedans artar
 - Minimum empedans artar**
- Düşürülmüş fiziksel sönümleme
 - Daha iyi geri sürülebilir
 - Minimum empedans düşer
 - Daha iyi şeffaflık
 - Sınırlı kararlılık ve maks. empedans**



Z - aralığı

- Haptik sistemlerde kararlılık ölçütü (Z_{width}) (Colgate & Brown, 1994):

$$b > \frac{K}{2f} + B$$

b : fiziksel sönümleme katsayısı

K : sanal direngenlik

B : sanal sönümleme

f : örnekleme frekansı

b_c : ek fiziksel sönüm

$$b + b_c > \frac{K}{2f} + B$$

- Yarı-aktif eyleyiciler için değiştirilmiş kararlılık ölçütü (Jinung & Dong-Soo, 2004):

$$b + b_c(H) > \frac{K}{2f} + B$$

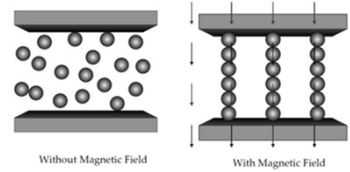
$b_c(H)$: kontrol edilebilir değişken sönüm

32

4. MRS Temelli Yarı-Aktif Eyleyici

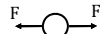
Manyeto-reolojik sıvı temelli yarı-aktif eyleyici tasarımı

1) Çalışma prensibi



2) Haptik uygulamalar için pratikteki sorun

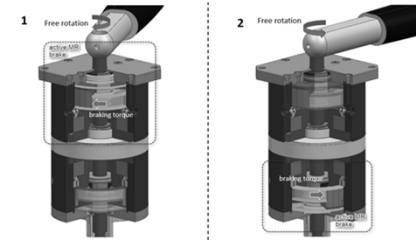
Yarı Aktif Eyleyici:



İki yöndeki hareketi de kısıtlar

33

4. MRS Temelli Yarı-Aktif Eyleyici



Karabulut, Mehmet Görkem, and M. I. C. Dede. "Design and experimental validation of an MR-fluid based brake for use in haptics." *ACTUATOR 2018; 16th International Conference on New Actuators*. VDE, 2018.

Çözüm: Özgün yarı-aktif eyleyicinin çalışma prensibi şu şekildedir:

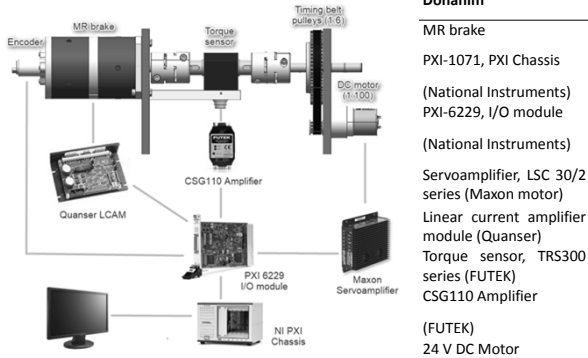
Saat yönündeki dönme durumu:

- Bu yönde ilk dönen kısım ile çıkış mili birbirine bağlanır
- MR sıvısına elektromanyetik alan uygulandığında kullanıcı bu yöndeki hareket için bir direnç torqu hisseder
- Elektromanyetik alan aktif olsa da saat yönüne ters tarafa hareket sırasında kullanıcı direnç hissetmez

34

4. Deneysel Doğrulama

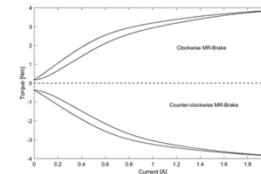
Sistem doğrulama test kurulumu



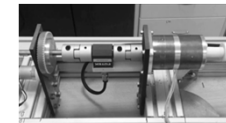
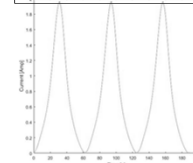
35

4. İlk Prototip için Deneysel Doğrulama Sonuçları

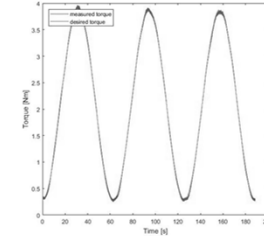
Akım – Tork İlişkisi



Biçimlendirilmiş giriş akımı

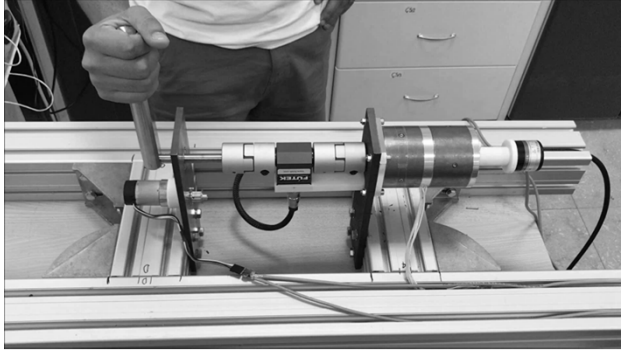


0.1 rad/s giriş sinüs sinyaline cevap



36

4. İlk Prototip için Deneysel Doğrulama Sonuçları

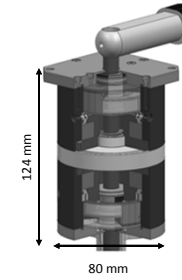


37

4. İlk Prototipin Teknik Özellikleri

İlk Prototip Teknik Özellikleri

Teknik Özellik	Değer
Ürün kütlesi	3,570 g
2 A'de fren torku	3,84 Nm
Sürtünme torku	0,15 – 0,4 Nm
Bant aralığı	63 rad/s
Hareket eden atalet	549 gcm ²
Çalışma akım aralığı	0 – 2 A



38

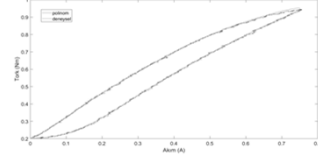
4. İkinci Prototipin Teknik Özellikleri

İkinci Prototip Teknik Özellikleri

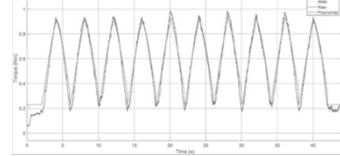
Teknik Özellik	Değer
Ürün kütlesi	470 g
0,75 A'de fren torku	0,95 Nm
Sürtünme torku	0,2 Nm
Bant aralığı	62 rad/s
Hareket eden atalet	86 gcm ²



MRS temelli yarı-aktif eyleyicinin akım-tork karakteristiği

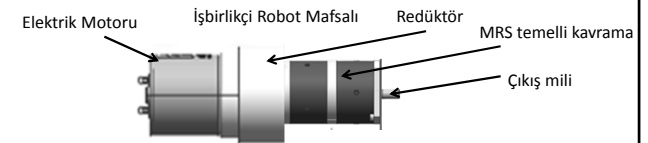


Polinom ve YSA modeli sonuçlarının testler ile doğrulanması

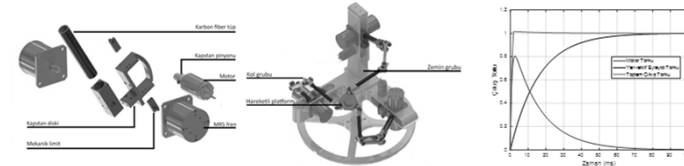


39

4. Kullanım Senaryoları



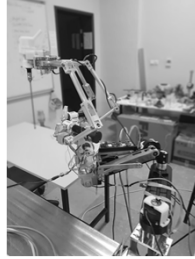
Haptik Cihaz Mafsalı



40

Teşekkürler

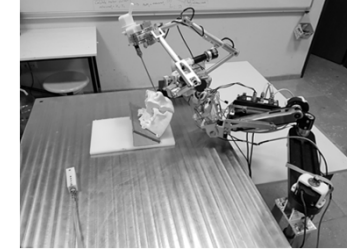
Bu çalışmada sunulan araştırmaya destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz (Proje Numaraları: 115E725 ve 115E726).



41

Teşekkürler

Bu çalışmada sunulan araştırmaya destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz (Proje Numaraları: 115E725 ve 115E726).



42

Teşekkürler

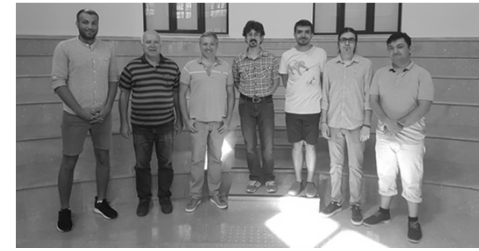
Bu çalışmada sunulan araştırmaya destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz (Proje Numaraları: 115E725 ve 115E726).



43

Teşekkürler

Bu çalışmada sunulan araştırmaya destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederiz (Proje Numarası: 117M405).



44

Soru - Cevap	
<p>Ameliyat başlangıcında Pasif Kolu yukarı kaldırılması</p> <hr/> <p>Pasif Kolu geri sürerek ameliyat bölgesine yerleşim</p>	<p>Endoskopun Pasif Koldan çıkartılarak ameliyata el ile devam etme</p> <hr/> <p>Kolay Tak-Çıkart Mekanizması yardımı ile tekrar Endoskopu robota takma</p>
<p>Pasif kolu geri sürerek endoskopun ucunun temizlenmesi</p>	