



Hibrit Yapıda bir Cerrahi Robot Elin Tasarımı ve Geliştirilmesi

Design and Development of a Surgical Robotic Hand with Hybrid Structure

Mustafa Volkan YAZICI¹, Aytaç KAHVECİ²
Faruk Sanberk KIZILTAŞ³

^{1,2}Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye
¹mustafa.v.yazici@gmail.com

Naciye MÜLAYİM³, Erkin GEZGİN⁴

³Biyomedikal Teknolojiler Anabilim Dalı, ⁴Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye
⁴erkin.gezgin@ikc.edu.tr

Özetçe—Cerrahi robotlar ameliyat sırasında hekimin yönlendirmesiyle veya uzmanların programlamasıyla hareket eden elektro mekanik sistemlerdir. Her alanda olduğu gibi cerrahi olarak da robot kullanımı ve kazanımları artmaktadır. Bu çalışmada, ameliyat sırasında cerrahın olası ihtiyaçlarının karşılanması hedeflenerek, tutma, kavrama ve hareket ettirme gibi fonksiyonları yerine getirmek üzere yumuşak ve mekanik parmaklardan oluşan hibrit yapıda bir robotik el tasarımı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler — robotik; cerrahi robotik; robot el; yumuşak robotik

Abstract— Surgical robots are electromechanical systems that move with the orientation of the physician during surgery and with the programming of the specialists. Surgically, robot use and its gains are increasing in every field. In this study, considering surgeon's possible needs during surgery, a hybrid robotic hand with soft and mechanical fingers was designed to fulfill the functions of holding, grasping and moving.

Keywords - robotics; surgical robotics; robot hand; soft robotics

I. GİRİŞ

Robotik; mühendislik dalları, sağlık, bilgi teknolojileri, pazarlama ve ergonomi gibi sistematik disiplinlerin bir araya gelmesinden oluşan çok disiplinli bir alandır[1]. Medikal robotikte robotlar çok kompleks işlemlerde kullanılabildiği gibi, cerrahi asiste etmek gibi daha basit görevlerde de kullanılabilmektedir. Robotların medikal alanlarda kabul görmesinin arkasında tıpkı endüstride kabul görmesini sağlayan nedenler gibi bir çok etken vardır. Bu etkenler arasında en önemlileri, robotların yüksek güvenilirliğe sahip olmaları, hassas çalışma yetenekleri, kullanıldıkları uygulamalardaki yüksek tekrar edilebilirlik ve operasyon hızları olarak listelenebilir. Örnek olarak operasyonu yürüten bir cerrahın ilgili aygıtı uzun süreler yorulmaksızın tutmasına yardım etmeleri, her çalışmasında belirlenen şekilde ve aynı hassasiyetle işlemin gerçekleştirilip hataları azaltması gibi unsurlar robotların medikal alanda kullanımını her geçen gün arttırmaktadır [2].

Son on yılda robotların medikal uygulamalarda, özellikle karmaşık cerrahi operasyonlar olan beyin, göz, kalp, kalça ve eklem ameliyatlarında kullanımı oldukça artmıştır. Bu gibi operasyonlar yüksek hassasiyet ve uzun soluklu operasyon sürelerini gerektirmektedir[3]. Bu çalışmalar sırasında; mekanik sistemlerin biyolojik sistemlere adaptasyonu, yapısal parçaların kimyasallarla, sıvılarıyla ve elektrik alanlarıyla iletişimi, bu aletlere gelen yüklemeler, hastaların spesifik farklılıkları, farklı geometrilere sahip dokular, yumuşak yapıların ve kompleks dokuların simüle edilmesi ve hastaya özel verilerin elde edilmesi gibi zorluklarla karşılaşmıştır[4]. Bahsedilen zorluklara rağmen en az hasarla ameliyatı mümkün kılacak robotik sistemlerin ortaya çıkmasına ve insan-robot etkileşimine günümüzde mekatronikte gerçekleşen gelişmeler başarılı bir şekilde çözüm yolu bulabilmektedir.

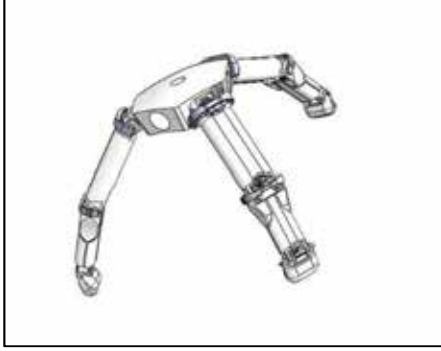
Şu ana kadar bir çok, çok serbeslik dereceli tutucu ve pens tasarlanmıştır ancak yine de bu tasarımlar iç organların kavranması ve itilip-çekilmesinde yetersizlerdir. Tasarlanan sistemlerde temas algısı yetersizdir ve bu nedenle operasyon süresince aşırı kuvvet uygulama ve istenmeyen yaralanmalar gerçekleşmektedir[5-7]. Yumuşak dokuların güvenle kavranılması ve tutulması geleneksel, sert ve keskin aletlerle henüz çözülememiş dolayısıyla buradan kaynaklanan yaralanmalar ortadan kaldırılamamıştır. Bu nedenle literatürdeki çalışmalar bu sorunu ortadan kaldırmaya yönelmiştir [8].

Bu çalışmada operasyon sırasında cerraha organları, yumuşak dokuları ve aletleri tutmak ve taşımak açısından yardımcı olacak bir robotik el tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan el üç adet mekanik parmak ve üç adet yumuşak parmakten oluşmaktadır. Yumuşak parmaklar yukarıda bahsi geçen yaralanmaları azaltmak ve tutma becerisini arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Yumuşak parmaklar ihtiyaç duyulması durumunda gövdeden demonte edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, ihtiyaç durumunda yumuşak parmaklar yerine görüntüleme, aydınlatma yada vakum aygıtları takılabilmesi mümkün kılınmıştır.

II. ELİN TASARIMI

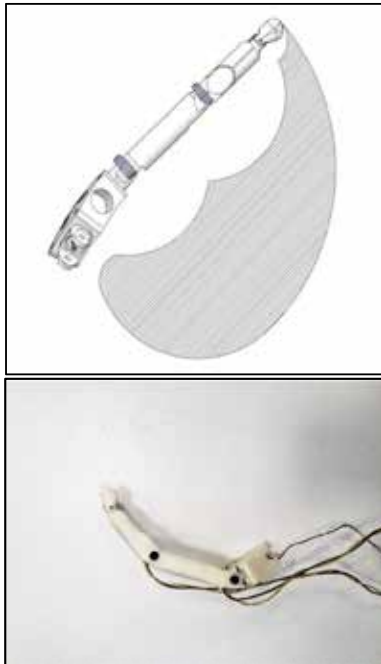
A. Mekanik parmakların tasarımı

Tasarımı yapılan robotik el her biri üç serbestlik derecesine sahip olan üç adet robotik parmaktan oluşmaktadır.



Şekil 1. Robotik elin izometrik görünüşü.

Mekanik parmaklar uygun dokuların tutma, kavrama ve servisinde görev almak ve cerrahi gerekli teçhizatı servis konusunda asiste etmek üzere görev alacaktır. Farklı boyut ve geometrideki unsurlara adapte olabilmesi için geniş bir çalışma alanına ve ergonomik parmak uç noktası tasarımına sahiptir.

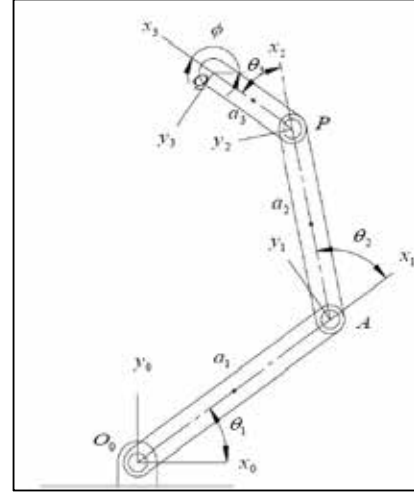


Şekil 2. Üç serbestlik dereceli sert parmağın çalışma alanı ve geometrisi.

Şekil (2) de yer alan görsel 3 boyutlu simülasyon ortamında hazırlanmış olup parmak üzerinde bulunan 3 elemanın boyları ve dönme miktarları kullanılarak ileri ve tersine kinematik hesaplamalarıyla doğrulanabilir kılınmıştır.

1) Üç serbestlik dereceli parmağın ileri kinematiği

Burada parmak uç noktasının mafsal hareketlerine bağlı olarak konum ve oryantasyonunun bulunması hedeflenmektedir. Sistem şekil 3 de gösterildiği gibi sadeleştirilmiştir.



Şekil 3. Üç serbestlik dereceli parmağın sadeleştirilmiş görseli ve sistem parametreleri.

$$\vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 = \vec{Q} \quad (1)$$

$$Q(x, y) = a_1 e^{j\theta_1} + a_2 e^{j\theta_{12}} + a_3 e^{j\theta_{123}} \quad (2)$$

$$\vec{r}_Q = a_1 (\cos\theta_1 + j \sin\theta_1) + a_2 (\cos\theta_{12} + j \sin\theta_{12}) + a_3 (\cos\theta_{123} + j \sin\theta_{123}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Q_x &= a_1 \cos\theta_1 + a_2 \cos\theta_{12} + a_3 \cos\varphi \\ Q_y &= a_1 \sin\theta_1 + a_2 \sin\theta_{12} + a_3 \sin\varphi \end{aligned} \quad (4)$$

Denklem (4), verilen mekanizmanın ileri kinematik denklemlerini göstermektedir.

$$\varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (5)$$

Denklem (5) ise parmak üzerindeki son elemanın – uç nokta- oryantasyonunu belirtmektedir.

2) Üç serbestlik dereceli parmağın ters kinematiği

Burada maksat parmak uç noktasını önceden belirlenen bir noktaya belirlenen oryantasyonda konumlandırılacak olan eyleyici hareket miktarlarını belirlemektir.

Denklem (5) parmak ucunun oryantasyonunu belirtmektedir ve bu açı aşağıdaki işlemlerde üç mafsalsın dönme miktarları toplamı olarak gösterilecektir.

$$\begin{aligned} \cos\theta_{123} &= \cos\varphi \\ \sin\theta_{123} &= \sin\varphi \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_y &= a_1 \sin\theta_1 + a_2 \sin\theta_{12} \\ P_x &= a_1 \cos\theta_1 + a_2 \cos\theta_{12} \end{aligned} \quad (7)$$

Denklem (7) nin oluşturulmasıyla θ_3 denklem takımında yer almamış olur. Burada geometriden yararlanılarak hem ilerleyen basamaklara hazırlık yapılmıştır hem de Q noktasından P noktasına ulaşılırken bilinen değerlerden biri olan oryantasyon açısı φ kullanılarak denklem takımında bir bilinmeyen olarak θ_3 yer almamış oldu.

$$\begin{aligned} P_y &= q_y - a_3 \sin \varphi \\ P_x &= q_x - a_3 \cos \varphi \end{aligned} \quad (8)$$

Denklem (8) 3. Dönme eksenini olan P noktası pozisyon vektörünü gösterir.

O noktasından P noktasına olan mesafe θ_1 den bağımsızdır. O-P arası mesafe a_1 , a_2 ve θ_2 değerleriyle oluşturulan üçgenin hipotenüsüdür. Bu nedenle θ_1 denklemden yok edilebilir.

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{P_x^2 + P_y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} \right) \quad (9)$$

Denklem (9) da parantez içindeki değer 1'den büyük ise ulaşılmak istenilen noktanın çalışma alanı dışında olduğu anlaşılmaktadır. Bu adımdan sonra θ_2 değeri biliniyor olup sadece θ_1 değeri bilinmeyen olarak kalmıştır.

$$\begin{aligned} (a_1 + a_2 \cos \theta_2) \cos \theta_1 - (a_2 \sin \theta_2) \sin \theta_1 &= p_x \\ (a_2 \sin \theta_2) \cos \theta_1 + (a_1 + a_2 \cos \theta_2) \sin \theta_1 &= p_y \end{aligned} \quad (10)$$

Denklem (10) içinden $\sin \theta_1$ ve $\cos \theta_1$ elde edilerek, Denklem (11) oluşturulur.

$$\cos \theta_1 = \frac{p_x(a_1 + a_2 \cos \theta_2) + p_y a_2 \sin \theta_2}{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \theta_2}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{-p_x a_2 \sin \theta_2 + p_y(a_1 + a_2 \cos \theta_2)}{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \theta_2} \quad (11)$$

Denklem 11 ve Atan2 fonksiyonu kullanılarak θ_1 değerinin kolaylıkla çözülmesi sonucunda son bilinmeyen de elde edilmiş olur (Denklem 12).

$$\theta_1 = A \tan 2(\sin \theta_1, \cos \theta_1) \quad (12)$$

B. Yumuşak parmakların tasarımı

Yumuşak parmaklar, elastik özellikte bir malzemeden tasarlanmış olup içerisindeki kapalı kanala iletilen şartlandırılmış hava ile hareket ettirilmektedir. Şartlandırılmış hava parmak kesitinde bulunan hacimlerde yüksek basınç alanları oluşturur ve bu alanlardaki parmak kesitinde bulunan malzeme yoğunluğundan dolayı parmağı hareket ettirir. Parmak üzerinde döner mafsal gibi hareketi lokalize edecek bir unsur olmayıp deformasyonun silindirik eğilme tarzında gerçekleşmesiyle temas edilen alanda yüksek basınç alanları oluşmamaktadır. Parmağın yumuşak olması ilaveten temas ettiği

yüzeyde nokta teması sonucunda oluşacak yüksek basınç ve yetersiz temas yüzey alanından kaynaklanan başarısız kavrama sorununu da ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 4. El üzerine monte edilmiş yumuşak parmakların (açık vaziyette) konsept görüntüsü.

Yumuşak parmakların bağlantısı avuç ayasından sökülebilir olduğundan standart yumuşak parmak yerine fonksiyonel başka bir aletin bağlanabilmesine müsaade etmektedir. Aşağıda bulunan şekil (5) de bu durum sergilenmiştir. Görsele parmaklar yerine kamera, aspiratör ve ışık kaynağı takılmıştır. Bu aletlerde şartlandırılmış hava yardımıyla hareket ettirilebilmektedir.



Şekil 5. Yumuşak parmakların yerine takılmış farklı cihazlardan oluşan tasarım.

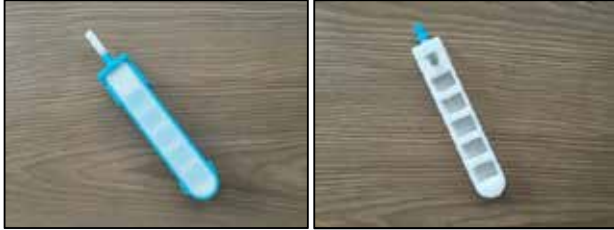
Yumuşak parmaklar için soğuk malzemeden döküm yöntemi uygulanmıştır. Bu metodun uygulanabilmesi için daha öncesinde istenilen parmak dış geometrisine ve hareket için yeterli esnekliği sağlayacak olan iç geometri ve hacmi sağlayacak kalıp tasarımı yapılmıştır. Kalıp parçaları hızlı prototipleme cihazları kullanılarak üretilmiştir.



Şekil 6. Yumuşak parmak döküm kalıp modeli.

Şekil (6) da kalıp tasarımı ve daha önce bahsedilen şartlandırılmış havanın birikip parmağın silindirik eğilmesini

neden olacak odacıklar görülebilmektedir. Şekildeki turkuaz parça parmak kalıptan söküldükten sonra parmağın üzerinde kalmakta ve ele bağlanan parmakta bir adaptör görevi görmektedir. Parmak üst yüzeyi döküm bittikten sonra hava almayacak şekilde kapatılır. Bunun gibi yüzeye yakın yerlerde kesitte kalacak olan hava boşlukları şartlandırılmış havanın parmağa zarar vermesine, basınç kaybına ve dolayısıyla parmağın hareketinde yetersizliklere denen olmaktadır.



Şekil 7. a) Yumuşak parmağın dökümü sonrası kalıptan ayrılmamış durumu
b) Yumuşak parmağın kalıptan çıkarılmış durumu ve parmağın hareketini sağlayacak olan hava boşlukları.

Şekil (7) de görüldüğü gibi parmağın bir yüzeyi açık olarak kalıptan çıkarılmıştır. Bu yüzey bir sonraki adımda sızıntıları önleyecek şekilde parmağın üst yüzeyiyle birleştirilerek kapatılır.



Şekil 8. a) Parmağın hareket ettirilmemiş durumu. b) Parmağın hareket ettirilmiş durumu.

III. PROTOTİP ÜRETİMİ

Tasarımı yapılan elin mekanik parmakları ve ana gövde üretimi hızlı prototipleme cihazları yardımıyla yapılmıştır. Yumuşak parmak ise yine hızlı prototipleme cihazı ile üretilmiş bir kalıptan soğuk döküm yapılarak üretilmiştir.

IV. SONUÇ

Tasarlanan hibrit robotik el 3 adet 3 serbestlik dereceli mekanik (sert malzemeden) parmaktan ve 3 adet yumuşak parmaktan oluşmaktadır. Tasarımın gerçek çalışma koşullarındaki durumunu test etmek amacıyla her iki parmak türünden de birer adet üretilmiştir. Mekanik parmakların hareketi simülasyon yazılımları ve hesaplamalar doğrultusunda elde edilen davranışla uyumaktadır. Yumuşak parmaklar için yazılımlardan verimli bir destek alınmadığı için yalnızca gerçek çalışma şartlarında yapılan gözlemlere dayanılarak; hareket becerisinin artırılmasını sağlayacak tasarım değişikliklerine gerek görülmüştür. Aynı zamanda kalıp tasarımında bu değişikliklerden etkilenmesi dolayısıyla kalıp tasarımında da değişiklik yoluna gidilecek ve üretim

performansını artırmaya dayalı olarak yeni kalıp tasarım kriterleri incelenecektir. Robot el gerekli değişiklikler yerine getirildikten sonra daha önceden belirlenmiş test görevlerinde performans testine sokularak gerçek çalışma şartlarında (static ve dinamik durum için) incelenecektir. Bu görevler sırasında parmakların konum tekrarlama hassasiyetleri ve yük taşıma kapasiteleri tespit edilecek verimsiz görülen değerler üzerine çalışma yoğunlaştırılacaktır. Robot el nihai özelliklerine kavuştuktan sonra sterilizasyonun elde edilmesi üzerine çalışma genişletilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Karabegović, I., & Doleček, V. (2017). The role of service robots and robotic systems in the treatment of patients in medical institutions. In *Advanced Technologies, Systems, and Applications* (pp. 9-25). Springer, Cham.
- [2] Technology and Clinical Applications. (n.d.). *Medical robotics*. Retrieved May 29,2016. From www.doc.ic.ac.uk/: https://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/ao2/report.html#plan
- [3] Sahamijoo, A., Piltan, F., Avazpour, M. R., Ghiasi, H., & Mazloom, M. H. (2015). Robust Auto-Intelligent Sliding Accuracy for High Sensitive Surgical Joints. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 8(8), 13-34.
- [4] Bisegna, P., Parenti-Castelli, V., & Pedrizzetti, G. (2017). Special issue on Advances in biomechanics: from foundations to applications. *Meccanica*, 52(3), 487-488.
- [5] Bethea, B. T., Okamura, A. M., Kitagawa, M., Fitton, T. P., Cattaneo, S. M., Gott, V. L., ... & Yuh, D. D. (2004). Application of haptic feedback to robotic surgery. *Journal of Laparoscopic & Advanced Surgical Techniques*, 14(3), 191-195.
- [6] Munro, M. G. (2002). Laparoscopic access: complications, technologies, and techniques. *Current Opinion in Obstetrics and Gynecology*, 14(4), 365-374.
- [7] Tholey, G., Desai, J. P., & Castellanos, A. E. (2005). Force feedback plays a significant role in minimally invasive surgery: results and analysis. *Annals of surgery*, 241(1), 102.
- [8] Rateni, G., Cianchetti, M., Ciuti, G., Menciasci, A., & Laschi, C. (2015). Design and development of a soft robotic gripper for manipulation in minimally invasive surgery: a proof of concept. *Meccanica*, 50(11), 2855-2863.