



# EMG ve Esnek Algılayıcı Sensör İle Kontrol Edilebilen Robot El Sisteminin Geliştirilmesi

Cengiz Sertkaya<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> OstimTeknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2802-8297),  
[cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr](mailto:cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr)

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1108544)

**ATIF/REFERENCE:** Sertkaya, C. (2022). EMG ve Esnek Algılayıcı Sensör İle Kontrol Edilebilen Robot El Sisteminin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 288-292.

## Öz

Günümüzde endüstri, arama kurtarma, uzay çalışmaları ve medikal cerrahi gibi birçok alanda robot kullanımı önemli rol oynamaktadır. Özellikle hassasiyetin önemli olduğu veya insanın çalışması için güvenli olmayan ortamlarda robot manipülatörlerin, insan eline yakın hassasiyette işlem yapabilecekleri durumlara olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. İnsan elinin sahip olduğu kavrama, tutma, sıkma gibi işlevler robot manipülatörlerde de ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu işlevler, içerisine birçok eklem hareketinin devreye girmesiyle gerçekleştiğinden, oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bu yapının daha iyi anlaşılabilmesi için farklı sensörlerden bilgi alarak ve insan eli eklem yapısına uygun tasarımlar gerçekleştirerek çözüm üretilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı insan eli fizyolojisine sahip bir robot el sisteminin geliştirilmesidir. Sistemin hareketlerinin kontrolü için iki aşamalı bir model önerilmiştir. Birinci modelde esnek algılayıcı resistörler yardımıyla parmak hareketleri algılanarak robot el tarafından simüle edilmiştir. İkinci modelde kol kaslarındaki hareketlerin EMG sensörleri ile algılanarak robot el üzerinde hareketlere dönüştürülmesi sağlanmıştır. Çalışma sonucunda önerilen robot el sisteminin özellikle tehlikeli ortamlarda kullanılabilen veya eli olmayan engelli bireyler tarafından kullanılacak bir protez el işlevi görerek kullanılması hedeflenmektedir. Yapılan simülasyon testleri sonuçlarından önerilen modellerin bir insan elini örnekleyebilecek derecede başarılı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** EMG, Esnek Algılayıcı Sensör, Robot El, Robot Manipülatör, Teleoperasyon.

## Development of Robot Hand System Controlled by EMG and Flexible Sensing Sensor

### Abstract

Today, the use of robots plays an important role in many fields such as industry, search and rescue, space studies, and medical surgery. Especially in environments where precision is important or unsafe for human work, the need for situations where robot manipulators can operate with precision close to human hands is increasing day by day. Functions such as grasping, holding, and squeezing that the human hand possesses are also needed in robot manipulators. However, these functions have a very complex structure since they are realized by the introduction of many joint movements. For this reason, to better understand this structure, it is tried to solve by taking information from different sensors and making designs suitable for the human hand joint structure.

This study aims to develop a robot hand system with human hand physiology. A two-stage model is proposed for controlling the movements of the system. In the first model, finger movements are detected and simulated by the robot hand with the help of flexible sensor resistors. In the second model, movements in the arm muscles are detected by EMG sensors and converted into movements on the robot hand. As a result the study, it is aimed to use the proposed robot hand system as a prosthetic hand that can be used especially in dangerous environments or can be used by handicapped individuals. From the results of the simulation tests, it is seen that the proposed models were successful enough to sample a human hand.

**Keywords:** EMG, Flexible Sensor, Robot Hand, Robot Manipulator, Teleoperation.

\* Sorumlu Yazar: [cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr](mailto:cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr)

## 1. Giriş

Teleoperasyon kavramı bir makinenin uzaktan bir insan tarafından kontrol edilmesidir. Bu durum özellikle insanın çalışması için güvenli olmayan ortamlarda ve insan yerine geçecek olan robot için otonom operasyonları tanımlamanın ve programlamanın güç olduğu durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır. İnsan doğasına uygun hareketlerin yapılması fazlasıyla kompleks olduğundan, teleoperasyon ile robot kontrolüne dayanan çalışmaların sayısı günümüzde artış göstermektedir (Abut and Soygüder 2019).

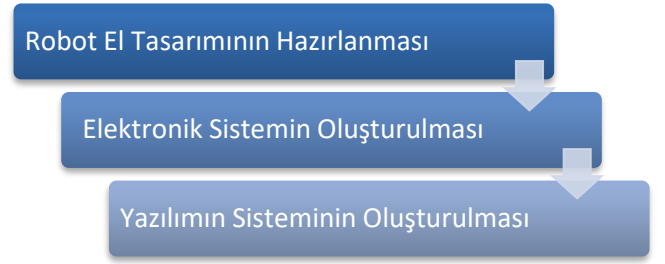
Literatür incelendiğinde özellikle endüstri, arama kurtarma, uzay çalışmaları ve medikal cerrahi gibi birçok alanda teleoperasyon üzerine çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir (Blatnický et al. 2020; Chua, Ilschner, and Caldwell 2003; Javaid et al. 2021; Shibli, Aghili, and Su 2005). Bir çalışmada insan elinin kavrama, sıkma ve gevşetme gibi yeteneklerini simüle edebilmek amacıyla, insan eli eklem yapısını örnekleyen bir robot el geliştirilmiştir. Geliştirilen robot elin kontrolü için esnek algılayıcı sensörler kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda sistemin, %5 açısal farklılıkla insan eli hareketlerini iyi derecede simüle edebildiği belirtilmiştir (ÖZKAN et al. 2017). Diğer bir çalışmada insan kavrama becerisini iki parmaklı bir mikro tutucu ile gerçekleştirmek istenmiştir. Burada kullanılan şekil hafızalı alaşım (SMA) yöntemi ile parmak hareketleri ve uygulanması gereken baskı değerleri sisteme öğretilmiştir (Lan, Lin, and Fan 2011). Diğer bir çalışmada 3 boyutlu bir ortamda insan el hareketlerinin algılanarak, bu hareketlerin robota aktarılması sağlanmak istenmiştir. Sistem sonrasında Aldebaran NAO robot üzerinde nesne kavrama ve kaldırma işlevleri ile test edilmiştir (Hafiane, Salih, and Malik 2013). Başka bir çalışmada endüstride çalışan ve makinelerde kaza sonucu parmak, kol gibi uzuvlarını kaybedenler için kullanılabilir bir robot el üzerinde çalışmışlardır. Robot elin kontrolü esnek algılayıcı sensör ve arduino kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Wakode et al. 2019). Diğer bir çalışmada elini kaybetmiş engellilerin kullanımına yönelik, nesnelere tutma ve kaldırma işlemlerini yapabilecekleri şekilde dizayn edilmiş bir robot el tasarımı sunulmuştur. Robot elin kontrolünde kol kaslarındaki hareketlerin algılanması prensibi üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla kullanılan elektromiyografi (EMG) sensörleri ile okunan kol kaslarındaki elektrik sinyalleri, servo motorlar üzerinden parmak hareketlerine dönüştürülmüştür (Wakode et al. 2019). Diğer bir çalışmada, üç boyutlu yazıcıdan elde edilmiş baskı robot elin üzerine monte edilmiş motorlar ve uzaktan bağlantı modülleri sayesinde uzak mesafeden yönetilebilen bir robot el geliştirilmiştir. Modelin insan için tehlikeli kimyasal, biyolojik veya radyoaktif ortamlarda kullanılabilirliği varsayılmıştır (Karam, Al-Kadhimi, and Saeed 2018). Deprem gibi doğal afetlerde arama ve kurtarma çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilen bir robot kol çalışmasında, yüz metreye kadar mesafede hareket ve uzaktan kontrol edilebilme özelliklerine sahip bir model sunulmuştur (Azha et al. 2016). İnsan el ve kol hareketlerinin algılanarak iki robotun kontrol edildiği ve medical cerrahi işlemi için kullanıldığı bir çalışmada üç boyutlu bir ortamda hareketler simüle edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre geliştirilen manipülatörün beyin ameliyatı gibi hassas bir cerrahi işlemde başarılı bir şekilde kullanılabilirliği vurgulanmıştır (Seung et al. 2015).

Bu çalışmada, anatomik olarak gerçek bir insan elinin özelliklerine sahip bir robot el önerisinde bulunulmuştur. Robot

elin kontrolünde esnek algılayıcı sensörler ve koldaki kas hareketlerinin algılanarak el hareketlerine dönüştürüldüğü iki farklı kontrol mekanizması kullanılmıştır. Geliştirilen modeller ile bir robot elin uzaktan kontrolüne dair çözümler önerilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Robotik el modelinin geliştirilmesinde 2 farklı disiplin çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunlar hareketlerin sağlanacağı elektronik bölümü ve sistemin hesapları yaparak süreçleri elektronik sisteme aktarmakla görevli sistemin yönetimini sağlayan yazılım bölümüdür. Sistemin geliştirilmesinde Şekil 1'de belirtilen işlem adımları uygulanmıştır.



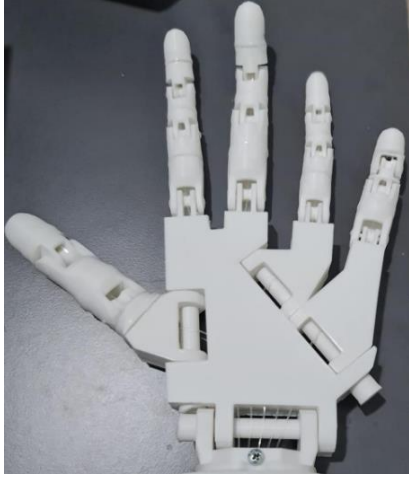
Şekil 1. Modellerin kurulması sırasında uygulanan adımlar

### 2.1. Robot El Tasarımının Hazırlanması

Robot elin tasarımında gerçek bir insan elinin tüm eklemlerine sahip olması ileride amaçlanan tutma ve kavrama yeteneklerini karşılayabilmesi açısından son derece önemlidir. Bu amaçla literatürde insan eline yakın robot el tasarımları incelenmiştir. Bunlardan tam boyutlu bir insanın robot kopyasını oluşturmayı hedefleyen InMoov adı verilen robota ait robot el yapısı istenilen amaca en uygun olduğundan bu tasarımdan yararlanılmıştır (InMoov n.d.).

Tasarımı tamamlanan robot elin oluşturulması için Ender 3 v2, 3 boyutlu yazıcısı kullanılmıştır. Robot elin parçalarının baskısında, maliyetin az olması, oluşan artıkların doğada kolay çözünmesi, robot elde istenen esneklik ve sağlamlığa sahip olmasından dolayı PLA baskı malzemesi tercih edilmiştir (Liu et al. 2018; PLA+ n.d.).

Gerçek insan elindeki parmak eklemlerinin hareketi tendonlar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Geliştirilen robot elin parmak eklemlerinin hareketlerini sağlamak amacıyla, gerçek insan elindeki tendonların yerini alabilmesi için misina kullanılmıştır. Daha küçük kalınlıkların tutma gücünde yetersiz olduğu, daha kalın ölçülerin de parmak hareketlerini kısıtladığı görüldüğünden, yeterli tutma gücünü elde edebilmek ve parmak hareket kabiliyetine sahip olabilmesi için 0.6mm misina ölçüsü kullanılmıştır. Oluşturulan robot el Şekil 2'de gösterilmektedir



Şekil 2. Oluşturulan Robot Elin Görünümü

Robot elin oluşturulmasının ardından motor montajı aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada motorların ve kablolarının dışarıdan görünmemesi ve daha estetik bir görüntünün sağlanması için ön kol bölümü çalışmaya eklenmiştir. Ön kol tasarımında InMoov robot çalışmasından faydalanılmıştır(InMoov n.d.). Şekil 3'te robot elin, ön kol montajının da tamamlandığı hali gösterilmektedir.



Şekil 3. Robot El için Ön Kol Montajı Yapılmış Hali

Ön kol montajı ile birlikte misina ve kablo bağlantılarını gizlemek için ön kol üzerine monte edilen kapak bölümü ile tamamen kapatılarak iyi bir görünüm elde edilmiştir. Elde edilen robot el, gerçek insanın sahip olduğu bir ön kol ve el boyutlarında olmuştur.

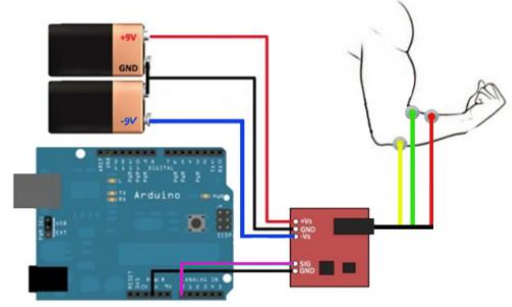
Geliştirilen robot elin zeminde dik durabilmesi için ayrıca bir zemin tasarımı yapılmıştır. Bu sayede elektronik sistemin de bu kutu içerisinde gizlenmesinin sağlanması daha iyi bir görünümün elde edilmesi amaçlanmıştır.

## 2.2. Elektronik Sistemin Oluşturulması

Montesi tamamlanmış robot elin şuanki aşamada elektronik sistemi tasarlanmaya başlanmıştır. Bunun için sistemin kontrolünün 2 farklı yöntemle yapılması istenmiştir. Bunlar EMG sensörleri ve esnek algılayıcı sensörlerdir.

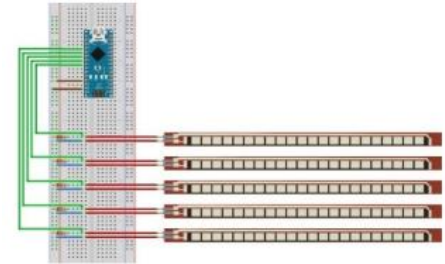
Sistemin kontrolünün yapılacağı ilk yöntem EMG sinyalleri ile kontrol edilmesidir. Koldaki kas hareketi ile oluşan elektrik sinyallerinin ölçülmesi için arduino EMG modülü kullanılmıştır.

EMG sensörü analog sinyaller üretmektedir(Wu, Dyson, and Nazarpour 2021). Bu değerlerin okunmasında arduino mikro denetleyicisi kullanılmıştır. EMG kontrolcüsü için oluşturulan bağlantı yapısı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. EMG Kontrolcüsü İçin Bağlantı Yapısı(EMG Circuit n.d.)

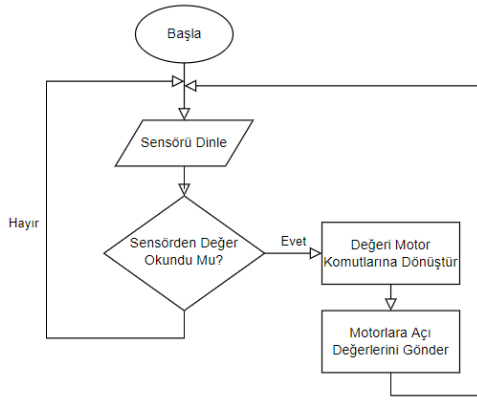
Sistemin kontrolünün yapılacağı ikinci yöntem esnek algılayıcı sensörlerin kullanılmasıdır. Esnek algılayıcı sensörler eğilme oranına göre direnç değeri oluşturan elemanlardır(Aksu and Kızıl n.d.). Bu çalışmada, SparkFun 4,5 inç boyutunda esnek sensor kullanılmıştır. Esnek algılayıcı bu sensörler kontrolün kolay olabilmesi ve tam olarak bir el hareketini karşılayabilmesi için eldiven üzerine monte edilmiştir. Esnek algılayıcı sensörden değerlerin okunabilmesi için burada da arduino mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Esnek algılayıcı kontrolcüsü için oluşturulan elektronik sistemin bağlantı şeması Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Esnek Algılayıcı Kontrolcüsü İçin Bağlantı Yapısı(Sungheetha and Sharma 2020)

## 2.3. Yazılım Sisteminin Oluşturulması

Robot el hareketlerinin yönetilmesi arduino mikro denetleyicisi içerisindeki yazılım tarafından sağlanmaktadır. Bu süreçte kontrol sisteminin hangisi olacağını anlamak için elektronik sisteme devre elemanı bir anahtar eklenmiştir. Anahtarın arduino dijital girişinde oluşturduğu 1-0 değerine göre EMG veya esnek algılayıcı sensör kontrolcüsünün hangisinin dinleneceği belirlenmektedir Yazılım bölümünde sistemin genel kontrolü için Şekil 6'da gösterilen algoritma adımları takip edilmiştir.



Şekil 6. Yazılım Sisteminin Algoritması

Yazılımın ilk bölümünde kontrolcü kaynaklarından(EMG ve esnek sensör) sensör değeri arduino üzerindeki analog girişler ile izlenmektedir. Eğer sensörden bir değer okunur ise bu değer, belirlenen parmak için hareket limitleri dahilinde, parmağı kontrol eden motor hareketlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Burada, EMG sensör değerine göre motor açısı değerinin hesaplanması için Denklem 1'deki formül kullanılmıştır.

$$EMA_x = \frac{ED_x - ED_{min}}{ED_{max} - ED_{min}} * 100 \quad (1)$$

Burada  $EMA_x$ , x nolu parmaktaki motorun EMG sensörüne göre açısını,  $ED_x$  x nolu EMG sensörünün okunan değerini,  $ED_{min}$  ve  $ED_{max}$  ise sensörün alabileceği en düşük ve en yüksek değerleri ifade etmektedir.

$$FMA_x = 100 - \frac{FD_x - FD_{min}}{FD_{max} - FD_{min}} * 100 \quad (2)$$

Burada  $FMA_x$ , x nolu parmaktaki motorun açısını,  $FD_x$  x nolu esnek sensörünün okunan değerini,  $FD_{min}$  ve  $FD_{max}$  ise sensörün alabileceği en düşük ve en yüksek değerleri ifade etmektedir.

Hesaplanan motor açısı değeri, arduionun dijital PWM çıkışlarına bağlı ilgili servo motoruna iletilmektedir. Bu sayede sensörden alınan değer parmak hareketine dönüşmektedir

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, gerçek bir insan eli anatomisine uygun olarak eklemleri ve tendonlarına karşılık gelecek yapıda bir robot elin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım, günümüzde önemli teknolojik yeniliklerden 3 boyutlu baskı teknolojisi ile fiziksel olarak, uygun maliyetlerde üretilmiştir. Sistemin kontrolünde gereken elektronik ve yazılımsal süreçler detaylı şekilde açıklanmıştır.

Çalışmada geliştirilen robot el için, EMG ve esnek algılayıcı sensörler olmak üzere, iki farklı kontrol mekanizması önerilmiştir. Bu mekanizmaların çalışma prensipleri birbirinden farklı olsa da, aynı sistem üzerinde kullanımının nasıl olacağı hususunda bilgi verilmiştir.

Çalışmada üretilen model, her iki kontrol mekanizması için ayrı ayrı test edilmiştir. Testler sonucunda elde edilen bulgulara göre, önerilen modelin EMG kontrolcüsü için insan kol kas hareketlerini, esnek algılayıcı kontrolcüsü için ise insan el parmak hareketlerini, yüksek doğrulukla simüle edebildiği görülmüştür. Bu sayede önerilen modelin robotik manipülatörlerin kullanıldığı birçok alanda kullanılabilmesi mümkündür.

İleriki çalışmalarda, önerilen model geliştirilerek parmakların tutuş kabiliyetlerinin artırılması sağlanabilir. Özellikle daha ağır ve hacimli nesnelerin tutulması için kuvvetin artırılacağı malzemeler eklenerek sistem geliştirilebilir. Bu sayede el veya kolun bir bölümüne sahip olmayan engelli bireyler için protez işlevi görece hale getirilebilir. Ayrıca bu çalışmada oluşturulan kablolu yapı, kablosuz bağlantı teknolojileri örneğin, bluetooth veya wifi gibi eklenerek, sistem mobil hale getirilebilir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma, Ostim Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından KABDEP proje türü ve BAP202106 proje numarasıyla desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Abut, Tayfun, and Servet Soygüder. 2019. "Tek Serbestlik Dereceli Bir Teleoperasyon Sisteminde Kontrol Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması." Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 31(2):507-17. doi: 10.35234/FUMBD.563109.
- Aksu, Sefa, and Ünal Kızıl. n.d. "Design and Testing of Flexibility Sensors to Be Used in Agricultural Engineering Applications." Fak. Derg. (COMU J. Agric. Fac.) 2020(2):271-76. doi: 10.33202/comuagri.726746.
- Azha, Khalil, Mohd Annuar, Muhammad Haikal, Md Zin, Mohamad Haniff Harun, Mohd Firdaus, Mohd Ab Halim, and Arman Hadi Azahar. 2016. "Design and Development of Search and Rescue Robot." International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS 16(2):36-41.
- Blatnický, Miroslav, Ján Dižo, Juraj Gerlici, Milan Sága, Tomáš Lack, and Erik Kuba. 2020. "Design of a Robotic Manipulator for Handling Products of Automotive Industry." <https://doi.org/10.1177/1729881420906290> 17(1). doi: 10.1177/1729881420906290.
- Chua, P. Y., T. Ilschner, and D. G. Caldwell. 2003. "Robotic Manipulation of Food Products - A Review." Industrial Robot 30(4):345-54. doi: 10.1108/01439910310479612/FULL/PDF.
- EMG Circuit. n.d. "Interfacing EMG Muscular Signal Sensor with Arduino - Electropeak." Retrieved April 23, 2022 (<https://electropeak.com/learn/interfacing-emg-muscular-signal-sensor-with-arduino/>).
- Hafiane, Saad, Yasir Salih, and Aamir S. Malik. 2013. "3D Hand Recognition for Telerobotics." IEEE Symposium on Computers and Informatics, ISCI 2013 132-37. doi: 10.1109/ISCI.2013.6612390.
- InMoov. n.d. "InMoov - Open-Source 3D Printed Life-Size Robot." Retrieved April 22, 2022 (<https://inmoov.fr/>).
- Javaid, Mohd, Abid Haleem, Ravi Pratap Singh, and Rajiv Suman. 2021. "Substantial Capabilities of Robotics in Enhancing Industry 4.0 Implementation." Cognitive Robotics 1:58-75. doi: 10.1016/J.COGR.2021.06.001.
- Karam, Zeyad A., Aymen M. Al-Kadhimi, and Elaf A. Saeed. 2018. "Design and Implementation of a Wireless Robotic Human Hand Motion-Controlled Using Arduino." ICOASE 2018 - International Conference on Advanced Science and Engineering 518-23. doi: 10.1109/ICOASE.2018.8548846.
- Lan, Chao Chieh, Che Min Lin, and Chen Hsien Fan. 2011. "A Self-Sensing Microgripper Module with Wide Handling



- Ranges.” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 16(1):141–50. doi: 10.1109/TMECH.2009.2037495.
- Latif, Shahid, Jahanzaib Javed, Mustanser Ghafoor, Muhammad Moazzam, and Aqsa Ameer Khan. 2019. “Design and Development of Muscle and Flex Sensor Controlled Robotic Hand for Disabled Persons.” 2019 International Conference on Applied and Engineering Mathematics, ICAEM 2019 - Proceedings 1–6. doi: 10.1109/ICAEM.2019.8853757.
- Liu, Wenjie, Jianping Zhou, Yuming Ma, Jie Wang, and Jie Xu. 2018. “Fabrication of PLA Filaments and Its Printable Performance.” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 275(1). doi: 10.1088/1757-899X/275/1/012033.
- ÖZKAN, Sinan Serdar, Durmuş KARAYEL, Gökhan ATALI, and İbrahim GÖKBAYRAK. 2017. “Robot Hand Design and Implementation Based on Flexible Sensor Controlled.” Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 5(3):35–40. doi: 10.21541/APJES.314521.
- PLA+. n.d. “PLA vs PLA+ Filament: The Difference Explained – Clever Creations.” Retrieved April 22, 2022 (<https://clevercreations.org/pla-vs-pla-plus-filament-difference/>).
- Seung, Sungmin, Pengxin Liu, Sukho Park, Jong Oh Park, and Seong Young Ko. 2015. “Single-Port Robotic Manipulator System for Brain Tumor Removal Surgery: SiromanS.” Mechatronics 26:16–28. doi: 10.1016/J.MECHATRONICS.2014.12.002.
- Shibli, M., F. Aghili, and C. Y. Su. 2005. “Modeling of a Free-Flying Space Robot Manipulator in Contact with a Target Satellite.” 559–64. doi: 10.1109/CCA.2005.1507185.
- Sungheetha, Akey, and Rajesh R. Sharma. 2020. “Design of Effective Smart Communication System for Impaired People.” Journal of Electrical Engineering and Automation (EEA) 2(4):181–94. doi: 10.36548/jeea.2020.4.006.
- Wakode, Rashmi A., Vinit A. Grover, Saurabh S. Mohod, Anuja R. Damdar, and Rachana S. Gadpa. 2019. “Robotic Hand Controlling Using Flex Sensors And Arduino Uno.” International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) 6(4):4798–4801.
- Wu, Hancong, Matthew Dyson, and Kianoush Nazarpour. 2021. “Arduino-Based Myoelectric Control: Towards Longitudinal Study of Prosthesis Use.” Sensors 2021, Vol. 21, Page 763 21(3):763. doi: 10.3390/S21030763.