
	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	<b>e-ISSN: 2147-835X</b> <b>Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a></b>		
	<u>Gelis/Received</u> 21-09-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 15-01-2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.339232 <u>Online Access</u>	

## EMG ve jiroskop verileri ile endüstriyel robot kolunun gerçek zamanlı kontrolü

Kenan Erin<sup>1</sup>, Barış Boru<sup>2</sup>

### ÖZ

Gelişen teknoloji ile giyilebilir cihazlar üzerine geliştirme çalışmaları devam etmekte ve ticari ürünler piyasaya çıkmaya devam etmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmı insan vücudundaki hareketleri algılayabilen giyilebilir sensörler üzerine odaklanmaktadır. Bu çalışmada Thalmic Labs tarafından üretilen Myo Armband ürünü ile insan kol hareketlerinin algılanması ve endüstriyel robot kolunu kontrol etmesi ile bir İnsan Robot Arayüzü geliştirilmiştir. Myo Armband bileklik şeklinde olup üzerinde bulunan EMG (Elektromiyografi) ve jiroskop sensörleri ile kolun hareketinin algılanmasında yardımcı olmaktadır. Myo Armband ile bilgisayar sistemi arasında kablosuz bağlantı kurularak ham EMG ve jiroskop verilerinin bilgisayara gönderilmesi mümkündür. Pratik çalışma için ABB firması tarafından üretilen IRB120 endüstriyel robotu kullanılmıştır. IRB120 endüstriyel robotu kendi kontrolörü dışında kontrol edilebilmektedir. Geliştirilen yazılım ile EMG ve jiroskop verilerinden elde edilen veriler hareket ve konum bilgilerine dönüştürülerek ethernet üzerinden gerçek zamanlı gönderilmesi ile endüstriyel robotun insan hareketlerini takip etmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Electromyogram (EMG), Endüstriyel Robot, İnsan Robot Arayüzü(HRI), Jiroskop

### Real time control of industrial robot arm with EMG and gyroscope data

### ABSTRACT

Development efforts rising on wearable devices and commercial products has begun to appear to commercial market. This study is mainly focused on wearable sensors that can be used to measure human movements. In this study, a Human Robot Interface(HRI) was developed with the Myo Armband product by Thalmic Labs, with the perception of human arm movements. Myo Armband is bracelet shaped device and it helps to detect movements of the arm thanks to EMG(Electromyography) and gyroscope sensors on it. By establishing a wireless connection between Myo Armband and the computer system it is possible to send raw EMG and Gyroscope data to the computer. IRB120 industrial robot that produced by ABB Robotics company is used for practical tests. IRB120 industrial robot can be controlled besides its own controller. In study, EMG and gyroscope data has been obtained with software developed. These data is converted to movement and position data has been sent to robot arm over ethernet in order to follow the human movements

**Keywords:** Elektromyogram (EMG) , Industrial Robot, Human Robot Interface(HRI), Gyroscope

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojinin ilerlemesiyle giyilebilir cihazlar hayatımıza girmeye başlamıştır. Geliştirilen giyilebilir cihazların üretiminde ivmeölçer [1,2], jiroskop[3] ve kızılötesi[4] sensörler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tip sensörlerin kullanımıyla hareket algılama, mesafe algılama gibi fiziksel olaylar rahatlıkla tespit edilebilmektedir.

Robot teknolojisi dünyada hızlı gelişme gösteren alanların başında gelmektedir. Robotların gelişmesiyle firmalar robotların pazarlanmasında farklı özellikler geliştirmeye başlamışlardır. Özellikle akıllı sistemlerin robotlara entegre edilmesiyle robotlar kullanılmaya daha cazip hale gelip müşterilerin ilgisini çekmeye başlamıştır. Bu nedenle firmalar ve araştırmacılar insanların robotlarla haberleşmesi için insan robot arayüzü (HRI) geliştirmektedirler. HRI sistemlerin tasarımı ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Pedro ve arkadaşları yaptıkları çalışmada üzerinde 3 eksenli ivmeölçer bulunan Wii uzaktan kontrol kumandası ile alınan verileri yapay sinir ağları ile sınıflandırmış ve hareket kestiriminde bulunmuşlardır. Hareket kestiriminden sonra ethernet haberleşmesi ile MOTOMAN endüstriyel robotunun 3 boyutlu uzayda hareketini sağlamışlardır[5]. Wang ve arkadaşları EMG ve Kinect sensörü kullanarak insan benzetimli mobil robotun kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. EMG ve Kinect sensörden gelen veriler özellik çıkarma ve hareket tanımlama yöntemleriyle anlamlı hale getirilmiş olup motor sürücülerine gerekli bilgiler verilerek mobil robotun hareketini sağlamışlardır[6]. Beyda ve arkadaşları yüzey elektrotlar yardımı ile alınan sinyallerle biyonomik el simülatörü uygulamasını geliştirmişlerdir. Alınan sinyaller bant geçiren filtreden geçirilmiş ve iki temel hareketi(el açma ve kapama) temel bileşen analizi ile sınıflandırmışlardır. Daha sonra anlamlandırılan sinyaller MATLAB GUI programında on serbestlik derecesine sahip el simülatörünün kontrolünü sağlamışlardır.[7]. Yu ve arkadaşları iki WSSS IMU sensor ile HRI sistemi gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar kullanılan iki sensörden birini kolun ortantasyonunu göstermesi için insan koluna diğerini açı hesaplamak için çok yönlü tasarlanmış olan mobil robota entegre etmişlerdir. Daha sonra itme, çekme ve dönme hareketleriyle mobil robotun kontrolü sağlanmışlardır[8]. Zhao ve arkadaşları

kinect sensör kullanarak bir HRI sistemi geliştirmişlerdir. Kinect sensörden alınan görüntülerden Baxter robot manipülatörünün kontrolünü sağlamışlardır. Görüntülerden robotun aktuatörlerine sinyal göndermek için kolun açılarını tespit edip elde edilen açılardan UDP haberleşmesi ile insan robot arayüzünü gerçekleştirmişlerdir[9]. Liao ve arkadaşları EEG sensör tabanlı bir okçuluk oyunu geliştirmişlerdir. Yazarlar MINDO adı verilen EEG sensör ile beyin sinyallerini okumuşlardır. Okçuluk oyununda kişinin hedefe odaklanma seviyesini gösterip hedef kısa ve odaklanma miktarı yüksek ise kişinin yüksek puan almasını sağlamışlardır[10]. Umut ve arkadaşları kola yerleştirilen elektrotlar yardımıyla EMG tabanlı mobil robotun hareketini gerçekleştirmişlerdir. Elektrotlardan gelen sinyalleri dsPIC30F4013 mikroişlemcisinin analog kanallarından okuyup sinyallerle hareket sınıflandırması yapmışlar, hareketin türüne göre motorlara sinyaller göndermişlerdir[11].

Gürkan ve arkadaşları ALS (Amiyotrofik lateral skleroz) hastaları için akıllı tekerlekli sandalye geliştirmişlerdir. Bu tekerlekli sandalye için EMG, EEG ve göz hareketleri kullanılarak 3 farklı şekilde kontrol düzeneği geliştirmişlerdir. Sinyalleri almak için kablosuz haberleşme (bluetooth) kullanılmış ve sinyaller MATLAB ortamında işlenmiştir. Ayrıca güvenli navigasyonu sağlamak ve engellerden, tehlikelerden kaçınmak için tekerlekli sandalyeye bir adet Kinect sensörü yerleştirmişlerdir[12]. Aleotti ve arkadaşları endüstriyel robot kolunu kola takılan ShapeTape isimli sensor ile kontrol etmişlerdir. Sensörden aldıkları veriler ile kurdukları algoritma sayesinde Pandi-1 isimli robot manipülatörünün açılarını tespit edip robotu kontrol etmişlerdir[13]. Li ve arkadaşları EMG sinyallerini kullanarak exoskeleton robot kolunun kuvvet kontrolünü sağlamışlardır. Yazarlar dirsek ve bilek kaslarından belirledikleri kas çiftlerinden dört kanallı EMG sinyallerini 1024 Hz ile örnekleyerek toplamışlardır. Topladıkları sinyaller üzerinde çeşitli filtreler uygulayarak gürültüleri gidermişlerdir. Daha sonra filtrelenmiş sinyal üzerinde PI denetleyicisi uygulayarak kapalı çevrim kuvvet kontrolünü gerçekleştirmişlerdir[14].

Bu çalışmada ise Thalmic Labs tarafından üretilen Myo Armband ile ABB firması tarafından üretilen IRB120 endüstriyel robot kolunun gerçek zamanlı kontrolü gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de gösterilen Myo Armband üzerinde 8 adet EMG elektrot, 3

eksenli ivmeölçer, 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli manyetik kuvveti ölçen manyetometre bulunan bir bileklidir.



Şekil 1: Myo Armband[12]

Kola takılan bu bileklik ayrıca kolun 3 boyutlu uzayda oryantasyonunu gösterebilmektedir. Bileklikten alınan oryantasyon verileri bilgisayara kablosuz haberleşme (bluetooth) ile aktarılmaktadır. Alınan bu veriler Python programlama dilinde hazırlanan yazılım ile işlendikten sonra TCP/IP haberleşmesi ile endüstriyel robota ethernet vasıtası ile gerçek zamanlı olarak gönderilmektedir. Robotun güvenli kontrolü için ise EMG sinyalleri kullanılmış olup bu verilerle robotu başlatma, acil stop ve ana pozisyona dönmesi işlemlerinde yararlanılmıştır. Bu çalışma için kurulan deney düzeneğinin görsel şeması Şekil 2’ de gösterilmiştir.

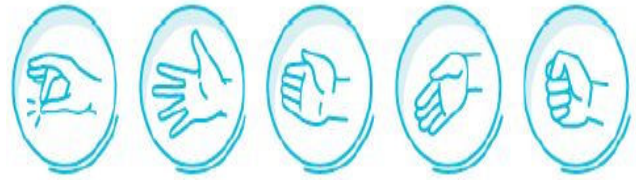


Şekil 2 : Deney düzeneğinin görsel şeması

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

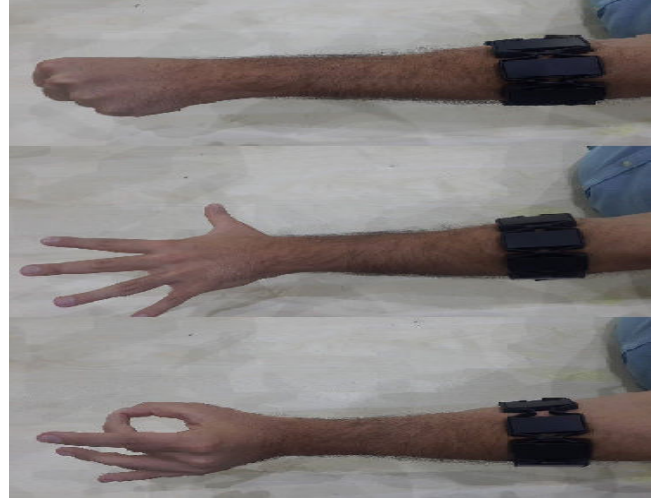
Elektromiyografi (EMG), sinir sistemi tarafından kontrol edilen ve kas hareketleri neticesinde kas ve sinirlerde ortaya çıkan elektriksel aktivitenin kaydedilmesine dayanan bir yöntemdir. EMG sinyalleri vücuttan elektrotlar yardımı ile alınırlar ve gerilim kuvvetlendiriciden geçirilerek

işlenirler. Kasların kasılma ve serbest durumlarından elde edilen sinyaller incelenerek çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile istenilen hareketlerin tanımlanması sağlanabilmektedir. Myo Armband üzerinde bulunan sekiz farklı elektrot sayesinde bu sinyaller yüksek işleme ve sınıflandırma yöntemleri ile hareketler algılanabilir. Thalmic Labs tarafından üretilen yazılım geliştirme kiti kullanılarak EMG ve jiroskop verilerine ulaşmak mümkündür. EMG sinyallerini Thalmic Labs tarafından verilen arayüz ile sınıflandırabileceği gibi ham EMG verilerini kullanarak çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile de sınıflandırabilmektedir. Myo Armband yazılım kiti tarafından Şekil 3 deki hareketler sınıflandırılmış ve kullanıcının kullanımına sunulmuştur.



Şekil 3 : Myo Armband tarafından tanınan hareketler[15]

Bu çalışmada Myo Armband tarafından tanımlanan beş farklı hareketten yumruk robotu çalıştırma, eli serbest bırakma robotu durdurma ve çift parmak dokunma da robotu başlangıç pozisyonuna götürmek için kullanılmıştır. Robotu kontrol etmek için kullanılan hareketler Şekil 4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4: Robotu kontrol etmek için kullanılan hareketler

EMG hareketlerinin tanımlanmasından sonra robotun üç boyutlu uzayda hareketini sağlamak için Myo Armband üzerinden bulunan ivmölçer ve jiroskop sensörlerinden yararlanılmıştır. Kola takılan Myo Armband üç boyutlu uzayda yönelimini gösteren dört elemanlı kuaterniyon

matrisini anlık olarak aktarabilmektedir. Kuaterniyon matrisi 4 boyutlu bir matris olup cismin 3 boyutlu uzayda oryantasyonunu belirtmek için kullanılır. Kuaterniyon matrisi robotik[16] ve kontrol[17] başta olmak üzere bir çok alanda kullanılmaktadır. Kuaterniyon matrisinin diğer oryantasyon gösterimlerinden en önemli farkı robotun ters kinematik hesabı yapılırken tekil noktaların oluşmaması ve hesaplama yükünün daha az olması gösterilmektedir. Kuaterniyon matrisi gösterimi denklem 1’de gösterilmiştir.

$$q = [q_0 \ q_1 \ q_2 \ q_3] \quad (1)$$

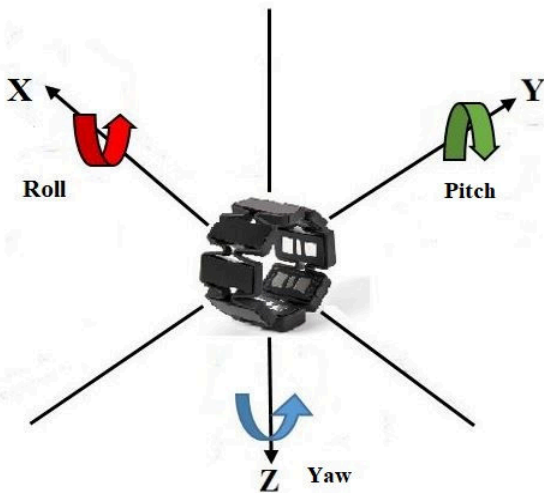
Kol bandından alınan kuaterniyon matrisi bize robotun üç boyutlu uzayda yönelimini sağlayan Euler açılarına (roll, pitch, yaw) dönüştürmemize yardımcı olmaktadır. Myo Armbandtan alınan sinyaller 20Hz örnekleme frekansı ile kablosuz haberleşme (bluetooth) ile bilgisayara aktarılmaktadır. Python programlama ortamında geliştirilen yazılım ile matematiksel dönüşüm fonksiyonları kullanılarak kuaterniyon matrisinden Euler açılarına dönüştürülmüştür. Kuaterniyon matrisinden Euler açılarına dönüşüm matrisleri denklem 2, denklem 3 ve denklem 4’de gösterilmiştir.

$$roll = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot (q_1 \cdot q_2 + q_0 \cdot q_3)}{q_3^2 + q_2^2 - q_1^2 - q_0^2} \right) \quad (2)$$

$$pitch = \sin^{-1} (-2 \cdot (q_0 \cdot q_2 - q_1 \cdot q_3)) \quad (3)$$

$$yaw = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot (q_0 \cdot q_1 + q_3 \cdot q_2)}{q_3^2 - q_2^2 - q_1^2 + q_0^2} \right) \quad (4)$$

Myo Armband kullanılarak kolun hareket ettirilmesiyle oluşan Euler açıları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5 : Myo Armband Euler açıları

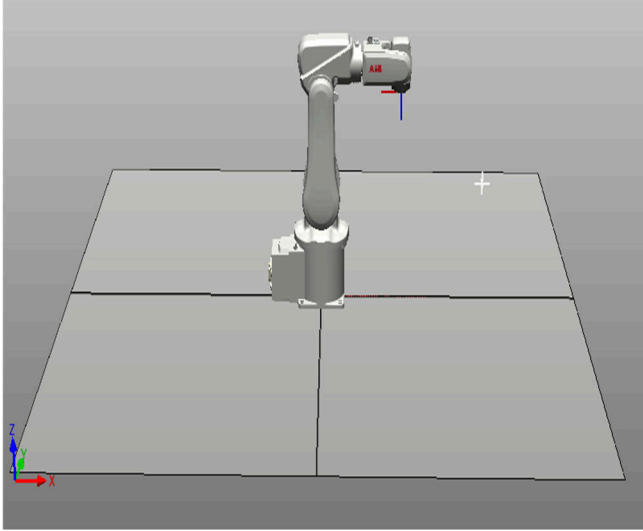
Myo Armband hareket ettirildiğinde Euler açıları  $-90$  ile  $+90$  derece arasında değişim göstermektedir. Bu açı değişiminin robot için hareket pozisyonuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada robotun üç ekseninde gidebileceği maksimum koordinatlar tespit edilmiş olup dönüşüm fonksiyonu ile açı bilgisinden pozisyon bilgisine dönüşüm sağlanmıştır. Bu sayede robot X ekseninde 1,6 mm/derece Y ekseninde 2,7 mm/derece ve Z ekseninde 2,2 mm/derece oranlarında hareket etmektedir.

HRI sistemlerinde yaşanan en önemli sıkıntılar robotun hareket alanı dışına çıkarılmaya çalışılması ve robotun eksenlerinin aldığı pozisyon sonucunda robotun tekilliğe yaklaşmasıdır. Bu çalışmada robotun hareket dışına çıkarılmaması için robot X, Y ve Z eksenlerinde belirli koordinatlardan sonra hareket edememesi yazılımsal sağlanmıştır. Ayrıca robotun eksenlerinden kaynaklı tekilliliğe yaklaşmaması için de robotun flanşının 5. Eksene dik bir şekilde aşağıya bakması sağlanmıştır. Bu çözümler sayesinde robotun üç boyutlu uzayda hata vermeden istediğimiz koordinata gitmesi sağlanmıştır.

Myo Armband ile alınan EMG ve oryantasyon verileri Python ortamında işlendikten sonra robota gerçek zamanlı veriler göndermek için TCP/IP protokolü kullanılarak ethernet üzerinden haberleşme yapılmıştır. TCP, Transmission Control Protokol (İletim Kontrol Protokolü) ve IP, Internet Protocol (İnternet Protokolü) terimlerinin kısaltmasıdır. TCP’nin temel görevi bütün verilerin doğru şekilde alınmasını sağlamak IP’nin görevi ise verileri doğru şekilde adreslenmesini sağlamaktır[18]. TCP/IP haberleşmesinde bir A bilgisayarı bir B bilgisayarına istediği veriyi paketler halinde gönderir. A bilgisayarının gönderdiği paketlere IP paketleri denir ve A’nın adresine IP adresi denir. Gönderilen paketler içerisinde B’nin adresi olduğu için paketler istenilen adrese yönlendiriciler vasıtasıyla gönderilir[19].

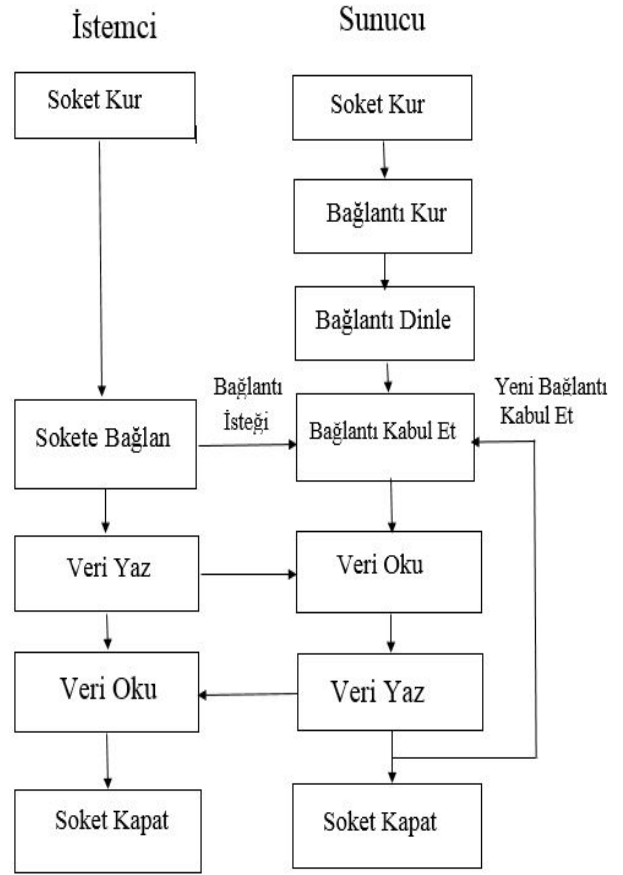
TCP/IP haberleşme protokolü endüstriyel otomasyonda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır[20-21]. Çalışmamızda Myo Armband ile alınan sinyaller Python ortamında işlendikten sonra gerçek zamanlı olarak ethernet üzerinden IRB120 endüstriyel robotuna gönderilmiştir. Çalışma ilk önce ABB firması

tarafından geliştirilen RobotStudio programında denenmiştir. RobotStudio programı ABB tarafından üretilen tüm endüstriyel robotların programlanmasını, kapsamlı simülasyonunu ve CAD programlarında tasarlanan fikstürlerin sanal ortamda kullanılmasını sağlayan bir programdır. RobotStudio ortamında kullanılan IRB120 endüstriyel robotu ve ev pozisyonu olarak tercih edilen yaklaşıma göre eksen duruşları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5: RobotStudio programında IRB120 ve ev pozisyonu  
IRB120 robotu ABB firması tarafından geliştirilen RAPID programlama dilini kullanarak programlanabilmektedir. RAPID programlama dili robotun hareket komutlarını, robotun üzerinde bulunan IO kartını kullanmak için gerekli komutları ve robotun üzerine etkiyen kuvvet, tork gibi fiziksel değerlere değerlendirebilecek ve aktarabilecek yapıda geniş kapsamlı bir programlama dilidir[22]. IRB120 robotunu robotun kumandası olan teach pendant, Robotstudio arayüzü ve 3. parti programlar( Python, C++ vb.) ile programlayabiliriz.

Çalışmamızda robotu programlayabilmek için Python programlama dili ile RAPID dili arasında TCP/IP haberleşme protokolü uygulanmıştır. Haberleşmede ilk önce bilgisayar dinleyici olarak davranmaktadır. IRB120 robotu ise istekte bulunmaktadır. Dinleyen taraf sunucu(bilgisayar) istekte bulunan taraf ise istemci(IRB120) olarak adlandırılır. Sunucu ve istemci arasında geçen haberleşme sıralaması Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6 : Sunucu – İstemci haberleşme sıralaması

Bilgisayar ve robot arasındaki haberleşmede Python programında Myo Armband ile elde edilen veriler sayısal olarak elde edilmektedir. TCP/IP haberleşmesinde verilerin karakter olarak gönderilmesi gerekmektedir. Bu şartı sağlamak için sayısal olarak elde edilen pozisyon bilgisi karaktere dönüştürülüp endüstriyel robota gönderilmektedir. Robota karakter olarak gelen verilerin robotu kontrol edilebilmesi için RAPID programlama dili ile tekrardan sayısal değerlere dönüştürülüp robot hareket ettirilmektedir. Euler açıları olan roll, pitch ve yaw açılarını robotta eksen olarak sırasıyla X,Y ve Z eksenlerini lineer kontrol etmek için kullanılmıştır. RobotStudio ortamında kontrol edilen robot gerçek zamanlı olarak da Şekil 7 ‘de kontrol edilmektedir.



Şekil 7 : IRB120'nin gerçek zamanlı kontrolü

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada giyilebilir ürün olan EMG bileklikle endüstriyel robotun kontrolü üzerinden çalışılmıştır. Çalışmada operatöre kullanım kolaylığı sunan bir İnsan Robot Arayüzü (HRI) oluşturulmuştur. Çalışma ilk önce RobotStudio ortamında denenmiş ve başarılı bir şekilde çalışmıştır. RobotStudio simülasyon ortamında güvenli sınırlar, değişik hızlar RobotStudio ortamında kontrol edildikten sonra gerçek IRB120 robotu üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. IRB120 robotunun gerçekte yüksek hızlarda hareket ettirmek ani hareketlerde robotun üzerinde oluşan eylemsizlik kuvveti nedeniyle mekanik sorunlar oluşturabilmektedir. Bu sebeple gerçek robot üzerinde çalıştırmada düşük hızlarda hareket ettirilmiş ve sistemin başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada robot kolunun 0.2 mm hassasiyet ile çalıştırılabildiği gözlemlenmiştir. Hız ve çalışma sınırları kriterlerine göre değerlendirme yapıldığında sistemde iyileştirmelere ihtiyaç bulunmaktadır. İleri ki çalışmalarda insan kol hareket hızının bir akıllı uygunlaştırma ardından sınırlandırılması gönderilmesi ve 3 boyutlu derinlik kamerası ile EMG, jiroskop verilerinin beraber kullanılması hedeflenmektedir.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] B. Sevinç and G. Tulum, "Biyogüvenlik Kabinleri için Uzaktan Kontrollü Robotik Kol Tasarımı," Electric Electronic Computer Science Biomedical Engineerings Meeting , 2017.
- [2] H. Sökün , H. Kalkan, B. Çetişli,"İvmeölçer sinyalleri ile fiziksel aktivitelerin sınıflandırılması " Signal Process. Commun. Appl. Conf., pp. 3–6, 2012.
- [3] Q. An , Y. Ishikawa, J. Nakagawa, A. Kuroda, "Evaluation of wearable gyroscope and accelerometer sensor " RO-MAN, pp 731-736, 2012.
- [4] M. Kam, X. Zhu, P. Kalata, "Sensor fusion for mobile robot navigation,"SICEICASE International Joint Conference, vol. 85, no. 1, pp. 108–119, 2006.
- [5] P. Neto, N. Pires, A.Paulo," High level programming and control for industrial robotics: using a hand-held accelerometer-based input device for gesture and posture recognition", Industrial Robot: An International Journal, vol. 37, no. 2 , pp. 137-147, 2010.
- [6] B. Wang, C. Yang, Q. Xie,"Human-machine interfaces based on EMG and Kinect applied to teleoperation of a mobile humanoid robot", Proceedings of the 10<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Control and Automation", 2012.
- [7] B. Taşar, T. Kaya, A. Gülten, "EMG tabanlı el hareketinin analizi aracılığı ile robot el simülatörünün kontrolü", 22<sup>nd</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference, 2014.
- [8] Q. Yu, Z. Lu , C. Liu, H. Wang,"Human robot interface based on WSSS IMU sensors", International Conference on Cyber Technology in Aumation, Control and Intelligent Systems,2015.
- [9] L. Zhao, Y. Liu, K. Wang, P. Liang, R. Li, "An Intuitive Human Robot Interface for Tele-operation", International Conference on Real-time Computing and Robotics, pp. 454-459, 2016.
- [10] L. Liao, C. Chen, J. Wang, S. Chen, S. Li, B. Chen, J. Chang, C. Lin,"Gaming control using a wearable and wireless EEG-based

- brain-computer interface device with novel dry foam-based sensors.”. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 9(1).
- [11] U. Mayetin, S. Küçük, Ö. Şayli, “EMG Kontrollü Mobil Robot Uygulaması”, Medical Technologies National Conference(TIPTEKNO),pp. 1-4, 2015
- [12] G. Kucukyildiz, H. Ocak, S. Karakaya, O. Sayli, “Design and Implementation of a Multi Sensor Based Brain Computer Interface for a Robotik Wheelchair”, Journal of Intelligent & Robotic Systems,pp. 247-263, 2017.
- [13] J. Aleotti, A. Skoglund, T. Duckett, “Position teaching of a robot arm by demonstration with a wearable input device”, International Conference on Intelligent Manipulation and Grasping, 2004.
- [14] Z. Li, B. Wang, F. Sun, C. Yang, “ sEMG based joint force control for an upper-limb power assist exoskeleton robot”, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 18, no. 3, pp. 1043-1050, 2014.
- [15] <https://store.myo.com/>, Erişim Tarihi : 10.08.2017.
- [16] E. Sarıyıldız ,”A new approach to inverse kinematic solutions of serial robot arms based on quaternions in the screw theory framework”, Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009.
- [17] S. Joseph, C. Yuan, “ Closed loop manipulator control using quaternion feedback”, IEEE Journal on Robotics and Automation, vol. 4, no. 4, pp. 434-440, 1988.
- [18] Ş.Akkaya, O. Akbatı, A. F. Ergenç, ”Endüstriyel Sistemleri için FGPA Tabanlı Modbus Ağ Geçidi Tasarımı ve Uygulaması”, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, pp. 445-451, 2015
- [19] T. Bir, “Endüstriyel Veri İletişiminde TCP/IP Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi , Elektrik Elektronik Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi,2005.
- [20] W. Nocon, “General-Purpose PC-Based Sequencing Controller With TCP/IP Communication”, IFAC Proceedings, vol. 36, no. 1, pp 73-78, 2003.
- [21] N. A. M. Noh, A. Saparon, H. Hashim, “Real Time FPGA Communication System Using Ethernet for Robotics”, Procedia Computer Science, vol. 76, pp. 406-410, 2015.
- [22] ABB, Technical reference manual RAPID instructions, functions and data types, Document ID : 3HAC 16581-1, Revision : J.