



Rehabilitasyon uygulamalarına yönelik el ve parmak hareketlerini taklit eden robot el tasarımı

Design of a robotic hand imitating hand and finger gestures for rehabilitation applications

Yağmur Çiğdem Kalan¹ , Eda Akman Aydın^{2*} 

^{1,2}Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

¹ ULAK Haberleşme A.Ş., RAN Yazılım Direktörlüğü, 06530, Ankara, Türkiye

Öz

Rehabilitasyon, motor yeteneklerini kısmen ya da tamamen kaybeden kişilerin, kayıp fonksiyonlarını geri kazanmalarını sağlamalarına yardımcı olan bir terapi sürecidir. Terapi sürecinde tekrarlanan hareketlerin doğruluğu ve sürekliliği rehabilitasyon sürecinin başarısı açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle, rehabilitasyon sürecinin devamlılığını sağlayabilmek adına, egzersizlerin rehabilitasyon merkezlerine gitmeksizin devam ettirilebileceği sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, el rehabilitasyonu uygulamalarına yönelik hem el ve hem de parmak hareketlerini taklit eden bir robot el prototipi uygulaması geliştirilmiştir. El hareketlerini algılamak için Atalet Ölçüm Sistemi (IMU) sensörü, parmak hareketini algılamak için ise bir esneklik sensörü kullanılmıştır. El hareketleri ile robot el prototipi üzerindeki iki motoru kontrol edilmesi, esneklik sensörü ile ise robot üzerindeki kaskacın kontrol edilmesi ve robot el prototipinin kavrama hareketinin yaptırılması sağlanmaktadır. Katılımcılara, robot el prototipi kullanarak silindirik bir nesneyi hedef noktaya taşıma görevi verilerek, görev tamamlama süreleri kaydedilmiştir.

Anahtar kelimeler: Robot el prototipi, Parmak hareketi, El hareketi, Rehabilitasyon.

1 Giriş

İnme ya da diğer motor hastalık vakalarının çoğunda fonksiyonel hareket yeteneklerinin tam ya da kısmi kaybının yanı sıra, koordinasyon, güç ve beceri kaybı, hareket kabiliyetinde azalma gibi hareket bozuklukları görülebilmektedir [1]. Bu durum hastaların günlük yaşam aktivitelerini yürütme yeteneğini önemli ölçüde engelleyebilmekte, yaşam kalitelerini ve bağımsızlık düzeylerini büyük ölçüde azaltabilmektedir [2]. Rehabilitasyon, hastaların kaybedilen motor yeteneklerini kısmen veya tamamen yeniden kazanabilmelerine, korumalarına ve iyileşmelerine yardımcı olmayı amaçlayan bir terapi sürecidir [3]. Rehabilitasyon egzersizleri, hastaların motor performansını iyileştirmek için hastalığa özgü, tekrarlayan, yoğun ve motivasyonel görevleri içermektedir. Rehabilitasyon, bir görevi hareketlere bölerek, genellikle bir fizyoterapist eşliğinde el gücünü, hareket

Abstract

Rehabilitation is a therapy process that helps people who have lost their motor abilities partially or completely to restore their lost functions. Accuracy and continuity of the repetitive movements in the therapy process are important for the success of the rehabilitation process. Therefore, in order to ensure the continuity of the rehabilitation process, it is necessary to develop systems where exercises can be continued without going to rehabilitation centers. In this study, a robot hand prototype application that imitates both hand and finger movements has been developed for hand rehabilitation applications. An Inertial Measurement Unit (IMU) sensor is used to detect hand movements and a flexible sensor is used to detect finger movements. The hand movements are used to control the two motors on the robot hand prototype, while the flexibility sensor controls the gripper on the robot, allowing the robot hand prototype to grip. The task completion times were recorded by giving the participants the task of moving a cylindrical object to the target point using the robot hand prototype.

Keywords: Robot hand prototype, Finger movement, Hand movement, Rehabilitation

doğruluğunu ve hareket sınırlarını geliştirmek için çeşitli uygulamalarla hareketin desteklenmesini içermektedir. Bu sürece hemen hastalık sonrasında başlamak, hastaların performans artışına büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Etkili rehabilitasyon, hastaların egzersiz programlarına uymalarına ve evde ya da fizik tedavi kliniklerinde düzenli performans göstermelerine bağlıdır. Ancak rehabilitasyon sürecinin uzun ve maliyetinin yüksek olması, hastaların motor kısıtlılıkları nedeniyle rehabilitasyon merkezlerine ulaşamaması ve rehabilitasyon süresinin uzaması gibi nedenlerle hasta motivasyonu ve uyumunun zamanla azalması gibi nedenler rehabilitasyon sürecinin takibini ve sürekliliğini ciddi anlamda kısıtlamaktadır [2, 4].

Rehabilitasyon ihtiyacı duyan hasta sayısı ve rehabilitasyon merkezlerinde hastalarla birebir çalışmanın gerektirdiği zorluklar göz önüne alındığında, rehabilitasyon merkezlerinin kapasitesinin ve rehabilitasyon oturumlarında

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: edaakman@gazi.edu.tr (E. Akman Aydın)
Geliş / Received: 13.06.2023 Kabul / Accepted: 04.09.2023 Yayınlanma / Published: 15.10.2023
doi:10.28948/ngumuh.1313771

terapistler tarafından sağlanabilecek egzersizlerin sınırlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, rehabilitasyon sürecinin devamlılığı ve performansının iyileştirilmesi için, hastalar günlük rehabilitasyon egzersizlerine evlerinde de devam etmeleri konusunda desteklenmektedir. Ancak rehabilitasyon egzersizleri sırasında terapist tarafından denetim ve geri bildirim sağlanmaması gibi nedenlerle, hastalarının önemli bir kısmının fizyoterapistlerin önerdiği egzersizlere evde devam etmediği görülmektedir. Öte yandan, klinik çalışmalar, yoğun tekrarlayan hareketler içeren rehabilitasyon süreçleri uygulanan felçli hastaların, el motor işlevlerinde önemli iyileşme sağladığını göstermiştir [2]. Bu nedenle, hastaların kliniklerde ya da evlerinde, kendi başlarına sürekli olarak rehabilitasyon egzersizleri yapabilmelerine olanak sağlayarak ve motive ederek, sürecin devamlılığını sağlayabilecek yenilikçi teknolojiler üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir [5]. Bu sistemler ile fizik tedavinin daha erişilebilir olmasının sağlanmasının yanında, maliyetleri düşürerek ve hasta uyumunu artırarak rehabilitasyondan alınacak sonuçları iyileştireceği düşünülmektedir [2, 5].

İnsan-makine arayüzleri (IMA), insanların makineler ile iletişim kurmasını sağlayan sistemlerdir. IMA sistemleri sensörden gelen veriler vasıtasıyla insanların niyetlerini çözümlenerek makinelerin eylemlerini kontrol eder [6]. Endüstriyel kontrol sistemleri, otomotiv, havacılık ve askeri sistemler gibi birçok alanda kullanılan IMA sistemleri, son yıllarda rehabilitasyon ve yardımcı teknolojiler alanında da kullanılmaktadır [6, 7]. Rehabilitasyon sistemleri açısından bakıldığında, IMA, insanların hareketleri ya da hareket niyetlerinin algılanmasını sağlayan giriş birimleri, giriş biriminden gelen verilerin işlendiği ve harekete ilişkin anlamlı komutlara dönüştürüldüğü sinyal işleme ve örüntü tanıma birimi ve bu hareket/hareket niyetlerinin aktarıldığı çıkış birimlerinden oluşmaktadır.

Sağlıklı insanlar proprioepsiyon duyusu olarak adlandırılan vücudun pozisyon hissi duyusuna sahip olmalarına rağmen, bu his inme ya da diğer motor nöron hastalıklarına sahip kişilerde çok zayıf olabilmektedir. Bu nedenle, IMA tabanlı rehabilitasyon sistemlerinde, çıkış birimleri aynı zamanda, insanların yaptıkları hareketlere ilişkin beyne geri bildirim sağlamak amacıyla da kullanılmalıdır. Hareket durumunun ya da hareket performansının geri bildirimine yönelik olabilecek bu geri besleme, görsel, işitsel, dokunsal ya da çok-modlu olarak sağlanabilir. Verilen bir hareket görevini tamamlama sonrasında sağlanan geri bildirim, beyinde hareketin yeniden düzenlenmesine yardımcı olmanın yanında, motor geribildirim döngüsünü güçlendirerek bir sonraki harekette daha fazla motivasyona sağlamaktadır. [8]. Çıkış birimi olarak kullanılan giyilebilir dış-iskeletler ve end-efektör cihazlar gibi rehabilitasyon robotlarının [9] çoğu, biyolojik eklemlerin dış iskeletinkilerle hizalanmasını gerektirmektedir. Bu sistemler ayrıca, genellikle klinik kullanım için tasarlandıkları için taşınabilir değildirler ve pahalıdırlar [2]. Bu nedenle, son yıllarda, sanal gerçeklik [10-11] ve oyun temelli rehabilitasyon sistemleri [12], hastaları evde rehabilitasyon egzersizlerine devam etmelerine teşvik etme potansiyeline sahiptir.

Oyun tabanlı rehabilitasyon sistemlerinde, çıkış birimi olarak genellikle bilgisayar oyunları kullanılmaktadır ve hareketlere ilişkin geri besleme de oyun arayüzleri aracılığıyla sağlanmaktadır [13]. Bunun yanında robotik sistemleri çıkış birimi olarak kullanan uygulamalar da geliştirilmektedir. Fitter ve arkadaşları [14], bileğe yerleştirilen IMU sensörleri ile çift-el alkış oyunları oynayan robotik uygulamalar geliştirmiştir. Segal ve arkadaşları [15] ise, rehabilitasyon terapisi için, standart fizik tedavi sürecine alternatif taşınabilir, düşük maliyetli, kullanımı kolay ve ilgi çekici bir alternatif olarak el hareketleri ile kontrol edilen bir araba önermiştir.

Rehabilitasyon amaçlı IMA için giriş birimleri, kasın mekaniksel hareketinin algılanması, vücut hareketlerinin algılanması, biyo-potansiyel sinyaller ile hareketin algılanması ya da bu sistemlerin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler ile oluşturulabilir [6]. El rehabilitasyon sistemlerinde, hareketin veya hareket niyetinin anlaşılması için, hastaların geri kalan hareket kabiliyetlerine göre, kontrol sinyali olarak kuvvet ya da fizyolojik sinyaller kullanılabilir. Fizyolojik sinyallere dayalı rehabilitasyon sistemlerinde, sistem, doğrudan kullanıcının uzvundan ölçülen fizyolojik sinyallerini kullanarak, belirli bir hareketi gerçekleştirme niyetini ya da hareketi uygulaması sırasında kaydedilen sinyalleri analiz ederek, kullanıcının gerçekleştirmek istediği hareketi tahmin edilir [3]. Bu amaçla hastanın kalan motor yeteneklerini de göz önüne alarak elektroensefalogram, elektromiyogram ya da birden çok sinyali bir arada kullanan hibrit sistemler kullanılmaktadır. Bunun dışında görüntü işleme ve veri eldivenleri yoluyla el pozisyonunu algılayan sistemler de el rehabilitasyon sistemlerinde kullanılmaktadır [16].

Atalet Ölçüm Sistemi (Inertial Measurement Unit (IMU)) esas olarak açısal hız, lineer ivmelenmeyi ölçmek için cihazlarda kullanılmaktadır. IMU bir cihazın veya aracın hızını, dönme açısını ve oryantasyonunu ölçmek için kullanılmaktadır. IMU, ivmeölçer ve jiroskop olmak üzere iki sensör içermektedir. Böylece IMU x, y ve z koordinatlarındaki hareketlerden ivmeölçer ve jiroskop sensörlerinden toplamda 6 veri ölçülmesiyle lineer ivmelenme, oryantasyon açısı ve açısal hız bilgilerini altı serbestlik derecesinde (6DOF) elde edebilmektedir [17]. IMU sensörleri ve endüstriyel uygulamalarda el tabanlı teleoperasyon robotların geliştirilmesi [18], navigasyon sistemleri, artırılmış gerçeklik sistemleri, robotik ve rehabilitasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. IMU, IMA hareket tanıma amacıyla yaygın olarak kullanılan bir sensördür [19-21]. Üst uzuv rehabilitasyonunda, hızlanma ve oryantasyon gibi kinematik bilgiler IMU'lar tarafından ölçülebilmektedir [22, 23]. Esneklik sensörleri ise parmak hareketlerine dayalı rehabilitasyon sistemleri için yaygın olarak kullanılan bir sensördür [24, 25].

Bu çalışmada, rehabilitasyon uygulamalarına yönelik olarak kullanılacak hem el ve hem de parmak hareketlerini taklit eden bir robot el prototipi tasarlanmıştır. Çalışmada hem IMU hem de esneklik sensörlerini bir arada kullanarak el ve parmak rehabilitasyonunu bir arada uygulayabilen bir sistem önerilmiştir. Rehabilitasyon robotu

ile amaçlanan, kullanıcının yapmak istediği el hareketlerinin algılanarak bu hareketlerle bir robot el prototipinin kontrol edilmesini sağlamaktır. Böylece kullanıcılara robot hareketlerini takip etmeleri vasıtasıyla geri bildirim sunulmakta ve bu sayede hareket kabiliyetlerini geliştirmelerine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Kullanıcı arayüzünde, parmak ve el hareketlerini algılamak için, sırasıyla esneklik sensörü ve IMU sensörü kullanılmıştır. Sensörlerden gelen pozisyon bilgilerinin robot el prototipine aktararak, kullanıcının el hareketlerini taklit etmesi sağlanmıştır. Çıkış birimi olarak makine arayüzü kısmında dört eksende hareket edebilen bir robot el prototipi kullanılmıştır. Robot el prototipi çalışması üç sağlıklı kişinin, bir nesneyi robot el prototipi kullanarak taşıması görevini tamamlama süresi üzerinden değerlendirilmiştir.

2 Materyal ve metod

Bu bölümde, rehabilitasyon uygulamalarına yönelik, el ve parmak hareketlerini taklit eden robotik el sisteminin donanımsal ve yazılımsal tasarımına ait detaylar sunulmaktadır. Çalışmada, IMA etkileşiminde insan arayüzü kısmında el hareketlerinin algılanması amacıyla bir eldiven; el hareketlerinin yansıtılması ve kullanıcıya geri bildirim sağlanması amacıyla makine arayüzü kısmında ise bir robot el prototipi kullanılmıştır.

2.1 Donanımsal tasarım

Bu çalışmada geliştirilen sisteme ait blok diyagram Şekil 1'de görülmektedir. El ve parmak hareketlerinin algılanması amacıyla, sistemin insan arayüzü kısmında, hareketlerin algılanması için, giyilebilir bir eldiven üzerine bir adet esneklik sensörü ve bir adet IMU sensörü yerleştirilmiştir.

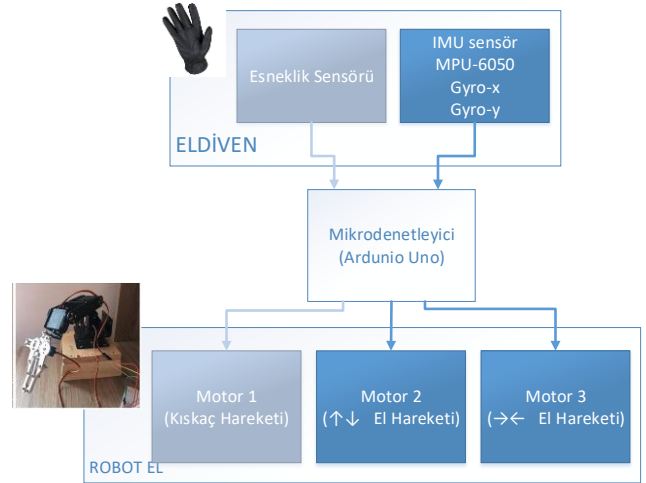
Esneklik sensörü, robot el prototipinin üzerindeki kısıp hareketlerini kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Esneklik sensörü, bükülme derecesine göre direnç değeri değişen bir sensör çeşididir. Sensörün bükülme derecesi sıfır iken, yani sensör düz konumdayken, gösterdiği direnç değeri sıfır iken, sensör bükülmeye başladıkça okunan direnç değeri de artmaktadır. Bu çalışmada esneklik sensörü, Şekil 2'de görülen giyilebilir eldiven üzerinde işaret parmağı üzerine yerleştirilmiştir.

IMU sensörü, herhangi bir nesnenin üç farklı x, y ve z ekseninde olmak üzere lineer ivmelenme ve açısal hızını ivmeölçer ve jiroskop sensörleri aracılığıyla ölçen bir modüldür. Jiroskop sensörü, sabit duran bir nesnenin üç ekseninde de hareketlerini açısal oranlarla karşılaştırarak açısal hızını ve yönünü ölçer [7]. Bu çalışmada, el hareketlerinin algılanması için MPU-6050 IMU sensörü kullanılmıştır. MPU 6050 üç eksenli jiroskop ve üç eksenli açısal ivmeölçer bulunduran toplamda üç eksen altı veri elde eden bir IMU sensör kartıdır. Kart üzerinde bir voltaj regülatörü bulunur ve 5-3.3 V dönüşüm sağlamaktadır. I²C haberleşme protokolü ile çalışmaktadır. Her eksende 16 bitlik bir çıkış üretmektedir.

IMU sensörü, pitch, roll ve yaw olmak üzere üç eksendeki eksen açılarının ölçülmesini sağlar. Pitch y ekseninin etrafındaki dönüşü, roll x ekseninin etrafındaki dönüşü ve yaw ise z ekseninin etrafındaki hareketi temsil etmektedir. Pitch, roll ve yaw eksenlerindeki el hareketleri Şekil 3'te

görülmektedir. Bu çalışmada elin aşağı-yukarı ve sağ-sol yönlü hareketlerini algılayabilmek için IMU sensörün sırasıyla pitch ve roll eksenlerindeki açıların çıkış değerleri kullanılmıştır. Giyilebilir eldiven üzerine yerleştirilen esneklik sensörü ve IMU Şekil 2'de görülmektedir.

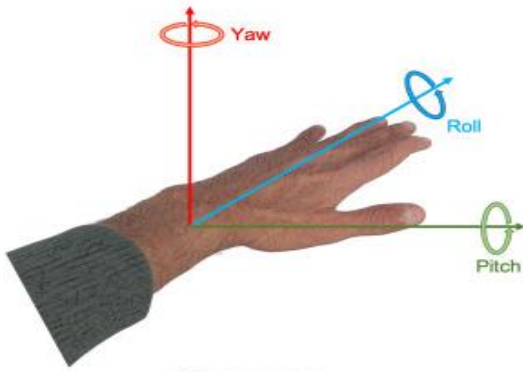
Bu çalışmada, çıkış birimi, kullanıcıya yaptığı el hareketleri ile ilişkili hareketleri sonucunu izleme ve bu yolla geri bildirim sağlamak amacıyla kullanılırken aynı zamanda kullanıcının görev tamamlama motivasyonunun artırılmasını sağlamaktadır. Çıkış birimi olarak üzerinde dört adet servo motor kullanılan bir robot el prototipi modeli kullanılmıştır. Bu motorlardan bir tanesi, parmak hareketleri ile kontrol edilen kısıp kontrol ederken, diğer iki tanesi el eklem noktalarındaki hareketleri kontrol etmektedir. Çalışmada çıkış birimi olarak kullanılan robot el prototipi, el hareketleri ile ilişki eksen hareketleri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 1. Sistem blok diyagramı

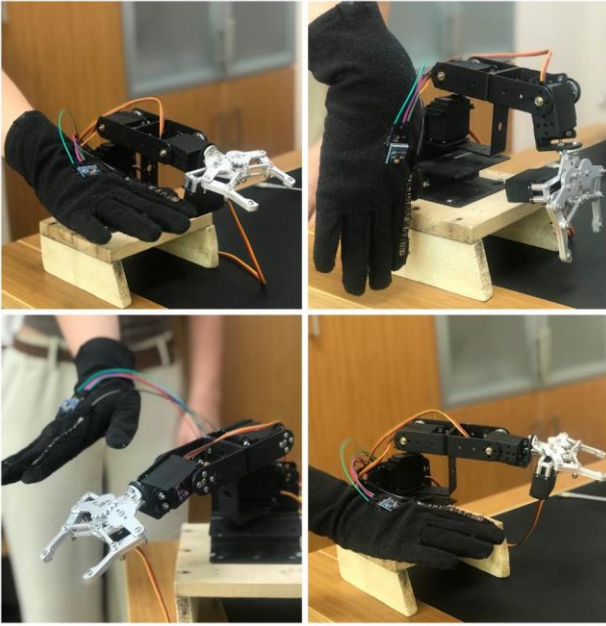


Şekil 2. Kullanıcı birimi: Giyilebilir eldiven



Gyroscope

Şekil 3. IMU sensörün jiroskop hareket eksenleri



Şekil 4. Çıkış birimi: Robot el prototipi ve eksen hareketleri

2.2 Kontrol algoritması

Çalışmada geliştirilen robot el prototipinin kontrol algoritması Şekil 5'te görülmektedir. İlk olarak eldiven üzerindeki sensörlerden alınması istenilen başlangıç parametre değerleri ve değişken tanımlamaları yapılmıştır. Eldiven üzerinde yer alan esneklik sensörü ile MPU-6050 sensöründen gelen açı değerleri okunarak, kontrol algoritmasında belirlenen değişkenlere atanmıştır.

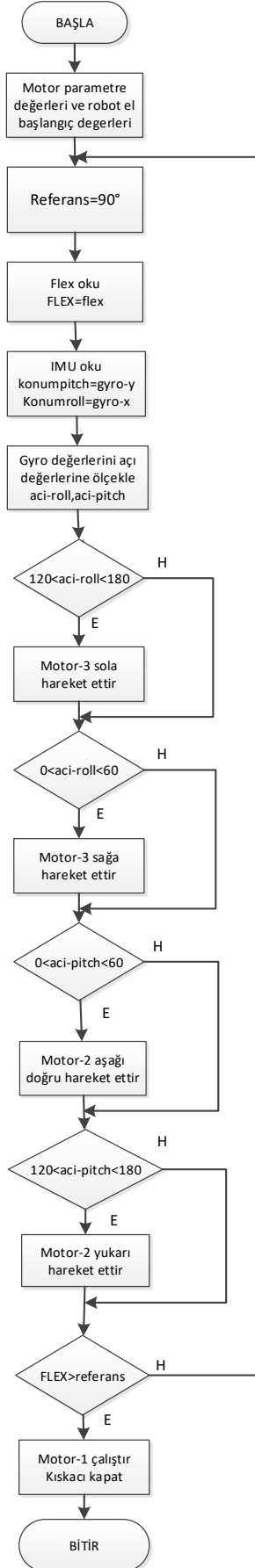
Esneklik sensörü bükülme mantığı ile dirençli değişen bir devre elemanıdır. Bu sensör kullanılarak robot el prototipinin kısaç hareketinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Kısaç hareketi parmak görevi görerek 0 ve 90° açı değerlerine uygun olarak çalışmaktadır. Eldiven üzerinde işaret parmağı üzerinde dikilerek kullanılan esneklik sensörü ile kısaç hareketi açılmakta ve kapanmaktadır. Algoritma oluşturulurken ve parmağın konumuna uygun açı değerleri belirlenirken, arduino seri port ekranı üzerinde esneklik sensörü için okuma yapılmıştır. Sensörün bükülme derecesi ile değişen direnç değerleri saptanarak 650 ohm direnç

değeri referans alınmıştır. Parmağın 0° konumunda iken kısaç ağzı açık konumda bulunurken, parmağın 90° ve üstü açılarda bükülü durumda iken kısaç kapanma hareketini gerçekleştirmektedir. Açı değerlerinin belirlenmesinin ardından, uygun açı değerlerine karşılık gelen kısaç hareketleri algoritmada tanımlanmış, robot el prototipinin kısaç hareketini kontrol eden motorunun çalışması sağlanmıştır.

Çalışmada IMU sensör olarak MPU-6050 kullanılmıştır. Çalışmada IMU sensörün x ve y eksenleri kullanılmıştır. X eksenini ile robot el prototipinin sağa ve sola olmak üzere 0-180° arasında el hareketini gerçekleştirilmektedir. Başlangıç pozisyonunda el düz konumda iken x ve y eksenleri 90°'lik açıya karşılık gelmektedir. Elin istenmeden yapılabilecek hareketlerini önlemek için 60-90° ve 90-120° hareketler değerlendirme dışı bırakılarak bir güvenlik aralığı oluşturulmuştur. X ekseninde 0-60 ve 120-180° açıları arasında ise elin x ekseninde sırasıyla sağ ve sola olmak üzere hareketi gerçekleştirir. IMU sensör 60-120° açıları arasında bir açı değeri algırsa ise robot el prototipi hareket etmemektedir. Bu aralık robot el prototipinin daha hassas hareket etmesi ve eldeki ufak açı değişimlerini algılamayarak hareket etmemesi için ayrılmıştır. Y eksenindeki açı değeri ise robot el prototipinin aşağı ve yukarı yönündeki hareketi IMU ile algılanarak ölçülmektedir. Elin 0-60° arasındaki açı değişimlerine göre robot el prototipinin aşağı, 120-180° hareketi ile robot el prototipinin yukarı doğru hareket etmesi sağlanmaktadır. Açı değerleri, kullanıcıların hareket yetenekleri dikkate alınarak kişiye özel olarak belirlenebilir. Ölçülen açı değerleri ölçeklenerek servo motorları kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır.

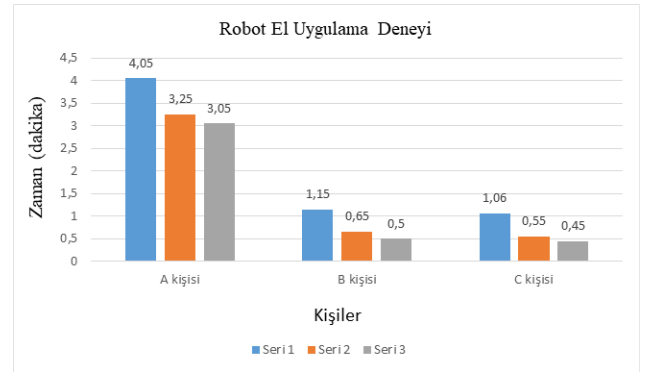
3 Bulgular ve tartışma

Bu çalışma ile, sağlık alanında rehabilitasyona ihtiyaç duyan hastaların el hareketlerini taklit etmesi yoluyla el ve parmak hareketlerinin iyileşmesine yardımcı olabilecek bir rehabilitasyon robotunun prototipi geliştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen sistemin kullanılabilirliği, silindirik bir cismin mevcut konumundan hedeflenen konuma taşınması için geçen sürenin ölçülmesi üzerinden değerlendirilmiştir. Bu amaçla, farklı yaş ve cinsiyette üç sağlıklı kullanıcının tasarlanan giyilebilir eldiveni giyerek önerilen senaryodaki görevi tamamlamaları istenmiştir. Deney öncesinde, katılımcılara robot elin hareket eksenleri ve eldiven yardımı ile nasıl kontrol edilebileceği, hangi sensörlerin hangi görevleri yapmakta kullanılacağı anlatılmış ve uygulamalı olarak gösterilmiştir. Deney süresince uygulanan senaryoya göre, tüm denekler başlangıç noktasında durmakta olan ağırlığı 250 gram silindirik bir cisim 80 cm uzaklıktaki hedef noktaya bırakmakta, ikinci aşamada ise aynı nesneyi bulunduğu noktadan alarak başlangıç noktasına geri götürerek bırakmaktadır. Bu deney her bir kişi için üç defa tekrar etmiş ve görevi tamamlama süreleri kaydedilmiştir. Üç denek için her tekrarda verilen görevin tamamlanması için geçen süreler Şekil 6'da gösterilmiştir



Şekil 5. Kontrol algoritması akış diyagramı

Buna göre, denek A'nın üç denemesinde verilen görevi tamamlama süresi sırasıyla 4.05, 3.25 ve 3.05 dakika olduğu görülmektedir. Denek B üç görevi sırasıyla 1.15, 0.65 ve 0.5 dakikada tamamlamıştır. Denek C ise 1.06, 0.55 ve 0.45 dakikada verilen görevi tamamlamıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, tüm deneklerin verilen görevi tamamlama süreleri farklılık göstermektedir. Deney süreleri incelendiğinde, katılımcıların her bir denemede görev tamamlama sürelerinin kısaldığı ve sistemi kullanım hızlarının arttığı görülmüştür. Verilerden yola çıkarak uygulama sayısının artmasının, deneyin daha fazla uyum sağlayarak eldivenle robot el prototipinin daha aktif ve kolay kullanılmasını sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 6. Kullanıcıların görev tamamlama süreleri

IMA tabanlı rehabilitasyon sistemleri, hastaların rehabilitasyon süreçlerinin sürekliliğinin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda, çıkış biriminin sanal gerçeklik ve oyun tabanlı sistemler üzerinden sağlandığı birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak mevcut ticari oyunlar rehabilitasyon sistemlerinde hastalığa özgü durumlar için uygun olmayabilmektedir. Bu nedenle hastalığa ve amaca yönelik oyunların tasarlanması gerekmektedir. Rehabilitasyon amacına yönelik olmayan sanal gerçeklik cihazlarının kullanımı ise klinik çıktıların değerlendirilmesini zorlaştırabilmektedir. Çıkış birimi olarak robotik sistemlerin kullanımının, hastalara hareket, hareket kuvveti ve yoğunluğuna ilişkin önemli geri bildirimler sağlayabilme avantajları bulunmaktadır [13].

Literatürde, el rehabilitasyon sistemlerinin geliştirilmesinde hem IMU sensörler hem de esneklik sensörleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Rehaimi ve arkadaşları [24] el bileğinin rehabilitasyonu amacıyla esneklik sensöründen faydalanmıştır. Garda ve arkadaşları [25] esneklik sensörleri ile bir rehabilitasyon sistemi üzerine çalışmıştır. Öte yandan, IMU sensör de çeşitli çalışmalarda el rehabilitasyonu amacıyla kullanılmıştır [15, 22, 23]. Ancak bu çalışmalarda IMU sensör ve esneklik sensörleri genellikle ayrı sistemlerde kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, IMU ve esneklik sensörünün bir arada kullanılması ile el ve parmak rehabilitasyonunun aynı anda uygulanmasını sağlayabilecek bir sistem önerilmiştir.

4 Sonuçlar

Rehabilitasyon, hastaların hareket yeteneklerini geri kazanmalarını sağlamak için fizyoterapistler eşliğinde sürdürülen, bir terapi sürecidir. Rehabilitasyon sürecinin devamlılığı terapinin başarısı açısından önemlidir, bu nedenle hastaların rehabilitasyon süreçlerini evlerinde devam ettirecekleri uygulamaların geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bununla birlikte, rehabilitasyon sürecinde, hastaların kendilerine verilen motivasyonel görevleri tamamlamalarına ilişkin geri bildirim verilmesi, özellikle hareket hissi kaybı yaşayan hastalara hareketlerin öğretilmesi ve sürecin başarısı açısından önemlidir.

Bu çalışmada, el rehabilitasyonu uygulamalarında kullanılmak üzere el ve parmak hareketlerini taklit eden bir robot el prototipi tasarlanmıştır. Kullanıcıların kendilerine verilen görevi, kendi el hareketlerini taklit eden ile bir robot el prototipi yaptırılmaları ve robot el prototipinin hareketlerini izleyerek geri bildirim almaları sağlanmaktadır. Rehabilitasyon amaçlı geliştirilen bu uygulama aynı zamanda endüstriyel alanda ve bomba imha robotları gibi güvenlik gerektiren işlerde de kullanılmak üzere modifiye edilebilir. Ayrıca geliştirilen bu uygulamanın daha hızlı tepki süreleri ve yüksek hassasiyetli denetiminin sağlanması için çeşitli kontrol algoritmaları ile denetlenmesi üzerine çalışmalar sürdürülebilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %7

Kaynaklar

- [1] A. Mandeljc, A. Rajhard, M. Munih, R. Kamnik, Robotic Device for Out-of-Clinic Post-Stroke Hand Rehabilitation. *Applied Sciences*, 12 (3), 1092, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12031092>.
- [2] P. Polygerinos, Z. Wang, K.C. Galloway, R. J. Wood, C.J. Walsh, Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation. *Robotics and Autonomous Systems*, 73, 135-143, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.08.014>.
- [3] M. Mulas, M. Folgheraiter, G. Gini, An EMG-controlled exoskeleton for hand rehabilitation. 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. 371-374, 2005. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2005.1501122>.
- [4] S. Almasi, H. Ahmadi, F. Asadi, L. Shahmoradi, G. Arji, M. Alizadeh, H. Kolivand, Kinect-Based Rehabilitation Systems for Stroke Patients: A Scoping Review. *BioMed Research International*, 4339054, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4339054>.
- [5] Y.X. Hung, P.C. Huang, K.T. Chen, W.C. Chu, What Do Stroke Patients Look for in Game-Based Rehabilitation: A Survey Study. *Medicine (Baltimore)*, 95 (11), e3032, 2016. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003032>.
- [6] D. Esposito, J. Centracchio, E. Andreozzi, G.D. Gargiulo, G.R. Naik, P. Bifulco, Biosignal-Based Human-Machine Interfaces for Assistance and Rehabilitation: A Survey. *Sensors (Basel)*, 15, 21(20), 6863, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21206863>.
- [7] H.P. Singh, P. Kumar, Developments in the Human Machine Interface Technologies and Their Applications: A Review. *J. Med. Eng. Technol*, 45, 552-573, 2021. <https://doi.org/10.1080/03091902.2021.1936237>.
- [8] Z. Yue, X. Zhang, J. Wang, Hand Rehabilitation Robotics on Poststroke Motor Recovery. *Behav Neurol*, 2017:3908135, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3908135>.
- [9] Kabir R, Sunny MSH, Ahmed HU, Rahman MH. Hand Rehabilitation Devices: A Comprehensive Systematic Review. *Micromachines (Basel)*. 2022 Jun 29;13(7):1033. <https://doi.org/10.3390/mi13071033>.
- [10] H. Feng, C. Li, J. Liu, L. Wang, J. Ma, G. Li, L. Gan, X. Shang, Z. Wu, Virtual Reality Rehabilitation Versus Conventional Physical Therapy for Improving Balance and Gait in Parkinson's Disease Patients: A Randomized Controlled Trial. *Med Sci Monit*, 25, 4186-4192, 2019. <https://doi.org/10.12659/MSM.916455>.
- [11] P. Tokgöz, S. Stampa, D. Wähnert, T. Vordemvenne, C. Dockweiler, Virtual Reality in the Rehabilitation of Patients with Injuries and Diseases of Upper Extremities. *Healthcare (Basel)*, 10, 6, 1124, 2022. <https://doi.org/10.3390/healthcare10061124>.
- [12] R. Feingold-Polak, O. Barzel, S.A. Levy-Tzedek, A robot goes to rehab: a novel gamified system for long-term stroke rehabilitation using a socially assistive robot—methodology and usability testing. *Journal NeuroEngineering Rehabilitation*, 18, 122, 2021. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00915-2>.
- [13] Y. Chen, K.T. Abel, J.T. Janeczek, Y. Chen, K. Zheng, S.C. Cramer, Home-based technologies for stroke rehabilitation: A systematic review. *Int J Med Inform*, 123, 11-22, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.101612>.
- [14] N. T. Fitter, K.J. Kuchenbecker, Teaching a Robot Bimanual Hand-Clapping Games via Wrist-Worn IMUs. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, 85, 2018. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00085>.
- [15] A.D. Segal, M.C. Lesak, A. K. Silverman, A.J. Petruska, A Gesture-Controlled Rehabilitation Robot to Improve Engagement and Quantify Movement Performance. *Sensors*, 20, 15, 4269, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20154269>.
- [16] C. Liu, J. Lu, H. Yang, K. Guo, Current State of Robotics in Hand Rehabilitation after Stroke: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 12, 9, 4540, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12094540>.

- [17] A. Norhafizan, R.A.R. Ghazilla, N.M. Khairi, V. Kasi, Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications. *International Journal of Signal Processing Systems*, 1, 2, 256-262, 2013. <https://doi.org/10.12720/ijsp.1.2.256-262>.
- [18] S. Li et al., "A Mobile Robot Hand-Arm Teleoperation System by Vision and IMU. 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 10900-10906, Las Vegas, NV, USA, 2020. <https://doi.org/10.1109/IROS45743.2020.9340738>.
- [19] M. Kim, J. Cho, S. Lee, Y. Jung, IMU Sensor-Based Hand Gesture Recognition for Human-Machine Interfaces. *Sensors*, 19, 18, 3827, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19183827>.
- [20] M. Meghana et.al., Hand gesture recognition and voice controlled robot. *Materials Today: Proceedings*, 33, 7, 4121-4123, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.553>.
- [21] Y. Ozlük, E.A. Aydın, Fuzzy Logic Control of a Head-movement Based Semi-autonomous Human-machine Interface. *Journal of Bionic Engineering*, 20, 645–655, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42235-022-00272-3>.
- [22] X. Song, V. De Ven SS, L. Liu, F.J. Wouda, H. Wang, P.B. Shull, Activities of Daily Living-Based Rehabilitation System for Arm and Hand Motor Function Retraining After Stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 30, 621-631, 2022. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3156387>.
- [23] K.M. Triandafilou, D. Tsoupikova, A.J. Barry, Development of a 3D, networked multi-user virtual reality environment for home therapy after stroke. *J NeuroEngineering Rehabil*, 15, 88, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0429-0>.
- [24] A. Raheimi, N.A.C. Zakaria, Integration of Flex Sensor into Wrist Exoskeleton for Rehabilitation of Stroke Patient. *Basic Engineering Procedia*, 1, 1, 48-57, 2020.
- [25] Y.R. Garda et al, Flex Sensor Based Biofeedback Monitoring for Post-Stroke Fingers Myopathy Patients. *J. Phys. Conf. Ser.* 1007, 012069, 2018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1007/1/012069>.

