



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Hareket Yakalama ve Sanal Gerçeklik Teknolojileri Kullanarak Oyun Tabanlı Rehabilitasyon¹

 Ali Hakan IŞIK^a,  Ferdi ALAKUŞ^b,  Ömer Can ESKİCİOĞLU^{b,*}

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

^b Itech Robotik Otomasyon Yenilenebilir Enerji Eğitim Medikal Taahhüt Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Isparta, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: eskiciogluomer@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1015397

ÖZ

İnsanların kas ve sinir sisteminin tahribatı ile ortaya çıkan hastalıklar hayat kalitesi üzerinde ciddi etkiler göstermektedir. Bu hastalıklardan en önemlilerden biri hemiplejidir. Hemipleji, diğer bir adıyla kısmi felç, vücudun sol ve sağ bölgelerini etkileyen sinir sistemi hastalığıdır. Söz konusu hastalıkta, bireylerin beyinlerinde meydana gelen hasarlardan dolayı hareket edememe veya hareket etmekte güçlük yaşanması gibi sorunlar oluşmaktadır. Bu hastalıkta tedavi ve rehabilitasyon aşaması son derece önemlidir. Hastalığı erken teşhis ederek rehabilitasyon süreci hemen başlatılmalıdır. Diğer vücut fonksiyonlarına zarar verilmeden iyileşme sağlanması tedavinin temel amacıdır. Çalışmamızda, rehabilitasyon süreci aşamasındaki hastaların hareketlerini algılayarak, oyun tabanlı bir sanal gerçeklik uygulaması geliştirilmiştir. Hastanın parmaklarına 10 adet esneklik sensörü ve eklemlerine 13 adet MPU9250 eğim sensörü olmak üzere toplamda 23 adet sensör yerleştirilmiştir. Sensörlerden alınan veriler öncelikle kalibre edilmiştir. Kalibre edilmiş sensörlerden, sanal gerçeklik gözlüğüne gelen gerçek zamanlı veriler ile hemipleji hastalarının hareketleri algılanmıştır. Hemipleji hastalarına uzman fizyoterapistler tarafından verilen hareketlere uygun oyun modu tasarlanmıştır. Sanal gerçeklik gözlüğü takılı olan hasta, oyun moduna göre oyun oynayabilmektedir. Gözlükte gösterilen ve uygulanması istenilen oyun, fizyoterapistler tarafından belirlenmiş hareketlere bağlı bir oyundur. Çalışmanın hemipleji hastalarının iyileşme sürecine önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hemipleji, Rehabilitasyon, Sanal gerçeklik, Hareket yakalama, Oyun

Game Based Rehabilitation Using Motion Capture and Virtual Reality Technologies

ABSTRACT

Diseases that occur with the destruction of the muscle and nervous system of people have serious effects on the quality of life. One of the most important of these diseases is hemiplegia. Hemiplegia, also known as partial paralysis, is a nervous system disease that affects the left and right parts of the body. In the aforementioned disease, problems such as inability to move or having difficulty in moving occur due to damage to the brains of individuals. The treatment and rehabilitation phase of this disease is extremely important. By diagnosing the disease early, the rehabilitation process should be started immediately. The main aim of treatment is to achieve recovery without harming other body functions. In this study, a game-based virtual reality application was

developed by detecting the movements of the patients in the rehabilitation process. 10 flexibility sensors were placed on the fingers of the patients and 13 MPU9250 inertial measurement unit were placed on their joints. A total of 23 sensors were used. The data received from the sensors are first calibrated. The movements of hemiplegia patients were detected with real-time data coming from the calibrated sensors to the virtual reality glasses. A game mode has been designed in accordance with the movements given to hemiplegic patients by expert physiotherapists. The game shown on the glasses and requested to be applied is a game based on the movements determined by the physiotherapists. It is thought that the study will contribute significantly to the healing process of hemiplegia patients.

Keywords: Hemiplegia, Rehabilitation, Virtual reality, Motion capture, Gaming

¹ICAAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 27/10/2021, Düzeltme: 11/12/2021, Kabul: 16/12/2021

I. GİRİŞ

Günümüzde vasküler bir nedenden kaynaklanan fokal nörolojik defisit ismiyle bilinen inme, hastanın uzun süreli sıkıntılı süreçlerden geçmesi ve sıkça yatırılarak tedavi edilmesine neden olmaktadır [1]. Dünya Sağlık Örgütüne (DSÖ) göre hemipleji yani inmenin orta ve yüksek gelirli ülkelerde uzun süreler boyunca hareket kaybının başlıca sebeplerinden biridir. Dünya da en çok karşılaşılan beyin ve sinir hastalığıdır. Hemiplejinin birden fazla nedeni olabilmektedir. En sık karşılaşılan nedeni beyin damarlarına bağlı olan hastalıklardır. İleri yaş, obezite, şeker hastalığı, kalp rahatsızlıkları, genetik faktörler, sedanter yaşam, şeker hastalığı, hipertansiyon, sigara ve alkol kullanımı gibi nedenler, bireyler için önemli risk faktörleri oluşturmaktadır [2]. Hemiplejinin birçok belirtisi vardır. Hasarın büyüklüğüne ve şiddetine göre belirtileri değişebilmektedir. Yürüme, denge, konuşma ve duyu bozuklukları, uyuşma hissi, zaman-yer kavramını algılama bozukluğu, hafıza kaybı, kısmi felç belirtileri ve hareket kaybı sıkça görülen belirtileridir. Bu belirtilerin temel sebebi hastalığın sinir sisteminde bıraktığı hasardan kaynaklanmaktadır [3].

Dijital elektroniğin gelişmesiyle tıp alanında birçok kullanım alanı oluşmaktadır. En küçük tıbbi aletlerden MR makinelerine kadar olan bu yelpazede elektronik devre kartları ve sensörler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bileşenler hassas ölçümler yaparak hastalık hakkında önemli sonuçları sağlık personeline sunmaktadır.

Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojilerin hayatımıza girmesine paralel olarak tıp sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Bu teknolojilerin rehabilitasyon aşamasındaki hastalar üzerinde kullanılması durumunda iyileşme sürecini hızlandırmaktadır. Sunulan çalışmadaki sanal gerçeklik ve oyun tabanlı rehabilitasyon ile hemipleji hastalarının iyileşme sürecine önemli katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Literatürde farklı sensörler veya kamera ile rehabilitasyon hareketlerinin izlenmesi ve analizi yapılmaktadır. Konuyla ilgili literatür araştırmaları incelendiğinde benzer çalışmaların olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar;

Fidan.U. ve arkadaşı tarafından yapılan çalışmada Parkinson, Serabral Palsi ve Hemipleji gibi nöral hastalıkların rehabilitasyonunda, sanal gerçeklik tabanlı hastalık takibini yapan bir sistem önerilmektedir. Çalışmada hastanın konumunu saptamak için kinect sensörü kullanılmıştır. Unity 3D oyun motorundan yararlanılarak yapılacak rehabilitasyon hareketleri ile ilgili gerekli bilgiyi fizik tedavi uzmanına internet yoluyla bilgilendirmektedir [3].

Mirzayev İ. tarafından yapılan çalışmada Başkent Üniversitesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniğine rehabilitasyon için gelen 42 hasta sanal gerçeklik ve kontrol grubu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Her gruba belirli aralıklar ile üst ekstremité rehabilite programı uygulanmıştır. Sanal gerçeklik grubuna ek olarak Dr Kawashima's vücut ve beyin egzersizleri yaptırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde Üst Ekstremité Motor Değerlendirme sonuçları sanal gerçeklik grubunda gelişim gösterdiği belirlenmiştir. Hemipleji hastalarına rehabilitasyon aşamasında sanal gerçeklik tabanlı egzersizler önerilmektedir [2].

Bayraktar E. çalışmasında sanal gerçekliğin uygulama alanlarıyla ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Sanal gerçekliğin, eğitim, e-ticaret, imalat, tıp ve eğlence dünyasında kullanıldığı belirlenmiştir. Bu teknolojinin eksiklikleri ve güçlü bulunduğu yönler incelenerek sektörlerde nasıl kullanıldığı belirlenmiştir [4].

Thewlis D. et al. tarafından yapılan çalışmada sanal gerçeklikte kullanılan kinect kameralar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Vicon MX-f20 system ile Natural Point OptiTrack system arasındaki farklar belirlenmiştir. Düşük bütçeli kameraların üst düzey sistemler ile benzer performansta olduğu gözlemlenmiştir. Sınırlı bütçeli laboratuvarlarda düşük bütçeli kinect kameralar kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar verdiği ve daha az maliyetli bir çözüm olarak önerilmektedir [5].

Chanpimol S. et al. tarafından yapılan çalışmada Traumatic Brain Injury (TBI) olan hastalara Xbox kinect hareket yakalama oyunları yardımıyla rehabilitasyon sonuçlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Sonuçlar hastalar üzerinde analiz edilmiş ve şiddetli TBI geçiren hastaların dinamik denge değerlerinde iyileşme gözlemlenmiştir [6].

Carlson N.J. et al. tarafından yapılan çalışmada Emergent Endotracheal Entubation (ETI) tekniğindeki laringoskop ve sol elin hareketlerini hareket yakalama teknolojisiyle uygulanabilirliği test edilmiştir. Kullanılan teknolojinin mevcut potansiyelinin olduğu anlaşılmaktadır [7].

Wierschem C. D. et al. tarafından yapılan çalışmada tekrarlayan insan hareketlerinden veri toplamak, depolamak ve analiz etmek için hareket yakalama teknolojisi kullanılmıştır. Önerilen yöntemle göre tekrarlayan hareket kalıplarını belirleyip istatistiksel olarak hareketteki sapmalar öngörülmüştür [8].

Jebeli M. et al. tarafından yapılan çalışmada sağlık alanında hareket yakalamak için kullanılacak olan kinect sensörünün yeterliliği incelenmiştir. Yürüyüş analiz laboratuvarında Vicon hareket yakalama sistemi ile kinect 3D verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kinect sensör endüstriyel ortamda yeterli olarak görülmüştür [9].

Park W. S. et al. tarafından yapılan çalışmada Motion Capture System (MCS), 1 boyutlu (1D) ve 2 boyutlu (2D) yer değiştirme sensörlerinden farklı olarak hareketlerin hassas bir şekilde ölçümü yapılmıştır. MCS, öncelikle kameralar ile 2D koordinatlarını ölçmektedir. Bu ölçümler 3D koordinatları hesaplamak için kullanılmaktadır. Çalışmada MCS ile üç boyutlu (3D) yer değişimi için farklı bir yöntem sunulmaktadır [10].

Fernandez-Baena A. et al. tarafından yapılan çalışmada kinect hareket yakalama sensörünün alt ve üst vücut eklemlerinin rehabilitasyonunda kullanılmasına değinilmektedir. Böylelikle hastanın ucuz bir yol ile rehabilitasyonunun kontrol süreci sağlanacağı öngörülmektedir [11].

Sakaguchi T. et al. tarafından yapılan çalışmada gerçek zamanlı olarak çalışan bir hareket yakalama sistemi yapılmıştır. İvmeölçer ve jiroskop sensörü yerleştirilerek kol hareketlerinin takibi ve analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma ışığında potansiyel hassasiyet, simulasyon ve deney ile doğrulaması yapılmıştır [12].

Pruna E. et al. tarafından yapılan çalışmada YEI 3-Space Mocap movement capture devices kullanarak alt ekstremitte rehabilitasyonu için Unity 3D ortamında 2 adet oyun tasarlanmıştır. Fleksiyon, ekstansiyon ve güçlendirme hareketleri oyunlarda kullanılmıştır. Sistem 4 kişi tarafından kullanılıp test edilmiştir. Sistemin rehabilitasyon aşamasındaki hastalar için kabul edilebilir olduğu görülmektedir [13].

Fujimori Y. et al. tarafından yapılan çalışmada insan hareketlerini yakalamak ve verileri analiz edebilmek için bir yöntem önerilmektedir. STM32F103 CPU'su önerilen yöntemde ADXL330 (ivmeölçer), ADIS16255 (jiroskop) ve HMC6052 (manyetometre) gelen verileri işleyecektir. Dokunsal verilerden temas noktaları yardımıyla hareketlerini tahmin edilmiştir [14].

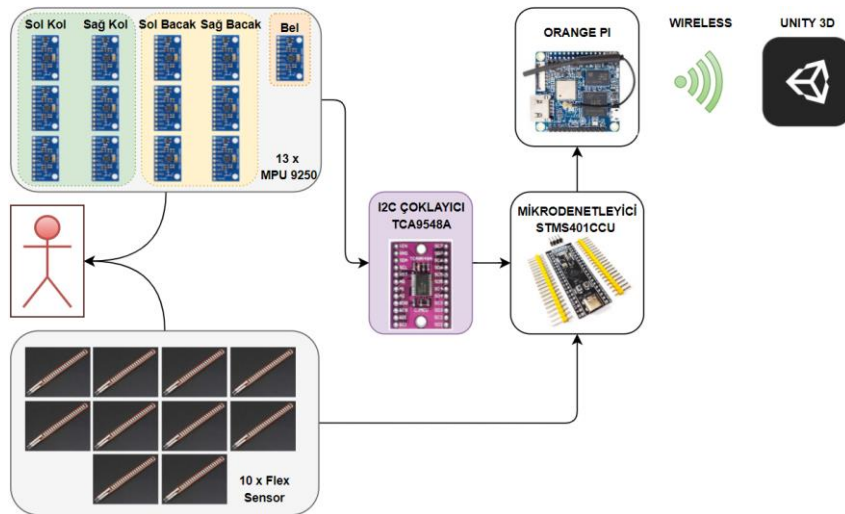
Gao L. et al. tarafından yapılan çalışmada kablosuz giyilebilir teknoloji yardımıyla hareket yakalama sensörleri ile toplanmış hareket verileri ve sinyaller incelenmektedir. Veri tabanındaki hareketlerle eşleştirmek için 3 kademeli tanıma algoritması kullanılmıştır. Böylelikle gerçek zamanlı olarak hareket tespiti yapılabilmektedir. Doktorlar, hastaları üzerinde fizyolojik parametrelerini sürekli olarak izleyebilmektedir [15].

Brigante C. et al. tarafından yapılan çalışmada giyilebilir bir sistem ile gerçek zamanlı olarak insan hareketlerini yakalamayı amaçlamaktadır. Önerilen sistem, insan vücuduna dağıtılan atalet ölçüm birimleri (IMUs) ağundan oluşmaktadır. Modüllerin her biri bir mikrodenetleyiciye ve sensörlere bağlıdır. Modüllerde, 3 eksenli ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre bulunmaktadır. Sistem hafifletilerek giyilebilir kıyafetlere yerleştirilmesi düşünülmektedir [16].

II. MATERYAL VE METOT

A. ÇALIŞMA MİMARİSİ VE TASARIMI

Çalışmamızda hemipleji hastalarının rehabilitasyon sürecine yönelik bir tasarım yapılmaktadır. Hastanın vücuduna 6 bacak, 6 kol ve 1 beline olmak üzere toplamda 13 adet MPU9250 sensörü yerleştirilmektedir. Ayrıca hastanın el parmaklarına 10 adet flex sensörü takılmaktadır. Toplamda vücuduna 23 sensör takılı olan hastanın 3 boyutlu görüntüsünü Unity 3D oyun motoruna aktarılması yapılmaktadır. Sensörler hastanın vücuduna takıldığında “ T ” sensör diziliminde kalibre edilmektedir. Hastada takılı olan 13 adet MPU9250 sensörlerindeki veriler hastanın belinde bulunan I2C bağlantı çoklayıcısında (TCA9548A) aktarılmaktadır. Çoklayıcıya gelen veriler STMS401CCU mikrodenetleyicisine gönderilmektedir. Ayrıca parmaklarda takılı olan 10 adet flex sensör verisi de mikrodenetleyiciye direkt olarak bağlanmaktadır. Kullanılan mikrodenetleyicide kablosuz ağa bağlanma özelliği bulunmadığından veriler Orange PI mini bilgisayarına gönderilmektedir. Orange PI'ye gelen veriler kablosuz ağ aracılığıyla Unity 3D oyun platformuna yüksek baund rate değeri ile aktarılmaktadır. Uzmandan alınan üst ve alt ekstremitte hareketlerine göre oyun tasarlanmaktadır. Rehabilitasyon programına göre tasarlanan oyun, hastadan alınan veriler ile gerçek zamanlı olarak Unity 3D oyun motoruna aktarılmaktadır. Sanal gerçeklik gözlüğü giymiş olan hasta kendi yaptığı hareketleri takılı olan sensörler yardımıyla görebilecektir. Oyunda bulunan hasta, karşısındaki figürün yapmasını istediği görevi yapmaya çalışacaktır. Böylelikle uzmanlar hastanın oyundaki rehabilitasyon hareketleri başarımlarını izleyebilmektedir. Sanal gerçeklik tabanlı oyunlar rehabilitasyon sürecindeki hastaların iyileşme aşamasını hızlandırdığı bilinmektedir [2]. Ayrıca hastaları bu sürece teşvik etmek ve daha eğlenceli hale getirmek amaçlanmıştır. Şekil 1’de çalışmanın temel mimarisi görülmektedir.



Şekil 1. Çalışmanın yapısı.

B. MİKRODENETLEYİCİ, SENSÖRLER VE KARTLAR

B. 1. Mpu9250

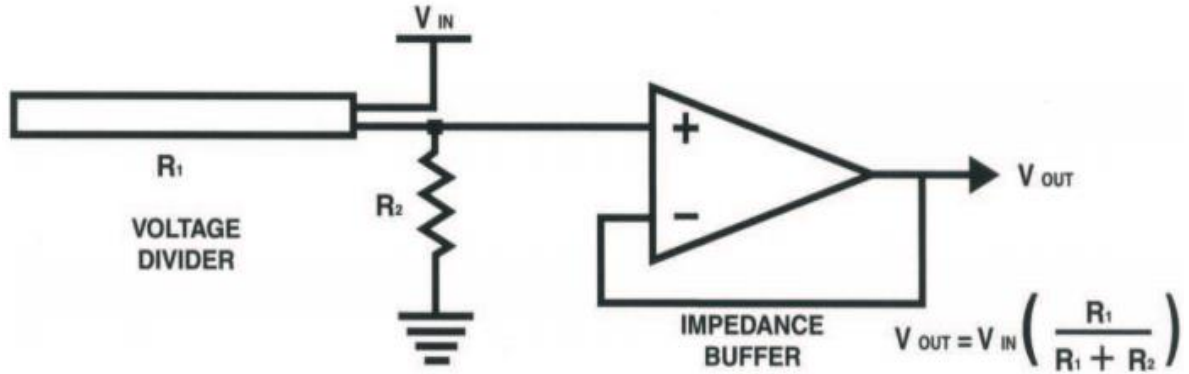
Jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre bulunan bir atalet ölçü birimi (IMU) tabanlı konum sistemi için çalışmada kullanılmıştır. MPU6050 ve 3 eksenli AK8963 manyetometresini beraber çalıştığı bir IMU'dur. Şekil 2' de bulunan MPU9250, 16 bitlik analogdan dijitale dönüştürücüler (ADC) kullanmaktadır [17].



Şekil 2. MPU9250.

B. 2. Flex Sensor

Sensör fiziksel olarak eğilebilen ve esneyebilen bir yapısı vardır. Yer değiştirmeden kaynaklı açı ölçümü yapabilmektedir [18]. Robotik, tıbbi cihazlar, oyun, müzik enstrümanlarında, fizik tedavi ve bilgisayar çevre birimlerinde kullanılabilir. Şekil 3'de sensörün tasarımı görünmektedir.



Şekil 3. Flex sensör devresi.

B. 3. Tca9548a

Şekil 4' te bulunan TCA9548A bir çoklayıcıdır. I2C veri yolu kullanır ve 8 çift yönlü anahtar içermektedir [19]. 8 adede kadar olan cihazları mikrodenetleyiciye bağlamamızı sağlar. Genişletme modülü olarak kullanılabilir [20].



Şekil 4. TCA9548A [18].

B. 4. Stms401ccu

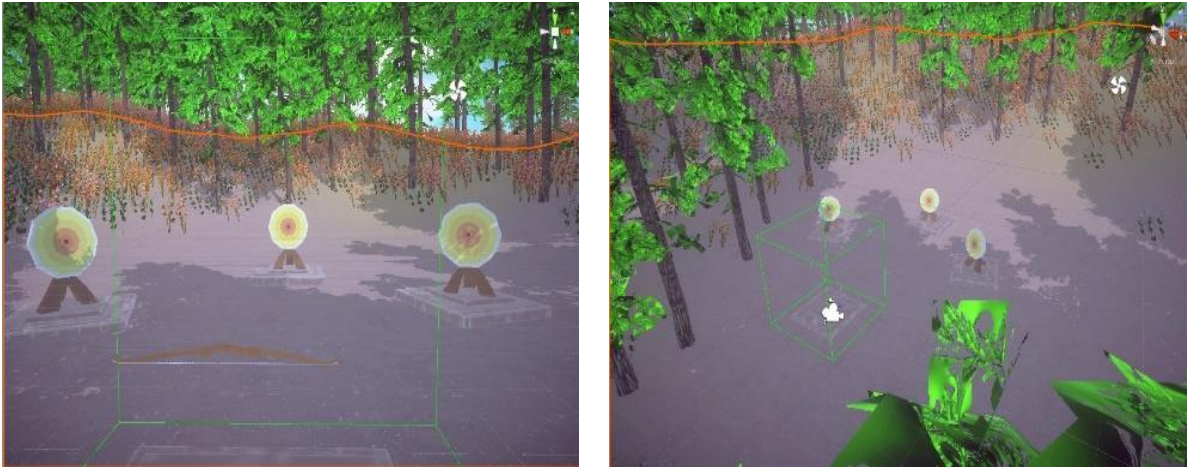
STM32 Dynamic Efficiency™ serisinin bir ürünüdür. İşleme performansı ile ve dinamik güç tüketimi ile en optimize dengeyi sağlamaktadır [20]. Cortex®-M4 çekirdeğini kullanmaktadır. Bu çekirdekte eski versiyonlarından farklı olarak dijital sinyal işleme (DSP) özelliği bulunmaktadır [21].

B. 5. Orange Pi

Ubuntu, Raspbian, Debian ve Android 4.4 işletim sistemlerine desteği bulunan mini bir bilgisayardır. Çalışmamızda PC Plus modeli kullanılmaktadır. 1 GB RAM'e sahiptir ve kablosuz ağlara bağlanabilmektedir.

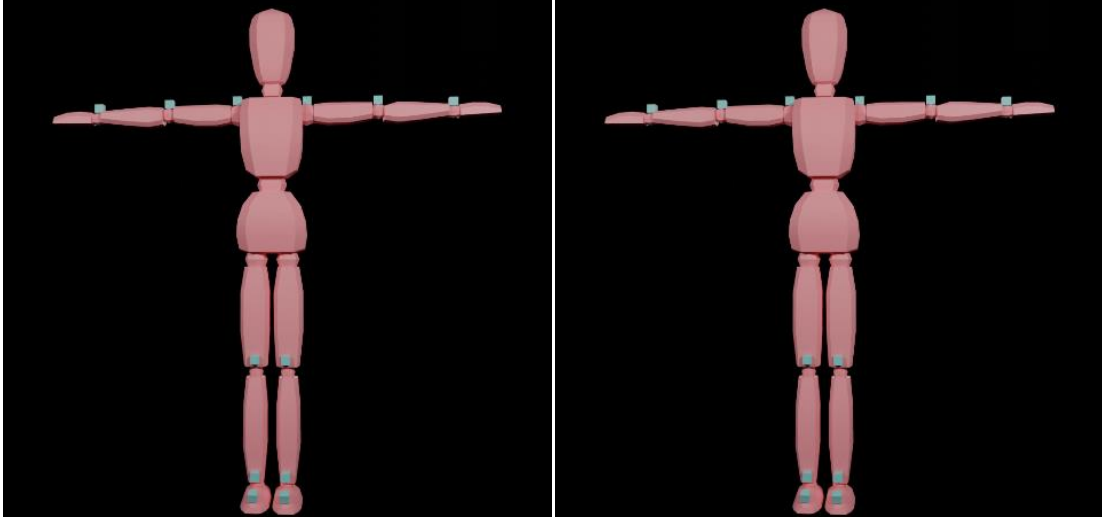
C. OYUN MOTORU

UNITY 3D : OpenGL ve DirectX için optimize edilmiş grafiklere sahiptir. Parçacık sistemleri, aydınlatmalar, gölgeler ve hareket halindeki ağlar çok hızlı çalışmaktadır. Ayrıca yağmur, şimşek, kıvılcım, rüzgar efektleri ve toz izleri gibi hayal gücüne dayalı bireysel işlemleri de desteklemektedir. [21]



Şekil 5. (a) Hasta bakış açısından oyun görünümü (b) Oyunun genel tasarımı.

Sanal gerçeklik gözlüğü takılı olan hastanın karşısına uzmanın yazdığı antrenman hareketlerine göre farklı oyunlar çıkmaktadır. Oyunda hasta kendini birinci bakış açısıyla görmektedir. Karşısındaki bulunan figüre veya istenilen talimatlara göre görev yapılması istenilmektedir. Hareketleri yapmaya çalışan hastadan, sensörler arasındaki açı değerleri alınarak hareket yapma yüzdeleri hesaplanmaktadır. Şekil 5’ te üst ekstremitate hareketlerine yönelik ok atma oyunu görülmektedir. Hasta oyun içindeyken yayı almalı ve ok yerleştirerek hedefleri vurmaya çalışmaktadır.

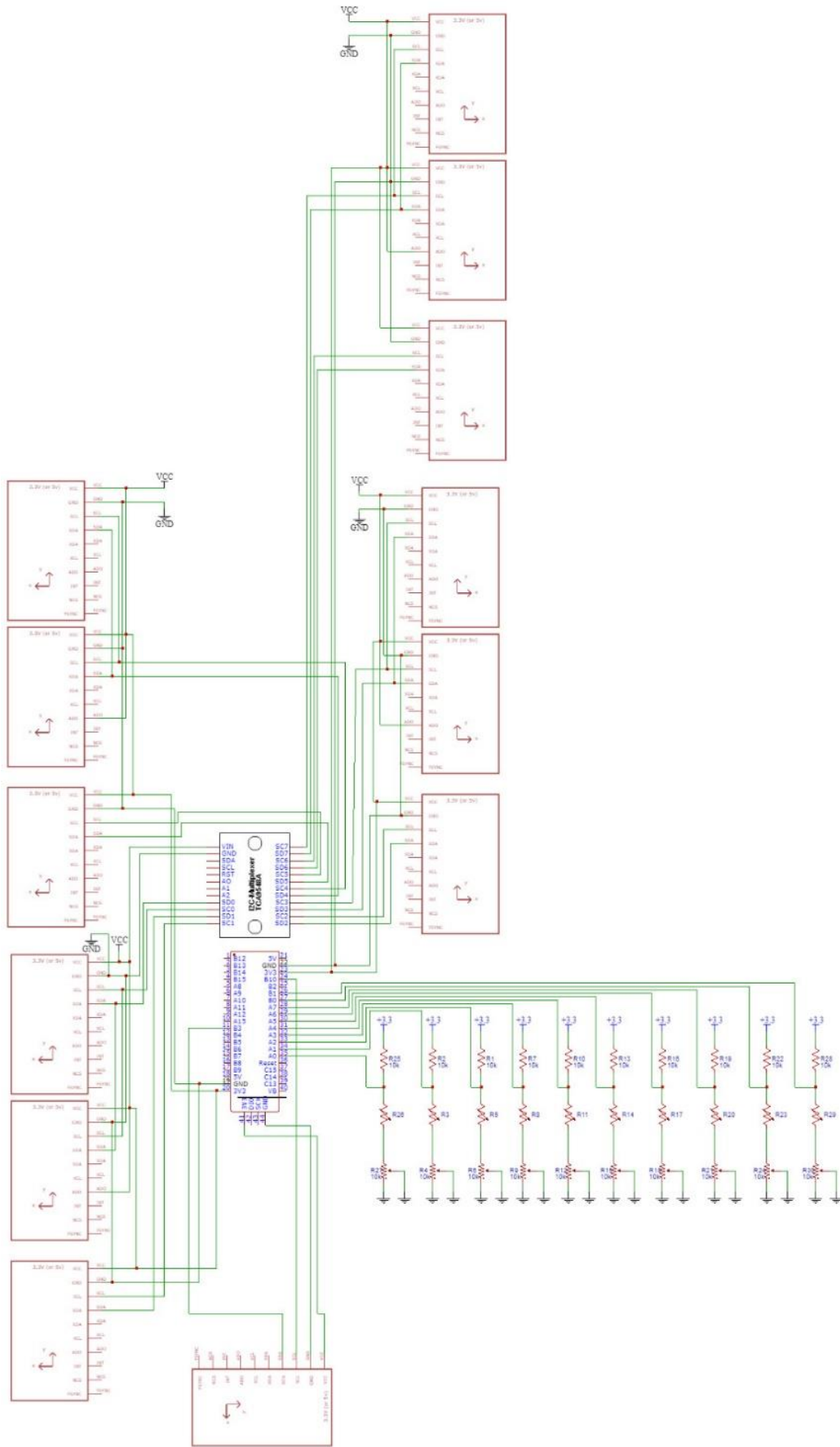


Şekil 6. (a) Vücutun ön yüzünün sensör dizilimi (b) Vücutun arka yüzünün sensör dizilimi.

Hastanın uyguladığı hareketlerin açılarını bulabilmek için Şekil 6’da bulunan konumlara IMU yerleştirilmektedir. Böylelikle hastanın yaptığı hareketler yüksek bir hassasiyetle oyun motorunda gösterilmektedir.

D. DEVRE TASARIMI

Çalışmada toplamda 13 adet kullanılan ivmeölçer, jiroskop ve manyetometreye sahip MPU9250 sensörleri kablolar ile hastanın bel bölümünde bulunan I2C bağlantı çoklayıcısına veri göndermektedir. Bu çoklayıcıdan ise STMS401CCU kartına ve daha sonra Orange PI ye veriler aktarılmaktadır. Unity 3D platformuna veriler Orange PI ile kablosuz olarak gönderilmektedir. Çalışmamızda Şekil 7’de bulunan elektronik devre tasarımı önerilmektedir.



Şekil 7. Elektronik devre tasarımı.

III. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, hemipleji tedavisinde bulunan rehabilitasyon hareketleri başarıyla oyun tabanlı sanal gerçeklik uygulamasında çalıştırılmaktadır. Hemipleji hastalarına oyun tabanlı egzersizler yapabilmeleri için oyun tasarımları yapılmıştır. Yapılan tasarım modüller ve geliştirmeye açıktır. Çalışmanın geliştirilmesi kapsamında karar mekanizmaları tam otonom olarak sağlanılabilir. Sensör sayısı ve lokasyonlar istenildiği şekilde değiştirilebilir. Ayrıca, Unity 3D oyun motorunda hazırlanan oyunların sayıları ve çeşitleri arttırılabilir. Hareketlerin açı değerlerinden ve hareket doğruluğunu baz alarak bir yapay zeka, uzmanın yerine karar verebilir. Herhangi bir veri seti kullanmadan yapay zekanın bir dalı olan takviyeli öğrenme yardımıyla istenilen karar verme mekanizması oluşturulabilir. Böylelikle hastaya yazılan programı yapay zeka hazırlayıp tahmini iyileşme periyodunu ve hastanın durumunu derin bir analiz ile uzman doktora paylaşabilir. Yapay zeka sistemi ile uzmanın iş yoğunluğunu büyük ölçüde hafifleyeceği ön görülebilir. Takviyeli öğrenme algoritmasından çıkan sonuçlar ile uzman gözetiminde bir veri seti oluşturabilir. Oluşturulan veri seti ile regresyon modellerini kullanarak tam rehabilitasyonun tahmini olarak hesabı yapılabilir. Hastalar için rehabilitasyon uzun ve zorlu bir süreçtir. Tahmini olarak tam rehabilitasyon ile ilgili bir tarih vermek, hastalar için bir umut kaynağı olarak nitelendirilebilir. Oluşturulan veri seti ile literatüre katkıda bulunacak akademik bir kaynak oluşturulabilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, Tübitak Teydeb 1501 proje kapsamında desteklenmektedir.
(Proje no: 3200662).

IV. KAYNAKLAR

- [1] B. Gündüz, “İnme ve prognozu etkileyen faktörler,” *Türk Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi*, ss. 52, 2006.
- [2] İ. Mirzayev, “İnme hastalarında sanal gerçeklik eğitiminin üst ekstremitate fonksiyonlarına etkisinin araştırılması,” Uzmanlık tezi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [3] U. Fidan ve Ö. Neşe, “Nörolojik rehabilitasyon için kinect sensörlü ölçüm ve egzersiz sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim. Dergisi*, c. 18, s. 2, ss. 727–733, 2018.
- [4] E. Bayraktar, “Sanal gerçeklik ve uygulama alanları,” *Akademik Bilişim*, Kütahya, Türkiye 2007, ss. 1–6.
- [5] D. Thewlis, C. Bishop, N. Daniell, and G. Paul, “Next-generation low-cost motion capture systems can provide comparable spatial accuracy to high-end systems dominic,” *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 29, no. 1, pp. 112–117, 2013.
- [6] S. Chanpimol, B. Seamon, H. Hernandez, M. Harris-Love, and M. R. Blackman, “Using Xbox kinect motion capture technology to improve clinical rehabilitation outcomes for balance and cardiovascular health in an individual with chronic TBI,” *Archives of Physiotherapy*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, May 2017.
- [7] J. N. Carlson, S. Das, F. D. la Torre, C. W. Callaway, P. E. Phrampus, and J. Hodgins, “Motion capture measures variability in laryngoscopic movement during endotracheal intubation: A preliminary report,” *Simulation in Healthcare*, vol. 7, no. 4, pp. 255, Aug. 2012.
- [8] D. C. Wierschem, J. A. Jimenez, and F. A. Méndez Mediavilla, “A motion capture system for the study of human manufacturing repetitive motions,” *The International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology., vol. 110, no. 3, pp. 813–827, Aug. 2020.

- [9] M. Jebeli, A. Bilesan, and A. Arshi, “A study on validating KinectV2 in comparison of Vicon system as a motion capture system for using in Health Engineering in industry,” *Nonlinear Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, Jun. 2017.
- [10] S. W. Park, H. S. Park, J. H. Kim, and H. Adeli, “3D displacement measurement model for health monitoring of structures using a motion capture system,” *Measurement*, vol. 59, pp. 352–362, Jan. 2015.
- [11] A. Fernández-Baena, A. Susín, and X. Lligadas, “Biomechanical validation of upper-body and lower-body joint movements of kinect motion capture data for rehabilitation treatments,” in *2012 fourth international conference on intelligent networking and collaborative systems*, Bucharest, Romania, 2012, pp. 656–661.
- [12] T. Sakaguchi, T. Kanamori, H. Katayose, K. Sato, and S. Inokuchi, “Human motion capture by integrating gyroscopes and accelerometers,” in *International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems Washington, DC, USA, 1996*, pp. 470–475.
- [13] E. Pruna *et al.*, “3D virtual system trough 3 space mocap sensors for lower limb rehabilitation,” in *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics.*, Ugento, Italy, 2017, vol. 10325 LNCS, pp. 119–128.
- [14] Y. Fujimori, Y. Ohmura, T. Harada, and Y. Kuniyoshi, “Wearable motion capture suit with full-body tactile sensors,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Kobe, Japan, 2009, pp. 3186–3193.
- [15] L. Gao, G. Zhang, B. Yu, Z. Qiao, and J. Wang, “Wearable human motion posture capture and medical health monitoring based on wireless sensor networks,” *Measurement*, vol. 166, pp. 108252, Dec. 2020.
- [16] C. M. N. Brigante, N. Abbate, A. Basile, A. C. Faulisi, and S. Sessa, “Towards miniaturization of a MEMS-based wearable motion capture system,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 8, pp. 3234–3241, Aug. 2011.
- [17] C. Treffers and L. van Wietmarschen, “Position and orientation determination of a probe with use of the IMU MPU9250 and a ATmega328 microcontroller,” Bachelor thesis, Electrical Engineering, Delft University of Technology, Netherlands, 2016.
- [18] “Sparkfun Kit. (2010, June 16). *Flex Sensor Data Sheet '10* [Online]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SpectraFlex2inch.pdf>.
- [19] M. Bálský, M. Kozlok, and R. Bayer, “Application of Arduino platform for light field analysis,” in *7th Lighting Conference of the Visegrad Countries, LUMEN V4*, Trebic, Czech, Nov. 2018, pp. 1–4.
- [20] A. Bujnowski *et al.*, “Smart weighing scale with feet-sampled ECG,” in *Proceedings: IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Washington DC, USA, Dec. 2018, pp. 3286–3291.
- [21] Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Mikroişlemciler Laboratuvarı. (2017, 6 Ekim). *Arm Mimarisi ve Uygulamaları* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/bilgisayar_a7670.pdf.

[22] S. Wang, Z. Mao, C. Zeng, H. Gong, S. Li, and B. Chen, "A new method of virtual reality based on Unity3D," in *18th international conference on Geoinformatics*, Beijing, China, 2010 pp. 1–5.