Ortopedi Hastaları ve Sporcular için Nesnelerin İnterneti Tabanlı Hareket Takip Sistemi

IoT-Based Motion Tracking System for Orthopedic Patients and Athletes

Gizem ÇOBAN
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi
Kocaeli, Türkiye
gizem.coban.r@gmail.com

Faruk AKTAŞ
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi
Kocaeli, Türkiye
faruk.aktas@kocaeli.edu.tr

***Özetçe*— Akıllı egzersizler yaralanma ihtimalini azaltan, kas-kemik sistemini geliştirici, kişiyi motive edici ve güvenilir aktivitelerdir. Bilinçsiz yapılan hareketler ile kişi ya vücuduna zarar verebilir ya da egzersiz gelişimini yavaşlatabilir. Bu çalışmanın amacı, hem ortopedi hastaları ile hem de sporcular ile çalışmaktır. Geliştirilen sistem ve algoritma sayesinde, kişilerin kendi limitleri dahilinde verilen plana göre egzersizleri doğru yapması çalışmanın ana temasını oluşturmaktadır. Kullanım amacına bağlı olarak kişinin doktoru veya antrenörü tarafından planlanan programa göre, kişi dirsekliğini/dizliğini takıp istenilen hareketi istenilen derece ile gerçekleştirdiğinde sistem bildirim vermektedir. Kişi bu bildirimden hareketi başarılı bir şekilde yaptığını anlamaktadır. Egzersizin sonucuna ulaşana kadar devam eden işlemler kablosuz ağ üzerinden eş zamanlı olarak ThingSpeak Bulut Platformunda depolanabilmekte ve çizgisel grafik üzerinden izlenebilmektedir. Geliştirilen mobil uygulama ile kişi hareket açısını anlık olarak görebilmekte ve uygulama doktora/antrenöre anlık olarak mesaj atabilmekte ve/veya arayabilmektedir. Nesnelerin interneti tabanlı olarak geliştirilen bu sistemin tasarımında, dizlik/dirseklik, Flex sensör, ESP8266 Wi-Fi modülü içeren NodeMCU 12E kartı kullanılmıştır.**

Anahtar Kelimeler — nesnelerin interneti, hareket algılama, kontrol ve analiz, rehabilitasyon

***Abstract*— Smart exercises are reliable and motivating activities that reduce the possibility of injury, and improve the muscle-bone system. When it is made unconscious movements, it can cause either harm to her/his body or slow down the development of exercise. In this study, it is aimed to study both orthopedic patients and athletes. Thanks to the developed algorithm and equipment, the main theme is doing the exercise correctly in given plan within the personal limits. Depending on the purpose of use, according to the program planned by the doctor or trainer, the system gives a notification when a person (after wears the elbow / knee brace) performs the desired movement with the desired degree. The person understands that the movement has been made successfully from this alert. The processes that continue until reaching the result of the exercise can be stored simultaneously on the ThingSpeak Cloud Platform and can be monitored on the linear graph with the via wireless network. With the developed mobile application, the person can instantly see the angle of movement and the application can instantly send and / or call the doctor / trainer. In this system design based on the Internet of Things, the NodeMCU 12E board including ESP8266 Wi-Fi module, knee pad / elbow pad, Flex sensor were used.**

Keywords — internet of things, sensing the motion, control and analysis, rehabilitation.

I. GİRİŞ

Son yıllarda nesnelerin interneti teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte evde sağlık hizmetleri ve tıbbi parametrelerin uzaktan takibi kolayca yapılabilmektedir [1]. Ortopedi hastaları ve sporcuların yapmaları gereken egzersizlerin uzaktan takibinin yapılması da bu popüler uygulamalar arasında bulunmaktadır.

Bilindiği gibi "hareket", insan hayatında çok önemli bir yer tutmaktadır ve gerekliliği tartışılmazdır. Hareketsiz kalan ve gelişim göstermeyen eklemlerin fonksiyonları giderek gerileyebilmekte veya yok olabilmektedir. Bu durum kişinin hayatını ve psikolojik durumunu ciddi şekilde etkileyip yaşam kalitesini düşürebilmektedir. Bu yüzden günlük hayatta ve rehabilitasyon sırasında doğru hareketleri yapmak, eklem ve kemiklerimizin güçlenmesi bizim için büyük önem arz etmektedir.

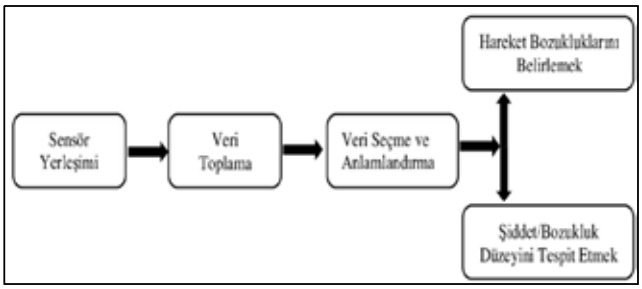
Egzersiz bir ilaçtır ve kişiye göre reçete edilmesi gerekmektedir. Özellikle egzersize ilk kez başlayacak olanlarda, 65 yaş üstü bireylerde, travma/ameliyat öyküsü veya sistemik hastalığı olanlarda, egzersiz reçetesinin doğru yazılması ve egzersizlerin doğru yapılması çok önem arz etmektedir. Egzersiz düzeyinin doktor veya antrenör tarafından doğru açı, doğru tekrarlama ve geliştirme mekanizmalarına göre kontrollü bir şekilde planlanması gerekmektedir. Yanlış bir etken gelişmeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Yanlış veya doğru olmayan açıyla yapılan hareket ve plansız ve bilinçsiz bir şekilde yapılan egzersiz/spor programıyla kişi, amaçladığı iyi hal durumuna

978-1-7281-8073-1/20/$31.00 ©2020 IEEE

çoğunlukla ulaşamamaktadır. Gerçekleştirilen çalışma ile bu sorun çözüme kavuşturulmak istenmiştir.

Bu çalışmada, ulaşılması hedeflenen kitle ortopedi hastaları veya sporcular dır. Eklem hareketlerindeki açı bilgisi çalışmadaki odak noktasını oluşturmaktadır. Çalışmanın hedef kitlelerinden biri olan ortopedi hastalarının, ortopedistlerin veya hekimlerinin tetkik sonrası verdiği talimatlar doğrultusunda, istenen hareketleri, istenen açı ile düzenli şekilde yapmaları gerekmektedir. Diğer bir hedef kitle olan sporcuların da kendi branşlarında ilerleyebilmeleri için amaçlanan hareketleri açılarıyla beraber düzenli veya arttırılmış/azaltılmış olarak yapmaları gerekmektedir. Çalışmanın amaca uygun olarak kullanılması ile bireylerin kemik/eklem gelişiminin artması, bozukluk olan hareket kapasitesinde artış sağlanması beklenmektedir. Ayrıca egzersiz düzeyinin gelişimi veya hareket bozukluklarının kontrol altında iyileştirilmesi, gelecekteki olası sağlık bakım maliyetlerinin düşmesini de sağlayabilecektir.

Giyilebilir sistemlerle ilgili yapılan bir çalışmada, bu alanda yapılan ya da yapılacak çalışmaların sistem mimarilerinin genel çerçevesi ortaya koyulmuştur. Bu çalışmaya göre geliştirilen çalışmalar, algılayıcılar ve veri toplama donanımları, toplanan verileri aktarmak için iletişim donanımı-yazılımı ve son olarak anlamlı bilgileri ayıklamak için kullanılan işleme ve analiz yöntemlerinden oluşmaktadır. Giyilebilir sensörlerle hareket bozukluğunun algılanması işlemi aşamaları Şekil 1'de görülmektedir. Hareket bozukluklarında veya belirli hareket tayininde ivmeölçer, jiroskop ve basınca duyarlı tabanlar gibi pek çok algılayıcı kullanılmaktadır [3].



Şekil 1. Giyilebilir sensörlerle hareket bozukluğunun algılanması işlemi aşamaları

Daha önceki çalışmalarda [4-8] genel olarak flex sensörün lineer olmayan davranışından dolayı yüksek hata oranlı çalışmalar ortaya çıkmıştır. Çalışmada bu hata oranını en aza indirgemek amacıyla mikrodenetleyici tarafından okunan değer ile gerçek açı değerleri tablolaştırılmış, eğri uydurma (curve fitting) yöntemiyle okunan değer ile gerçek açı arasında bir denklem bulunmuştur. Bulunan bu denklem ile lineer olmayan çalışma özelliğine sahip olan flex sensörün ölçtüğü açı değerinin gerçek açı değerine en yakın olması sağlanmıştır. Egzersiz için gerekli olan özel açı limitleri ve değerleri, kişiye özel denemeler yapıldıktan sonra ilgili bireylerin (ortopedi hastası/sporcu) doktorları veya antrenörleri tarafından tanımlanmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada dizlik veya dirsekliğe yerleştirilen flex sensör ile bağlantılı devre sayesinde eklem noktasındaki hareketin algılanması sağlanmıştır [2]. Geliştirilen mobil uygulama ile algılayıcıdan gelen verilerin telefon ekranından eş zamanlı olarak görüntülenmesi ve olası yaralanma ve zorlanma durumlarına karşı sistemin uyarı vermesi sağlanmıştır. Ayrıca mobil uygulamanın son sayfasında geliştirilen sosyal katmandaki algoritma ile kişinin zorlandığı bir hareket sırasında veya olası bir acil durumda yakınlarına veya doktoruna mesaj ve arama butonlarıyla ulaşabilmesi sağlanmıştır. Egzersiz sırasında alınan anlık veriler bulut platformunda zaman ve konum değerleri olarak depolanmıştır. Bulut ortamının kullanılması ile verilerin daha sonra da incelenebilmesi ve analiz edilebilmesi sağlanmıştır.

Bildiri metni şu şekilde organize edilmiştir. Bölüm 2'de ilgili tasarımın detayları sunulmaktadır. Son bölümde ise çalışma ile ilgili değerlendirmelerin yapıldığı sonuç kısmı bulunmaktadır.

II. SİSTEM TASARIMI

Ortopedi hastaları ve sporcuların yapmaları gereken egzersizlerin uzaktan takibinin yapılması için nesnelerin interneti tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Geliştirilen sistem laboratuvar ortamında denenmiş ve başarıyla çalıştığı görülmüştür. Sistem içerisinde; i) hareketin algılanması için bir algılayıcı, ii) algılayıcıdan gelen verileri değerlendirip hareketin doğru yapılıp yapılmadığını bildiren ve aynı zamanda verileri bulut ortamına ve mobil uygulamaya gönderen bir mikrodenetleyici ve iii) mikrodenetleyiciden gelen verileri görselleştiren, yaralanmalara ve zorlanmalara karşı kişiyi uyaran, aynı anda doktor veya antrenörü bilgilendiren (SMS, arama) bir mobil uygulama bulunmaktadır.

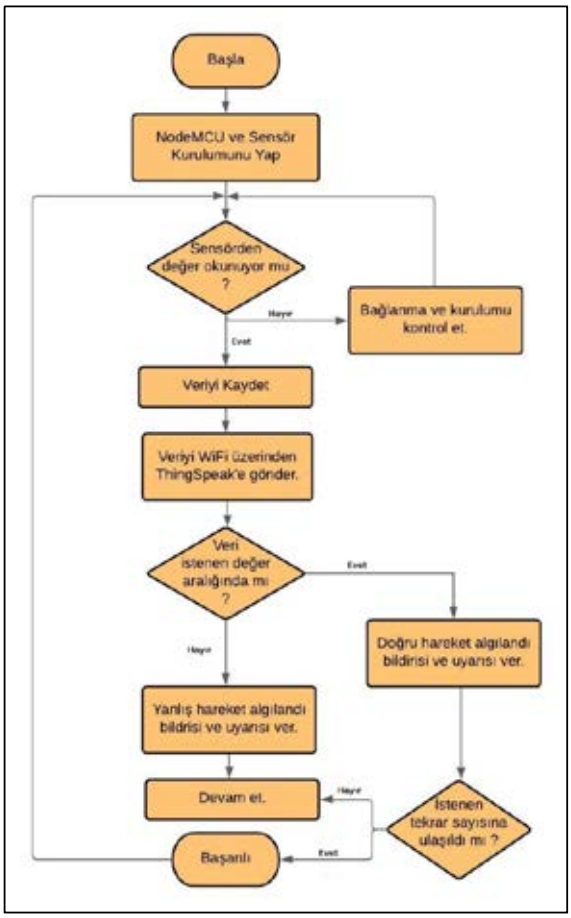
Bu takip sisteminin donanım kısmında, hareket algılama için iki taraflı olarak kullanılabilen, içerisinde iletken parçacıklar bulunan polimer mürekkeple basılmış flex sensör ve internete erişim ve bağlantının sürekliliğini sağlamak için ESP8266 Wi-Fi modülü içeren nesnelerin interneti uygulamalarında sıkça kullanılan NodeMCU Lolin [9] devre kartı kullanılmıştır. Şekil 2'de flex sensörün devrede kullanılan işlevsel bacakları ve bağlantıları görülmektedir.



Şekil 2. Flex sensörün ön/işlevli yüzü ve belirlenmiş bacak bağlantıları

Sistemin yazılım tarafında ise Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilen App Inventor [10] uygulaması üzerinde geliştirilmiş mobil uygulama ve Matlab ile veri analitiğinin yapılabildiği nesnelerin interneti uygulamalarının birçoğunda kullanılan ücretsiz ThingSpeak bulut platformu [11] kullanılmıştır. ThingSpeak, nesnelerin interneti tabanlı uygulamalar için kullanılmak üzere sekiz tane özel grafik alanı imkanı sunmaktadır. Bu alanlara hem veri yazılabilmekte hem de bu alanlardan veri okunabilmektedir.

Yukarıda tanıtılan donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşan ortopedi hastaları veya sporcular için gerçekleştirilen hareket takip sisteminin akış şeması Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Sistem çalışmasının akış şeması

Ortopedi hastaları veya sporculardan hareket bilgisini elde etmek için kullanılan flex sensör, dizlik veya dirseğin eklem bölgesine oturup yapışması için esnek bir tak-çıkar aparatla donatılmıştır. Şekil 4'te yapılan tak-çıkar aparat görülmektedir. Şekilde yaklaştırılan alan ise flex sensörün bulunduğu eklem aparatını göstermektedir.



Şekil 4. Projenin tamamlanmış görüntüsü ve flex sensörün bulunduğu büyütülmüş kısım.

Uygulamanın amacına göre vücut veya giysi üzerine yerleştirilen flex sensörden gelen veriler NodeMCU içerisindeki mikrodenetleyicide değerlendirilmektedir. NodeMCU içerisindeki kod genel olarak dört görevi yerine getirmektedir. Bunlar; i) Wi-Fi üzerinden internete bağlanmak için gerekli olan ayarlamalar, ii) flex sensörden gelen verilerin değerlendirilmesi ve bildirim durumlarının oluşturulması iii) mobil uygulamayla iletişim kurulması ve veri alışverişi ve iv) doktorların veya antrenörlerin anlık verileri takip edebilmeleri için bulut ortamına verilerin gönderilmesi için gerekli olan işlemlerdir. Flex sensörden algılanan veri kişinin amaçladığı derece ve tekrar sayısına uyuyorsa veya hatalı bir hareket algılanmışsa dijital çıkışlardan birisine bağlı olan buzzerdan "başarılı" veya "hatalı" duruma özgü bildirim gelmektedir.

Ortopedi hastalarından veya sporculardan alınan hareket verileri NodeMCU Lolin kartı üzerindeki ESP8266 Wi-Fi modülü üzerinden Thingspeak bulut platformuna gönderilmektedir. Thingspeak ortamına Mathworks hesabı üzerinden kullanıcı adı ve şifre kullanılarak erişim sağlanmaktadır. Çalışma için platform tarafından kullanıcılara özel olarak (private) tahsis edilmiş sekiz alandan sadece bir tanesi kullanılmıştır. Şekil 5'de ThingSpeak bulut ortamına gönderilen açı değerleri görülmektedir. NodeMCU üzerinden gelen değerler zaman ekseninde kırmızı noktalar şeklinde görülmektedir. Verilerin üstüne tıklandığında, bilginin tarih, konum ve derece bilgilerine ulaşılabilmektedir. Ayrıca verileri içeri ve dışarı aktarma sekmesinden başka verileri kanala alma, olan verileri de dışardaki kanala aktarma yapılabilmektedir. Çalışmada, kişisel bilgilerin ve sonuçlarının gizliliği ve güvenliği için sadece doktor/antrenör ve ilgili hasta veya sporculara veri görme için paylaşım ayarlarından izin hakkı tanınmıştır.

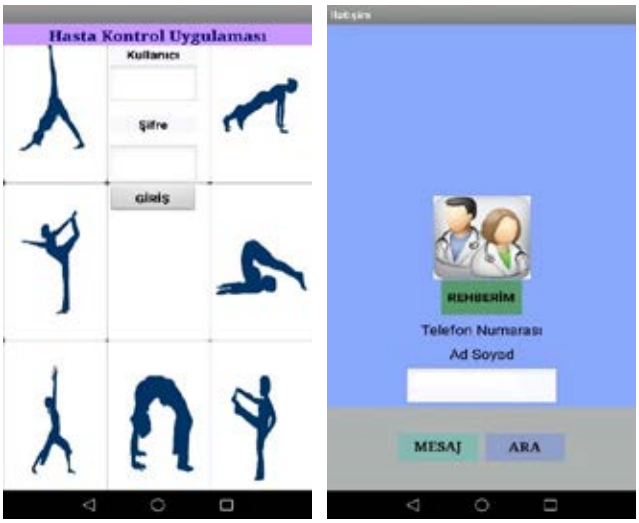


Şekil 5. ThingSpeak platformunda oluşturulan eş zamanlı açı grafiği

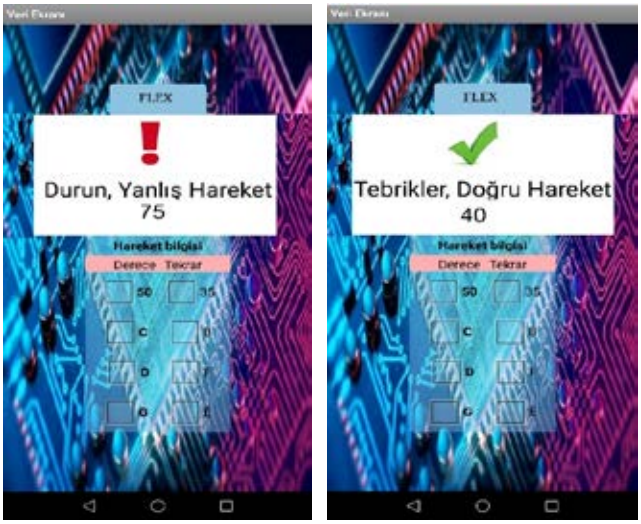
Geliştirilen sistemin en önemli bölümlerinden biri de mobil uygulamadır. Doktor veya antrenör tarafından hastaya/sporcuya özel hazırlanan egzersiz protokolleri (flex sensör ile hastaların veya sporcuların standartlarına uygun özel denemeler yapılarak karar verilen) uygulamaya entegre edilmektedir. Buradaki egzersiz protokolleri sadece doktorlar veya antrenörler tarafından düzeltilip değiştirilebilmektedir.

Mobil uygulamanın görselleştirme ve iletişim işlemleri için üç ayrı sayfa tasarlanmıştır. İlk sayfada, kullanıcıların şifreleriyle giriş sağladıkları kısım bulunmaktadır. Kullanıcı adı ve şifrenin doğrulanması ile mobil uygulamanın diğer sayfalarına geçiş sağlanabilmektedir. İkinci sayfada, ThingSpeak bulut platformundan çekilen flex sensör açı değerleri ile belirlenen egzersiz protokolüne göre hastalara veya sproculara bildirim yapan kısım bulunmaktadır. Sayfada, egzersiz protokolündeki sayı adedince belirlenen açıda hareket gerçekleştirildiğinde (laboratuvar ortamında yapılan denemede belirlenmiş açı 40 derecedir) kullanıcılara egzersizin doğru yapıldığına dair bir bildirim verilmektedir. Ayrıca hasta veya sproculara yanlış bir hareket yaparak kendilerini yaralama

ihtimallerini minimuma indirmek amacıyla bir koruma algoritması yine aynı sayfa içerisinde geliştirilmiştir. Egzersiz protokolünde zorlama hareket olarak belirlenmiş hareketlerin yapılması durumunda (laboratuvar ortamında yapılan denemede belirlenmiş açı 75 derecedir) geliştirilen algroritma ile kullanıcı uyarılmaktadır. Uyarı ve başarı bildirimleri aynı anda kişilerin doktorları veya antrenörlerine SMS ile bildirilmektedir. Son sayfada ise hastanın doktoru veya sporcunun antrenörü ile iletişim kurması (SMS atma veya arama) için tasarlanmıştır. Mesaj kutusuna mesaj yazılarak seçilen kişiye "MESAJ AT" butonuyla mesaj iletilirken, "ARA" butonu ile ilgili kişi aranabilmektedir. Ayrıca planlanmış hareket açısı ve tekrar sayısı başarıldığında kontrol kutucuğu işaretlenerek kişinin doktoruna veya antrenörüne bu bilgi yine bu sayfa üzerinden SMS olarak gönderilmektedir. Sayfa 6'da mobil uygulamanın ilk ve son sayfası, Şekil 7'de ise başarı ve uyarı durumlarının oluşması görülmektedir.



Şekil 6. Geliştirilen MIT App Inventor uygulamasının ilk ve son sayfaları.



Şekil 7. Mobil uygulamada başarı ve uyarı durumlarının oluşması

III. SONUÇ

Bu bildiride, özellikle ortopedi hastaları ve sporcular için ev ortamında doktorların veya antrenörlerin kişiye özel verdikleri egzersizlerin uzaktan takibine yönelik bir tasarım sunulmaktadır. Nesnelerin interneti tabanlı olarak gerçekleştirilen sistemin tasarımında, sistemin ihtiyaçlarına yönelik, üzerinde ESP8266 Wi-Fi modülünün gömülü olarak bulunduğu popüler bir mikrodenetleyici geliştirme kartı olan NodeMCU kartı kullanılmıştır. Algılayıcıdan gelen açı değerleri anlık olarak takip edilmekte, doktor veya antrenör tarafından kişiye özel olarak verilen egzersiz doğru sayıda ve istenilen açı değerinde yapıldığında veya geliştirilen algoritmaya göre hatalı bir hareket yapıldığı tespit edildiğinde sistem tarafından hem ilgili kişiye hem de doktora veya antrenöre bildirim yapılmaktadır. Ayrıca algılanan değerler bulut ortamına gönderilmiş ve anlık takibinin yapılması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., "Internet of Things: A survey", *Computer Networks,* 54(15):2787-2805, 2010.

[2] https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookupguide/all

[3] Jalloul, N., "Wearable sensors for the monitoring of movement disorders", *Biomedical Journal*, 41(4):249-253, 2018.

[4] L. Chiari, "Wearable systems with minimal set-up for monitoring and training of balance and mobility*," 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society,* Boston, MA, 2011, pp. 5828-5832, doi: 10.1109/IEMBS.2011.6091442.

[5] S. Coyle, D. Morris, K. Lau, D. Diamond and N. Moyna, "Textile-Based Wearable Sensors for Assisting Sports Performance," *2009 Sixth International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks,* Berkeley, CA, 2009, pp. 307-311, doi: 10.1109/BSN.2009.57.

[6] Ambar R., Ahmad M.S., Jamil M.M.A., *Design and Development of Arm Rehabilitation Monitoring Device.* 5th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2011. IFMBE Proceedings, vol 35. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21729-6_191.

[7] Abro, Z.A., Yi-Fan, Z., Nan-Liang, L., Cheng-Yu, H., Lakho, R. A., Halepoto, H.,_ A novel flex sensor-based flexible smart garment for monitoring body postures*, Journal of Industrial Textiles,* 49(2):262-274, 2019, DOI: 10.1177/1528083719832854.

[8] Lay-Ekuakille, A., Mukhopadhyay, S. C., Wearable Sensors for Foetal Movement Monitoring in Low Risk Pregnancies, Wearable and Autonomous Biomedical Devices and Systems for Smart Environment, *Lecture Notes in Electrical Engineering book series,* 75, Springer, 2010.

[9] https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet

[10] https://appinventor.mit.edu/

[11] https://thingspeak.com/