KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLİŞİM SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKLEM KİREÇLENMESİ FİZİK TEDAVİ TAKİBİ İÇİN SİBER FİZİKSEL SİSTEM TASARIMI

FATİH ATAMTÜRK

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLİŞİM SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

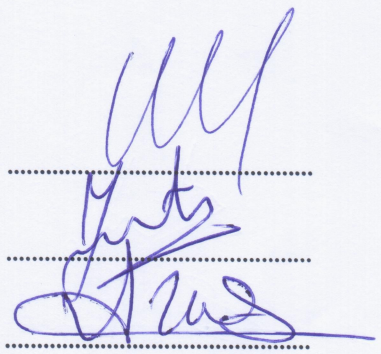
EKLEM KİREÇLENMESİ FİZİK TEDAVİ TAKİBİ İÇİN SİBER FİZİKSEL SİSTEM TASARIMI

FATİH ATAMTÜRK

Doç.Dr. Halil YİĞİT
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Mehmet YILDIRIM
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Dr.Öğr.Üyesi Adem TUNCER
Jüri Üyesi, Yalova Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 06.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son zamanlarda makinaların akıllanması, nesnelerin interneti ve Endüstri 4.0 gibi kavramlar ile iyice popüler hale gelen ve geleceğin şekillenmesinde yapı taşlarından biri olacağı öngörülen siber fiziksel sistemler, fiziksel ve sayısal bileşenlerin etkileşimde olduğu ağlardır. Bu sistemler kritik altyapımızın temelini oluşturacak, gelişmekte olan ve gelecekteki akıllı hizmetlerin temelini oluşturacak ve birçok alanda yaşam kalitemizi geliştirecektir. Bu sistemler, kişiselleştirilmiş sağlık hizmetleri, acil durum müdahaleleri, trafik akışı yönetimi ve elektrik enerjisi üretimi ve dağıtımı ile birlikte şimdi sadece öngörülen diğer birçok alanda ilerlemeler sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında, eklem kireçlenmesi fizik tedavi takibi için geliştirilen elektronik bir kit ve algılayıcıların internet üzerinden gönderdiği verileri kaydederek bunların analizi yapan web ara yüzünden oluşan siber fiziksel sistem tasarımı amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmamın yapılmasında yaptığı katkılarından dolayı tez danışmanım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Halil YİĞİT'e; her zaman ve her koşulda desteğini hep yanımda hissettiğim ve değerli bilgilerini paylaşan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Kerem KÜÇÜK'e; tez çalışması sürecinde yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Biyomedikal Mühendisi Bülent PEKTAŞ'a yardım ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren aileme, varlığıyla her zaman huzur ve güç bulduğum sevgili eşim Bilişim Teknolojileri Öğretmeni Hilmiye ATAMTÜRK'e ve minik kahramanım değerli kızım Nehir ATAMTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz – 2018 Fatih ATAMTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 4
1.1. Siber Fiziksel Sistemler Nelerdir? 4
1.2. Siber Fiziksel Sistemlerin Tarihsel Gelişimi 5
1.3. Siber Fiziksel Sistemlerin Alt Kavramları ile İlişkileri 8
1.3.1. Siber fiziksel sistemler ve gömülü yapılar 9
1.3.2. Siber fiziksel sistemler ve nesnelerin interneti 9
1.3.3. Siber fiziksel sistemler ve sistemlerin sistemi 9
1.4. Siber Fiziksel Sistemlerin Geleceği 10
2. MEVCUT UYGULAMALAR VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR 11
2.1. Sağlık Alanında Siber Fiziksel Sistem Uygulamaları 11
2.2. Sağlık Alanında Siber Fiziksel Sistem Uygulamalarının Sınıflandırılması 12
2.2.1. Uygulama 12
2.2.2. Mimari 13
2.2.3. Algılama 14
2.2.4. Veri yönetimi 14
2.2.5. Hesaplama 15
2.2.6. İletişim 16
2.2.7. Güvenlik 17
2.2.8. Kontrol / Harekete geçme 17
2.3. Sağlık Uygulamalarında Kullanılan Algılayıcı Tipleri 20
2.4. Çeşitli Uygulamalar 21
3. ÖNERİLEN YÖNTEM 23
3.1. Sistem Modeli Tasarımı 23
3.2. Önerilen Modelin Donanım Katmanı 25
3.2.1. NodeMCU lolin mikrodenetleyici kartı 25
3.2.2. ESP8266 WiFi modülü 26
3.2.3. Analog algılayıcı 28
3.2.4. Potansiyometre 29
3.2.5. Potansiyometre kullanımı 30
3.2.6. Potansiyometre ile açı ölçümü 30
3.2.7. ADC çevirici 31
3.2.8. Donanım bağlantıları 32
3.3. Önerilen Modelin Yazılım Katmanı 33
3.3.1. PHP web betik dili 33
3.3.2. ESP8266 istemci/sunucu tasarımı 34

3.3.3. Veri tabanı tasarımı 37
3.3.4. Web ara yüzü ve web servis oluşturulması 37
3.3.5. Verilerin analizi ve grafiksel gösterim 39
3.4. Önerilen Sistemin Değerlendirilmesi 39
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 41
KAYNAKLAR 42
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 45
ÖZGEÇMİŞ 46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. SFS yapısı 4
Şekil 1.2. SFS gelişimine katkı veren şahıslar 6
Şekil 1.3. SFS ve alt kavramlar 8
Şekil 2.1. MSFS tasarımı 12
Şekil 2.2. Gerçek zamanlı veri yönetimi modeli 15
Şekil 2.3. MSFS taksonomisi 19
Şekil 2.4. IMU algılayıcı 20
Şekil 2.5. Esnek algılayıcı 21
Şekil 2.6. SFS uygulamaları 22
Şekil 3.1. Sistem senaryosu 24
Şekil 3.2. NodeMCU kart görünüşü 25
Şekil 3.3. ESP8266-012 görüntüsü ve pin bilgiler 27
Şekil 3.4. Algılayıcı çalışma mantığı 28
Şekil 3.5. Potansiyometre iç yapısı 29
Şekil 3.6. Potansiyometre yapısı 30
Şekil 3.7. Analog dijital çevirici 32
Şekil 3.8. Devre bağlantı şeması 32
Şekil 3.9. Dizlik prototipi 33
Şekil 3.10. Web yaşam döngüsü 34
Şekil 3.11. ESP8266 WiFi genel ayarlar sayfası 35
Şekil 3.12. ESP8266 WiFi kimlik doğrulama sayfası 35
Şekil 3.13. ESP8266 kullanıcı ayarları sayfası 36
Şekil 3.14. Egzersiz takip ekranı 36
Şekil 3.15. Veri tabanı tablo yapısı 37
Şekil 3.16. Hasta kayıt formu 38
Şekil 3.17. Hasta kayıt bilgileri 38
Şekil 3.18. Hasta egzersiz zaman grafiği 39

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. SFS üzerine çalışmalar 7
Tablo 2.1. MSFS için uygun kablosuz bağlantı protokolleri 16
Tablo 3.1. ESP8266-012 özellikleri 27

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

In_{max} : ADC' den ölçülen maksimum değer
In_{min} : ADC' den ölçülen minimum değer
$R_{ortalama}$: Ölçülen açı değerlerinin ortalaması, (°)
$R_{sağ}$: Dizin sağ tarafının ölçülen açı değeri, (°)
R_{sol} : Dizin sol tarafının ölçülen açı değeri, (°)
Out_{max} : Potansiyometrenin maksimum açı değeri, (°)
Out_{min} : Potansiyometrenin minimum açı değeri, (°)
X : Potansiyometrenin ölçülen değeri

Kısaltmalar

ADC : Analog-Digital Converter (Analog Dijital Çevirici)
AP : Access Point/Hotspot (Erişim Noktası)
API : Application Programming Interface (Uygulama Programlama Arayüzü)
CPS : Cyber Physical Systems (Siber Fiziksel Sistemler)
EMG : Elektromiyogramı
HTML : Hypertext Markup Language (Köprü Metni Biçimlendirme Dili)
HTTP : Hypertext Transfer Protocol (Üstmetin Transfer Protokolü)
IMU : Inertial Measurement Unit (Atalet Ölçü Birimi)
IoT : Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
IP : Internet Protocol (Internet Protokolü)
KAA : Kablosuz Algılayıcı Ağlar
MSFS : Medikal Siber Fiziksel Sistem
MRI : Magnetic Resonance Imaging (Manyetik Rezonans Görüntüleme)
NFC : Near Field Communication (Yakın Alan İletişimi)
nRTEDBs : Network Enabled Real Time Embedded Databases (Ağ Özellikli Gerçek Zamanlı Gömülü Veritabanları)
OLED : Organic Light-Emitting Diode (Organik Işık Yayan Diyot)
SFS : Siber Fiziksel Sistemler
SMS : Short Message Service (Kısa Mesaj Servisi)
SoS : System of Systems (Sistemlerin Sistemi)
STA : Station/Client (Durak/İstemci)
SQL : Structured Query Language (Yapılandırılmış Sorgu Dili)
UART : Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı /Verici)
URL : Uniform Resource Locator (Tekdüzen Kaynak Konum Belirleyicisi)
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
WBAN : Wireless Body Area Network (Kablosuz Vücut Alanı Ağı)
WiFi : Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı)
WMSN : Wireless Multimedia Sensor Network (Kablosuz Çokluortam Sensör Ağlar)

EKLEM KİREÇLENMESİ FİZİK TEDAVİ TAKİBİ İÇİN SİBER FİZİKSEL SİSTEM TASARIMI

ÖZET

Bu tezde SFS (Siber Fiziksel Sistemler) alanında kişiselleştirilmiş sağlık uygulamalarına yönelik yeni bir örnek sunulmaktadır. Bu amaçla, diz eklem kireçlenmelerinde verilen fizik tedavinin takibine yönelik, tedavi süresince diz açısının ölçümü geliştirilen elektronik kit yardımı ile yapılarak WiFi (Wireless Fidelity) üzerinden, oluşturulmuş web ara yüzüne gönderilmektedir. Diz açısının ölçümünde özgün bir tasarım kullanılmış olup, açının ölçme işlemi analog olarak yapılmıştır. Analog algılayıcılardan alınan veriler ADC (Analog Digital Converter) yardımıyla sayısal veriye dönüştürülmüştür ve bu veriler matematiksel işlemden geçirilerek açısal değere çevrilmiştir. Elde edilen açı değeri WiFi birimi kullanılarak internet üzerinden sunucuya gönderilmiştir.

Gönderilen veriler, veri tabanına kaydedilerek tedavi süresince gözlenen gelişim analiz edilmiş ve rapor haline getirilerek uzman kişilere tasarlanan internet sitesi üzerinden sunulmuştur. Tasarlanan SFS ile tedavi sürecinin aşamaları izlenerek hastanın durumu gözlemlenebilmiş ve sonuçları incelenmiştir.

Önerilen sistem sayesinde evde bakım sağlık hizmetlerinin algılayıcı teknolojisinin gelişmesine, insanların makinelerle daha fazla etkileşime girmesine bağlı olarak daha da geliştirilebileceği, sağlık hizmetlerinden kesintisiz olarak yararlanılabileceği ve bu sayede zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Diz Açısı Ölçümü, NodeMCU, Siber Fiziksel Sistem, Web.

CYBER-PHYSICAL SYSTEMS DESIGN FOR RHEUMATOID ARTHRITIS TRACKING IN PHYSICAL THERAPY

ABSTRACT

In this thesis, CPS (Cyber Physical System) presents a new example for personalized health applications. For this purpose, the measurement of the knee angle during the treatment is followed with the aid of the electronic kit for the follow-up of the physiotherapy given in the knee joint limbs and sent to the created web interface via WiFi (Wireless Fidelity). A unique design was used to measure the knee angle, and the measurement of the angle was made analogously. The data from the analog sensors are converted to digital data with the aid of an ADC (Analog Digital Converter) and the data are converted to angular values by the mathematical operation. The obtained angle value was sent to the server via the internet using WiFi unit.

Submitted data were recorded in the database and the progress observed during the treatment was analyzed and presented on the internet site which was designed into expert reports. With the designed CPS, the progress of the treatment period was monitored and the patient's condition could be observed and the results examined.

It has been shown that the proposed system can improve the sensor technology of home care healthcare services, the human personality of information due to more interaction with the machines, can be used continuously without interruption of health services and save time and cost.

Keywords: Knee Angle Measurement, NodeMCU, Cyber Physical System, Web.

GİRİŞ

SFS algılayıcılar ve eyleyiciler desteğiyle fiziki dünya ile sanal dünyayı birbirine bağlar. Farklı bileşenlerden oluşan SFS'ler kurdukları ilişkiler ile dünya çapında davranışları oluşturur. Bu bileşenler gerçek dünya ile etkileşimde bulunmak için genellikle gömülü teknolojileri, yazılım sistemleri, iletişim teknolojileri, algılayıcıları / eyleyicileri içermektedir. SFS iki önemli öğeden oluşur. Birbirleri ile internet ağı üzerinden haberleşen nesne ve sistemlerin oluşturduğu ağ; gerçek dünyadaki nesnelerin ve davranışların bilgisayar ortamında simülasyonuyla ortaya çıkan sanal ortamdır [1].

IoT (Internet of Things) kavramı ile gerçek ve sanal dünyalar arasındaki sınırları iyiden iyiye kaldırmaya başlayan SFS yakın geleceğin en önemli konu başlıklarından biri olan Endüstri 4.0'ın temel taşlarından birini oluşturmaktadır.

Belli bir işi yerine getirmek için tasarlanan cihazların içine yerleştirilen programlanabilir devrelerin tümüne gömülü sistem denir. Son yıllarda kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde işlemcilerin ağa ya da buluta taşınması sonucu olarak, yeni yaklaşımlar ortaya çıkmaya başladı. İşte tam bu noktada gerçek dünyadaki nesneler ile sanal dünyayı bir araya getiren SFS ortaya çıkmış oldu.

SFS birçok sağlık uygulamasında kullanılabilir. Günümüzdeki alternatiflerine göre, daha güçlü iletişim, daha fazla hesaplama ve daha yüksek güvenlik imkanı sunar. Örnek bir tıbbi SFS uygulamasında, çeşitli algılayıcılar yardımıyla bilgiler toplanarak evde bakım gerektiren hastalar veya hastane ortamında tedavisini devam ettiren hastaların tedavi süreçleri doktoru tarafından uzaktan izlenerek, tedavi önerileri sunabilir.

Hastalara ait tüm veriler toplanarak, hastalıklar kategorize edilebilir ve uygulanan tedavi yöntemleri ve sonuçları hakkında analizler yapılarak belli sonuçlar elde edilebilir.

SFS' de algılayıcılar, veri işleme ve ağ ile yakın bağlantılara sahiptir. Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) ve tıbbi algılayıcılardaki gelişmeler SFS'yi hastane içi ve evde hasta bakımı dahil olmak üzere sağlık uygulamaları için güçlü bir aday haline getirmektedir [2]. Bu ilerlemeler SFS uygulamalarına hasta koşullarına uzaktan bakma ve hastanın bulunduğu yerden bağımsız olarak harekete geçme yeteneği sağlamaktadır. Tıbbi algılayıcılar üzerinde çok fazla araştırma yürütülmektedir [3, 4]. Bu tıbbi algılayıcılar hayati öneme sahip sağlık verilerini içeren hasta bilgisidir. Hasta gözlemi için farklı kablosuz algılayıcılarda kullanılabilir. Toplanan veriler kablosuz iletişim ortamı üzerinden bir ağ geçidine gönderilir. Kablolu algılayıcılarda da kullanılabilir. Bununla birlikte, kablosuz algılayıcılar hem bakıcıya hem de hastalara daha fazla esneklik ve rahatlık sağlar. Algılayıcılar tarafından toplanan veriler bir sunucuda saklanır ve tıbbi uzmanlar için erişilebilir hale getirilir.

SFS, akademik kurumlar, endüstriyel iştirakler ve hükümet birimleri tarafından ümit verici bir araştırma alanı olarak görülmektedir [5]. Hızla artan sağlık maliyetleri, çeşitli sektörlerin karşılaştığı çevresel sorunlar, zamanında izleme ve kontrol yapılması gereken kritik görevlerde enerji kıtlığı sorunu gibi sebeplerden dolayı SFS'ye olan talep yükselmektedir.

Bu tez çalışmasında eklem kireçlenmelerindeki fiziksel tedavinin takibi için uygun algılayıcıların belirlenerek kullanılması, bu algılayıcılardan alınan verilerin depolanması, analiz edilmesi ve raporlandırılması ile internet üzerinden uzman kişilerin takibine olanak sağlayacak bir siber fiziksel sistem tasarımı oluşturulması hedeflenmektedir. Önerdiğimiz çalışmada eklem kireçlenmelerinde uygulanan fiziksel tedavi sürecinin SFS modeli yardımıyla takibinin yapılması, verilen egzersizlerin başarım oranı ve zorluk derecesinin bulunması, egzersizleri yanlış yapma olasılığını ortadan kaldırarak tedavinin güvenilirliğinin artırılması, hastaya tedaviyi evde sürdürme imkanı verilerek tedavi sürecinin aksama ihtimalini azaltmak amaçlanmaktadır.

Bu çalışma toplam dört bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de, SFS, SFS'nin tarihi gelişimi ve alt kavramlarla ilişkisinden bahsedilmektedir.

Bölüm 2'de, sağlık alanında SFS uygulamaları, bu uygulamalarda kullanılan algılayıcı tipleri açıklanmaktadır.

Bölüm 3’te, önerilen yöntemin donanım ve yazılım katmanları açıklanmaktadır. Kullanılan elektronik elemanların tanımı yapılmakta, kullanım şekli açıklanmakta, diz açısını hesaplamada kullanılan yöntemden bahsedilmekte ve sistemin genel bir değerlendirmesi yapılmaktadır.

Bölüm 4’te ise, önerilen yöntemin kişiselleştirilmiş sağlık uygulamalarında kullanılmasına ilişkin genel bir bakış yapılmakta, tez çalışması ile elde sonuçlar değerlendirilmektedir.

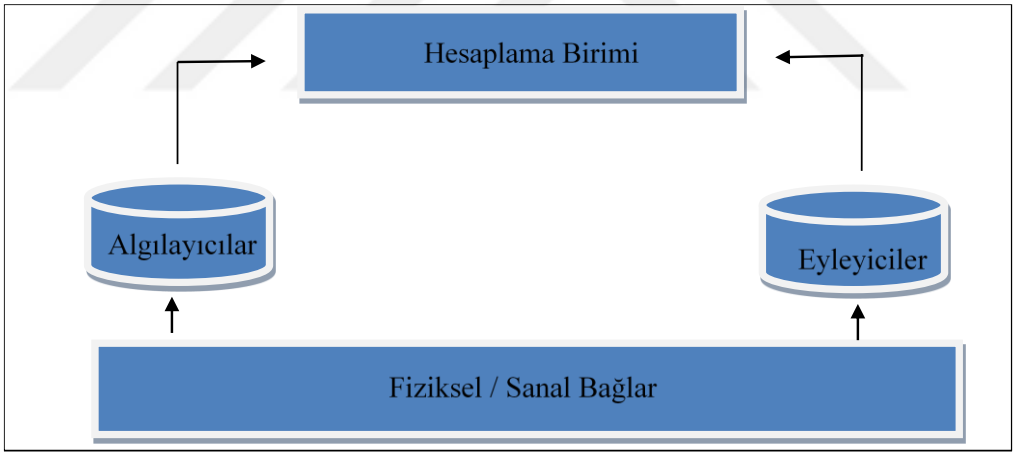
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Siber Fiziksel Sistemler Nelerdir?

SFS, fiziksel ve sayısal bileşenlerin etkileşimli ağlarıdır. Bu sistemler kritik altyapıların, gelişmekte olan ve gelecekteki akıllı hizmetlerin temelini oluşturacak ve birçok alanda yaşam kalitesini geliştirecektir. SFS, kişiselleştirilmiş sağlık hizmetleri, acil durum müdahaleleri, trafik akışı yönetimi ve elektrik enerjisi üretimi ve dağıtımı ile birlikte öngörülen diğer birçok alanda ilerlemeler sağlayacaktır.

Bunları ve ilgili SFS teknolojilerini araştırırken karşılaşılabilecek kavramlar şunlardır:

- IoT
- Endüstriyel internet
- Akıllı Şehirler
- Akıllı Şebekeler
- "Akıllı" Her şey (örn. Arabalar, Binalar, Evler, İmalat, Hastaneler, Aletler)



Şekil 1.1. SFS yapısı

Bir SFS, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi fiziksel ve sanal dünyalar arasında etkileşime girer. Her zaman klasik bir iş bilgi sisteminde veya gömülü sistemde bulunmayan zorlukların bir koleksiyonunu sunar. SFS oluşturmak için, sistem mühendisliğinin yeni bir disiplini biçiminde, teknik alanların yanı sıra ilgili uygulama sektörlerini kapsayan

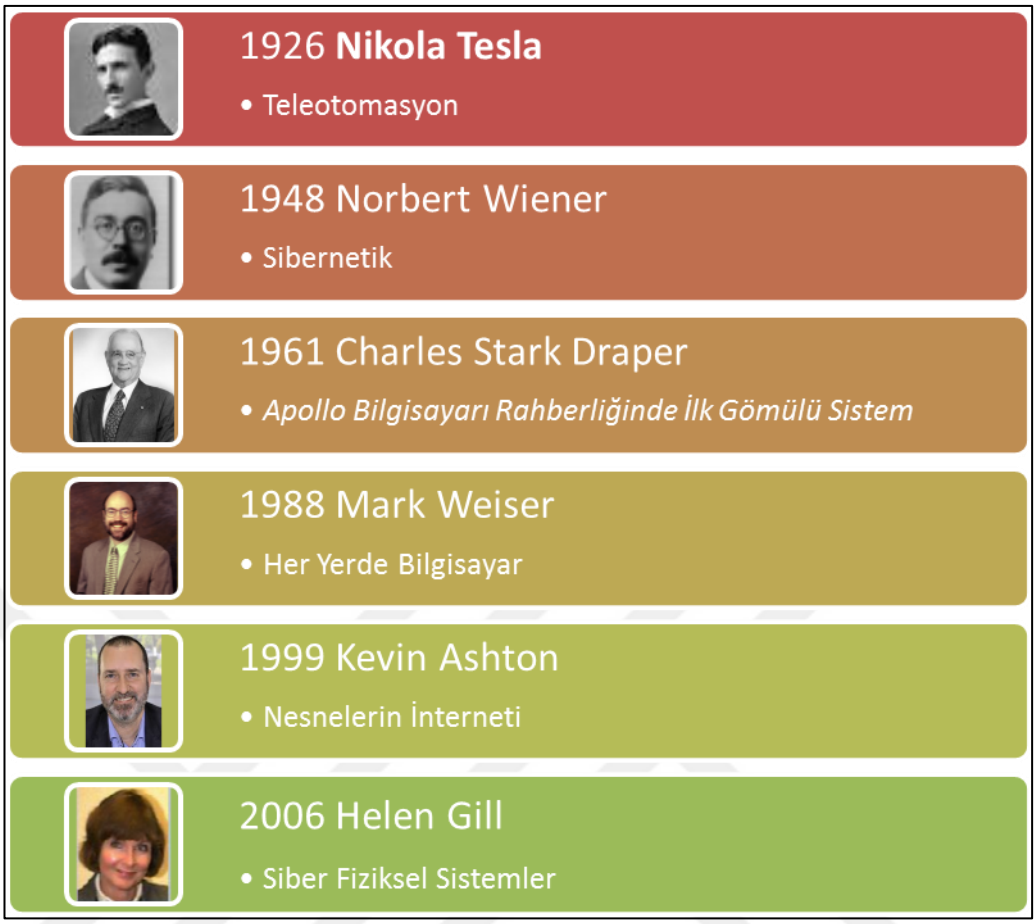
farklı mühendislik yetkinliklerinin bir bileşimi gereklidir. Tipik bir SFS şunları yapabilir:

- Fiziksel ve organize edilmiş iş veya iş süreçlerini izler ve kontrol eder.
- Farklı teknik disiplinlerin ve farklı uygulama alanlarının dahil olmasını gerektirir.
- Yüksek derecede güvenilirlik gerektirir.
- Önemli kullanıcı katılımını / etkileşimini dahil eder.
- Kendi performansını sürekli olarak izler ve optimize eder.
- Gerçek zamanlı yapılandırma, kurulum veya devreye alma yoluyla ortamdaki yanıt değişikliklerinde sürekli olarak güncellenir.
- Yerel, bölgesel, ulusal ve küresel düzeyde özerkliğe sahip hiyerarşik karar sistemleri gerektirir.

SFS'ler, yaşlanan bir nüfusla baş etmek, iklim değişikliğini ele almak, sağlık ve kamu güvenliği konularını iyileştirmek, yenilenebilir enerji geçişini desteklemek, devasa kentler için planlama ve sınırlı kaynakların ele almak, sürdürülebilirlik, küreselleşme ve hareketlilik gibi toplumsal sorunlara belirleyici katkılarda bulunabilir. Bu alanların birçoğu, gelecekte toplumsal zorlukların üstesinden gelmenin anahtarıdır.

1.2. Siber Fiziksel Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

"Siber fiziksel sistemler" terimi 2006 yılında, Helen Gill tarafından Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Bilim Vakfı'nda bahsedilmiştir. SFS "siber uzay" terimi ile ilişkilendirilse de, SFS teriminin kökleri daha eski ve daha derindir. SFS teriminin, siber uzay teriminden türetildiğini düşünmek yerine, aynı kökten, Sibernetik'ten kaynak olarak görmek daha doğru olabilir. "Sibernetik" terimi, kontrol sistemleri teorisinin gelişimi üzerinde büyük etkisi olan Amerikalı bir matematikçi olan Norbert Wiener (Wiener, 1948) tarafından ortaya atılmıştır.



Şekil 1.2. SFS gelişimine katkı veren şahıslar

Şekil 1.2'de SFS gelişimine katkı sunan bilim insanları listelenmektedir. İkinci dünya savaşı sırasında Wiener, uçaksavar silahlarının otomatik nişanlanması ve ateşlenmesi için teknolojiye öncülük etmiştir. Kullandığı mekanizmalar dijital bilgisayarları içermemesine rağmen, ilgili prensipler günümüzde çok çeşitli bilgisayar tabanlı geri bildirim kontrol sistemlerinde kullanılanlara benzerlik göstermektedir.

Wiener, sibernetik konusundaki hedefini kontrol ve iletişimin birleşimi olarak tanımladı. Onun kontrol kavramı, kontrol mantığının fiziksel süreçlerin ölçümleri tarafından yönlendirildiği ve sonuç olarak fiziksel süreçleri harekete geçirdiği kapalı döngü geribildiriminde köklü bir şekilde işlenmiştir. Wiener dijital bilgisayarlar kullanmamış olsa da, kontrol mantığı etkin bir hesaplama yöntemiydi ve bu nedenle sibernetiği fiziksel süreçlerin, hesaplamanın ve iletişimin birleşimi olarak kullanmıştır.

SFS teriminin, siber uzayın fiziksel süreçlerle belirsiz bir şekilde birleşmesi olarak yorumlanabileceği gerçeği, SFS'nin sahip olacağı muazzam etkinin altını çizmeye

yardımcı olmaktadır. SFS, Wiener'in çağının en çılgın hayallerini bile geride bırakan olağanüstü bir bilgi teknolojisinden yararlanmaktadır.

Tablo 1.1 SFS üzerine çalışmalar

YIL	OLAY
1932	Kontrol tasarımı için Nyquist frekans teknikleri (Nyquist 1932)
1940-1945	Örnek Veri Sistemleri Teorisi (Jury 1971)
1945	Bode: Geri Bildirim Amplifikatörü Tasarımı (Bode 1945)
1946	Hücresel Telefonun Başlangıcı (Farley 2005)
	ENIAC Bilgisayarının Buluşu (Kim 2012)
1950	Kök Locus Tekniğinin Gelişimi (Evans 1950)
1954	Sayısal Kontrolün Ortaya Çıkışı (Bennet 2004)
1959	Durum-Uzay Tekniklerinin Gelişimi (Kalman 1959)
1969	ARPANET (Abbate 1994)
1973	Gerçek Zamanlı Bilgi İşlem Gelişimi (Sha 2004)
	Optimal Kontrol (Zhou 1996), Adaptif Kontrol (Ioannou 2012),
	Doğrusal Olmayan Kontrol (Khalil 2001),
	Stokastik Sistemler (Aström 2012),
1990	Hibrit sistemler (Alur 1993)
	Ayrık olay sistemleri (Cassandras 1999)
1997	IEEE 802.11 WiFi Standart (Crow 1997)
1998	"Mote" Algısının Gelişimi, NCS Başlangıcı (Kahn 1999)

Tablo 1.1. (Devamı) SFS üzerine çalışmalar

2000	QoS'un gelişimi (Atdalzater 2000)
2002	Geri Bildirim Çizelgeleme (Arzen 2002)
	Herzaman Kontrol (Bhattacarya 2004)
2006	Siber Fiziksel Sistem (Kim 2006)
2007	PCAST SFS Ulusal Öncelikli İsimler
2010	Siber-Fiziksel Sistemler Uluslararası Konferansı Kuruluşu
2012-2014	Çok sayıda SFS Atölyesi Düzenlenmesi

1.3. Siber Fiziksel Sistemlerin Alt Kavramları ile İlişkileri

SFS birçok alt kavramla desteklenmiş karmaşık bir yapıdır. Şekil 1.3'te bu kavramların bazıları gösterilmiştir.



Şekil 1.3. SFS ve alt kavramlar [7]

1.3.1. Siber fiziksel sistemler ve gömülü yapılar

Gömülü bir sistem, kontrol mantığı ve gerçek dünya etkileşimi unsurlarını içeren bağımsız bir sistemdir. Bununla birlikte, bir SFS'den farklı olarak, gömülü bir sistem tipik olarak tek bir cihazla sınırlıdır. SFS'ler ise birçok ana sistemi ve cihazı kapsayabilir. Gömülü sistemler, tipik olarak çok sınırlı kaynaklarla bu görevleri gerçekleştirmek için özel olarak tasarlanmış yazılım ve donanım elemanları ile tamamlanacak sınırlı sayıda görevlere sahiptir.

Gömülü sistemler birçok SFS için çok önemli unsurlar olsa da, bir SFS'nin kendisi, insan ve sosyoteknik sistemler de dahil olmak üzere birçok gömülü sistem veya başka aygıtlar ve sistemler de dahil olmak üzere çok daha büyük bir ölçekte çalışır.

1.3.2. Siber fiziksel sistemler ve nesnelerin interneti

SFS ve IoT önemli kesişim noktalarına sahiptir. IoT, milyonlarca aygıtın internet üzerinden bağlandığı ve gerçek dünya hakkında uzaktan bilgi toplamasına ve diğer sistemlerle ve cihazlarla paylaşmasına olanak tanıyan geleceğe yönelik bir hedeftir.

IoT ve SFS birçok zorluğu paylaşmakla birlikte bazı farklılıklar da içermektedir. IoT, internete bağlı cihazlar ve gömülü sistemler üzerinde güçlü bir yönetim imkanı sunmaktadır. SFS mühendisliği, hesaplama ile fiziksel dünya arasındaki ilişkiyi güçlü bir şekilde vurgulamaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmalar IoT'yi ve özellikle algılayıcılar ve / veya eyleyicilerle fiziksel dünyayla etkileşime girmeyi içeriyorsa, SFS alanında sınıflandırılabilir.

1.3.3. Siber fiziksel sistemler ve sistemlerin sistemi

SoS (System of Systems), kendi başlarına da bağımsız sistemler olan bileşenlerden oluşan bir sistemdir. Yönetimsel ve işlevsel olarak bağımsız olan, fiziksel olarak dağıtılan, sürekli olarak evrimleşen ve tek başlarına üretemeyecekleri ortaya çıkan küresel davranışları üretmek için birlikte işbirliği yapan kurucu sistemler olarak tanımlanabilirler.

Eğer yapılan çalışmalar sistemlerin sistemi ile çalışıyorsa, özellikle algılayıcılar ve / veya eyleyiciler aracılığıyla gerçek dünyayla etkileşime girmeyi içeriyorsa, SFS olarak sınıflandırabilir.

1.4. Siber Fiziksel Sistemlerin Geleceği

SFS, internet gibi insanların hayat standartlarını değiştirebilecek bir potansiyele sahiptir. Bilgi çağında olduğumuz bu dönemde insanların internet devrimiyle birlikte hayatının her noktasında sonuna kadar yaşadığı toplumsal ve sosyal dönüşümler yeni ihtiyaçları ve düzenlemeleri de birlikte getirmektedir. Artık insan-makine ve makine-makine etkileşimleri, iletişimleri ve ilişkileri günümüz dünyasının en önemli konu başlıklarından birisidir. SFS kendi bünyesinde ve ilişkide olduğu diğer alanlar ile birlikte geleceğin şekillenmesinde ana konulardan biri olmaya adaydır.

Günümüzde kıt kaynaklar, çevresel etkiler, yaşlanan nüfus, teknolojik gelişmelerdeki yüksek dinamikler, küreselleşme, işletmelerin dönüşümü, sağlık alanındaki gelişmeler, yenilenebilir enerji sistemleri gibi birçok konuda SFS çözüm ortağı olmaya aday durumdadır.

Gelişmekte olan ülkelerin bu konuda yatırım planları ve programlarına bakıldığında SFS geleceği şekillendirmede anahtar konulardan biri olacaktır. Altında barındırdığı potansiyel ile daha yaşanabilir kentler ve çevreler, doğru üretim süreçlerinin tasarımı, sağlık hizmetlerine ulaşım gibi birçok kritik konuda SFS gelişime açık bir alan olarak görülmektedir.

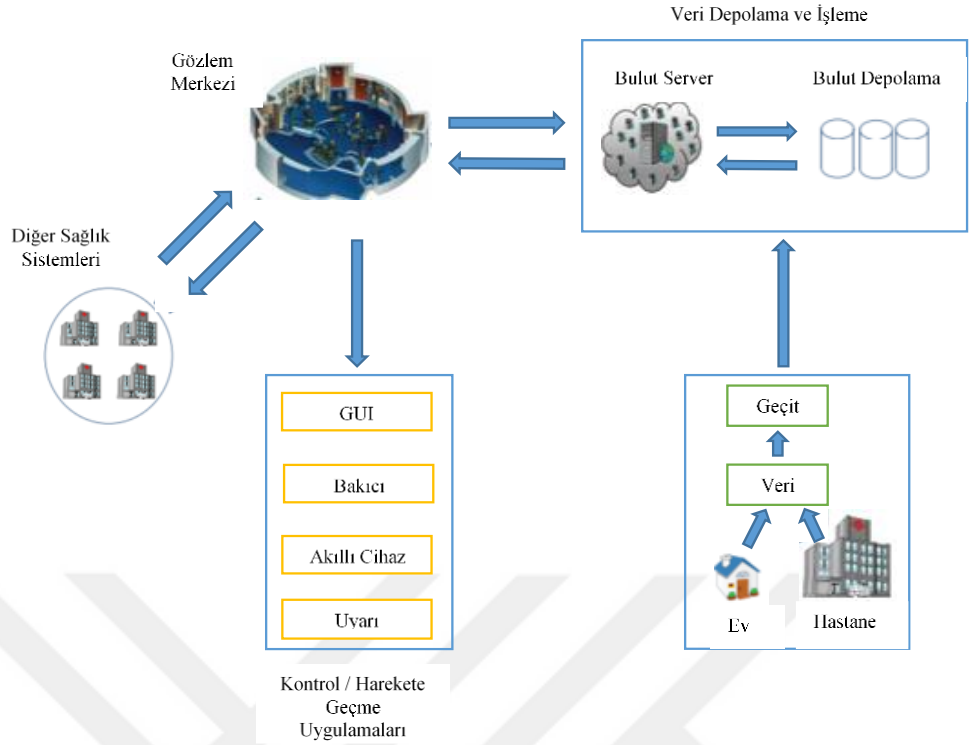
2. MEVCUT UYGULAMALAR VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Sağlık Alanında Siber Fiziksel Sistem Uygulamaları

Medikal Siber Fiziksel Sistemler (MSFS), sağlık alanında yeni bir kavramdır. Siber dünya ile fiziksel dünyayı birleştiren SFS, sağlık alanında cihazların sanal dünyadan kontrolü, fiziksel dünyada olan bir değişikliğin sanal dünyayı etkileyerek bir dizi komut ve kontrol fonksiyonunu çalıştırması gibi uygulamaları gerçekleştirir [10].

MSFS, sağlık bakımı ile ilgili uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. MSFS'ler, hastane içi veya evde hasta bakımı uygulamalarında, kablosuz algılayıcı ağlardaki gelişmeler, tıbbi algılayıcıların çeşitlenmesi ve bulut veri işleme ile en güçlü aday haline gelmişlerdir. Hastaların hayati sağlık verilerini içeren tıbbi algılayıcılarla ilgili önemli araştırmalar yapılmaktadır [4, 11].

MSFS uygulamalarında, insan vücuduna bağlanabilen küçük gömülü sistemler yardımıyla veya takibin yapılacağı ortamda kurulan kablosuz algılayıcı ağlar yardımıyla vücuda ait kritik bilgiler internet veya mobil cihazlar üzerinden sanal ortama gönderilir. Bu bilgiler çok büyük boyutlarda olabilir ve hızlı bir tepkime süresi gerektirir. Kablolu algılayıcılar da bu uygulamalarda kullanılabilir. Ancak, kablosuz algılayıcılar hem daha fazla esneklik hem de konfor sağlamaktadır.



Şekil 2.1. MSFS tasarımı [10]

2.2. Sağlık Alanında Siber Fiziksel Sistem Uygulamalarının Sınıflandırılması

Sağlık hizmetlerinde kullanılan SFS yaklaşımlarını karakterize eden bir takım sınıflandırmalar yapılabilir. Şekil 2.1'de örnek bir MSFS tasarımı görülmektedir. Bu tasarımın gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan bilgiler şöyle sınıflandırılabilir:

2.2.1. Uygulama

MSFS uygulamaları hasta bakım odası hizmetleri, yardımcı yaşam merkezleri, yaşlı bakımı ve evde hasta bakım hizmetleri gibi insan odaklı karmaşık süreçlerden oluşur. Uygulanacak alanlar özel organizasyona ihtiyaç duyabilmektedir. MSFS, desteklenmiş uygulamalar ve kontrollü uygulamalar olmak iki farklı alana ayrılabilir.

Desteklenmiş uygulamalar; kişinin bağımsızlığını kısıtlamadan biyolojik algılayıcılar yoluyla fizyolojik verilerin gerçek zamanlı aktarılmasını sağlar. Bu uygulamalarda tıbbi tavsiyelerde bulunulabilir. Alınan bireysel tıbbi gereksinimler hesaba katılarak, artan destek ve bakım mümkündür. Bilişsel ve motor becerilerini kaybetmeye başlayan yaşlı bireylerde hayatlarını kendi başlarına otonom şekilde devam edebilme vasfını yitirmeleri ile hastane ortamında veya bakım evlerinde kontrollü bir şekilde yaşamına

devam etme durumu ortaya çıkar. Bu durum ekonomik ve duygusal sonuçlara sebebiyet verir. MSFS uygulamaları bu gibi durumlarda fırsatlar sunabilmektedir. Evde bakım uygulamalarında otonom ve güvenli bir hizmet sunan ANGELAH gibi uygulamalar kullanılmaktadır [12].

Kontrollü uygulamalar; tıbbi ve yoğun bakım gerektiren hastane ortamlarında gözlem seviyesi yüksek ve karmaşıklığın fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Biyolojik algılayıcılar, başucu monitörleri, klinik gözlemleri ve daha birçok kaynaktan alınan veriler analiz edilerek, uzman kişilere bilgilendirme sağlar. Günlük yaşam aktivitelerinin sağlık hizmetlerini nasıl etkilediği ile ilgili bilgilerde daha bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olur. Bu iki kısmın birleştirilmesiyle daha ideal bir sağlık sistemi kurulabilir. SFS büyük ve karmaşıklığının yanı sıra bahsedilen konularla ilgili büyük kolaylıklar sağlamaktadır [13].

2.2.2. Mimari

MSFS uygulamalarında kullanılan mimari, sistemin kalitesi ve performansı için çok önemlidir. Sağlık uygulamalarında SFS mimarisi geliştirilirken, etki alanı, gerekli olan kullanıcı verileri ve sistem bütünleşmesi göz önünde bulundurularak uygulamaya dayalı öneriler sunulmalıdır.

SFS mimarileri sunucu tabanlı ve bulut tabanlı olmak üzere iki farklı altyapı kullanmaktadırlar. Sunucu tabanlı altyapı küçük mimariler için uygundur ve bireysel bakım gerekmektedir. Bulut tabanlı altyapılar ise, ölçeklenebilirlik, maliyet etkinliği ve erişilebilirlik avantajları sayesinde son zamanlarda daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

MSFS uygulamalarında sağlık bakımı gibi mimarileri yönetmek için, giriş verileri, çıkış verileri ve geçmiş veriler gibi farklı türde verileri elde etmek gerekmektedir. Bu veriler algılayıcı türüne göre, basit bir sıcaklık verisi olabildiği gibi Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI) gibi büyük boyutta görüntü verileri de olabilir. Uygulamanın türüne bağlı olarak veri toplama ve iletim yöntemi değişebilir [14]. Örneğin, sıcaklık ve tansiyon veri türünde düşük yoğunlukta veri aktarımı olabileceği gibi yüksek yoğunlukta veri aktarımı gerektiren Elektromiyogramı (EMG) verileri de olabilir. Veri gereksinimleri düşük ve yüksek yoğunluk olmak üzere sınıflandırılabilir.

2.2.3. Algılama

MSFS uygulamalarında fiziksel varlığı algılama görevi algılayıcılar tarafından gerçekleştirilir. Algılama, sistemin en önemli parçasıdır. Algılanan veriler sistemin giriş değerleri olarak kullanılmaktadırlar. Algılama konusu üç başlıkta incelenebilir:

Algılayıcı tipi; uygulamanın türüne göre algılayıcı tipi ve sayısı değişkenlik gösterebilir. Sistemin karmaşıklığı büyük ölçüde türüne bağlıdır. MSFS çok sayıda algılayıcının çoklu algılayıcı bilgilerine dayanır. Algılanan bilgiler bazen tehlikeye yol açabilecek olağan dışı veya anormal durumları analiz etmek için kullanılır. Bu analizlerde yüksek ve güvenli tahminler çok önemlidir. Kullanıcıların faydasına sistemler ortaya çıkarabilmek için algılanan bu verilerin analiz edilmesi çok önemlidir [15].

Yöntem; Mevcut biyolojik algılayıcılar hayati hasta bilgilerini verimli bir şekilde toplar ve bunları hastanede veya evde kurulan sistemler sayesinde bir kontrol cihazına iletebilir [16]. Bu toplanan bilgi yerel olarak kullanılabileceği gibi bulut vasıtasıyla diğer ağlara da iletilebilir [17].

Parametre; daha iyi bir iletişim, hesaplamaların güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bazen tek bir parametre basit bir sistem için yeterli olabilirken, ayrıntılı durum takip sistemlerinde ise çoklu parametre gerekebilir. Günümüzde giyilebilir ve kablosuz algılayıcılar, hayati bilgileri kusursuz bir şekilde izleyebilmektedir. Kalp hızı, oksijen seviyesi, kan akımı, solunum hızı, kas aktiviteleri, hareket şekilleri, vücut eğimi ve oksijen alımı gibi geniş algılayıcı yelpazesi, çok parametreli sisteme giriş setleri sağlamaktadır. Bu çoklu parametreler veri analizinde büyük kolaylıklar sağlamaktadırlar [2 - 4, 18, 23, 28].

2.2.4. Veri yönetimi

MSFS hizmetlerinde veri yönetimi, toplanan verilerin yönetilmesi stratejisine dayanmaktadır. Algılayıcılardan elde edilen çoklu verilerin gelecekte kullanılabilmesi için, işlenerek saklanabilmesi gerekmektedir. İşlenen veriler daha iyi iletişim ve daha fazla bilgi birikimi sağlamaktadır. Algılanan veriler ham formatlarında kullanılamazlar. Bu büyük bir bant genişliği ve verimsiz işlem kümeleri oluşmasına

sebebiyet verir. nRTEDBs (Network Enabled Real Time Embedded Databases) gibi çalışmalar ile ağa bağlı gerçek zamanlı gömülü veri tabanı sistemleri kullanılabilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, veri tabanları birbirleriyle ve kablosuz algılayıcılar ile güvenli ve kontrollü bir şekilde gerçek zamanlı iletişim kurabilir. Bu sistem sayesinde ham veriler işlenebilmektedir. Diğer özellikleri ise, gerçek zamanlı veri işleme ve yönlendirme, güvenilir olay algılama ve dayanıklılıktır [19]. Şekil 2.2'de gösterilen gerçek zamanlı veri modeli üç temel unsurdan oluşur: Veri bütünlüğü, veri depolama ve veri işleme.



Şekil 2.2. Gerçek zamanlı veri yönetimi modeli

2.2.5. Hesaplama

MSFS hesaplama, modelleme ve izleme süreçlerinde kullanılmaktadır. MSFS gerekli yöntemin eklenebilmesi için model özelliklerinin hesaplanması önemli bir rol oynar. Doktorlar ve yetkin kişilerin hastaları her zaman ve her yerden izleme ve gözlemleyebilmesine ihtiyaç vardır. Gerekli olan hasta verilerine erişebilmeleri çok önemlidir. Doktorlar hastanelerde ve uzaktan gözetim merkezlerinde kullanılan biyolojik algılayıcılar yardımıyla hasta verilerini kolayca toplayabilir ve bulut bilişim sayesinde büyük ölçekli ve karmaşık hesaplama ve iletişim olaylarını gerçekleştirebilir. Sistemin verimliliğini sağlamak için, veri tıkanıklığı ve veri boyutu hesaplama gibi kritik aşamalar bazı hesaplama algoritmaları kullanılarak aşılabilir. Bulut bilişim ile bu hesaplama süreçleri için hizmet sağlanabilir. Ayrıca yüksek performanslı bilgisayar kullanımı, her platforma ve işletim sistemine uyum sağlayabilmesi ile bulut bilişim birçok hizmet sunmaktadır.

2.2.6. İletişim

MSFS mimarilerinde iletişim iki ana bölümden oluşmaktadır: Hasta verilerini algılama ve bulut ile iletişim kurma. Görüntü iletişiminde son gelişmeler WMSN (Wireless Multimedia Sensor Network) üzerinden yeteneklerini genişletme potansiyeline sahiptir. MSFS çıkarılmış ve/veya sıkıştırılmış görüntülere izin vererek enerji verimli bir şekilde iletişim gerçekleştirebilir. Spesifik fizyolojik parametrelerin görüntü verileri ile incelenmesi hasta izleme ve gözlemlemeye yardımcı olabilir. Zaman planlaması ile verimli bir iletişim zaman haritalaması çıkarılabilir. Bu sayede biyolojik algılayıcılardan elde edilen verilerin gerçek zamanlı güncelliği, görev zamanlaması, veri yönetimi ve eş zamanlılık kontrolü ile sağlanabilir. Bazı özel iletişim protokolleri kullanılarak algılayıcılar arasındaki etkileşim koordine edilebilir. Algılayıcıların heterojen yapısından dolayı verimli ve güvenilir iletişim için, uygun bir iletişim protokolünün belirlenmesi önemlidir. Tablo 2.1'de MSFS uygulamalarında kullanılan uygun kablosuz bağlantı protokolleri görülmektedir.

Tablo 2.1. MSFS için uygun kablosuz bağlantı protokolleri

Teknoloji	Sistem	Veri Hızı	Hücre Büyüklüğü	Frekans Aralığı
IEEE 802.11g/WiFi	BAN/PAN	54 Mbps	50-60 m	2.4 GHz
IEEE 802.11n/WiFi	BAN/PAN	540 Mbps	50-60 m	2.4 GHz
IEEE 802.15.4	BAN/PAN	240 Mbps	10-30 m	2.4 GHz
IEEE 802.16e/WiMAX	WAN	30 Mbps	>70-80 km	2-6 GHz
IEEE 802.20	WAN	16 Mbps	>15 km	3.5 GHz
IEEE 802.22	WAN	18 Mbps	40 km	54-862 MHz
WiBro	WAN	18 Mbps	1 km	2.3-2.4 GHz

2.2.7. Güvenlik

Hasta verileri yasal ve etik açıdan gizli olmak zorundadır. MSFS tasarlarken veri güvenliğine oldukça dikkat etmek gerekmektedir. Veri güvenliği gizlilik ve şifreleme bileşenlerinden oluşmaktadır.

Gizlilik; sağlık hizmetlerinde doktorlar, hasta-doktor mahremiyeti dışında hasta verilerinin gizliliğine de dikkat etmelidir. Sağlık hizmetlerindeki algılayıcıların, servislerin ve kişisel hasta bilgilerinin sayısı sürekli artmaktadır. Tüm bunları yönetmek sistem için büyük bir yük oluşturmaktadır. Bulut bilişim sunucu güvenlik protokolleri verilerin güvenliğini sağlasa da, verileri kullanıcı düzeyinde şifrelemek daha iyi bir güvenlik hizmeti sunmaktadır [21].

Güvenlik üzerine yapılan bir çalışmada (Poon ve diğ., 2006) kablosuz ağ güvenliği sağlamak için WBAN (Wireless Body Area Network) ve uygulama düzeyinde veri gizliliği için biyometrik sistemler kullanılmaktadır [23]. Uygulama türüne bağlı olarak veri gizliliği türünün seçiciliği değişebilmektedir.

Şifreleme; sağlık uygulamalarında yer alan klinik uzmanı ve kullanıcılar arasındaki iletişimin güvence altına alınmasını sağlamaktadır. Bu şifreleme kullanıcı düzeyinde ya da ağ düzeyinde olabilir. Nitelik tabanlı şifreleme hassas ve gizli verilerin şifrelemesinde kullanılabilir.

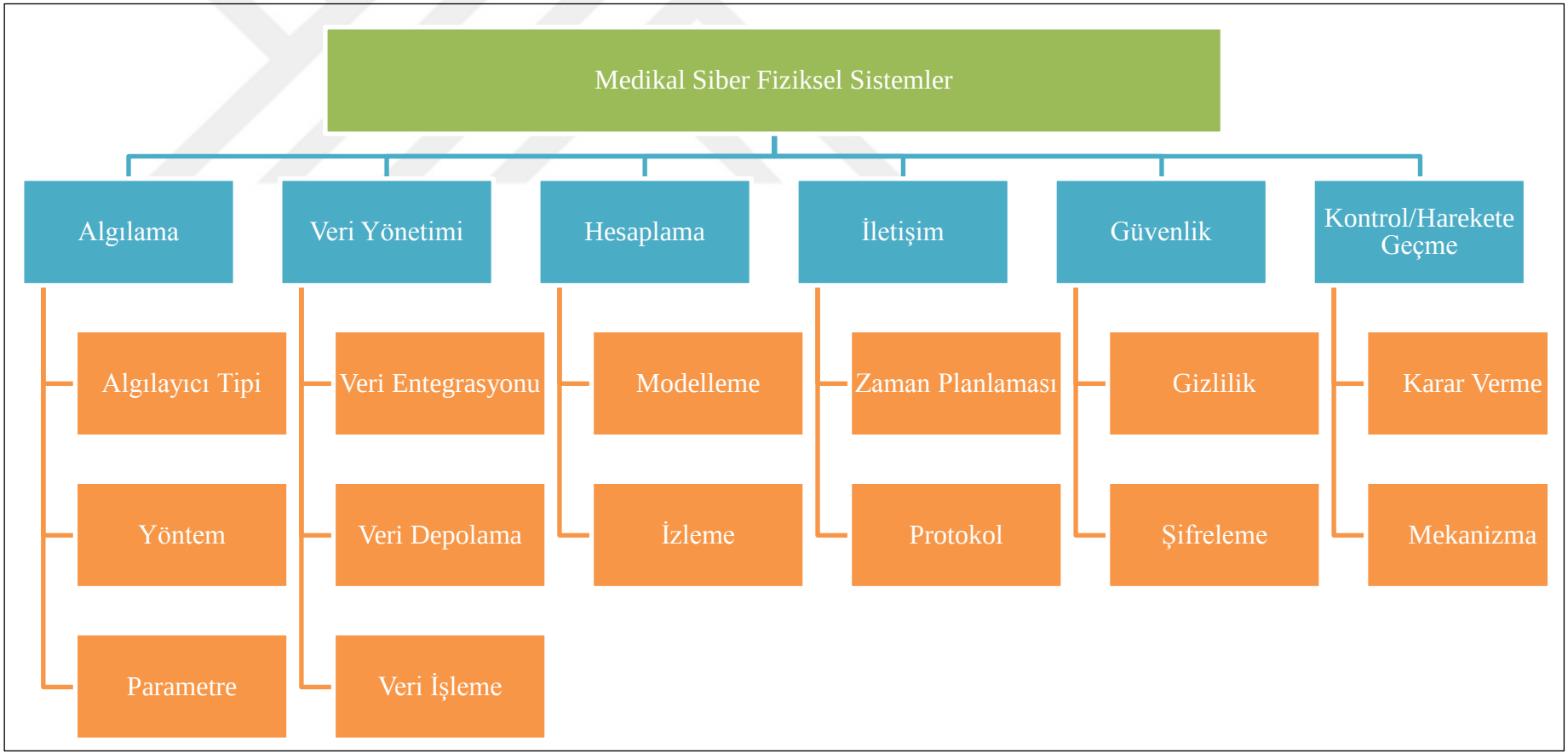
2.2.8. Kontrol / Harekete geçme

Mevcut sağlık sistemleri acil hasta verilerini tespit etmede ve yetkili görevliyi uyarmada sınırlı etkinliğe sahiptir. Şu anda çoğu uyarı sistemi eşik değerlere göre yapılandırılmış bir şekilde çalışmaktadır. Önemli bir parametre eşik değeri geçtiği zaman alarm oluşturulmaktadır. Uyarı sistemleri karar verme ve mekanizma sistemlerinden oluşmaktadır.

Karar verme; bir hastayı kaydetmek için gerekli olan tıbbi veriler tedavilere bakış açsından yararlı olabileceğinden tüm tıbbi personelin bu verilere erişimi iyi planlanmalıdır. Tüm veriler yetkilerine göre, uzman kişiler tarafından ulaşılabilir olmalıdır. Bunlara ek olarak büyük hesaplama gerektiren, çok büyük tıbbi veriler için akıllı karar verme mekanizmaları kullanılabilmektedir [24]. Mevcut alarm

sistemlerinin çoğu eşik değeri prensibine göre çalışmaktadır. Eşik alarmı acil durum tespitinde çok önemlidir. Ama bu alarm uygulamaları, çok fazla uyarı verdiğinden dolayı, bir süre sonra hasta bakımı yapan kişilerde yorgunluğa sebebiyet vermektedir. Yanlış alarm uyarıları da bir süre sonra bakımdan sorumlu olan kişinin bu uyarıları görmezden gelmesine ve bakım kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır [25-27].

Mekanizma; uygulama türüne göre, otomatik veya elle (manuel) olabilir. Mekanizma tasarım konusunu ele almaktadır. Gerçek zamanlı sağlık uygulamalarının uygulanması ve sistemin geri beslemesinin otomatik ya da kullanıcı tanımlı mı olduğu belirlenmelidir.



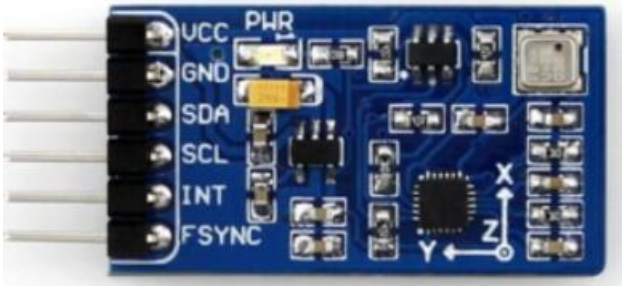
Şekil 2.3. MSFS taksonomisi

2.3. Sağlık Uygulamalarında Kullanılan Algılayıcı Tipleri

Özellikle yaşlı hasta gruplarında eklem kireçlenmesi rahatsızlığı en sık görülen hastalıklardan biridir. Bu hastalarda iyileştirme süreci oldukça uzun sürebilmektedir. Bu sürenin uzaması hastaların tedaviye karşı güdülenmesini düşürmekte ve tedaviyi yarıda bırakma gibi sorunlara yol açmaktadır.

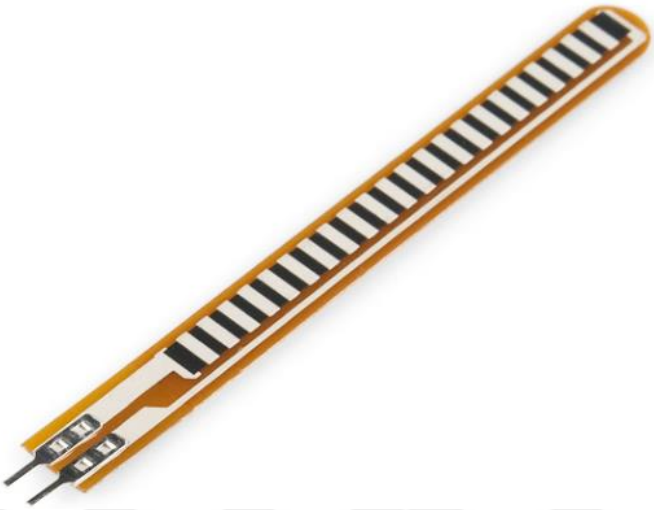
Tedavi sürecinin takibinde analog bir sistem olan gonyometrelerden yararlanılmaktadır. Bu sistem uzman kişi tarafından hastanın eklem kısmındaki bir noktayı merkez kabul ederek açısının ölçülmesi ve verilerin sorumlu kişi tarafından kaydedilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Fakat bu sistemin sakıncaları mevcuttur. İnsan kaynaklı hatalarda verilerin güvenirliliği düşmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı tedavi takibinde algılayıcıların kullanılması daha kesin ve sürekli veri elde edilmesini sağlamaktadır. İnsan kas hareket sistemlerinin takibinde birçok araştırma ve uygulama yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda en sık kullanılan algılayıcı tipleri şunlardır:

IMU (Inertial Measurement Unit) algılayıcı; açısal hız ve doğrusal ivme değerlerini tek bir yapıda toplayarak sunabilen bir algılayıcı türüdür. Şekil 2.4'te gösterilen cihazın birçok uygulama alanı mevcuttur. İnsansız hava araçları, uzay araçları, medikal ürünler gibi. Temelde iki ayrı algılayıcının birleşmesi ile oluşmaktadır. İvmeölçer ve jiroskop bir araya gelerek IMU'nun yapısını oluşturmaktadır. Bu iki algılayıcı normal şartlarda, tek başlarına güvenilir ve istikrarlı veri sağlayamazlar. Hassas ölçüm isteyen durumlarda bu iki algılayıcı belli periyodlarda açı kaymasına neden olabilmektedir. Bu yüzden iki algılayıcı birbirlerini referans alarak birleştirilmiştir. Algılayıcı çıkışları Kalman filtresi ile filtrelenerek daha doğru bir ölçüm alınması sağlanır.



Şekil 2.4. IMU algılayıcı [31]

Esnek algılayıcı; kıvrılma miktarı ile direnç değeri değişen bir algılayıcıdır. Şekil 2.5'te gösterilen esnek algılayıcının, direnç değeri ile kıvrılma katsayısı doğru orantılı olarak değişmektedir. Kıvrılma miktarı arttıkça direnç değeri de artmaktadır. Eklem hareketlerinin algılanmasında, kavramayı algılamak için basınç anahtarlarında, biyometrik uygulamalarda ve birçok elektronik ölçüm devresinde kullanılmaktadır.

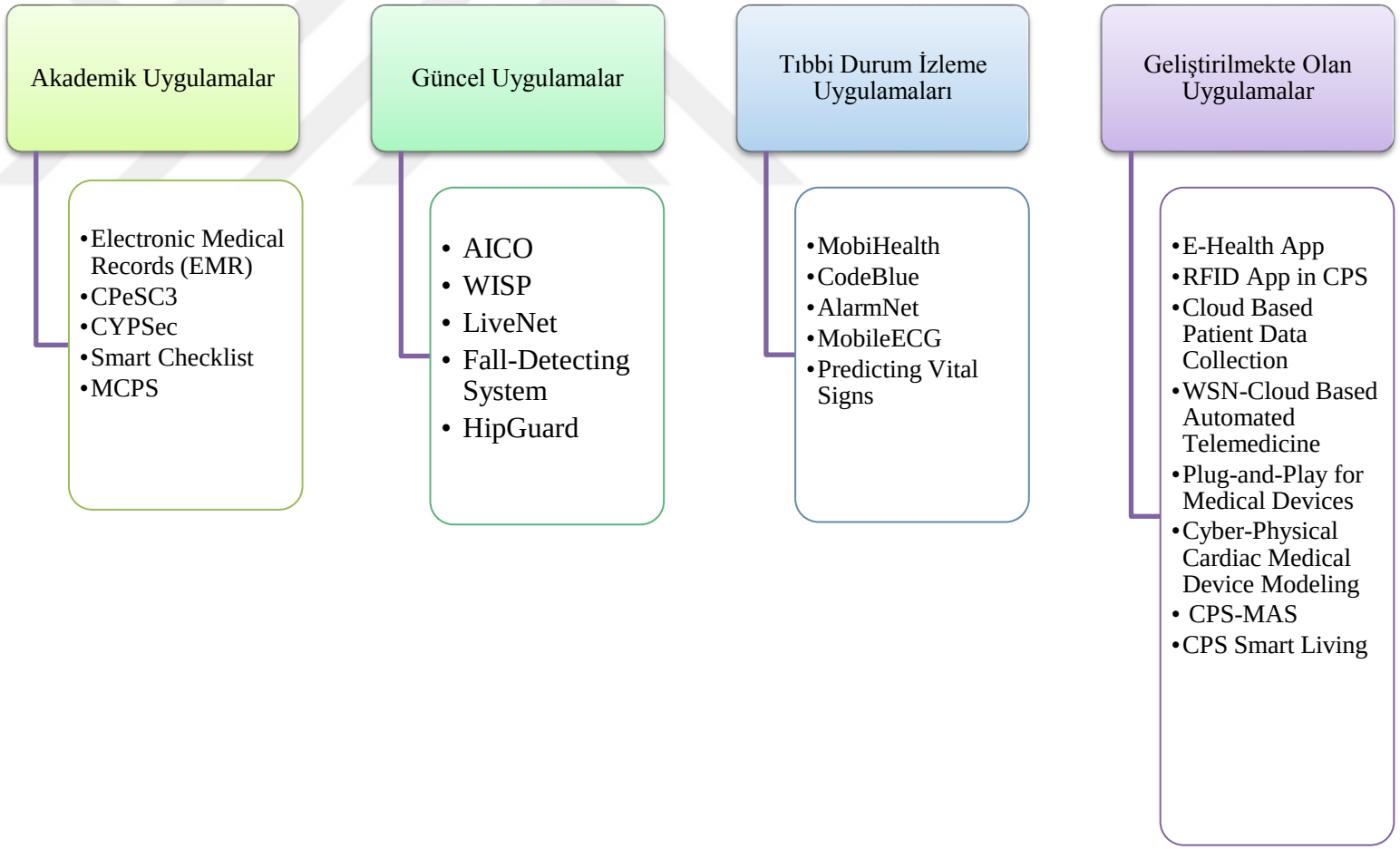


Şekil 2.5. Esnek algılayıcı [32]

2.4. Çeşitli Uygulamalar

Sağlık alanında birçok SFS uygulamaları mevcuttur. Farklı konu başlıkları altında sınıflandırılan bu uygulamalar Şekil 2.6'da gösterilmektedir.

Bu uygulamalar birçok başlık altında toplanabilmektedir. Bu tez çalışmasında yapılan araştırmaların sonucu dört başlık altında sınıflandırıldı. Bu uygulamaların bazıları sadece akademik çalışmalar çerçevesinde gerçekleştirilmiş olup, sonuçları diğer akademik çalışmalar için referans durumundadır. Bazı güncel uygulamalar ticari anlamda son ürün durumda ve klinik ortamlarda kullanılmaya hazırdır. Bunun yanı sıra hali hazırda geliştirilmekte olan ticari ürün veya akademik çalışmalar için kullanılabilecek uygulamalar da mevcuttur.



Şekil 2.6. SFS uygulamaları

3. ÖNERİLEN YÖNTEM

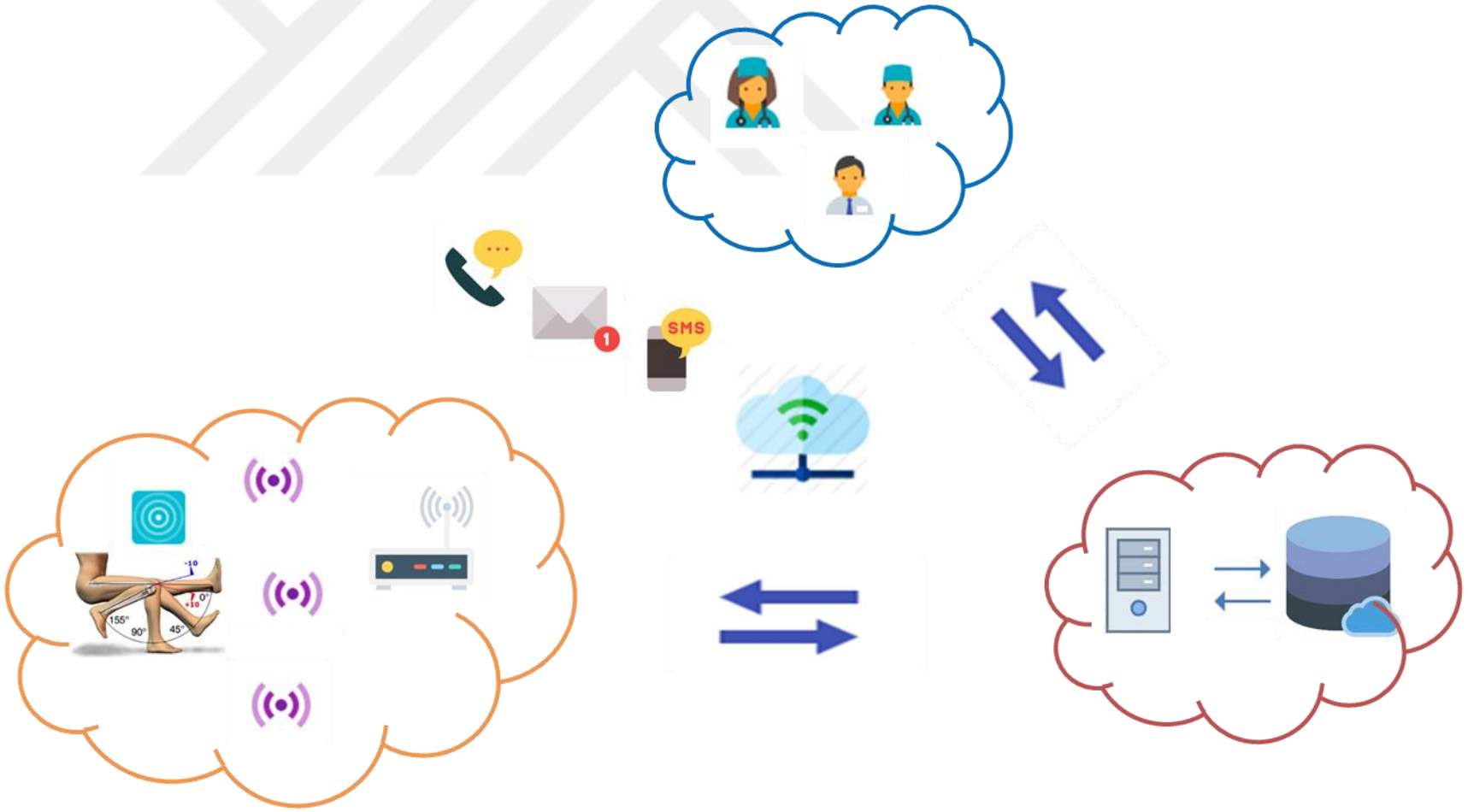
3.1. Sistem Modeli Tasarımı

Şekil 3.1'de sistemin örnek senaryosu görülmektedir. Bu senaryoya göre sistemin üç bileşeni vardır. Birincisi hastanın evde egzersiz yaptığı sırada diz ölçümünün hesaplandığı ve internet ağına bağlanarak verilerin gönderildiği kısımdır. İkincisi verilerin uzaktaki sunucuya ulaştıktan sonraki işlemlerin yapıldığı süreçtir. Üçüncüsü bu iki işlemden sonra verilere ulaşması ve elde edilen verilere göre tedavi sürecini yönlendirecek uzman kişilerin bilgilendirilmesi kısmıdır.

Evdeki süreçte gerçekleştirilen işlemler donanım katmanı kısmını oluşturmaktadır. Bu katmanda dizden veriler analog algılayıcılar sayesinde alınarak, öncelikle ADC ile sayısal veriye çevrilmekte ve mikrodenetleyici üzerinde açısal değere dönüştürülmektedir. Açısal veri elde edildikten sonra WiFi modülü ile veriler uzak sunucuya gönderilmektedir.

Uzaktaki sunucuya gelen veriler web servis sayesinde alınarak veri tabanına kaydedilmektedir. Veri tabanına kaydedilen veriler, anlık egzersiz temelli ve haftalık, aylık, yıllık periyodlar şeklinde uzman kişilere grafiksel olarak gösterilmektedir.

Son olarak bu verilerin gösterildiği doktor ya da uzman kişiler hastanın tedavi sürecini uzaktan takip edebilmektedir. Hastaya sistem üzerinden mesaj, e-posta veya doğrudan telefon ile ulaşarak tedavi sonrası ile ilgili bilgilendirme yapabilmektedirler.



Şekil 3.1. Sistem senaryosu

3.2. Önerilen Modelin Donanım Katmanı

3.2.1. NodeMCU lolin mikrodenetleyici kartı

NodeMCU; Şekil 3.2'de gösterilen oldukça küçük boyutlarda bir elektronik devredir. Açık kaynak olması, ucuz ve yetenekli olmasından dolayı çok tercih edilen bir mikrodenetleyici kartıdır. Düşük gerilim ile çalışır ve üzerinde çok sayıda bağlantı noktası vardır. Bu bağlantı noktaları sayesinde diğer devre bileşenleri kontrol edilebilir. Üzerinde barındırdığı ESP8266 WiFi birimi sayesinde IoT uygulamalarını gerçekleştirmemize olanak sağlar.



Şekil 3.2. NodeMCU kart görünüşü [29]

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) kütüphaneleri sayesinde web istemci veya web sunucu gibi çalışabilir. Bu sayede internet üzerinden kontrol sağlayabilir. Programlama dili olarak LUA betik dilini kullanır. Aynı zamanda, Arduino IDE ve Arduino' nun kullandığı yazılım dili ile de USB kablosu ile bilgisayara bağlanarak kolayca programlanabilir.

NodeMCU, ayarlanabilen ve düzenlenebilen gelişmiş bir donanımsal G/Ç arabirimine ve kullanımı basit olan API (Application Programming Interface) birimine sahiptir. Kod yazım şekli Arduino cihazlardaki yapıya çok benzerdir. Fakat NodeMCU, Arduino cihazlara nazaran daha etkileşimlidir.

ESP8266 modülüne sahip olan NodeMCU; GPIO, PMW, IIC, 1-Wire ve ADC gibi tüm teknolojileri, küçük boyutlardaki bünyesinde barındırmaktadır. Ayrıca NodeMCU yerleşik yazılıma (firmware) da sahiptir.

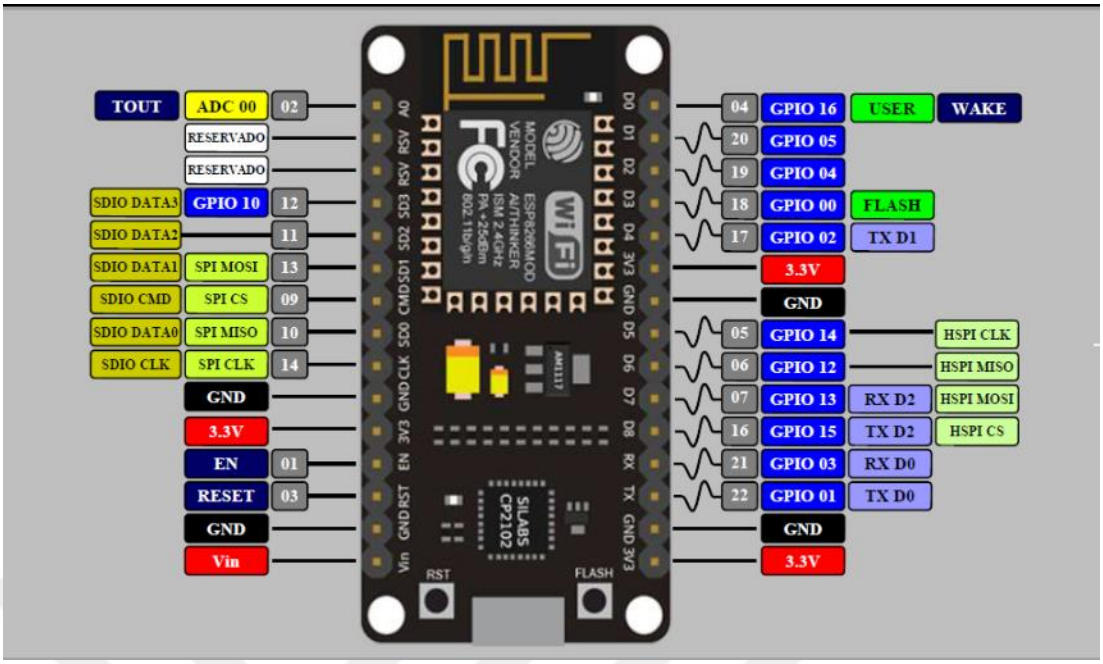
3.2.2. ESP8266 WiFi modülü

Birçok farklı birimi kısıtlı bir alana yerleştirmek için günümüzde ciddi bir çaba harcanmaktadır. Özellikle boyutları küçülen teknolojik cihazlarla birlikte içinde barındırmak zorunda olduğu WiFi, NFC (Near Field Communication), Bluetooth gibi kablosuz teknolojileri de bu yapıların içine yerleştirme zorunluluğu doğmuştur. Bu zorunluluklar kablosuz teknoloji cihazlarının boyutlarında küçülmeye ve yeni tasarımlar ortaya çıkarmalarına sebep olmuştur.

ESP8266 TCP/IP protokol yığın yapısına sahip, oldukça düşük maliyetli bir mikrodenetleyici kartıdır. Bu kartın üç çalışma şekli mevcuttur. Kablosuz bir ağa bağlanmak için STA (Station/Client) durumuna, kablosuz ağ oluşturmak için AP (Access Point) durumuna ve ağa bağlandıktan sonra tekrarlayıcı görevinde çalışması için STA&AP durumuna sahiptir [8].

ESP8266 birimi günümüzde IoT uygulamalarının yaygınlaşmasından sonra oldukça popüler hale gelen Raspberry Pi, Arduino, ATtiny gibi geliştirici kartlar ile kullanılabildiği gibi üzerindeki mikroişlemci programlanarak da kullanılabilir.

Şekil 3.3'te pin yapısı görülen mikrodenetleyici, çalışma anında hızlı ön yükleme sağlaması, analog ve dijital Giriş/Çıkış portlarına sahip olması ve bu portlar aracılığıyla algılayıcılarla ve UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) asenkron seri haberleşme protokolünü kullanarak diğer cihazlarla iletişim kurabilmesine imkan sağlayan güçlü bir dahili işleme ve depolama kapasitesine sahiptir [8].



Şekil 3.3. ESP8266-012 görüntüsü ve pin bilgiler [30]

Tablo 3.1'de özellikleri görülen ESP8266, tüm çalışma koşullarında çalışmasına izin veren ve harici RF (Radio Frequency) parçaları gerektirmeyen kendi kendini kalibre eden bir RF içerir.

Tablo 3.1. ESP8266-012 özellikleri

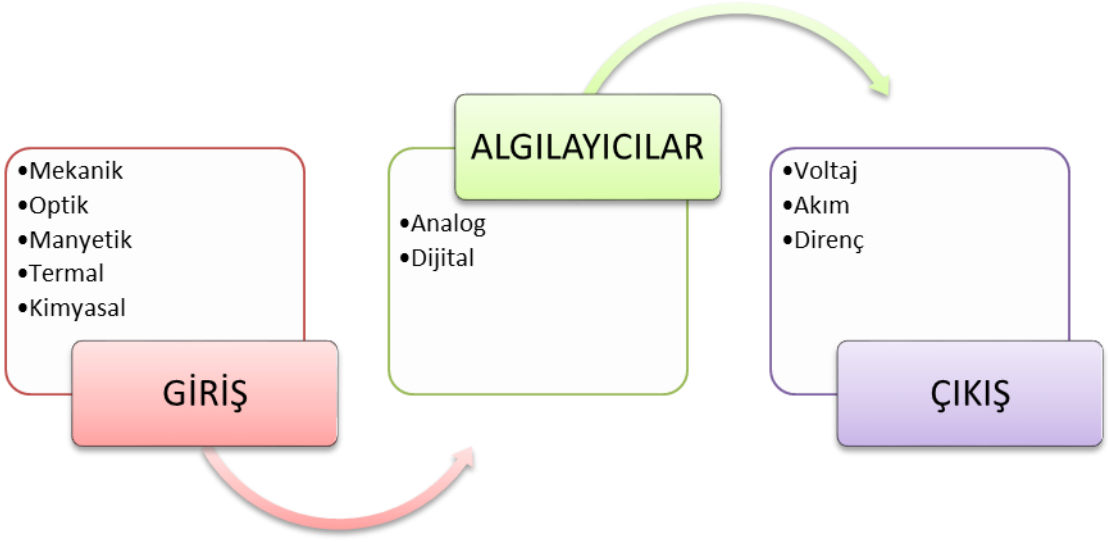
SIRA NO	ÖZELLİK
1	9 GPIO pini
2	1 ADC pini
3	UART pinleri TX, RX
4	Reset, CH_PD, VCC ve GND
5	PCB anten
6	Boyutları 16mm x 24mm
7	802.11 b/g/n desteği
8	Wi-Fi Direct (P2P) Desteği
9	Dâhili TCP/IP protokol yığını
10	+19,5dBm çıkış gücü (802.11b modunda)

Tablo 3.1. (Devam) ESP8266-012 Özellikleri

11	Kaçak akım < 10Ua
12	Dâhili düşük güç tüketimine sahip 32-bit'lik işlemci
13	SDIO 1.1/2.0, SPI ve UART desteği
14	STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
15	Uyanma ve veri paketi alma süresi < 2ms
16	Stand-by durumunda güç tüketimi < 1mW

3.2.3. Analog algılayıcı

Fiziksel dünya ile sanal dünya arasındaki bağın kurulmasını sağlayan, bir nevi insanlardaki duyu organlarının işlevini gören cihazlara algılayıcı denir. Elektronik cihazlar çevrelerindeki değişimleri algılayıcılar yardımıyla algılayabilir ve ölçebilir. Bu yüzden kullanım alanlarına göre Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, ısı, ışık, nem, ses, basınç, kuvvet elektrik uzaklık, ph gibi birçok fiziksel ya da kimyasal değişimleri algılayıcılar yardımıyla elektriksel sinyale çevrilebilir.



Şekil 3.4. Algılayıcı çalışma mantığı

Analog algılayıcı, belli değerler arasında sürekli analog çıkış sinyali üreten devre elemanıdır. Analog algılayıcılar tarafından üretilen bu sürekli çıkış sinyali, ölçüm değeri ile orantılıdır. Günümüzde sık kullanılan ivmeölçerler, basınç algılayıcıları, ışık

algılayıcıları, ses algılayıcıları, sıcaklık algılayıcıları gibi analog algılayıcı örnekleri mevcuttur.

3.2.4. Potansiyometre

Dirençler, Ohm yasasına uygun bir voltaj düşüşü oluşturmanın yanı sıra bir devrenin etrafındaki elektrik akımını engelleyen veya direnen sabit bir direnç değeri sağlar. Dirençler, Ohm cinsinden sabit bir direnç değerine veya bazı harici yollarla ayarlanan değişken bir direnç değerine sahip olacak şekilde üretilebilir.

Şekil 3.5'te görülen ve yaygın olarak "pot" diye adlandırılan potansiyometre, çok çeşitli elektrik ve elektronik devrelerde bulunabilen ve kullanılabilen mekanik olarak çalışan bir döner analog cihazdır. Pasif cihazlar, yani temel lineer veya döner pozisyon fonksiyonlarını yerine getirmek için güç kaynağı veya ek devre gerektirmezler.

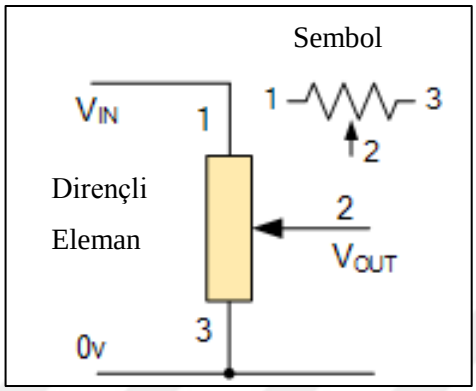
Günümüzde, potansiyometreler, büyük ve hacimli değişken dirençlerden çok daha küçük ve çok daha hassastır. Birçok elektronik bileşen içinde kullanılan potansiyometrelerin; trimmer, reosta, çok turlu, telli gibi farklı türleri mevcuttur.



Şekil 3.5. Potansiyometre iç yapısı

Hangi formatta olursa olsun, değişken dirençler genellikle bir kontrol ile ilişkilidir; bu, bir radyo frekansının, bir aracın hızının, bir osilatörün frekansının ayarlanması veya bir devrenin kalibrasyonunun, tek-dönüşlü ve çok-dönüşlü olarak doğru bir şekilde ayarlanmasıdır.

Potansiyometre üç bacaklıdır. Şekil 3.6'da iç yapısı görülen potansiyometre elemanın bacaklarından ikisi sabit üçüncü bacak ise, hareketli bir yapıya sahiptir. Bu hareketli yapı sayesinde, sabit olan iki bacaktan sürekli değişen bir çıkış voltajı alınabilir. Orta uç olan hareketli bacak, direnç üzerinde gezinerek direnç değerinin değiştirilmesi suretiyle gerilim bölme işlemi yaparak çıkış voltaj değerini değiştirir [9].



Şekil 3.6. Potansiyometre yapısı

3.2.5. Potansiyometre kullanımı

Potansiyometreler gerilim bölücü ve ayarlı direnç olmak üzere iki farklı şekilde kullanılabilir. Gerilim bölücü olarak kullanılacaksa, potansiyometrenin 1 ve 3 nolu terminali +V ve GND uçlarına bağlanır. Ortadaki 2 nolu terminal ise hareketli kontağı ifade eder ve konumuna bağlı olarak 0 ile +12V arasında değer üretir. Eğer ayarlı direnç olarak kullanılacaksa, 1 ve 3 nolu terminalden biri ile ortadaki 2 nolu haraketli terminale bağlantı yapılarak istenilen direnç değerine ayarlanır. Bu sayede akım kontrolü sağlanmış olur.

3.2.6. Potansiyometre ile açı ölçümü

Tez çalışmasında kullanılan potansiyometreler, dizin iki tarafından bükülme açısını hesaplamaktadır. Bu çalışmadaki potansiyometreler, 100K değerinde tek turlu 0-270 derece arasında dönebilmektedir.

Potansiyometrelerden alınan analog değerler 16 bit ADC ile dijital veriye dönüştürülmektedir. Bu değer aralığı hesaplanırken ADC'nin bit sayısı 2'nin üstel katı olarak alınmaktadır. Elde edilecek dijital verinin ifadesi Denklem (3.1)'de gösterilmektedir.

$$ADC_{maksimum} = 2^{\text{ADC Bit Sayısı}} \quad (3.1)$$

Burada; $ADC_{maksimum}$ analog dijital çeviricinin alabileceği maksimum değeri göstermektedir.

Potansiyometre çevrildikçe ADC ile bu analog direnç değeri Denklem (3.1)'de gösterildiği gibi 1 – 65536 arasında bir değere dönüştürülmektedir. Elde edilen bu değer potansiyometrenin 0 - 270 derece arasında hangi açı değerine denk geldiğini elde etmek için kullanılmaktadır. Bu hesaplamayı yapabilmek için Denklem (3.2), (3.3) ve (3.4) kullanılmaktadır.

$$R_{sağ} = (X - In_{min}) \times \left(\frac{(Out_{max} - Out_{min})}{(In_{max} - In_{min})} \right) + Out_{min} \quad (3.2)$$

$$R_{sol} = (X - In_{min}) \times \left(\frac{(Out_{max} - Out_{min})}{(In_{max} - In_{min})} \right) + Out_{min} \quad (3.3)$$

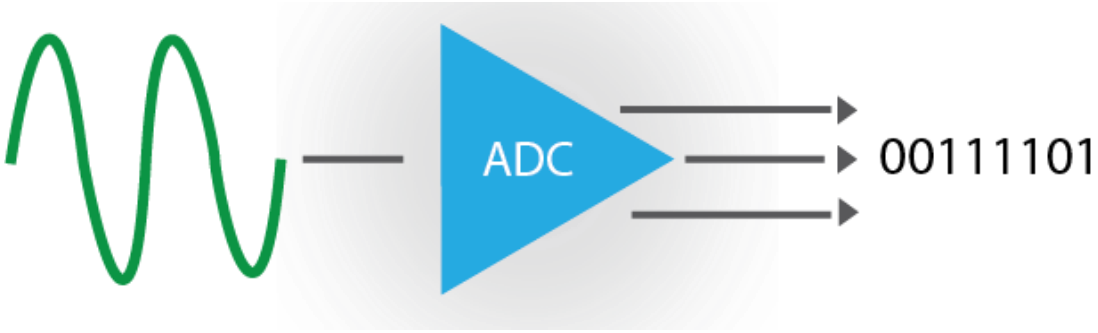
$$R_{ortalama} = \frac{R_{sağ} + R_{sol}}{2} \quad (3.4)$$

Burada; $R_{sağ}$ dizin sağ tarafında ölçülen açı değerini, R_{sol} dizin sol tarafında ölçülen açı değerini, $R_{ortalama}$ ölçülen açı değerlerinin ortalamasını, X potansiyometreden ölçülen direnç değerini, In_{min} ADC' den ölçülen minimum değeri, In_{max} ADC' den ölçülen maksimum değeri, Out_{min} potansiyometrenin minimum açı değerini, Out_{max} potansiyometrenin maksimum açı değerini göstermektedir.

3.2.7. ADC çevirici

Yaşadığımız dünya üzerindeki değerlerin tümü analogdur. Herhangi bir veriyi dijital olarak ölçmek için Şekil 3.7'de gösterildiği gibi öncelikle analogdan dijitale dönüştürme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemi yapabilen elemanlara analog-dijital çevirici (ADC) denir.

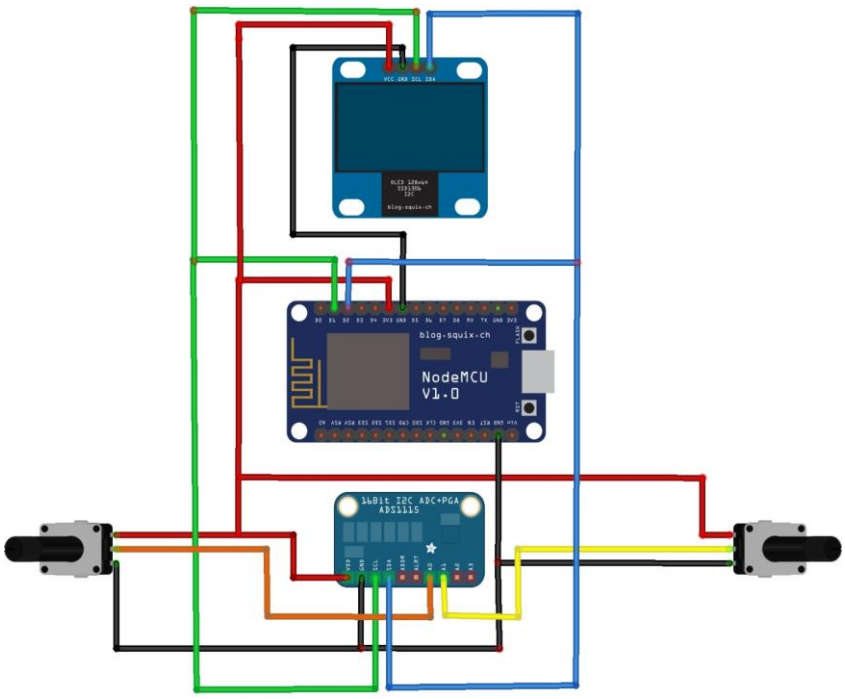
ADC, analog sinyali sistemimizin algılayabileceği dijital sinyale dönüştüren sistemdir. ADC'ler mikrodenetleyicilerin içerisinde tümleşik olarak gelebilmektedir. Mikrodenetleyicilerde bulunan ADC'ler genellikle 10-12 bit çözünürlüktedir. Eğer daha fazla sinyal çözünürlüğüne ihtiyacımız varsa, harici olarak 16 bit ve 24 bit modellerinden kullanabilir.



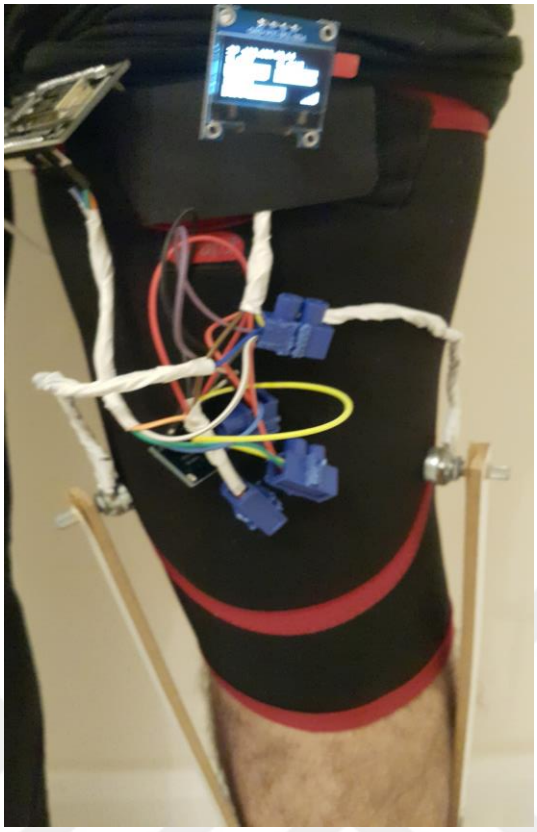
Şekil 3.7. Analog dijital çevirici [20]

3.2.8. Donanım bağlantıları

Şekil 3.8'de kullanılan elemanların bağlantı şekli verilmiştir. Çalışmada kullanılan NodeMCU mikrodenetleyici kartı üzerinde 1 adet analog giriş olduğundan dolayı, ADC kullanarak iki potansiyometreden de değer okuması gerçekleştirildi. OLED (Organic Light-Emitting Diode) ekran üzerinde açı değeri, egzersiz tekrar sayısı, egzersiz durumu ve kullanıcının IP (Internet Protocol) numarası gösterildi. Bağlantılar için soket kablo ve yalıtkan bant kullanarak Şekil 3.8'de görülen bağlantılara göre devre oluşturuldu. Bağlantıları yaptıktan sonra Şekil 3.9'da görüldüğü gibi bir prototip görüntüsü elde edildi. Oluşturulan devre bir dizlik üzerine monte edilerek diz eklem noktasıyla uyumlu bir şekilde çalışması sağlandı.



Şekil 3.8. Devre bağlantı şeması



Şekil 3.9. Dizlik prototipi

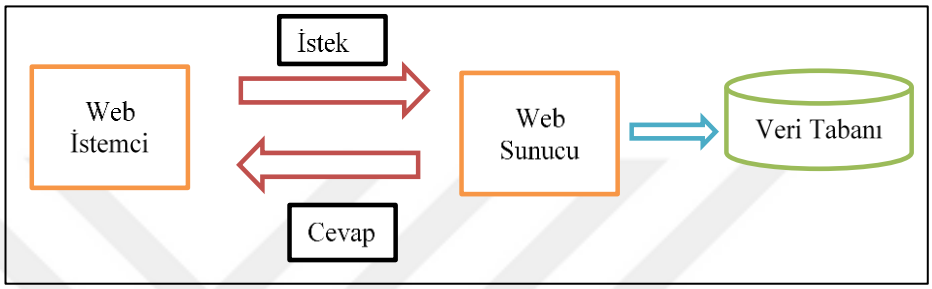
3.3. Önerilen Modelin Yazılım Katmanı

Proje donanım ve yazılım katmanı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bu katmanlar arasındaki haberleşme için WiFi kullanılmaktadır. Dizden veriyi alabilmek için kullanılan potansiyometreler gömülü sistemde yüklü olan yazılım sayesinde açı değerine dönüştürülmekte ve yine içerisinde bulunan yazılım sayesinde WiFi ağına bağlanarak veriyi sunucu tarafına göndermektedir. Projede yazılım katmanı, mikrodenetleyici içerisinde algılayıcıdan veriyi alarak açı değerine dönüştürmek ve sunucuya gelen verileri veri tabanına kaydederek analiz etmek için kullanılmaktadır.

3.3.1. PHP web betik dili

PHP; özellikle web geliştirme için uygun olan ve HTML (Hypertext Markup Language) dosyalarına gömülebilen, esnek ve yaygın olarak kullanılan açık kaynak kodlu genel amaçlı komut dosyası dilidir. HTML çıktıları oluşturmakta oldukça başarılı bir dil olan PHP, <?php ve ?> etiketleri ile HTML dosyaları arasına gömülebilir.

PHP' yi istemci taraflı çalışan Javascript gibi dillerden ayıran özellik komutların sunucu tarafında çalışmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.10'da basit bir web sayfası yaşam döngüsü görülmektedir. PHP komutları sunucu tarafında yürütülerek HTML (Hypertext Markup Language) dosyalarına dönüştürülür ve istemciye yani kullanıcıya gönderilir. İstemci sonuçları sadece HTML olarak görebilir ve temel PHP kodlarına asla ulaşamaz. PHP kullanımı oldukça basit olan bir dil olup, en basitten en profesyonel kullanıcıya kadar hitap edebilmektedir.

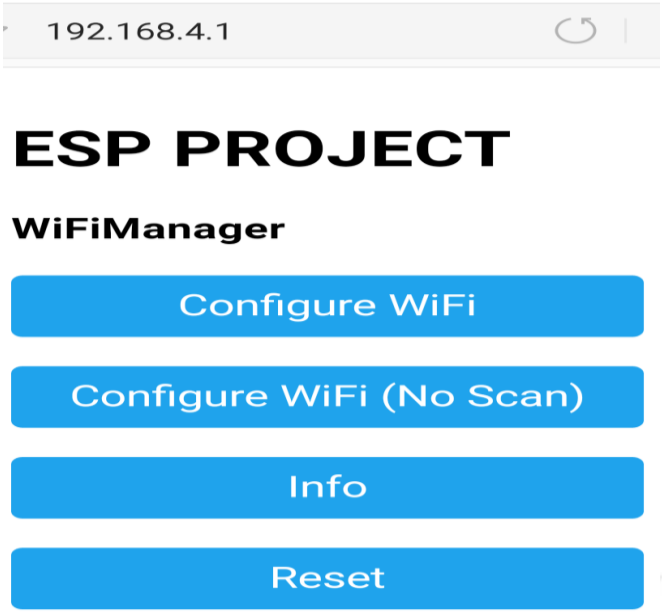


Şekil 3.10. Web yaşam döngüsü

Çalışmamızda hastaya ait veriler ESP8266 birimi ile sunucu tarafındaki web servise URL (Uniform Resource Locator) üzerinden gönderilmektedir. PHP web servis ile hastadan gelen açı, IP ve kullanıcı adı bilgileri GET metodu kullanılarak, URL adresinden alınmakta ve her bir veri, veri tabanındaki ilgili tabloya SQL (Structured Query Language) komutları yardımıyla kaydedilmektedir. Daha sonra bu tablodaki verilerek analiz edilerek tedavi bilgileri doktor ya da uzman yetkili kişilere grafiksel / metinsel olarak gösterilmektedir. Grafik kısmında MorrisChart.js kütüphanesi kullanılarak ilgili veriler ve zaman bilgileri ile farklı grafik türleri kullanılarak gösterim yapılmaktadır. Egzersiz bilgileri aynı zamanda doktora ya da uzman yetkili kişilere mail veya istenirse SMS (Short Message Service) yoluyla iletilmektedir.

3.3.2. ESP8266 istemci/sunucu tasarımı

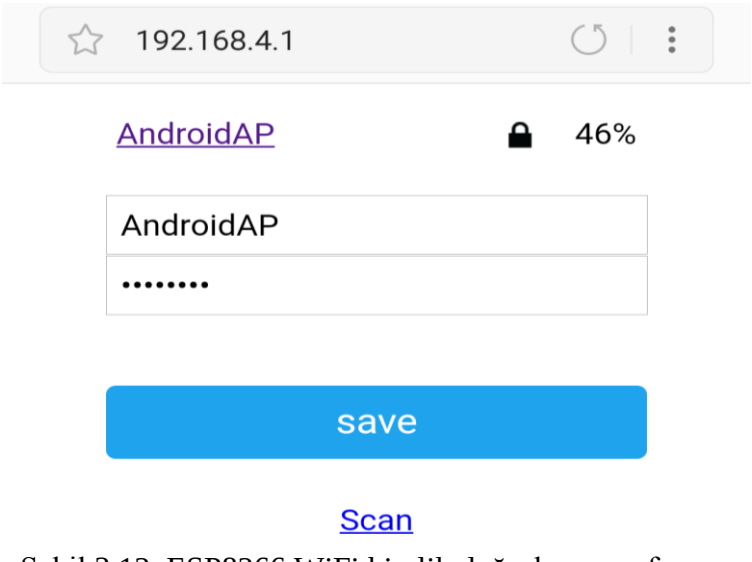
ESP8266 WiFi modülü uygulamalarımızda istemci veya sunucu olarak programlanabilir. Programlama C dilinde gerçekleştirebilir. ESP8266 AT komutları ile başlatılarak ortamdaki kablosuz ağları algılaması sağlanır. Daha sonra bağlantı yapılacak ağın bilgileri girilerek ağa erişim sağlanmış olur. Bu aşamadan sonra modül üzerinden uzaktaki sunucuya veriler HTTP metotları ile erişilerek veriler gönderilebilir.



Şekil 3.11. ESP8266 WiFi genel ayarlar sayfası

Şekil 3.11'de görüldüğü gibi ESP8266 modülü ile internet bağlantısı kurmak için öncelikle bir mobil telefon ya da bilgisayar yardımıyla kablosuz bağlantı ayarlarını kullanarak modülün ara yüzüne bağlanmamız gerekmektedir. Kablosuz bağlantı seçeneğini aktif ederek Şekil 3.11'de görülen ekrana ulaşılabilir.

Bu ekrandan bağlantı ayarları seçeneği seçilerek Şekil 3.12'de görülen ekrana ulaşılmaktadır. Gelen ekranda kablosuz bağlantı yapabilecek bağlantı noktaları listelenmektedir. Buradan kullanılacak kablosuz bağlantı noktası seçilerek şifresi girilir ve internet bağlantısı gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 3.12. ESP8266 WiFi kimlik doğrulama sayfası

İnternet bağlantısı gerçekleştirildikten sonra WiFi modülü içindeki hasta, algılayıcı ve sunucuya ait bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Şekil 3.13'te görüldüğü üzere ESP8266 WiFi modülü içine genel ayarları gerçekleştirebilmek için Javascript, HTML ve CSS kullanarak basit bir web sayfası oluşturulmaktadır. Bu ara yüz sayesinde hastanın kullanıcı adı bilgisini, verilerin hangi zaman aralığında gönderileceğini, sunucu bilgisayarın web sayfa adresini ve verilerin hangi HTTP metodunu kullanarak web servise gönderileceği ayarları gerçekleştirilmektedir. Hasta, doktor ya da uzman kişiler tarafından bu ara yüzdeki ayarlamalar kolay bir şekilde gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 3.13. ESP8266 kullanıcı ayarları sayfası

Şekil 3.14'te görülen web sayfası da yine yapılan egzersizin anlık olarak web üzerinden takibine olanak sağlamaktadır. Doktor veya uzman kişiler web site üzerinde kayıtlı olan cihazın IP adresi üzerinden görülen cihaza bağlanarak egzersizi anlık olarak takip edebilmektedirler.



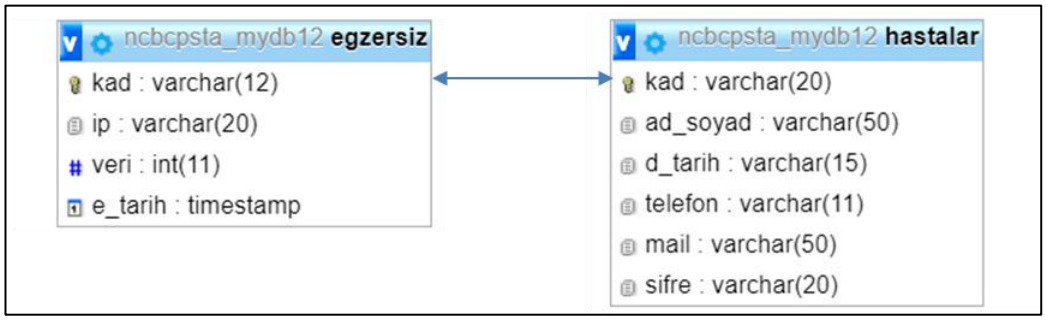
Şekil 3.14. Egzersiz takip ekranı

3.3.3. Veri tabanı tasarımı

Çalışmamızda gerçekleştirmiş olduğumuz yazılım katmanın en önemli bileşenlerinden biri de sunucu tarafında gelen verilerin kaydedildiği veri tabanıdır. Verilerin kayıt altına alınması uzman kişiler ve hasta için oldukça önem arz etmektir. Bu sayede hastalık süreci ile ilgili bilgi toplanarak tedavilerin başarım oranı ve tedavinin sonrası için farklı tedavi önerileri sunulabilir.

Çalışmamızda oluşturduğumuz veri tabanı Şekil 3.15'te görüldüğü gibi iki basit tablodan oluşmaktadır. Bu tablolardan ilki hastanın genel ve iletişim verilerinin tutulduğu tablodur. Diğeri ise, hastanın egzersiz bilgilerinin tutulduğu tablodur. Hastanın genel bilgilerinin tutulduğu tablonun veri girişi doktor ya da uzman kişi tarafından muayene sırasında web sitesi üzerindeki form doldurularak gerçekleştirilmektedir. Egzersiz bilgilerinin tutulduğu tablonun veri girişi ise, egzersiz esnasında web ara yüzüne gelen verilerin web servis yardımı ile veri tabanına kaydedilmesi ile gerçekleşmektedir.

İki tablo birbirine hastaya verilen kullanıcı adı alanı üzerinden bağlıdır. Hasta kullanıcı adı birincil anahtar olarak ayarlanmış olup, benzersiz ve boş bırakılamaz şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.15. Veri tabanı tablo yapısı

3.3.4. Web ara yüzü ve web servis oluşturulması

Dizlikten gelen verilerin kaydedildiği ve verilerin analizlerinin yapıldığı bölüm web kısmıdır. ESP8266 modülü kayit.php sayfasına kullanıcı adı, IP ve açı bilgilerini HTTP üzerinden göndererek GET metodu yardımıyla alınmasını sağlamaktadır. Veriler alındıktan sonra SQL komutları ile veri tabanına kayıt edilmektedir.

Kaydedilen veriler açık kaynak olan MorrisChart kütüphanesi kullanılarak grafiksel bir şekilde gösterilmektedir.

Hasta kayıtlarının bilgilerinin girildiği ve veri tabanına kayıt işlemlerinin yapıldığı sayfa Şekil 3.16'da görülmektedir. Hastanın kullanıcı adı bilgisi uzman doktor ya da yetkili kişiler tarafından girilmekte, bu kişinin vatandaşlık numarası olarak da girilebilir. Diğer bilgileri de girildikten sonra veri tabanına kayıt işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu kısımda belirlenen şifre ve kullanıcı adı ile hasta web sitesi üzerinden sisteme giriş yaparak doktor ya da yetkili kişi ile iletişim kurabilmektedir. Ayrıca kişi geçmişe dönük egzersiz bilgilerinin takibini de sistem üzerinden görebilmektedir.



Şekil 3.16. Hasta kayıt formu

Şekil 3.17'de görüldüğü üzere yetkili doktor ya da uzman kişiler kayıtlı hastaların bilgilerine sistem üzerinden ulaşabilmektedir. Bu bilgiler üzerinde silme ya da güncelleme işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca hastaların egzersiz bilgilerine bakılarak grafiksel olarak gösterilebilmektedir.



Şekil 3.17. Hasta kayıt bilgileri

3.3.5. Verilerin analizi ve grafiksel gösterim

Veri tabanına kaydedilen veriler hasta ve uzman kişilerin daha kolay anlayabilmesi için grafiksel bir şekilde gösterilmektedir. Egzersiz bilgilerinin tarihi ve egzersiz verileri veri tabanına kaydedilmektedir. Egzersiz sırasında yapılan verilerin ortalaması alınarak tek bir değer veri tabanına kaydedilmektedir. Şekil 3.18'de grafiksel gösterimde, x ekseninde zaman verileri, y ekseninde ise, açı değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Hasta egzersiz zaman grafiği

3.4. Önerilen Sistemin Değerlendirilmesi

Önerilen çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Gömülü sistem ve algılayıcılardan oluşan donanım katmanı ve istemci/sunucu mimarisinin oluşturulduğu ve veri tabanı işlemlerinin gerçekleştirildiği yazılım katmanından oluşmaktadır.

Donanım katmanında; gömülü sistem tarafından analog veriler dijitale çevrilerek açısal değer hesaplanmaktadır. Hesaplanan değer, WiFi modülü üzerinden uzaktaki sunucuya gönderilmektedir.

Yazılım katmanında; dizlikten gönderilen IP, açı ve kullanıcı adı değerleri web servis tarafından alınarak veri tabanına kaydedilmekte ve web sitesinde ilgili kişilere uygun bir şekilde sunulmaktadır.

SFS uygulamaları fiziksel dünya ile sanal dünya arasında iletişim kuran oldukça karmaşık ve yoğun hesaplama içeren sistemlerdir. Önerdiğimiz modeldeki, donanım katmanı fiziksel dünyayı, yazılım katmanı ise, sanal dünyayı temsil etmektedir. Bu iki kavram arasındaki iletişim internet üzerinden sağlanmaktadır. SFS uygulamaları,

birçok farklı alanda kullanılabilirliği olan sistemlerdir. Bu çalışmada önerilen tasarım modeli sağlık alanında kişisel evde bakım sağlık hizmetleri alanına yöneliktir. Hasta bakım sağlık hizmetleri alanında mevcut birçok SFS uygulaması bulunmakla birlikte, bunların çoğunluğu büyük ölçekli ve yüksek maliyet gerektiren sistemler olmaktadırlar. Çalışmada önerilen uygulama, belirli yaş üstü insanların birçoğunda görülebilen bir sağlık sorununun tedavi sonrası takibinin yapılabilmesi için ucuz, uygulanabilirliği kolay ve tedavinin sağlıklı bir şekilde tamamlanabilmesi için oldukça faydalı bir öneri sunmaktadır.

Bu çalışma alanıyla ilgili karşılaşılabilecek sınırlılıklardan söz etmek gerekirse, farklı eklem bölgeleri için farklı boyutlarda ve şekillerde algılayıcı tipleri kullanılması gerektiğinden ve bu algılayıcıların kullanılacak eklem noktalarına göre mekanik tasarım gerektirmesinden dolayı, mevcut hazır medikal ürünler kullanılarak tüm eklem bölgelerinin takibi gerçekleştirilememektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sonunda, evde bakım sağlık hizmetlerinin, algılayıcı teknolojisinin gelişimine, tek bilgi kaynağı olmaktan çıkan insan türünün makinelerle daha fazla etkileşime girmesine bağlı olarak daha da geliştirilebileceği, sağlık hizmetlerinden kesintisiz olarak yararlanılabileceği ve bu sayede zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

SFS uygulamalarının birçok farklı alanda sorunların çözümüne ortak ya da tamamıyla sorun çözücü olarak kullanılabileceği görülmektedir. Genellikle büyük ölçekli projelerin çözüm paydaşları arasında yer almakta olan bu sistemler, yapılan çalışmada görüldüğü üzere iyi bir organizasyon ve tasarım ile günlük hayatta sık karşılaşılan problemlerin çözümüne de katkı sunabilmektedir.

İnsanların hayat standartlarını doğrudan etkileyen sağlık gibi bir alanda yapılacak SFS çalışmalarının varlığı ile birçok konuda problemlerin çözümü ya da sorunların azaltılması noktasında ne kadar faydalı olacağı görülmektedir. Teknolojinin hızla ilerlemesi, gömülü sistemlerin her tür alanda kullanılabilirliğinin artması, kablosuz algılayıcı ağların gelişmesi, bulut bilişim ile verilerin platformdan bağımsız hale gelmesi gibi gelişmeler göz önüne alındığında SFS'nin küresel çevreyi değiştirebilme ve daha yaşanılır bir hale gelebilmesi noktasında büyük katkıları olabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] http://www.endustri40.com/siber-fiziksel-sistemler/, (Ziyaret Tarihi: 18 Kasım 2017).

[2] Milenkovic A., Otto C., Jovanov E., Wireless Sensor Networks for Personal Health Monitoring: Issues and An Implementation, *Computer Communications*, 2006, **29**(13-14), 2521–2533.

[3] Jovanov E., Milenkovic A., Otto C., Groen P. C. D., A Wireless Body Area Network of Intelligent Motion Sensors for Computer Assisted Physical Rehabilitation, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2005, **2**(1), 1.

[4] Shnayder V., Chen B., Lorincz K., Jones T. R. F. F., Welsh M., Sensor Networks for Medical Care, *Presented at the Proceedings of the 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, San Diego, California, USA, 2-4 November 2005.

[5] Wu F.-J., Kao Y.-F., Tseng Y.-C., From Wireless Sensor Networks Towards Cyber Physical Systems, *Elsevier Pervasive and Mobile Computing*, 2011, **7**(4), 397-413.

[6] Bradley J. M., Atkins E. M.., Optimization and Control of Cyber Physical Vehicle Systems, *Sensors*, 2015, **15**(9), 23020-23049.

[7] Gunes V., Peter S., Givargis T., Vahid Frank., A Survey on Concepts, Applications, and Challenges in Cyber Physical Systems , *KSII Transactions On Internet And Information Systems*, 2014, **8**(12), 4242-4268.

[8] www.1volt1amper.com/iot/esp8266-ozellikleri-ve-pin-bilgileri/,(Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2018).

[9] https://www.electronics-tutorials.ws/resitor/potentiometer.html, (Ziyaret Tarihi: 03 Şubat 2018).

[10] Shah A. H., Syed M. A.,, Mustafizur R., Review of Cyber Physical System in Healthcare, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks Volume*, 2014, **10**(4), 20.

[11] Jovanov E., Milenkovic A., Otto C., De Groen P. C., Johnson B, Warren S., Taibi G., A WBAN System for Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Health Status: Applications and Challenges, *27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, 2005, **7**(4), 3810-3813.

[12] Taleb T., Bottazzi D., Guizani M., Nait-Charif H., Angelah: A Framework for Assisting Elders at Home, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2009, **27**(4), 480–494.Lee I., Sokolsky O., Chen S., Challenges and Research Directions in Medical Cyber-Physical Systems, *Proceedings of the IEEE*, 2012, **100**(1), 75–90.

[13] Yilmaz T., Munoz M., Foster R. N., Hao Y., Wearable Wireless Sensors for Healthcare Applications, *in Proceedings of the International Workshop on Antenna Technology*, Karlsruhe, Germany, 4-6 March 2013.

[14] Tang L. A., Yu X., Kim S., Multidimensional Sensor Data Analysis in Cyber-Physical System: an a Typical Cube Approach, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012, **8**(4), 1–19.

[15] Arney D., Fischmeister S., J. Goldman M., Lee I., Trausmuth R., Plug-and-Play for Medical Devices: Experiences from a Case Study, *Biomedical Instrumentation and Technology*, 2009, **43**(4), 313–317.

[16] Dargie W., Poellabauer C., *Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice*, 1st ed., John Wiley & Sons, United Kingdom , 2010.

[17] Jiang Z., Pajic M., Mangharam R., Cyber Physical Modeling of Implantable Cardiac medical devices, *Proceedings of the IEEE*, 2012, **1**(100), 122–137.

[18] Kang K.-D., Son S. H., Stankovic J. A., Managing Deadline Miss Ratio and Sensor Data Freshness in Real Time Databases, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2004, **16**(10), 1200–1216.

[19] https://openlabpro.com/guide/analog-to-digital-converter-using-pic18f4550/, (Ziyaret Tarihi: 24 Mart 2018).

[20] https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/text/chapter-20, (Ziyaret Tarihi: 25 Mart 2018).

[21] Lounis A., Hadjidj A., Bouabdallah A., Challal Y., Secure and Scalable Cloud Based Architecture for E-Health Wireless Sensor Networks, *Proceedings of the International Conference on Computer Communication Networks (ICCCN '12),* Munich, Germany, 10 May 2012.

[22] Poon C. C. Y., Zhang Y.-T., Bao S.-D., A Novel Biometrics Method to Secure Wireless Body Area Sensor Networks for Telemedicine and M-Health, *IEEE Communications Magazine*, 2006, **44**(4), 73–81.

[23] Haque S. A., Aziz S. M., False Alarm Detection in Cyber Physical Systems for Healthcare Applications, *2013 AASRI Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems*, 2013, **5**(1)**,** 54–61.

[24] Imhoff M., Kuhls S., Alarm Algorithms in Critical Monitoring, *Anesthesia and Analgesia*, 2006, **102**(5), 1525–1537.

[25] Force C. A. T., Impact of Clinical Alarms on Patient Safety: a Report from The American College of Clinical Engineering Healthcare Technology Foundation, *Journal of Clinical Engineering*, 2007, **32**, 22–33.

[26] Donchin Y., Seagull F. J., The Hostile Environment of The Intensive Care Unit, *Current Opinion in Critical Care*, 2002, **8**(4), 316–320.

[27] Kulkarni P., Ozturk Y., Requirements and Design Spaces of Mobile Medical Care, *Mobile Computing and Communications Review*, 2007, **11**(3), 12–30.

[28] https://www.robotistan.com/nodemcu-lolin-esp8266-gelistirme-karti, (Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2018).

[29] http://www.ifuturetech.org/product/amica-nodemcu-esp8266-lua-cp2102-WiFi-development-module-iot-ifuture-baroda-vadodara-gujarat-india/, (Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2018).

[30] https://www.robolinkmarket.com/10-dof-imu-sensor-karti.html, (Ziyaret Tarihi: 08 Haziran 2018).

[31] https://www.sparkfun.com/products/10264, (Ziyaret Tarihi: 07 Haziran 2018).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Atamtürk F., Yiğit H., Eklem Kireçlenmesi Fizik Tedavi Takibi İçin Siber Fiziksel Sistem Tasarımı , *3.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 4-5 Mayıs 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Bilecik'te doğdu. İlköğrenimini Bilecik, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği(İ.Ö.) Bölümü'nden, 2005 yılında aynı üniversitenin Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliği(İ.Ö.) Bölümüne geçiş yaparak 2008 yılında Bilişim Teknolojileri Öğretmeni olarak mezun oldu. 2015 yılında başladığı, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. Aynı zamanda 2008 yılından beri M.E.B bünyesinde kadrolu Bilişim Teknolojileri Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.