

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GİYİLEBİLİR TEKNOLOJİLER TABANLI MOBİL
HASTA TAKİP SİSTEMİ TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necip Fazıl BİLGİN

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Faruk YALÇIN

Mayıs 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**GİYİLEBİLİR TEKNOLOJİLER TABANLI MOBİL
HASTA TAKİP SİSTEMİ TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necip Fazıl BİLGİN

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 09/05/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


**Yrd. Doç. Dr.
Faruk YALÇIN**


**Yrd. Doç. Dr.
Fatih ÇELİK**


**Yrd. Doç. Dr.
Fatih KAYAALP**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik etik kurallara uygun biçimde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Necip Fazıl BİLGİN

09.05.2016

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi hususunda bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Faruk YALÇIN'a, ilk danışmanlığımı yapan ve bu tezin ortaya çıkmasını sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent ÇOBANOĞLU'na ve tez aşamasında maddi manevi yardımcı olan diğer arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda yoğun çalışma temposu yüzünden yeteri kadar zaman ayıramama rağmen büyük bir sabır ve dua ile her daim yanımda olan değerli eşime ve her fırsatta yanımda olduklarını hissettiren sevgili anne ve babama ve kardeşlerime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	1
1.2. Tezin Amacı	2
1.3. Tezin Kapsamı.....	3
1.4. Proje Çalışması.....	3
1.5. Tez Organizasyonu.....	4

BÖLÜM 2.

GIYİLEBİLİR TEKNOLOJİLER.....	6
2.1. Giyilebilir Teknolojilerin Kullanım Alanları	6
2.1.1. Endüstriyel uygulamalar	6
2.1.2. Askeri uygulamalar	7
2.1.3. Sağlık alanındaki uygulamalar	8
2.1.4. Oyun eğlence sektöründeki uygulamalar	9
2.2. Giyilebilir Teknolojilere Genel Bakış	10

2.2.1. Giyilebilir teknoloji ürünlerinin sektörlere göre dağılımı	10
2.2.2. Giyilebilir cihazların vücuttaki kullanım yerlerinin dağılımı	11

BÖLÜM 3.

GIYİLEBİLİR HASTA SİSTEMLERİ	12
3.1. Giyilebilir Hasta İzleme Sistemlerine Genel Bakış.....	12
3.2. Hasta İzleme Sistemlerinin Dünyada ve Ülkemizde Gelişim Süreci....	13
3.3. Hasta İzleme Sistemlerinde Kullanılan Materyal ve Metodlar	13
3.4. Hasta İzleme Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	14
3.5. Hasta İzleme Sistemlerinin Genel Yapısı.....	15
3.6. Hasta İzleme Sistemlerinde Ölçülen Tıbbi Parametreler	16
3.6.1. Vücut sıcaklığı.....	16
3.6.2. Kan basıncı.....	17
3.6.3. Elektrokardiyogram.....	18
3.6.4. Pulse oksimetrisi	19
3.6.5. Solunum hızı	20
3.6.6. Elektromiyogram işareti.....	20
3.6.7. Galvanik deri tepki algılayıcısı	21
3.6.8. Hasta pozisyon (ivme) algılayıcısı	22
3.7. Hasta İzleme Sistemi Örnekleri.....	23
3.8. Hasta İzleme Sistemlerinde Kablosuz İletişim.....	24
3.9. Vücut Alan Ağı (BAN)	25
3.9.1. Vücut alan ağlarında iletişim.....	26
3.10. Vücut Alan Ağlarında Kullanılan Topolojiler.....	27
3.10.1. Noktadan noktaya topoloji	28
3.10.2. Yıldız topoloji	28
3.10.3. Ağaç topolojisi	29
3.10.4. Örgü ağ topolojisi.....	29
3.10.5. Melez ağ topolojileri	30
3.11. Vücut Alan Ağlarında Teknik konular	31
3.11.1. Vücut alan ağlarında algılayıcı tasarımı.....	31
3.11.2. Biyolojik uyumluluk	32

3.11.3. Vücut alan ağlarında enerji arz ve talebi.....	32
3.11.4. Vücut alan ağlarında güvenlik.....	34
3.11.5. Vücut alan ağlarında güvenilirlik	34
3.12. Vücut Alan Ağlarında Kullanılan Kablosuz Ağ Teknolojileri.....	36
3.12.1. Kablosuz yerel alan ağları	36
3.12.2. Kablosuz yerel alan ağlarının yapıları.....	36
3.12.2.1. Cihazdan cihaza (ad-hoc) çalışma modeli.....	37
3.12.2.2. Altyapısal çalışma modeli	38

BÖLÜM 4.

TASARLANAN SİSTEMİN YAPISI	40
4.1. Donanım Tasarımı.....	40
4.1.1. Hasta vücudundaki algılayıcı yapısı.....	42
4.1.2. Arduino platformu	42
4.1.3. Arduino Nano	43
4.1.4. Arduino wi-fi eklentisi	45
4.2. Sistemde Kullanılan Yazılım Teknolojisi	46
4.2.1. Sistemde kullanılan veri paketleri	46
4.2.2. Kullanılan yazılım teknolojileri	47
4.3. Sistemin Yapısı ve Çalışma Prensibi	49
4.3.1. Tasarlanan web yazılım arabirimi	49
4.3.2. Sistemde görüntülenen değerler	50
4.3.2.1. Oda sıcaklığı.....	50
4.3.2.2. Ortam nemi.....	52
4.3.2.3. Vücut ısısı.....	52
4.3.2.4. Kalp atım hızı	53
4.3.2.5. Nefes alma hızı	55
4.3.2.6. Galvanik tepki değeri	55
4.4. Sistemin Blok Diyagramı	57
4.5. Sistemin Uygulanması.....	57
4.6. Sistemin Diğer Hasta İzleme Sistemleri ile Karşılaştırılması	58

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
----------------------------	----

KAYNAKLAR	62
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	67
----------------	----



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BAN	: Vücut Alan Ağı
BSN	: Vücut Algılayıcı Ağı
BSS	: Temel Servis Yapısı
CES	: Tüketici Elektronik Fuarı
CSMA	: Carrier Sense Multiple Access
DSS	: Dağıtık Servis Kümesi
ESS	: Genişletilmiş Servis Yapısı
ICD	: Kardiyoverter Defibrilatör Cihazı
IEEE	: Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
ISDEF	: Uluslararası Güvenlik ve Savunma Fuarı
MEMS	: Micro Electrical Mechanical System
PDA	: Kişisel Dijital Ajanda
RFID	: Radio Frequency Identification
SPI	: Serial Peripheral Interface
SSID	: Servis Seti Tanımlayıcısı
TCP	: Transmission Control Protocol
UDP	: User Datagram Protocol
WI-FI	: Kablosuz Bağlantı
WIMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	: Geniş Kablosuz Alan Ağı
WMAN	: Kablosuz Şehir Alan Ağı
WPAN	: Kablosuz Kişisel Alan Ağı
WSN	: Kablosuz Algılayıcı Ağı
WWAN	: Kablosuz Geniş Alan Ağı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Giyilebilir anakart	2
Şekil 2.1. Boeing tarafından kullanılan giyilebilir sistem.....	7
Şekil 2.2. Quantum 3D Expedition sistemi.....	8
Şekil 2.3. Sağlık alanındaki giyilebilir sistemler	9
Şekil 2.4. Eğlence oyun alanındaki bir giyilebilir sistem.....	9
Şekil 2.5. Giyilebilir teknoloji ürünleri ve dağılımları.....	10
Şekil 2.6. Giyilebilir teknoloji ürünlerinin uygulama alanlarına göre dağılımı	11
Şekil 2.7. Giyilebilir teknoloji ürünlerinin insan vücudundaki dağılımı	11
Şekil 3.1. Hasta izleme sistemlerinin genel yapısı.....	15
Şekil 3.2. İnsan vücudunda kullanılabilen bazı algılayıcılar.....	16
Şekil 3.3. İnsan vücut sıcaklığının 24 saatlik çevrimi.....	17
Şekil 3.4. Sürekli kan basıncı ölçüm sistemi.....	18
Şekil 3.5. Normal bir EKG grafiği	19
Şekil 3.6. Pulse oksimetri ölçüm cihazı	20
Şekil 3.7. Galvanik deri tepki algılayıcısı	22
Şekil 3.8. Üç eksenli ivme algılayıcısı	23
Şekil 3.9. Kablosuz cihaz teknoloji haritası	25
Şekil 3.10. Kablosuz vücut alan ağı (WBAN) yapısı	27
Şekil 3.11. Melez ağ topolojisi.....	30
Şekil 3.12. ESS, BSS ve DSS yapıları	37
Şekil 3.13. Cihazdan cihaza ağ modeli	38
Şekil 3.14. Altyapılı kablosuz ağ topolojisi	39
Şekil 4.1. Tasarlanan sistem mimarisi	41
Şekil 4.2. Arduino Nano pin yapısı ve boyutları.....	44
Şekil 4.3. Arduino wi-fi eklentisi	45
Şekil 4.4. Sistemde kullanılan veri paketi yapısı	47

Şekil 4.5. Sistemde kullanılan veritabanı ilişkisel yapısı	47
Şekil 4.6. Asp.NET çalışma şekli.....	49
Şekil 4.7. Tasarlanan yetkili giriş ekranı.....	50
Şekil 4.8. Dht11 algılayıcısı bağlantı şeması	51
Şekil 4.9. Oda sıcaklığı grafiği.....	52
Şekil 4.10. Ortam nem grafiği.....	52
Şekil 4.11. DS18B20 sıcaklık algılayıcısı pin yapısı.....	53
Şekil 4.12. Vücut sıcaklık grafiği.....	53
Şekil 4.13. Kalp atım algılayıcısı	54
Şekil 4.14. Kalp atım hızı grafiği	54
Şekil 4.15. Nefes alma hızı grafiği.....	55
Şekil 4.16. Galvanik tepki algılayıcı devresi	56
Şekil 4.17. Galvanik tepki değeri grafiği	57
Şekil 4.18. Tasarlanan sistemin blok diyagramı	57
Şekil 4.19. Tasarlanan sistemin yapısı	59
Şekil 4.20. Çalışan sistemin görünümü.....	59

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Arduino Nano pin özellikleri	44
Tablo 4.2. Arduino wi-fi özellikleri	46
Tablo 4.3. Dht11 algılayıcısı ölçüm aralıkları	51
Tablo 4.4. Sistemde ölçülen değerler ve kullanılan algılayıcılar	58

ÖZET

Anahtar kelimeler: Giyilebilir teknolojiler, hasta takip sistemi, teletıp, kablosuz ağlar, tele sağlık

Bu tez çalışmasında, giyilebilir teknoloji kavramı ve uygulama alanları, giyilebilir teknolojilerin tarihsel gelişimi ve geleceğe yönelik öngörüler araştırılmıştır. Bunların yanı sıra, mobil hasta izleme sistemlerinin yapıları ve örnekleri araştırılmıştır. Bu araştırmalar ışığında hasta, sporcu, yaşlı gibi risk grubundaki kişilerin vücut sıcaklığı, galvanik deri tepkisi, nabız sayısı, nefes sayısı gibi temel sağlık bilgilerinin, zaman ve maliyet tasarrufu yapılarak uzun müddet izlenmesini sağlayabilen, giyilebilir mobil bir sağlık sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan sistemin çalışması üç aşamadan oluşmaktadır. Birincisi hastanın vücudunda bulunan algılayıcılar vasıtasıyla hastanın vücut sıcaklığı, solunum ve nabız hızı, galvanik deri tepkisi gibi yaşamsal değerlerin ve ortam nemi ve sıcaklığının elde edilmesidir. İkinci aşama, elde edilen bu verilerin kablosuz olarak ağ geçidi birimi üzerinden internet ortamına aktarılmasıdır. Son aşamada, iletilen verilerin eşzamanlı olarak konuyla ilgili uzman kişilere sunulmasını sağlayan web tabanlı görsel bir arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen sistemde hafif, giyilebilir algılayıcılar kullanılarak hastanın bazı yaşamsal verileri kablosuz bir iletim sistemi üzerinden aktararak doktor vs. gibi uzman kişiye görsel bir ara yüz halinde ve eşzamanlı olarak sunulmuştur.

DESIGNING AND IMPLEMENTING A MOBILE PATIENT MONITORING SYSTEM BASED WEARABLE TECHNOLOGIES

SUMMARY

Keywords: Wearable technology, patient monitoring system, telemedicine, wireless networks, e-health

In this study, the historical development, execution areas, products and future predictions of wearable technology were investigated. In addition, structure of mobile patient monitoring systems was also investigated. Following the searches about biomedical sensors, vital signals were measured. The signals on the risk assessment of persons like patients, athlete and elderly persons were transmitted via wifi network to the internet interface. In this embedded technology system was used Arduino platform based Atmel Atmega micro controller. Thus, a mobile patient monitoring system was designed by saving time and expenditure.

The system was designed in three sections. The first one is getting vital signals like body and room temperature, galvanic skin response, pulse rate and breathe rate from patients body by using medical sensors. The second one is transmitting this vital signal to the internet by using wireless gateway. The last section is designing a web based interface which presents the patients vital signals to the expert people continuously.

In the designed system, by using light and wearable sensors, some vital signals of the persons were transmitted to the web interface via wifi network, and presented a medical expert by using visual interface simultaneously.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda hem akademik hem de endüstriyel anlamda giyilebilir teknoloji alanında birçok gelişme yaşanmaktadır. Gün geçtikçe bu alanda yapılan çalışmaların sayısı artmakta ve düzenlenen birçok teknoloji fuarında giyilebilir teknoloji ürünlerinin sayısı artmaktadır. Bilhassa giyilebilir teknoloji alanının bir alt konusu olan mobil sağlık sistemi uygulamaları son yıllarda yaygın olarak çalışma konusu olmaktadır.

Günümüzde sağlık hizmetlerinin pahalı oluşu, mikro denetleyici teknolojisinin gelişmesi, algılayıcı boyutlarının, teknolojinin gelişimi ile ilişkili olarak küçülmesi ve giyilebilir teknoloji dünyasında önemli gelişmeler yaşanması gibi etkenlerden dolayı sağlık alanındaki giyilebilir teknoloji ürünlerine uygulamalara da sık sık rastlanılmaktadır. Algılayıcı ve tetikleyicilerden multimedya aygıtlarına kadar çeşitli bileşen ve aygıtlar kullanarak oluşturulan sistemler, hastaların zihinsel durumunun ve aktivitelerinin tüm gün aralıksız olarak izlenmesine olanak sağlamakta ve karmaşık sağlık uygulamalarının düşük maliyetlerde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

1.1. Literatür Özeti

İnsanların giyilebilir araç ve gereç kullanım ihtiyacı oldukça eskilere dayanmaktadır. İlk basit giyilebilir teknoloji ürünü olarak kabul edilen gözlük kullanımı 1268’li yıllara dayanmaktadır. 1760’lı yıllarda cep saatleri ve 1900’lü yıllarda kol saati kullanımı ile giyilebilir teknolojinin ilk ürünleri ortaya konulmuştur.

Giyilebilir teknoloji alanında ilk elektronik uygulamalar 1960’lı yıllarda NASA’nın, astronotların yaşamsal verilerinin kontrol etmek istemesiyle başlamıştır. İzleyen yıllarda askeri alanda benzer birçok uygulama gerçekleştirilmiştir. ABD’deki Georgia Technology Institute’deki araştırmacılar askerler için üzerinde yaşamsal verilerin

bazılarını algılamaya ve aktarmaya yarayan Şekil 1.1.’deki gibi bir yelek geliştirmişlerdir [1]. Sonraki yıllarda “Sansatex” isimli firma vücuttaki yaşamsal verileri kablosuz olarak aktarabilen SmartShirt’i geliştirmiştir. Bu teknolojik giysi ile kalp atım hızı, solunum hızı, EKG, pozisyon ve sıcaklık gibi birçok yaşamsal değer ölçülebilmektedir [2].



Şekil 1.1. Giyilebilir anakart

Giyilebilir teknoloji alanında, yaşamsal verileri ölçen ürünlerin yanında spor-eğlence amaçlı ürünler de geliştirilmiştir. Dağcılarının konumunu bildirerek kaybolmalarını engelleyen sistemler, sporcuların performansına yardımcı olabilecek analizleri yapan elektronik giyilebilir sistemler de üretilmiştir. “Infineon Technology” isimli şirket, ses, video gibi medya dosyalarını oynatabilen donanıma sahip bir yelek geliştirmiştir [3].

Giyilebilir teknoloji ürünleri gün geçtikçe birçok alanda yaygınlaşmaktadır. Bu alandaki gelişmeler sayesinde ortaya çıkarılan giyilebilir teknoloji ürünleri, her geçen gün daha işlevsel ve ergonomik hale gelmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Dünya genelinde bakıma muhtaç milyonlarca hasta bulunmaktadır. Hasta yanında bakıcı, hemşire gibi yardımcı personel bulundurulması hasta mahremiyeti açısından çekincelere sebep olabilmektedir. Daha önemlisi, evde bakım hizmeti alma maliyetleri de her geçen gün daha da artmakta ve böylelikle karşılanması güç mali zorluklar ortaya

çıkılmaktadır. Yaşamsal verileri her an kontrol altında tutulması gereken hastaların, sporcuların ekonomik ve pratik bir yöntem kullanılarak izlenmesine yönelik olarak her geçen gün yeni fikirler ortaya atılmaktadır. Bu çalışmada evde bakıcı bulundurma ihtiyacını ortadan kaldırarak hasta bakım maliyetini düşüren, hastanın sağlık merkezine gitme gereğini ortadan kaldırarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlayan, hasta yaşamını asgari seviyede sınırlandırarak çalışan, işlevsel bir uzaktan hasta izleme sistemi tasarlanması amaçlanmıştır.

Gelişen teknolojiyle birlikte dünya genelinde giyilebilir teknoloji ürünlerine ait örneklerin sayısı günden güne artış göstermektedir. Bu çalışmada öncelikle giyilebilir teknoloji dünyasındaki gelişmelere dikkat çekmek amacıyla alandaki çalışmalar incelenecektir. Bunun yanında giyilebilir teknoloji alanının bir alt konusu olan mobil hasta takip sistemlerine ait bir gömülü sistem tasarımı gerçekleştirilecektir.

1.3. Tezin Kapsamı

Bu çalışmada giyilebilir teknoloji alanındaki gelişmeler ve literatür çalışmaları incelenecektir. Sonraki bölümlerde giyilebilir teknolojilerin bir alt dalı olan mobil hasta takip sistemleri incelenecek ve bu alana yönelik bir gömülü sistem tasarımı yapılacaktır. Tasarlanacak olan hasta izleme sistemi hafif ve orta düzeydeki hastaların ya da hamile, sporcu gibi yaşamsal verileri kayıt altına alınıp izlenmesi yararlı görülen kişiler için geliştirilmiştir. Oluşturulacak gömülü sistemde bu koşullar göz önüne alınarak bir tasarım gerçekleştirilecektir.

1.4. Proje Çalışması

Bu tez ile birlikte oluşturulan hasta izleme sistemi proje çalışması donanım ve yazılım olmak üzere iki bölümden oluşacaktır. Donanım kısmı hasta vücuduna yerleştirilen ve elde edilen verileri kablosuz olarak aktaran, algılayıcı, mikro denetleyici ve kablosuz aktarım birimlerinden oluşmaktadır. Yazılım kısmı ise algılayıcılardan elde edilen verilerin kablosuz aktarım için optimize edildiği, verilerin internet ortamına

aktarılmasını sağlayan ve bu verilerin internet ortamındaki bir sunucuda görsel olarak görüntülenmesini sağlayan kısımdır.

1.5. Tez Organizasyonu

Yapılan çalışmaların sunulduğu bu tez beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, giriş bölümünde tez çalışmasını konu alan problemin tanımı, çalışmanın amacı, literatürde ilgili konu ile yapılmış çalışmaların özeti ve tez çalışmasının amacı hakkında bilgi sunulmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde giyilebilir teknolojilerin gelişimi, giyilebilir teknoloji alanındaki ürünlerin dağılımı, giyilebilir teknoloji ürünlerinin insan vücudundaki uygulama alanları araştırılmış ve konuya genel bir bakış yapılarak ilgili sayısal veriler sunulmuştur. Yapılan araştırmada giyilebilir teknolojilerin alt dalları endüstriyel uygulamalar, askeri uygulamalar, sağlık uygulamaları ve oyun eğlence sektöründeki uygulamalar olarak gruplandırılmıştır.

Üçüncü bölümde giyilebilir hasta izleme sistemleri ve yapıları incelenmiş, hasta izleme sistemlerinin dünyadaki ve ülkemizdeki gelişim süreci irdelenmiştir. Ayrıca bu bölümde hasta izleme sistemlerinde kullanılan materyal ve metotlar araştırılarak hasta izleme sistemlerinin genel yapısı ortaya konulmuştur. Son olarak bu bölümde hasta izleme sistemlerinde kullanılan tıbbi parametreler geçmişten günümüze tasarlanmış hasta izleme sistemleri ve bu sistemlerde kullanılan kablosuz teknolojilerin yapısal özellikleri incelenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, tasarlanan sistemin yapısı ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Sistemin donanım yapısı, hasta vücudundaki algılayıcılardan alınan verileri internet ağ geçidine kablosuz olarak aktaran birim ve aktarılan veriyi alıp internet ortamına aktaran birim olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Sistemin yazılım yapısı işlevsel olarak üç aşamada çalışmaktadır. Birinci aşama algılayıcılardan alınan verilerin kablosuz aktarım için optimize edilmesi, ikinci aşama optimize edilen verilerin ardışık olarak ve birbirine karışmadan internet ortamına

aktarılmaktadır. Son aşama ise internet ortamına aktarılan verilerin eşzamanlı olarak görüntülenmesidir.

Çalışmanın son bölümü olan beşinci bölümde tezin sonuçları ve öneriler üzerinde durulmuştur. Bu bölümde tasarlanan sistemin kurulumu, kullanımı ve gerçekleştirilmesi, yapılan denemelerin sonuçları, ortaya çıkan sorunlar ve bu sorunlara karşı çözüm önerileri detaylıca anlatılmıştır. Ayrıca gelecekteki çalışmalar için bir öngörü de bu bölümde sunulmuştur.



BÖLÜM 2. GİYİLEBİLİR TEKNOLOJİLER

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle paralel olarak elektronik ve bilgisayar sistemlerinde kullanılan mikro işlemci, mikro denetleyici, algılayıcı, verici, kablosuz ağ birimleri gibi sistem bileşenlerinin boyutları her geçen gün daha da küçülmektedir. Bu durum sistemlerde aranan taşınabilir olma özelliğinin yanı sıra, artık günümüzde giyilebilir olma özelliğinin aranması sonucunu doğurmuştur. Dolayısıyla her geçen gün yeni bir giyilebilir teknoloji ürünü tasarımı yapılmakta ve bu ürünlerin sayısı günden güne artmaktadır.

Genel anlamda “Giyilebilir Teknoloji”, (Wearable Technology) olarak adlandırılan bu teknoloji, sistemlerin ve sistemi oluşturan algılayıcı, alıcı, verici gibi bileşenlerin insan vücuduna giyilebilecek esneklik ve ergonomiye getirilmesini amaçlayan bir teknoloji alanıdır. Bu alan günümüzde pek çok alt teknolojilere ayrılmış ve alt teknolojilerle beraber her geçen gün gelişmeye devam etmektedir [4].

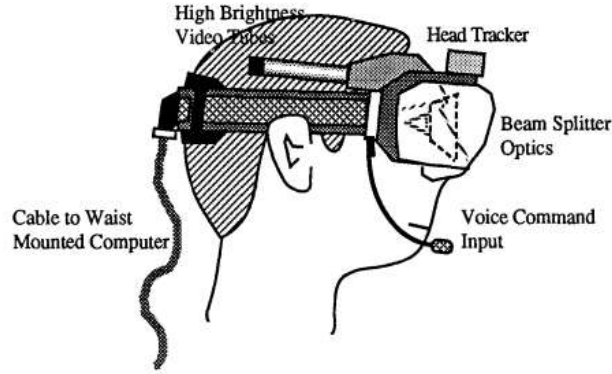
2.1. Giyilebilir Teknolojilerin Kullanım Alanları

Giyilebilir sistemlere ait uygulamalara günümüzde birçok farklı endüstri alanında rastlanılmaktadır. Literatür taramalarına göre bu alanlar sağlık-spor endüstrisi, oyun-eğlence endüstrisi, askeri teknoloji endüstrisi olarak örneklendirilebilir. Her geçen gün bu alanlardaki uygulama sayısı artmaktadır [5].

2.1.1. Endüstriyel uygulamalar

Endüstriyel uygulamalara ait ilk örneklerden birisi 1990’lı yıllarda Boeing firması tarafından ortaya konuldu. Firmada çalışan işçilerin uçaklara parça ve kablo monte etmeleri için kablo demetleri ve parçaların her birinin üzerine koyulmuş kabloların ve

parçaların nasıl ve nereye montaj edileceğine dair kâğıtları takip etmeleri gerekiyordu. Şekil 2.1’de görülen kafaya monte edilmiş cihaz ile amaçlanan, bir işçinin referans kâğıtlara ve notlara ihtiyaç duymadan, artırılmış gerçeklik (augmented reality) kullanılarak montaj işlemini kolaylaştırmak ve hızlandırmak olmuştur [6].



Şekil 2.1. Boeing tarafından kullanılan giyilebilir sistem

2.1.2. Askeri uygulamalar

Son yıllarda giyilebilir bilgisayar sistemleri özellikle askeri alandaki uygulamalarda oldukça hızlı yaygınlaşmıştır. Askerlerin savaş eğitimi amacıyla kullanılabilecek giyilebilir bilgisayar sistemleri büyük oranda kolaylık ve gerçeğe yakınlık sağlamaktadır. Navigasyon ve komut – kontrol iletişimi gibi fonksiyonların yanı sıra artırılmış gerçeklik kullanılarak savaş ortamındaki olası tehlikelere karşı eğitim kolaylaştırılmıştır.

ISDEF (international security defence expo) Uluslararası Savunma ve Güvenlik Fuarı’nda sergilenen “Quantum 3D Expedition” (Şekil 2.2) adlı artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanan giyilebilir sistem, sanal savaş ortamı oluşturarak askerlerin eğitimi için kullanılmıştır. Dışarıdan gelen seslere ve komutlara da duyarlı olan bu sistemde askerlerin hem olası tehlikeler karşısında pozisyon alması hem de askerlerin birbirleri ile uyumlu, koordineli ve etkileşimli olarak işbirliği yapmaları amaçlanmıştır. Giyilebilir sistemler sayesinde daha gerçekçi bir eğitim ortamı

sağlanması yanında, eğitim ortamlarının hazırlanmasının maliyeti de azaltılmaktadır [7].



Şekil 2.2. Quantum 3D Expedition sistemi

2.1.3. Sağlık alanındaki uygulamalar

Sağlık alanındaki giyilebilir hasta izleme uygulamaları NASA tarafından 1960'lı yıllarda astronotların yaşamsal verilerini gözleme ihtiyacı ile doğmuştur. Askeri alanda askerlerin sahadaki sağlık durumlarını gözlemleme ihtiyacı ile gelişmeye başlamıştır. Örneğin “Personel Status monitör” sistemi, algılayıcıları işleme panoları ve kol saati ekranını kullanarak bir askerin yorgun veya yaralı olduğunu tahmin etmek üzere tasarlanmıştır [8].

Sağlık uygulamaları sonraki yıllarda sivil hayatta, hastaların takibi ve tedavisinde her geçen gün daha yaygın kullanılabilir hale gelmiştir. Günümüzde robotik cerrahi alanında ameliyatlarda kullanılmaya başlanan giyilebilir eldivenli robotlar, doktorların ameliyatlarını kolaylaştıran, sağlık alandaki giyilebilir teknoloji örneği olarak verilebilir.



Şekil 2.3. Sağlık alanındaki giyilebilir sistemler

2.1.4. Oyun eğlence sektöründeki uygulamalar

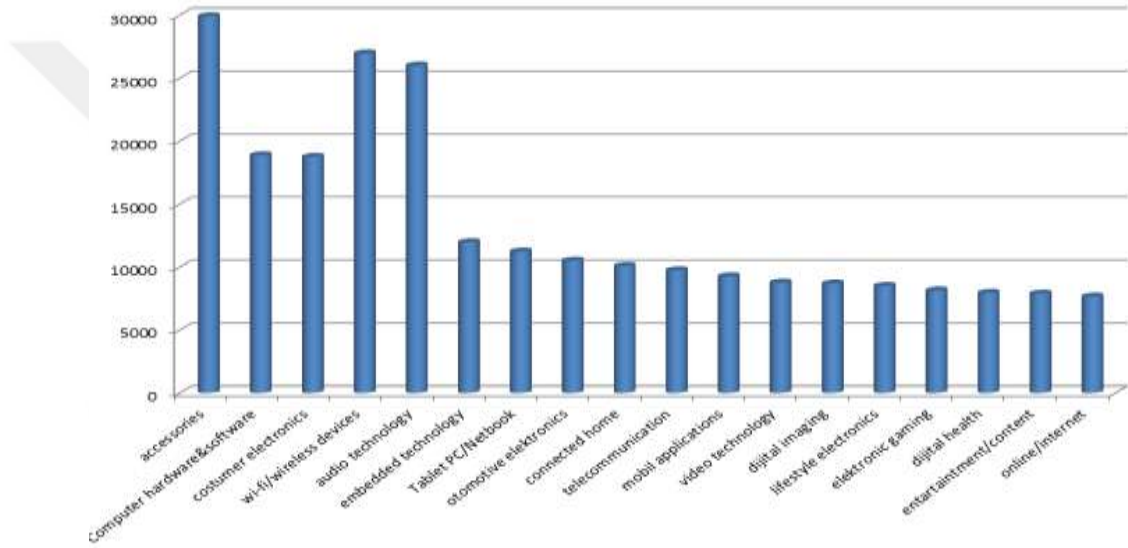
Sosyal hayatın çeşitlenmesine bağlı olarak, giyilebilir teknoloji ürünleri eğlence sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle üç boyutlu (3B) sanal gerçeklik uygulamalarında giyilebilir teknoloji ürünlerinin sayısı spor ve sağlık alanındaki uygulama sayısı kadar yüksek olmamakla birlikte her geçen gün yeni örnekler karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.4. Eğlence oyun alanındaki bir giyilebilir sistem

2.2. Giyilebilir Teknolojilere Genel Bakış

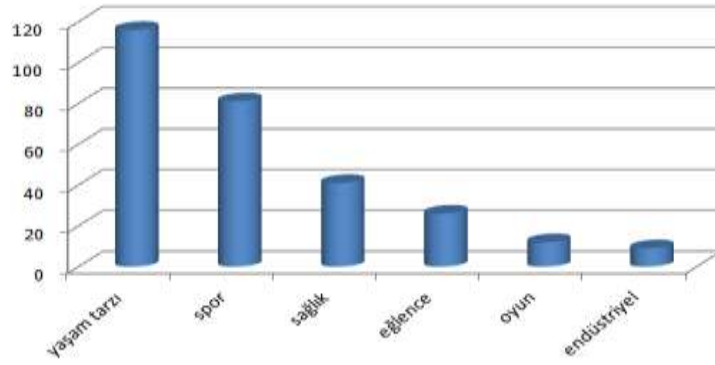
Günümüz teknolojisinde bilgisayar boyutlarının küçülmesinin yanı sıra işlevsel olarak beklentiler de değişmekte, bilgisayarın daha esnek, uyumlu ve konforlu bir yapıya ulaşması beklenmektedir. Bu beklentileri karşılamak için yapılan çalışmaların sonucu olarak dünyada her geçen gün, giyilebilir teknoloji ürünlerinin sayısı artmaktadır. Her yıl Amerika’da düzenlenen CES (costumer electronics show) tüketici elektroniği fuarında sergilenen ürün profili, Şekil 2.5’te görüldüğü gibi akıllı giyilebilir ürünlerin pazarda önemli ölçüde yere sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.5. Giyilebilir teknoloji ürünleri ve dağılımları [9]

2.2.1. Giyilebilir teknoloji ürünlerinin sektörlere göre dağılımı

Son yıllarda üretilen giyilebilir teknoloji ürünleri spor, sağlık, yaşam tarzı, eğlence, oyun, endüstriyel alanlarda kullanım imkânı bulmaktadır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan ürünler yaşam tarzını kolaylaştırıcı alanlarda karşımıza çıkmaktadır (Şekil 2.6).



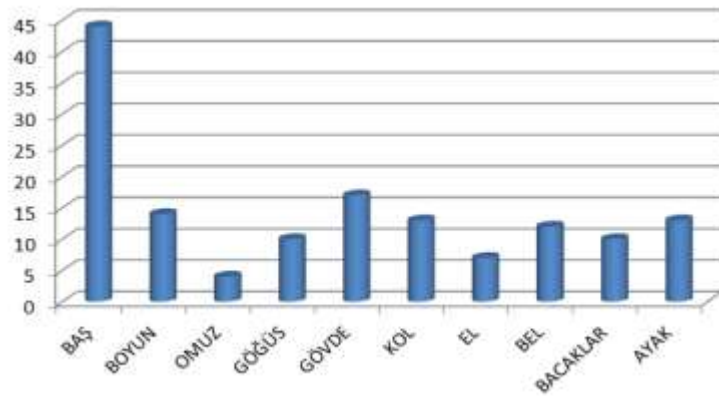
Şekil 2.6. Giyilebilir teknoloji ürünlerinin uygulama alanlarına göre dağılımı [10]

Şekil 2.6'ya göre giyilebilir teknoloji alanındaki üretimlerin yaklaşık;

1. %43'ü yaşam konforunu artırmaya yönelik uygulamalarda,
2. %28'i spor alanındaki uygulamalarda,
3. %13'ü sağlık alanındaki uygulamalarda,
4. %13'ü oyun- eğlence alanındaki uygulamalarda,
5. %3'ü ise endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

2.2.2. Giyilebilir cihazların vücuttaki kullanım yerlerinin dağılımı

Bu giyilebilir cihazlar insan vücudunun baş, göğüs, kol bacak gibi değişik bölgelerine yerleştirilerek işlevsellik kazanmaktadır. 2014 yılında üretilen giyilebilir teknoloji ürünlerinin insan vücudundaki bölgesel dağılımına baktığımızda en fazla kullanılan bölgenin baş bölgesi olduğu görülmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Giyilebilir teknoloji ürünlerinin insan vücudundaki dağılımı [11]

BÖLÜM 3. GİYİLEBİLİR HASTA SİSTEMLERİ

Teknolojilerin gelişmesiyle birlikte düşük maliyetli, taşınabilir, uzaktan erişimli hasta izleme sistemlerinin geliştirilmesi mümkün olmuştur. Kişilerin vücuduna yerleştirilen ve giyilebilen bu sistemler sayesinde gerçek zamanlı veri analizi yapılabilmektedir. Gün geçtikçe dünya nüfusunda ve ülkemizdeki yaşlı sayısı giderek artmaktadır. Yaşlı insanlar, yaşlarına bağlı rahatsızlıklardan dolayı diğer insanlara göre hastalıklarla başa çıkabilmede daha fazla zorlanmaktadırlar. Bunun sonucu olarak daha fazla yardım ve hatta evde bakım hizmeti almaları gerekebilmektedir. Evde bakım hizmeti almaları, giyilebilir sağlık sistemlerine göre daha büyük bir maliyete sebep olacağından giyilebilir sistemlerin kullanılması günümüzde daha çok tercih edilmektedir.

3.1. Giyilebilir Hasta İzleme Sistemlerine Genel Bakış

Giyilebilir hasta izleme sistemleri çeşitli şekillerde yapılandırılabilir. Sağlık durumunun takibi için tasarlanan bir giyilebilir sistem birçok algılayıcı, tetikleyici, akıllı kumaşlar, güç kaynakları, kablosuz iletişim aygıtları, işlemci ve mikro denetleyici üniteleri ve yazılımlar barındırabilir. Bu sistemler vücut sıcaklığı, kalp atışı, kan basıncı, kandaki oksijen oranı, elektrokardiyogram (ECG), elektromiyogram (EMG) sinyalleri ve solunum hızı gibi yaşamsal sinyalleri işleyebilmektedirler. Algılayıcılar vasıtasıyla elde edilen veriler, kablosuz algılayıcı ağları vasıtasıyla sağlık merkezindeki ilgili uzman kişilere iletebilmektedir. Uzman kişi algılayıcılardan gelen verilerden faydalanarak hasta ile yüz yüze görüşmesine gerek kalmadan durumunu takip edebilmektedir. Günümüzde özellikle anlık olarak gelen verileri işleyip uzman kişilere, hastalara ya da sporculara bildirim gönderebilen akıllı sistemler artan derecede öneme sahip olmaktadır. Hasta giyilebilir sistem aygıtlarını günlük hayatında kolaylıkla kullanabilmekte, böylelikle hastaların sağlık merkezi ya da hastaneye gitmeden sağlık bilgilerinin anlık olarak takibi sağlanmakta ve bunun

sonucunda hastaların sık sık hastane veya sağlık merkezine gidip zaman kaybetmeleri engellenmektedir. Üstelik bu sistemler olası acil durumlarda ilgili sağlık merkezlerine acil yardım çağırısı da yapabilmektedirler.

3.2. Hasta İzleme Sistemlerinin Dünyada ve Ülkemizde Gelişim Süreci

Dünyada kişilerin sağlık durumunu izlemeye yönelik ilk uygulamaların, 1960'lı yıllarda NASA'nın uzaya ilk insanı göndermesiyle başladığı daha önce belirtilmişti. Böylelikle uzay uçuşları esnasında astronotların fiziksel ölçümleri uygu aracılığı ile gözlemlenmiştir. Daha sonra hekim bulunmayan kırsal yerleşim alanlarına sağlık hizmeti vermek amaçlı uygulamalar yapılmıştır.

Hasta izleme teknolojisinin bir diğer kullanım alanı teletıp uygulamalarıdır. Teletıp, sağlıkla ilgili verilerin bilişim araçları kullanılarak uzman kişilere aktarılmasıdır. Günümüzde en fazla radyoloji alanında (teleradyoloji) %57 sıklıkla kullanılmaktadır [12].

Günümüzde teletıp konusunda en gelişmiş ülkeler arasında ABD, Kanada, Avusturya, İngiltere ve Almanya başta gelmektedir. Türkiye'de teletıp, daha çok video konferans, teşhis ve tedavide görüş aktarımı şeklinde ve eğitime yönelik olarak kullanılmaktadır. Örneğin Ege Üniversitesi'nde, eğitim amaçlı olarak tıp fakültesi ve bilgisayar mühendisliği bölümünün iş birliği ile sayısal video kütüphanesi olan BİTAM (Bilgisayar ve İletişim Teknolojileri Araştırma Uygulama Merkezi) kurulmuştur [13].

Ülkemizde de uzaktan hasta izleme sistemleri son yıllardaki çalışmalarda yerini almaya başlamıştır. Nitekim Tübitak Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi'nde uzaktan hasta izleme sistemlerini geliştirme ve üretme konusu vurgulanmıştır [14]. Bu bağlamda bu çalışmanın da ülkemizdeki gelişmelere katkı sunacağı düşünülmektedir.

3.3. Hasta İzleme Sistemlerinde Kullanılan Materyal ve Metodlar

Giyilebilir sistemler hastalardan gelen verilerin çevresindekiler veya uzman kişiler tarafından izlenmesinin yanında, olası durumlara cevap verilmesini, acil durumlarda gerekli müdahaleler yapılmasını sağlayabilmektedir. Bu nedenle giyilebilir sistemler hasta izleme alanında bir kilometre taşı olarak kabul edilmektedir. Giyilebilir teknolojilerde kullanılan akıllı, düşük maliyetli ve çok düşük enerji gereksinimi olan algılayıcı ağırları, hastalardan bir yığın biyomedikal bilgi almak ve onlara yardım etmek için tasarlanmıştır. Bu sistemler hızlı ve güvenli biçimde verilerin alınmasını sağlarlar. Kablosuz teknolojiler geliştikçe kablosuz ağ algılayıcıları, mobil cihazlar, akıllı giyilebilir teknoloji ürünleri akıllı bir çevresel yapı sağlayarak sağlık hizmetlerine büyük katkı sağlayacaklardır. Bu teknolojiler günümüzde psikolojik, biyokimyasal ve hareket bilgilerini algılama yeteneğine sahip hale gelmektedir.

3.4. Hasta İzleme Sistemlerinin Sınıflandırılması

Hasta izleme uygulamaları verinin iletildiği birimlerin çeşidine göre sınıflandırılabilir;

1. Doktor ile doktor arasında (Teleradyoloji, telepatoloji, teleonkoloji, teletıp),
2. Doktor ile hasta arasında (Evde bakım, uzaktan kronik hastalık takibi, telekonsültasyon, telesağlık, mobil sağlık izleme.)

Doktorlar ile doktor arasında ya da daha doğru tanımı ile sağlık kuruluşları arasında sağlık bilgileri paylaşılarak gerçekleştirilen teletıp uygulamalarında amaç; genellikle uzman bulunmayan birinci ve ikinci basamak sağlık kuruluşlarında elde edilen tanı materyallerinin (EKG, röntgen görüntüsü, fotoğraf) mevcut iletişim altyapısı aracılığı ile uzman bulunan üçüncü basamak sağlık kuruluşuna gönderilmesi, uzman yorumunun alınması ve hastanın tedavisinin uygulanmasıdır [15].

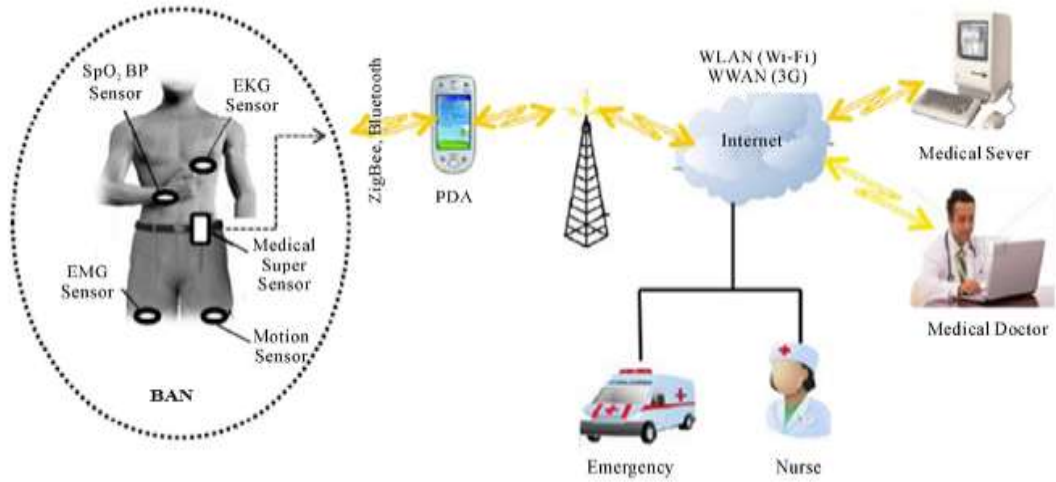
Hasta ile doktor arasındaki bağlantıda ise amaç, hastanın evinde kontrol edilmesi, hastanın bağımsızlığının korunması, gereksiz hastane ziyaretlerinden korunarak, hastane iş yükünün azaltılması ve doğrudan ve dolaylı olarak sağlık harcamalarının azaltılmasıdır.

Bu tezde doktor ile hasta arasında kullanılan bir hasta izleme sistemleri konu edinilmiş olup tasarlanacak sistem çalışması hasta ile doktor arasında çalışacaktır.

3.5. Hasta İzleme Sistemlerinin Genel Yapısı

Hasta izleme sistemleri, hastalardan alınan hayati sinyallerin sağlık merkezlerindeki sunuculara ve sunucular üzerinden doktor, hemşire gibi uzman personele ulaşmasını sağlayan sistemlerdir.

Kablosuz vücut alan ağlarıyla uyumlu olarak kullanılan bazı algılayıcılar, kişisel medikal sunucu ile veya direkt internet ağ geçidi ile iletişim kurar. Sonuçta bütün bilgiler kayıtların tutulduğu medikal sunucuya aktarılır ve kaydedilir.



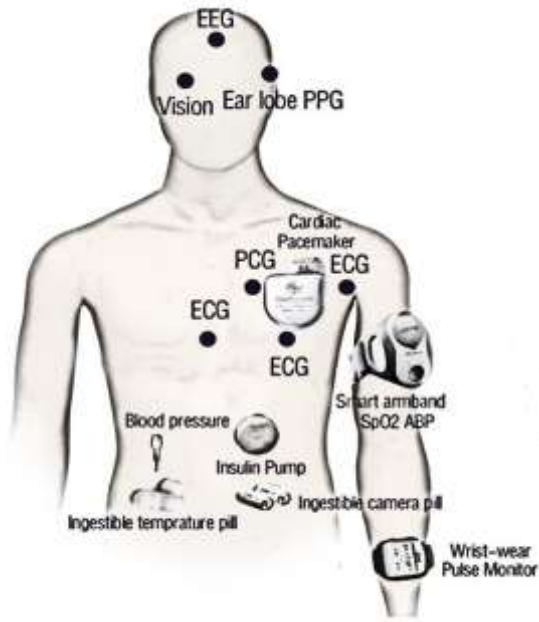
Şekil 3.1. Hasta izleme sistemlerinin genel yapısı [16]

Algılayıcılardan gelen tüm bilgiler, BAN'daki ağ kontrolcüsü tarafından toplanır ve sunucuya iletilmek üzere işlenip alıcı birime gönderilir. Bazı uygulamalarda algılayıcı ağ geçidi üzerinden direkt olarak internete bağlanabilmektedir. Veriler istenirse cep telefonu, PDA veya internete bağlı herhangi bir bilgisayarda gözlemlenebilir. Sunucu, algılayıcılardan gelen verileri işler ve kablolu veya kablosuz bağlantı kullanarak internet üzerinden paylaşabilir. Alıcı ve gönderici birimler arasındaki iletişim WLAN veya WAN teknolojileri kullanılarak oluşturulur.

Aktarılan veriler en son olarak sunucu bilgisayara düzenli ve sıralı biçimde iletilmelidir. Sunucuya gelen verilerin sırası ve düzeni verinin kullanılabilirliği açısından çok önemlidir. Sunucuya kaydedilen veriler istenildiğinde diğer birimlerle de paylaşılabilir.

3.6. Hasta İzleme Sistemlerinde Ölçülen Tıbbi Parametreler

Teletıp uygulamalarında hastaların vücutlarındaki çeşitli sağlık verileri Şekil 3.2’de görülen algılayıcılar yardımıyla elde edilir. Bu ölçümler vasıtasıyla hastalığın belirlenmesi, hastalığın tedavisi ve hastalığın devamlı izlenmesi gibi aşamalar gerçekleştirilir.



Şekil 3.2. İnsan vücudunda kullanılabilen bazı algılayıcılar

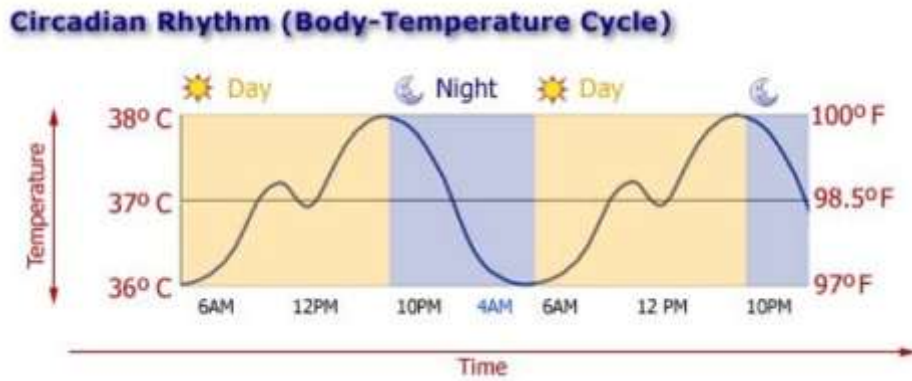
3.6.1. Vücut sıcaklığı

Vücut sıcaklığı tüm insanlarda aynı olmamasına rağmen sağlıklı kişilerde genel olarak 36,5 °C civarındadır. Vücut sıcaklığı bir hastalık değil, olası hastalığın belirtilerinden biridir. Ayrıca vücut sıcaklık ortalaması kişinin yaşı, cinsiyeti, kas aktivitesi, dış ortam sıcaklığı gibi etkenlerden dolayı değişiklikler sergileyebilmektedir.

Vücut sıcaklığının normalden fazla olması (hipertermi) ya da normalin altında olması (hipotermi) herhangi bir hastalık belirtisi olabilir. Fakat hastalığın kesin olarak belirlenebilmesi için diğer belirtiler de dikkatle izlenmelidir.

Hipotermi vücut sıcaklığının normal değerinin altında olmasıdır. Genelde yaşlılarda daha sık görülür. Hipotermi durumunda hücrelerin metabolizma hızı azalır ve dolayısıyla oksijen ihtiyacı azalır. Bu sebeple hipotermi durumu bazı ameliyatlarda esnasında yapay olarak gerçekleştirilebilir.

Hipertermi ise vücut sıcaklığının normal değerinin üstünde olmasıdır. Bebeklerde ve çocuklarda yetişkinlere göre daha 37°C 'ye kadar yüksek vücut sıcaklığı görülmesi normaldir. Genellikle bir hastalık esnasında veya duygusal çevresel etkilenebilir [17].



Şekil 3.3. İnsan vücut sıcaklığının 24 saatlik çevrimi

3.6.2. Kan basıncı

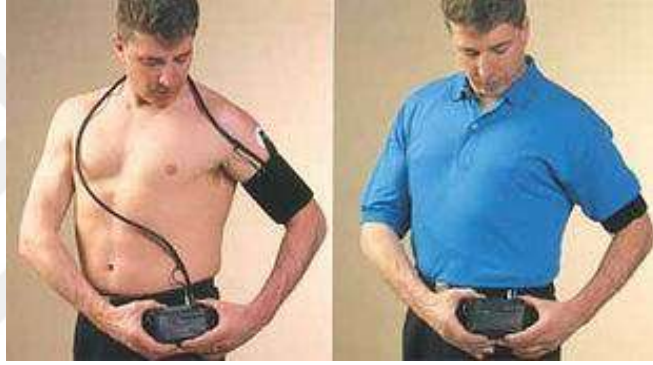
Kalbimiz kasılıp gevşeyerek vücudumuzdaki atardamarlara kan pompalamaktadır. Bu kasılma kuvvetiyle temiz kan öncelikle atar damarlara, sonra küçük atar damarlardan geçerek kılcal damarlara ulaşır. Bu sayede kan tüm dokulara yayılmış olur.

Kalbin kana uyguladığı basınç kuvveti vücuttaki damarlar boyunca devam eder. Bu basınç kuvveti damar duvarlarında da hissedilir. Kanın damar duvarında yaptığı bu basınca kan basıncı adı verilir. Kan basıncı kalp kasıldığında artar, kalp gevşediğinde azalır. Kalbin kasıldığı anda oluşan kan basıncına büyük kan basıncı, gevşediğinde oluşan kan basıncına küçük kan basıncı ismi verilir. Kan basıncı halk arasında tansiyon

olarak da bilinir. Normal bir insandaki büyük tansiyon değeri 140 mmHg'den fazla olmamalıdır. Küçük tansiyon basıncı ise 80 mmHg'den fazla olmamalıdır [18].

Kan basıncının gereğinden yüksek ya da düşük olması vücuda zarar verir. Yüksek kan basıncı kan damarlarını zorlayıp kanamaya sebep olabilir. Düşük kan basıncı ise organların yeterince oksijen alamamasına neden olur.

Uzaktan takip edilen hastaların kalp atım hızları veya tansiyonları takip edilerek olası rahatsızlıklara karşı bir önlem ya da erken müdahaleansı oluşturulabilir. Günümüzde kan basıncını ölçen çeşitli algılayıcılar mevcuttur (Şekil 3.4).

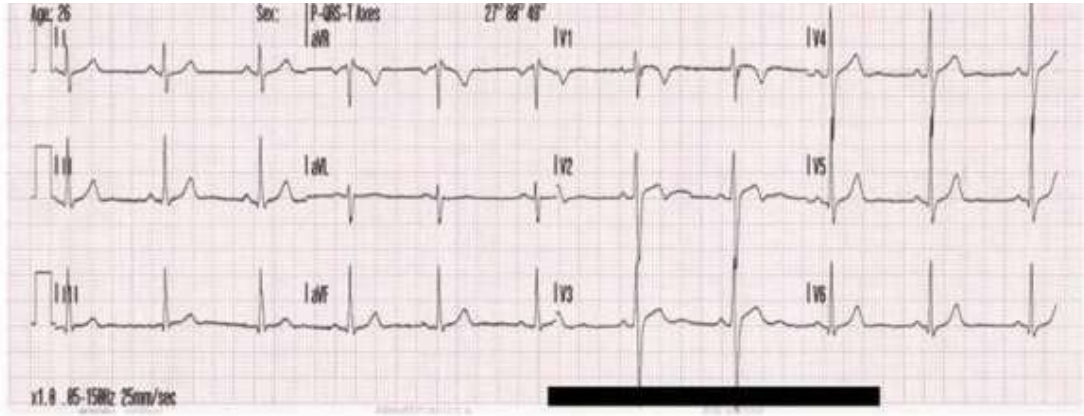


Şekil 3.4. Sürekli kan basıncı ölçüm sistemi

3.6.3. Elektrokardiyogram

Kalbin üretmiş olduğu elektrik sinyallerinin yükseltilerek elektrokardiyograf cihaz (EKG cihazı) tarafından kâğıda yazdırılması işlemine elektrokardiyogram adı verilir. Kalpte üretilen akımlar çok düşük (milivolt) düzeyde oldukları için, bunların yükseltilerek yazdırılmaları gerekir. EKG işlemi, kolay uygulanabilir olması, ölçüm için ön hazırlık veya özel bir işlem gerektirmemesi nedeniyle uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır.

EKG işlemi kalbin özellikle ritmi, damar hastalıkları, kalp krizi, kalp kası kalınlaşması gibi rahatsızlıklarla ilgili önemli bilgiler sağlar. Kalp krizinden sonra hastada oluşan zararlar tespit edilebilir [19].



Şekil 3.5. Normal bir EKG grafiği

3.6.4. Pulse oksimetrisi

Vücudumuzdaki hücelere ihtiyacı olan oksijen atardamar kanındaki hemoglobin hücreleri vasıtasıyla taşınmaktadır. Kandaki hemoglobin hücre sayısı sınırlı olduğundan, kanın taşıyabileceği belirli bir oksijen miktarı vardır. Kanın taşımış olduğu oksijen miktarının, taşıyabileceği maksimum oksijen miktarına oranı kanın oksijen doygunluğu değerini verir. Bu değer tıp dilinde SpO_2 olarak bilinir.

SpO_2 yöntemi kana 960 nm kırmızı ve 660 nm dalga boyunda kızılötesi ışık dalgaları gönderilip, geri yansıyan ışık miktarına göre kandaki oksijen oranını belirleyen bir yöntem olarak tanımlanabilir. Oksitlenmiş ve indirgenmiş hemoglobin kızılötesi ışıkları farklı miktarda yansıtmaktadır.

SpO_2 yöntemi kulak memesi, parmak ucu veya burun gibi dış organlardan kolayca ölçülebilir (Şekil 3.6). Kullanışlı bir yöntem olduğundan dolayı 1970'li yıllardan beri anestezi sırasında, yoğun bakımda, anestezi sonrası bakım ünitelerinde kullanılmaktadır. Normal bir insanda işlevsel SpO_2 değeri %95 civarındadır [20].



Şekil 3.6. Pulse oksimetri

ölçüm cihazı

3.6.5. Solunum hızı

İnsan ve memelilerde bulunan akciğerler vasıtasıyla kandaki karbondioksit gazının dışarı atılarak, vücuttaki hücrelere oksijen sağlanması olayıdır. Normal yetişkin bir insanda solunum hızı 10-15 nefes/dk iken bu oran çocuklarda 20-30 nefes/dk ve bebeklerde 30-40 nefes/dk'dır.

Herhangi bir sebeple solunum durduğunda vücutta görülebilecek sorunlar;

1. 0-1. dakikada kardiyak hassasiyet,
2. 1-4. dakikada hasara eğilim,
3. 4-6. dakikada beyin hasarı başlangıcı,
4. 6-10.dakikada beyin hasarı,
5. +10. dakikada geri dönüşsüz beyin hasarı görülebilir.

Görüldüğü gibi nefes alması duran bir insanın çok kısa süre içinde beyin ve sinir dokularında hasar gelişebilmektedir. Bu yüzden takip edilmesi faydalı görülen kişilere nefes alma algılayıcısı yerleştirilip solunum hızının takip edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir [21].

3.6.6. Elektromiyogram işareti

Elektromiyogram vücudumuzdaki kasların kasılması sonucunda oluşan elektrokimyasal sinyallerdir. Bu sinyallerin kaynağı vücutta meydana gelen çeşitli

elektrokimyasal olaylardır. Kasların istemli olarak kasılması için beyinden gerekli sinyallerin gönderilmesi gereklidir.

Elektromiyogram ölçüm işlemi kasların kasılma ve gevşeme hareketlerini tespit etmeyi amaçlar. Yüzeysel kasların aktivitelerinin ölçümü yüzeysel elektrotlar yeterli olurken, daha iç bölgelerdeki kas hareketlerinin tespitinde vücut içine giren iğne tipi elektrotlar kullanılmaktadır.

Kas kasılması sonucu oluşan gerilimler 20-200mV gibi çok düşük genliktedirler. Bu gerilimlerin daha belirgin gözlemlenebilmesi için işlemsel yükselteç (opamp) kullanılarak yükseltilmesi ve daha sonra sinyalleri netleştirmek için filtre devreleri kullanılması gerekir [22].

EMG işaretlerinin algıladığı sinyal genlikleri kaslarda harcanan güce, elektrotların yerleşimi gibi etmenlere bağlıdır.

3.6.7. Galvanik deri tepki algılayıcısı

Galvanik deri tepki algılayıcısı olarak da bilinen bu algılayıcı vücudumuzu örten deri tabakasının elektriksel geçirgenliğinin psikolojik ve zihinsel uyarılar karşısında göstermiş olduğu değişiklikleri ölçmeyi sağlar. Parmaklara sarılan iletken bir bant ile kolayca ölçülebilen bu algılayıcının ürettiği veriler sayesinde, kişilerin korku, heyecan vs. gibi psikolojik stres altında olup olmadıkları veya stres seviyeleri hakkında bir fikir edinilebilir (Şekil 3.7).

Eğer sempatik sinir sistemi uyarılırsa vücuttaki ter bezi aktiviteleri artar ve bunun sonucu olarak derinin elektriksel geçirgenliği artar. Bu nedenden dolayı deri iletkenliği kişinin içinde bulunduğu duygusal ve bilinçsel tepkilerin bir ölçüm aracı olarak kullanılabilir [23].



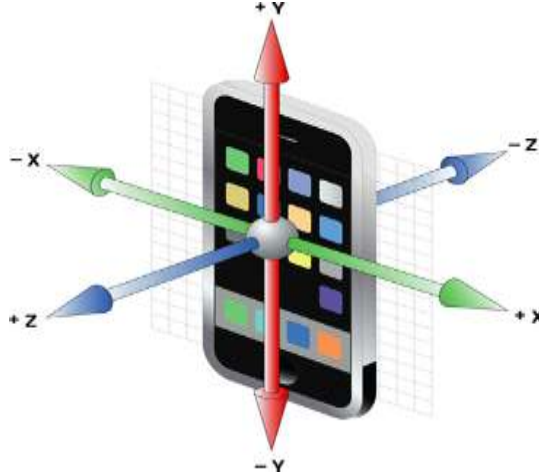
Şekil 3.7. Galvanik deri tepki algılayıcısı

3.6.8. Pozisyon (ivme) algılayıcısı

Yerçekiminin uyguladığı ivmenin yönünü tespit ederek pozisyon tespiti yapabilen ivme algılayıcıları kinetik mühendislik uygulamalarında kullanıldığı gibi, günümüzde cep telefonları ve tablet bilgisayarlarda da kullanım alanı bulmaktadır.

Medikal uygulamalarda ise ivmeölçerler hastaların vücut pozisyon eğilimlerini incelemek amacıyla kullanılabilir. Vücut pozisyon bilgileri belirli bir süre izlenmesi gereken hastaların vücutlarına ivme (accelerometer) algılayıcısı yerleştirilerek hastaların vücut pozisyon bilgileri tespit edilebilir.

İvme algılayıcıları birden fazla koordinat düzleminde ivme ölçümü yapabilmektedirler. Örneğin Şekil 3.8’de görüldüğü gibi üç eksenli bir ivme algılayıcısı hastanın ayakta durma, yüzüstü yatma, sırtüstü yatma, sağ yana yatma ve sol yana yatma gibi beş farklı vücut pozisyonunu tespit edebilir [24].



Şekil 3.8. Üç eksenli ivme algılayıcısı

3.7. Hasta İzleme Sistemi Örnekleri

Bir Amerikan şirketi olan BodMedia 1990'lı yıllarda kolun pazı kısmına giyilen özel bir cihaz üretmiştir. Bu giyilebilir cihaz sayesinde, giyen kişinin fiziksel aktiviteleri (uykuda, uyanık, hareket halinde), attığı adım sayısı, nabız sayısı, yaktığı kalori miktarı gibi bilgiler izlenmekte ve gerektiğinde tablet, akıllı telefon gibi cihazlara aktarılabilmektedir.

Günümüzde her yıl binlerce bebeğin uykuda ölümüne sebep olan ani bebek ölümü sendromunu engellemek için bebeğin soluk alması durduğunda, kalp atım sayısında ya da vücut ısısında beklenmedik bir değişiklik olduğunda, ebeveynleri uyaran giysiler ve algılayıcılar geliştirilmiştir. Bebeklerin sağlık durumlarını takip edebilmek için geliştirilmiş nabız ve vücut sıcaklığını takip eden benzer cihazlar yaygınlaşmaktadır. Bu soruna yönelik olarak CES 2015 fuarında sergilenen üretici firmanın ismini taşıyan “TempTraq” isimli cihaz bebeğin vücut ısısını ve nabız sayısını anlık olarak ebeveynlerin tablet veya telefonuna kablosuz olarak iletmektedir.

İsveç merkezli bir teknoloji şirketi olan Kiowk, “BodyKom” isimli bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem hastanın vücudundaki algılayıcılara kablosuz olarak bağlanır. Eğer cihaz hasta vücudunda bir anormallik fark ederse, hastayı ve sağlık merkezindeki görevlileri mobil ağ bağlantısı yoluyla uyarır. Sistem kalp atış hızı, diyabet, astım ve erken müdahale gerektiren diğer hastalıkları izlemek için kullanılır.

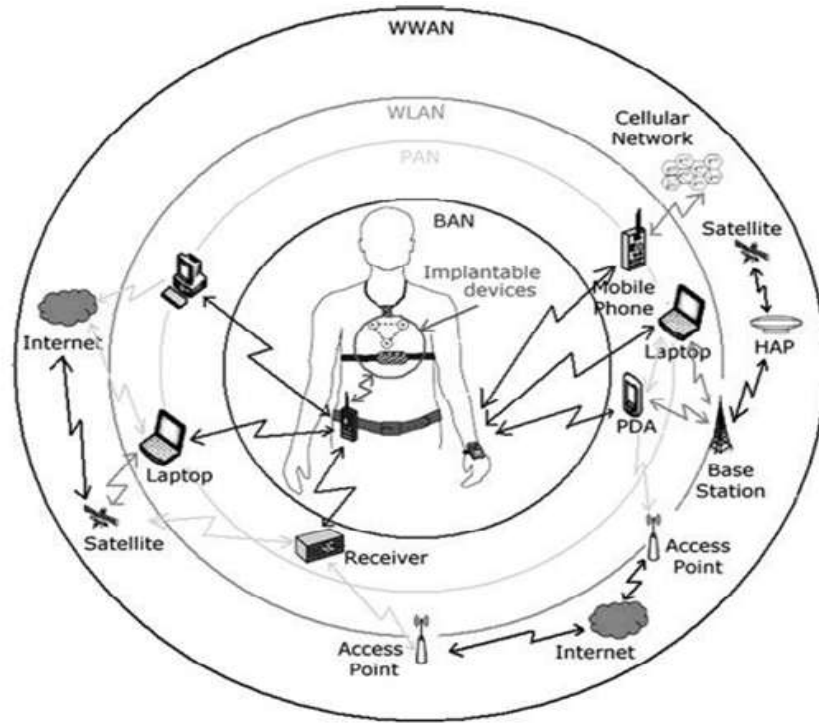
Kaliforniya merkezli Vivometrics şirketi tarafından 1990'lı yılların sonuna doğru geliştirilmiş bir sistem olan "LifeShirt" sistemi, birçok medikal eğitim sahasında kullanılmıştır. Giysi gerçek zamanlı olarak giyen kişinin nefes almasını, kalp hızını ve diğer önemli ölçümlerini toplar ve analiz etmektedir. Bu şirket daha sonraları çocukları astım olan aileler için çocuklarını izlemek üzere bir giysi tasarım çalışmasında bulunmuştur [25].

3.8. Hasta İzleme Sistemlerinde Kablosuz İletişim

Mobil hasta izleme uygulamalarında alıcı ve gönderici merkezler arasında veri aktarımı sağlanması için çeşitli ağ teknolojileri kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden vücut alan ağı teknolojisi hasta izleme sistemlerinin yaygınlaşmasıyla kullanılmaya başlanmış bir teknolojidir.

1. Vücut algılayıcı ağı (BSN, body sensor network),
2. Kişisel alan ağları (PAN, personel area network),
3. Uzun menzilli kablosuz teknolojiler (WWAN, wireless wide area network),
4. Orta menzilli kablosuz teknolojiler (WMAN, wireless metropolitan area network),
5. Kablosuz algılayıcı ağları (WSN, wireless sensor network) olarak sıralanabilir.

Yukarıda maddeler halinde verilen kablosuz ağ teknolojilerinin karşılaştırmalı büyüklükleri Şekil 3.9'da verilmiştir. Şekil 3.9'dan da görüldüğü üzere kablosuz ağ teknolojilerinin kapsama alanı en küçük olan teknoloji vücut alan ağları olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.9. Kablosuz cihaz teknoloji haritası [26]

3.9. Vücut Alan Ağı

Vücut alan ağları genelde insan vücudu etrafında yayılmış algılayıcılardan oluşan ağ teknolojisidir. Vücut alan ağı sistemleri insan vücuduna çok yakın mesafedeki sınırlı bir alanı kapsayan ağ teknolojisidir. Aynı zamanda vücut alan ağları, kişisel alan ağları (Personel Area Network)'nın kapsama alanı daha dar olan bir çeşididir.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin boyutlarının küçülmesinin yanında işlevselliğinin küçülmesi sayesinde algılayıcı teknolojisinde de benzer gelişmeler yaşanmıştır. Kablosuz iletişim, algılayıcı tasarımı ve enerji depolama teknolojilerinin gelişmesi ile kablosuz algılayıcı ağlarının gelişimi doğru orantılıdır. Günlük hayatta hatta evsel basit uygulamalarda bile giderek artan şekilde kablosuz algılayıcı ağlarının kullanım alanları yaygınlaşmaktadır.

İnsan vücudu çevresi ile etkileşimde olan, dıştan gelebilecek uyarılara fiziksel veya duygusal olarak tepkiler veren bir yapıdadır. İnsan vücudunu izlemek için kullanılması

gereken kablosuz algılayıcılar vücut yüzeyine yerleştirilmiş veya vücut dokularına yerleştirilmiş biçimde kullanılmaktadır.

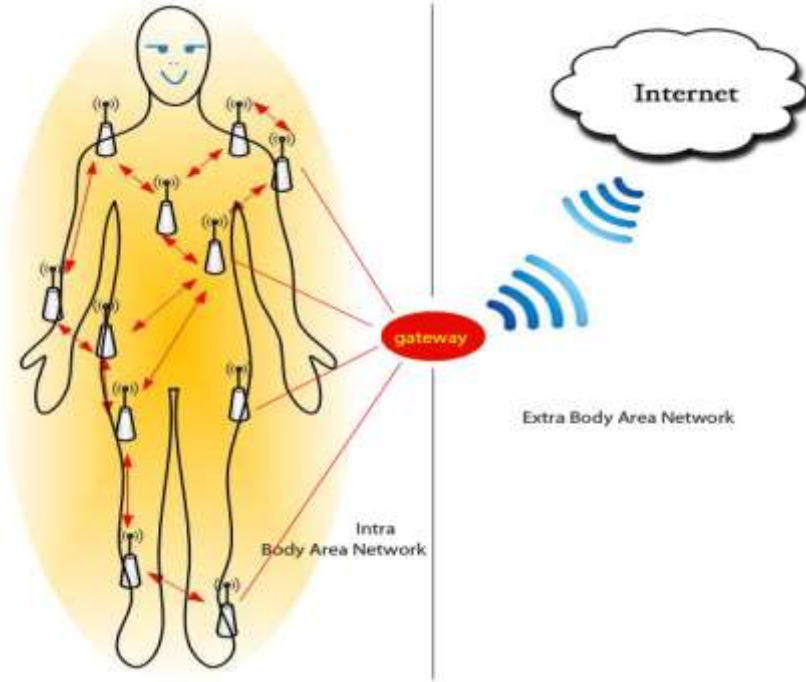
İnsan vücudu dar ölçekli bir ağ teknolojisi gerektirmesine karşın, vücut sinyallerini izlemek için değişik frekansta ve hassasiyette algılayıcılar gerektiren bir yapıdadır. İnsan vücudundaki yaşamsal sinyalleri ölçerken birçok güçlük ve sorun ile karşılaşılabilir. Bu gibi sebeplerden dolayı kablosuz algılayıcı ağlarının alt alanı olarak vücut alan ağları teknolojisi ortaya çıkmıştır [27].

3.9.1. Vücut alan ağlarında iletişim

Vücut alan ağlarında ağ içi (intraBAN) ve ağ dışı (extraBAN) olmak üzere iki tür iletişim kullanılır (Şekil 3.10). Ağ içi iletişim türü BAN içindeki algılayıcıların verilerini yerel işlem ünitesine aktarmak için kullandıkları iletişimdir ve bu iletişimde kablolu ya da bluetooth, zigbee gibi kısa mesafeli kablosuz teknolojiler kullanılabilir. Kablosuz teknolojiler kullanıldığında bu ağın adı kablosuz vücut alan ağı (WBAN,wireless body area network) olarak nitelendirilir.

Vücut alan ağlarında kullanılan ikinci iletişim türü ise algılayıcılar tarafından yerel ağ geçidine aktarılan verilerin, ilgili sunuculara kablosuz olarak iletilmesidir. Büyük çoğunlukta kablosuz olarak tasarlanan bu iletişim türü ise extra-BAN iletişim adını alır.

Extra-BAN iletişim protokolünde yaygın olarak GSM, GPRS, WiMAX, Wifi ve uydu sistemleri kullanılır. Uygulamaya ve senaryoya bağlı olarak bluetooth ve zigbee gibi teknolojiler de extra-BAN sistemlerinde kullanılabilir [28].



Şekil 3.10. Kablosuz vücut alan ağı (WBAN) yapısı

3.10. Vücut Alan Ağlarında Kullanılan Topolojiler

Her ağ teknolojisi, cihazlarının yerleşimim ve aralarındaki haberleşme teknolojisini belirleyen bir topolojiye sahiptir. Ağ teknolojisinde topoloji kavramı fiziksel topoloji ve mantıksal topoloji olmak üzere ikiye ayrılır. Burada fiziksel topolojiden kastedilen ağ cihazlarının kablolu ya da kablosuz iletişim kurmasıdır. Mantıksal topoloji ise cihazların birbiriyle olan fiziksel bağlantısını önemsemeden cihazlar arası veri akış yöntemini ifade etmektedir. Bu fiziksel ve mantıksal topolojiler bilgisayar ağ yapılarındaki OSI (open systems interconnect) katmanlarında da kullanılmaktadır. Nitekim OSI referans modelindeki fiziksel ve veri katmanları ağın fiziksel topolojisini tanımlarken, ağ katmanı ise mantıksal topolojiden sorumludur.

Ağ topolojisi, ağ tasarımı yaparken kullanılacak yapısal bir seçimdir. Ağ topolojisini tasarlarken performans ihtiyacını karşılayabilmek için duruma has yerleşim özelliklerinin yanında, algılayıcı performansı ve maliyeti, pil gereksinimi, yönlendirme trafiği, mobilite ve ölçülebilirlik gibi özellikleri dikkate almak gerekir.

3.10.1. Noktadan noktaya topoloji

“P2P” ya da eşten eşe topoloji olarak da bilinen bu mantıksal topoloji aynı türdeki ve eşit ayrıcalıklara sahip iki ya da daha fazla ağ cihazlarının birbirine direkt olarak bağlandığı en basit topolojidir. Bu topolojide sunucu istemci tabanlı sistemlerin aksine sunucu özellikli ya da istemci özellikli düğüm bulunmaz. Tüm düğümler ağ üzerinde eşit haklara sahiptir [29].

3.10.2. Yıldız topoloji

Basit yapısı sayesinde bilgisayar ağlarında kullanımı en yaygın olan topolojidir. Yıldız topolojide ağ düğümleri merkezde bulunan dağıtıcı, anahtar ya da sunucu gibi merkezi bir kontrolör birimi üzerinden haberleşirler [30].

1. Avantajları:

- a. Kurulumu kolay yapılabilir olması,
- b. Sorun tespitinin kolay olması,
- c. Ağ genişleme imkânının basit olması,
- d. Gecikmenin az ve bant genişliğinin yüksek olması,
- e. Merkezileştirilmiş bir sistem olması.

2. Dezavantajları:

- a. Tüm ağ iletişimi merkez cihazdaki kontrolör üzerinden yapılır,
- b. Merkez cihazdaki yaşanabilecek bir arıza ağı tamamen işlevsiz hale getirir,
- c. Çok geniş alanlarda kullanılamaz,
- d. Düğüm sayısının merkez cihazın kapasitesine bağlıdır,
- e. Enerji tüketiminin orantısız olabilir,
- f. Düğüm sayısının az sayıdadır.

3.10.3. Ağaç topolojisi

Bu topoloji türünde hiyerarşinin en üstünde bir merkezi düğüm bulunur. Bu düğüm bir alt seviyede daha fazla düğüme bağlıdır. Merkezi düğüm ile alt seviyedeki her bir düğüm arasında noktadan noktaya (peer to peer) bağlantı vardır. Her seviyede bağlı bulunan düğüm sayısının artması sonucu ağaç dalları gibi bir dallanma oluşur. Ağaç topolojide dallanma sonucu oluşan her bir segment kendi içinde bir bölüm oluşturarak, yapının daha modüler olması sağlanır. Her segment kendi içinde bir çalışma grubu gibi düşünülebilir [31].

3.10.4. Örgü ağ topolojisi

Karmaşık topoloji olarak da adlandırılan bu topolojide ağdaki tüm cihazlar birbirleri ile iletişime geçebilir. Eşten eşe bağlantı çeşidinin gelişmiş halidir. Ağ üzerindeki tüm düğümler hem yönlendirici alıcı hem de kaynak olarak görev yapabilir [32].

1. Avantajları:

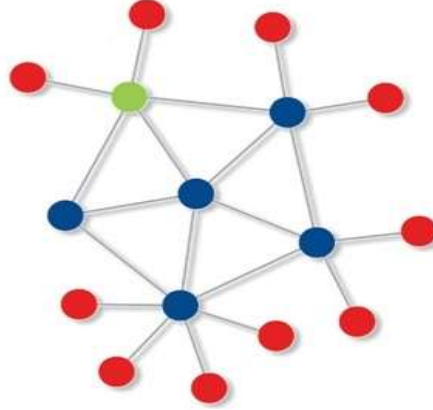
- a. Dağıtık işlem gücünün olması,
- b. Eşten eşe (peer to peer) bağlantı gerçekleştirebilmesi,
- c. Hata toleransının yüksek olması,
- d. Birçok düğüm kullanılabilir olması,
- e. Kapsama alanının geniş olması,
- f. Enerji tüketiminin eş düğümler arasında dengeli olması.

2. Dezavantajları:

- a. Veri iletiminde yüksek gecikme yaşanması,
- b. Karmaşık bir yönlendirme işlemi yaşanması,
- c. Düğümlerin benzer özelliklere sahip olması,
- d. Arıza tespiti zor olması.

3.10.5. Melez ağ topolojileri

Bu tür topolojilerde birden fazla ağ topolojisi birleşerek bir ağ yapısı oluştururlar (Şekil 3.11). Böylelikle kullanılan ağ topolojilerinin avantajları birleştirilerek gelişmiş bir yapı oluşturulmaya çalışılır [33].



Şekil 3.11. Melez ağ topolojisi

1. Avantajları:

- a. Az/orta düzeyde karmaşık yapıda olması,
- b. Kapsama alanının geniş olması,
- c. Ana düğüm alt düğümler arasında gecikmenin az olması,
- d. Güvenirliğin yüksek olması,
- e. Ölçeklenebilir olması,
- f. Alt düğümlerin daha ucuz olması.

2. Dezavantajları:

- a. Çalışma karmaşasının yüksek olması,
- b. Güç tüketiminin ana düğüm ve alt düğümleri arasında dengeli olmaması,
- c. Düğümler arası iletişim sayısının fazlalığından dolayı gecikme yaşanması.

3.11. Vücut Alan Ağlarında Teknik Konular

Günümüzde kullanılan BAN sistemleri, insan vücudundaki yaşamsal verilerin elde edilebilmesi için ideal bir kablolu/kablosuz ağ ortamı elde etme amacıyla tasarlanmaktadır. Fakat yine de sistemde bazı teknik sorunlara yol açabilecek bazı konular mevcuttur. Bu konulardan bazıları, algılayıcı tasarımına ait dikkat edilmesi gereken noktalar; biyouyumluluk, algılayıcı sistemlerinin entegrasyonu, enerji gereksinimini azaltılması, verilerin güvenli transferi ve günümüzde kullanılan sistemlerle entegrasyonudur [34].

3.11.1. Vücut alan ağlarında algılayıcı tasarımı

Günümüzde elektronik, mekanik, kimyasal ve biyolojik algılayıcı teknolojilerindeki gelişmeler, giyilebilir ve vücut üzerine yerleştirilebilir büyüklükte algılayıcılar üretilebilmektedir. Ayrıca teknolojinin gelişimine paralel olarak üretilen senörlerin boyutlarının küçülmesine karşın işlevleri de güçlenmektedir. Bunların yanında üretilen algılayıcıların kullanım alanı gün geçtikçe genişlemektedir.

Diyabet hastalarının düzenli aralıklarla vücutlarına iğne batırarak yaptıkları glikoz testlerini ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalar sonucunda California merkezli “Animas Corporation” isimli bir sağlık şirketi 2002 yılında vücudu iğne ile delmeksizin kullanılan ve %95 doğruluk oranında kan şekeri ölçümü yapabilen bir cihaz geliştirdi. Aynı şirket sonraki yıllarda kandaki glikoz seviyesine göre otomatik olarak vücuda insülin pompalayan, pankreası taklit eden ve böylelikle kan glikoz seviyesini belli bir düzeyde tutmayı sağlayan kapalı bir sistem geliştirmiştir [35].

Sonuç olarak sistemlerin ve sistemlerin güvenilirliği bu tip konularda hayati önem taşımaktadır. Algılayıcı üretim ve medikal mühendislik tekniklerindeki ilerlemeler bu güne kadar üretilmiş olan algılayıcılardan daha küçük ve vücuda kolayca yerleştirilebilen algılayıcıların üretimi için potansiyel sunmaktadır.

3.11.2. Biyolojik uyumluluk

Bazı durumlarda insan vücuduna yerleştirilen algılayıcıların vücutta uzun yıllar durması gerekebilir. Vücutta uzun yıllar kalacak olan bir algılayıcının biyolojik olarak vücuda zarar vermemesi biyolojik uyum sağlaması gerekmektedir. Bu gibi bir duruma en iyi örnek olarak kalp pilleri ve yapay şok cihazı (ICD) verilebilir. Bu cihaz olası ritim bozukluğu anında kendiliğinden kalbe şok dalgaları vererek olası ölümleri önlemektedir [36].

Kalp rahatsızlıklarının temel sonuçlarından biri ani kardiyak ölümdür. 2012 yılında yapılan bir araştırmaya göre ülkemizde kalp hastalıklarından yılda yaklaşık 150.000 kişi ölmektedir ve nüfusumuzun yaklaşık %35'i potansiyel kalp hastasıdır. Bu rakamlar kalp pili ve yapay şok cihazı gibi cihazlardan faydalanabilecek kişi sayısının fazlalığını göstermektedir [37].

Günümüzde klinik uygulamalarda pratik olarak kullanılabilen sistemlere örnek olarak parkinson, epilepsi gibi nörolojik rahatsızlıklarda kullanılabilen yüksek frekansla beyni uyaran sistemler örnek olarak verilebilir.

Yukarıda bahsedilen sistemlerde kullanılan algılayıcıların ve tetikleyicilerin uyumlu bir şekilde çalışması ve bu sistemlerin yeterli güç gereksiniminin sağlanması çok önemli bir konudur. Örneğin günümüzde birçok hastada kullanılan kalp pillerinin ve yapay şok cihazlarının cep telefonları ile etkileşimi ele alınması gereken bir konudur. Bu etkileşim algılayıcının istenilen şekilde çalışmamasının yanı sıra vücuda yerleştirilmiş ilaç pompalayan sistemleri etkileyebilir. Bu durum, vücut algılayıcı ağlarda kullanılan kablosuz iletişim frekansları için yeni bir endüstri standardı oluşturulması gerekliliğini desteklemektedir.

3.11.3. Vücut alan ağlarında enerji gereksinimi

Vücut alan ağları için en önemli konulardan biri de sistemin güç tüketimidir. Çünkü güç tüketimi, sadece sistemin ergonomisini değil, aynı zamanda vücut içine implant

edilen algılayıcıların vücutta kalma süresini de etkilemektedir. Birçok durumda gerekli enerjiyi depolamak için kullanılan bataryaların boyutu, algılayıcıların hem boyutunu hem ağırlığını etkileyen en büyük faktörlerden biridir. Bu faktörler sadece vücut içine implant edilenlerde değil aynı zamanda harici algılayıcılarda da önemlidir. Çünkü vücut alan ağlarında algılayıcıların gizli olması sistemi kullanan hastaların daha rahat olmasını sağlayacak ve sonucunda bu da algılayıcının daha tercih edilebilir olmasını sağlayacaktır.

Vücut alan ağlarında kablosuz olarak veri aktarımı sağlanır. Kablosuz iletişim bağlantısı BAN sistemlerinde en büyük güç tüketicisidir. Düşük güçle çalışan kablosuz veri yollarının geliştirilmesi, kablosuz algılayıcı ağlarının geliştirilmesinin önünü açacaktır. Radyo alıcısı ve vericisinin güç tüketimini azaltmak kablosuz algılayıcı ağlarının daha uzun süre ve kararlı çalışması için gereklidir.

Vücut alan ağı sistemlerine güç sağlayan bataryaların boyutlarının küçülmesi için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerden biri implant edilebilir algılayıcılarda kullanılabilen mikro yakıt hücresi geliştirerek, güç kaynağının boyutunu azaltırken batarya ömrünü ve dolayısıyla algılayıcı kullanılabilirliğini artırmaktır. Bu tekniğin amacı mikro yakıt hücrelerini taşınabilir güç üretimi için hazır hale getirerek, yüksek enerji verimliliği ve daha hızlı şarj edebilme yetenekleri kazandırmaktır. Polimer elektrolit direkt metanol ve katı oksit yakıt hücreleri taşınabilir ortamlarda lithyum iyon piller yerine alternatif olarak öne sürülmüş teknoloji örnekleridir [38].

Vücut alan ağı sistemlerine güç sağlamanın yollarından biri de hareketli mikro organizmaların ve enzimlerin katalizör görevi gördüğü ve glikozun yakıt olarak kullanıldığı biyokatalitik yakıt hücreleridir. Enzimatik bataryalar algılayıcı boyutlarının oldukça küçülmesini sağlamaktadır ve bu durum vücut içine implant edilebilen sistemler için idealdir [39].

Bu çalışmalara ilaveten özellikle vücut içine implant edilebilir algılayıcılar için vücut titreşimi ve sıcaklığından güç üreterek batarya kullanımını azaltan ve böylece batarya kullanım ömrünü artıran teknolojiler de geliştirilmiştir.

3.11.4. Vücut alan ağlarında güvenlik

Vücut alan ağlarında hastaların yaşamsal bilgileri kablosuz ortam üzerinden iletilmektedir. Bu bilgilerin üçüncü kişilerin eline geçmesi hasta gizliliği kuralının ihlali anlamına geleceğinden bu sistemlerin tasarımında gizlilik ve güvenlik konusunda önlemler alınması büyük önem arz etmektedir.

Hasta gizliliği açısından, hastalardan elde edilen verilerin şifreleme ile korunması en ideal güvenlik yöntemlerinden biridir. Ancak, güçlü bir şifreleme, kaynak ve kapsamlı bir hesaplama gerektirir. Ayrıca bir vücut alan ağının son serece dinamik olan yapısında statik ağ kimlik doğrulama yöntemleri uygun değildir. Asimetrik şifreleme tekniği gibi özel ağlarda kullanılan yöntemler de vücut alan ağı uygulamalarında uygulanabilirlik maliyetini ve oldukça yükseltmektedir [40].

3.11.5. Vücut alan ağlarında güvenilirlik

Vücut alan ağlarında önemli olan bir diğer faktör de sistemin güvenilirliğidir. Bu özellik hasta gözlemleme kalitesini ve memnuniyetini direkt etkilemektedir. Örneğin bir hastanın takibi sırasında hayati öneme sahip bir olay tespit edilemezse, ölümcül durumlar yaşanabilir. Bu gibi olumsuz bir olay sistemin güvenilirliğini derinden etkileyecek ve kullanımına ilişkin tereddütler ortaya çıkacaktır. Sistemin güvenilirliğini temin etmek için TCP ağ protokollerinde kullanılan yeniden iletim mekanizması gibi geleneksel ağ güvenilirlik teknikleri, bant genişliği ve güç tedariki kısıtlamalarında dolayı vücut alan ağı uygulamaları için uygun olmayabilir.

Günümüzde vücut alan ağı sistemlerinin güvenilirliğini artırmak için önerilen ve bir yaklaşım çoklu ağ kurmak ve bozulmuş bağlantılardan kaçınmak için çoklu güzergâh kullanmaktır.

Vücut alana ağlarında hastalardan gelen fizyolojik parametreleri tam ve doğru olarak yorumlamak için bazı durumlarda hastanın bulunduğu ortam, çevre ya da durum bilgilerinin dikkate alınması gerekir. Bunun yanında uyumak ve yürümek gibi basit

aktivitelerin, sadece kalp hızı ve tansiyon gibi hayati önem taşıyan belirtilerin üzerinde değil, diğer fizyolojik parametreler üzerinde de etkisi vardır. Örneğin uyku halindeyken kalp atış hızı ve nabız sayısı azalmış olan bir hastanın acil bir müdahaleye gereksinimi olup olmadığını tespit etmek için bir pozisyon algılayıcısı kullanıp, hastanın ayakta durma oturma gibi vücut pozisyonuna da bakılarak acil bir müdahaleye gereksinim olup olmadığını tespit etmek BSN ağlarının işlevselliğinin bir gereğidir [41].

Vücut alan ağlarında bağlam farkındalığı, algılayıcılar tarafından algılanan hatalı verilerin düzeltilmesine de yardımcı olmayı amaçlar. Normal hasta muayenesi esnasında yapılan görsel izleme bu bağlamsal bilgiyi en etkin şekilde kullanır. Fakat uzaktan hasta izleme sistemlerinde hastayı görsel olarak izleme imkânı olmadığından bağlam farkındalığı bu gibi durumlarda önem kazanır.

Bağlam farkındalığını geliştirmek için günümüzde çeşitli algılayıcılar kullanılmaktadır. Örneğin ivmeölçer (Accelerometer), araba kullanmak, oturmak, egzersiz yapmak gibi durum, yatma, uyuma, oturma ayakta durma gibi duruş aktivitelerini belirlemekte kullanılabilir. Bu belirlemenin tam ve hatasız olarak yapılabilmesi için ivmeölçer algılayıcısının en uygun vücut bölgesine yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu uygun bölge ise tespit edilecek durum veya duruşa göre değişebilmektedir.

Bağlam farkındalığında kullanılabilecek bir başka yöntem kişinin vücut sıcaklığındaki değişimleri incelemektir. İnsan vücudundaki sıcaklık ve bu sıcaklığın değişimi sadece kişinin aktivite halinde olup olmadığı anlamına gelmez, aynı zamanda kişinin sıcak bir ortamdan soğuk bir ortama geçtiğini de belirtebilir. ABD merkezli Bodymedia şirketi bu tip bağlam farkındalıklarını göz ardı etmeyen “SenseWear” isimli bir cihaz geliştirdi. Kolun üst kısmına giyilebilen bu cihaz, iki eksenli bir ivmeölçer, ısı akış algılayıcısı, galvanik deri tepki algılayıcısı, vücut sıcaklık algılayıcısı ve ortam sıcaklığı algılayıcısı gibi algılayıcıları içeriyordu.

3.12. Vücut Alan Ağlarında Kullanılan Kablosuz Ağ Teknolojileri

Vücut alan ağları insan vücudundan aldığı fizyolojik verileri ihtiyaçlar doğrultusunda internet vasıtasıyla çok uzak mesafelere taşıyabilen ağ teknolojisidir. Kullanım yerleri ise ev, okul, hastane, işyeri vs. gibi insanların yaşayabildiği her yer olabilmektedir. Kullanım senaryosu ve ihtiyaca göre vücut alan ağlarında çeşitli teknolojiler kullanılabilmektedir.

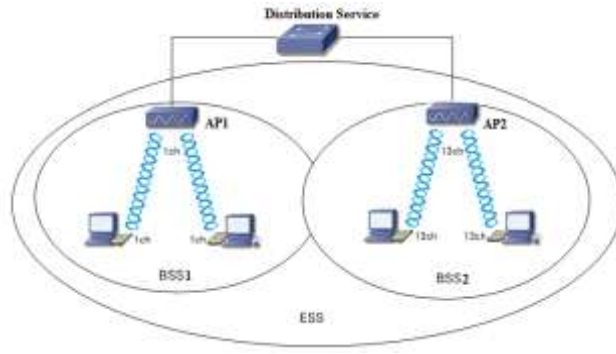
3.12.1 Kablosuz yerel alan ağları

Yerel alan ağları (LAN) belli sayıda bilgisayar ya da ağ cihazının yer aldığı, sınırlı alanlarda kurulan ağ teknolojisidir. Ev, okul, büro, şirket ve hastane gibi kapsama alanı dar olan yapılarda kullanılır. Eğer bir yerel alan ağında cihazlar arasındaki bağlantı kablo yerine kızılötesi ışınları ya da radyo dalgaları vasıtasıyla yapılıyorsa bu teknolojiye kablosuz yerel alan ağı (WLAN) denir. Bu teknoloji sayesinde kullanıcılara kablosuz geniş bant internet erişimi, sunuculara erişim ve ağa bağlı kullanıcılar arasında yüksek hızlı veri aktarımıdır. Uygulamalarda kablosuz teknolojinin kullanılması sayesinde hareket özgürlüğü kazanılmakta ve kablo karmaşasından uzaklaşmaktadır. Fakat bu teknolojiye menzile 25-100 metre gibi kısa mesafeleri kapsamaktadır [42].

3.12.2. Kablosuz yerel alan ağlarının yapıları

Bir kablosuz ağın yapısında, düğümler, alıcılar, vericiler, istasyonlar ve erişim noktaları bulunur. Kablosuz düğümlerin iletişim şekline göre iki farklı çalışma modeli vardır. Birincisi cihazdan cihaza ve ikincisi yapısal modelidir.

Kablosuz ağ teknolojilerini oluşturan çeşitli birimler vardır. Bunlardan en küçük olanı temel servis kümesi (BSS)'dir. BSS'leri diğer BSS'lerden ayırmak için servis kümesi tanımlayıcısı (SSID) adlı bir tanım kullanılır. BSS yapılarının ağ cihazları yardımıyla birbirine bağlanmasıyla uzatılmış servis kümesi (ESS) adlı yapılar oluşur.



Şekil 3.12. ESS, BSS ve DSS yapıları [43]

Kablosuz yerel ağlarda BSS yapılarının başka BSS yapılarına bağlanmasıyla yapıya dağıtılmış servis kümesi DSS adı verilir.

3.12.2.1. Cihazdan cihaza (ad-hoc) çalışma modeli

Ad-Hoc “geçici” anlamına gelen latince kökenli bir kelimedir. Bu yapı genelde sabit bir kablo yapısı olmadan, cihazların minimum yapılandırma ile kısa bir süre içerisinde bir sorunun çözümüne yönelik olarak geçici oluşturabildikleri kablosuz ağlardır. Ad-Hoc ağlar bir sunucu olmadan birden çok kablosuz iletişim özelliğine sahip bilgisayarlar, birbirleri arasında iletişim kurarlar. Bu ağ modeli ile dosyalar ve yazıcı gibi donanımlar paylaşılabilir (Şekil 3.13).

Ad-Hoc modelinde merkezde herhangi bir erişim noktası cihazı bulunmaz. Bilgisayarlardaki kablosuz ağ kartları doğrudan birbirleri ile haberleşme vazifesi görürler. Ad-Hoc ağ hücrelerine bu yüzden bağımsız (independent) BSS adı verilir. IBSS yapısı düzey olarak birbirine eşit olmayan ve aralarında istemci/sunucu ilişkisi olmayan bilgisayarlardan oluşmaktadır. Erişim noktası olmamasından dolayı bu ağ model çarpışmalara açık bir modeldir [44].



Şekil 3.13. Cihazdan cihaza

ağ modeli

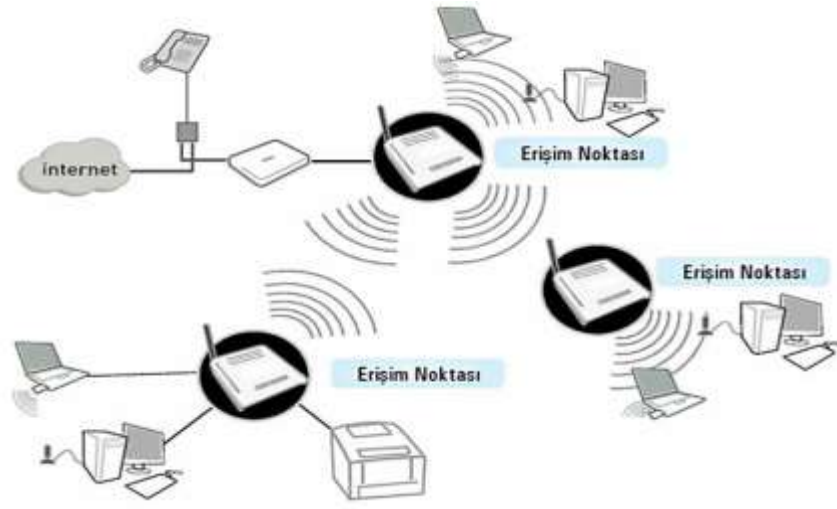
3.12.2.2. Altyapısal çalışma modeli

Altyapısal çalışma modeli WLAN’larda kullanılan en temel ve en yaygın modeldir. Bu altyapı modeli merkezde kablolu ağa bağlı bir erişim noktası ve bu erişim noktasına kablosuz olarak bağlı istemcilerden oluşur.

Erişim noktası cihazı, radyo dalgaları üreten bir cihaz olup bir anten ve en az bir adet ethernet portu barındırır. Bu modeldeki erişim noktası cihazı hem kablosuz olarak birbirine bağlı bilgisayarlar arası iletişimi sağlar hem de kablolu olarak bu bilgisayar grubunun diğer dış ağlarla olan iletişimini sağlar. Ayrıca erişim noktası kablolu ağlardaki anahtar cihazı ile aynı görevi yapar. Kullanılan erişim noktası cihazlarının özellikleri ağın kullanıcı sayısını ve kapsama alanını etkiler. 20 ile 500 metre mesafede 15 ile 250 arasında kullanıcıya hizmet vermektedir [45].

SSID, bir erişim noktasını belirleyen etiket olarak tanımlanabilir. Erişim noktası cihazları, istemci cihazların kendilerini tanıması için sürekli SSID yayınlar. SSID ismi her cihazın görebileceği şekilde açık, gizli ya da kapalı olabilir.

Yapısal modda, istemcilerin yaptığı tüm işlemler sunucuda tutulur ve gerekirse sunucu üzerinden paylaşılır. Sunucu işlemleri yapar ve sonuçlarını istemcilere yollar (Şekil 3.14). Bu şekilde işlemlerin hızı ve kapasitesi artmış olur. Her istemcinin kendi programları ile verileri işlemesi durumunda, işlem hızı istemci istasyonunun performansına bağlı olur.



Şekil 3.14. Altyapılı kablosuz ağ topolojisi

BÖLÜM 4. TASARLANAN SİSTEMİN YAPISI

4.1. Donanım Tasarımı

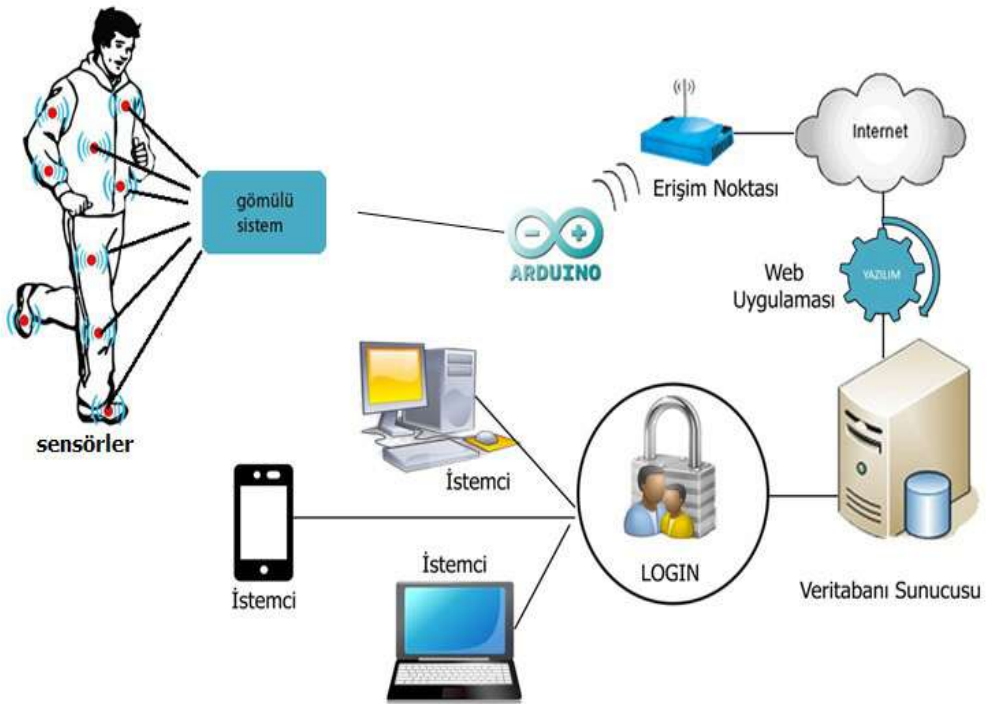
Bu çalışmada tasarlanan hasta izleme sistemi donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sistemin donanım kısmında hasta vücudundaki verilerin algılayıcılar kullanılarak ölçülmesini sağlayan, elde edilen verileri ağ geçidi olarak kullanılacak wifi kartına ileten birim ve kendisine ulaşan verilerin internet ortamına aktarılmasını sağlayan ağ geçidi birimi olmak üzere iki adet donanım birimi kullanılmıştır. Yazılım kısmında ise algılayıcılardan alınan verilerin optimizasyonunu sağlayan gömülü yazılım mimarisi, verilerin kablosuz iletimini gerçekleştiren yazılım, web servisleri ve veri tabanı uygulamaları yer almaktadır.

Tasarlanan sistemin genel yapısı çalışma prensibi Şekil 4.1’de görülmektedir. İzlenecek kişi üzerindeki medikal algılayıcılar vasıtasıyla çeşitli tıbbi parametreler elde edilmekte ve bu bilgiler IEEE 802.15.g standardındaki Arduino wifi modülü kullanılarak erişim noktası olarak görevlendirilmiş bir ağ birimine birime ulaştırılmaktadır. Bu alıcı sistem vücuttaki gömülü birimden ardışık bir dizi halinde gelen verileri öncelikle ayırt etmektedir.

Sistemde ölçülen yaşamsal veriler Arduino wifi modül üzerinde tümleşik olarak bulunan SD kart yuvasına takılan bellek kartına tarih ve saat bilgileriyle birlikte kaydedilmektedir. Daha sonra bu veriler geçmişe yönelik olarak incelenmek istendiğinde hafıza kartındaki veriler incelenebilmektedir. Algılayıcılardan ölçülen yaşamsal veriler web teknoloji servisleri kullanılarak internet ortamına aktarılmakta ve web üzerindeki SQL veritabanı servisinde ayrıca kaydedilmektedir.

Sistem kişinin vücut sıcaklığı, nefes alma hızı, galvanik deri değeri, nabız sayısı ve ortamdaki sıcaklık ve nem değerleri gibi analog tabanlı verileri aktarmaktadır. Tasarlanan esnek donanım ve yazılım mimarisi sayesinde sisteme kolayca yeni bir algılayıcı eklenebilmekte ya da gerektiğinde çıkarılabilmektedir.

Tasarlanan sistemde gerekli destek sağlandığında algılayıcılar ile hasta vücudundan alınan verilerde herhangi bir anormal durum gözlenmesi halinde bu durum “acil durum” olarak değerlendirilebilir ve internet ortamında istenilen sosyal medya gibi herhangi bir yere acil uyarı mesajı gönderebilir. Bunların yanında sistemin algılayıcılar vasıtasıyla elde ettiği veriler internet ortamında uzman kişiler tarafından gerçek zamanlı olarak gözlemlenebilmekte, gerektiğinde kişinin vücudundan okunan geçmiş veri değerleri web server üzerindeki veritabanından okunarak Microsoft Excel dosyası formatında geçmişe dönük olarak elde edilebilmektedir.



Şekil 4.1. Tasarlanan sistem mimarisi

4.1.1. Hasta vücudundaki algılayıcı yapısı

Bu donanım biriminde hastanın tıbbi verilerini elde etmek için tasarlanmış algılayıcılar ve bu algılayıcıların bağlı olduğu bir mikro denetleyici bulunmaktadır. Sistemde mikrodenetleyici teknolojisi olarak son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşan ve gerçekleştirilmesi son derece pratik bulunan ve üzerinde Atmel Atmega 328 tabanlı mikrodenetleyici barındıran Arduino Nano platformu kullanılmıştır. Bu platformun seçilmesinde oldukça küçük boyutlara sahip olması, açık kaynak yazılım felsefesini desteklemesi, sayısız donanım ve algılayıcı desteğinin bulunması ve maliyet olarak uygun olması gibi özellikler de etkili olmuştur.

4.1.2. Arduino platformu

2005 yılında geliştirilmeye başlanan Arduino platformu, yazılım ve donanım olarak açık kaynak kodlu, kolay kullanımı amaçlayan ve kullanımı günümüzde hızla yaygınlaşan bir elektronik tasarım platformudur.

Arduino platformu, sisteme entegre edilmiş program belleği, veri belleği ve giriş çıkış kanallarını içeren bir Atmel mikrodenetleyici birleşiminden oluşur. Yani sistemin çalışması için gerekli donanım birimleri hali hazırda kartta mevcuttur. Bu avantajdan dolayı Arduino tabanlı devre kartları ile günümüzde birçok elektronik uygulama hızlı biçimde yapılabilmektedir [52].

Günümüzde projelerde, tezlerde ve eğitim kitlerinde sıkça kullanılmaya başlanan Arduino tabanlı geliştirme kartları Windows, Linux ve Mac işletim sistemiyle uyumlu çalışabilmektedir. Ayrıca herhangi bir bilgisayarın USB seri portu üzerinden kolaylıkla programlanabilmektedir.

Arduinoyu programlamak için kullanılan Wiring dili, programlamada sık kullanılan C programlama dili ile benzer yapıda olduğundan kolayca öğrenilebilmektedir. Bir başka üstün yönü yazılım ve donanım olarak açık kaynak kodlu bir yapıya sahip olmasıdır. Yani yazılım ve donanım üzerinde istenilen değişiklikler yapılabilir ve

paylaşılabilir. Bunun gibi özellikler Arduino ürünlerinin dünya üzerinde kısa sürede yaygınlaşmasını ve birçok projede kullanılmasını sağlamıştır.

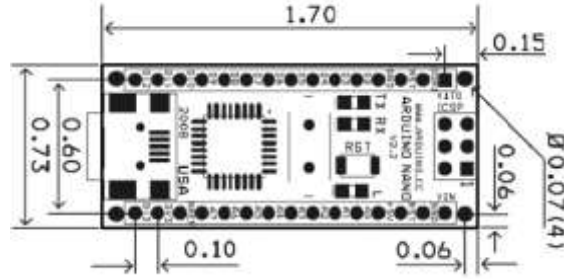
Arduino tabanlı mikrodenetleyiciler kendi başlarına çalışabilecekleri gibi bilgisayarda ki bir yazılımla da haberleşebilirler. Arduino, desteklediği pek çok algılayıcı vasıtasıyla çevresindeki verileri alabilir ve üzerine eklenebilen aktivatörler sayesinde çevresini etkileyebilir. Ayrıca “Shield” adı verilen Arduino ürünlerine monte edilebilen çevresel donanım birimleri sayesinde Wi-Fi, RJ45 ethernet portu, bluetooth, biyolojik ve kimyasal algılayıcıların yanında hafıza kartı gibi pek çok teknoloji kolaylıkla kullanılabilir. Bunun için kullanılacak teknoloji ile ilgili “Shield” adı verilen donanım birimi Arduino kartına takılır ve kullanılmaya başlanır. Bu özellik Arduino ile geliştirilmek istenen projenin detaylara takılmadan daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Arduino kartlarının birçok çeşidi vardır. Gerçekleştirilen projede hasta vücuduna yerleştirilen devrede Arduino Nano, hasta vücudundan gelen verilerin internete aktarıldığı bölümde ise Arduino wifi eklentisi kullanılmıştır.

4.1.3. Arduino Nano

Arduino kartlarının içinde en küçük boyutlu ve en hafif kartlardan biri olan Arduino Nano, hafif ve küçük boyutlu devrelerde kullanılmaya çok uygundur. Üzerinde 30 adet giriş-çıkış, güç pini bulunmaktadır. Çalışma esnasında karşılaşılabilecek hataları sonlandırmak için kart üzerinde bir adet reset düğmesi bulunmaktadır. Arduino Nano kartı B tipi mini USB kablosu ile bilgisayara bağlanarak güç gereksinimini karşılayabilmekte ve kolayca programlanabilmektedir.

Tasarlanan sistemde kullanılan Arduino Nano mikrodenetleyicisi, Arduino wifi cihazı ile SPI (serial peripheral interface) veriyolu üzerinden haberleşmektedir.



Şekil 4.2. Arduino Nano pin yapısı ve boyutları [53]

Arduino Nano'nun güç gereksinimi bir USB (Universal Serial Bus) kablosu kullanılarak bilgisayar üzerinden karşılanabileceği gibi harici bir güç kaynağından beslenebilir. 6-20 V aralığında bir harici güç kaynağı pin 30 'a bağlanabilir ya da 5V'a regüle edilmiş bir gerilim ile 27 numaralı pinden besleme yapılabilir.

Arduino'da bulunan dijital giriş/çıkış pinleri giriş ya da çıkış olarak kullanılabilir. Her pinden en fazla 40 mA'lık akım alınabilir ve her pine ait 20-50KOhm dahili pull-up direnç bağlantısı mevcuttur. Tablo 4.1'de Arduino Nano pin yapısı verilmiştir.

Tablo 4.1. Arduino Nano pin özellikleri [54]

Pin No	Pin Adı	Pin Çeşidi	Pin Özelliği
1-2, 5-6	D0-D13	Giriş/çıkış	13 adet G/ç pini
3,28	RESET	Giriş	Reset Pini (0 aktif)
4,29	Ground	Güç	Topraklama Ucu
17	3.3 V	Çıkış	3.3 volt Güç çıkışı
18	AREF	Giriş	ADC referansı
19-26	A0-A7	Giriş	Analog Giriş pinleri
27	+5V	Giriş/Çıkış	5V Giriş/Çıkış
30	Vin	Güç	Harici Güç Besleme Girişi

Arduino Nano bir bilgisayar ile, başka bir Arduino kartı veya diğer marka ve model mikrodenetleyiciler ile kolayca haberleşebilme için çeşitli imkanlar sunar. Arduino kartlarda kullanılan Atmega 328 ve Atmega 168 mikro denetleyicileri Rx ve Tx pinlerinden ulaşılabilen seri haberleşmeyi desteklemektedir. Ayrıca Atmega 328 ve Atmega 168 mikrodenetleyicileri SPI iletişim yollarını da desteklemektedir.

Arduino kartlarındaki Atmega mikrodnetleyicilerine harici bir programlayıcıya ihtiyaç duymaması için fabrika çıkışlı olarak bir “bootloader” programı yüklü olarak gelir. Bu sayede harici programlama donanımına ihtiyaç duyulmamaktadır.

4.1.4. Arduino wi-fi eklentisi

Tasarlanan sitemde verilerin internet ortamına aktarılması için kullanılan, Arduino teknolojisinin bir ürünü olan Arduino wi-fi eklentisi, bir çeşit ağ geçidi (gateway) işlevi görmektedir. Mikrodnetleyici vasıtasıyla algılayıcılardan alınan verilerin 802.11.b/g kablosuz ağ teknolojisi kullanarak internete aktarılmasını sağlamaktadır. TCP ve UDP protokollerini destekleyen bu kablosuz ağ cihazı Arduino platformlarıyla donanım ve yazılım yönünden tamamen uyumlu çalışabilme özelliğine sahiptir. Bu eklenti Arduino kartları ile SPI (Serial Peripheral Interface) portu üzerinden haberleşebilmektedir [55].



Şekil 4.3. Arduino wi-fi eklentisi

Arduino wifi eklentisi üzerinde cihazın durumunu gösteren çeşitli renkte ledler bulunmaktadır. Bu ledlerin işlevleri şu şekilde özetlenebilir;

1. L9 (Sarı) : Dijital pin 9 ile doğrudan bağlantılı göstergedir.
2. LINK (Yeşil) : Bir ağa bağlanıldığını gösterir.
3. ERROR (Kırmızı) : İletişimde hata olduğunda yanar.
4. DATA (Mavi) : Verinin iletişiminin yapıldığını gösterir [56].

Tablo 4.2. Arduino wi-fi özellikleri

Özellik	Açıklama
Çalışma gerilimi	5V
Desteklenen ağ türleri	802.11.b - 802.11.g
Şifreleme türü	WEP- WPA2
İletişim portu	SPI Portu
Hafıza kartı desteği	Var
Yazılım güncelleme	Evet

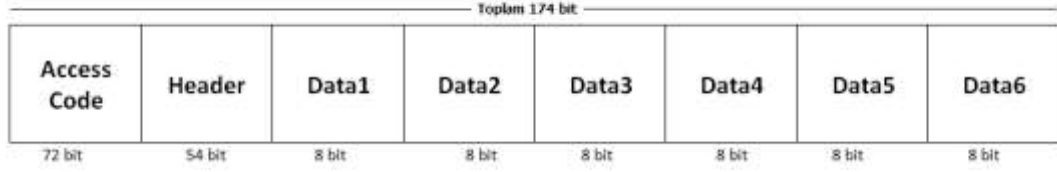
4.2. Sistemde Kullanılan Yazılım Teknolojisi

Tasarlanan sistemin donanım mimarisiyle eşgüdümlü biçimde çalışması çeşitli yazılım teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sistemde kullanılan yazılım, gömülü sistem yazılımları ve web teknolojileri yazılımı olarak iki bölümde incelenebilir.

Gömülü sistem yazılımı ile hasta vücudundan algılayıcılar vasıtasıyla alınan verilerin düzenlenmesi ve ağ geçidi olarak kullanılacak birime aktarılması sağlanmıştır. Veriler ağ geçidi olarak kullanılan Arduino wifi modülüne birer byte'lık veriler dizisi şeklinde aktarılmaktadır. Wifi modülüne gelen verilerin öncelikle başlangıç biti ayıklanmakta, sonrasında, ardışık olarak gelen veri paketleri sıra ile önceden tanımlanmış değerlere atanmaktadır. Böylelikle mikrodenetleyicili devreden gelen veriler ayrıştırılmış ve web ortamına aktarılmaya hazır hale gelmiş olmaktadır.

4.2.1. Sistemde kullanılan veri paketleri

Sistemde hasta vücuduna yerleştirilen algılayıcı sistemden alınan nefes alma hızı, kalp atım hızı, vücut ısısı, galvanik tepki değeri, ortam ısısı ve ortam nemi gibi değerler ardışık diziler halinde geçidi birimine iletilmektedir. Bu iletimde kullanılan veri paketi 72 bitlik erişim kodu, 54 bitlik başlık bilgisi ve 48 bitlik taşınan veri olmak üzere toplam 174 bitlik büyüklüğe sahiptir.

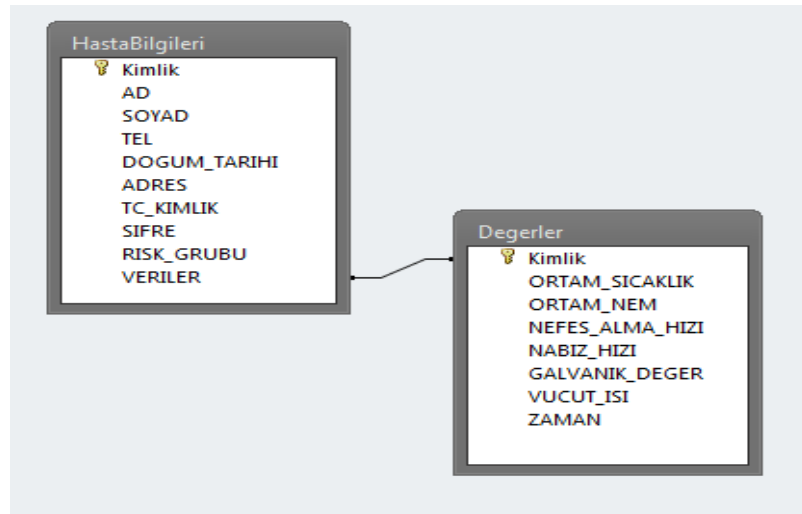


Şekil 4.4. Sistemde kullanılan veri paketi yapısı

4.2.2. Kullanılan yazılım teknolojileri

Bu çalışmadaki web uygulaması gerçekleştirilirken yararlanılan platform ve programlama teknolojileri kısaca aşağıda belirtilmiştir.

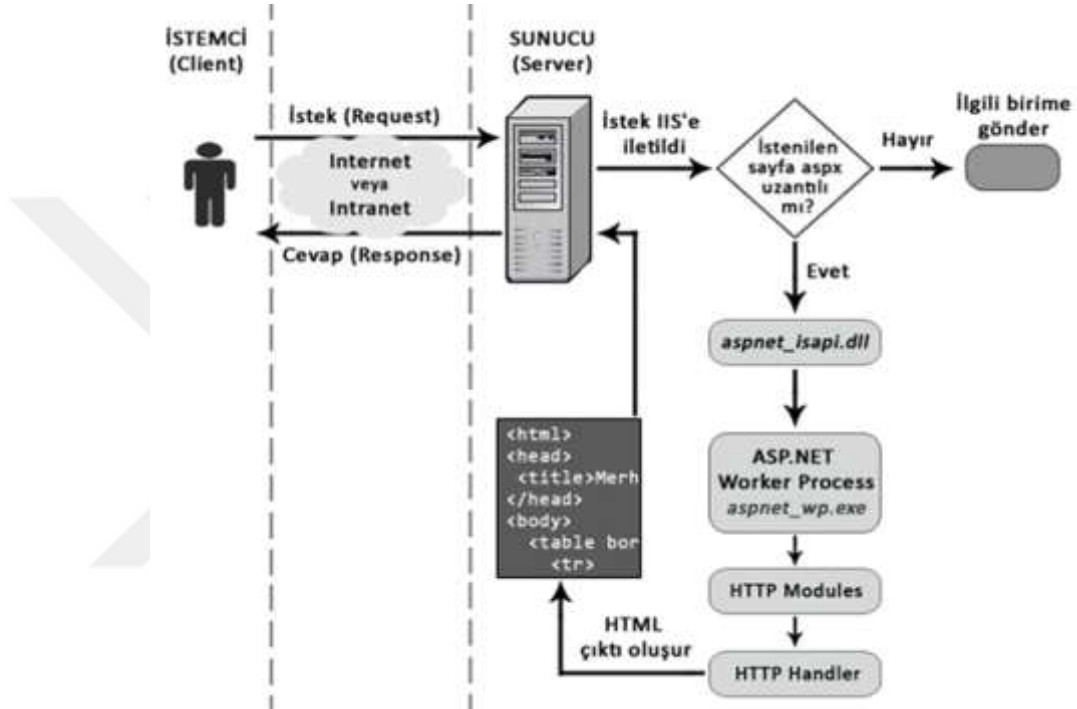
1. Visual Studio.NET : .NET platformu için geliştirilmiş bir uygulama geliştirme platformudur. En büyük özelliklerinden birisi IDE (Integrated Development Environment) denilen ortak bir uygulama geliştirme platformu sunmasıdır.
2. SQL Server : Kurumsal ölçekte veri yönetimi sağlayabilen kapsamlı bir veri tabanı platformudur. SQL server yüksek kullanılabilirliğe ve performansa sahip veri uygulamaları oluşturup yönetilmesine olanak vererek, ilişkisel ve yapılandırılmış veri için güvenilir bir depolama sağlamaktadır.



Şekil 4.5. Sistemde kullanılan veritabanı ilişkisel yapısı

3. Asp.NET : Microsoft tarafından geliştirilen dinamik web sayfası, web uygulaması ve XML tabanlı web hizmetleri geliştirilmesine olanak sağlayan

web uygulamaları geliştirme teknolojisidir. Asp.Net kodları ortak dil çalışma zamanı (common language runtime) altyapısına dayalı olarak çalışır (Şekil 4.6). Diğer bir deyişle .NET çatısı altındaki tüm yazılım dilleri ile Asp.NET tabanlı uygulama geliştirmek mümkündür. Yani java teknolojisinde olduğu gibi, yazılımcı tarafından yazılan kod, çalıştırılmadan önce sanal bir yazılım katmanı tarafından ortak bir dile çevrilmektedir.



Şekil 4.6. Asp.NET çalışma şekli [57]

Geliştirilen web sitesi, donanım vasıtasıyla hastadan alınan verileri sunucuya kaydetmek, uzman kişilerin veya hastaların istedikleri herhangi bir zamanda sunucuya kaydedilen verilere ulaşmaları için kullanacakları bir web site tasarımı önerilmiştir. Siteye, mytez.website domain adresinden erişilebilecektir. Hastalardan alınan verileri görüntülemek isteyen uzman ya da ilgili kişi tarafından kullanıcı adı ve şifre girmek suretiyle veriler görüntülenebilecektir. Kullanılan web sitesi Microsoft Visual Studio arayüz programı kullanılarak tasarlanmıştır.

4.3. Sistemin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Hasta vücudundaki algılayıcılar vasıtasıyla alınan yaşamsal veriler, gömülü sistem üzerinden Arduino wifi ağ geçidine aktarılacak, buradan da bir erişim noktası (AP) vasıtasıyla internet ortamına aktarılacaktır.

İnternet ortamına aktarılan veriler web uygulaması sayesinde sunucudaki veri tabanına kaydedilecektir. Veri tabanına kaydedilen veriler gerektiğinde kullanılmak ve sorgulanmak üzere tasarlanan web sitesi üzerinden yetkili kişilere sunulacaktır.

4.3.1. Tasarlanan web yazılım arabirimi

Öncelikle, tasarlanan siteye giriş yapabilmek için yetkilendirilmiş olmak gerekmektedir (Şekil 4.7). Sisteme giriş için kullanıcı adı ve şifre ile giriş yapıldıktan sonra ilgili hastanın yaşamsal verileri anlık olarak gözlemlenebilmekte ve geçmişe dönük kayıtlar takip edilebilmektedir.



The image shows a user login interface for a patient monitoring system. At the top, there is an illustration of a person's head and shoulders in a blue shirt, holding a large yellow key. Below this, the title "HASTA İZLEME YETKİLİ GİRİŞİ" is displayed in a bold, black font. Underneath the title, there are two input fields: "Kullanıcı Adı:" (Username) and "Şifre :" (Password). Both fields are empty and have a light gray border. Below the password field, there is a blue button with the text "GİRİŞ" (Login) in white. The entire interface is set against a light gray background.

Şekil 4.7. Tasarlanan yetkili giriş ekranı

4.3.2. Sistemde görüntülenen değerler

Tasarlanan web sisteminde, vücut sıcaklığı, nabız sayısı, GSR değeri, solunum hızı gibi 4 adet hasta yaşamsal verisi ve ortam sıcaklık ve nemi gibi 2 adet ortam bilgisi eşzamanlı olarak grafiksel bir arayüzde sunulmuştur. Öncelikle hasta vücudundan alınan yaşamsal değerler, tam ve kesin doğrulukta ölçülmeye çalışılmıştır. Ölçülen bu değerlerden bazıları aktarım için uygun veri paketleri haline dönüştürüldükten sonra arayüzdeki ilgili grafikte gösterime sunulmuştur. Veri paketlerinde herhangi bir karmaşıklığa sebebiyet vermemek için 20 saniyelik aralıklarla verilerin ağ geçidi cihazına gönderilmesi sağlanmıştır. Yapılan denemelerde 20 saniyelik sürenin, sistemdeki algılayıcıların ilgili değerleri okuyup Arduino Nano mikrodenetleyicisine, oradan da Arduino wifi ağ geçidine aktarması için yeterli bir zaman olduğu tespit edilmiştir.

4.3.2.1. Oda sıcaklığı

Hastanın bulunduğu ortam sıcaklığı insan sağlığı için önemlidir. Özellikle yaşlı, bebek, çocuk gibi hassas dönemlerdeki kişilerin bulunduğu ortam sıcaklığının takip edilmesi önemlidir.

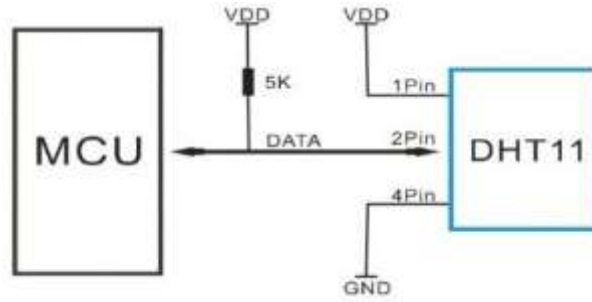
Sistemde ortam sıcaklığını algılamak için Dht11 dijital nem ve sıcaklık algılayıcısı kullanılmıştır. Bu algılayıcı yüksek dijital çözünürlük özelliği sayesinde analog

sıcaklık algılayıcılarına göre daha sağlıklı değerler üretmektedir. Tablo 4.3'te, ilgili algılayıcının çalışma aralık değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Dht11 algılayıcısı ölçüm aralıkları [58]

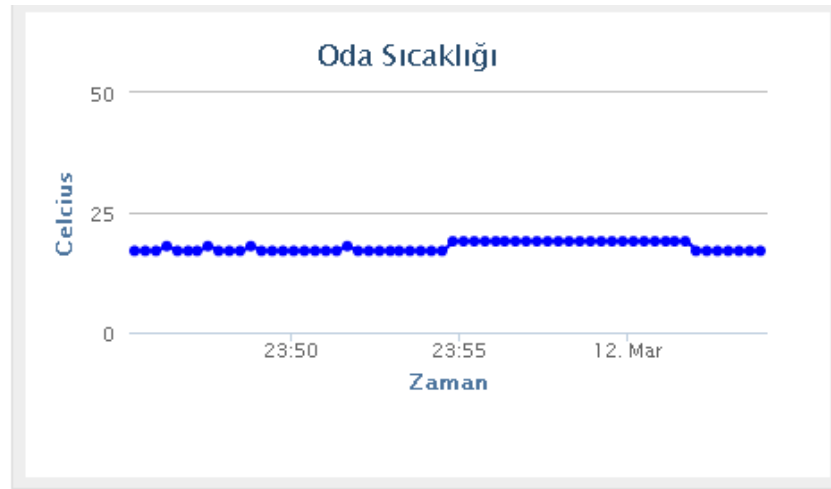
DHT11 Dijital Sıcaklık Algılayıcı Özellikleri	
Çalışma sıcaklığı	0-50 celcius
Sıcaklık toleransı	+/- 1 celcius
Nem aralığı	%20 - %90 arası
Nem toleransı	+/- %4

5V'luk besleme ile çalışabilen DHT11 algılayıcısının üzerinde pozitif (+) uç, negatif(-) uç ve veri pini olmak üzere 3 adet pin bulunmaktadır. Ölçülen veriler, algılayıcının veri pininin Arduino Nano mikrodenetleyicisindeki iki numaralı dijital pine bağlanarak aktarılmaktadır. Şekil 4.8'de bu pin bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 4.8. DHT11 algılayıcısı bağlantı şeması

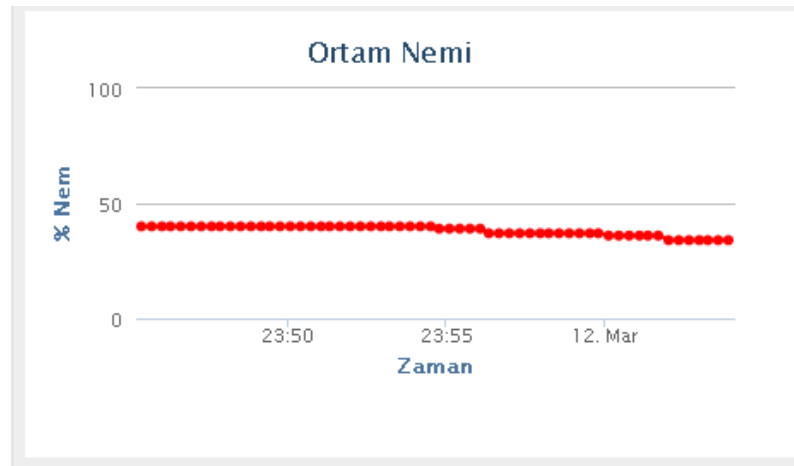
Dht11 algılayıcısından okunan veriler 2 nolu dijital pin üzerinden mikrodenetleyicili birime aktarılarak buradan Arduino wifi kablosuz aktarım birimine yollanmıştır. Kablosuz aktarım biriminden sonra internet ortamına aktarılarak Şekil 4.9'daki gibi celcius cinsinden grafiksel bir arayüzde sunulmuştur.



Şekil 4.9. Oda sıcaklığı grafiği

4.3.2.2. Ortam nemi

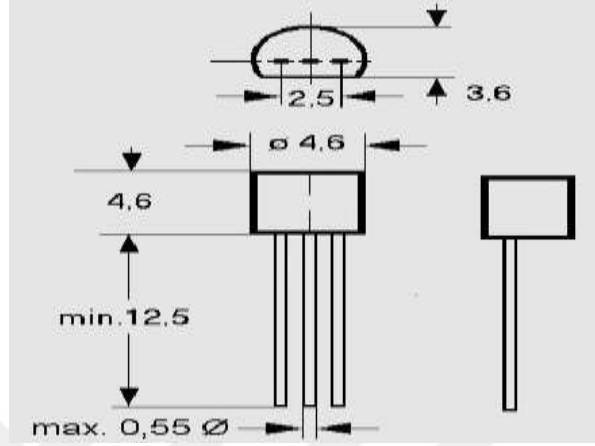
Bazı hastalığa sahip kişilerde içinde bulunulan ortamın sıcaklığı kadar nemi de önemlidir. Özellikle astım hastaları için ortam nemi önem arz etmektedir. Hasta vücuduna yerleştirilmiş olan Dht11 algılayıcısı Şekil 4.10'da görüldüğü gibi hastanın bulunduğu ortam nem bilgilerini 3 numaralı dijital pin üzerinden mikrodenetleyicili sisteme iletmektedir.



Şekil 4.10. Ortam nem grafiği

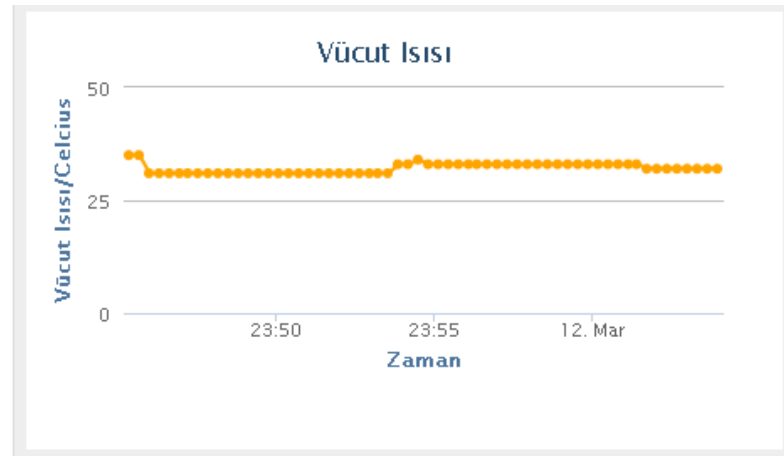
4.3.2.3. Vücut ısısı

Vücut ısısı bazı hastalıkların teşhisinde ve hastanın genel durumunu belirlemede önemli ipuçları vermektedir. Tasarlanan mikrodenetleyicili sistemde hastanın vücut ısını ölçmek için DS18B20 dijital sıcaklık algılayıcısı kullanılmıştır. Bu algılayıcının pin yapısı Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. DS18B20 sıcaklık algılayıcısı pin yapısı [59]

Hastanın vücut sıcaklığı celsius sıcaklık birimi cinsinden ölçülmüştür. Tasarlanan vücut sıcaklık-zaman grafiği Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. Vücut sıcaklık grafiği

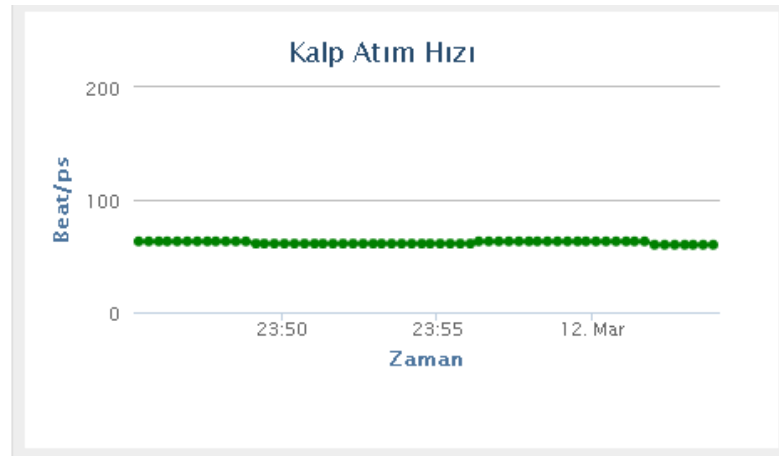
4.3.2.4. Kalp atım hızı

Diğer bir adıyla nabız hızı, bazı rahatsızlıkların derecesini belirlemede önemli ipuçları verebilmektedir. Tasarlanan mikrodenetleyicili sistemde hastanın dakikadaki ortalama kalp atım hızı hesaplanarak grafiksel gösterime uygun hale getirilmiştir. Sistemde kalp atışlarını tespit etmek için SEN-11574 tipi kalp atım algılayıcısı (Şekil 4.13) kullanılmıştır. Bu algılayıcı parmak ucu ya da kulak memesi gibi bölgelerden kalp atışını tespit edebilmektedir.



Şekil 4.13. Kalp atım algılayıcısı [60]

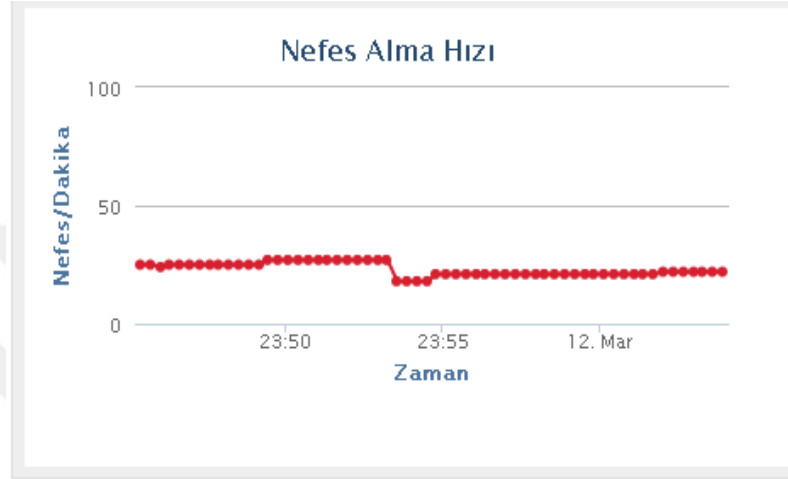
Kalp atım algılayıcıları üzerinde kızılötesi ışık dalgaları yayan bir LED bulunur. Bu ledin yaymış olduğu kızılötesi ışınlar damardan geçen kanın oranıyla doğru orantılı olarak geri yansır ve kızılötesi ışık algılayıcısı üzerine düşer. Bu şekilde geri yansıma oranı sayesinde damardaki kan miktarı ve kalp atımı takip edilmiş olur (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Kalp atım hızı grafiği

4.3.2.5. Nefes alma hızı

Yaşa, cinsiyete, metabolizmaya ve fiziksel aktivite gibi nedenlere bağlı olarak insan dakikada 20 ila 30 nefes almaktadır. Tasarlanan sistemde hastanın dakikadaki ortalama nefes sayısı tespit edilerek hasta fiziksel durumu hakkında bir fikir sahibi olunması planlanmıştır (Şekil 4.15).

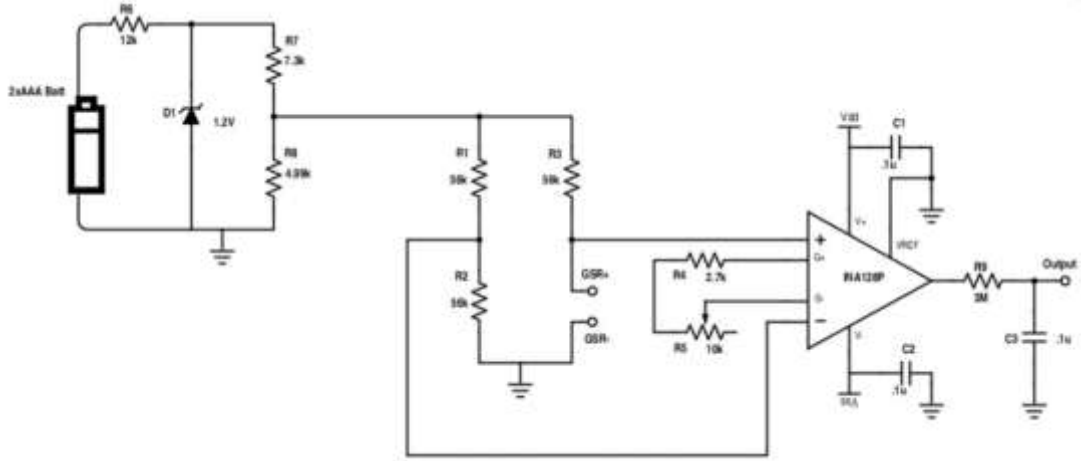


Şekil 4.15. Nefes alma hızı grafiği

Nefes alma hızının tespitinde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları hastanın göğsüne ivme, basınç veya ısı algılayıcısı gibi algılayıcılar yerleştirmektir. Bilindiği üzere insan dışardaki havayı akciğerlerine çektikten sonra dışarıya sıcak hava vermektedir. Tasarlanan mikrodenetleyicili sistemde 20 Kohm'luk negatif termistör (NTC) algılayıcısı kullanılarak hastanın nefes alıp verişindeki sıcaklık değişimi tespit edilmiştir. Bu yöntemden yola çıkarak hastanın ağzına yerleştirilen solunum algılayıcısındaki sıcaklık değişimleri zaman bağlı olarak izlenmiş ve hastanın dakikada verdiği nefes sayısı hesaplanmıştır.

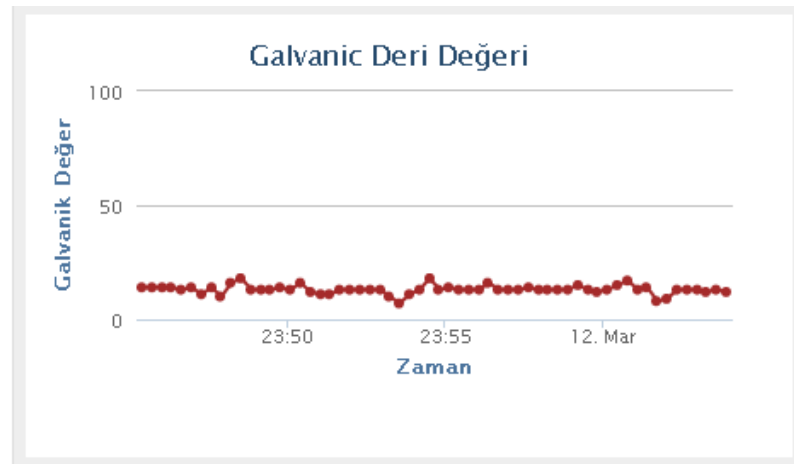
4.3.2.6. Galvanik tepki değeri

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi galvanik tepki algılayıcısı, stres, heyecan, korku gibi ani duygusal değişim altındaki kişilerin ter bezlerinin derideki elektriksel geçirgenliğini etkileme oranının tespit edilmesi esasına göre çalışır. Günümüzde kişilerin stres altında olup olmadığının anlaşılması için kullanılan sistemlerde galvanik tepki algılayıcıları kullanılmaktadır.



Şekil 4.16. Galvanik tepki algılayıcı devresi [61]

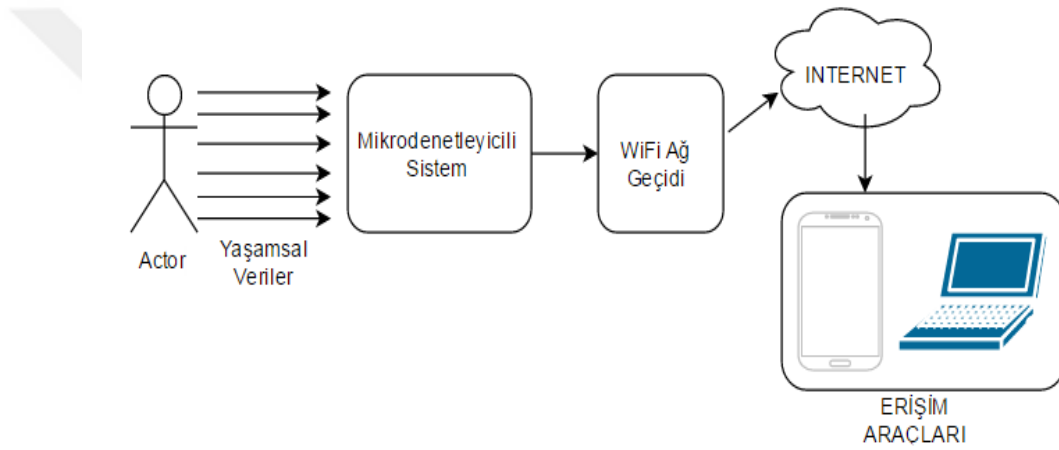
Galvanik tepki algılayıcısı çok düşük düzeydeki (20-200mV) gerilim değişimlerini tespit edebilen bir algılayıcıdır. Bu algılayıcılarda çok düşük gerilim değişimlerini tespit edebilmek amacıyla yükselteç (opamp) ve filtre devreleri kullanılır (Şekil 4.16). Günümüzde birçok üreticilere ait çeşitli donanım ve fiyatta galvanik tepki algılayıcıları bulunmaktadır. Tasarlanan sistemde oluşturulan edilen GSR algılayıcısı grafiği Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Galvanik tepki değeri grafiği

4.4. Sistemin Blok Diyagramı

Tasarlanan mikrodnetleyicili sistem hasta vücudundaki 4 adet yaşamsal veri ve 2 adet ortam verisi olmak üzere toplam 6 adet veriyi ölçerek wifi modülüne eşzamanlı olarak iletmektedir. İletilen bu veriler web üzerinde görsel arayüz halinde ilgili uzmanlara sunulmaktadır. Şekil 4.18’de sistemin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Tasarlanan sistemin blok diyagramı

4.5. Sistemin Uygulanması

Bu tez kapsamında oluşturulan mikrodnetleyicili tümleşik sistem donanımı hasta vücudundaki algılayıcılardan elde edilen verileri işleyerek internet ortamındaki bir sunucu sisteme göndermektedir. Sistemi kullanacak olan hasta, sistemdeki algılayıcıları vücudundaki doğru bölgelere yerleştirmelidir. Algılayıcıların uygun biçimde yerleştirilmesinden sonra hasta ev ortamındaki günlük aktivitelerine devam edebilecektir. Sistemin çalışmaya başlamasından sonra algılayıcılardan okunan veriler

Arduino wi-fi donanım eklentisi vasıtasıyla internet ortamına aktarılacak ve ilgili sunucudaki veri tabanında kayıt altına alınacaktır.

4.6. Sistemin Diğer Hasta İzleme Sistemleri ile Karşılaştırılması

Tasarlanmış olan hasta izleme sisteminde 4 adet hasta yaşamsal verisi ve 2 adet ortam bilgisi olmak üzere toplam 6 adet veri, tek bir mikrodenetleyicili devre üzerinden alınmış ve ağ geçidi olarak görev yapan wifi modülüne aktarılmıştır.

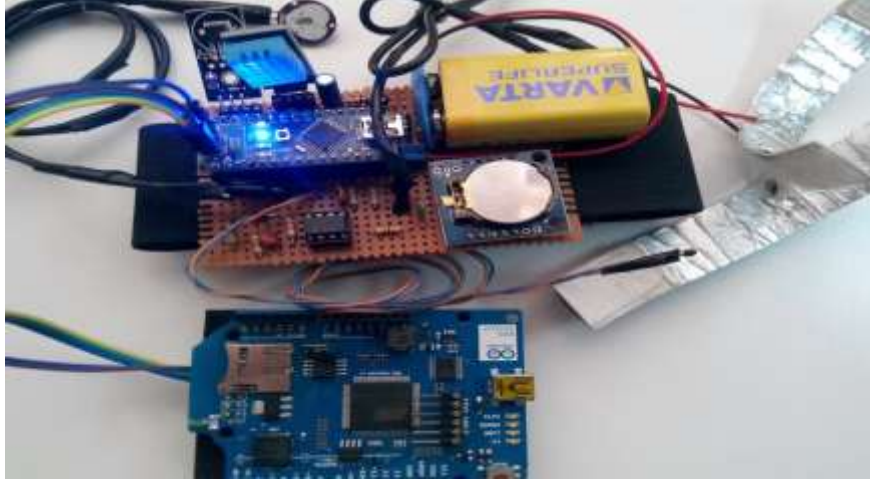
Tablo 4.4. Sistemde ölçülen değerler ve kullanılan algılayıcılar

	Ölçülen veri	Kullanılan algılayıcı
1	Ortam sıcaklığı	Dht11 sıcaklık-nem algılayıcısı
2	Ortam nemi	Dht11 sıcaklık-nem algılayıcısı
3	Vücut sıcaklığı	Ds18b20 sıcaklık algılayıcısı
4	Solunum hızı	20 K Ω Termistör
5	Nabız hızı	Sen-11574 nabız algılayıcısı
6	Galvanik deri tepkisi	GSR algılayıcısı

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında vücut ısısı, EKG ve nefes alma hızı olmak üzere çeşitli yaşamsal verilerin ölçüldüğü görülmüştür. Bunların içinde vücut ısısı, solunum hızı ve nabız sayısı olmak üzere en fazla üç adet yaşamsal verinin kullanıldığı görülmüştür [62].

Sistemin diğer bir farklılığı ise yaşamsal verilerin internet ortamına wifi modülü üzerinden aktarılmasıdır. Hastanın ev ortamında yaşadığı düşünüldüğünde, Arduino wifi ağ geçidi birimi sayesinde bluetooth gibi kablosuz teknolojilerin kapsama alanlarına göre daha geniş bir hareket alanı sağlanmıştır.

Sistemin diğer bir avantajı hasta üzerinde taşınabilecek boyutlara ve hafifliğe sahip olmasıdır. Bu yönüyle kullanım kolaylığı sağlandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.19. Tasarlanan sistemin yapısı



Şekil 4.20. Çalışan sistemin görünümü

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun giderek artması neticesinde insanların doktor ya da sağlık uzmanına ulaşma imkânları da azalmaktadır. Özellikle bakıma muhtaç olan ya da yaşamsal verilerinin sürekli izlenmesinde yarar görülen kişilerin bakım maliyetleri de yüksek düzeylerde dir. Hastaların, hastane ya da sağlık merkezine gitmelerine gerek kalmadan, sağlık alanındaki uzman kişilere ulaşması, günümüzde mobil sağlık izleme sistemleri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada tasarlanmış olan hasta izleme sistemi, son yıllarda teknolojik uygulamalarda sık sık kullanılan kablosuz ağ teknolojileri ve mikrodene tleyici teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistemler pek çok sistemle tümleşik olarak çalışabilmelerinin yanı sıra, küçük boyutlarda olduklarından dolayı giyilebilir veya taşınabilir sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Ayrıca kurulum kolaylığı ve esnek yapıda olma özelliğinden dolayı sistemin haberleşmesi 802.11.b/g/n tabanlı wi-fi kablosuz teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bilgilerin ışığında düşük maliyetli ve düşük güç tüketimli hasta izleme sistemi projesi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle daha düşük maliyetlerde kişilerin sağlık durumu izlemelerinin yapılabilirliği ortaya konulmuştur. Sistem hastane dışından hasta izlenmesine olanak sunmaktadır. Böylece hastane ve kişi açısından zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmıştır.

Literatürde ve piyasa ürünlerinde benzer çalışmalar olmasına rağmen sistem, avantajları ve kullanılan teknolojiler göze alındığında probleme daha etkili bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

İleriki çalışmalarda sisteme acil durumlarda uzman kişilerin mobil telefonlarına acil durum mesajı göndererek hastaya en kısa sürede müdahale edilmesi amaçlanabilir.

Sisteme GSM/GPRS gibi kablosuz teknolojiler entegre edilerek kişilerin hareket alanları artırılabilir. Ayrıca küresel konumlandırma sistemi (GPS) kullanılarak, olası acil durumlarda kişilerin bulundukları yer anlık olarak tespit edilebilir.

Sonuç olarak bu çalışma, hem taşınabilir bir izleme, gerektiğinde acil durum ve uyarı sistemi hem de uzman kişiler için bir danışma sistemi olarak, sağlık durumu izlenmesi gereken kişilerin yaşam kalitesini yükseltmekte ve uzman kişiler tarafından hastane dışından izlenmesine olanak sağlamaktadır.

Sistemde güç kaynağı olarak 9V'luk kare pil kullanılmıştır. Sistem bu güç kaynağı ile 4,5-5 saat çalışabilmiştir. Daha uzun çalışabilmesi ve güç kaynağının ağırlığını azaltmak için az yer kaplayan ve yüksek akım sağlayabilen lityum-ion pil kullanılabilir. Bu sayede sistemin ağırlığı da azalacaktır.

Gelecekteki çalışmalarda sistemden elde edilen veriler yapay zekâ teknikleri ile otomatik olarak yorumlanabilir ve çıkarımlar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Georgia Tech Wearable Motherboard <http://www.gtwm.gatech.edu>, Erişim Tarihi: 15.01.2016.
- [2] Smart Textile Projects, Mainland High School, <http://mainland.cctt.org/istf2009/ExistingSmartFabricProjects.asp>, Erişim Tarihi: 16.02.2016.
- [3] Infineon Technology Semiconductor Systems, resmi web sayfası <http://www.infineon.com>, Erişim Tarihi: 12.12.2015.
- [4] Chan M, Esteve D, Furniols, J, Escriba C, Campo E. Smart wearable systems: Current status and future challenges. University of Toulouse, Toulouse, France.
- [5] Robert S.H., Laxminarayan S, Pattichs C.H. M-health, Emerging Mobile Health Systems. S. 3-7. Rutgers University, New Jersey USA.
- [6] Caudel Tp, Mizell W.D. Augmented Reality: An application of heads up display technology to manual manufacturing process. Boeing computer services and computer tech. Seattle WA, USA.
- [7] Quantum 3D Expedition resmi web sayfası: http://www.quantum3d.com/solutions/immersive/expedition_di.html, Erişim Tarihi: 05.07.2015.
- [8] Personal status monitor resmi web sayfası, <https://www.wpi.edu/Images/CMS/PPL/phy-status2.pdf>, Personal status monitor, Erişim Tarihi: 16.11.2015.
- [9] IHS Electronics Media. Wearable technology market assessment, IHS whitepaper, 2014.
- [10] Park, S., Chung K., Jayaraman S. Wearables: Fundamentals, advancements and a roadmap for the future. Georgia Inst of tech. Materials Science, Atlanta USA, 2008.
- [11] Binkley P.F. Predicting the potential of wearable technology. Ohio State Univ. Columbus Oh, USA, 2006.

- [12] Kumar S. Krupinski E., Teleradiology, Springer publications. S. 1-9. Ekim 2010.
- [13] Ata, S.O., Ozkan S., Information technology in oral health care: Attitudes of dental professionals on the use of teleendustry in Turkey. European and Mediterranean Conference Information Systems, 2009.
- [14] Tübitak Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi, http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf, Erişim Tarihi: 15.12.2015
- [15] Macan J., Baryson D., Smart clothes and wearable technology. S3-10. CRC Press, NY Washington USA.
- [16] Baş, Ş., Kişisel alan ağları ve giyilebilir bilgisayarların kullanımıyla gerçekleştirilecek bir hasta izleme sistemi önerisi, Ege Üniversitesi FBE Bilgisayar Müh. Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [17] Sağlık meslek liseleri hemşirelik bölümü, yaşamsal (vital) bulgular modülü, MEB, Ankara, 2012.
- [18] Türk kardiyoloji Derneği, Ulusal Hipertansiyon tedavi takip klavuzu. http://old.tkd.org.tr/kilavuz/k03/3_18530.htm?wbnum=1103, Erişim Tarihi: 05.10.2015.
- [19] BEÜ Sağlık arş. Uyg. Merkezi HEM. EKG yöntemi ve EKG ölçümleri. <http://hastane.beun.edu.tr/v.2/wp-content/uploads/2012/10/EKG.pdf>, Erişim Tarihi: 05.12.2015.
- [20] Türk Yoğun bakım Dergisi, C.4, S.2, 2006.
- [21] Kamu hastaneleri birliği bilgilendirme merkezi yayınları, <http://www.igkh.gov.tr/yeni/userfiles/files/12SOLUNUMSAYISIALMA.pdf>, Erişim Tarihi: 16.11.2015.
- [22] Tasar B., Kaya T., Gulen A., EMG tabanlı hareketin analizi aracılığı ile robot el simülatörü kontrolü, Fırat Üniv. Elektrik Elektronik Müh. Bölümü Elazığ, Türkiye, 2011.
- [23] Massachusetts Intitute of Technology esearch laboratory press, MIT, USA. <http://www.media.mit.edu/galvactivator/faq.html>, Erişim Tarihi: 17.07.2015
- [24] Elektrik Elektronik Mühendisi Barış Samancı kişisel web sayfası: <http://www.barissamanci.net/Makale/26/accelerometer-gyroscope-imu-nedir/> Erişim Tarihi: 11.04.2014.

- [25] Vivometrics LifeShirt properties
<http://www.virtualworldlets.net/Shop/ProductsDisplay/HardwarePFV.php?ID=49>, Erişim Tarihi: 16.02.2016.
- [26] Rashvand H.F., High frequency radio systems and techniques, Ninth International Conference, Magdeburg, Germany, 2003.
- [27] Alemdar H., Ersoy C., Wireless sensor networks for healthcare, Bogazici Universitesi Bilgisayar Muhendisligi, 2010.
- [28] Coyle S., Curto F., Lopez F., Wearable bio and chemical sensors, university of Dublin, Ireland, 2013.
- [29] Microsoft Asp.Net resmi web sayfası, [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/bb153250\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/bb153250(v=vs.85).aspx), Erişim Tarihi: 09.09.2015.
- [30] Soylu E., Karabuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi ders notları, <http://web.karabuk.edu.tr/emelkocak/indir/MTM406/Ağ%20topolojileri%20ve%20TCP-IP%20protokolü.pdf>, Erişim Tarihi: 03.07.2015.
- [31] <http://www.cozumpark.com/blogs/network/archive/2008/04/29/temel-ag-topolojileri.aspx>, Erişim Tarihi: 13.03.2015.
- [32] Teknolog web mühendislik, bilgi paylaşım sitesi, <http://www.teknologweb.com/ag-topolojileri-nedir>, Erişim Tarihi: 16.06.2015.
- [33] Cölkesen R., Bilgisayar haberleşmesi ve ağ teknolojileri, S.36-40, Papatya yayıncılık, 2008.
- [34] Güler M., Giyilebilir algılayıcılar ile yaşamsal verilerin ölçülmesi ve görüntülenmesi, ITU FBE makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [35] Animas Corporation şirketi resmi web sayfası, <https://www.animascorp.co.uk/insulin-pumps/vibe-insulin-pump>, Erişim Tarihi: 13.09.2015.
- [36] Kardiyovasküler risk faktörlerinin ülkemizdeki durumu, Türk kardioloji derneği web sitesi http://www.tkd-online.org/dergi/TKDA_39_80_1_5.pdf, Erişim Tarihi: 19.09.2015.
- [37] Trohman RG, Kim MH, Pinski SL., 2004, Cardiac pacing: the state of the art, Lancet, 364(9446):S.1701-1719, 2004.
- [38] Shao Z, Haile SM, Ahn J, Ronney PD, Zhan Z, Barnett SA, A thermally selfsustained micro solid-oxide fuel-cell stack with high power density, 2005.

- [39] Soukharev V, Mano N, Heller A., A four-electron O(2) electroreduction biocatalyst superior to platinum and a biofuel cell operating at 0.88, V. Journal of the American Chemistry Society,2004.
- [40] Zhou L, Hass ZJ., Securing ad hoc networks, IEEE Network Magazine, S.13,1999.
- [41] Guyomar D, Badel A, Lefeuvre E, Richard C., Toward energy harvesting using active materials and conversion improvement by nonlinear processing, EEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control,2005.
- [42] B. P. Crow ; Mitre Corp., USA ; I. Widjaja ; L. G. Kim ; P. T. Sakai,Wireless Local Area Networks, IEEE Communications magazine V:35,Issue:9 S:116-126,1997.
- [43] Ganesan D, Govindan R, Shenker S, Estrin D., Highly-resilient, energy efficient multipath routing in wireless sensor networks, Mobile Computing and Communication Review, 1(2):28-S.36,2002.
- [44] Charles E., AD Hoc Networking, S.40-49,2008.
- [45] Thomas, T.M., 2004, Network Security First-Step, Chapter 8, Cisco Pres, 2004.
- [46] Kammer D., McNutt G.,Bluetooth application developer's guide,syngress,C:1 S.5,2009.
- [47] Delebe E., Arduino, Dikeyksen yayınları, S.309,2014.
- [48] Pieterse H., Olivier M., Bluetooth and control channel,Defence and security unit Industrial research,Pretoria,South Africa,2014.
- [49] Kammer D., McNutt G.,Bluetooth application developer's guide,syngress,C:1 S.17-21,2009.
- [50] Delebe E., Arduino, Dikeyksen yayınları, S.311, 2014.
- [51] Wang H., Overview of bluetooth technology,Dept. Of Electrical Engineering, State College,PA,USA, 2001.
- [52] Arduino resmi web sayfası <http://www.arduino.cc/en/Main/Products>, Erişim Tarihi: 12.11.2015.
- [53] Arduino nano manual datasheet, <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>, Erişim Tarihi: 19.09.2015.

- [54] Arduino Nano mikro denetleyici resmi web sitesi
<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>, Erişim Tarihi: 13.11.2015.
- [55] Arduino Uno mikro denetleyici remi web sayfası,
<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, Erişim Tarihi: 15.11.2015.
- [56] Arduino Wi-fi eklentisi remi web sayfası,
<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoWiFiShield101>, Erişim Tarihi: 16.8.2015.
- [57] Teknolog web mühendislik, bilgi paylaşım sitesi,
<http://www.teknologweb.com/asp-net-nedir-ne-ise-yarar>, Erişim Tarihi: 23.10.2015.
- [58] DHT11 dijital sıcaklık algılayıcısı datasheet,
<http://www.espruino.com/DHT11>, Erişim Tarihi: 11.01.2015.
- [59] DS18B20 dijital sıcaklık algılayıcısı, <http://www.mcu-turkey.com/msp430-uyg-34/>, Erişim Tarihi: 18.08.2015.
- [60] Bhagwat P., IEEE Internet computing, V:5 Issue3, 2002.
- [61] Galvanic Skin Response Sensor,
<http://tattooevents.blogspot.com.tr/2009/12/galvanic-skin-response.html>,
Erişim Tarihi: 16.08.2015.
- [62] Güler M., Giyilebilir algılayıcılar ile yaşamsal verilerin ölçülmesi ve görüntülenmesi, ITU FBE makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Manisa’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Manisa’da tamamladı. Lisans eğitimini Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Bölümü’nde tamamladı. Halen Milli Eğitim Bakanlığı’na bağlı Manisa Yunusemre Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’nde bilişim teknolojileri alanı öğretmeni olarak görevini sürdürmektedir.