

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANDROID TABANLI AKILLI SAATLER İÇİN
DİYABET UYGULAMASI

ÖMER PEKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2018

Tezin Başlığı : **Android Tabanlı Akıllı Saatler için Diyabet**

Uygulaması

Tezi Hazırlayan : **Ömer Pektaş**

Sınav Tarihi : **22.06.2018**

Yukarıda adı geçen tez, jürimizce değerlendirilerek Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Murat KÖSEOĞLU** _____
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. M. Emin TAĞLUK _____
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Fevzi HANSU _____
Siirt Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Android Tabanlı Akıllı Saatler için Diyabet Uygulaması” başlıklı bu çalışmada, kullandığım tüm kaynakları metin içerisinde ve kaynaklar bölümünde kurallara uygun şekilde gösterilenlerden oluştuğunu ve bilimsel ahlak ve geleneklere ters düşecek bir yardım almaksızın tarafımdan yazıldığını belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ömer PEKTAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANDROID TABANLI AKILLI SAATLER İÇİN DİYABET UYGULAMASI

Ömer PEKTAŞ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

IX + 80 Sayfa

2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat KÖSEOĞLU

Kronik hastalıklar gün geçtikçe insanların hayatını kısıtlayarak yaşam kalitelerini düşürmekte olup, sebep oldukları komplikasyonlar ile de hayati tehlikelere neden olmaktadır. Bu kronik hastalıklardan biri diyabet hastalığıdır.

Diyabet hastalığı, kandaki şeker düzeyini dengeleyen insülin hormonunun; eksikliği ve/veya yeterince salgılanmasına rağmen vücutta kullanılamaması sonucu oluşan kronik metabolizma rahatsızlığıdır. Bu hastalığın takibi önemli olup yetersiz kontrol veya takip durumlarında hayati komplikasyonlara neden olabilmektedir. Bu nedenle hastaların kendi sağlık durumlarını sürekli bir izleme sistemiyle takip etmeleri çok önemlidir. Bu tip hastalıkların daha rahat kontrol altına alınabilmesi için giyilebilir teknolojiler kullanılarak elektronik sağlık (e-sağlık) alanında birçok proje ve uygulama geliştirilmektedir.

Bu çalışmada diyabet hastalığının durum takibini yapan, aynı zamanda fiziksel aktivite ve kalp ritim verilerinin de gösterimini sağlayan Android tabanlı akıllı saatler için bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamanın geliştirme çalışmaları Norwegian Centre for e-Health Research isimli araştırma merkezinin katkıları ile Tromsø/Norveç'te yapılmıştır. Ayrıca uygulama, aynı merkez tarafından geliştirilen "Diabetes Diary" isimli Android telefon uygulaması ile eşzamanlı olarak çalışmakta olup, uygulamanın Android akıllı saat versiyonudur.

ANAHTAR KELİMELER: Giyilebilir teknolojiler, akıllı saat, diyabet, e-Sağlık, Android.

ABSTRACT

MSc Thesis

DIABETES APPLICATION FOR ANDROID BASED SMART WATCHES

Ömer PEKTAŞ

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

IX + 80 Pages

2018

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Murat KÖSEOĞLU

Chronic diseases restrict the life of the people day by day and reduce the quality of life, also these diseases can cause life threatening events due to the complications. One of these chronic diseases is diabetes mellitus.

Diabetes is a chronic metabolisma disease resulting from the lack of insulin hormone or being of no use despite the sufficient secretion of insulin hormone which regulates the glucose level in the blood. The monitoring of the disease is very important, and it can cause life threatening complications in the case of insufficient control or monitoring. Therefore, it is of vital importance to follow up own medical conditions for the patients via a continuous monitoring system. In order to get this type of diseases under control, several projects and applications have been developed by the use of wearable technologies in the field of Electronic Health (e-Health).

In this study, an application was developed for Android based smart watches which have the capacity of monitoring the state of diabetes mellitus and indicating the data concerning the physical activities and cardiac rhythm. The development process of the application was achieved in collaboration with Norwegian Centre for e-Health Research in Tromsø/Norway. Also, the application operates simultaneously with an Android phone application called as Diabetes Diary, which is developed by this Research Center, and it is the smart watch version of mentioned application.

KEYWORDS: Wearable technologies, smart watch, diabetes, e-Health, Android.

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sırasında bilgisinden ve tecrubesinden yararlandığım değerli tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat KÖSEOĞLU'na;

Bu alıŐma sırasında, bana desteklerini esirgemeyen Norwegian Centre for e-Health Research isimli araştırma merkezinde görevli Prof. Dr. Eirik Årsand ve yazılım geliŐtirici Miroslav Muzny'e;

Desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaŐlarıma

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	i
ONUR SÖZÜ	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Bireysel Ölçüm.....	3
2.2. Giyilebilir Teknoloji.....	4
2.2.1. Akıllı saat teknolojisi	6
2.2.2. Giyilebilir sensörler.....	7
2.3. Enzim bazlı glikoz sensörleri	13
2.3.1. Amperometrik biyosensörler.....	15
2.4. Elektronik Sağlık (e-Sağlık).....	20
2.5. Kronik Hastalıklar	21
2.6. Diyabet	21
2.6.1. Diyabetin tipleri	22
2.6.2. Tip 1 diyabette kendi kendine izlem	23
2.6.3. Oluşabilecek komplikasyonlar	24
2.6.4. Diyabet istatistikleri	24
2.6.5. Diyabetin akıllı sistemlerle takip edilme yöntemleri	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller	29
3.1.1. Android akıllı telefon	29
3.1.2. Android akıllı saat.....	30
3.1.3. Dexcom G4 Platinum sensör.....	32
3.1.4. xDrip/Nightscout modülü.....	36
3.2. Yöntem.....	38

3.2.1. Android Studio	41
3.2.2. GIMP-GNU görüntü manipülasyon programı	44
3.2.3. Nightscout Server	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	47
4.1. Uygulama Sayfaları.....	47
4.1.1. Glikoz sayfası.....	47
4.1.2. İnsülin sayfası.....	48
4.1.3. Karbonhidrat sayfası	49
4.1.4. Fiziksel aktivite sayfası	49
4.1.5. Kalp ritmi sayfası	51
4.1.6. Veri girme sayfası	55
4.2. Uygulama için Tasarlanan Akıllı Saat Ara Yüzü (Watch Face)	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
6. KAYNAKLAR	61
7. EKLER.....	68
Ek 1. Telefon Tarafında Veri Alış Verişini Sağlayan Program	68
Ek 2. Akıllı Saatte Glikoz Verisi Transferi ve Gösterimi	73
Ek 3. Kullanılan DEXCOM G4 Ölçüm Sistemine Ait Teknik Bilgiler.....	77
Ek 4. Huawei Smart Watch 2'ye Ait Teknik Bilgiler	78
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Giyilebilir teknoloji kullanılarak elde edilen veriler.....	4
Şekil 2.2.	Giyilebilir teknoloji çeşitlerinin kullanım oranları.....	5
Şekil 2.3.	Giyilebilir bir bilek bandına entegre edilen ve terden glikoz ölçen esnek sensör.....	10
Şekil 2.4.	Diş minesine yerleştirilen ve tükürükten non-invaziv yöntemle sürekli glikoz ölçümü sağlayan entegre verici içeren dönüştürücü.....	10
Şekil 2.5.	Google ve Novartis tarafından geliştirilen akıllı kontak lens.....	11
Şekil 2.6.	Doğrudan kandan glikoz ölçme yöntemiyle elektrokimyasal non-invaziv sürekli glikoz ölçüm yönteminin karşılaştırılması.....	12
Şekil 2.7.	Biyosensör yapısının şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.8.	Oksijen elektrot ve hidrojen peroksit reaksiyonları gösterimi.....	16
Şekil 2.9.	Platin tel dönüştürücü yapısı.....	17
Şekil 2.10.	CGM glikoz ölçüm sensörünün içyapısı.....	18
Şekil 2.11.	Diabetes Diary Pebble versiyonu.....	26
Şekil 2.12.	Apple akıllı saatler için Dexcom uygulaması.....	27
Şekil 2.13.	Diabetes:M Android Wear uygulaması.....	27
Şekil 2.14.	Balansio Android Wear uygulaması.....	28
Şekil 3.1.	Diabetes Diary uygulaması.....	30
Şekil 3.2.	Huawei Watch 2.....	31
Şekil 3.3.	Dexcom G4 Platinum ölçüm seti.....	32
Şekil 3.4.	Dexcom G4 Platinum sensör aplikatörü.....	33
Şekil 3.5.	Dexcom G4 Platinum sensör.....	34
Şekil 3.6.	Dexcom G4 verici.....	34
Şekil 3.7.	Dexcom G4 alıcı.....	35
Şekil 3.8.	Freestyle Libre sensörleri ve NFC alıcı.....	36
Şekil 3.9.	xDrip köprü modülü.....	37
Şekil 3.10.	HM-10 BLE modülü ile xDrip devre şeması.....	38
Şekil 3.11.	Ölçüm sisteminin çalışma diyagramı.....	39
Şekil 3.12.	a) Kişisel glikoz takip sistemi için akış diyagramı; b) Ailelerin diyabet hastası olan çocuklarını takip etmeleri için kullanılan sisteme ait akış diyagramı.....	40
Şekil 3.13.	Google Api Client çalışma diyagramı.....	43
Şekil 3.14.	Nightscout sunucusu üzerinden CGM verisi alma yolları.....	46
Şekil 3.15.	Nightscout CGM gösterimi.....	46
Şekil 4.1.	(a-c) Glikoz sayfası arka planları.....	48
Şekil 4.2.	İnsülin Sayfası.....	48
Şekil 4.3.	Karbonhidrat sayfası.....	49
Şekil 4.4.	Fiziksel aktivite sayfası.....	50
Şekil 4.5.	Kalp ritmi sayfası.....	51
Şekil 4.6.	Kullanılan saat içerisinde yer alan PPG ritim sensörü.....	53
Şekil 4.7.	Veri girme sayfası.....	55
Şekil 4.8.	Diabetes Diary Watch Face1.....	56
Şekil 4.9.	Diabetes Diary Watch Face2.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. CGM sensör üreten firmaların sensör sistemlerinin doğruluk yüzdeleri.....	19
Çizelge 2.2. Sağlıklı ve diyabetli hastalara ait farklı fizyolojik sıvılardan ölçülen tokluk kan şekeri ve pH değerleri	20
Çizelge 2.3. Tip 1 ve Tip 2 Diyabet arasındaki temel farklar.....	22
Çizelge 2.4. Uluslar arası Diyabet Federasyonu (IDF) Diyabet Atlası Küresel Tahminleri, 2015 – 2040.....	25
Çizelge 2.5. Akıllı saatler için geliştirilmiş bazı diyabet uygulamaları ve tez çalışmasında geliştirilen uygulamanın özellikleri bakımından karşılaştırılması.....	58

1. GİRİŞ

Son Son yıllarda “akıllı” kelimesini birçok teknolojinin; telefon, saat, ev aletleri, müzik çalar, vb. gibi cihazların önünde görmek mümkündür. Bu kelime, cihazların internete bağlanabildiğini göstermektedir. Akıllı olmayan modellerin kullanılmadığı bu dönemlerde, sağlık sektöründe insanların artan gereksinimleri, tıptaki gelişmeler, medikal ölçüm ve teşhis teknolojileri de kendisini güncellemektedir. Bu gelişmelere yönelik yeni akıllı teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlar arasından genel olarak en yaygın biçimde akıllı telefon ve saat uygulamaları kullanılmaktadır. Akıllı cihazların bu alanda kullanılmasının nedeni, sağlayacağı zaman tasarrufunun yanında iyileşme ve kontrol zaman aralığının da daha sağlıklı yapılmasına yol açmasıdır [1,2].

Günümüzde akıllı saat teknolojisi elektronik sağlığın birçok alanında kullanılmakta olup, kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Günlük takip yapılması gereken kronik hastalıklar, bu alanlardan birini oluşturmaktadır.

Günlük takip gerektiren pek çok hastalık mevcut olmakla birlikte, diyabet hastalığı günlük takip gerektiren hastalıkların en önemlilerinden biridir. Burada asıl amaç, diyabet durum takibi için oluşturulacak uygulama tarafından hastalık durumuna göre hastanın günlük gereksinimlerinin belirlenerek, hastanın durumunun telefon üzerinden sürekli olarak takip edilebilmesidir. Bu takip işlemi, hastadan herhangi bir kan alma işlemine gerek duyulmadan ve hastada hiçbir fiziki zarara veya ağrıya neden olmadan kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için farklı tipte haberleşebilen akıllı diyabetik sensörler geliştirilmiş olup, bu sensörler hastanın vücudunda sabit bir yere yapıştırılmakta ve belirli periyotlarla akıllı cihazlarla iletişime geçmektedir. Sensörden gelen verilerin ne ifade ettiği, nasıl işleneceği ve kullanıcıya nasıl yansıtılacağı konusunda akıllı telefon modelleri üzerinde kullanılmak üzere çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Aynı zamanda Pebble, Android ve Apple markalı akıllı saat modelleri için de benzer diyabet hastalığı takip uygulamaları, diyabet hastalığına yönelik sensör üreten firmalarla koordineli olarak geliştirilmiştir [3-5].

Bu çalışmada, Android Wear akıllı saatleri için bir diyabet uygulaması tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Kullanıcı saat üzerinden buton, ses, dokunma veya hareket gibi farklı fonksiyonlar ile tercihinine göre gerekli kontrolü sağlayabilecektir. Ayrıca günlük alınması gereken şeker oranı, insülin oranı ve

yapılması gereken fiziksel aktivite değerleri kullanıcı tarafından girilebilecek, böylece kullanıcı gerçek değerleri ile karşılaştırarak durum takibini daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilecektir. Aynı zamanda uygulama, anlık kalp ritmini de ölçerek kişinin kalp ritim takibini yapabilmesini sağlayacaktır. Kalp ritim ve fiziksel aktivite değerleri saatin sahip olduğu interaktif sensörler tarafından alınacaktır.

Projenin temel amacı, geliştirilmiş bir akıllı telefon uygulaması ile birlikte giyilebilir uygun bir akıllı elektronik cihazın birlikte çalışabilirliğini ve uyumluluğunu araştırmak ve diyabetin özyönetiminde bu tür sistemlerin kullanılabilirliğini ve performansını incelemektir. Bunun dışında ikincil amaç, diyabet durumu için daha iyi bir kontrol mekanizması geliştirerek, elde edilen verilerin sürekli kaydedilmesini, gerektiğinde kullanıcı tarafından belirlenebilecek belirli periyotlarla bir uzman doktora iletilmesini sağlamak ve böylece hastanın sürekli izlenebilirliğini mümkün kılmaktır. Böyle bir uygulama, diyabet hastalığında bir sonraki seviyelerde ortaya çıkma ihtimali yüksek komplikasyonları erkenden belirlemeye yardımcı olmakla birlikte, önleyici hekimlik açısından da hayati bir öneme sahip olacaktır. Ayrıca uygulama, diyabet hastalarının yaşam konforunu arttırmanın yanı sıra hastalığın sürekli takibi nedeniyle de tedavi masraflarında önemli derecede tasarruf sağlayacaktır. Buna benzer uygulamalar yurt dışında yaygın olup, ülkemiz sensör, akıllı saat, yazılım dahil sistemin tamamını dışarıdan ithal ettiği için ülkemiz şartlarına göre yeterince ekonomik değildir. Ancak uygulama ve yazılım kısmı ülkemizde yapıldığı takdirde maliyetin daha ekonomik olabileceği düşünülmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Bireysel Ölçüm

Gelişmiş ülkeler günümüzde hastaların ihtiyaç duydukları yerlerde tedavi edilmesini istemişlerdir. Bunun en önemli nedenlerinden biri, hastaların geniş zaman aralıklarında izlenme ihtiyacının ortaya çıkmasıdır. Böylece ilk olarak sağlık hizmetlerinin hastane dışına genişletilmesine başlanmıştır. Hayat kalitesini artıran teknoloji, tıp uygulamaları ve sağlık hizmetlerinin gelişiminde önemli derecede rol almaktadır. İnsan hayatının kalitesini artırma ve insanlara gelecek zararı azaltmada yer alacak her teknoloji çok önemli olup, paha biçilemez olarak değerlendirilebilir.

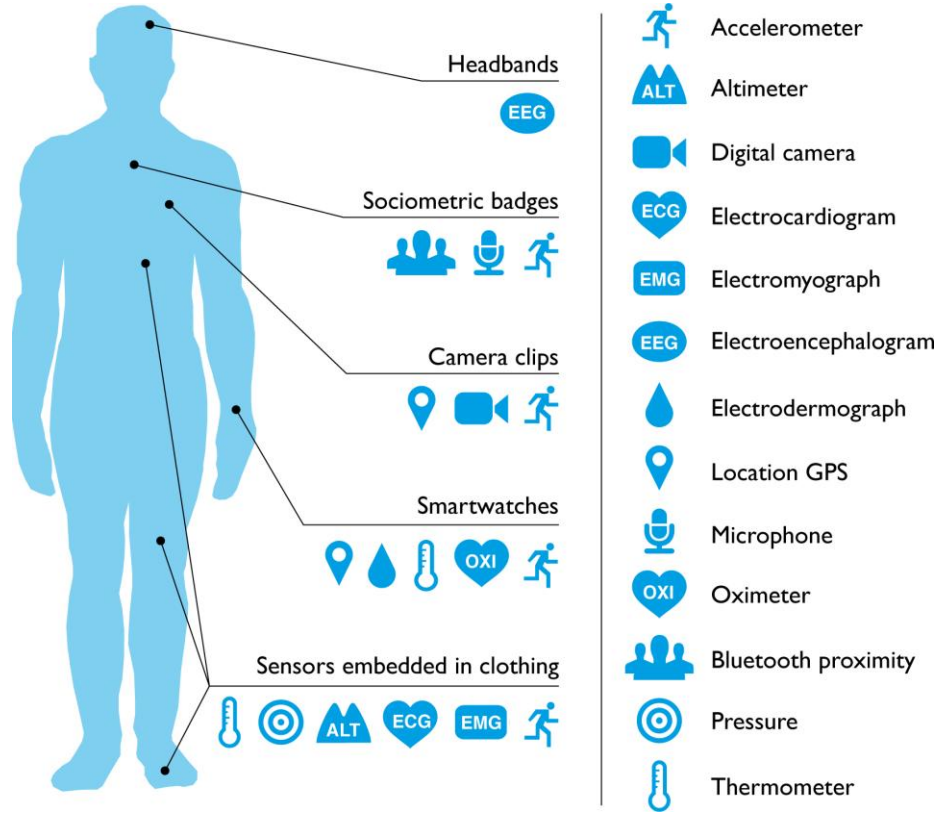
Sağlık hizmetlerinde kullanılan teknoloji, son yıllarda yaşam tarzını geliştirme, sağlık durum takibi ve yaşam kalitesine artırma üzerinedir. İnsanların bu konuda daha iyi sonuç alma beklentileri günde güne artmaktadır. Böylece artık hasta olduktan sonra iyileşmek için bu teknolojileri kullanmak yerine, hasta olmak istemiyorum düşüncesi ile hastalık komplikasyonlarının ilerlememesi için kullanmak istemektedirler.

Bireysel ölçüm, bireylerin sahip oldukları hastalıklara bağlı olarak biyolojik olarak, fiziksel veya davranışsal olarak kendi kendilerini izlemesi, hastalık durumunu yaptığı ölçümler ile takip etmesidir. Bireysel ölçüm uygulamaları ise bireylerin sağlık durumları ile ilgili ölçümler gerçekleştirerek, hastalık durumlarını gerçek zamanlı, anlık olarak takip edebilmelerini sağlayan ve böylece bireylerin sağlık durumlarının kontrol altına alınabilmesine yardımcı olması nedeniyle geliştirilen akımlardır. Bu uygulamalar, adım sayısı, uyku süresi, stres durumu gibi yaşam öğeleri ile kan şekeri, tansiyon, kalp fonksiyonu ve kandaki oksijen seviyesi gibi sağlık parametrelerini de kayıt altına alarak, izlenebilmesine olanak sağlamaktadırlar [6,7].

Bireysel ölçüm uygulamaları, verilerin takibini sağlarken, sahip oldukları görsel arayüzler, uyarı mesajları ve eylemi oyuna dönüştürerek her iyi durumda puan kazandırma yöntemleri ile insanları motive ederek, tedavi sürecinde hastayı olumlu davranışa sevk edilmesinde önemli derecede rol oynayabilmektedir. Bu uygulamalar, yazılım uygulamaları ve giyilebilir teknolojiler (sensörler, cihazlar, vb.) gibi araçların yardımıyla tasarlanıp geliştirilmektedir [8,9].

2.2. Giyilebilir Teknoloji

Giyilebilir teknolojilerin ilerlemesinin önündeki engellerden biri sağlık yönetmelikleridir. Bu yönetmeliklerden dolayı bazı kısıtlamalar ortaya çıkmaktadır. Bu yönetmelikler, sağlık endüstrisi adı altında yönetmeliklere uyum sağlama ve uygulama alanında kapsamlı olduğu için, sağlık hizmetlerindeki hızı azaltabilmektedirler. Fakat endüstri 4.0'ın gelmesi ile bu hız artmış olup, kalite de gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. Sağlanan bu üretim modeli ile kişiye, sağlamlık, kişisel bakım ve kendi kendini düzenleme gibi özellikler sunulmaktadır. Böylece üretilen, bir başka ifade ile hasta ihtiyaçları için geliştirilen bu teknolojiler veya cihazlar hem yüksek verimli olup hem de daha ekonomik hale gelmektedir [11]. Endüstri 4.0 ile sağlık endüstrisindeki ortaya çıkan yeni teknolojilerden bir tanesi de giyilebilir teknolojidir.

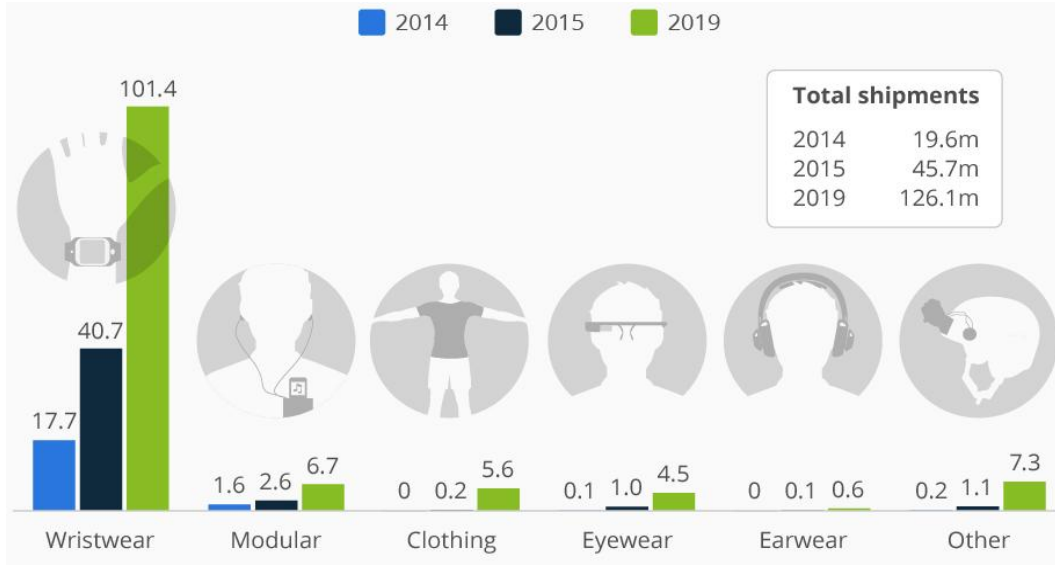


Şekil 2.1. Giyilebilir teknoloji kullanılarak elde edilen veriler [10]

Giyilebilir teknolojilerin kullanımı, diğer alanların yanı sıra, sağlık alanında da gittikçe artan bir hızla yaygınlaşmaya devam etmektedir. Doğrudan insan yaşamını etkileyebilecek pek çok biyolojik sinyal ve biyo-işaretçi bu teknoloji

sayesinde kolaylıkla kullanıcıya ve uzmanlara iletilebilmekte, bu da pek çok anomalinin veya hastalığın tanısının başlangıç aşamasında konmasını sağlayabilmektedir. Giyilebilir teknoloji kullanılarak elde edilen verilerden bazıları Şekil 2.1’de gösterilmiştir [10].

Giyilebilir teknoloji; alıcılar veya diğer teknolojileri barındıran takı, gözlük, kıyafet gibi giyilen, takılan veya kişinin herhangi bir şekilde beraberinde taşıdığı çeşitli araçları içermektedir. Giyilebilir teknolojilerin arasında en çok kullanılanları gösteren istatistiki bir çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 2.2’de sunulmuştur [12].



Şekil 2.2. Giyilebilir teknoloji çeşitlerinin kullanım oranları [12]

Giyilebilir teknolojiler çeşitli kaynaklarda farklı şekilde ifade edilmektedir. Önceki bir çalışmada, bu teknolojiler için kişisel sağlık hizmeti araçları ifadesi kullanılmış ve “hasta bireyleri ev ve yakın çevrelerinde destekleyen akıllı, giyilebilir araçlar” olarak tanımlamıştır [13]. Ayrıca “giyilebilir sağlık sistemleri” ve “akıllı biyomedikal giysi” gibi tanımlamar literatürde mevcuttur [2,14,15]. Bireylerin sağlık durumları hakkında fikir sahibi olmalarını sağlayacak giyilebilir bireysel ölçüm sistemleri, gelişen teknolojiye paralel olarak, kullanım kolaylığı, hassas ölçüm yeteneği, kolay taşınabilir olması ve bazı türlerinin doğrudan bilgi paylaşımına elverişli olması nedeniyle günümüzde çok yaygın şekilde kullanılmakta olup, tanıya yönelik klasik sağlık verilerin ölçümünün yanı sıra

kullanıcıya kişisel beslenme, spor, vb. alanlarla ilgili gündelik veriler sunarak yaşam kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Verilerin kaydedilmesi ve kullanıcının yaşam şeklinin giyilebilir teknoloji yardımıyla belirlenebilmesi, karşılaşılabilecek hastalıkların teşhisi ve tedavisi açısından hastayı takip etmede önemli derecede katkıda bulunacaktır. Nitekim yapılan çalışmalarda, giyilebilir akıllı teknolojilerin, hastalara kendi sağlıklarını kontrol etme imkânı sunmak, tedavi sürecini iyileştirmek, maliyetleri düşürmek, sağlık kurumlarına, hastalara ve konuyla ilgili üçüncü kişilere gerçek zamanlı tanı ve tedaviye yönelik önemli veriler sağladığı belirtilmiştir [2,16,17].

Akıllı telefon pazarındaki büyük oyuncular tarafından çeşitli giyilebilir platformlar (Android Wear, Apple WatchOS) oluşturulmuş olup yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yeni platformların kullanılması çeşitli avantajları beraberinde getirmektedir. Bu avantajlar; kullanıcının kendi kişisel ihtiyaçlarına göre seçebileceği cihaz yelpazesinin geniş olması, üreticilerin çeşitliliği ve kablosuz protokollerin (Bluetooth, Wi-Fi) sayesinde çeşitli sensörlerin entegrasyonuna olanak tanınmasıdır. Yazılım ve donanımdaki güncellemeler, gelişmiş fonksiyonların ve kullanıcı ara yüzlerinin uygulanmasına izin vermektedir [2,9,13]. Giyilebilir sağlık cihazları marketi son on yılda en hızlı büyüyen marketlerden biridir. Veri güvenliği ve gizlilik bu büyümenin önünde en büyük engellerden biri olup geliştiriciler için zorluk çıkarmaya devam etmektedir [18,19]. Fakat endüstri standartları ve hükümetlerin bu konudaki istekli duruşu ölçüm ve kontrol prosedürlerini biraz olsun kolaylaştırmaktadır. Bu alana yönelik olarak devam eden birçok araştırma projesi mevcuttur ve yakın gelecekte giyilebilir cihazlar için yeni kullanım alanları ortaya çıkacaktır [20].

Giyilebilir teknolojilerde, özellikle mühendislik ve tıp alanlarında ortaya çıkan disiplinler arası yeniliklerin ve ilerlemelerin en önemli nedenleri, verilerin takibi sayesinde hastalıkların tanı ve tedavisi konusunda öngörülen ilerleme ve hastanın günlük yaşam standartlarındaki pozitif ivmelenmedir.

2.2.1. Akıllı saat teknolojisi

Akıllı saatler, içlerinde bir işlemci ve bilgisayar devresi barındıran cihazlardır. Akıllı telefon ile entegre edildiğinde, telefonun yaptığı işlemleri yapabilirler. Akıllı saatler, telefon ile entegre edilmeden de kullanılabilirler.

Fakat bu durumda bütün özelliklerden faydalanılamamaktadır. Sadece normal bir dokunmatik ara yüze sahip bir saat olarak kullanım sunmaktadırlar. Bu saatler ile mesaj alınıp yollanabilir, sosyal ağlara girilebilir, fotoğraf çekilebilir ve üzerindeki dâhili hoparlör sayesinde uzaktan konuşma yapılabilmektedir. Akıllı saat ile ses kaydedilebilir ve müzik dinlenebilmektedir. Elektronik posta alınıp yollanabilir, ajanda ve takvim özelliğinden faydalanılabilmektedir. Tabi tüm bunların yanında ayrıca saat özelliği de vardır. Bunlara ek olarak saat, sahip olduğu ek sensörlere bağlı olarak çok daha farklı alanlarda kullanılabilir. Bu sensörlere adım sayar, nabız ölçer, ateş ölçer, mesafe ölçer vb. sensörler örnek olarak gösterilebilir [9,15,16,21].

Akıllı saatlerin tıbbi uygulamalarına yönelik olarak pek çok çalışma yapılmıştır. Kanada'daki Calgary Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, klinik olarak kolay olmayan, Parkinson hastalığından kaynaklı vücutun duruş şekline bağlı olan tekrarlı titremeyi, doğal titremeden ayırt etmek ve titremeleri sınıflandırmak amacıyla ivme ölçer sensörü içeren akıllı saatler kullanılmıştır. Çalışma 41 hasta üzerinde gerçekleştirmiş olup, sonuç olarak kullanılan akıllı saatin parkinson hastalığına bağlı olarak gelişen titreme için doğru ve tanısız geçerli bilgi sağlayabildiği kanıtlanmıştır [22].

2.2.2. Giyilebilir sensörler

Farklı donanım ve kullanım yöntemlerine göre sınıflandırılan giyilebilir teknolojilerin ortak özellikleri arasında yüksek kapasitede kablosuz iletişim yapabilme ve dâhili ölçüm yapan sensörleri barındırma yer almaktadır. Çok farklı sayıda ve formda sensörlerin giyilebilir teknolojiler içerisinde kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, yapılan araştırmalar içerisinde en sıklıkla kullanılanların; EKG, hareket ölçer, glikoz ölçer, vücut sıcaklığı, kan basıncı, oksijen saturasyonu ve ivmeölçer olduğu görülmektedir [23,24].

Yapılan çalışmalarda özellikle yaşlı hastalar için büyük öneme sahip olan elektrokardiyogram (EKG), tansiyon ve vücut sıcaklığı gibi hayati işaretlerin hastanın hareketine bağlı olarak izlenmesine ve kayıt altına alınmasına yönelik bir ivmeölçer ölçer ile eş zamanlı çalışan çeşitli giyilebilir sensörler geliştirilmiştir. Bozuk sinyallerin elimine edilmesinde ve daha düzgün veriler sunmak amacıyla sensör füzyon yöntemi kullanılmıştır [25].

Çeşitli işlemlere olanak tanıyan farklı tipte sensörler yerleştirilen akıllı saatler, belirli nesnelere RFID teknolojisi ile tanınması, eylemsiz sensörleri kullanarak ön kolun hareketlerini tanınması ve bilekteki tendonların uyguladığı gücü algılayarak parmak hareketlerinin, el hareketlerinin ve kavrayışlarının tanınması gibi tıbbi uygulamalarda kullanılabilir. Böylece, doktorlar için bilekteki güç sensörleri ile el ve parmak hareketleri hakkında çok önemli bilgiler sunulmaktadır. Bu amaca yönelik olarak tasarlanan akıllı saat, bilek kırılması, incinmesi, vb. gibi bilek hareketini kısıtlayan rahatsızlıklara yönelik olarak kullanılmış ve yarar sağladığı gösterilmiştir [26].

Bir çalışmada, insanlar için çeşitli akıllı giyilebilir sensörlerden gelen verileri esas alarak hareket ve yürüme analizi gerçekleştirilebilen bir uygulama geliştirilmiş, toplanan verilerden bir veri kümesi oluşturularak açık erişimli bir platformda verilerin paylaşımı gerçekleştirilmiştir [27].

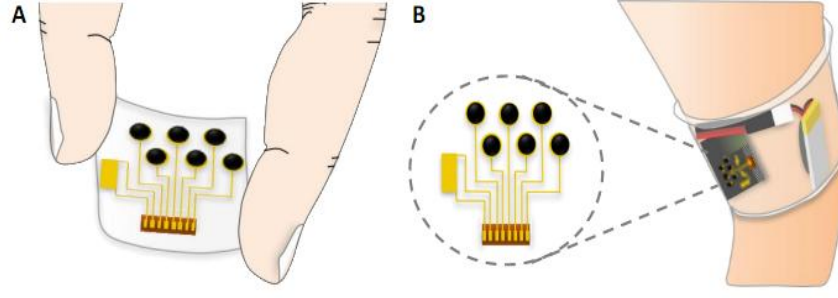
Epilepsi hastalarına yönelik olarak yapılan bir başka çalışmada ise bilekteki akıllı saatle hastanın ani ritmik hareketleri, bu hareketlerin ivmesi ve şiddeti ölçülerek hastanın tonk-klonik nöbet geçirip geçirmediği, nöbet süresi ve şiddeti video/EEG verileriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir [28].

Bu tez çalışması diyabet hastalığı üzerine odaklandığından glikoz ölçümü için kullanılan sensörler ve çalışma prensipleri hakkında temel bilgiler verilecektir. Glikoz ölçümü temel olarak iki farklı yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan birincisi doğrudan kandan (invasif) ölçüm, ikincisi ise dışarıdan (non-invasif) ölçüm yöntemidir. Kandan ölçüm yönteminde, parmakta küçük bir delik açılarak çok az bir miktar kan alınır ve kandaki glikoz oranı ölçüm cihazı sayesinde tespit edilir. Bu ölçüm anlık değer olup, beş dakika sonra ne olacağı ile ilgili herhangi bir bilgi sağlamamaktadır. Bu durumda özellikle yüksek psikolojik hassasiyete sahip kişilerde tedirginlik ve güvensizlik yaratmakta ve bu da ister istemez ölçüm işlemlerini daha sık tekrarlamalarına neden olmaktadır. Özellikle kalabalık, kamuya açık ve iş ortamlarında bu durum hastalarda memnuniyetsizliğe neden olmaktadır. Bu tür hastalarda çalışma ve yaşam standartlarında düşme gözlemlenebilir. Kandan glikoz ölçümünün en büyük dezavantajı sürekli bir izleme yapılamamasıdır. Belirli periyotlarla sürekli ölçüm yapılamadığından hastaya ait istatistiksel bilgiler oluşturmak ve hastalığın seyrini sürekli olarak düzgün bir şekilde takip etmek zorlaşır. İkinci tip ölçüm yönteminde ölçme işlemi dışarıdan yapıldığı için hastanın vücuduna kan almaya gerek kalmaz ve hasta bir

acı hissetmez. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise parmaktan ölçümle yapılan glukoz okuması ile sensörün glukoz okumasının her zaman eşleşmemesidir. Çünkü iki ölçüm yöntemi birbirlerinden farklıdır. Sensörle yapılan glukoz okumaları interstisyel sıvıdan (ISF)- cildin altındaki doku hücrelerinin çevresindeki ince sıvı tabakası- yapılır, kandan değil. Kan glukozundaki değişikliklerin ISF glukozuna yansımaları 5-10 dk'lık bir gecikme ile olur. ISF baz alınarak yapılan glukoz okumalarının glukoz seviyesini yansıtmada konusunda güvenilir olduğu kanıtlanmıştır [29,30]. Bu ölçüm sisteminde farklı çalışma prensiplerine sahip sensörler kullanılabilir. Bu tip sensörler glukoz miktarını çeşitli vücut sıvılarından ölçerler. Glukoz seviyesinin izlenmesinde kullanılan alternatif fizyolojik sıvılar şu şekildedir:

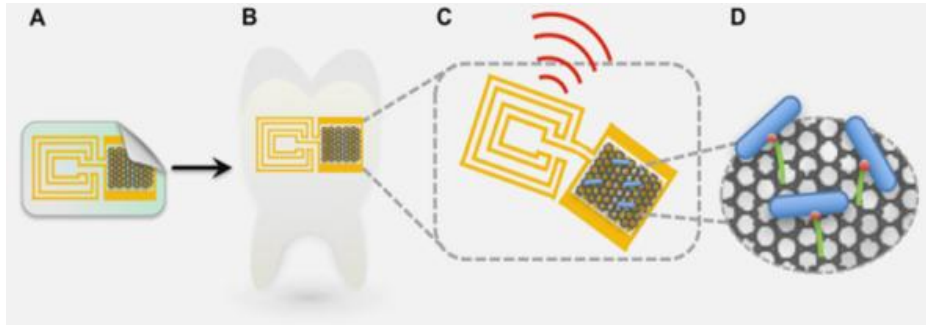
i) **İdrar:** İdrar tahlili, 1841 yılından beri diyabet vb. çeşitli hastalıkların teşhisinde kullanılmaktadır. İnvaziv olmayan bir yöntem olduğundan, oldukça fazla çalışmada teşhise yönelik olarak hastayla ilgili belirli verilerin elde edilmesinde kullanılmıştır. İdrar glukoz, proteinler ve nitratlar gibi çeşitli ara ürünler (metabolitler) ve sodyum, potasyum gibi çözülmeyen tuzlardan oluşturmaktadır. Bu bileşenlerin idrardaki oranlarının belirlenmesi, hastalara çeşitli tanılarının konması sırasında uzmanlara yardımcı olmaktadır. Ancak idrar analiziyle diyabet hastalarında sürekli glukoz takibi yapılamaz [31-33].

ii) **Ter:** En kolay ulaşılabilen ve vücut ısının düzenlenmesinde çok önemli rol oynayan vücut sıvısıdır. Belirli bölgelerde yoğunlaşmakla birlikte, vücudun her bölgesinde ter bezleri mevcut olup, bu da tanıya yönelik örnek alınmasını kolaylaştırmaktadır. Ter, tanı ve teşhis amacıyla sodyum, potasyum, kalsiyum, fosfat ve glukoz gibi bazı hastalıkların biyo-ışaretlerin oranlarının belirlenmesinde sıklıkta kullanılmaktadır. Ayrıca, bazı ilaçların vücuttaki emiliminin ve ilaç verimliliğinin belirlenmesinde de kullanılır [35-38]. Terden algılama yöntemi kullanarak invaziv olmayan ve sürekli aktif giyilebilir glukoz-ter algılama cihazı geliştirilmiştir (Şekil 2.3). Üzerinde sensör bulunan bluetooth iletişim özelliğine sahip bileklik deri sıcaklığını, sodyum, potasyum, laktat ve glukoz konsantrasyonlarını ölçebilmektedir [34].



Şekil 2.3. Giyilebilir bir bilek bandına entegre edilen ve terden glikoz ölçen esnek sensör [34]

iii) Nefes Analizi: Bu yöntem insanların sağlık durumlarının incelenmesine yönelik bir başka yöntemdir. İnsan vücudunda metabolik yollarla yan ürün olarak çeşitli uçucu organik bileşikler (UOB) üretilir. Bu biyo-işaretler dolaşım sistemi yoluyla alveol ara yüzeyine geçer ve nefesle dışarı verilir. Nefesteki UOB'lerin birbirlerine oranının analizi tanıya yönelik önemli bilgiler sağlayabilir. Bu analiz sonucunda hidrokarbonların, ketonların, aldehitlerin, alkollerin, esterlerin, nitritlerin ve aromatik bileşenlerin dahil olduğu 3500 den fazla UOB görülebilir. Bu bileşenlerin bazılarının oranındaki değişim doğrudan çeşitli hastalıklarla ilişkilidir. Nefesteki aseton, etanol ve metil nitrit diyabet hastalığı için önemli biyo-işaretçiler olup, bu bileşenlerin konsantrasyonunun analizi diyabet hastalarında glikoz değerinin izlenmesi açısından alternatif bir yöntemdir [39-41].

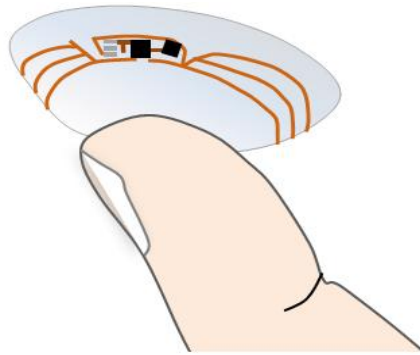


Şekil 2.4. Diş minesine yerleştirilen ve tükürükten non-invaziv yöntemle sürekli glikoz ölçümü sağlayan entegre verici içeren dönüştürücü [42].

iv) Tükürük: Tükürük, kandan geçen pek çok bileşenden oluşan kompleks bir sıvı olup, kişinin duygusal, hormonal, metabolik ve beslenme durumuyla ilgili pek çok veri sunabilme potansiyeline sahiptir [43,44]. Bu nedenle de glikoz oranının belirlenmesinde non-invaziv alternatif bir yöntem olarak sıklıkla

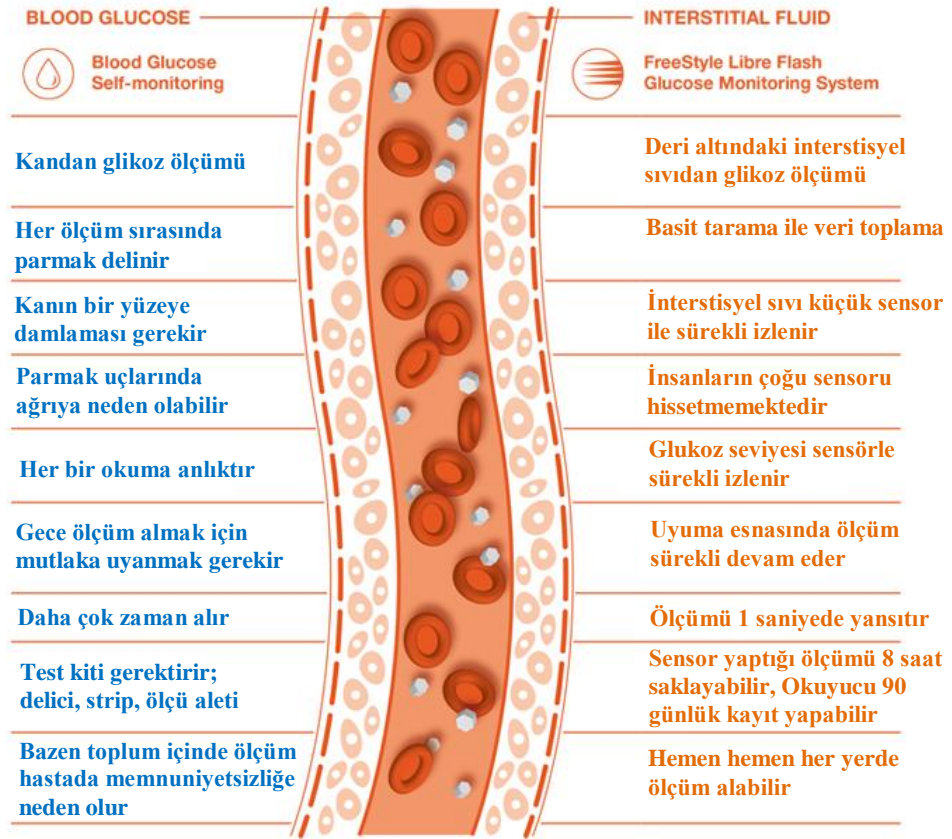
kullanılmaktadır. Yetişkin sağlıklı bir bireyde tükürükteki glikoz oranı 0.23 ile 0.38 mM arasında değişmekte olup, diyabet hastası bir bireyde bu oran 0.55 ile 1.77 mM arasındadır [45]. Tükürük analiziyle glikoz ölçme yöntemi gelişen teknolojiye bağlı olarak kendini belirgin şekilde göstermekte olup, Şekil 2.4.'te görüldüğü üzere tükürükten sürekli ve invaziv olmayan glikoz ölçme amacıyla günlük diş platformlarında kullanılmak üzere ağız koruyucusu ve protez içeren dental platformlar ve dişe yapışan mini dental algılayıcılar geliştirilmiştir [42,46].

v) **Göz Sıvısı:** Göz dokusunu çevreleyen sıvıdır ve kandaki bileşenlerin pek çoğu bu sıvı içinde de bulunur. Bu sıvı göz yaşı sıvısı şeklinde bir hücre dışı sıvı olarak vücuttan salınır. Sıvı içinde bulunan, glikoz, askorbik asit, laktat, proteinler, peptidler, hormonlar, karbonhidratlar, elektrolitler, lipidler ve klorid gibi bileşenler, bireyin sağlık durumu ile ilgili olarak önemli veriler sunabilmektedir. Bu yüzden, göz sıvısı non-invaziv sürekli glikoz izleme amacıyla kullanılmaktadır [43,47]. Bu yöntem henüz gelişmekte olan bir yöntem olup, bu alanda GoogleX Lab (ABD) ve Novartis (İsviçre) gibi firmaların çalışmaları hala devam etmektedir [48]. Bu çalışmalarda daha çok göze yerleştirilen organik akıllı bir kontakt lens kullanılmaktadır (Şekil 2.5). Lens, elektrokimyasal bir bataryadan gücünü almakta ve enzimler sayesinde algılama yapan bir sensör kullanmaktadır (glikoz oksit enzimi). Üzerinde küçük bir verici mevcuttur. Bu elektrokimyasal algılama yönteminin göz için çeşitli dezavantajları da vardır [49-54].



Şekil 2.5. Google ve Novartis tarafından geliştirilen akıllı kontakt lens [49]

vi) İnterstisyel sıvı: dokuya ait hücreleri çevreleyen sıvıdır. Bu sıvı, kandakine büyük oranda benzeyen klinik açıdan önemli pek çok biyolojik işaret (biomarker) ve bileşen içerdiğinden, tıbbi teşhisler açısından önemli bir potansiyele sahiptir [31,43]. Non-invaziv yöntemle deriden glikoz seviyesi ölçümü son yıllarda çok yaygınlaşmış ve bu konuyla ilgili hastaların isteklerine bağlı olarak çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar şu şekilde sıralanabilir: ışık absorpsiyonu veya floresan algılama gibi optik yöntemler; ultrason veya sonoforez; polarimetri; ısı veya termal emisyon; elektromanyetik teknikler; fotoakustik algılama; Raman veya biyoempeddans spektroskopisi; elektrokimyasal yöntemler ve ters iyontoforez tabanlı elektrokimyasal algılama [43,55-58]. Non-invaziv sürekli glikoz izleme amacıyla pazara ilk sunulan giyilebilir cihaz olan Gluco Watch isimli saatte, interstisyel sıvı algılama yöntemlerinden ters iyontoforez yöntemini kullanılmış olup, zamanla bu yöntemin dezavantajlarından dolayı farklı interstisyel sıvı algılama yöntemlerini kullanan akıllı saatler geliştirilmiştir [59-65].

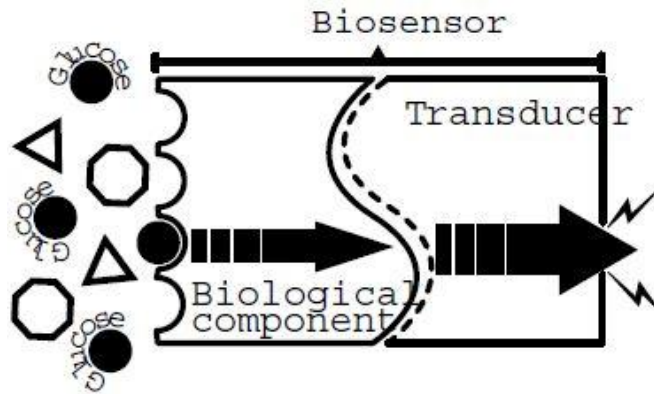


Şekil 2.6. Doğrudan kandan glikoz ölçme yöntemiyle elektrokimyasal non-invaziv sürekli glikoz ölçüm yönteminin karşılaştırılması [66]

Çeşitli avantajlarından dolayı interstisyel non-invaziv sensörler glikoz algılamada sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 2.6’da doğrudan kandan glikoz ölçme yöntemi ile elektrokimyasal non-invaziv sürekli glikoz ölçüm yöntemi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2.3. Enzim bazlı glikoz sensörleri

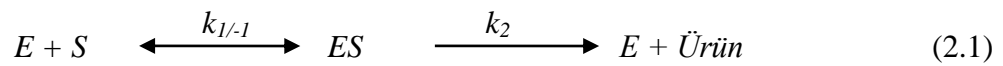
Enzim bazlı glikoz sensörü, enerji aktarımı yapan dönüştürücüye bağlı veya entegre edilmiş biyolojik algılama elemanı içeren bir biyosensördür_(Şekil 2.8). Genel amacı, belirli bir kimyasal veya kimyasal madde konsantrasyonuna orantılı bir dijital elektronik sinyal üretmektir [67]. Biyosensörlerin daha konvansiyonel analitik yöntemlere sahip olmasının önemli bir avantajı, analizleri büyük ölçüde basitleştirerek, analitlerin sürekli takip ve tespitini yapabilmeleridir.



Şekil 2.7. Biyosensör yapısının şematik gösterimi [68]

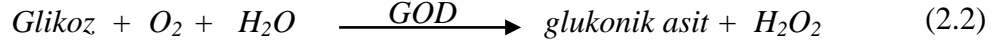
Şekil 2.7’de bir biyosensör olan glikoz sensöründe glikoz oksidaz enzimi, uygun bir enerji dönüştürücü metodu ile birlikte biyolojik bir bileşen olarak kullanılır.

Enzimler başlangıçta biyolojik tanınma varlığı olarak kullanılmış ve hala yaygın olarak uygulanmaktadır. Enzimatik reaksiyonda, aşağıdaki genel reaksiyona göre bir substrat reaksiyon ürünlerine dönüştürülür:



Yukarıdaki enzimatik reaksiyonda; E enzim, S substrat ve k_1 , k_{-1} ve k_2 değerleri ise reaksiyondaki oran sabitleridir.

Birçok glikoz sensörü, glikoz oksidaz enzimi (GOD) tarafından glikozun enzimatik oksidasyonuna dayanır.



Bu reaksiyonda glikoz, glukonik aside oksitlenmiştir. Glikoz oksit geçici olarak bir elektron alıcısı olarak hareket eder, bu durumda ilk önce inaktif bir duruma indirgenir ve daha sonra oksijenin hidrojen perokside indirgenmesiyle tekrar aktif hale gelir [69].

En yüksek temas ve tepkiyi sağlamak için, enzim molekülleri dönüştürücü üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak hareketsiz kılınır. Hareketsizleştirilmiş enzim elektrotu ile ince enzim tabakası, dönüştürücü yüzeyi ile yakın temas halindedir. Enzim tabakası, konsantrasyonların hızlı bir şekilde dengelenmesi için mümkün olduğu kadar ince olmalıdır. Elektrot test ortamına daldırıldığında, glikoz konveksiyon ve/veya difüzyon ile enzimatik tabakaya doğru taşınır. Ardından, glikoz, enzimatik dönüşüm sonucu oluşan reaksiyon ürünleri olan glukonik asit ve hidrojen peroksit olarak enzim tabakası içinde yayılır. Daha sonra bu reaksiyon ürünleri geriye doğru dâhil olmak üzere her yönde yayılmaya devam eder. Bu arada enzimatik reaksiyonda kullanılan oksijen, reaksiyon tarafına doğru ilerler. Kullanılan dönüştürücü yöntemine bağlı olarak, dönüştürücü arayüzünde hidrojen peroksit veya oksijen dönüştürülerek elektrik sinyali elde edilir.

Amperometri, potansiyometri, termometri veya fotometri gibi birçok algılama tekniği dönüştürücü metodu olarak işlev görebilmektedir. Biyolojik dönüşüm adımında reaksiyon tipine ve reaksiyon ürünlerine bağlı olarak dönüştürücü metodu seçilmektedir. Ayrıca biyosensörün uygulama planı veya amacı önemlidir. Eğer bir biyosensör canlı bir organizmada kullanılacaksa, dönüştürücü küçük olmalı, zehirli madde yaymamalı ve iyi bir dirimsel uyumluluğa sahip olmalıdır. Bunlar içerisinde potansiyometri ile amperometri metotları, en çok benimsenen ve kullanılan metotlardır. Her iki yöntemin kullanımı nispeten basittir ve bu prensiplere dayanan elektrotlar, büyük bir zorluk olmadan küçültülebilirler [68,70,71]. Bu çalışmada kullanılan sensör, amperometri yöntemi ile hidrojen peroksiti elektrik sinyaline dönüştürmektedir.

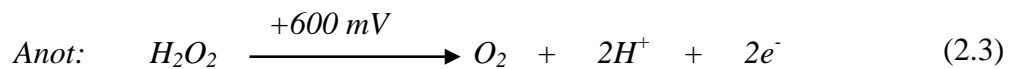
2.3.1. Amperometrik biyosensörler

Amperometrik biyosensörler, algılama yüzeyindeki elektroaktif türlerin neden olduğu biyolojik tanıma olaylarını, örnek bir matris içindeki analitin nicelleştirilmesi için bir akım sinyaline dönüştüren bir elektrokimyasal biyosensör sınıfıdır. Dönüştürücünün içsel basitliği, hastalık tanısından çevresel izlemeye kadar çeşitli uygulamalar için düşük maliyetli, taşınabilir cihazlara sahiptir.

Amperometrik dönüştürücü, ayrılmış iki elektrot arasındaki yük transferi gibi fazların arayüzleri arasındaki, bir elektrik sinyali veya elektrolit ile incelemek için kullanılır. Fazlar ve arayüzey sınırlarını tanımlamak için genellikle elektrokimyasal hücre terimi kullanılır.

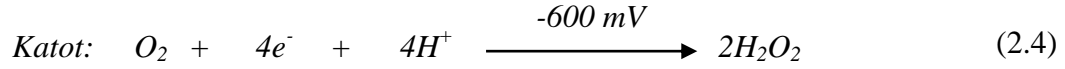
Elektrokimyasal hücre boyunca sabit veya değişken bir potansiyeli kontrol ederek, uygulanan potansiyel ve hücre denge potansiyeli arasındaki fark olan bir aşırı potansiyel oluşturulabilir. Aşırı kapasitenin oluşumu üzerine, elektron transferi termodinamik olarak uygulanabilir hale gelir ve oksidatif veya indirgeyici reaksiyonlar meydana gelir [72].

Amperometri yöntemi ile uygulanan bir potansiyel altında elektrokimyasal hücreyi geçen bir akımın yoğunluğu belirlenir. Uygulanan potansiyelin yönüne ve referans elektrot olarak davranan ikinci elektrota bağlı olarak, elektrokimyasal aktif maddelerin oksidasyonu veya indirgenmesi gerçekleşir. Böylece çalışma elektrodu denilen elektrot oluşur. Burada elektroliz sırasındaki akım yoğunluğu, elektroaktif maddelerin konsantrasyonunun bir denklemini ifade etmektedir. Amperometrik olarak ifade edilen ifadeler, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve oksijendir (O_2). Hidrojen peroksit durumunda, bir platin (Pt) çalışma elektrodu, anot olarak kullanılmaktadır ve standart bir kalomel elektroduna (SCE) göre +600 milivolt(mV)'luk bir pozitif potansiyele kutuplanmaktadır (Şekil 2.9). Burada referans elektrot olarak bir gümüş ($Ag/AgCl$) katot kullanılmaktadır. Bir platin ucunun peroksit elektrot ile reaksiyonu aşağıdaki gibidir.

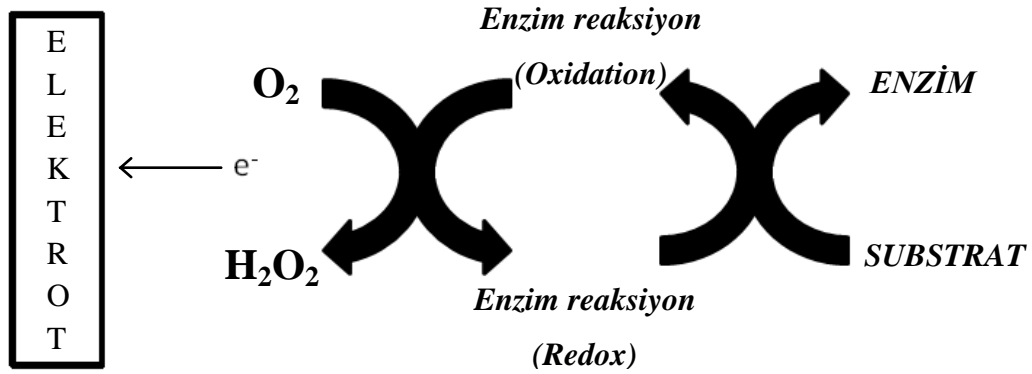


Oksijen durumunda ise platin telin çalışma elektrodu katot olarak kullanılmaktadır ve standart bir kalomel elektroduna göre -600 mV'lik bir negatif

potansiyele kutuplanmaktadır. Referans elektrot olarak ise gümüş anot kullanılmaktadır. Bir platin ucunun oksijen elektrot ile reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



Amperometrik elektrotlar yüksek hassasiyete sahiptir. Amperometrik esaslı enzim elektrotları arasında, oksidaz ile katalize olmuş reaksiyonlar, elektrokimyasal oksijen ve hidrojen peroksit saptamanın basit kullanımı nedeniyle çok yaygındır.



Şekil 2.8. Oksijen elektrot ve hidrojen peroksit reaksiyonları gösterimi

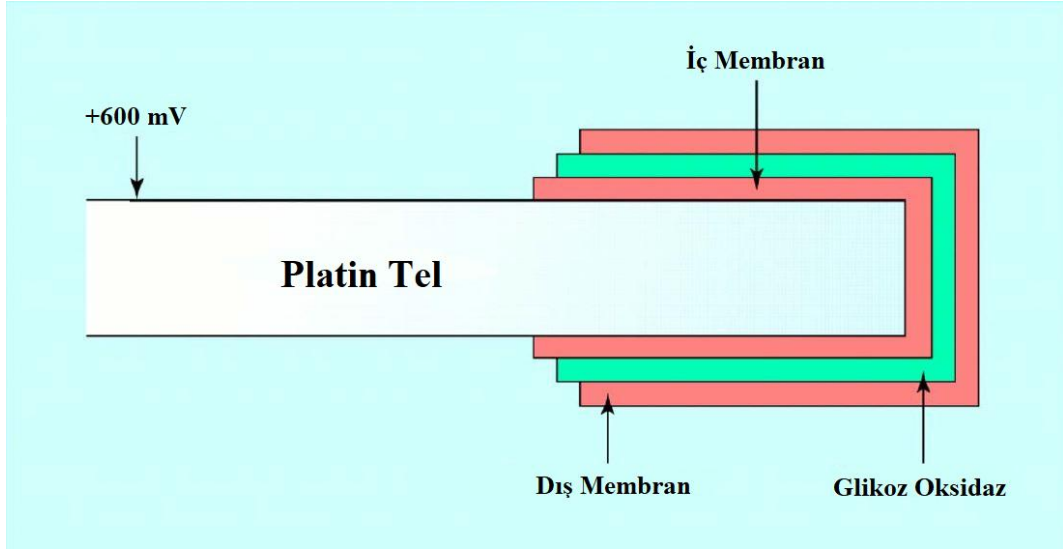
Bu süreçler Faraday yasasına uygun gerçekleşmektedir ve bu nedenle Faradik (Faradaic) süreçler olarak adlandırılmaktadır. Bu süreçlerde elektronların hareketi dolayısıyla meydana gelen Faradik akım hesaplanabilmektedir.

$$j = k_0 \cdot c_0 \quad (2.5)$$

$$i = n \cdot F \cdot A \cdot j \quad (2.6)$$

Burada, k_0 , elektron taşınma heterojen oranı; c_0 , elektron taşınma hareketi ve elektrot/elektrolit arayüzündeki yoğunlaşma analitiği; j , arayüzey sınırındaki elektron akış analitiği; n , reaksiyona dâhil olan elektronların sayısı; F , Faraday sabiti ve A , elektrot alanıdır [68,72].

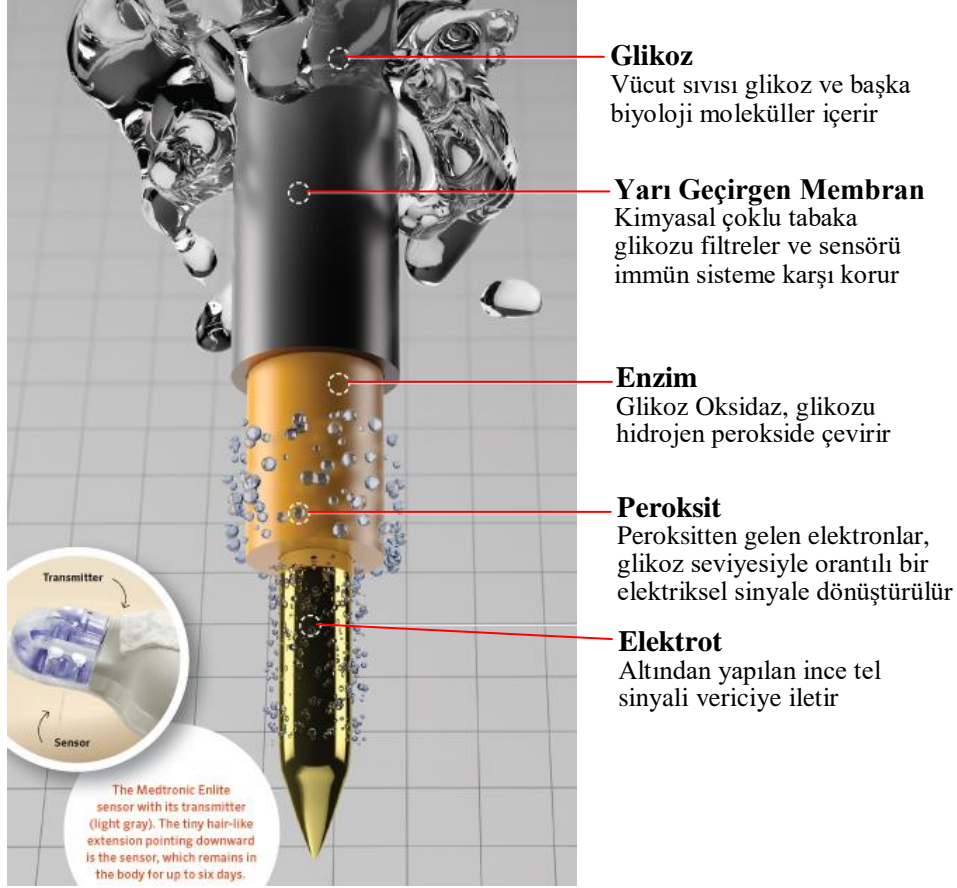
Elde edilen akım değerleri zamana göre hesaplanarak sürekli analog elektrik sinyali oluşturulmaktadır. Analog sinyaller sürekli sinyaller olduğundan, sürekli (continuous) izlemeyi sağlayabilirler. Sürekli glikoz görüntüleme (CGM) sistemleri de genel olarak bu Şekilde meydana gelen elektrik sinyalleri tarafından görüntüleme yapmaktadırlar. Sensörler dhilindeki yazılımlar ile elde edilen bu analog elektrik sinyali, anlamlı glikoz değerlerine dönüştürülmektedir.



Şekil 2.9. Platin tel dönüştürücü yapısı [73]

Bu tez çalışmasında, elektrokimyasal yollarla algılama yapan ve bir amperometrik biyosensör olan Dexcom CGM sensörü kullanılmıştır. Bu sensör CGM sistemine sahip olduğundan sürekli glikoz izlemesine izin veren, non-invaziv bir sensördür.

Bu sensörün matematiği, Dexcom firmasının geliştirmiş olduğu güncel yazılım ile diğer sensörlere göre daha doğru sonuç vermektedir. lmn biyolojik olarak canlıya bir zararı bulunmamakta ve sadece sensörün vcoda tutunması için kullanılan yapıştırıcının bir süre sonra özelliğini kaybetmesi ve vücut bağışıklık sistemi tarafından kabul edilememesi bu sensörlerin ömürlerini etkilemektedir. Ayrıca sensörün amperometrik sensör olmasından dolayı, çok fazla reaksiyona girmeden, enzim üzerindeki reaksiyonda elektron hareketlerinin oluşturduğu elektrik akımı sayesinde hesaplaması nedeniyle, farklı dönüştürücü sensörlere göre daha çabuk sonuç vermektedir. Kullanılan sensör ile ilgili detaylı bilgi aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2.10. CGM glikoz ölçüm sensörünün iç yapısı [74]

Şekil 2.10'de görüldüğü üzere, sensör, glikoz oksidaz enzimini kullanmaktadır. Bu enzim, glikoz ile reaksiyona girerek glukonik asit ve yan ürün olarak hidrojen peroksit elde edilmesini sağlar. Peroksit, sensörün içindeki dönüştürücü olan platin tel ile reaksiyona girer ve bunun sonucunda da çok ince bir tel üzerinden vericiye iletilen küçük bir elektriksel sinyal oluşur. CGM sistemi içerisindeki program, gelen elektriksel sinyali anlamlı bir glikoz değerine dönüştürür. Bu değer verici tarafından alıcı cihazlara iletilir. CGM sensörlerin hemen hemen hepsinde çalışma prensibi bu şekildedir. Glikoz oksidaz enzim tabakasının üst kısmında bulunan kimyasal katmanlar, sensörü koruyarak vücut koşullarında fonksiyonel özelliklerini kaybetmesini engeller [74].

Çizelge 2.1. CGM sensör üreten firmaların sensör sistemlerinin doğruluk yüzdeleri [75]

Firma	Sensör Sistemi	Doğruluk (MARD)
Dexcom	G4 Platinum	% 9
	G5 Mobile	% 9
Medtronic	Enlite Sensor	% 13.6
	Guardian Sensor 3	% 10.6 – Karın % 9.1 – Kol
Abbott	Navigator II	% 14.5
	FreeStyle Libre	% 11.4
Senseonics	Eversense	% 11.4

Çizelge 2.1’de farklı firmalara ait CGM sensörlerinin doğruluğu, ortalama mutlak görecelilik farkı (Mean Absolute Relative Differences (MARD)) gösterilmiştir. MARD standart bir ölçü olup, sonuç ne kadar düşük çıkar ise doğruluk da o kadar yüksek olmaktadır. Görüldüğü üzere Dexcom firması geliştirdiği yeni yazılımlar ile doğruluğu % 9’a düşürmüş ve bu alanda en mutlak sonuç veren sensör firması olarak ilk sırada yer almaktadırlar.

CGM sistemlerinde karşılaşılan en büyük zorluklarından biri, derinin üzerinde yabancı bir madde olarak görülen sensörü bağışıklık sisteminden koruyarak uzun süre kullanımda kalmasını sağlamaktır. Bu süre şu anda bir hafta ila dört hafta arası olup, süreyi uzatmak için çalışmalar sürmektedir. Bunu gerçekleştirmek, yani bağışıklık sistemini kandırarak sensörün vücutta uzun süre kalmasını sağlamak için, belirli kimyasallar içeren özel bir maddeyle sensör kaplanmaktadır. Bu kaplama glikozu geçiren bir filtre gibi çalışmak zorunda olduğundan, yarı geçirgen bir membran gibi işlev görmektedir [74,76].

Yukarıda açıklaması verilen yöntemler kullanılarak çeşitli vücut sıvılarında ölçülen biyo-işaretçilerin sağlıklı ve diyabet hastası bir insan için sınır değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir [76]

Çizelge 2.2. Sağlıklı ve diyabetli hastalara ait farklı fizyolojik sıvılardan ölçülen tokluk kan şekeri ve pH değerleri [76]

Physiological Fluid	Biomarker	Concentration for Healthy Patients'	Concentration for Diabetic Patients'	pH
Blood	Glucose	4.9–6.9 mM	2–40 mM	7.35–7.45
Interstitial Fluid	Glucose	3.9–6.6	1.99–22.2	7.2–7.4
Urine	Glucose	2.78–5.55 mM	>5.55 mM	4.5–8
Sweat	Glucose	0.06–0.11 mM	0.01–1 mM	4.5–7
Saliva	Glucose	0.23–0.38 mM	0.55–1.77 mM	6.2–7.6
Ocular Fluid	Glucose	0.05–0.5 mM	0.5–5 mM	6.5–7.6
Breath	Acetone	0.1–2 ppm	0.1–103.7 ppm	7.4–8.1

2.4. Elektronik Sağlık (e-Sağlık)

İnsan hayatında teknoloji çok önemli bir yere sahiptir. Teknolojide meydana gelen gelişimler, bilgiye ulaşma yollarını arttırarak çeşitlendirmiştir. Teknolojideki bu gelişim, sağlık sektörü gibi bazı sektörleri de etkileyebilmektedir. Buna bağlı olarak geliştirilen mobil teknolojiler de sağlık sektöründe günden güne yaygınlaşmaktadır.

e-Sağlık, sağlık hizmetlerinde bilişim ve teknolojinin kullanılması ile oluşturulmuştur. Sağlığın yönetilmesi adı altında hastalıkların önlenmesi, izlenmesi, teşhis ve tedavi edilmesi amacıyla e-Sağlık çalışmaları geliştirilmiştir [77].

e-Sağlık uygulamaları, elektronik olarak sağlık hizmeti uygulamalarını desteklemek için araçlar, süreçler ve iletişim araçları sağlayan sağlık hizmetiyle ilgili yazılımları ifade etmektedir. Geliştirilen akıllı telefonların ve diğer mobil cihazların donanım kapasiteleri geliştirildikçe e-sağlık, büyük bir oranda mobil platformlarda kullanılabilir hale gelmiştir ve bu mobil-sağlık (m-Sağlık) uygulamalarını, e-sağlık uygulamalarının önemli bir altkümesi haline getirmiştir. Özellikle kronik hastaların uzaktan takibi sırasında bu teknoloji yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, gerek hastaya gerek doktorlara önemli dercede yardımcı olmaktadır. m-Sağlık, sağlık hizmetlerinde, ağ, mobil programlama, tıbbi algılayıcı ve diğer iletişim teknolojilerini kapsayan bir terimdir. m-Sağlık kavramı “sağlık hizmetleri için mobil bilişim, tıbbi algılayıcı ve iletişim teknolojilerini” ifade etmektedir. Global Observatory for e-Health ise m-sağlığı, mobil telefonlar, hasta takip araçları, kişisel sayısal asistanlar (PDAs) gibi uygulamalar, araçlarla

desteklenen tıbbi sağlık uygulaması olarak tanımlamaktadır. Tanımlar incelendiğinde m-sağlık teknolojisi ve sağlık hizmetleri alanlarının kesişiminden oluştuğu gözlenmektedir [78,79].

2.5. Kronik Hastalıklar

Kronik hastalıklar, uzun dönemli ve genellikle yavaş ilerleme gösteren, tıbbi girişimlerle tedavi edilemeyen, hastalığın derecesini azaltmak ve öz bakımında kişinin işlevini ve sorumluluğunu en üst düzeye çıkarmak için periyodik takip ve bakım desteği gerektiren durumlardır [80].

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine ve sosyal sınıfların yapısına bakılmaksızın kronik hastalıklar günden güne artmaktadır [80]. Dünya Sağlık Örgütü raporlarına göre kronik hastalıklar dünyada tüm ölümlerin % 63'ünden (57 milyon kişi) sorumludur. Bu ölümlerin 36 milyonu kardiovasküler hastalıklar, diyabet, kanser ve kronik solunum yolları hastalıklarına bağlıdır. Bu hastalıkların görülme sıklığı ve ölüm oranları kadın ve erkeklerde eşittir.

Bu hastalıklardan diyabet hastalığı, dünya genelinde 422 milyon kişiyi etkileyen yaygın bir hastalıktır ve hasta olma eğilimlerinin devam etmesi halinde ölüm nedenleri arasında yedinci sırada yer alması beklenmektedir [81].

2.6. Diyabet

Diyabet, kandaki şeker düzeyini dengeleyen insülin hormonunun; eksikliği ve/veya yeterince salgılanmasına rağmen, vücutta kullanılamaması sonucu oluşan kronik metabolizma bozukluğudur [82].

Şeker vücudun temel enerji kaynağıdır. Şeker iki yolla elde edilir;

1. Karbonhidrat içeren besinlerle alınabilir (dış kaynaklı),
2. Karaciğerde depolanmış halde bulunur, gerektiğinde kana verilir (iç kaynaklı).

Besinlerle alınan şeker, mideye, oradan bağırsaklara geçer ve emilerek kana karışır. Pankreasta üretilen insülin hormonu ise dolaşımında bulunan şeker düzeyini düzenler ve kanda şeker yükseldiğinde pankreastan salınarak kan şekerini normal düzeylere indirir. Bir nevi otomatik kontrol ünitesi olarak işlev görür. Çeşitli

algılayıcılar vasıtasıyla kendine geri besleme bilgisi olarak gelen kandaki şeker seviyesini dikkate alarak insülin salınımını artırır veya azaltır.

İnsülin, pankreasın beta hücreleri tarafından salgılanır ve vücutta enerji dengesini kontrol eden en önemli hormondur. Görevi kanın içindeki şekerin hücre içine girmesini sağlamaktır. Bu sayede şeker yanarak enerjiye dönüşür. Temel etkisi kan şekerini düşürmektir [82].

2.6.1. Diyabetin tipleri

Bu tiplerden genel olarak tip 1 ve tip 2 tanımlamaları kullanılmaktadır. Tip 1 diyabet, genel olarak erken yaşlardan itibaren başlayarak, mutlaka insülin kullanımını gerektirmektedir. Diğer tiplere oranla tip 1 diyabet hastalığında anlık takip çok önemlidir. Bu nedenle anlık ölçümü gerçekleştirilebilmesi için bu tipe sahip hastalar yanlarında sürekli şeker ölçüm cihazı taşımak zorunda kalmaktadır.

Tip 2 diyabet ise genel olarak daha ileri yaşlar olan 35 yaş ve üzeri yaşlarda başlamaktadır. Ortaya çıkmasında sağlıksız yaşam ve beslenme biçimleri, aile öyküsü, fiziksel aktivite ve kan şekerinin düzenleyici olduğu ilaçlar ile tedavi yapılan bir hastalıktır. Tip 1 ve Tip 2 diyabet arasındaki farklar karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.3’de sunulmuştur.

Gebelik diyabeti ise gebelikte ortaya çıkan diyabet hastalığı olup, gebelerin %2-8’inde görülmektedir. Gebeliğin son 6 ayında ilk kez ortaya çıkan gizli şeker durumudur [82].

Çizelge 2.3. Tip 1 ve Tip 2 Diyabet arasındaki temel farklar [82]

Tip 1 Diyabet	Tip 2 Diyabet
Genellikle çocuk ve ergenlerde görülür.	Genellikle erişkinlerde görülür. Son yıllarda çocuk ve ergenlerde obezite ile birlikte görülmektedir (en sık ergenlik dönemi sonrası).
Zayıf ya da normal kilodadırlar.	Çoğunluğu obezdir.
İnsülin üretimi olmadığı için insülin kullanmak zorundadırlar.	Hap ya da insülin kullanırlar.

2.6.2. Tip 1 diyabette kendi kendine izlem

Diyabetli bireyin evde kendi kendine ölçüm ve takip yapması kolay ve ucuz kontrol yöntemi sağlamaktadır. Düşük ve yüksek kan şekeri ataklarının tespiti ve komplikasyonların erken tanısı için gerekli önlemlerin alınması açısından oldukça önemlidir. Böylece komplikasyonların gelişimi geciktirilmiş veya önlenmiş olacaktır. Beslenme, fiziksel aktivite ve kan şekeri seviyeleri ile ilişkili olarak hastanın eğitimine yardımcı olmaktadır, hastanede yatış sıklığı ve yatış süresini azaltmaktadır, daha esnek ve kaliteli bir yaşam sürmesini sağlamaktadır. Evde kan şekeri takibi kısa ve uzun dönemde, diyabet hastalığının takip ve tedavi maliyetlerini azaltan, modern bir tedavi yöntemidir. Sürekli glikoz izleme (SGİ-CGM), hastaya klasik kandan glikoz ölçme yöntemiyle ulaşamayacağı, ani gerçek zamanlı glikoz seviyesi görüntüleme ve glikoz değişim hızı takibi, hipo ve hiper glisemiye yönelik çeşitli alarmlar ve uyarılar gibi büyük avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında yedi gün 24 saat bu izleme sürdürülebilme ve değişen glikoz değerleri karakterize edebilmektedir. Doğru ölçüm yapması, küçük olması, kullanım kolaylığı ve elde ettiği verileri internet üzerinden paylaşabilmesi gibi birçok önemli özelliklere ve avantajlara sahiptir. Bunun yanında sensörlerin periyodik değişimi ki böylece oluşan ekstra sensör maliyeti, kalibrasyon gerekliliği, fiyatının yüksek olması, kullanımının öğrenilmesi için başlangıçta yardıma ihtiyaç duyulması, SGİ yazılım yöntemlerinde henüz bir standardizasyon sağlanamaması, bazı özel durumlarda ölçüm hatasının artması gibi dezavantajları da mevcuttur. Ancak son zamanlarda bu dezavantajları azaltmaya ve minimum seviyeye indirmeye yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir [83].

Bu uygulama diyabetli bireyde glisemik kontrolü sağlamada olumlu etkiye sahiptir. İstenen glisemik kontrol seviyelerine ulaşmayı sağlar. Diyabetli çocuk/ergenler tarafından hipoglisemi ve hipergliseminin tanınmasını sağlar. Alışkanlıkların düzenlenmesine ve yönetilmesine yardımcı (beslenme, egzersiz, ilaç dozu) olur. Sağlık profesyonellerine tedavi planının yürütülmesinde rehberlik eder. Diyabetli çocuk/ergenlerin glisemik kontrol üzerindeki yaşam tarzı ve tıbbi tedavi ile ilgili bilgi düzeyini artırır ve yetkilendirir [82].

Akıllı cihazların diyabet yönetimine dâhil edilmesi, klinik sonuçlarda, hasta katılımında ve sağlık sistemi için olası maliyet düşüşlerinde anlamlı iyileştirmeler sağlayabilir [84]. Sağlık hizmeti sağlayıcılarının, hastaları kendi diyabetlerini

yönetmek konusunda, mevcut teknolojik kaynaklar hakkında eğitmeleri büyük önem arz etmektedir [85].

Projede geliştirilen uygulama sayesinde yer, zaman ve mekân fark etmeksizin ölçüm işlemleri rahatlıkla yapılarak, kan şekeri kontrol altına alınabilmektedir.

2.6.3. Oluşabilecek komplikasyonlar

Diyabet hastalığı önlenemez ise, vücutta bazı komplikasyonlara neden olabilmektedir. Bunlar;

- 6 kat daha yüksek inme (felç) riski, 25 kat daha yüksek göz sorunu riski,
- 2-4 kat daha yüksek kalp krizi riski,
- 5 kat daha yüksek böbrek hastalığı riski,
- Bacağın kesilmesine yol açabilecek hastalıklar için 20 kat daha yüksek risk.

Bu komplikasyonlardan korunmak için kan şekerinin diyabetli olmayan hastaların seviyesinde tutulması önemlidir. Bunun için mümkün olduğunca sık ölçüm yapılarak herhangi bir komplikasyon oluşmadan önlemini almak gerekmektedir.

2.6.4. Diyabet istatistikleri

Amerikan Diyabet Derneği'ne göre, ABD'deki diyabetin doğrudan ve dolaylı maliyeti 174 milyar doları aşmış olup, diyabetli 25.8 milyon ABD'li çocuk ve yetişkin bulunmaktadır. Diyabete yönelik metabolik parametrelerin işleme metotlarının ve tanı yöntemlerinin büyük bir hızla geliştiği bir ortamda, internet ve diğer akıllı teknolojiler bu alanda gittikçe artan bir bilgi ve kaynak ağı sağlamasına rağmen, ortalama hastalar çoğu zaman en uygun sağlık hizmeti bilgilerini bulma ve kullanma becerisine sahip olamamaktadır [85].

Türkiye'de ise Uluslararası Diyabet Federasyonu (IDF) 7. Diyabet Atlası verilerine göre 2015'te;

- 11 yetişkin kişiden 1 kişi diyabetli. (415 milyon).
- 2 diyabetli yetişkin kişiden 1 kişiye (% 46,5) diyabet teşhisi konulmamış.
- Küresel sağlık harcamalarının % 12'si, diyabet hastalığına harcanmaktadır. (673 milyar ABD Doları)

- 7 doğumdan 1'i gebelik diyabetinden etkilenmektedir.
- Diyabet hastalarının dörtte üçü (% 75) düşük ve orta gelir düzeyindeki ülkelerde yaşamaktadır.
- 542,000 çocuk tip1 diyabet hastasıdır.
- Her 6 saniyede 1 kişi diyabet hastalığından kaynaklanan nedenlerle hayatını kaybetmektedir [86,87].

Uluslar arası Diyabet Federasyonu (IDF) 6. diyabet atlası verilerine göre ise, 1985 yılında, tüm dünyada, 30 milyon diyabetli tespit edilmiştir. 2005 yılında, 230 milyondan fazla diyabet hastalığına sahip insan tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere, 20 yıl içerisinde yedi kattan fazla bir artma gerçekleşmiştir. Eğer bu hastalığının artışını yavaşlatmak veya durdurmak adına için hiçbir şey yapılmaz ise, IDF'in tahminlerine göre 2013 yılında tespit edilen 382 milyon olan diyabetli insan sayısının 2035 yılında 592 milyona çıkacağı düşünülmektedir [2].

Çizelge 2.4'de gelecek yıllarda görülebilecek diyabet vakaları göz önüne alınarak karşılaştırmalı bir istatistik tablo sunulmuştur.

Çizelge 2.4. Uluslar arası Diyabet Federasyonu (IDF) Diyabet Atlası Küresel Tahminleri, 2015 – 2040 [87]

	2015	2040
Toplam dünya nüfusu	7,3 milyar	9,0 milyar
Yetişkin nüfus (20-79 aralığı)	4,72 milyar	6,16 milyar
Çocuk nüfusu (0-14 aralığı)	1,92 milyar	-
Şeker hastalığı (20-79 aralığı)		
Küresel prevalans	%8,8 (%7,2-11,4")	%10,4 (%8,5-13,5")
Diyabetli birey sayısı	415 milyon (340-536 milyon arası")	642 milyon (521-829 milyon arası")
Diyabete bağlı hayatını kaybedenlerin sayısı	5.0 milyon	-
Diyabete bağlı sağlık harcamaları (20-79 arası)		
Toplam sağlık harcamaları, R=2* 2015 ABD Doları	673 milyar	802 milyar
Gebelikte hiperglisemi (20-49 aralığı)		
Etkilenen canlı doğumların oranı	%16,2	-
Etkilenen canlı doğumların sayısı	20,9 milyon	-
Bozulmuş Glukoz Toleransı (20-79 arası)		
Küresel prevalans	%6,7	%7,8
Bozulmuş glukoz toleransı olan kişi sayısı	318 milyon	481 milyon
Tip1 Diyabetliler (0-14 aralığı)		
Tip1 diyabetli çocuk sayısı	542,000	-
Her yıl yeni teşhis konulanların sayısı	86,000	-

2.6.5. Diyabetin akıllı sistemlerle takip edilme yöntemleri

Norveç'in Tromsø şehrinde e-sağlık araştırmaları üzerine çalışan araştırma merkezi (Norwegian Centre for e-Health Research) tarafından geliştirilen ve Şekil 3.1'de görülen "Diabetes Diary" isimli Android telefon uygulaması diyabet durum takibi yapmaktadır. Ayrıca yine aynı araştırma merkezi tarafından üretilen Pebble marka model akıllı saatleri için diyabet durum takibi yapabilen uygulama, "Diabetes Diary" uygulamasının Pebble marka akıllı saat versiyonu olarak 2014 yılında geliştirilmiştir. Bu uygulama ile glikoz, insülin, karbonhidrat alımı ve fiziksel aktivite değerlerinin takibi yapılabilmektedir ve Android telefonlar için geliştirilen uygulama ile senkronize halde çalışmaktadır [88]. Bu çalışmada geliştirilen uygulama ise aynı uygulamanın Android akıllı saatler için geliştirilmiş versiyonu olacaktır.



Şekil 2.11. Diabetes Diary Pebble versiyonu

Şeki 2.11. şu şekilde açıklanabilir: Ortadaki buton kullanılarak karbonhidrat alımı, insülin birimi ve glikoz ölçümleri yapılır. Sağ alt taraftaki buton kullanılarak önceki kayıtlar görüntülenebilmektedir. Sağ yukarı taraftaki buton ile ise belirli fiziksel aktiviteler kaydedilebilmektedir. Kan şekeri hatırlatıcısı, yemeklerden 90 dakika sonra hatırlatacak şekilde varsayılan olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2.12. Apple akıllı saatler için Dexcom uygulaması

Dexcom firmasının Apple marka saatler için geliştirdiği uygulama ise sadece glikoz takibi yapabilmektedir. Bu saat sürekli glikoz izleme (CGM) sistemini kullanır. Glikoz değeri sadece numara olarak değil de aynı zamanda grafiksel olarak da gösterilmektedir (Şekil 2.12). Fakat glikoz değerleri dışında insülin değeri, karbonhidrat alımı ve fiziksel aktivite değerleri takip edilememektedir [89].



Şekil 2.13. Diabetes:M Android Wear uygulaması [90]

Ayrıca Diabetes:M firması tarafından Android akıllı saatler için diyabet durum takibi sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama glikoz, insülin ve karbonhidrat değerlerinin takibini sağlamaktadır. Ayrıca bu değerlerin kullanıcı tarafından el ile girişleri de mümkündür (Şekil). Böylece günlük olarak da kullanılabilir. Fakat uygulama fiziksel aktivite takibi ve kalp ritim ölçme işlemlerini yapmamaktadır [90].

Akıllı saatler için geliştirilmiş bir başka Android uygulaması ise Quattrofolia firması tarafından tasarlanan Balansio Android akıllı saat uygulamasıdır. Bu uygulama, glikoz, insülin ve karbonhidrat değerlerini görüntülemektedir. Firma, Balansio isimli Android/iOS akıllı telefon uygulamasına da sahiptir. Her iki uygulama da senkronize halde çalışabilmekte olup mobil uygulama farklı olarak “Bolus Calculator” olarak adlandırılan, alınması beklenen karbonhidrat değerine göre, gerekli insülin ilaç alımını hesaplayarak, hastaya tedavi sürecinde destek olması planlanan bir uygulama sunmaktadır. Bu hesaplama ve uygulama yöntemleri kullanılarak, mevcut kan şekerinize, alınan karbonhidratlara ve insüline dayanan hızlı ve etkili insülin (U100) doz önerilerinin otomatik olarak kullanıcıya yansıtan Avrupa uygunluk (CE) sertifikasına sahip 2b sınıfı tıbbi bir cihaz geliştirilmiştir [91,92]. Ayrıca her bir belirli durum için, günün her saatinde kişisel ayarlarınıza göre ilaç dozunuzu ayarlayabilmektedir. Bunların dışında, saat uygulaması üzerinde glikoz, insülin ve karbonhidrat değerlerinin girişi doğrudan kullanıcı tarafından yapılabilmektedir [92]. Böylece uygulama günlük olarak da kullanılabilir. Ancak uygulamada fiziksel aktivite takibi ve ritim ölçme işlemleri yapılamamaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Balansio Android Wear uygulaması [92]

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada diyabet hastalarının anlık takibine yönelik olarak Android tabanlı bir akıllı telefon, Huawei Watch 2 model akıllı saat, DexcomG4 Platinum markalı veri alış verişi yapabilen glikoz ölçüm sensörü ve xDrip/Nightscout veri transfer devresi kullanılmıştır. Kullanılan elemanlara ait detaylı açıklama aşağıda verilmiştir.

Ölçme işlemi belirtilen sensör vasıtasıyla yapılmakta olup, elde edilen veriler akıllı telefona ve saate transfer edilmekte ve buralarda işlenerek kullanıcıya net ve anlaşılabilir durum bilgisi sunulmaktadır. Bununla ilgili prosedürün işleyiş şekli, veri analiz kriterleri ve yazılım basamakları aşağıda daha ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller

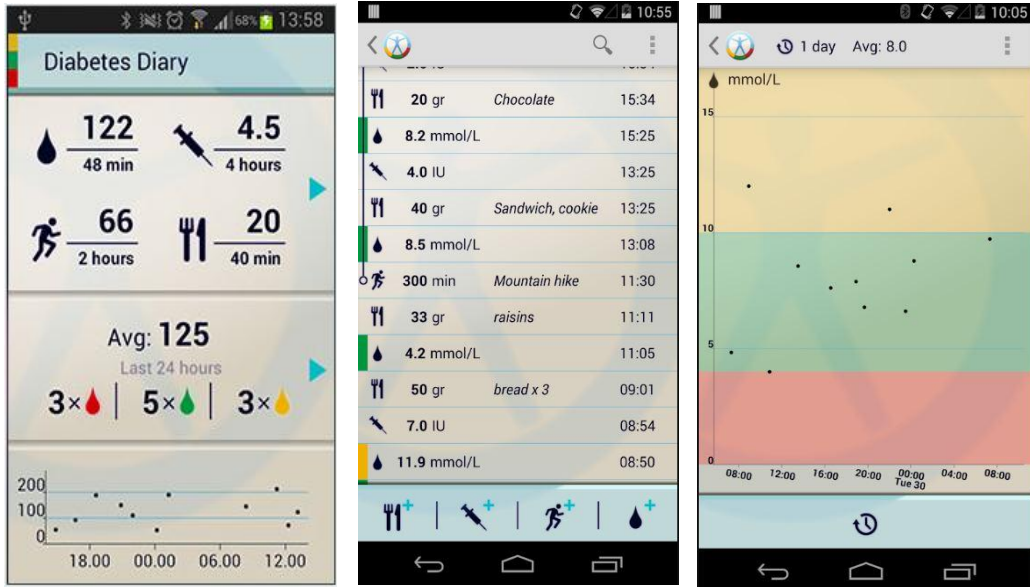
3.1.1. Android akıllı telefon

Android, Google, Handset Alliance ve özgür yazılım tarafından geliştirilen, Linux tabanlı, mobil cihazlar için geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan açık kaynak kodlu bir işletim sistemidir.

Mobil bilgi işlem ve kablosuz iletişim alanındaki ilerlemeler, diyabette kendi kendini denetlemek ve geri bildirim sağlamak için etkin mobil uygulamaların geliştirilmesini sağlamıştır [93]. En yeni nesil akıllı telefonların açık uygulama geliştirmelerini mümkün kılan güçlü bilgi işlem yetenekleri vardır. Böyle bir ortam, verilerin dâhili ve harici sensörlerden cep telefonlarına hızlı bir şekilde toplanmasını sağlar [94].

Android işletim sistemine sahip bir telefon, USB-OTG ile veriyi aldıktan sonra doğrudan sunucuya göndermektedir. Ayrıca, geliştirilen saat uygulaması, Norveç/Tromsö'de bulunan e-sağlık araştırma merkezi (Norwegian Centre for e-Health Research) tarafından geliştirilen “Diabetes Diary” uygulaması ile eşzamanlı halde çalışmaktadır (Şekil 3.1). Böylece Android akıllı telefon, projenin veriyi server'a gönderme ve saat ile veri transferi kısımlarında kullanılmıştır.

Bu uygulama, diyabet hastalığına sahip hastaların, hastalık durumlarını daha iyi ve rahat bir şekilde kontrol altına almalarını amaç edinerek geliştirilmiştir. Daha kaliteli ve sağlıklı bir hayat için belirlenen hedefleri kolayca görüntülemesinin yanında, kullanıcı tarafından insülin alım değerleri, günlük hareket değeri (adım sayar, koşu mesafesi, bisiklet vb.), karbonhidrat alımı ve kan şekeri değerlerinin girilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece uygulama günlük olarak da kullanılabilir [95].



Şekil 3.1. Diabetes Diary uygulaması [95]

3.1.2. Android akıllı saat

Android işletim sistemi ilk olarak mobil cihazlar için tasarlanmış olsa da artık akıllı saatler ve diğer bazı giyilebilir cihazlarda da bu sistem karşımıza çıkmaktadır. Android akıllı saatler, Android işletim sistemine sahip mobil cihazlar ile bağlanarak, telefon üzerinde yapılabilecek bazı işlemler (elektronik posta ve mesaj okuma/gönderme, telefona gelen bildirimleri okuma, arama yapabilme, vb.) saat üzerinde kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayrıca telefonda olduğu gibi, Google Play Store üzerinden uygulamalar indirilerek, kullanılabilir [95].

Bu çalışmada Huawei markasına ait Watch 2 modeli kullanılmıştır (Şekil 3.2). Bu saati kullanarak telefon aramaları ve çabuk ödeme işlemleri yapılabilmektedir. Ayrıca bildirimleri alınabilir, günlük çalışma planları yapılabilir, akıllı ses asistanı ile keyifli bir şekilde kullanılabilir ve birçok

uygulama marketinden indirilip kullanabilmektedir. Sahip olduğu sensörler nedeniyle, yapılacak olan egzersizlerin takibi telefona gerek kalmadan yapılabilinmektedir. Ayrıca vereceği tavsiyeler ile yapılan egzersiz planı geliştirebilinmekte olup, daha motiveveli ve sağlıklı egzersizlerin yapılabilinmesine imkân sağlamaktadır. Bunların dışında Sim kart takılarak telefonda bağımsız olarak da kullanılabilinmekte olup, telefon taşımaya gerek kalmadan saat üzerinden arama, mesajlaşma gibi faaliyetler yapılabilinmektedir. Huawei Watch 2 model saate ait detaylı teknik bilgiler Ek 4’te sunulmuştur [96].



Şekil 3.2. Huawei Watch 2 [96]

Saat içerisindeki sensörler sayesinde, kullanıcı gün içerisindeki fiziksel aktivite değerlerini (adım, koşu, tırmanma, vb.) otomatik olarak kayıt edebilir ve güne özel egzersiz programları yapabilmekte olup, egzersiz sırasında anlık verilerini görüntüleyebilmektedir. Huawei Health uygulaması ile bu veri kayıtları hem telefonda hem de saat üzerinden görüntülenebilmektedir. Ayrıca kalp ritim değerini de ölçerek görüntüleyebilmektedir.

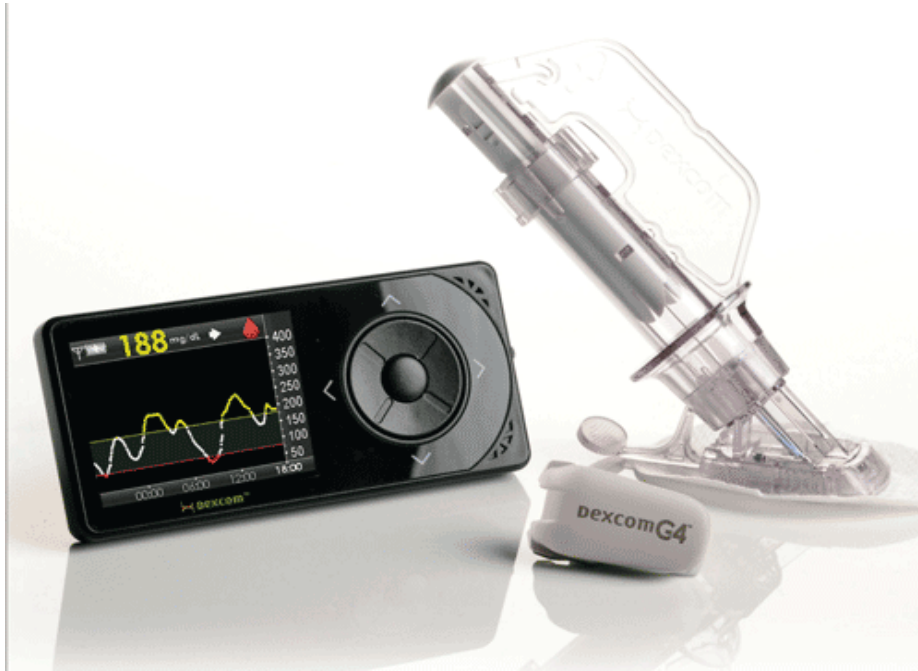
Akıllı saatler, günlük yaşamda sağlığı destekleme potansiyeline sahiptir. Bu cihazlar, uygun bir şekilde kullanıldığında diyabet teşhisi konmuş hastalara yeni klinik yönetim yaklaşımları sunma potansiyeline sahip olabilecek anlamlı ve güvenilir fiziksel aktivite verileri sağlayabilir. Bu akıllı cihazların görsel hedefleri gösterme ve tamamlandıktan sonra motivasyon grafikleri sunma yetenekleri göz ardı edilmemelidir. Egzersiz hedeflerine ek olarak bu cihazların çoğunluğu, akıllı

telefonlarla kablosuz olarak bağlanabilir ki bu otomatik olarak serbestçe veya şifre korumalı şekilde senkronize edilebilir [97].

Sahip olduğu sensörler, telefonsuz kullanabilme imkânı, egzersiz uygulamalarındaki kullanıcı yorumlarına göre alanında en iyi ve kaliteli saatlerden olması bu saatin proje için tercih sebebi olmuştur. Çünkü projede tasarlanan uygulamanın içerisinde fiziksel aktivite değer görüntüleme ve kalp ritmi ölçme işlemlerinin olması, bu konuda alanında en iyi saat modellerinden birini seçmemizi gerektirmiştir. Uygulama sadece bu model için tasarlanmamış olup, Android işletim sistemine sahip akıllı saat modellerinde de rahatlıkla kullanılabilir.

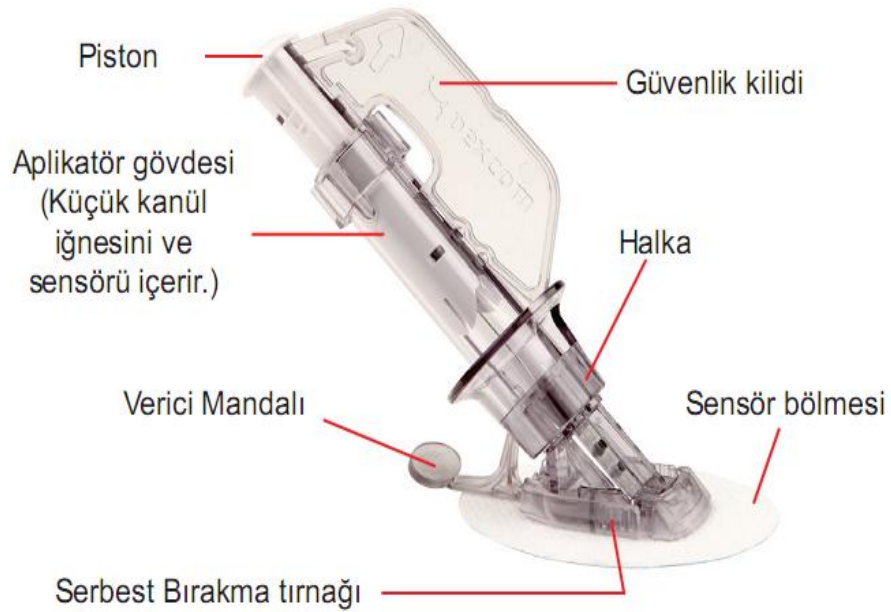
3.1.3. Dexcom G4 Platinum sensör

Glikoz değeri için Dexcom G4 Platinum sensörü kullanılmıştır. Dexcom CGM (Continuous Glucose Monitoring), sürekli kan şekeri ölçüm sistemidir. Kan şekerinizin ne zaman düşük, yüksek veya hedef aralıkta olduğunu ilave bir işleme gerek kalmadan (okutmadan) ekrandan sürekli takip edilebilmesini sağlar ve sürekli ölçüm yapar. Bu sensöre ait teknik bilgiler Ek 3’de sunulmuştur.



Şekil 3.3. Dexcom G4 Platinum ölçüm seti [98]

Dexcom G4 Platinum (Şekil 3.3), CGM (Continuous Glucose Monitoring) teknolojisini kullanarak glikoz ölçümü yapmaktadır. CGM sistemi, gece ve gündüz boyunca glikoz seviyelerini ve eğilimlerini takip etme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca cihaz, Amerika Birleşik Devletleri'nin Sağlık Bakanlığı'na bağlı; gıda, diyet eklentileri, ilaç, biyolojik medikal ürünler, kan ürünleri, medikal araçlar, radyasyon yayan aletler, veteriner aletleri ve kozmetiklerden sorumlu bürosu olan FDA (Food and Drug Administration) tarafından onaylıdır. CGM, günde ortalama 288 kez (her 5 dakikada bir) anlık kan şekeri değerini gösterir, aynı zamanda daha bilinçli diyabet kontrolü ve tedavi kararları için ilave bilgi sağlar. Tip 1 veya Tip 2 diyabetliler veya diyabetli çocukları için daha etkili kontrol sağlamak isteyen anne-babalar tarafından güvenle kullanılabilir. Çalışmalar, CGM sistemlerinin, insülin enjeksiyonları ya da pompa tedavisi zorunluluğu durumunda bile, A1C ve hipoglisemi riskini azaltmaya yardımcı olabileceğini göstermiştir [97]. Dexcom CGM, daha iyi bir diyabet yönetimi için kan şekeri ölçüm cihazının okunmasıyla elde edilen tahminlerin minimize edilmesine yardımcı olur [98]. Dexcom G4 Platinum, verici, alıcı ve sensör olmak üzere 3 (üç) parçadan oluşmaktadır:



Şekil 3.4. Dexcom G4 Platinum sensör aplikatörü [98]

Sensör, bir uygulayıcı, bir sensör yatağı ve bir adet sensörden oluşmaktadır (Şekil 3.4 ve 3.5). Sensör uygulandıktan sonra uygulayıcı çıkartılmalıdır. Sensör, derinin hemen altında kan şekeri seviyesini ölçer. Bu sensör genellikle kol, kalça veya karın gibi gizli bir bölgeye yerleştirilir. Cilt altında kalan kısım yaklaşık bir insan saç teli (26 gauge) kalınlığındadır. Sensör değiştirilmeden en fazla 7 güne kadar kullanılabilir. Sensörü çıkarmaya gerek kalmadan rahatça duş alınabilir veya yüzülebilir. Su geçirmez tasarıma sahiptir [98].



Şekil 3.5. Dexcom G4 Platinum sensör [98]

Verici, sensörün üstünde bulunan 3.81 cm uzunluğunda, 2.2 cm genişliğinde ve 1.27 cm kalınlığında gri renkte bir çiptir (Şekil 3.6). Glikoz verilerini kablosuz olarak alıcıya iletir. Veri iletimi, önü kapanmadığı sürece 6 (altı) metreye kadar sağlanabilmektedir. Fakat su içerisinde (havuz, jakuzi, su yatağı, vb.) iletişim iyi olmadığı için veri iletimi aralığı daha kısa mesafede sağlanmaktadır. Vericinin batarya ömrü en az 6 (altı) ay olup, düşük batarya uyarısı görüldüğü zaman kısa sürede vericinin yenisi ile değişmesi gerekmektedir.



Şekil 3.6. Dexcom G4 verici [98]

Alıcı, kan şekeri bilgilerini görüntüler (Şekil 3.7). Böylece kan şekeri seviyesinin ne zaman yüksek, düşük veya hedef aralıkta olduğunu görebilmektedir. Belirlenmiş olan yüksek veya düşük seviyelerde sesli ve titreşimli uyarıları sayesinde hedeflenen ideal kan şekeri aralığında kalınmasına yardımcı olur.



Şekil 3.7. Dexcom G4 alıcı [98]

Dexcom G4 Platinum, veri transferinin kablosuz olarak kolaylıkla sağlanabilmesi ve CGM sisteminden dolayı, verilerin anlık okunabilirliği bu cihazın glikoz değeri okuması için tercih sebepleri olmuştur. Bir diğer glikoz okuma sensörü olan FreeStyle Libre sensörü de glikoz veri iletimini kablosuz olarak gerçekleştiren sensörlerden birisidir (Şekil 3.8). Bu sensör kolun üst kısmına takılarak sadece yakın alan iletişimi (NFC-near field communication) teknolojisi yardımı ile veri transferini gerçekleştirmektedir. FreeStyle Libre glukoz ölçüm cihazında bir sensör 14 güne kadar kullanılabilir. Sensörler oldukça hafif ve ince yapıları olduklarından günlük hayatta kullanıcıyı rahatsız etmezler. Ayrıca sensörler sudan etkilenmedikleri için hastalar kolaylıkla duş alabilmekte ve denize girebilmektedir. Fiyatının daha uygun olması sebebiyle, ülkemizde daha yaygın olarak kullanıma sahiptir [99].

FreeStyle Libre sensörünün (Şekil 3.8) DEXCOM G4 sensöründen en önemli farkları 15 dakikada bir ölçüm alabilmesi (günde 96 ölçüm) ve üzerinde NFC verici dışında başka verici bulunmamasıdır. Verici bulunmamasından dolayı hasta, 15 dakikada bir elindeki NFC okuyucu cihazı koluna 3-4 santim

yaklaştırarak değer okutmalıdır. Doğrudan saate ve telefona bir veri aktarımı olmadığı için bu nispeten dezavantajlı bir durumdur. Dexcom G4 Platinum cihazının iletimdeki kolaylığı, kullanıcının sürekli telefon ve saat gibi NFC veri iletişim teknolojisine sahip cihazları sensör üzerinden okutmak zorunda kalmamaları bu cihazın tercih edilmesini sağlamıştır.



Şekil 3.8. Freestyle Libre sensörleri ve NFC alıcı [99]

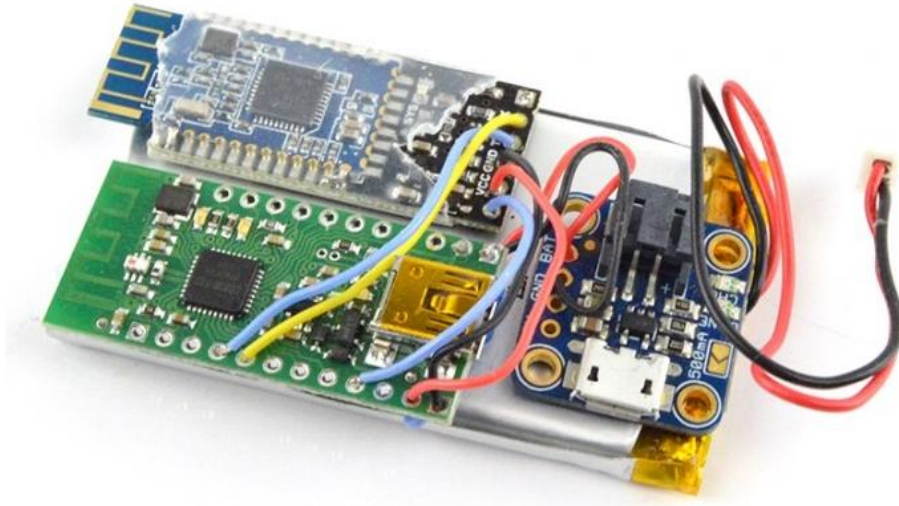
Bu çalışmada Dexcom G4 alıcısı yerine xDrip modülü kullanılmıştır. Çünkü vericiden gelen verilerin akıllı cihazlara iletimi, Dexcom'un kendi alıcısı tarafından yapılamamaktadır.

3.1.4. xDrip/Nightscout modülü

xDrip, Dexcom G4 Verici ile cep telefonu gibi Bluetooth Düşük Enerji özellikli bir cihaz arasında köprü görevi görür. Bir Dexcom G4 verici paketinden gelen verileri programlanabilir radyo olan Wixel aracılığıyla alarak, Bluetooth ile tekrar telefona gönderir (Şekil 3.9). İçeriğindeki bileşenler şu şekildedir:

- 1xPololu Wixel,
- 1xAdafruit Micro Lipo Charger with Usb Jack veya benzeri,
- 1x10k ve 1x27k direnç,
- 1xHM-1X(HM-10 veya HM-11) BLE modül,

- 1x3.7V Lityum Polimer (LiPo) batarya,



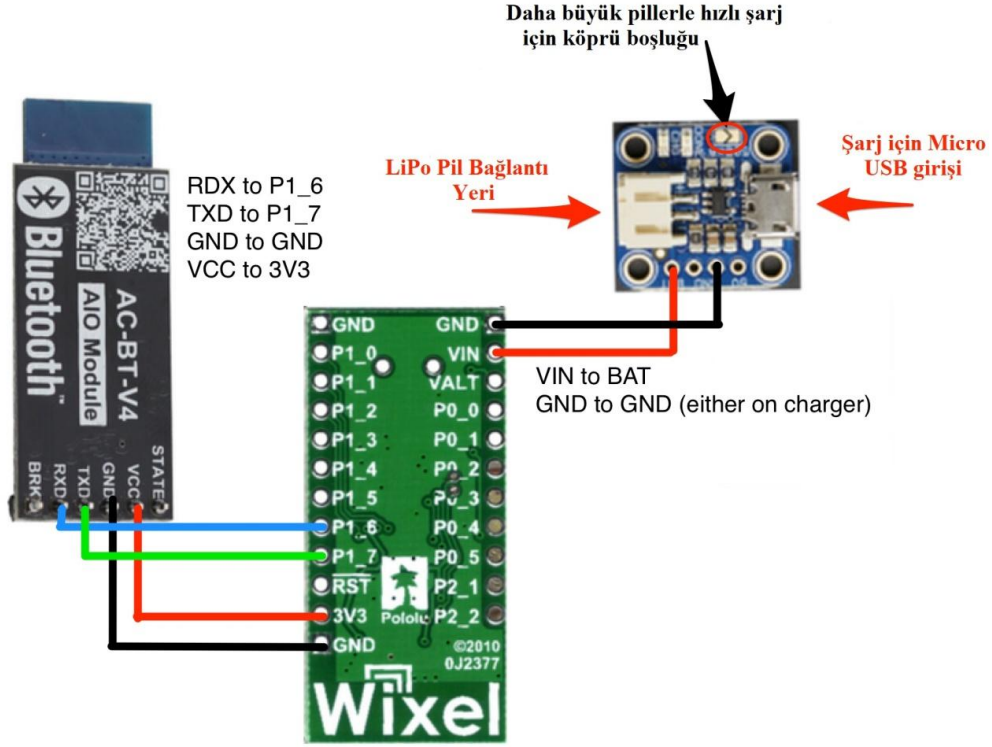
Şekil 3.9. xDrip köprü modülü

Dexcom G4'ten sadece 3 veri parçası gönderilir. Bunların ikisi 32 bitlik glikoz değerleri ve diğeri ise Dexcom G4'ün batarya durumunu gösteren 8 bitlik bir değerdir. HM-10 BLE Modülü ile xDrip Devre Şeması Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Çalışmada, xDrip köprü modülünün Dexcom G4 alıcının yerine tercih edilmiştir. Bunun nedeni, bu modülün Android cihazlarla bağlantı kurabilmesi ve veri akışı sağlayabilmesidir. Veri sensörden herhangi bir Android cihaza transfer edilebilerek, kullanıcı rahatlıkla glikoz değerini kendi cep telefonunda görebilmektedir. Böylece telefon dışında herhangi bir alıcı cihaz yanında taşınmasına gerek kalmamaktadır. Diğer bir neden olarak da Dexcom alıcının maliyeti söylenebilir. Ayrıca xDrip açık kaynak kodlu yazılım ve donanımdır. Açık kaynaklı donanım, tasarımı herkese açık hale getirilen donanımdır, böylece herkes bu tasarımı temel alan tasarımı veya donanımı inceleyerek, değiştirerek dağıtabilir, yapabilir ve satabilir.

Nightscout projesi, verileri bir web uygulamasına, akıllı telefon uygulamasına ve smartwatch uygulamasına göndererek, bir cep telefonuna bağlı sürekli glikoz monitörüne (CGM) gerçek zamanlı erişim sağlayan açık kaynaklı bir projedir. xDrip, CGM sensörü tarafından iletilen kablosuz sinyalleri okuyan ve Bluetooth Smart-Energy (BLE) aracılığıyla bir akıllı telefona veri gönderen açık

kaynaklı bir donanımdır. Akıllı telefon uygulamasından, veriler ayrıca Nightscout veritabanına da iletilebilir [100].



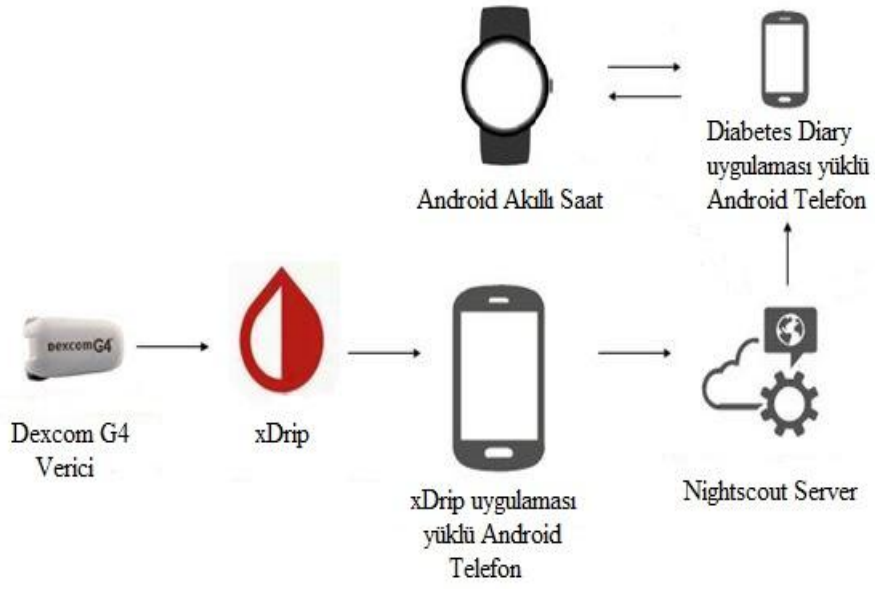
Şekil 3.10. HM-10 BLE modülü ile xDrip devre şeması

3. 2. Yöntem

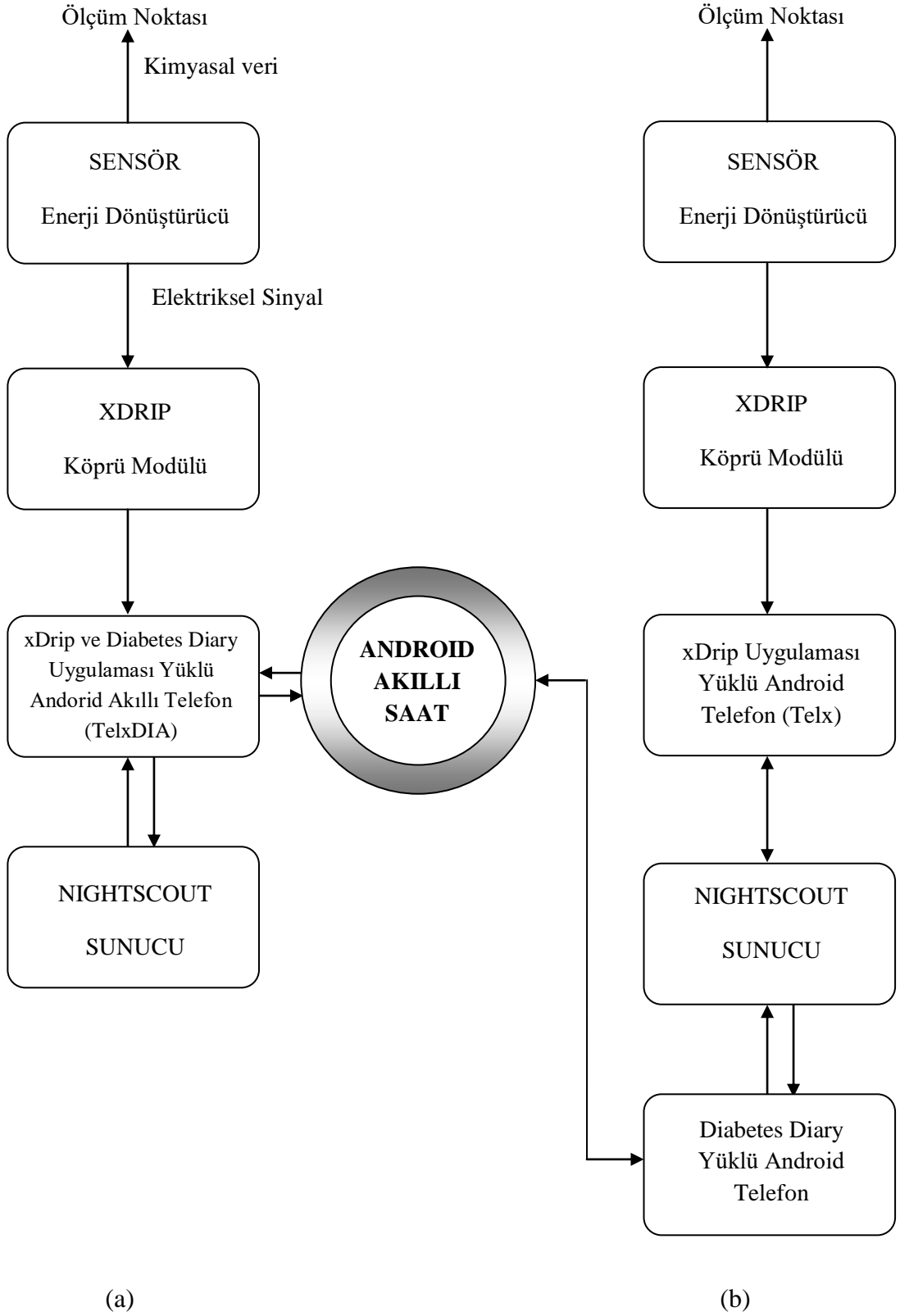
Dexcom glikoz sensörü tarafından okunan veri, verici tarafından xDrip köprü modülü aracılığı ile telefona iletir. Bu işlemin kontrolü, telefon içersinde yüklü olan xDrip uygulaması ile sağlanır. Uygulama ile modülün Dexcom sensörüne Bluetooth aracılığıyla bağlanması sağlanır. Ardından bu uygulama sayesinde telefon, veriyi Nightscout sunucusuna göndermektedir. Sunucudaki veri, sunucuya bağlı cihazlar tarafından alınarak görüntülenebilmektedir. Ölçüm sisteminin çalışma prensibi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Geliştirilen Android saat uygulaması veriyi, Nightscout sunucusuna bağlı olan Diabetes Diary uygulaması yüklü telefonda almaktadır. Başka bir ifade ile geliştirilen uygulama, “Diabetes Diary” uygulamasının Android akıllı saat versiyonudur. Saat ile telefon eşleştirildiği zaman iki uygulama da otomatik

olarak senkron halde çalışmaktadır. Saatin direk sunucudan veri alma çalışmaları henüz tamamlanmamış olup, bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca saat üzerinden ve telefon üzerinden de değerler girilerek, günlük olarak kullanılabilmekte ve hastanın yaşam konforu arttırılabilmektedir. Uygulama Java programlama dili kullanılarak, Android cihazlar için resmi geliştirme ortamı olan Android Studio üzerinde tasarlanarak geliştirilmiştir.



Şekil 3.11. Ölçüm sisteminin çalışma diyagramı



Şekil 3.12. a) Kişisel glikoz takip sistemi için akış diyagramı; b) Ailelerin diyabet hastası olan çocuklarını takip etmeleri için kullanılan sisteme ait akış diyagramı

Şekil 3.12’de, sistemin akış diyagramı iki farklı kullanım şekli sunulmuştur. Şekil 3.12a’daki akış diyagramı bireysel kullanım için olup, ayrı bir telefona gerek kalmadan bir Android telefon üzerinden kullanıcıya gerekli verileri sunabilmektedir. Burada veriler telefona xDrip uygulamasıyla alınır ve yine aynı uygulama ile sunucuya gönderilir. Sunucudan Diabetes Diary uygulaması ile veriler alınarak telefonda gösterimi sağlanır ve akıllı saate aktarılır. Şekil 3.12b ise daha çok diyabet hastası olan çocuklarının durumunu uzaktan anlık takip etmek isteyen ebeveynlere yönelik olarak geliştirilmiştir. Bireysel uygulamaya göre en büyük farkı fazladan verinin internet üzerinden sunucuya iletilmesini sağlayacak, üzerinde sadece xDrip uygulaması olan bir telefon kullanılıyor olmasıdır. Burada verilerin okunmasını ve saate aktarılmasını sağlayan Diabetes Diary uygulaması yüklü olan telefon ebeveynlerde bulunmaktadır.

3.2.1. Android Studio

Android Studio, Android için resmi tümleşik geliştirme ortamıdır (IDE). 16 Mayıs 2013 tarihinde Google I/O etkinliğinde tanıtılmış olup, IntelliJ IDEA'ya dayalıdır. Android geliştirme için özel olarak tasarlanmıştır. Android Studio üzerinden telefon, tablet ve giyilebilir cihazlar (saat, gözlük vb.) için uygulamalar geliştirilebilmektedir. Android uygulamaları Java programlama dilinde yazılmaktadır. Ayrıca Google, 2017’den itibaren Kotlin programlama dilini Android platformu için destekleyeceğini açıklaması ile Kotlin programlama dili de geliştirme için kullanılabilir.

Java, basit, nesne yönelimli, modern bir programlama dilidir. Her platformda çalışabilme yeteneğine sahiptir. Bu yetenek, onu yalnız bilgisayarlarda değil, internet uygulamalarına, cep telefonlarına, oyun makinelerine, ev aletlerine kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmasını sağlamıştır. Bu nedenle Java hem algoritma dili, hem de bir ortam olarak düşünülebilir. Bu ortamda, işletim sistemleri, veritabanı ve ağlar yer almaktadır. Uygulama sayfalarında verilerin gösterimi için TextView, verilerin kullanıcı tarafından girilerek düzeltilmesi veya değiştirilmesi için EditText nesnelere kullanılmıştır.

Projede, uygulama Android Studio arayüzünde Google’ın giyilebilir akıllı saatler için oluşturduğu Wear OS platformunda geliştirilmiştir ve geliştirilirken

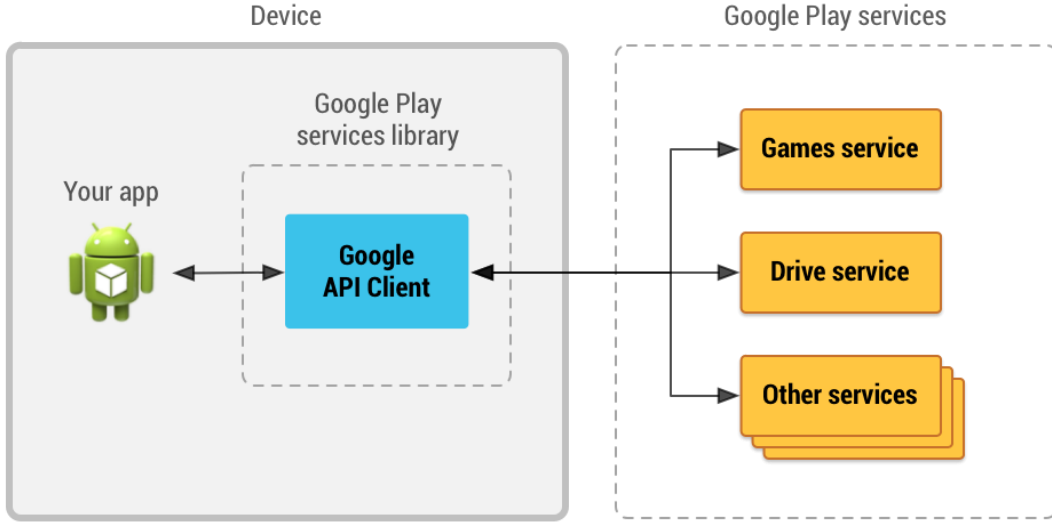
Google'ın bazı kütüphaneleri kullanılmıştır. Bunlar; giyilebilir cihazlar için Android Wear SDK, Google uygulamalarından veri almak için Google Play Services, cihazlar arası iletişim için Google'un DataClient, saat içerisinde bulunan dahili sensörlerden değer okumak için SensorEventListener ve sayfalar arası geçişi sağlamak için ise ViewPager kütüphaneleridir. Wear OS platformu ve çalışmada kullanılan kütüphanelerle ilgili ayrıntılı bilgi aşağıda verilmiştir.

i) Android Wear OS: Android Wear OS ile kullanıcıların bağlantıda kalmasını, görevleri tamamlamasını ve kendilerini ifade etmesini sağlayan uygulamalar yazılabilmektedir. Wear OS, Android tabanlı olup giyilebilir akıllı saatler için optimize edilmiştir. Ayrıca Wear OS saat arayüzü geliştirme gibi farklı ve yeni geliştirme seçenekleri de sunmaktadır.

ii) Android Wear yazılım geliştirme kiti (SDK): Android Wear SDK, Android işletim sistemine sahip giyilebilir cihazların kullanması için Google tarafından oluşturulmuş bir uygulama programlama arayüzüdür (API). 2015 yılının başlarında Android Developer web sitesi tarafından duyurulmuş olup kullanımına başlanmıştır. Wear SDK, şimdilik sadece akıllı saatler için geliştirilmiştir. Fakat ileride diğer giyilebilir cihazlar (şapka, ayakkabı, vb.) için de genişletilerek, kullanılabilir olacaktır. Android Wear SDK ayrı bir işletim sistemi sağlamaz. Fakat aslında Android işletim sisteminin, Android giyilebilir uygulamasının bir kısmını ana Android cihazınızda çalışmasını gerektiren bir uzantısıdır. Bu normalde bir Android telefon gibi olacaktır. Yani onun gibi kullanımı kolay, dünya geneli geniş ağlara ve taşıyıcılara bağlanabilen bir cihaz tipidir [101].

iii) Google Play Services: Google Play Services ile uygulama Google Play Store üzerinden APK olarak dağıtılan otomatik platform güncellemeleriyle Google Haritalar, Google+ ve daha fazlası gibi en yeni Google özelliklerinden yararlanabilir. Bununla birlikte Google tarafından sunulan en yeni güncellemeleri de alınmasını kolaylaştırır. Play Services üzerinden veri transferi için öncelikle uygulama geliştirme arayüzü istemcisi (Api Client) oluşturulmalıdır. Bunun için Google Api Client kütüphanesi kullanılır. Oluşturulan GoogleApiClient ile cihazda bulunan Google ait uygulamaların verilerine ulaşılabilir. Örneğin, akıllı saatlerde fitness uygulaması yapmak isteyen bir kullanıcı, saat üzerinde bulunan

GoogleFit uygulamasındaki verilere GoogleApiClient üzerinden ulaşarak, bu verileri kendi uygulamasında da kullanabilmektedir. Şekil 3.13’de de görüldüğü üzere, Google Api Client, Google Play Services kütüphanesine ortak bir giriş noktası sağlar ve kullanıcının cihazı ile her Google hizmeti arasındaki ağ bağlantısını yönetir [102].



Şekil 3.13. Google Api Client çalışma diyagramı [102]

iv) DataClient: DataClient kütüphanesinde veri transferi için veya cihazlar arası senkronizasyonu sağlamak için ilk önce veri DataItem nesnesine atanır. Çünkü bir Android Wear ağında cihazlar arası senkronizasyon DataItem’lar ile olur. Her veri bir yol (path), düğüm (node) ve tekdüzen kaynak tanımlayıcısına (Uri) bağlıdır. Eşleşme için veri çağrılacağı zaman, veriye ait Uri, node ve path bilgileri dikkate alınarak bu bilgiler doğrultusunda veriler alınır [103]. Veri öğeleri, bunları oluşturan uygulamaya özeldir ve yalnızca bu uygulama tarafından diğer düğümlerde erişilebilir. Resimler gibi daha büyük, daha kalıcı veri nesnelerini aktarmak için genellikle küçük boyutlu olmalıdırlar. Her veri ögesi, ögenin yaratıcısını ve yolunu gösteren bir Uri ile tanımlanır. Örneğin, bu çalışmada glikoz için REGISTRATION_GLUCOSE_RECORD, insulin için REGISTRATION_INSULIN_RECORD ve karbonhidrat değeri için ise REGISTRATION_CARBOHYDRATE_RECORD isimli her biri kendisine özel Uri değerleri tanımlanmıştır. Verilerin telefon tarafından gönderilmesi için DataClient kütüphanesine bağlı DataMap metodu kullanılmıştır. DataMap verileri haritalayarak bir konuma yerleştirir. Bunun için ilk olarak putDataRequest sınıfı

ile veri ögesi (DataItem) tanımlanmalıdır. Daha sonra alınan bu veri putDataMapRequest sınıfı ile DataMap üzerinde bir konuma yerleştirilmelidir. Bu yerleştirme işlemi sırasında her verinin aynı zamanda şifre görevi gören anahtar değer sabitleri de tanımlanmalıdır. Bu değerlere göre verilerin transferi sağlanacak olup bu işlem oldukça önemlidir. Bu çalışmada, yapılan akıllı saat uygulamasının eşzamanlı halde çalıştığı Android akıllı telefon uygulaması olan “Diabetes Diary” uygulaması içerisinde AndroidWearDataSource adı altında bir Java sınıfı oluşturulmuştur. Bu sınıf, telefondaki veriyi alarak putDataMapRequest metodu yardımı ile saat uygulamasına göndermektedir. Ayrıca aynı metot yardımı ile veri saat üzerinden telefona gönderilebilmektedir. Değişen verinin saat veya telefon tarafında okunması tanımlanan DataClient kütüphanesine bağlı DataClient.OnDataChangeListener isimli metot tarafından sağlanır. Bu metot veri değiştiği zaman, değiştiğini anlayarak veriyi alır. Her iki cihazdaki uygulamalar içerisinde bu metot tanımlanmıştır. Böylece veri değiştiği zaman dinleyiciler tarafından algılanarak uygulama ekranında gösterilmektedir.

v) SensorEventListener: Bu kütüphane, Android cihaz dâhilinde yer alan sensörlerin dinlenmesini onSensorChanged() metodunu kullanarak sağlar. Fiziksel aktivite ve kalp ritim değerlerinin okunması bu metot tarafından yapılmaktadır. Sensörden her yeni yapılan okuma değerinde bu metot çağrılır ve okuma yapılarak değer alınmaktadır.

vi) ViewPager: Bu kütüphane saat uygulaması içerisindeki değerlere ait olan sayfaların sağa veya sola kaydırılarak geçişinin sağlanması için kullanılmıştır. ViewPager, daha çok uygulaması ve yönetmesi daha rahat olan Fragment’ler ile birlikte kullanılmaktadır. Bu nedenle, değer sayfaları Fragment şeklinde oluşturularak, ViewPager kullanılmış ve bu sayede sayfalar arası geçiş daha rahat ve sorunsuz bir şekilde yapılması sağlanmıştır.

3.2.2. GIMP-GNU görüntü manipülasyon programı

GIMP, açık kaynak kodlu fotoğraf düzenleme ve tasarım programıdır. GNU/Linux, OS X, Windows ve birçok işletim sisteminde kullanılabilen, fotoğraf

rötuşlama, görüntü kompozisyonu ve görüntü yazma gibi görevler için serbestçe dağıtılmış bir programdır [104].

Bu çalışmada, sayfaların arka plan resimlerinin tasarımı için kullanılmıştır. Kolay kurulumu, profesyonel bilgi gerektirmeden kullanım kolaylığı, açık kaynak kodlu olması, serbest dağıtılmış bir program olması ve az yer kaplayarak hızlı çalışması bu programın tasarım için seçilmesinin başlıca nedenleridir. Tasarım için alternatif olarak Adobe Photoshop programı da kullanılabilir. Fakat bu programın profesyonel kullanım gerektirmesi, güçlü donanıma sahip bilgisayar istemesi ve paralı olması nedeni ile bu program tercih edilmemiştir.

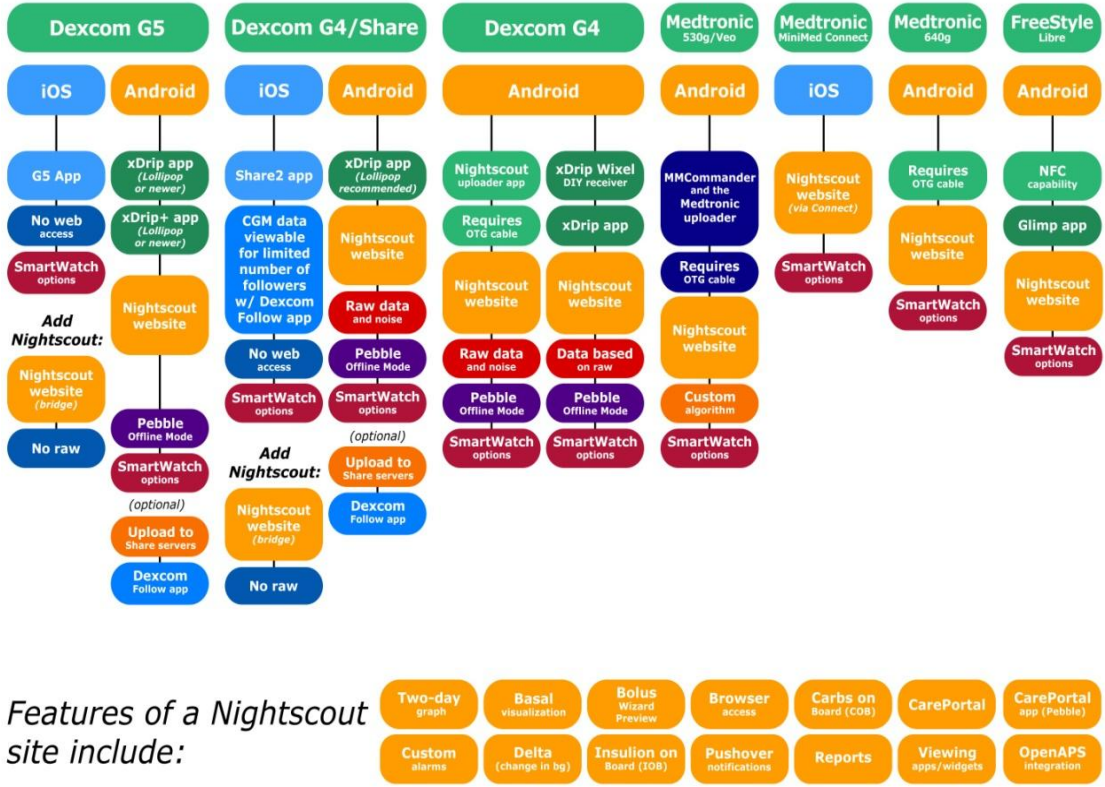
3.2.3. Nightscout Server

Nightscout, Tip 1 Diyabetli (T1D) çocukların ebeveynleri tarafından geliştirilmiş olup, gönüllüler tarafından geliştirilmeye, sürdürülmeye ve desteklenmeye devam etmektedir. İlk uygulandığında, Nightscout, Dexcom G4 CGM verilerinin uzaktan izlenmesi için özel bir çözümdü. Bugün, Dexcom G4, Android ile Dexcom Share, iOS ile Dexcom Share / G5 ve Medtronic için Nightscout çözümleri de mevcuttur. Nightscout ayrıca #openAPS kullanıcıları ve Loop kullanıcıları için tarayıcı tabanlı görselleştirme sağlamaktadır. Projenin amacı, mevcut izleme cihazlarını kullanarak bir T1D'nin glikoz seviyesinin uzaktan izlenmesine izin vermektir [105].

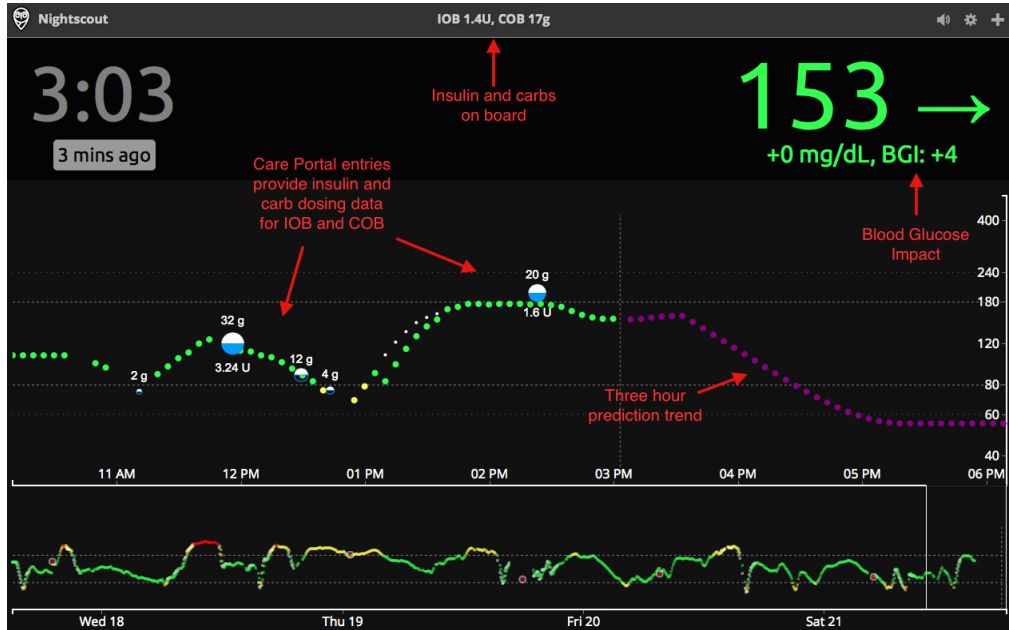
Şekil 3.14, Nightscout kullanarak CGM uzaktan izlemesini kurmak için mevcut yollara genel bir bakış sunmaktadır. Bu çalışmada, CGM verileri Dexcom G4 tarafından telefona gönderilmiştir. Fakat yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere CGM verilerinin cihazlar üzerinde görünmesi için Dexcom G4 veya G5 sensörü kullanmak zorunluluğu bulunmamaktadır. Bir diğer sensör olan FreeStyle Libre sensörü ile de CGM verilerine ulaşmak mümkündür.

Nightscout sunucusu üzerinde CGM verileri saatler ve günler ayrı olmak üzere grafiksel olarak da görüntülenebilmektedir. Glikoz verilerinin yanı sıra insülin ve karbonhidrat verileri de grafik üzerinde görüntülenmektedir. Alınan insülin ve karbonhidrat miktarları, alındığı zamana göre grafikte görülebilir ve ayrıca gelecek 3 saatlik tahmin de grafik olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Glikoz değerlerinin en son ne zaman ölçüm yapıldığı, glikoz değerine göre glikoz

verisinin renkli olarak (yeşil, kırmızı, vb.) ve oklarla gösterimi kullanıcının durumunu daha iyi anlayabilmesi için sunulmuş ayrı bir özelliktir (Şekil 3.15).



Şekil 3.14. Nightscout sunucusu üzerinden CGM verisi alma yolları [105]



Şekil 3.15. Nightscout CGM gösterimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Uygulamanın ismi “Diabetes Diary” olup, Norwegian Centre for e-Health Research tarafından geliştirilen Android telefon uygulaması olan “Diabetes Diary” uygulamasının Android akıllı saat versiyonudur.

Uygulamada her bir değer için sayfa oluşturulmak üzere toplamda 5 sayfa tasarlanmıştır. Her sayfanın kendisine özel tasarımı ve arka planları olup, özellikle glikoz, insülin ve fiziksel aktivite sayfalarında, sayfa arka planı, değerlere göre değişiklik göstermektedir. Sayfalar arası geçiş sağa ve sola kaydırılarak yapılmaktadır. Bu sayfalar dışında ayrıca uygulama için tüm değerlerin ve zamanın bir arada görülebileceği bir arayüz (WatchFace) tasarlanmıştır. Bu amaca yönelik farklı sınıflar ve modüller şeklinde Java programlama dili kullanılarak yaklaşık 4000 satır kod yazılmıştır. Buna uygun olarak yazılan programlardan, saat uygulaması içerisinde geliştirilmiş glikoz verisinin saat üzerinde uygun arayüzlerle görünmesini sağlayan ve telefon uygulaması içerisinde geliştirilmiş telefon ile saat arasındaki veri alışverişini sağlayan iki ayrı Java aktivitesi Ek 1 ve Ek 2’de sunulmuştur.

4.1. Uygulama Sayfaları

4.1.1. Glikoz sayfası

Glikoz sayfası 3 farklı renkte arka plana sahiptir. Her arka plan resminin bir amacı vardır. Hepsi glikoz değerinin durumuna göre kullanıcıyı rengi ve tasarımındaki yüz ifadesi ile kullanıcının değeri okumasına gerek kalmadan durum bilgilendirmesi yapmaktadır. Burada, bir yandan durumun rahat gözlenmesini sağlamak olup diğer yandan kullanıcıyı motive etmesi amaçlanmıştır. Diyabet rahatsızlığına sahip hastalardan alınan geri bildirimlere göre tasarlanmış olup, bu konuda oldukça olumlu geri dönüşler elde edilmiştir.

Glikoz değeri 4 *milimol/Litre (mmol/L)*’den büyük 10 *mmol/L*’e eşit veya küçük ise glikoz değeri istenilen aralıktadır. Böylece ekran yeşil renge ve gülen bir yüz ifadesine dönüşmektedir (Şekil 4.1a).

Değer 10 *mmol/L*'den yüksek ve 20 *mmol/L*'den düşük ise glikoz değeri tehlikeli bir durumda değil fakat yine de dikkat edilmesi gereken bir aralıktadır. Bu nedenle ekran sarı renge ve normal bir yüz ifadesine dönüşmektedir (Şekil 4.1b).



(a)

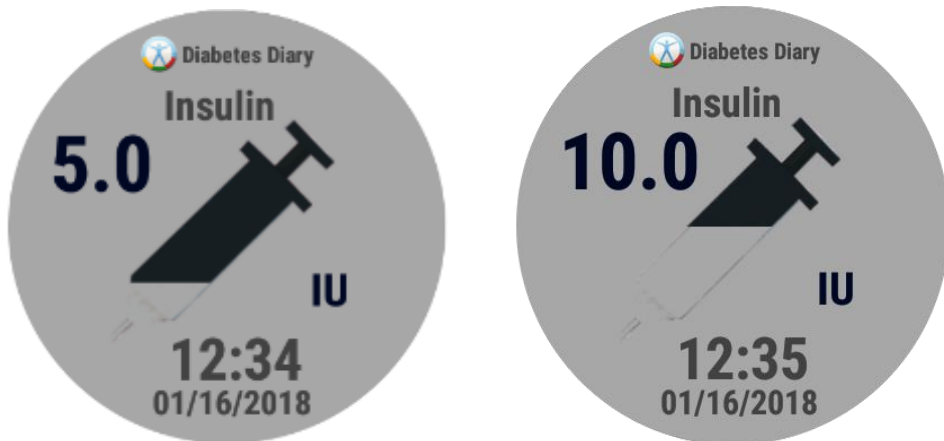
(b)

(c)

Şekil 4.1. (a-c) Glikoz sayfası arka planları

Eğer değer 4 *mmol/L*'e eşit ve 20 *mmol/L*'den yüksek ise glikoz değeri tehlikeli aralıkta olup istenilmeyen durumdadır. Böylece ekran kırmızı renge ve üzgün bir yüz ifadesine dönüşmektedir (Şekil 4.1c). Bunların yanı sıra her 3 durumda da ekranda anlık saat ve günlük tarihi de görmek mümkündür.

4.1.2. İnsülin sayfası



Şekil 4.2. İnsülin sayfası

İnsülin sayfası ortasında içi boş bir enjektör yer almaktadır. Bu enjektör insülin değerine kadar dolup boşalmaktadır. Burada amaç kullanıcıya görsel açıdan daha iyi ve motive edici bir tasarım sunmaktır. Enjektör 0 – 20 *iu* (*international unit*) arası insülin değerine göre dolmaktadır. Ayrıca ekranda anlık saat ve günlük tarihi de görmek mümkündür (Şekil 4.2).

4.1.3. Karbonhidrat sayfası

Karbonhidrat sayfası tek bir arka plana sahiptir. Tasarım tabak, çatal ve kaşıktan oluşmaktadır. Tabak deseninin ortasında değişen karbonhidrat miktarı *gram (gr)* cinsinden görülebilmektedir. Ayrıca diğer sayfalarda da olduğu gibi anlık saat ve günlük tarihi de görmek mümkündür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Karbonhidrat sayfası

4.1.4. Fiziksel aktivite sayfası

Fiziksel aktivite sayfasında adım sayıları gösterilmektedir. Kişi ayrıca günlük adım hedefini de bu sayfa üzerinden “Goals” yazısının altındaki hedef adım sayısına dokunarak sayı girme ekranını açabilir. Böylece hedef sayıyı girebilmektedir. Sayfanın etrafını çevreleyen çember şeklindeki mavi renkteki ilerleme çubuğunun maksimum değeri, belirtilen hedef sayısına göre değişmektedir. Bu çubuk her adımda hedefe doğru dolarak kullanıcının hedefine ne kadar yaklaştığını görsel bir ifade ile gösterir. Adım sayısı, saate entegre olan sensörden alınmaktadır. Adım sayısı değeri günlük; yani 24 saatte bir

sıfırlanmaktadır (Şekil). Bu değer saat içerisinde dâhili olarak bulunan ivmeölçer sensörü tarafından okunmaktadır.



Şekil 4.4. Fiziksel aktivite sayfası

İvme sensörü, yerçekimi kuvveti de dâhil olmak üzere cihaza uygulanan kuvvetleri ölçerek ivme değerini hesaplamaktadır. Bu saat içerisindeki ivme sensörü, kavramsal olarak aşağıdaki ilişkiyi kullanarak sensöre uygulanan kuvvetleri (F_S) ölçmekte ve cihaza uygulanan ivmeyi (A_D) belirlemektedir.

$$A_D = - \left(\frac{1}{Ağırlık} \right) \sum F_S \quad (4.1)$$

Bununla birlikte, yerçekimi kuvveti de aşağıdaki ilişkide belirtildiği gibi her zaman ölçülen ivmeyi etkilemektedir.

$$A_D = -g - \left(\frac{1}{Ağırlık} \right) \sum F_S \quad (4.2)$$

Bu nedenle cihaz bir masa üzerine konulduğunda ivmeölçer $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ büyüklüğünde değer okumaktadır. Benzer şekilde, cihaz serbest düşüşte olduğunda ve bu nedenle 9.81 m/s^2 ivme hızla yere doğru hızlandığında, ivmeölçer $g = 0 \text{ m/s}^2$ büyüklüğünde değer okumaktadır. Böylece, cihazın gerçek ivmesini ölçmek için, ivme değerinden yer çekiminin katkısını çıkarmak gerekmektedir. Bu işlem yüksek geçirgen filtre kullanılarak yapılmaktadır.

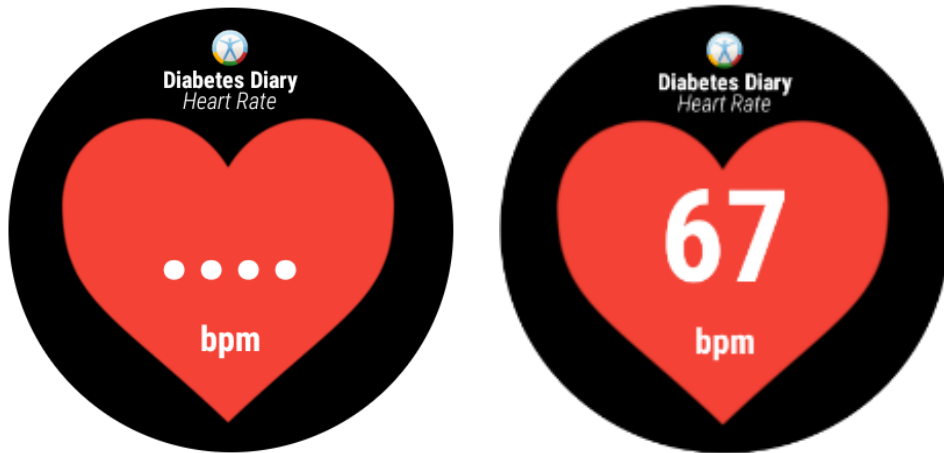
Tersine, düşük geçirgen filtre de kullanılarak yer çekimi kuvveti yalıtılmaktadır. rnek olarak bir düşük geçirgen filtre sabiti (α) oluşturulmuştur. Bu filtre sabiti, filtrenin sensör olaylarına eklediği gecikmenin kaba bir gösterimi olan bir zaman sabiti (t) ve sensörün olay iletim hızından (dt) aşağıdaki şekilde türetilmiştir.

$$\alpha = \frac{t}{(t+dT)} \quad (4.3)$$

Genel olarak ivmeölçer sensörü cihaz hareketi izlemek için iyi bir sensördür ve Android destekli cihazlarda diğer hareket sensörlerinden (yn, denge, vb.) 10 kat daha az g kullanmaktadır [106].

4.1.5. Kalp ritmi sayfası

Kalp ritmi sayfasında ortada kalp şeklinde bir resim bulunmaktadır. Bu resmin orta kısmında ise kalp ritim değeri görülmektedir. Bu değer anlık olarak değişmekte olup direk olarak saatteki entegre sensörden alınmaktadır. Kalp ritmi ölçümü için sayfa açıldığında ilk olarak 4 (dört) nokta görülecektir. Bu noktalar ölçümün yapıldığını ifade etmekte olup biraz bekledikten sonra kalp ritim değeri görülebilmektedir (şekil 4.5). Kalp ritim değeri, saat içerisinde dâhili olarak bulunan kalp atış hızı sensörü tarafından okunmaktadır.



şekil 4.5. Kalp ritmi sayfası

Kalp atış hızı sensörü, fotopletismografi (PPG) metodunu kullanmaktadır. PPG, nabız oranlarını izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. PPG, mikrovasküler yatakta kan hacmi değişikliklerini tespit etmek için kullanılabilir basit ve düşük maliyetli bir optik tekniktir. Bu deri üzerinde kan akış hacminin ölçülmesine yarayan non-invaziv bir yöntemdir. Temel PPG sadece birkaç optoelektronik bileşen gerektirir. Sensör, cilt dokusunu aydınlatmak için bir ışık kaynağından ve doku hacmindeki perfüzyon değişiklikleriyle ilişkili ışık yoğunluğundaki küçük varyasyonları ölçmek için bir fotodedektörden oluşur. Lazerler gibi güçlü kaynaklar haricinde, ışık insan vücudu üzerinde çok az doğrudan etkiye sahiptir. Işık sadece invaziv olmayan ölçümler için değil, aynı zamanda biyometrik sinyalleri hızlı ve kolay bir şekilde elde etmek için de kullanılabilir.

PPG'nin iki türü vardır: İletilen ve yansayan. İletilen tipte PPG, genel olarak kızılötesi ışık kaynağı (dalga boyu 600–1,300 *nm*) kullanmaktadır. Bu dalga boyu aralığı cilt üzerinde geniş bir penetrasyon derinliğine sahiptir. Bira-Lambert Yasasına göre, penetrasyon derinliği esas olarak hemoglobinin emilimine bağlıdır ve bu nedenle, mavi veya yeşil ışık gibi daha kısa dalga boylarının ışığı, kızılötesi gibi daha uzun dalga boylarının ışığından daha az nüfuz etmektedir. Bununla birlikte, arteriyel nabızlar deriden deri üzerinde iletilen ışık ile kaydedilir. Bu nedenle, ölçüm alanı deri üzerinde (kulak, parmak, vb.) yani dış kenara ait bir yerdir [107].

Aksine, yansıtılan PPG ise herhangi bir vücut parçasına uygulanabilmektedir. Ayrıca, eğer ışık kaynağı ile algılayıcı arası mesafe kısa ise sinyal, kısa bir nüfuz ile elde edilebilmektedir. Yüzeysel dokuda, yeşil ışık yansayan ışığın daha kısa delme derinliğinde, kan hacminin açık bir göstergesini elde etmek için kullanılmaktadır. Bu rapor, PPG için kızılötesiden daha kısa yansayan dalga boylarının olası kullanımını açıklamaktadır [108].



Şekil 4.6. Kullanılan saat içerisinde yer alan PPG ritim sensörü [109]

Yansıma fotopletizmografisinde, bir vücut üzerinde nabız ölçülecek yere, bir ışık kaynağı ve ışık detektörü yerleştirilir. Çalışmada kullanılan akıllı saatin arka tarafına yerleştirilen sensör üzerinde ışık kaynağı ile dedektörü Şekil 4.6'de gösterilmiştir. Genel olarak kullanılan ışık kaynağı, kızılötesi ışık yayan bir diyottur ve kullanılan detektör ise fototransistördür. El bileği, akıllı saat içerisindeki sensör tarafından aydınlatıldığında, bilekte kan hacmine bağlı olarak üç şey olmaktadır: Bunlar, ışığın belli bir miktarının emilmesi, ışığın belli bir miktarının iletilmesi ve belli bir miktar ışığın yansıtılmasıdır [110]. Yansıyan ışığın yoğunluğu, bilekteki kan hacmine göre değişmektedir. Bu kan hacmi ise nabıza göre değişiklik göstermektedir.

PPG sinyali AC ve DC olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. AC bileşeni DC bileşenin üzerinde yer almaktadır. AC bileşeni, atardamar kan hacmindeki pulsatil değişikliklerin sonucudur. Bu atardamar kan hacmi, kalp atımı ile eşzamanlı olduğundan, AC bileşeni kalp hızını ölçmek için kullanılabilir. DC bileşeni ise dokular, kemikler ve ortalama kan hacmi ile ilgilidir. Bu DC bileşeni, AC bileşeni analiz etmek için çıkarılmalıdır. Sonuç olarak, ortaya çıkan PPG sinyali, kalp atış hızının saptanmasında kullanılmadan önce filtrelenmeli ve genişletilmelidir.

Sensör okuma aşamaları için tasarlanan devre 3 adet aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, ilk olarak sensör okuma, sonra ilk aşama sinyali koşullandırma ve en son olarak ikinci aşama sinyal koşullandırma kısımlarıdır. Bu devrede, ilk aşamada optik yansıtıcı sensör tarafından sensör değeri okunur. Bu değer ışık yayıcı ve fototransistör tarafından okunarak elde edilir. Daha sonra

okunan değer, alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirmek üzere ikinci aşamaya geçer. Bu aşamada, pasif yüksek geçirgen filtre ile PPG sinyal üzerinden DC bileşenleri silinmekte ve aktif düşük geçirgen filtre ile de AC bileşeni güçlendirilmektedir. Burada sınır frekansını belirlemek için;

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.4)$$

denklemini kullanılmaktadır. Bu denkleminde, R, devredeki direnç ve C ise devrede kullanılan kapasitör değeridir. Daha sonra da opampların kazançları hesaplanır.

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4.5)$$

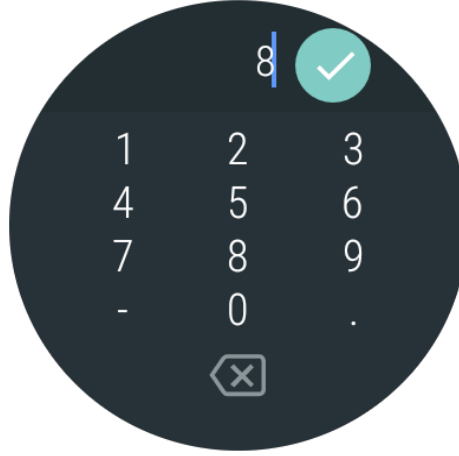
Burada G, elde edilen kazanç, R₂, devredeki ters geri besleme direnci ve R₁ ise devredeki dirençtir. Bu aşamanın çıkış voltajı, ikinci aşama sinyal koşullandırma devresini beslemektedir. Bu kısım aslında aynı bir önceki aşamanın klonu şeklindedir. Önceki aşamada hesaplanan değerler burada da geçerlidir. Elde edilen kazanç eğer istenilen seviyede değil ise ilk aşamadaki sinyal koşullandırma kısmının çıkış voltajı ile toprak arasına bir potansiyometre bağlanarak istenilen kazanç değeri elde edilebilir. Bu ikinci aşama sinyal koşullandırma kısmı, nabız göstergesi olarak görev yapan bir led lambayı, çalıştırmak için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan Android akıllı saat cihazının işlemcisi, içerisinde yer alan devredeki, ikinci aşama koşullandırma kısmının çıkışını algılayarak kalp atışını bu sinyale göre saymaktadır. Burada kalp atışını saymak için sadece bir timer modülüne ihtiyaç vardır. Akıllı saat dışında, timer modülüne sahip başka mikroişlemciler de kalp atışını saymak için kullanılabilirler.

Son olarak kalp ritim değeri hesaplamak için sinyal koşullandırma kısmının çıkışı 15 saniye boyunca sayılır ve sayıldıktan sonra timer modülü tarafından elde edilen değer 4 ile çarpılarak kalp ritmi değeri elde edilmektedir [111].

4.1.6. Veri girme sayfası

Bu sayfa glikoz, insülin ve karbonhidrat sayfalarında değerlerin üzerine dokunulması ile açılmaktadır. Fiziksel aktivite sayfasında ise günlük hedefi belirten “Goals” kısmındaki sayıya dokunarak değer girme sayfasına ulaşılabilir. Ekranda sırası ile 0 – 9 arası rakamlar, nokta ve tire (-) işaretleri hesap makinesi tarzında görülmektedir. Burada istenen değer girildikten sonra onay işareti olan butona basılarak kaydedilebilmektedir. Böylece değer kullanıcı tarafından girilmiş olacaktır. Ayrıca sola doğru ok içerisinde çarpı işareti olan buton ile de yanlış girilen değer silinebilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Veri girme sayfası

4.2. Uygulama için Tasarlanan Akıllı Saat Ara Yüzü (Watch Face)

Android Wear cihazları, canlı renkler, dinamik arka planlar ve veri entegrasyonu gibi tasarımlarda kullanılacak ara yüzler için gelişmiş özellikler sunmaktadır [112]. Bu ara yüzler akıllı saatlerde günlük olarak en fazla kullanılan ara yüzlerdir. Çünkü anlık zaman bilgilerinin görülmesi yanında gerekli uygulamalardan veriler çekilerek aynı anda kullanıcı isteğine göre tasarlanabilir ve kullanıcı anlık değerleri daha rahat bir şekilde takip edebilmektedir. Böylece uygulama içerisine, gerek duymadıkça girmeyerek ve daha rahat bir takip sağlayarak kullanım kolaylığı sunmaktadır.

Bu çalışmada, uygulama için bütün değerlerin bir arada görülebileceği bir ara yüz tasarlanmıştır. Burada glikoz kısmı, şeker durumu göstergesi nedeniyle renkli tasarlanmış olup, aynı uygulamadaki glikoz sayfasında olduğu gibi renk değerlere göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca bu arayüz üzerinden uygulamaya erişim de sağlanabilmektedir. Bunun için değerlerin üzerine dokunmak yeterli olacaktır. Her değer kendi sayfası ile bağlantılı olup, değere dokunulduğu zaman o değer için uygulamadaki sayfası açılmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Diabetes Diary Watch Face 1

Bu ara yüze son olarak eklenen önemli detaylardan biri de değerlerin altında bulunan zaman ifadesidir. Bu ifade, değerlerin en son ne zaman alındığı veya değiştiğini bildirmektedir. Örnek olarak, kullanıcı kaç dakika veya saat önce şeker durumunu kontrol ettiğini bu zaman ifadesine bakarak kolayca öğrenebilecektir (Şekil 4.9).

Uygulama ve Watch Face, birbirinden ayrı olarak diyabet hastalığına sahip bireyler tarafından test edilmiştir. Elde edilen geri bildirimler oldukça olumlu olup, bu bildirimlere göre geliştirme işlemine devam edilmiştir.

Kullanıcılar, test aşamasında telefon uygulaması ile birlikte test etmişlerdir. Veri transferinin hızından ve durum kontrolü için sürekli telefonu kontrol etmelerine gerek kalmadığından dolayı oldukça memnun olduklarını dile getirmişlerdir.



Şekil 4.9. Diabetes Diary Watch Face2

Test eden kullanıcılardan bir kişi, aynı zamanda “Diabetes Diary” uygulamasının Pebble marka akıllı saatler için geliştirilmiş versiyonunu günlük hayatında kullanmaktadır. Bu iki uygulamayı karşılaştırarak:

- Glikoz değerlerini gösteren bölgelerin renkli olması,
- Genel olarak verilerin yazı boyutunun daha rahat okunabilir olması,
- Veri hızının Pebble uygulamasına oranla daha hızlı olması,
- Her değer kendisine özgü tasarımından ve renkli olduğundan daha motive edici olması,

gibi nedenlerden dolayı kullanışlı olduğunu belirtmiştir. Eksik olarak ise henüz Nightscout sunucusuna bağlanıp CGM verileri olarak grafiksel bir tasarım ile glikoz görüntüleme çalışmaları tamamlanmadığından dolayı şuan için CGM verileri uygulama üzerinde görüntülenememektedir. Bu durum Nightscout CGM kullanıcısı olan hastalar tarafından eksik olarak belirtilmiş tek durumdur. Çünkü kullanıcılar direk olarak sunucudan veriyi alamadığı için telefon uygulamasına bağlı kalmak zorunda olduklarından dolayı CGM verileri kontrolü için telefon taşımak durumunda kalmışlardır.

Çalışma, The 11th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes/Wien-AUSTRIA (ATTD 2018) konferansında elektronik poster (e-poster) olarak sunulmuştur [113].

Uygulama tasarlanırken, bu alanda geliştirilen akıllı saat uygulamaları incelenmiş olup, kullanıcı taleplerine göre eksikler belirlenmiştir. Bu eksiklere göre tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Örneğin uygulama, Dexcom'un Apple OS marka saatler için geliştirdiği uygulamadan farklı olarak karbonhidrat alımı, insulin seviyesi ve fiziksel aktivite değerlerini kullanıcıya göstermektedir. Dexcom Apple uygulaması sadece glikoz verilerini göstermekte olup diğer hiçbir değeri kullanıcıya sunmamaktadır. Android işletim sistemine sahip akıllı saat alanında kullanıcı sayısı fazla olan Diabetes: M uygulamasından farklı olarak ise fiziksel aktivite değerini uygulama içerisinde gösterebilmektedir. Ayrıca Diabetes: M, bu çalışmada geliştirilen uygulama gibi kullanıcı tarafından değer girişine izin vermektedir. Bu konuda geliştirilen bazı uygulamaların kullanıcıya sağladığı veriler ve özellikler bakımından karşılaştırması Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Akıllı saatler için geliştirilmiş bazı diyabet uygulamaları ve tez çalışmasında geliştirilen uygulamanın özellikleri bakımından karşılaştırılması

Uygulamalar Özellikler	Dexcom Apple Saat Uygulaması	Diabetes:M Android Saat Uygulaması	Balansio Android Saat Uygulaması	Çalışmadaki Android Saat Uygulaması
Glikoz	✓	✓	✓	✓
İnsülin	-	✓	✓	✓
Karbonhidrat	-	✓	✓	✓
Fiziksel Aktivite	-	-	✓	✓
Kalp Ritim	-	-	-	✓
Glikoz Değer Girişi	-	✓	✓	✓
İnsülin Değer Girişi	-	✓	✓	✓
Karbonhidrat Değer Girişi	-	✓	✓	✓

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda neden olduğu ölüm sayılarındaki artışın gittikçe yükselmesi nedeniyle diyabet hastalığının takibi ve kontrol altına alınması önemli bir hale gelmiştir. Bu nedenle oluşabilecek komplikasyonlar gerçekleşmeden önce hastalığı kontrol altına alabilmenin, hastalığın tedavi sürecini olumlu etkileyeceği gibi hastalara kısıtlanmış bir yaşam yerine daha kaliteli bir yaşam da sunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada geliştirilen uygulamanın en temel amacı diyabet hastalarına daha kaliteli, kısıtlanmamış ve kontrollü bir yaşam sunmaktır. Ayrıca günde en az 2 (iki) veya 3 (üç) defa kan şekeri ölçme cihazları ile yapılan ölçme işlemlerine gerek kalmadan, sanki saati kontrol ediyormuş gibi şeker durumu rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Böylece insanların, eski cihazlarla kan almak için kendilerine zarar vermelerine gerek kalmayacaktır.

Geliştirilen uygulama ile hastalardan elde edilen geri dönüşler dikkate alındığında, çalışmanın %90 oranında amacına ulaştığı görülmüştür. Çünkü hasta belirli aralıklar ile şeker değerini, insülin değerini ve almış olduğu karbonhidrat değerini rahatlıkla kontrol edebilmektedir. Evde, iş yerinde, sokakta ve sporda sürekli telefondan kontrol etmek yerine, saat üzerinden tasarlanan Watch Face ile değerlerin kontrolü rahatlıkla yapılabilmektedir. Geriye kalan % 10'luk kısım, saatin verileri henüz direk olarak Nightscout sunucusundan alamamasından kaynaklanmaktadır. Böylece uygulama, telefon uygulamasına bağımlı kalacak bir şekilde CGM verilerini gösterebilmektedir. Doğrudan sunucuya bağlanma çalışmaları devam etmekte olup bittiği takdirde çalışma, amacına yüzde yüz oranında ulaşmış olacaktır.

Bu projenin devamında ileriki çalışmalar olarak, uygulama kontrolünün ses veya bilek hareketleri ile yapılması, fiziksel aktivite olarak bisiklet, koşu gibi ek hareketlerin eklenmesi, tehlikeli durumlarda çeşitli uyarılar ve bildirimler gibi özelliklerin uygulamaya dâhil edilmesi şeklindeki uygulamalar planlanmaktadır.

Ölçüm sisteminin maliyeti, kullanılan sensörlerin tipine, Android akıllı saat ve telefon modellerine göre çeşitlilik göstermektedir. Ekonomik açıdan uygun görünmese de sağlamış olduğu kolaylıklar, önlenmesine yardımcı olacağı komplikasyonlar ve hayati tehlike göz önüne alındığı takdirde maliyetinin pek bir değeri kalmayacaktır.

Bu alanda yapılan çalışmalar günden güne artmaktadır. Teknolojinin gün geçtikçe gelişmesi, insanların teknoloji ile olan ilişkisinin sürekli artması ve teknolojiyi yaşamlarının hemen her alanına dâhil etmeleri, artık sağlık konusunda da yeni e-sağlık çalışmalarının yapılmasına sebep olmuştur. Çünkü insanların, kronikleşmiş bazı hastalıkları artık kendi kendilerine kolayca takip edebilmeleri onlara hem zamandan hem de sağlık açısından yarar sağlamaktadır. Bundan dolayı diyabet alanında yapılan e-sağlık çalışmaları, projeleri özellikle Avrupa'da gün geçtikçe artmaktadır. rnek olarak, bu çalışmayı geliştirdiğim Norwegian Centre for e-Health Research araştırma merkezinde bu alanda birçok proje yürütülmekte olup, proje sayılarını gün geçtikçe arttırmaya zen göstermektedirler. Bu projeler genel olarak hasta-doktor ilişkileri, hastanın tedavi sürecindeki ruhsal durumu ve akıllı cihazlar için sağlık durumu kontrol uygulamaları gibi alanlardaki çalışmaları kapsamaktadır [114]. Ayrıca Avustralya'da bulunan bir başka e-sağlık araştırma merkezi olan The Australian e-Health Research Centre merkezinde de kronik hastalıklar (diyabet, tansiyon, kalp, vb.) ve hastaların ruhsal durumları üzerine projeler geliştirilmektedir [115]. Yine Avustralya'da e-sağlık araştırma merkezleri sayısı Avrupa ülkelerine oranla daha fazladır. Türkiye'de ise e-sağlık alanında araştırma ve geliştirme projelerin artması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenle sağlık bilimleri ve e-sağlık alanında araştırmalara proje desteği sağlamayı planlayan Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı (TÜSEB) kurulmuştur [116].

Diyabet uygulamalarının yanı sıra bir diğer kronik hastalık olan ve takip gerektiren tansiyon hastalığının saatler üzerinden ölçümünün sağlanması diyabetin yanında çok büyük bir kolaylık sağlayacaktır. Bu durumun uygulanabilirliği hakkında araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] F.P. Akbulut ve A. Akan, Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, Bodrum,Muğla, October 15-18, (2015).
- [2] J.L. Helbostad, B. Vereijken, C. Becker C, et al. *Mobile Health Applications to Promote Active and Healthy Ageing*. **Sensors**, 17:3 (2017) 622.
- [3] G. Lanzola, E. Losiouk, S. Del Favero, et al. *Remote Blood Glucose Monitoring in mHealth Scenarios: A Review*, **Sensors**. 16:12 (2016) 1983.
- [4] P.P. Ray, *Continuous glucose monitoring: a systematic review of sensor systems and prospects*, **Sensor Review**, (2018) 0268.
- [5] G. Lanzola D.C. Klonoff, D. Ahn, A. Drincic et al., *Continuous glucose monitoring: A review of the technology and clinical use*, **Diabetes Research and Clinical Practice** , 133 (2017)178 – 192.
- [6] B.Najafi, D.G. Armstrong and Jane Mohler, *Novel Wearable Technology for Assessing Spontaneous Daily Physical Activity and Risk of Falling in Older Adults with Diabetes*, **Journal of Diabetes Science and Technology**, 7: 5 (2013) 1147 – 1160.
- [7] T. Klingeberg and M. Schilling, *Mobile wearable device for long term monitoring of vital signs*, **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, 106 (2012) 89–96.
- [8] S. Aydan ve M. Aydan, *Sağlık Hizmetlerinde Bireysel Ölçüm ve Giyilebilir Teknoloji: Olası Katkıları, Güncel Durum ve Öneriler*, **Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi**, 19 (2016) 325-342.
- [9] S.H. Chuah , P.A. Rauschnabel , N. Krey, et al., *Wearable technologies: The role of usefulness and visibility in smartwatch adoption*, **Computers in Human Behavior**, 65 (2016) 276-284.
- [10] L. Piwek, D.A. Ellis, S. Andrews and A. Joinson, *The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers*, **PLoS Med**, 13 (2016) e1001953.
- [11] Anonymous. (2018). <http://www.endustri40.com/saglikta-dijital-donusum-saglik-4-0/> (on-line access on 21 Apr, 2018).
- [12] Anonymous. (2018). <http://www.endustri40.com/saglikta-dijital-donusum-saglik-4-0/> (on-line access on 21 Apr, 2018).
- [13] S. Leonhardt, Personal Healthcare Devices. In: S. Mukherjee, R.M. Aarts, R. Roovers, F. Widdershoven, M. Ouwerkerk (eds) *AmIware Hardware Technology Drivers of Ambient Intelligence*. Philips Research, vol 5. Springer, Dordrecht, (26) 349-370
- [14] A. Lymberis, Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE Cat. No.03CH37439), Cancun, Mexico, September 17-21 (2003).
- [15] A. Lmberis and A. Dittmar, *Advanced Wearable Health Systems and Applications - Research and Development Efforts in the European Union*, **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, 26:3 (2007) 29-33.
- [16] R. Barnard and J. T. Shea, *How wearable technologies will impact the future of health care*, **Studies in Health Technology and Informatics**, 108 (2004) 49–55.

- [17] H.C. Noel, D.C. Vogel, J.J. Erdos, D. Cornwall and F. Levin, *Home Telehealth Reduces Healthcare Costs*, **Telemedicine Journal and E-Health**, 10 (2004) 170-183.
- [18] J.W. Cheng and H. Mitomo, *The underlying factors of the perceived usefulness of using smart wearable devices for disaster applications*, **Telematics and Informatics**, 34 (2017) 528-539.
- [19] H. Li, J. Wu, Y. Gao and Y. Shi, *Examining individuals' adoption of healthcare wearable devices: an empirical study from privacy calculus perspective*, **Int. Journal of Medical Informatics**, 88 (2016) 8–17.
- [20] J. Casselman, N. Onopa and L. Khansa, *Wearable healthcare: Lessons from the past and a peek into the future*, **Telematics and Informatics**, 34 (2017) 1011–1023.
- [21] Anonymous. (2018). <http://www.hayatkolay.com/hayat/akilli-saat-nedir/> (on-line access 10 May, 2018).
- [22] D.J. Wile, R. Ranawaya and Z.H.T. Kiss, *Smart watch accelerometry for analysis and diagnosis of tremor*, **Journal of Neuroscience Methods**, 230 (2014) 1-4.
- [23] M. Dehghani, K.J. Kim and R.M. Dangelico, *Will smartwatches last? factors contributing to intention to keep using smart wearable technology*, **Telematics and Informatics**, 35 (2018) 480–490.
- [24] J.M. Pevnick, K. Birkeland, R. Zimmer, et al., *Wearable technology for cardiology: An update and framework for the future*, **Trends Cardiovasc Med.**, 28:2 (2018) 144-150.
- [25] T. Klingenberg and M. Schilling, *Mobile wearable device for long term monitoring of vital signs*, **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, 106 (2012) 89–96.
- [26] L.A.E. Morgantia, A. Adamia, D. Lalanec, et al., *A smart watch with embedded sensors to recognize objects, grasps and forearm gestures*, **Procedia Engineering**, 41 (2012) 1169 – 1175.
- [27] C. Llamas, M.A. González, C. Hernández and J. Vegas, *Open source platform for collaborative construction of wearable sensor datasets for human motion analysis and an application for gait analysis*, **J. Biomed Inform.**, 63 (2016) 249-258.
- [28] J. Lockman, R.S. Fisher and D.M. Olson, *Detection of seizure-like movements using a wrist accelerometer*, **Epilepsy Behav.** 20 (2011) 638–641.
- [29] T. Bailey, B.W. Bode, M.P. Christiansen, L.J. Klaff and A. Shridhara, *The Performance and Usability of a Factory-Calibrated Flash Glucose Monitoring System*, **Diabetes Technology & Therapeutics**, 17:11 (2015) 787-794.
- [30] A. Basu, S. Dube, M. Slama, et al., *Time Lag of Glucose from Intravascular to Interstitial Compartment in Humans*, **Diabetes**, 62:12 (2013), 4083–4087.
- [31] S.J. Corrie, J.W. Coffey, J. Islam, K.A. Markey and M.A.F. Kendall, *Blood, sweat, and tears: Developing clinically relevant protein biosensors for integrated body fluid analysis*, **Analyst**, 140 (2015) 4350–4364.
- [32] P. Makaram, D. Owens and J. Aceros, *Trends in Nanomaterial-Based Non-Invasive Diabetes Sensing Technologies*, **Diagnostics**, 4:2 (2014) 27–46.

- [33] W. Zhang, Y. Du and M.L. Wang, *On-chip highly sensitive saliva glucose sensing using multilayer films composed of single-walled carbon nanotubes, gold nanoparticles, and glucose oxidase*, **Sensing and Bio-Sensing Research**, 4 (2015) 96–102.
- [34] W. Gao, S. Emaminejad, H.Y.Y. Nyein, S. Challa, K. Chen, A. Peck, H.M. Fahad, H. Ota, H. Shiraki and D. Kiriya, *Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis*, **Nature**, 529 (2016) 509–514.
- [35] T. Glennon, C. O’Quigley, M. McCaul, G. Matzeu, S. Beirne, G.G. Wallace, F. Strojescu, N. O’Mahoney, P. White and D. Diamond, *SWEATCH: A wearable platform for harvesting and analysing sweat sodium content*, **Electroanalysis**, 28:6 (2016) 1–8.
- [36] J. Heikenfeld, *Technological leap for sweat sensing*, **Nature**, 529 (2016) 475–476.
- [37] S. Coyle, V.F. Curto, F. Benito-Lopez, L. Florea and D. Diamond, *Wearable bio and chemical sensors*, In *Wearable Sensors*; Elsevier, Amsterdam, 2014, 65–83.
- [38] J. Heikenfeld, *Non-invasive analyte access and sensing through eccrine sweat: Challenges and outlook circa 2016*, **Electroanalysis**, 28:6 (2016) 1242–1249.
- [39] A.D. Wilson, *Advances in electronic-nose technologies for the detection of volatile biomarker metabolites in the human breath*, **Metabolites**, 5:1 (2015) 140–163.
- [40] T.L. Mathew, P. Pownraj, S. Abdulla and B. Pullithadathil, *Technologies for clinical diagnosis using expired human breath analysis*, **Diagnostics**, 5:1 (2015) 27–60.
- [41] R. Xing, L. Xu, J. Song, C. Zhou, Q. Li, D. Liu and H. Wei Song, *Preparation and gas sensing properties of In₂O₃/Au nanorods for detection of volatile organic compounds in exhaled breath*. **Scientific Reports**, 5 (2015) 10717.
- [42] M.S. Mannoor, H. Tao, J.D. Clayton, A. Sengupta, D.L. Kaplan, R.R. Naik, N. Verma, F.G. Omenetto and M.C. McAlpine, *Graphene-based wireless bacteria detection on tooth enamel*, **Nature Communication**, 3 (2012) 1–8.
- [43] A.J. Bhandodkar and J. Wang, *Non-invasive wearable electrochemical sensors: A review*, **Trends Biotechnol.**, 32:7 (2014) 363–371.
- [44] C. Liu, Y. Sheng, Y. Sun, J. Feng, S. Wang, J. Zhang, J. Xu and D. Jiang, *A glucose oxidase-coupled DNAzyme sensor for glucose detection in tears and saliva*, **Biosensors and Bioelectronics**, 70 (2015) 455–461.
- [45] S. Gupta, S.V. Sandhu, H. Bansal and D. Sharma, *Comparison of salivary and serum glucose levels in diabetic patients*, **Journal of Diabetes Science and Technology**, 9:1 (2014) 91–96.
- [46] J. Kim, G. Valdes-Ramirez, A.J. Bhandodkar, W. Jia, A.G. Martinez, J. Ramirez, P. Mercier and J. Wang, *Non-invasive mouthguard biosensor for continuous salivary monitoring of metabolites*, **Analyst**, 139 (2013) 1632–1636.
- [47] N. Thomas, I. Lahdesmaki and B.A. Parvis, *A contact lens with an integrated lactate sensor*, **Sensors and Actuators B: Chemical**, 162:1 (2012) 128–134.

- [48] Anonymous. (2018). www.forbes.com/sites/leoking/2014/07/15/google-smart-contact-lens-focuses-on-healthcare-billions/ (on-line access on 15 April 2018).
- [49] M. Senior, *Novartis signs up for Google smart lens*, **Nature Biotechnology**, 32 (2014) 856.
- [50] Anonymous. (2018). https://www.nytimes.com/2014/07/16/business/international/novartis-joins-with-google-to-develop-contact-lens-to-monitor-blood-sugar.html?_r=1 (accessed on 15 March 2018).
- [51] Anonymous. (2018). http://www.washingtonpost.com/business/technology/googles-smart-contact-lens-what-it-does-and-how-it-works/2014/01/17/96b938ec-7f80-11e3-93c1-0e888170b723_story.html (accessed on 1 April 2018).
- [52] Anonymous. (2018). <https://www.technobuffalo.com/2014/07/15/google-smart-contact-lens/> (accessed on 29 March 2018).
- [53] B.E. Watt, A.T. Proudfoot J.A. Vale, *Hydrogen peroxide poisoning*, **Toxicol. Rev.** 23 (2004) 51–57.
- [54] R.C. Reid, S.D. Minter and B.K. Gale, *Contact lens biofuel cells tested in a synthetic tear solution*, **Biosensors and Bioelectronics**, 68 (2015) 142–148.
- [55] C.E.F. Do Amaral and B. Wolf, *Current development in non-invasive glucose monitoring*, **Medical Engineering and Physics**, 30:5 (2008) 541–549.
- [56] S.K. Vashist, *Non-invasive glucose monitoring technology in diabetes management: A review*, **Analytica Chimica Acta**, 750 (2012) 16–77.
- [57] A. Jina, M.J. Tierney, J.A. Tamada, et al., *Design, Development, and evaluation of a novel micro needle array-based continuous glucose monitor*, **J.Diabetes Sci.Technol.**, 8 (2014) 483–487.
- [58] Z. Zhi, F. Khan and J.C. Pickup, *Multilayer nanoencapsulation: A nanomedicine technology for diabetes research and management*, **Diabetes Research and Clinical Practice**, 100:2 (2013) 162–169.
- [59] Anonymous. (2018). *Glucowatch for diabetes*. **WHO Drug Information** 16:3 (2002) 229.
<http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js4951e/4.9.html#Js4951e.4.9> (accessed on 29 March 2018).
- [60] E.H. Yoo and S.Y.Lee, *Glucose biosensors: An overview of use in clinical practice*, **Sensors**, 10:5 (2010) 4558–4576.
- [61] R. Badugu, J.R. Lakowicz and C.R. Geddes, *Ophthalmic glucose monitoring using disposable contact lenses—A review*, **Journal of Fluorescence**, 14:5 (2004) 617–633.
- [62] H. Fang, G. Kaur and B. Wang, *Progress in boronic acid-based fluorescent glucose sensors*, **Journal of Fluorescence**, 14:5 (2004) 481–489.
- [63] J. Wang, *Electrochemical glucose biosensors*, **Chem. Rev.**, 108:2 (2008) 814–825.
- [64] R. Badugu, J.R. Lakowicz and C.R. Geddes, *A glucose-sensing contact lens: From bench top to patient*, **Current Opinion in Biotechnology**, 16:1 (2005) 100–107.

- [65] X. Huang, S. Li, J.S. Schultz, Q. Wang and Q. Lin, *A MEMS affinity glucose sensor using a biocompatible glucose-responsive polymer*, **Sensors and Actuators B: Chemical**, 140:2 (2009) 603–609.
- [66] Anonymous. (2018). <https://www.freestylelibre.com.tr/libre/kesfet/baslarken.html> (accessed on 29 April, 2018).
- [67] Turner, A.P.F., I. Karube, and G.S. Wilson, *Biosensors: fundamentals and applications*. 1987, Oxford [Oxfordshire] ; New York: Oxford University Press. xvi, 770.
- [68] Klass Jan Cornelis Wientjes, *Development of a glucose sensor for diabetic Patients*, Phd Thesis, University of Groningen Netherlands, 2000.
- [69] Wilson, R. and A.P.F. Turner, *Glucose oxidase: An ideal enzyme*. **Biosensors and Bioelectronics**, 1992. 7(3): p. 165-185.
- [70] Jaffari, S.A. and A.P. Turner, *Recent advances in amperometric glucose biosensors for in vivo monitoring*. **Physiol Meas**, 1995. 16(1): p. 1-15.
- [71] Schlosser, M., et al., *Implantation of non-toxic materials from glucose sensors: Evidence for specific antibodies detected by ELISA*. **Hormone and Metabolic Research**, 1994. 26(11): p. 534-537.
- [72] J.L. Hammond, N. Formisano, P. Estrela, S. Carrara and J.Tkac, *Electrochemical biosensors and nanobiosensors*, **Biosensor Technologies for Detection of Biomolecules**, 2016. Chapter 8.
- [73] A.P.F. Turner, *Enzyme Electrodes and Glucose Sensing for Diabetes*, Linköping, Sweden, 2015.
- [74] Anonymous (2018). <http://www.diabetesforecast.org/2014/05-may/anatomy-of-a-cgm-sensor.html> (on-line access on 25 May, 2018).
- [75] G. Cappon, G. Acciaroli, M. Vettoretti, A. Facchinetti and G. Sparacino, *Wearable Continuous Glucose Monitoring Sensors: A Revolution in Diabetes Treatment*, **Electronics**, 65 (2017).
- [76] D. Bruen, C. Delaney, L. Florea and D. Diamond, *Glucose Sensing for Diabetes Monitoring: Recent Developments*, **Sensors**, 17:8 (2017) 1866.
- [77] T. Kılıç, *E-Sağlık İyi Uygulama Örneği; Hollanda*, **Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi**, 6 (2017) 203-217.
- [78] A. Budrionis and J.G. Bellika, *The Learning Healthcare System: Where are we now? A systematic review*, **Journal of Biomedical Informatics**, 64 (2016) 87-92.
- [79] E. Güler, *Mobil sağlık hizmetlerinde oyunlaştırma*, **Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi**, 2 (2015) 82-101.
- [80] Ü. Özdemir ve S. Taşcı, *Kronik Hastalıklarda Psikososyal Sorunlar ve Bakım*, **Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi**, 1 (2013) 57-72.
- [81] C. Chen, X.L. Zhao, Z.H. Li, et al., *Current and Emerging Technology for Continuous Glucose Monitoring*. **Sensors**, 17 (2017) 182.
- [82] Anonymous. (2018). <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/diyabet> (on-line access on 21 Apr, 2018).
- [83] D.Rodbard, *Continuous Glucose Monitoring: A Review of Successes, Challenges, and Opportunities*, **Diabetes Technology & Therapeutics**, 18:2, 2016, S2-3:S2-13.
- [84] D.S.A. Coda, D. Santos, X. Girones and S. Acharya, *Exploring the Effectiveness of Smart Technologies in the Management of Type 2*

- Diabetes Mellitus*, **Journal of Diabetes Science and Technology**, 12 (2018) 199-201.
- [85] J. Tran, R. Tran, J. R. White and PA PharmD, *Smartphone-Based Glucose Monitors and Applications in the Management of Diabetes: An Overview of 10 Salient “Apps” and a Novel Smartphone-Connected Blood Glucose Monitor*, **Clinical Diabetes**, 30:4 (2012) 173-178.
- [86] Anonymous. (2018). <http://www.diabetesatlas.org/> (on-line access on 16 May, 2018).
- [87] Anonymous. (2018). <http://www.diabetcemiyeti.org/c/diyabet-istatistikleri> (on-line access on 16 May, 2018).
- [88] E. Årsand, M. Muzny, M. Bradway, J. Muzik and G. Hartvigsen, *Performance of the First Combined Smartwatch and Smartphone Diabetes Diary Application Study*, **Journal of Diabetes Science and Technology**, 9 (2015) 556-563.
- [89] Anonymous. (2017). <https://www.dexcom.com/g5-app-update> (on-line access on 16 Dec, 2017).
- [90] Anonymous. (2017). <https://sites.google.com/view/diabetes-m-userguide/android-wear> (on-line access on 16 Dec, 2017).
- [91] Anonymous. (2017). <https://www.balansio.com/> (on-line access on 16 Dec, 2017).
- [92] Anonymous. (2018). <https://static1.squarespace.com/static/589dc6622994caaa85c4f1e3/t/58f9e5ffbe6594f1c3438530/1492772361647/User+Guide+v5.0+-+Balansio+Mobile+for+Android+2016-10-13.pdf> (on-line access on 16 Feb, 2018).
- [93] E.I. Georga, V.C. Protopappas, C.V. Bellos and D.I. Fotiadis, *Wearable systems and mobile applications for diabetes disease management*, **Health and Technology**, 4:2 (2014) 101-112.
- [94] T. Szydło and M. Konieczny, *Mobile and wearable devices in an open and universal system for remote patient monitoring*, **Microprocessors and Microsystems**, 46 (2016) 44-54.
- [95] Anonymous. (2017). <http://www.diabetesdagboka.no/en/> (on-line access on 18 Aug, 2017).
- [96] Anonymous. (2018). <https://consumer.huawei.com/tr/wearables/watch2/> (on-line Access 20 Jan, 2018).
- [97] J. Soupal, L. Petruzalkova, M. Flekac, T. Pelcl, M. Matoulek, M. Dankova, J. Skrha, S. Svacina and M. Prazny, *Comparison of Different Treatment Modalities for Type 1 Diabetes, Including Sensor-Augmented Insulin Regimens, in 52 Weeks of Follow-Up: A COMISAIR Study*, **Diabetes Technology & Therapeutics**, 18:9 (2016) 532-538.
- [98] Anonymous. (2018). <https://www.dexcom.com/tr-TR> (on-line access on 20 Jan, 2018).
- [99] Anonymous. (2018). <https://www.freestylelibre.com.tr/libre/urunler.html> (on-line access on 20 Feb, 2018).
- [100] G. Niezen, P. Eslambolchilar and H. Thimbleby, *Open-source hardware for medical devices*, **BMJ Innovations**, 2:2 (2016) 78-83.
- [101] W. Jackson, *Pro Android Wearable : Building Apps for Smartwatches and other Wearables*, APress, New York, USA (2015) 681.

- [102] Anonymous.(2017). <https://developers.google.com/android/guides/google-api-client> (on-line access on 20 Dec, 2017).
- [103] Anonymous. (2017). <https://developers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/wearable/DataClient> (on-line access on 20 Dec, 2017).
- [104] Anonymous. (2018). <https://www.gimp.org/> (on-line access on 23 Jan, 2018).
- [105] Anonymous. (2018). <http://www.nightscout.info/> (on-line access on 15 Jan, 2018).
- [106] Anonymous. (2018). https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion (on-line access on 28 June, 2018).
- [107] Y. Maeda, M. Sekine, T. Tamura, *The Advantages of Wearable Green Reflected Photoplethysmography*, **Journal of Medical Systems**, 35(2011). 829-834.
- [108] N. D.Futran, B. C. Stack, C.Jr. Hollenbeak, and J. E.Scharf, *Green light photoplethysmography monitoring of free flaps*. **Arch.Otolaryngol. Head Neck Surg.** 126:659–662, 2000.
- [109] Anonymous. (2018). <https://www.vopmart.com/huawei-watch-2-4g-sport-smartwatch.html> (on-line access on 28 June, 2018).
- [110] S. Hu, J. Zheng, V. Chouliaras, and R. Summers. Feasibility of imaging photoplethysmography. International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, 2008.
- [111] N. Saquib, Md.T.I. Papon, I. Ahmad, and A. Rahman, Measurement of Heart Rate Using Photolethysmography, International Conference on Networking Systems and Security, 5-7 Jan. (2015).
- [112] Anonymous. (2017). <https://developer.android.com/training/wearables/watch-faces/designing> (on-line access on 20 Dec, 2017).
- [113] Ö. Pektas, M. Muzny, E. Årsand, G. Hartvigsen and M. Koseoglu, The innovative 11th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Vienna, Austria, 14-17 February (2018).
- [114] Anonymous. (2017). <https://ehealthresearch.no/> (on-line access on 10 Aug, 2017).
- [115] Anonymous. (2018). <https://aehrc.com/> (on-line access on 10 May, 2018).
- [116] Anonymous. (2018). <http://www.tuseb.gov.tr/index.php> (on-line access on 10 May, 2018).

7. EKLER

Ek 1. Telefon Tarafında Veri Alış Verişini Sağlayan Program

Aslında programın başlangıcında Android, Java ve telefon uygulamasına ait çok fazla kütüphane veya paket yer almaktadır. Fazla sayıda olması nedeniyle tamamı eklenmemiştir. Bu paketlerden aşağıda 4 tanesi örnek olarak sunulmuştur.

```
package no.telemed.diabetesdiary.extdatasource; // Bu paket telefon uygulamasına ait olup verilerin alınmasını sağlamaktadır.
```

```
import android.support.v4.app.Fragment;
```

```
import java.util.ArrayList;
```

```
import no.telemed.diabetesdiary.record.Record;
```

```
import static no.telemed.diabetesdiary.common.Constants.GLUCOSE_RECORD_ID;
```

```
// common modülü telefon ile akıllı saat ortak kullanılmaktadır. Veri iletişimini sağlar. Bu proje kapsamında çalışma ekibince yazılmıştır.
```

```
public class AndroidWearDatasource extends ExternalDatasource implements
```

```
    GoogleApiClient.ConnectionCallbacks,  
    GoogleApiClient.OnConnectionFailedListener {
```

```
    private static GoogleApiClient mGoogleApiClient;  
    private Context mContext;  
    private Record r;  
    private static final String sDatasourceName = "AndroidWear";
```

```
    public AndroidWearDatasource(Context aContext) {  
        super(aContext, sDatasourceName);  
        if (aContext == null) {  
            throw new NullPointerException();  
        }  
    }
```

```
        mContext = aContext;
```

```
        mGoogleApiClient = new GoogleApiClient.Builder(mContext)  
            .addApi(Wearable.API)  
            .addConnectionCallbacks(this)  
            .addOnConnectionFailedListener(this)  
            .build();  
    }
```

```
    public void start() {  
        mGoogleApiClient.connect();  
        //Register a broadcast receiver  
        IntentFilter filter = new IntentFilter();  
        filter.addAction(Actions.ACTION_NEW_RECORDS_BLUETOOTH);  
        filter.addAction(Actions.ACTION_RECORDS_UPDATE_MANUALLY);  
    }
```

```

        filter.addAction(Actions.ACTION_RECORDS_UPDATE_EXT_DATASOURCE);
        filter.addAction(Actions.ACTION_RECORDS_UPDATE_EXT_DATASOURCE);
        filter.addAction(Actions.ACTION_NEW_RECORDS_PEBBLE);
        mCtx.registerReceiver(mReceiver, filter);
    }
    public void stop() {
        if (null != mGoogleApiClient && mGoogleApiClient.isConnected()) {
            mGoogleApiClient.disconnect();
        }
    }
    @Override
    public void onConnected(Bundle bundle) {
        Log.d("hey!", "Connected!!!");
        Wearable.DataApi.addListener(mGoogleApiClient, onDataChangeListener);
        //getLatestRecord();
    }
    @Override
    public boolean isEnabled() {
        return true;
    }
    class SendToDataLayerThread extends Thread {
        String path;
        DataMap dataMap;
        // Constructor for sending data objects to the data layer
        SendToDataLayerThread(String p, DataMap data) {
            path = p;
            dataMap = data;
        }
        public void run() {
            // Construct a DataRequest and send over the data layer
            PutDataMapRequest putDMR = PutDataMapRequest.create(path);
            putDMR.getDataMap().putAll(dataMap);
            PutDataRequest request = putDMR.asPutDataRequest();
            DataApi.DataItemResult result =
Wearable.DataApi.putDataItem(mGoogleApiClient, request).await();
            if (result.getStatus().isSuccess()) {
                Log.v("myTag", "DataMap: " + dataMap + " sent successfully to data layer ");
            } else {
                // Log an error
                Log.v("myTag", "ERROR: failed to send DataMap to data layer");
            }
        }
    }
    @Override
    public void onConnectionFailed(ConnectionResult connectionResult) {
    }
    private void sendSummaryRecords() {
        List<Record> records = new ArrayList<Record>();
        SyncDBSession session = null;
        try {
            session = new SyncDBSession(
                ((DiabetesDiaryApplication) mCtx).getDBInstance());
            records.addAll(session.queryRecords(GlucoseRecord.class, Query
                .where(FieldName.RECORD_DELETED + "=" + Query.value(false)),
                Query.orderby(FieldName.RECORD_SECS + " DESC"), Query.limit(2)));
            records.addAll(session.queryRecords(InsulinRecord.class, Query

```



```

        .where(FieldName.RECORD_DELETED + "=" + Query.value(false)),
        Query.orderby(FieldName.RECORD_SECS + " DESC"), Query.limit(2));
records.addAll(session.queryRecords(CarbRecord.class, Query
        .where(FieldName.RECORD_DELETED + "=" + Query.value(false)),
        Query.orderby(FieldName.RECORD_SECS + " DESC"), Query.limit(2));
Collections.sort(records,
no.telemed.diabetesdiary.record.RecordDateComparator.OLDEST_FIRST);
for (Record r : records) {
    if (r != null && r instanceof GlucoseRecord) {
        if (((GlucoseRecord) r).getValue() == 0) {
            continue;
        }
    } else if (r != null && r instanceof InsulinRecord) {
        if (((InsulinRecord) r).units == 0) {
            continue;
        }
    } else if (r != null && r instanceof CarbRecord) {
        if (((CarbRecord) r).getValue() == 0) {
            continue;
        }
    }
    if (r instanceof GlucoseRecord) {
        PutDataMapRequest putDataMapReq =
PutDataMapRequest.create(Constants.REGISTRATIONS_GLUCOSE_RECORD);

putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_IDENTIFIER_KEY,
Constants.GLUCOSE_RECORD_ID);
        putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_SECS_KEY,
((GlucoseRecord) r).secs);

putDataMapReq.getDataMap().putFloat(Constants.RECORD_VALUE_KEY,
((GlucoseRecord) r).getValue());

putDataMapReq.getDataMap().putString(Constants.RECORD_COMMENT_KEY,
((GlucoseRecord) r).comments);
        PutDataRequest putDataReq = putDataMapReq.asPutDataRequest();
putDataReq.setUrgent();
        PendingResult<DataApi.DataItemResult> pendingResult =
Wearable.DataApi.putDataItem(mGoogleApiClient, putDataReq);
    }
    if (r instanceof InsulinRecord) {
        PutDataMapRequest putDataMapReq =
PutDataMapRequest.create(Constants.REGISTRATIONS_INSULIN_RECORD);

putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_IDENTIFIER_KEY,
Constants.INSULIN_RECORD_ID);
        putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_SECS_KEY,
((InsulinRecord) r).secs);

putDataMapReq.getDataMap().putFloat(Constants.RECORD_VALUE_KEY,
((InsulinRecord) r).units);
putDataMapReq.getDataMap().putString(Constants.RECORD_COMMENT_KEY,
((InsulinRecord) r).comments);
        PutDataRequest putDataReq = putDataMapReq.asPutDataRequest();
putDataReq.setUrgent();
    }
}

```



```

        PendingResult<DataApi.DataItemResult> pendingResult =
            Wearable.DataApi.putDataItem(mGoogleApiClient, putDataReq);
    }
    if (r instanceof CarbRecord) {
        PutDataMapRequest putDataMapReq =
PutDataMapRequest.create(Constants.REGISTRATIONS_CARBOHYDRATE_RECOR
D);

putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_IDENTIFIER_KEY,
Constants.CARB_RECORD_ID);
        putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_SECS_KEY,
((CarbRecord) r).secs);
        putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_VALUE_KEY,
((CarbRecord) r).getValue());
putDataMapReq.getDataMap().putString(Constants.RECORD_COMMENT_KEY,
((CarbRecord) r).comments);
        PutDataRequest putDataReq = putDataMapReq.asPutDataRequest();
putDataReq.setUrgent();
        PendingResult<DataApi.DataItemResult> pendingResult =
            Wearable.DataApi.putDataItem(mGoogleApiClient, putDataReq);
    }
}
} finally {
    if (session != null) {
        session.close();
    }
}
}
}
/**
 * Listen for new records broadcast from ACTION_NEW_RECORDS_BLUETOOTH
 * ACTION_RECORDS_UPDATE_EXT_DATASOURCE
ACTION_RECORDS_UPDATE_MANUALLY
 * ACTION_NEW_RECORDS_ANDROID_WEAR
 */
private BroadcastReceiver mReceiver = new BroadcastReceiver() {
    public void onReceive(Context context, Intent intent) {
        String action = intent.getAction();
        if (action != null) {
            if (action.equals(Actions.ACTION_NEW_RECORDS_BLUETOOTH)
                || action
                .equals(Actions.ACTION_RECORDS_UPDATE_EXT_DATASOURCE)
                || action
                .equals(Actions.ACTION_RECORDS_UPDATE_MANUALLY)
                || action.equals(Actions.ACTION_NEW_RECORDS_PEBBLE)) {
                sendSummaryRecords();
            }
        }
    }
};
private final DataApi.DataListener onDataChangedListener = new
DataApi.DataListener() {
    @Override
    public void onDataChanged(DataEventBuffer dataEventBuffer) {
        for (DataEvent event : dataEventBuffer) {
            if (event.getType() == DataEvent.TYPE_CHANGED) {

```

```

        long nowMs = System.currentTimeMillis();
        int nowSecs = (int) ((nowMs + TimeZone.getDefault().getOffset(nowMs)) /
1000L);

        DataItem item = event.getDataItem();
        //Log.d("onDataChanged", "function");
        DataMap dataMap = DataMapItem.fromDataItem(item).getDataMap();
        int key = dataMap.getInt(RECORD_IDENTIFIER_KEY);
        Record r = null;
        if (key == GLUCOSE_RECORD_ID) {
            float gL = dataMap.getFloat(RECORD_VALUE_KEY);
            double g = UnitTools.MgdlToMmol(gL);
            r = new GlucoseRecord(nowSecs,(int)g,"");
            Log.d("Glucose", " From Watch received " + g);
        } else if (key == INSULIN_RECORD_ID) {
            float ins = dataMap.getFloat(RECORD_VALUE_KEY);
            r = new InsulinRecord(nowSecs,ins,"");
            Log.d("Insulin", " From Watch received " + ins);
        } else {
            int cValue = dataMap.getInt(RECORD_VALUE_KEY);
            r = new CarbRecord(nowSecs,cValue,"");
            Log.d("Carbohydrate", " From Watch received " + cValue);
        }
        SyncDBSession session = null;
        try {
            session = new SyncDBSession(
                ((DiabetesDiaryApplication) mCtx).getDBInstance());
            if (r != null)
                session.addRecord(r);
        } finally {
            if (session != null) {
                session.close();
            }
        }
        notifyUpdatedRecordsFromExternalDatasource();
    }
}
};
}
}

```

Ek 2. Akıllı Saatte Glikoz Verisi Transferi ve Gösterimi

```
public class GlucoseActivity extends Fragment implements
    GoogleApiClient.ConnectionCallbacks,
    GoogleApiClient.OnConnectionFailedListener {
    private EditText mGlucoseEditText;
    private Calendar mCalendar;
    private Context mContext;
    private LocalBroadcastManager mBroadcastMgr;
    TextView mTime, mDate, unit, mLatestTime;
    private String timeDay, timeMinutes, timeHour;
    private double gLatestValue;
    private GoogleApiClient googleApiClient;
    @Override
    public View onCreateView(final LayoutInflater inflater, ViewGroup container, Bundle
savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        googleApiClient = new GoogleApiClient.Builder(this.getActivity())
            .addApi(Wearable.API)
            .addConnectionCallbacks(this)
            .addOnConnectionFailedListener(this)
            .build();
        View v = inflater.inflate(R.layout.bg_watch_face, container, false);
        mContext = v.getContext();
        mGlucoseEditText = (EditText) v.findViewById(R.id.seekArcProgress);
        unit = (TextView) v.findViewById(R.id.unit);
        mTime = (TextView) v.findViewById(R.id.mTime);
        mDate = (TextView) v.findViewById(R.id.mDate);
        mLatestTime = (TextView) v.findViewById(R.id.latestTime);

        /**
         * Defined handler for get current time and date..
         */
        final Locale locale = new Locale("nb");
        final Handler timeHandler = new Handler(Looper.getMainLooper());
        timeHandler.postDelayed(new Runnable() {
            @Override
            public void run() {
                mTime.setText(new SimpleDateFormat("HH:mm",
locale).format(Calendar.getInstance().getTime()));
                timeHandler.postDelayed(this, 1000);
            }
        }, 10);
        SimpleDateFormat simpleDateFormat = new SimpleDateFormat("MM/dd/yyyy");
        String date = simpleDateFormat.format(Calendar.getInstance());
        mDate.setText(date);

        mGlucoseEditText.setOnEditorActionListener(new
TextView.OnEditorActionListener() {
            @Override
            public boolean onEditorAction(TextView textView, int i, KeyEvent keyEvent) {
                if (i == EditorInfo.IME_ACTION_DONE){
                    takeRecord();
                }
            }
        });
    }
}
```

```

        }
        return false;
    }
});
return v;
}

// Wrapper function returning latest value
private void getLatestRecord(final int recordType) {

    Wearable.DataApi.getDataItems(googleApiClient).setResultCallback(new
ResultCallback<DataItemBuffer>() {
    @Override
    public void onResult(@NonNull DataItemBuffer dataItems) {
        for (DataItem dataItem : dataItems) {
            DataMap dataMap = DataMapItem.fromDataItem(dataItem).getDataMap();
            int key = dataMap.getInt(RECORD_IDENTIFIER_KEY);
            updateForDataItem(dataItem, key);
        }
        dataItems.release();
    }
});
}

private void updateForDataItem(DataItem item, final int RecordType) {
    Record r =
Record.getRecordFromDataMapItem(DataMapItem.fromDataItem(item));
    if (r instanceof GlucoseRecord && RecordType == GLUCOSE_RECORD_ID) {
        gLatestValue = ((GlucoseRecord) r).getValueMmol();

        DecimalFormat df = new DecimalFormat("#.##");
        mGlucoseEditText.setText(String.valueOf(df.format(gLatestValue)));
        setBackground(R.id.backImage, (int) gLatestValue);

        Intent intent = new Intent("android.intent.action.MAIN");
        intent.putExtra("dataGL", (int) gLatestValue);
        getContext().sendBroadcast(intent);

    }
}

public void setBackground(int image, int value) {
    View v = getView();
    if (v == null)
        return;

    ImageView img = (ImageView) v.findViewById(image);
    if (value < 10 && value >= 4) {
        img.setImageResource(R.drawable.smilee23);
        unit.setTextColor(Color.BLACK);
        mGlucoseEditText.setTextColor(Color.BLACK);
    } else if (value >= 10 && value < 20) {
        img.setImageResource(R.drawable.hmm);
        unit.setTextColor(Color.RED);
        mGlucoseEditText.setTextColor(Color.BLACK);
    } else if (value < 4 || value >= 20) {
        img.setImageResource(R.drawable.sad);
    }
}
}

```



```

        unit.setTextColor(Color.WHITE);
        mGlucoseEditText.setTextColor(Color.WHITE);
    }
}

@Override
public void onStart() {
    super.onStart();
    if (googleApiClient != null)
        googleApiClient.connect();

    //Register a broadcast receiver
    IntentFilter filter = new IntentFilter();

    filter.addAction(Actions.ACTION_NEW_RECORDS_BLUETOOTH);
    filter.addAction(Actions.ACTION_RECORDS_UPDATE_MANUALLY);
    filter.addAction(Actions.ACTION_RECORDS_UPDATE_EXT_DATASOURCE);
    filter.addAction(Actions.ACTION_NEW_RECORDS_PEBBLE);
    //mCtx.registerReceiver(mReceiver, filter);

}

@Override
public void onConnected(@Nullable Bundle bundle) {
    Log.d("connected", "yeah");
    Wearable.DataApi.addListener(googleApiClient, onDataChangeListener);
    getLatestRecord(GLUCOSE_RECORD_ID);
}

@Override
public void onConnectionSuspended(int i) {
    Log.d("fdsfsf", "fdsf");
}

@Override
public void onConnectionFailed(@NonNull ConnectionResult connectionResult) {
    Log.d("fdsfsf", "fdsf");
}

private final DataApi.DataListener onDataChangeListener = new
DataApi.DataListener() {
    @Override
    public void onDataChanged(DataEventBuffer dataEventBuffer) {
        for (DataEvent event : dataEventBuffer) {
            if (event.getType() == DataEvent.TYPE_CHANGED) {
                DataItem item = event.getDataItem();
                Record r =
Record.getRecordFromDataMapItem(DataMapItem.fromDataItem(item));

                int TypeOfRecord = 0;
                if
((item.getUri().getPath()).equals(REGISTRATIONS_GLUCOSE_RECORD)) {
                    TypeOfRecord = GLUCOSE_RECORD_ID;
                } else if
(item.getUri().getPath().equals(REGISTRATIONS_INSULIN_RECORD)) {
                    TypeOfRecord = INSULIN_RECORD_ID;

```

```

        } else if
(Item.getUri().getPath().equals(REGISTRATIONS_CARBOHYDRATE_RECORD)) {
            TypeOfRecord = CARB_RECORD_ID;
        }
        updateForDataItem(Item, TypeOfRecord);
    }
}
};
private void takeRecord() {
    //String record =
String.valueOf(Integer.parseInt(mGlucoseEditText.getText().toString()));
    double recordValue = Float.parseFloat(mGlucoseEditText.getText().toString());
    long nowMs = System.currentTimeMillis();
    int nowSecs = (int) ((nowMs + TimeZone.getDefault().getOffset(nowMs)) / 1000L);
    GlucoseRecord glucoseRecord = new GlucoseRecord(nowSecs, (int)
UnitTools.MmolToMgdl(recordValue), "");
    Log.d("Glucose", "Register:" + glucoseRecord);
    sendRecords(glucoseRecord);
}
private void sendRecords(Record record) {
    List<Record> records = new ArrayList<>();
    records.add(record);
    for (Record r : records) {
        if (r != null && r instanceof GlucoseRecord) {
            if (((GlucoseRecord) r).getValue() == 0) {
                continue;
            }
        }
        if (r instanceof GlucoseRecord) {
            PutDataMapRequest putDataMapReq =
PutDataMapRequest.create(Constants.REGISTRATIONS_GLUCOSE_RECORD);
            putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_IDENTIFIER_KEY,
Constants.GLUCOSE_RECORD_ID);
            putDataMapReq.getDataMap().putInt(Constants.RECORD_SECS_KEY,
((GlucoseRecord) r).secs);
            putDataMapReq.getDataMap().putFloat(Constants.RECORD_VALUE_KEY,
((GlucoseRecord) r).getValue());

            putDataMapReq.getDataMap().putString(Constants.RECORD_COMMENT_KEY,
((GlucoseRecord) r).comments);
            PutDataRequest putDataReq = putDataMapReq.asPutDataRequest();
            putDataReq.setUrgent();
            PendingResult<DataApi.DataItemResult> pendingResult =
Wearable.DataApi.putDataItem(googleApiClient, putDataReq);
        }
    }
}
}
}
}

```

Ek 3. Kullanılan DEXCOM G4 Ölçüm Sistemine Ait Teknik Bilgiler



Dexcom G4® PLATINUM Continuous Glucose Monitoring System CE marked for use in children as young as 2 years old

Sensor¹



**During our manufacturing processes, no latex is added*

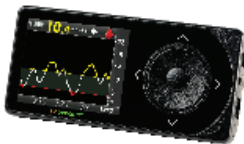
The Sensor* is an enzyme based electrochemical sensor that measures glucose in interstitial fluid (ISF)	
Glucose Range	40-400mg/dL 2.2-22.2mmol/L
Sensor Life	Up to 7 days
Storage Conditions	Temperature: 2°C - 25°C Humidity: 0% - 95% RH
Sterilization	Sterile by radiation
Sensor Placement	Abdomen (adults and children 2+) Upper buttocks (children age 2-17)

Transmitter¹



The Transmitter collects Sensor readings and wirelessly sends them to the Receiver	
Dimensions	3.8 x 2.3 x 1.3 cm (L x W x H)
Weight	10 g (includes sensor pod)
Data Detection Range & Frequency	6 meters 2.4 GHz
Operational Conditions	Temperature: 10°C - 42°C Humidity: 10% - 95% RH
Moisture Protection	IP28: temporary submersion
Power Supply	Non-Rechargeable; Silver Oxide Batteries
Warranty	6 months

Receiver¹



Shown in mmol/L

The Receiver displays glucose readings and trending information and will alert the user if high or low glucose thresholds are reached	
Dimensions	10.1 x 4.6 x 1.3 cm (L x W x H)
Weight	69 g
Memory Storage	30 days of glucose data
Rechargeable Battery	3 days
Storage / Operational Conditions	Temperature: 0°C - 45°C Humidity: 10% - 95% RH
Warranty	1 year

Display information:

- Trend Graphs: 1, 3, 6, 12, and 24 hour are available on screen
- Trend Arrows: Indicate glucose change (rise or fall) rapidly (*more than 3 mg/dl/min | 0.2 mmol/L/min*), moderate (*within 2-3mg/dl/min | 0.11-0.17 mmol/L/min*), slowly (*within 1-2mg/dl/min | 0.06-0.11 mmol/L/min*) or constant (*no rise/fall, within 1 mg/dl/min | 0.06 mmol/L/min*).
- High and Low glucose alerts: customisable to match users target glucose range
- Rise & Fall Alerts: optional alerts to notify user of changing glucose levels. Alert can be set at 2 or 3mg/dl/min | 0.11 or 0.17mmol/L/min.
- Hypo Safety alarm: a special non-adjustable Low Glucose Alarm set at 55mg/dL (3.1 mmol/L)

Ek 4. Huawei Smart Watch 2'ye Ait Teknik Bilgiler

NETWORK	Technology	<u>GSM / HSPA / LTE</u>
LAUNCH	Announced	2017, February
	Status	Available. Released 2017, April
BODY	Dimensions	48.9 x 45 x 12.6 mm (1.93 x 1.77 x 0.50 in)
	Weight	57 g (2.01 oz)
	SIM	Nano-SIM
		- IP68 certified - dust/water proof (up to 1.5m for 30 mins) - Compatible with standard 20mm straps
DISPLAY	Type	AMOLED capacitive touchscreen, 16M colors
	Size	1.2 inches, 9.2 cm ² (~42.0% screen-to-body ratio)
	Resolution	390 x 390 pixels, 1:1 ratio (~326 ppi density)
	Multitouch	Yes
	Protection	Corning Gorilla Glass (unspecified version)
PLATFORM	OS	Android Wear OS 2.0
	Chipset	Qualcomm MSM8909W Snapdragon Wear 2100
	CPU	Quad-core 1.1 GHz Cortex-A7
	GPU	Adreno 304
MEMORY	Card slot	No
	Internal	4 GB, 768 MB RAM
CAMERA		No
SOUND	Alert types	Vibration; MP3, WAV ringtones
	Loudspeaker	Yes
	3.5mm jack	No
COMMS	WLAN	Wi-Fi 802.11 b/g/n
	Bluetooth	4.1, LE, EDR
	GPS	Yes, with A-GPS, GLONASS
	NFC	Yes
	Radio	No
	USB	No
FEATURES	Sensors	Accelerometer, gyro, heart rate, barometer, compass
	Messaging	SMS, Email, IM
	Browser	No
		- Fast charging - MP3 player - Photo viewer - Voice dial/commands
BATTERY		Non-removable Li-Ion 420 mAh battery
	Stand-by	Up to 48 h (mixed usage)

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ömer PEKTAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya – 14.05.1991

Adres: Turgut Özal Mah. Sükut Sok. Tebessüm Sitesi A Blok No: 15 Yeşilyurt /
Malatya

E-Posta: omerpektas003@hotmail.com

Lisans: Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
09/2010 - 06/2015
İnönü Üniversitesi, Malatya / Türkiye
Mezuniyet Ortalaması: 3.23/4.00

Yüksek Lisans: Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilim Dalı
02/2016 - ...
İnönü Üniversitesi, Malatya / Türkiye

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Elektronik Mühendisi - Onpeta Yazılım Ar-ge Danışmanlık Ltd. Şti.
Elazığ/Türkiye
11/ 2015 – 02/2016 (4 ay)

Yazılım Stajyeri - Norwegian Center for E-Health Research
Tromsø/Norveç
02/08/2017 – 30/03/2018 (8 ay)

Yayın Listesi:

Y.Celik, **O.Pektas**, Filter Design To Filter EMG Signals Using Fast Block Least Mean Square. ISITES, Alanya, Turkey, November 3-5, (2016).

M. Koseoglu, **O.Pektas**, O.M.Celik, Artificial lightning control via MQTT based IoT server by a smart phone application. IATS'17 Elazig, Turkey, October 19-22, (2017).

M. Koseoglu, O.M.Celik, **O.Pektas**, Design of an Autonomous Mobile Robot Based on ROS. IDAP'17 Malatya, Turkey, September 16-17, (2017).

Ö. Pektas, M. Muzny, E. Årsand, G. Hartvigsen and M. Koseoglu, Utilizing the New Generation of Wearable Devices in a Combined Diabetes Diary Application. The innovative 11th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Vienna, Austria, February 14-17, (2018).

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR

Ö. Pektaş, M. Muzny, E. Årsand, G. Hartvigsen and M. Koseoglu, Utilizing the New Generation of Wearable Devices in a Combined Diabetes Diary Application. The innovative 11th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Vienna, Austria, February 14-17, (2018).