

Deneyap kart kullanarak pozisyonel uyku apnesi tespiti ve IoT uygulaması

Positional sleep apnea detection and IoT application by using Deneyap card

Harun SÜMBÜL*¹ 

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yeşilyurt Demir Çelik MYO, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Bölümü, 55330, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 09.03.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 11.09.2023

Öz

Bu çalışmada, kalp-damar hastalıkları için risk oluşturabilen, hava yollarını tikayan ve soluma ile ilgili en yaygın hastalıklardan olan Uyku Apnesi hastalığına tanı koymabilecek non-invaziv bir tanı yöntemi geliştirilmiştir. Bu uygulama için yerli – milli imkanlar ile geliştirilen Deneyap Kart kullanılmıştır. Pozisyon ve apne tespitinde Deneyap kart üzerinde dahili olarak bulunan üç eksenli IMU ivmeölçer sensörü (LSM6DSM) kullanılmıştır. Uyku apnesi hastalığının test ölçümlerinin gerçekleştirileceği sembolik ama gerçekde uygun bir ortam oluşturulmuştur. Bu kapsamında ölçümelerin yapılabilmesi için plastik bir bebek maketi kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde hasta yatma pozisyonu, hangi yatma pozisyonunda kaç dakika kaldı, gece boyunca ne kadar pozisyon değiştirdiği, hangi pozisyonunda apneye girdiği gibi hastaya ait birçok parametre başarılı bir şekilde ölçülmüş ve SD karta kaydedilmiştir. Ölçülen parametrelerin uzaktan izlenmesine imkân sağlayacak nesnelerin interneti (IoT) temelli bir sistem geliştirilerek veriler farklı ortamlara iletilerek başarılı bir şekilde izlenebilmiştir. Bu çalışma ile yerli-milli kartımız olan Deneyap Kart kullanarak bundan sonraki çalışmalarla ışık tutabilecek öznel bir çalışma literatüre kazandırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Deneyap kart, Nesnelerin interneti, Uyku apnesi, Yatış pozisyonu

Abstract

In this study, a non-invasive diagnosis that can be used to diagnose Sleep Apnea, which may pose a risk for cardiovascular diseases, obstruct airways and are the most common diseases related to breathing method has been developed. For this application, the Deneyap Card, which was developed with local and national facilities, was used. Three-axis IMU accelerometer sensor (LSM6DSM), which is built into the Deneyap card, is used as a detector. A symbolic but realistic environment has been created in which test measurements of sleep apnea disease will be carried out. In this context, a plastic doll model was used to make the measurements. As a result of the study, many parameters of the patient such as the patient's position, how long he lay in which position, how many times he changed positions during sleep, and in which position he entered apnea were successfully measured and recorded on the SD card. By developing an Internet of Things (IoT)-based system that will allow the remote monitoring of the measured parameters, the data can be successfully monitored by transmitting it to different environments. With this study, a subjective study that can shed light on future studies has been brought to the literature by using our local-national card, the Deneyap Card.

Keywords: Deneyap card, Internet of Things, Sleep apnea, Lying position

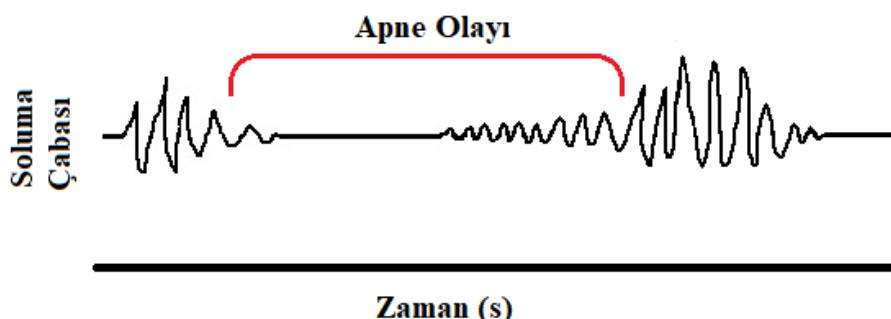
* Harun SÜMBÜL; harun.sumbul@omu.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Uyku Apnesi, uyku esnasında tekrarlayan, üst solunum yolu tikanmasıyla kendini gösteren ve bunun neticesinde de kandaki oksijen miktarının azalmasıyla kişiyi ölüme götürebilen önemli bir sağlık sorunudur. Uyku sırasında birden fazla apne atağı yaşanabilir ve her atak, kandaki satürasyon değerinde azalmaya sebep olur. Böylece kalp oksijen ihtiyacını karşılayabilmek için daha fazla çalışmak ve yorulmak durumunda kalacağından bu durum hastanın tansiyon değerlerini yükseltmek suretiyle vücut metabolizmasını bozmaktadır ([Varady vd., 2003](#)). Vücuttaki tüm sistemlerin oksijene ihtiyaç duyduğu bilindiğine göre oksijensiz kalmak hastayı ölümle sonuçlandırmasa bile inme, hipertansiyon, kalp hastalığı, horlama, depresyon vb. hastalıkları tetikleyebilmektedir. Uyku apnesi yeni doğan bebeklerden oldukça ileri yaşlarda bulunan bireylere kadar herkeste görülebilen önemli bir halk sağlığı sorunu olup dünyada ve ülkemizde bu hatalıktan muzdarip milyonlarca hasta bulunmaktadır. Tanı konulan hasta sayısı kesin olarak bilinmemekle birlikte Türkiye'de resmi verilere göre 1,6 milyona yakın Uyku Apnesi hastası bulunmaktadır ([Uykuder, 2023](#)).

Apne atakları, uyku sırasında solunum durması şeklinde kendisini gösterdiğinde gece hastalar nefessiz kaldıklarında aniden irkilerek uyanabilmektedir. Geçirilen apne atak sayısına bağlı olarak bu durum birçok kez tekrar ettiğinde ise kalitesiz bir uyku gündüz bireyi stresli ve agresif bir duruma da sokabilmektedir ([Rasche vd., 1999](#)). Bu hastalığın son dönemde kadın ve erkeklerde ciddi artış gösterdiği de bilinmektedir ([Xie vd., 2012](#)). [Şekil 1](#)'de hastanın göğüs hareketinin devam ettiği ama uzunca bir süre hareketsiz (nefessiz) kaldıktan sonra tekrar nefes almaya başladığı apne durumu görülmektedir.



Şekil 1. Göğüs hareketi üzerinden apne olayın izlenmesi
Figure 1. Monitoring of apnea event through chest movement

[Komada vd. \(2013\)](#) yapmış oldukları çalışmada uyku apnesi hastalığını üç ana gruba ayırmıştır [13]:

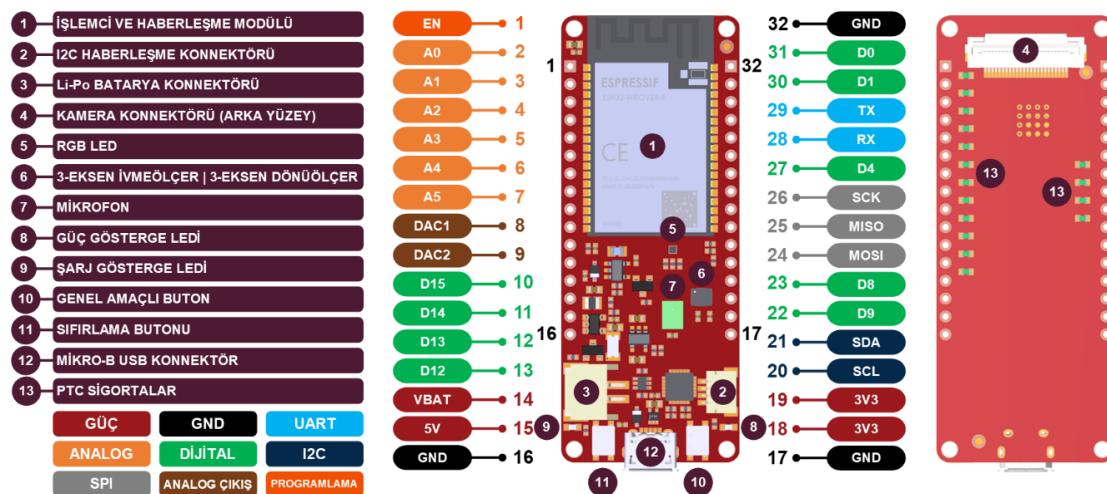
1. Tıkalıcı Uyku Apnesi (Obstructive Sleep Apnea – OSA):
2. Merkezi Uyku Apnesi (Central Sleep Apnea – CSA):
3. Bileşik Uyku Apnesi (Mixed Sleep Apnea – MSA):

Merkezi uyku apnesi hem solunum hareketlerinin hem de hava akımının 10 saniye ya da daha uzun süre tamamen kesilmesi şeklinde tanımlanmaktadır ([Teofilo vd., 2003](#)). Bununla birlikte diyafram hareketlerinden apne tespiti sadece CSA tipi için uygundur. Bu çalışmada da CSA tip apne üzerinde durulmuştur. Uyku apnesi hastalığı kişilerin yaşam kalitesini de bozan ve henüz net bir tedavisi bulunmayan ve maalesef toplum içinde çok fazla bilinmeyen önemli bir hastalıktır. Özellikle son dönemde bu hastalığın teşhis ve tedavisine yönelik önemli çalışmalar yapılmışsa da henüz bu sorun tam manası ile çözüm bulmuş değildir. Teknolojinin gelişmesi ile önemli birçok çalışma yapılmış ve faktı yöntemler kullanılarak bu sorunun üzerine gidilmiştir. Literatürde giyilebilir teknolojiler üzerine gerçekleştirilen ve kas hareketlerinin izlenmesi; birtakım sensörler yardımı ile apne tespiti; yapay zeka, derin öğrenme gibi çeşitli makine öğrenme yöntemleri ile apne algılama algoritmalarının oluşturulması; apneli hastaların uzaktan takibi; akustik sinyaller ile apne anını tespit etme; elektrokardiyografi (EKG) yardımı ile apne bulma; abdomen ve toraks bölgeleri üzerinden Mikro Elektrik Mekanik Sistemler (MEMs) tabanlı yarı iletken ivme ölçerler yardımı ile diyafram hareketlerinin izlenmesi ve soluma takibi gibi apne tespitinini inceleyen çalışmaların sayısı oldukça fazladır ([Xu vd., 2021](#); [Uriel vd., 2021](#); [Hassan vd., 2022](#); [Chen vd., 2022](#); [Yüzer vd., 2020](#); [Wisana vd., 2021](#); [Sümbül vd., 2022](#); [Mallegni vd., 2022](#); [Pombo vd., 2020](#); [Yüzer vd., 2020](#)). Özellikle apne tespitinde ivme ölçer kullanımını son dönemde oldukça dikkat çeken ve başarılı sonuçlar veren yöntemler arasındadır. Nefes alıp verme sırasında göğüs ve karın bölgelerinde hareketler oluşmaktadır ve bu hareketler neticesinde ortaya çıkan statik ivme bilgisi (g kuvveti),

bir ivmeölçerler yardımcı ile rahatlıkla izlenebilir ([Sümbül vd., 2015](#)). Algılayıcının referans konumu genellikle, XY eksenlerinin yere paralel olduğu (0g), Z ekseninin ise yere dik olduğu (1g) konumdur. Ivmeölçer ile tespit edilen 3 eksenli (XYZ) ivme bilgisi, akciğere hava girip girmediği, dolayısı ile hastanın nefes alıp olmadığı konusunda, yani apnenin saptanmasında kullanılan en güvenilir yöntemlerden birisidir ([Kaimakamis vd., 2009](#)). Bu eksen bilgileri ile aynı anda hasta yataş pozisyonu da tespit edilebilmektedir.

Bunun yanında özellikle yataş pozisyonuna bağlı uyku apnesi hastalığında (pozisyonel uyku apnesi) hasta yataş pozisyonu tespiti de oldukça önemli bir konudur ([Sümbül vd., 2016](#)). Yanlış uyku posturunda yatan kişilerde apne atağı geçirmeye ihtimali daha fazladır. Pozisyonel Apne her yaşıta görülebilmesine rağmen bu konu bebekler için hayatı öneme sahiptir. Çünkü bebekler uyurken farkında olmadan yüz üstü pozisyonuna gelebilirler ve henüz yutma refleksi tam olarak gelişmediği için kendi salyalarında boğulma riski taşırlar. Bu nedenle, bebeğin yaşamını kaybetme riskiyle karşıya kalabileceği, nefessiz kalma ve uyku esnasında boğulma riskleriyle karşıya olduğu unutulmamalıdır. Bu sebeple, bebeklerin güvenli bir yataş pozisyonu olan sırtüstü pozisyonda yatırılması ve bu pozisyonunun korunması gereklidir. Bebekler uyku sırasında kendi kendilerine pozisyon değiştirme eğiliminde olsalar bile, uykuya sırtüstü pozisyonda başlamaları önemlidir. Bu nedenle, bebeklerin uyku esnasındaki yataş pozisyonları devamlı olarak izlenmelidir ([Genç, 2023](#)). Yatma pozisyon algılama konusunda da yine MEMs tabanlı 3 eksenli yarıiletken ivme ölçerleri sıkılıkla kullanılmaktadır ([Oral vd., 2022](#)).

Bu çalışmada uyku esnasında solunum sırasında göğüste oluşan diyafram kaynaklı hareketlerinin gözlenmesi yöntemi ile pozisyonel apne tespiti için yerli-milli olarak üretilmiş olan DENEYAP KART kullanılarak bir veri toplama ve kaydetme sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan Deneyap Kart elektronik geliştirme kartı, orjinal ESP32-WROVER-E modülü kullanılarak T3 (Türkiye Teknoloji Takımı) vakfinin desteğiyle yerli teknoloji girişimi tarafından ülkemizin mühendislik kaynakları kullanılarak yerli-milli imkanlarla geliştirilmiştir. Kart, yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı projelerde de kullanılabilen, güçlü bir çift çekirdekli Tensilica Xtensa LX6 mikroişlemcisi içermektedir ([Deneyap Kart, 2023](#)). Şekil 2, Deneyap karta ait pin diyagramı ve teknik çizimi göstermektedir.



Şekil 2. Deneyap kart pin diyagramı ve teknik çizimi
Figure 2. Deneyap Card Pin Diagram and Technical Drawing

Deneyap kart kullanılarak geliştirilen devrede, 3 eksenli dijital çıkış verebilen, kart üzerine konuşturulmuş bir dahili Çoklu Sensör Kartı (IMU) algılayıcısı (LSM6DSM) kullanılmıştır (Şekil 2' de 6 numaralı blok). Mems yapıda imal edilmiş bu yüksek hassasiyetli algılayıcı ile rahatlıkla $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g aralıklarında 3-eksen ivme ölçümü yapılabilmektedir. Algılayıcıdan alınan ivme bilgileri seri çevre birimi arayüzü (SPI) seri veri bağlantısı yöntemi kullanılarak mikrodenetleyici tarafından okunmuştur.

Algılayıcıdan alınan bilgiler, güvenli sayısal hafıza kartında (SD) saklanmakta ve aynı zamanda evrensel seri veriyolu (USB) aracılığıyla bilgisayara aktarılabilmektedir. Solunum sinyallerinin yanı sıra hasta pozisyonu gibi bilgiler de ilgili veriler arasında yer almaktadır. Bu sayede hastanın solunum hareketlerinin ne zaman ve hangi pozisyonda yapıldığı kolayca takip edilebilmektedir. Bu veriler ayrıca cihazın üzerindeki sıvı kristal

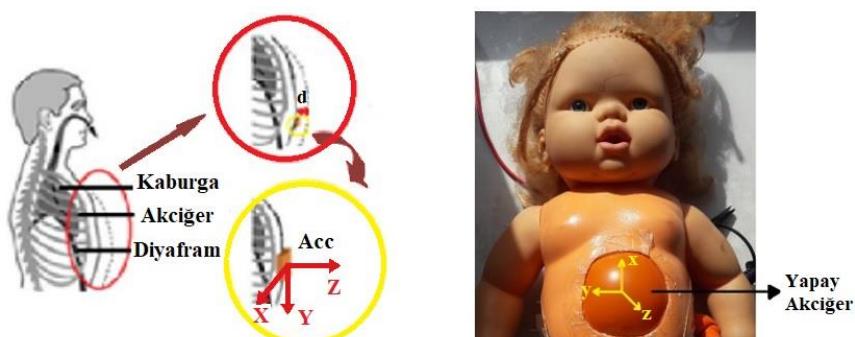
ekran (LCD) aracılığıyla da anlık olarak takip edilebilmektedir. Uyarlanlar tarafından apne durumu ve yatis pozisyonları tespit edilebilir hale getirilmiştir. Bu da sistemin Pozisyonel Uyku Apnesi çalışmalarında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Geliştirilen proje ile hem yatis pozisyonu hem de apne durumu başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Apne tespiti, daha zahmetsiz ve Pratik olarak diyafram hareketleri neticesinde ortaya çıkan ivmelenmeler üzerinden fizyolojik sinyal izleme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yapılrken de akademik literatürde ilk kez yer alacak yerli-milli bir kart (deneyap kart) kullanılmıştır. Nitekim yapılan kapsamlı literatür taramasında Deneyap kart kullanılarak geliştirilen bir uygulama örneğine rastlanılmamıştır. Gerçekleştirilen proje bu yönyle (ölçülen verilerin doktora kablosuz ulaşılması) mevcut projelerden (PSG-Polisomnografi cihazlarından) ayırmakta ve bir adım öne çıkmaktadır. Gerek yazılımı ve gerekse donanımı ile yerli ve milli olarak geliştirilen bu cihazın biyomedikal cihaz teknolojisinde önemli bir boşluğu doldurması beklenmektedir.

2. Materyal ve metot

2. Material and method

Bu projede Deneyap kart üzerinde dahili halde bulunan LSM6DSM sensör kullanılarak respirasyon ve pozisyon durumları tespit edilmiştir. Kullanılan sensörün hasta toraks bölgesinde konumlandırıldığı bölge ve XYZ doğrultularında ivme verilerinin ölçümle yöntemi Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. Akciğer hareketlerinin 3 eksenli modellenmesi

Figure 3. 3 -axis modeling of lung movements

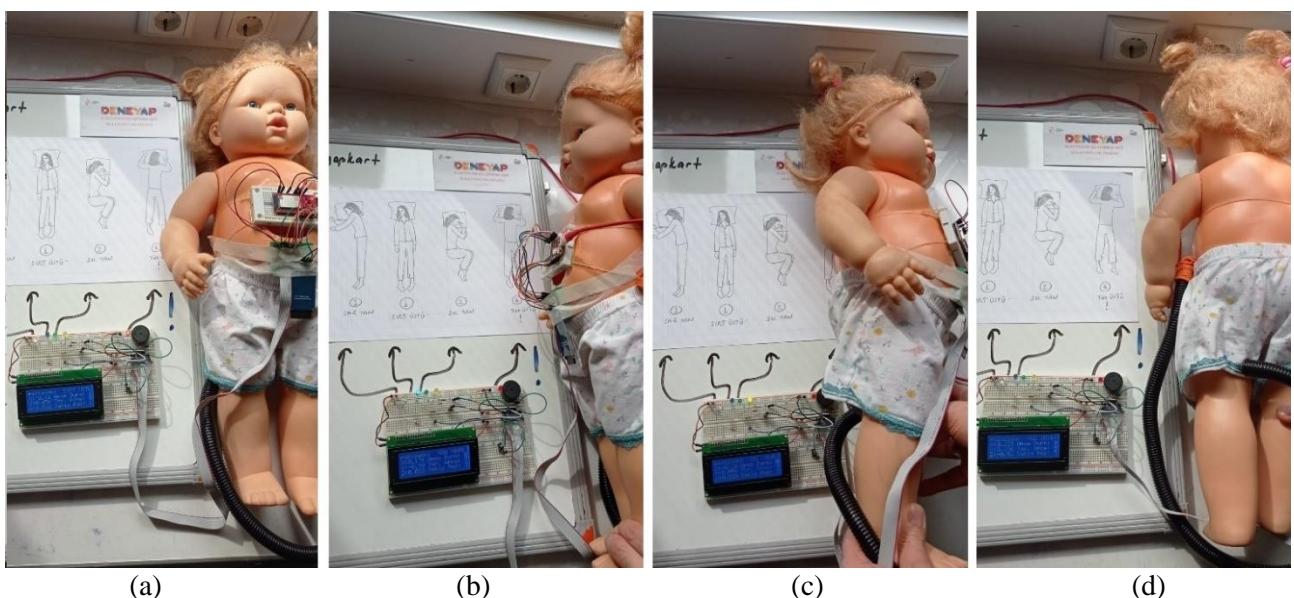
Çalışma ölçümelerin yapılabilmesi için Şekil 4' de görülen plastik bir bebek maket modeli kullanılmıştır. Diyaframı temsilen modelin göğüs bölgesi kesilmiş ve içerisine akciğeri temsilen plastik balon yerleştirilmiştir. Bu bölgeye de plastik hortum vasıtası ile solumayı temsilen pompa kullanılarak hava akışı sağlanmıştır. Böylece modelin respirasyon (nefes alışverişi olayı) yapması sağlanmıştır. Sağlıklı bir birey soluma esnasında cigerlerine ortalama 0.50 litre hava alır. Bununla birlikte akciğer hacim ve kapasiteleri yaş, boy ve cinsiyete göre farklılık gösterir. Uzun ve zayıf bireyler, kilolu bireylere göre daha büyük akciğer kapasitesine (vital kapasite) sahiptirler (Ardıç vd., 2012). Ölçüm sisteminin gerçek modele yakın ve uygun olabilmesi için bu parametrelere (bebek model boyu, akciğeri temsil etmek üzere bebek model içerisinde yerleştirilen plastik balon elastiki yapısı ve fiziksel özelliklerini, verilen hava hacmi vs.) azami dikkat edilmiştir. Böylece hazırlanan deney düzeneği için gerçek ortama yakın veriler kullanılmıştır.

Pozisyon ve apne olayı tespiti için kullanılacak LSM6DSM ivmeölder, Deneyap kart üzerinde dahili bulunduğundan, kart modelin göğüs bölgesine üzerine sabitlenmiş ve bağlantı kabloları yardımı ile uzatılarak anakarta bağlanmıştır. Ölçüm düzeneği bu şekilde oluşturulmuştur. Çalışmada böyle bir model oluşturulduğundan etik belgesi alınmasına gerek kalmamıştır. Şekil 3'teki ölçümeler, göğüs kafesi bölgesindeki ivmelenmenin (d mesafesindeki eksenel yer değişikliği) soluma sonucuya elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, sistemin gerçek hastalar üzerinde de başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Geliştirilen projenin uygulanabilirliğini gösteren plastik model Şekil 4' de görülmektedir.



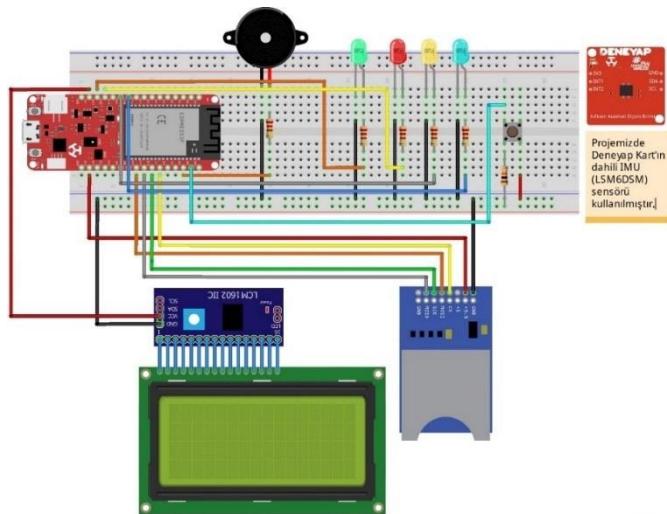
Şekil 4. Apne ve Pozisyon tespit deneme çalışmalarında kullanılan model
Figure 4. Model used in apnea and position detection trial studies

Ayrıca, pozisyon bilgisi elde etmek için her üç eksendeki ivme değerleri kullanılarak bir pozisyon algoritması geliştirilmiştir ve buna göre 4 farklı yatış pozisyonu tanımlanmıştır. Sırt üstü yatış için 1; sol yan yatış için 2; sağ yan yatış için 3 ve yüz üstü yatış içinde 4 bilgisi üretilmektedir. Hasta yatış pozisyon tespiti çalışmalarına ait görseller Şekil 5' te verilmiştir.



Şekil 5. Deneyap Kart ile hasta yatış pozisyonu tespiti, sırt üstü (a), sağ yan (b), sol yan (c), yüz üstü (d).
Figure 5. Determination of Patient Living Position Using Deneyap card; supine (a), right side (b), left side (c), prone (d).

Şekil 6, fritzing programı kullanılarak oluşturulan devrenin şemasını göstermektedir.

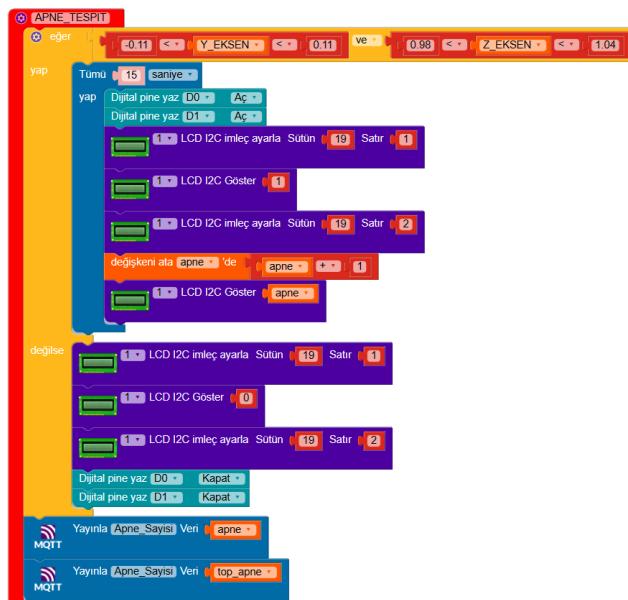


Şekil 6. Devre fritzing şeması

Figure 6. Circuit fritzing scheme

Deneyap kart, programlanabilir bir kart olarak, çeşitli programlama dilleri ile programlanabilir. Bu diller arasında Arduino IDE, Blok, PlatformIO IDE ve MicroPython gibi popüler diller yer almaktadır. Bu çalışmada ise deneyap kart programlamak için deneyap blok kullanılmıştır. Deneyap Blok, Google Blokly'e dayanan ücretsiz ve açık kaynaklı bir görsel programlama dilidir.

Apne olayı, hastanın en az 10s süre ile nefessiz kalması olarak nitelendirilmektedir ([Iber vd., 2007](#)). Buradan yola çıkararak geliştirilen apne tespit algoritmasına göre hastanın nefes almama durumu, yani göğüs bölgesinde herhangi bir hareket olmama, ivme oluşmama durumu eğer 10 saniye ve üzeri sürdü ise bu durum apne olarak kabul edilmiştir. Kişi uyuklarında birden fazla apneye girebildiklerinden, cihaz üzerinde görülen LCD üzerinden toplam apne sayısı bilgisi de verilmektedir. Böylelikle hastalar gece boyunca apneye kaç defa girdikleri ve hatta hangi pozisyonda kaçar kez girdikleri bilgisini SD kart ve LCD üzerinden anlık olarak ta görebileceklerdir. Bu durum doktorlarında iş yükünü oldukça azaltacak ve kolaylaştıracak bilgileri ihtiya etmektedir. Bu kapsamda geliştirilen apne tespit algoritması blok programı da Şekil 7' de görülmektedir.



Şekil 7. Apne tespit algoritması blok kodları

Figure 7. Apnea detection algorithm block codes

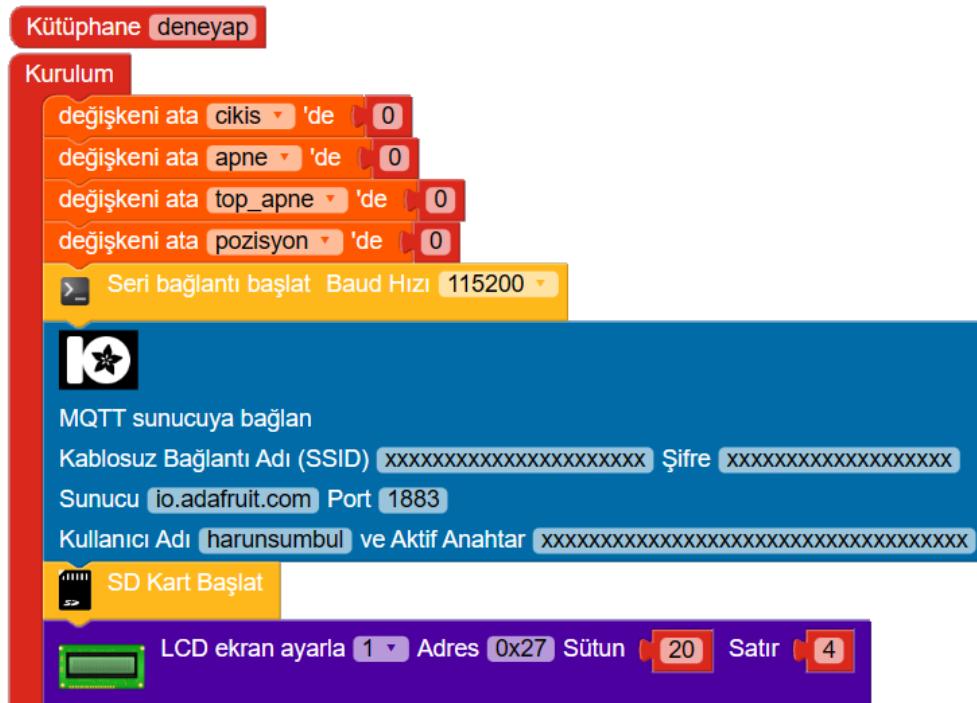


Şekil 8. Deneyap Blok kullanılarak geliştirilen pozisyon tespit algoritması
Figure 8. Position Detection Algorithm Developed using Deneyap Block

Deneyap Blok kullanılarak geliştirilen pozisyon tespit algoritması Şekil 8' de görülmektedir. Buna göre hasta, en tehlikeli yatma pozisyonu kabul edilen yüz üstü yatar pozisyonuna geçtiği anda cihaz üzerindeki sesli uyarı elemanı (buzzer) sesli uyarım vermektedir.

Nesnelerin İnterneti (IoT), farklı aygıtların internet, bluetooth gibi ağlar üzerinden birbirleriyle iletişim kurarak, veri toplama, işleme ve paylaşma yeteneklerine sahip olmalarını sağlayan bir kavramdır (Demir vd., 2018). Bu sayede, cihazlar arasındaki iletişim kolaylaşır ve verimlilik artar. IoT, birçok sektörde kullanılan ve hayatımızın birçok alanında etkisini gösteren bir teknolojidir. Kurulan devre yardım ile ölçülen verilerin uzaktan başka bir ortama iletilmesi, çalışma için oldukça önemlidir. Zira uyku apnesine girmiş ve uzun süre bu durumda kalıp nefessiz kalan, benzer şekilde yüz üstü pozisyonunda uzun süre kalıp pozisyon değiştiremeyen hastaların uzaktan takibi hayatı öneme sahiptir. Bu verilerin kaydedilmesi, internet üzerinden iletilmesi ve teşhis konusunda doktora yardımcı olabilmesi açısından çalışmaya IoT özelliği eklenmiştir. Böylece doktorlar, uzaktaki hastalarına ait bir takım yaşamsal verileri (apne durumu, toplam apne sayısı, yatış pozisyon bilgisi, pozisyonel apne olayları vb.) kendi ekranlarından anlık olarak takip edebilmektedirler. Mevcut durumda bu işlem, hastanelerde bulunan uyku odalarında gerçekleştirilmektedir. Hastalar bu odalara alınır ve gerekli koşullar sağlanarak hastanın en az 8 saatlik uyuması sağlanarak hasta üzerinden veriler PSG (Polisomnografi) cihazı üzerinden kaydedilmektedir. Bu iş oldukça zahmetli ve maliyetli bir iştir. Zira ülkemizde hala çok az sayıda bulunan uyku odaları her gece için tek hastaya hizmet verebildiğinden ve ülkemizde uyku odasında teşhis konulmasını bekleyen çok fazla sayıda apne hastası bulunduğuundan bu alanda yeni teknolojilerin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda gerçekleştirilen bu çalışma yerli milli imkanlar ile bu konudaki eksiklikleri ortadan kaldırabilecek niteliktedir.

Ölçülen verilerin kablosuz olarak farklı ortamlara iletimini sağlamak için bir internet sunucusuna ihtiyaç vardır. Bu çalışmada faydalanan sunucu hizmeti, ücretsiz olarak sunulan <https://io.adafruit.com/> internet sitesinde bulunmaktadır (Adafruit, 2023). Ölçülen verilerin AdaFruit üzerinden alınabilmesi için verilerin tutulacağı gerekli sayfalar (Dashboard) oluşturulmuştur. Oluşturulan sayfa üzerinden verilerin anlık görüntülenip grafiğe aktarılması içinde “Line Chart” aracından faydalanyılmıştır. Verileri iletebilmek için Şekil 9' da verilen blok kodları oluşturulmuştur. Verilerin iletimi için son derece basit ve kullanımı kolay olan MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) protokolü kullanılmıştır.



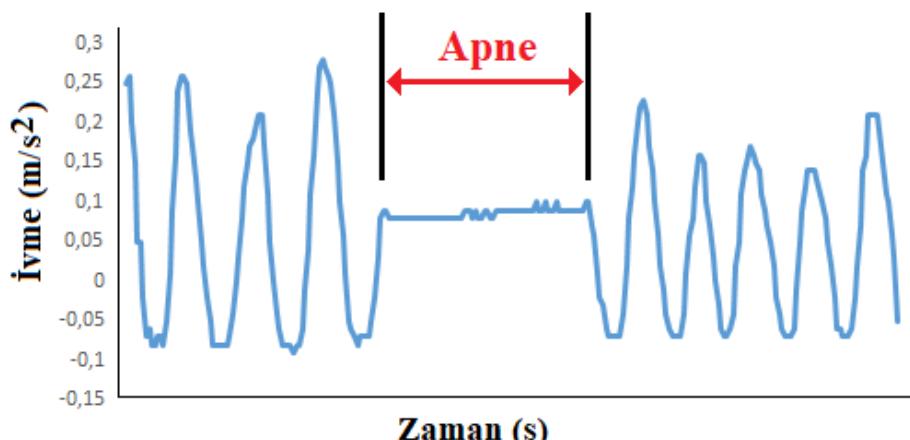
Şekil 9. IoT için AdaFruit MQTT bloğu dahil etme blok kodları

Figure 9. AdaFruit MQTT block inclusion block codes for IoT

3. Bulgular

3. Results

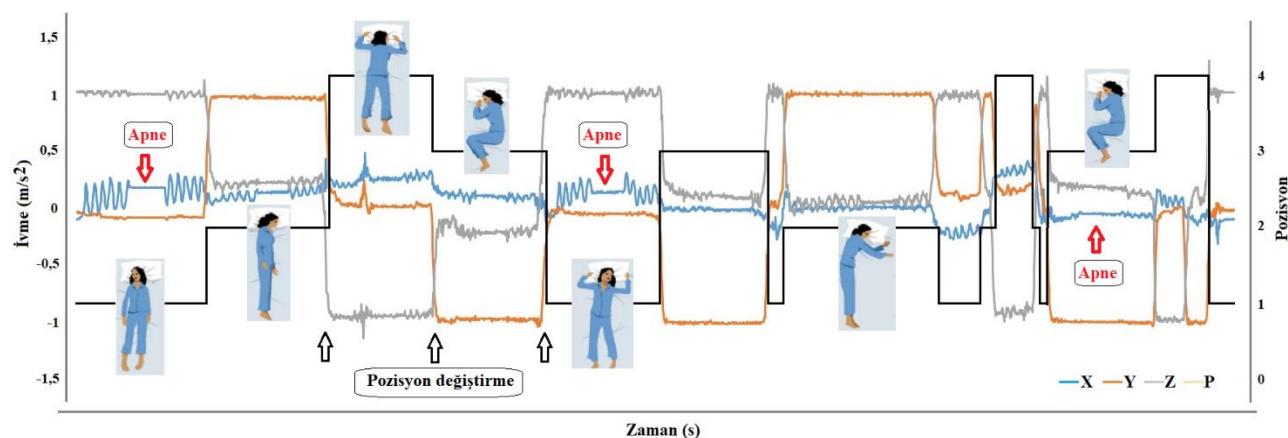
Apne tespiti için ivmeölçer modelin göğüs bölümünü yerleştirmiştir ve harici bir hava kaynağı ile modele insiprasyon ve ekspirasyon yaptırılmıştır. Apne olayını temsil eden hava 10s boyunca kesilmiş ve tekrar hava verilmeye başlanmıştır. Bu durumda ivmeölçer aracılığı ile veriler ölçülerek SD karta kaydedilmiştir. Kayıtlar analiz edildiğinde model yardımı ile apne olayının başarılı bir şekilde tespit edilebildiği görülmüş ve elde edilen apne grafiği Şekil 10' da verilmiştir.



Şekil 10. İvmeölçer yardımı ile model üzerinden apne olayının ölçülmesi

Figure 10. Measuring the apnea event on the model with the help of the accelerometer

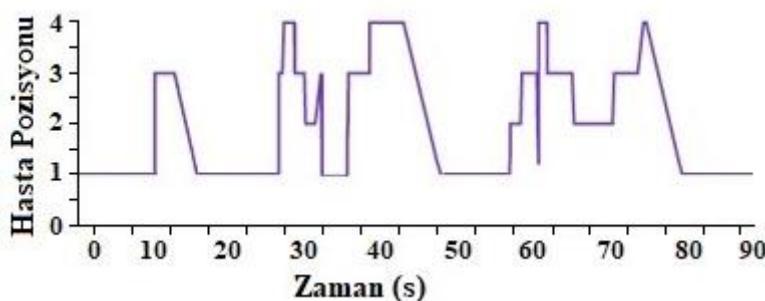
Şekil 11, geliştirilen sistem ile hasta pozisyonu ve pozisyonla bağlı apne olaylarını göstermektedir. Şekil 11 dikkatle incelendiğinde hastanın uykusu sırasında 16 defa pozisyon değiştirdiği ve pozisyonla bağlı olarak ta 6 defa apneye girdiği belirgin bir şekilde görülmektedir. Benzer şekilde soluma sinyalleri de izlenmekte ve hastanın hangi pozisyonda iken kaç defa respirasyon yaptığı anlaşılmaktadır. Örneğin Şekil 11' e göre hasta sırt üstü pozisyonda iken 6 defa nefes alıp vermiş ve devamında apneye girmiştir. Apne çıkışında ise 5 kez nefes alıp verdikten sonra pozisyon değiştirmiştir ve sol yan şeklinde uyumaya devam etmiştir.



Şekil 11. Geliştirilen sistem ile hasta pozisyonu ve pozisyonla bağlı apne olayları

Figure 11. Measurement of patient position and position-related apnea events using the developed system

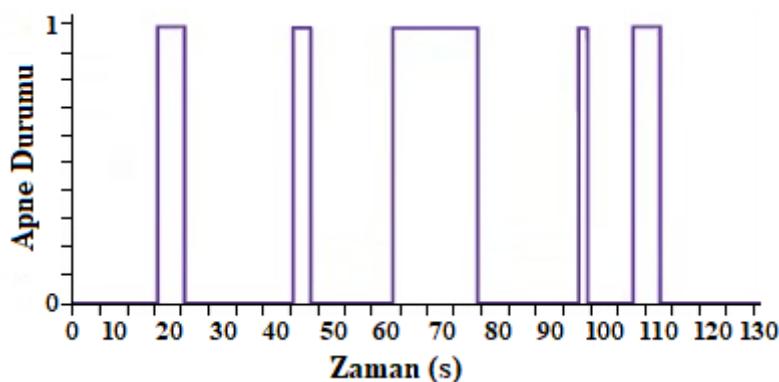
Ölçülen verilere uzaktan erişilebilmesi için geliştirilen adafruit ortamı ile modelin pozisyonuna girme ve apne sayıları örnek olarak sırası ile Şekil 12 ve Şekil 13' de verilmiştir. Şekil 12 incelendiğinde hastanın 21 defa pozisyon değiştirdiği ve 4 defa tehlikeli kabul edilen yüz üstü yatış pozisyonunda kaldığı anlaşılmaktadır. (Burada hasta pozisyon bilgisi; 1: Sırt üstü yatış; 2: sol yan yatış; 3: sağ yan yatış, 4: yüz üstü yatış şeklinde etiketlenmiştir.)



Şekil 12. Adafruit ortamından hastanın pozisyon bilgisi grafiği

Figure 12. Patient position information graph from Adafruit environment

Şekil 13' de ise hastanın 5 defa apneye girdiği ve farklı sürelerde apnede kaldığı görülmektedir. (Burada Apne durum bilgisi; 1: Apne VAR; 0: Apne YOK şeklinde etiketlenmiştir.)



Şekil 13. Adafruit ortamından apne bilgisi grafiği

Figure 13. Apnea info graph from Adafruit environment

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Bu araştırmada, Uyku Apnesi hastalığından kaynaklanan solunum problemlerinin tanısında kullanılabilen, yerli ve milli kaynaklar kullanılarak geliştirilen bir biyomedikal ölçüm ve uyarı cihazı tasarlanmıştır. Algılamacı olarak, Deneyap Kart'ta bulunan dahili IMU sensörü (LSM6DSM) kullanılmıştır. Literatürde apne tespit yöntemleri ile alakalı birçok çalışma bulunmasına rağmen apne anını tek bir algılamacı ile tespit edip sonuçları da kablosuz aktaran çok az çalışma bulunmaktadır. Gerçekleştirilen proje bu yönyle (ölçülen verilerin doktora kablosuz ulaştırılması) mevcut projelerden (PSG cihazlarından) ayrılmakta ve bir adım öne çıkmaktadır. Tanı konmayan çoğu uyku apnesi hastaları için zamanında teşhis oldukça önemli bir sorundur. PSG kaydı teknik uzmanlık gerektiren, yoğun emek isteyen ve zaman alan pahalı ve karmaşık bir işlemidir. Ülkemizde çok yaygın olmayan ve bu yüzden aylar sonra randevu verebilen uyku odaları ve oldukça pahalı olan PSG cihazları, mevcut durumun en önemli dezavantajlarıdır. Sunulan çalışmada gerek yazılımı ve gerekse donanımı ile yerli ve milli olarak geliştirilen bu cihazın biyomedikal cihaz teknolojisinde önemli bir boşluğu doldurması beklenmektedir.

Uyku Apnesi hastalığına ön tanı koyabilecek araştırmanın yapıldığı bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Algılamacının pozisyonu en uygun şekilde belirlenmiştir.
- Bebekler için yatma pozisyonun takibi ve bunun önemi, deneyimsel sonuçlarla gösterilmiştir.
- Hastanın yattığı pozisyon, ne kadar süre boyunca o pozisyonda kaldığı ve kaç kez pozisyon değiştirdiği gibi birçok pozisyonel parametre, başarılı bir şekilde ölçülmüştür ve daha sonra bu verilerin analiz edilebilmesi için SD karta kaydedilmiştir.
- Ölçülen parametrelerin uzaktan izlenmesine imkân sağlayacak IoT temelli bir sistem geliştirilerek veriler farklı ortamlara iletilerek başarılı bir şekilde izlenebilmiştir.

- Doktorlar için uzaktan hasta takibine yönelik yerli-milli bir medikal cihaz geliştirilmiştir.
- Bu çalışma ile yerli-milli kartımız olan DENEYAP KART kullanarak bundan sonraki çalışmalara ışık tutabilecek öznel bir çalışma literatüre kazandırılmıştır.

İleriki çalışmalar olarak ise aşağıdaki özelliklerin eklenmesi düşünülmektedir;

- Apne hastaları için titreşime dayalı bir uyarı teknigi geliştirme,
- Geliştirilen cihazın, apne durumunda hastayı uyaran bir sesli alarm özelliği zaten bulunmaktadır. Ancak, daha fazla güvenlik sağlamak için, uykusu ağır olan hastalar için uyarı sistemini geliştirmek için çalışmalar yapılabilir. Örneğin, hareket sensörleri veya basınç sensörleri kullanarak, hastanın yatağından çıktıığında veya aşırı hareket ettiğinde alarm sistemi otomatik olarak devreye girebilir. Böylece, hasta yakını daha hızlı bir şekilde uyarılabilir ve gerekli müdahaleler yapılabilir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nin Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinatörlüğü tarafından PYO.YMY.1908.23.001 numaralı proje ile finanse edilmiştir. Makale, inceleme ve değerlendirme aşamalarında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi editör ve hakemlerinin yapmış olduğu katkılardan dolayı teşekkür ediyoruz.

Yazar katkısı

Author contribution

Çalışmada bir başka yazarın katkısı yoktur.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni veya yasal-özel izin gerektirdiğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

References

Adafruit. (2023). <https://io.adafruit.com/harunsumbul/wippersnapper>

Ardıç, S., Demir, A. U., Hikmet, F., Oktay, B., Darılmaz, Y. G., Zübeyir, Y., Pınar, A., Cengiz, Ö., & Bardakçı, M. G. (2015). Chronic obstructive pulmonary disease and obstructive sleep apnea symptoms: an outpatient-based population study in Turkey. *Turkish Journal of Geriatrics*, 15(2), 142-150.

Chen, E. X., Chen, Y., Ma, W., Fan, X., & Li, Y. (2022). Toward sleep apnea detection with lightweight multi-scaled fusion network. *Knowledge-Based Systems*, 247, 108783. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108783>

Demir, A.K., & Abut, F. (2018). Grid ağ topolojilerinde CoAP ve CoCoA tıkanıklık kontrol mekanizmalarının karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 53-60. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.436056>

Deneyap Kart. (2023) <https://docs.deneyapkart.org/tr/content/contentDetail/deneyap-kart>

Genç, Y. (2023), <https://www.medikalakademi.com.tr/bebeklerde-uyku-pozisyonu-nasil-olmali/>

- Hassan, O., Paul, T., Shuvo, M.H., Parvin, D., Thakker, R., Chen, M., Mosa, A. S. M., & Islam, S. K. (2022). Energy efficient deep learning inference embedded on FPGA for sleep apnea detection. *Journal of Signal Processing Systems*, 94, 609–619. <https://doi.org/10.1007/s11265-021-01722-7>
- Iber, C. (2007). The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical Specification, <https://ci.nii.ac.jp/naid/10024500923>.
- Kaimakamis, E., Bratsas, C., Sichletidis, L., Karvounis, C., & Maglaveras N. (2009). Screening of patients with obstructive sleep apnea syndrome using C4.5 algorithm based on nonlinear analysis of respiratory signals during sleep. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Minneapolis, MN, USA*, 3465-3469. <http://dx.doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5334605>.
- Komada, Y., Takaesu, Y., Nishida, S., Sasai, T., Furudate, N., & Inoue, Y. (2013). Comparison of clinical features between primary and secondary sleep-related eating syndrome. *Sleep Medicine*, 14S, e165–e238. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2013.11.404>
- Mallegni, N., Molinari, G., Ricci, C., Lazzeri, A., Rosa, D. L., Crivello, A., & Milazzo, M. (2022). Sensing devices for detecting and processing acoustic signals in healthcare. *Biosensors*, 12(10), 835. <https://doi.org/10.3390/bios12100835>
- Oral, O., Bilgin, S., & Ak, M. U. (2022). Evaluation of vibration signals measured by 3-Axis MEMS accelerometer on human face using wavelet transform and classifications. *Tehnički vjesnik*, 29(2), 355-362. <https://doi.org/10.17559/TV-20210820150837>
- Pombo, N., Silva, B. M. C., Pinho, A. M., & Nuno Garcia. (2020). Classifier precision analysis for sleep apnea detection using ECG signals. *IEEE Access*, 8, 200477-200485. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036024>
- Rasche, K., Duchna, H. W., Lauer, J., Orth, M., Kotterba, S., Bauer, T. T., Gillissen, A., & Schultze-Werninghaus, G. (1999). Obstructive sleep apnea and hypopnea efficacy and safety of a long-acting beta2-agonist. *Sleep and Breathing*, 3(4), 125–129. <https://doi.org/10.1007/s11325-999-0125-1>
- Sümbül, H., & Yüzer A. H. (2016). 3D monitoring of lying position for patients with positional sleep apnea syndrome. *Journal of New Results in Science*, 12(2016), 59–76. <http://dergipark.gov.tr/jnrs/issue/27333/287730>
- Sümbül, H., & Yüzer A. H. (2015). Measuring of diaphragm movements by using iMEMS acceleration sensor. *International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2015)*, Bursa, Turkey, 166-170. <https://doi.org/10.1109/ELECO.2015.7394532>
- Sümbül, H., Yüzer, A.H., & Şekeroğlu, K. (2022). A novel portable real-time low-cost sleep apnea monitoring system based on the global system for mobile communications (GSM) network. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 60, 619–632. <https://doi.org/10.1007/s11517-021-02492-x>
- Teofilo L., & Lee-Chiong, Jr. (2003). Monitoring respiration during sleep. *Clinics in Chest Medicine*, 24(2), 297-306, [https://doi.org/10.1016/s0272-5231\(03\)00021-2](https://doi.org/10.1016/s0272-5231(03)00021-2).
- Uriel, M. H., Benjamin, M., Tareq, A., Leen, J., James, M. & Dingguo, Z. (2021). Wearable assistive robotics: a perspective on current challenges and future trends. *Sensors*, 21(20), 6751. <https://doi.org/10.3390/s21206751>
- Uykuder. (2023). <https://www.ntv.com.tr/saglik/turkiyede-1-5-milyon-kisinin-uykusunu-bozuk,A1xsz8gyOUqh-Ppyq3D-KQ>
- Varady, P., Bongar, S., & Benyo, Z. (2003). Detection of airway obstructions and sleep apnea by analyzing the phase relation of respiration movement signals. *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, 52(1), 2-6. <https://doi.org/10.1109/TIM.2003.809095>

- Wisana, I. D. G. H., Nugraha, P. C., & Estiwidani, D. (2021). The effectiveness obstructive sleep apnea monitoring using telemedicine smartphone system (TmSS). *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, 50, 113–121. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jbbbe.50.113>
- Xie, B., & Minn, H. (2012). Real-time sleep apnea detection by classifier combination. *IEEE Transactions On Information Technology In Biomedicine*, 16(3), 469-477. <https://doi.org/10.1109/TITB.2012.2188299>
- Xu, J., & Yuan, K. (2021). Wearable muscle movement information measuring device based on acceleration sensor. *Measurement*. 167(108274). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108274>
- Yüzer, A. H., Sümbül, H., & Polat, K. (2020). A novel wearable real-time sleep apnea detection system based on the acceleration sensor. *IRBM Innovation and Research in BioMedical engineering*, 41(1), 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2019.10.007>
- Yüzer, A. H., Sumbul, H., Polat, K., & Nour, Majid. (2020). A different sleep apnea classification system with neural network based on the acceleration signals. *Applied Acoustics*, 163, 107225. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107225>