# Çocuklar İçin Yaşamsal İşaretleri Takip Eden Ekosistem Tasarımı

# Vital Signs Monitoring Ecosystem for Children

Burak AKBUĞDAY
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Izmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
burak.akbugday@ieu.edu.tr

Melahat KIZIL
İlk ve Acil Yardım Programı
İzmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
melahat.kizil@ieu.edu.tr

Aydın AKAN
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Izmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
akan.aydin@ieu.edu.tr

***Özetçe*—Bu çalışmada çocukların sağlık süreçlerinin yakından izlenebilmesi ve sürekli izlenebilen yaşamsal işaretler yardımıyla sağlık kuruluşları tarafından daha etkili bir tanı süreci izlenebilmesi amacıyla farklı donanım ve yazılımları üzerinde barındıran bir kavramsal ekosistem tasarımı önerilmiştir. Ekosistem, fotopletismografi (PPG) ve sıcaklık (TEMP) sensörlerini üzerinde barındıran ve kablosuz haberleşme yeteneklerine sahip bir akıllı bileklik ile masaüstü, ve mobil yazılımın yanı sıra bir bulut tabanlı yapay zeka sistemine sahiptir. Önerilen bu ekosistemin anlık olarak takip edilen yaşamsal işaretleri, sağlık kuruluşlarında bulunan diğer tetkik ve tanılarla birleştirerek, ekstrem gradyan arttırma (XGBoost) algoritmasıyla yüksek doğrulukta hastalık tahminlemesi yapması hedeflenmektedir. Donanım bileşenlerinin uygun fiyatlı, düşük enerji tüketen özellikte ve sürdürülebilir oluşu ile üretim ve kullanım maliyetleri en aza indirgenerek, sınırlı çevrelerde yaygın kullanım sağlanması amaçlanmıştır. Kavramsal tasarım olarak önerilen bu sistemin güncel teknolojiyle gerçeklenebileceği ve halihazırda kullanılan sistemlerden üstün yönleri ortaya konulmuştur.**

***Anahtar Kelimeler — akıllı bileklik; kişisel tıp; teletıp; xgboost; ble; ppg; nrf***

***Abstract*—In this study, a conceptual framework which enables tracking of vital signals of children and aids the diagnosis process by medical institutions that includes various software and hardware components is proposed. The ecosystem includes a smartband that has wireless communication capabilities and has photophyletismograph (PPG) and temperature (TEMP) sensors as well as a mobile and desktop app, and finally a cloud-based artificial intelligence (AI) system. The proposed ecosystem aims combining the vitals tracked by the smartband with the existing medical information kept by the medical institutions and utilizes extreme gradient boosting (XGBoost) algorithm to predict medical conditions with high accuracy. Furthermore, the use of lowcost, power efficient and sustainable hardware targets the widespread use of the ecosystem in resource-limited environments. The conceptually designed proposed system's realizability with the existing hardware as well as its strenghts in comparison to the existing systems is demonstrated.**

***Keywords — smartband; personalized medicine; telemedicine; xgboost; ble; ppg; nrf***

## I. GİRİŞ

Giyilebilir sensör teknolojisinin sağlık tanılamada kullanılması toplum sağlığına büyük yararlar sağlamaktadır. Uzun süredir her alanda kullanılan bu teknolojiler, sağlık alanında da devrim yaratmaktadır. Uygun sensörler kullanılarak bireylerin sağlık durumları nabız, kan oksijen doygunluğu ($SpO_2$), tansiyon ve sıcaklık gibi farklı parametreler aracılığıyla sürekli şekilde takip edilebilir [1].

Günümüzde vücut ısısını ölçmek için birçok geleneksel araç bulunmaktadır, ancak bu araçlar genellikle giyilebilir değildir. Bebeklerde ve çocuklarda vücut ısısı hızla yükselebilir, bu durum nöbetlere, beyin hasarlarına ve hatta ölümcül sonuçlara yol açabilir. Vücut ısısı, yaşa ve ölçüm yerine göre farklılık gösterebilir (örneğin rektal, koltukaltı, kulak gibi). Vücut ısısındaki artışlar genellikle ateş veya hipertermi olarak sınıflandırılır. Ateş, bağışıklık sisteminin inflamatuar tepkisi olarak ortaya çıkan vücut ısısının yükselmesidir. Hipertermi ise, vücut ısısının termoregülatör mekanizmaların ve hipotalamik ayar noktasının bozulması sonucu 41,1°C veya üzerine yükseldiği kontrolsüz bir durumdur [2, 3].

Çocuklarda ateş, ebeveynler ve bakıcılar için büyük endişe kaynağıdır. Bu nedenle aileler, bakıcılar ve sağlık çalışanları, bebeklerin ve çocukların ateşini sürekli ölçmek isterler. Ateşi sürekli takip etme ihtiyacı, özellikle yüksek ateş durumlarında, ciddi strese, uykusuzluğa ve yanlış yapma korkusuna neden olabilir. Bu tür durumlarda, ateşi yeterince sık takip edememek, bebek veya çocukların nöbet geçirmesine ve geri dönüşümsüz sağlık sorunlarına yol açabilir, hatta ölümcül sonuçlar doğurabilir.

Geçtiğimiz son 10 yılda akıllı bileklikler yardımıyla bireylerinin sağlık durumlarının izlenmesi konusu yoğun şekilde çalışılmış olup, bu 10 yıllık sürenin ilk yarısında donanım; ikinci yarısında ise yazılım geliştirme üzerine odaklanıldığı söylenilebilir. Çalışmalar genellikle diğer çalışmaların zayıf kalan yönlerini iyileştirmek üzerine kurgulandığından, bileklikler bir sağlık çözümü olarak tasarlandığı kapsayıcı akademik çalışmalara rastlanılması oldukça zordur.

979-8-3315-2981-9/24/$31.00 ©2024 IEEE

Esnek epidermal termistör dizisi sensörleriyle vücut sıcaklığı izlenmesi üzerine 2016 yapılan bir çalışmada, anizotropik iletken film (ACF) ve mini güneş enerjisi panelleri kullanılarak bilekliğin vücut hareketlerinden enerji iletmesi sağlanmıştır [4]. Ölçüm doğruluğunun yüksekliği ve düşük enerji tüketiminin ön planda tutulduğu bu çalışmada yazarlar bileklik üzerinde kaydedilen verilerin belirli periyotlarla yakın-alan haberleşmesi (NFC) kullanılarak cihazdan toplanılacağını öngörmüşlerdir. Düşük enerji tüketiminin ön planda tutulması nedeniyle, aktif bir haberleşme özelliği olmayan cihazın bu açıdan sonraki çalışmalarda geliştirilebileceği ön görülmüştür.

2022 yılında yapılan bir çalışmada ulaşımı zor ve kaynakların kısıtlı olduğu alanlarda kullanılmak üzere, yaşamsal veriler ile birlikte çevresel koşulları da sensörler yardımıyla sürekli bir şekilde kaydedebilen bir akıllı saat geliştirilmiştir [5]. Saat bünyesinde bulunan kalp atış hızı, nabız pletismografisi, deri sıcaklığı ve galvanik deri cevabı (GSR) yaşamsal verileri yanı sıra nem, ortam sıcaklığı, ortam aydınlatması ve atmosferik basınç verileri asenkron olarak kaydedilerek hafıza ve enerjinin verimli kullanılması sağlanmış ve kaydedilen fizyolojik verilerin hangi koşullar altında kaydedildiğinin korelasyonunun yapılabilmesine olanak sağlanmıştır. Ancak toplanan verilerin değerlendirileceği bir platform önerilmemiş ve verilerin hangi şekilde değerlendirilebileceği ve klinik açıdan önemine değinilmemiştir.

Kaydedeğer diğer bir çalışma da 2023 yılında gerçekleştirilmiş [6] olan ve Bluetooth Low Energy (BLE) yardımıyla düşük maliyetli, evde bakım gerektiren hastaların yaşamsal bilgilerinin takip edilmesini sağlayan bir akıllı saat tasarımıdır. Yaşamsal işaretlerin tıbbi kuruluşlarca takip edilmesini sağlayan bir mimari önerilen bu çalışmada, akıllı saat bir mobil uygulamayla ve mobil uygulama üzerinden bir web sunucusuyla haberleşerek takip edilen hastanın yaşamsal işaretlerini bu sunucuya aktarır. Tıbbi kuruluşlar ise bir web portalına giriş yaparak bu bilgileri kendi ekranlarında görebilirler. Bu çalışmada hastalar ve tıbbi kuruluşlar için oldukça faydalı olabilecek bir mimari önerilmiştir ancak tıbbi kuruluşlarca elde edilen bu verilerin hangi şekilde değerlendirileceği konusu yine açıklığa kavuşturulmamıştır.

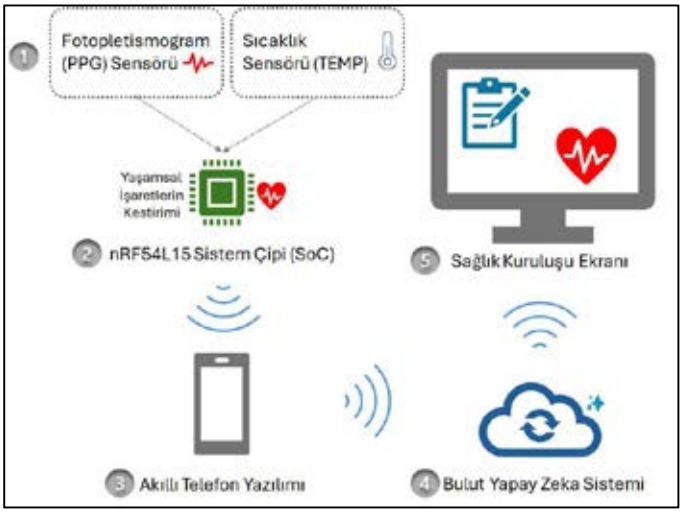
Bu çalışmada, fotopletismogram (PPG) sensörü kullanılarak nabız, $SpO_2$, ve kalp atış hızı değişimi (HRV) sinyalleri ile sıcaklık (TEMP) sensörü kullanılarak vücut sıcaklığını ölçerek kaydedebilen, çocukların kullanımına uygun, çevre dostu, kullanıcı dostu ve yumuşak malzemeden yapılmış bir akıllı saat kavramsal olarak tasarlanmıştır. Kaydedilen bu bilgiler, bluetooth haberleşme protokolü üzerinden akıllı telefon aracılığıyla bir bulut sunucuya aktarılır, aktarılan bu bilgiler daha sonra bir sağlık kuruluşu tarafından görüntülenebilir ve hastanın sağlık kuruluşunda bulunan diğer bilgileriyle birleştirilir. Sağlık kuruluşları ayrıca, bulut tabanlı yapay zeka modülünü kullanarak, hastanın tanı sürecinde destek olacak bazı tahminlemeleri gerçekleştirebilir.

## II. YÖNTEM

Bu çalışmada önerilen sistemin temel donanımı bir adet Nordic Semiconductor nRF54L15 sistem çipi (SoC), bir adet 3.7V, 149 mAH tipik değere sahip şarj edilebilir düğme batarya, bir adet PPG sensörü ve bir adet TEMP sensörüdür. Donanımsal seviyede temel filtrelemelerin yapılması, voltaj regülasyonu, anahtarlama gibi işlevler için gerekli miktarda yüzeye monte edilebilir (SMD) paket yapısında direnç, kapasitör, bobin ve transistör farklı konfigürasyonlarda kullanılabilir. Yazılım tarafında ise sistem, SoC'ye gömülü bir mikroişlemci yazılımı, SoC tarafından gönderilen verilerin alınması, işlenmesi, görselleştirilmesi ve bulut yapay zeka sistemine aktarılması için bir akıllı telefon yazılımı; yapay zeka algoritmasıın çalışacağı bir bulut tabanlı yazılım ile sağlık kuruluşları tarafından kullanılacak olan bir bilgisayar yazılımı içerir.

Sistemin akış diyagramı ve sistemin 5 temel bileşeni Şekil 1'de verilmiştir. Bileklik üzerinde bulunan PPG ve TEMP sensörü, 10'ar saniyelik aralıklarla PPG sinyali ölçümü ve 300'er saniyelik aralıklarla vücut sıcaklığı ölçümünü yapar. Alınan bu sinyaller yüksek ve alçak frekanslı farklı gürültülerden arındırılmak için gerekli donanım filtrelerinden geçirildikten sonra SoC'ye iletilir. SoC, PPG sensörü ile nabız, $SpO_2$ ve HRV sinyali kestirimlerini uygun algoritmalar ile yaptıktan sonra TEMP sensöründen gelen verilerle birleştirir. Birleştirilen bu veriler, Bluetooth Low Energy (BLE) protokolüyle bir akıllı telefona ulaştırılır. Akıllı telefon, gelen veriyi görselleştirerek kullanıcıya sunar ve aynı zamanda verilerin bulut yapay zeka sistemiyle senkronizasyonunu sağlar. Ayrıca akıllı telefon yazılımıyla SoC'nin bazı özelliklerine erişerek sistem güncellemesi yapılması mümkündür.

Bulut yapay zeka sistemi Amazon Web Servisleri (AWS) tabanlı çalışır ve AWS'nin sunduğu veri depolama, senkronizasyon, görselleştirme ve yapay zeka yeteneklerini kullanır. Ekstrem Gradyan Arttırma (XGBoost) makine öğrenmesi algoritmasıyla sağlık kuruluşlarından gelen hasta verileri, akıllı saatten toplanılan sensör verileriyle birleştirilerek hastanın tanı sürecine yardımcı olacak nitelikte farklı parametreler açısından tavsiye kararları verebilir.




Şekil 1. Önerilen sistemin blok diyagramı.




Şekil 3. Önerilen temel donanımın akış ve haberleşme diyagramı.

### A. Donanım Tasarımı

Donanımın temel bileşenleri nRF54L15 SoC, PPG ve TEMP sensörleridir (Şekil 2). nRF54L15 SoC, BLE haberleşme özelliklerine sahip, temel düzeyde yazılımsal gürültü filtrelemesi ve biyolojik işaret kestirimi yapabilecek yeteneklere sahiptir. SoC, C programlama diliyle programlanır ve programlayıcı aracılığıyla içerisine gömülen yazılım daha sonra bluetooth üzerinden güncelleştirilebilir. PPG sensörü kullanılarak SpO2 [7], HRV [8] ve nabız [9] sinyallerinin kestiriminin yapılması üzerine literatürde pek çok çalışma yer almaktadır. Kavramsal olarak önerilen bu tasarımın gerçeklenmesi esnasında en uygun yöntemler seçilecektir.

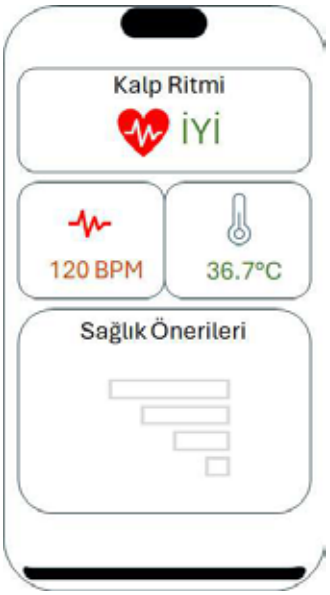
Kullanılan SoC 128 MHz Arm Cortex-M33 işlemciye ve 256KB rastgele erişimli belleğe (RAM) sahiptir. Donanımsal ve yazılımsal saldırılara karşı güvenlik önlemlerine sahip olan SoC, ultra-kompakt yapısı ve önceki teknolojilerle üretilmiş kablosuz haberleşme özelliklerine sahip çiplere kıyasla %50'ye varan oranlarda çalışma ve haberleşme esnasında daha az enerji tüketir [8]. Bu sayede önerilen sistemin güvenli, fiziksel açıdan küçük boyutlu ve uzun batarya süresine sahip olması hedeflenmiştir.

Donanım sistemi üzerinde bulunan PPG ve TEMP sensörleri SoC ile düşük-güç genel asenkron giriş/çıkış (LPUART) protokolü aracılığıyla haberleşir, bu sayede güç tüketiminin geleneksel haberleşme protokollerine kıyasla daha az olması hedeflenmiştir.

### B. Akıllı Telefon Yazılımı Tasarımı

Akıllı telefon yazılımının geliştirilmesi için Flutter platformu kullanılacaktır. Flutter, açık kaynaklı ve tek bir kod tabanıyla birden fazla platformun (Android, iOS vb.) hedeflenebildiği, oldukça esnek bir yapıya sahip programlama çerçevesidir [11]. Bu çalışma kapsamında hedeflenen, donanımdan alınan verilerin görselleştirilmesi, saklanması ve bulut sistemine iletilmesi konularının tümünün gerçeklenmesi için uygundur. Flutter kullanılarak benzer amaçlar doğrultusunda geliştirilen örnek bir çalışma [12]'de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan örnek kullanıcı arayüzü Şekil 3'te verilmiştir.

Tasarlanan uygulama arayüzünde, kullanıcıya bilgilendirici görsel geribildirim verilmesi üzerine odaklanılmıştır. Tanımlanan aralıklar sayesinde akıllı bileklikten alınan veriler normalin dışına çıktığında arayüzdeki renk değişiklikleri ve bildirim sistemi ile kullanıcıya bilgi verilir. Kullanıcılar kalp ritmi, kalp atış hızı ve sıcaklık modüllerinin üzerine dokunarak günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak verilerini inceleyebilir, bu verileri sağlık kuruluşlarınca incelenmek üzere telefonda




Şekil 2. Akıllı telefon uygulaması kullanıcı arayüzü.

yüklü diğer uygulamalarla (örn. Mesajlaşma uygulamaları) paylaşabilir.

Toplanan tüm verileri bulut sistemi ile güvenli bir şekilde senkronize edilerek sağlık kuruluşlarına ulaştırılabilir. Ayrıca, bulut sisteminin önerdiği yaşam stili önerileri ile sağlık kuruluşları tarafından yapılan öneriler de yine uygulama üzerinde eş zamanlı olarak gösterilir.

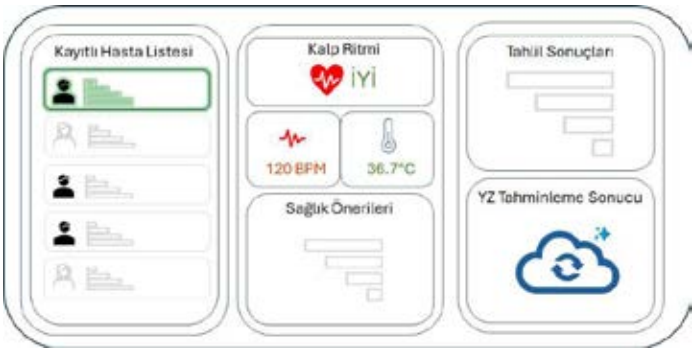
### C. Sağlık Kuruluşu Yazılımı Tasarımı

Sağlık kuruluşları tarafından kullanılacak olan yazılım yine Flutter tabanlı olarak tasarlanmıştır. Bu sayede farklı kuruluşlarda farklı konfigürasyon ve sistemlerde yazılımın rahatlıkla kullanılabilmesi hedeflenmiştir.

Yazılım, hastanede kayıtlı tüm hastaların verisine bir veritabanı bağlantısı aracılığıyla erişir. Hastane kayıtları ve hasta sensör verileri iki ayrı ekran panelinde detaylı olarak sağlık çalışanlarının bilgisine sunulur (Şekil 4). Sensör bilgilendirme paneli, akıllı telefon yazılımıyla benzer özelliklere sahiptir ve eş zamanlı olarak günlük, aylık ve yıllık sensör verilerini görselleştirerek ekranda gösterir. Hastane kayıtları ise yine hastane veritabanı bağlantısı aracığıyla "Tahlil Sonuçları" panelinde gösterilir. Bu panelin altında yer alan "Yapay Zeka (YZ) Tahminleme Sonucu" panelinde ise bulut tabanlı yapay zeka uygulamasının hasta verileri ve sensör verilerini birleştirerek yaptığı hastalık tahminlemeleri yer alır.

### D. Bulut Tabanlı Yapay Zeka Yazılımı Tasarımı

Bulut tabanlı yapay zeka yazılımı AWS tabanlı olarak tasarlanmıştır. AWS, pek çok farklı sektörde başarı ile kullanılan bir bulut yazılım platformudur. Sağlık hizmetleri açısından da geniş bir araç çeşitliliğine sahip olan AWS, YZ ve makine öğrenmesi (ML) açısından da oldukça fazla yeteneğe sahiptir [13].




Şekil 4. Sağlık kuruluşu yazılımı ana ekranı tasarımı.

XGBoost algoritması, çeşitli fizyolojik sinyallerin kullanılarak kişilerin sağlık durumlarının tahminlemesinin yapılması alanında sıklıkla kullanılmaktadır [14]. XGBoost, arka arkaya birden fazla karar ağacı (DT) oluşturarak, sırasıyla önce gelen ağaçlarda oluşan hataları bir sonraki ağaçta düzelterek çalışır. Aşırı uyma sorununu aşmak için parametreler açısından özelleştirilebilir ve regülarizayon özelliklerini de taşıyan bu algoritma, aynı zamanda kayıp verilerle de çalışarak önişleme sürecini kolaylaştırır. AWS üzerinde de kullanılabilen XGBoost, bu çalışma için kullanılabilecek en uygun algoritmalardan biridir ve birincil algoritma olarak tercih edilmiştir.

## III. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, PPG ve TEMP sensörleri kullanılarak çocukların çeşitli biyolojik işaretlerinin izlenmesini sağlayan sürdürülebilir ve çevre dostu bir akıllı bileklik ile bilekliğin etkin olarak kullanılabileceği bir ekosistemin kavramsal tasarımı yapılmıştır. Var olan literatür incelendiğinde, daha önce yapılan çalışmalarda benzer içerikli tasarımlar ve prototiplemeler yapılmış olsa da, geliştirilen donanım ve yazılımların geniş çevrelerce kullanımı planlanmamıştır. Özellikle sağlık takibinin zor olduğu kısıtlı imkanlara sahip olan çevrelerde kullanımı önerilen herhangi bir ekosistem olmadığı gözlenmiştir.

Önerilen bu ekosistem, akıllı bileklik yardımıyla çeşitli fizyolojik sinyalleri kestirir ve kullanıcıların akıllı telefonları aracılığıyla detaylı bir görselleştirme sağlar. Akıllı telefon yazılımı, toplanan bu verileri bulut tabanlı bir yapay zeka sistemine göndererek, verilerin sağlık kuruluşlarının ekranlarında görüntülenmesini sağlar. Bulut tabanlı YZ sistemi aynı zamanda toplanan bu verilerin, hastanede kayıtları ve tahlil sonuçlarıyla eşleştirilmesini sağlayarak XGBoost algoritması kullanarak daha sağlıklı bir klinik tanı ve izleme sürecinin yapılmasında katkıda bulunur.

[4-7] gibi daha önce yapılan çalışmalarla, bu önerilen kavramsal ekosistem kıyaslandığında, ilgili çalışmalarda eksik kalan verilerin birleştirilmesi, genelleştirilmesi, hastalık tahminlemesi ve sürdürülebilir bir sistem önerilmesi gibi durumların tamamlandığı görülmektedir. İlerleyen çalışmalarda, kavramsal olarak tasarlanan bu ekosistemin gerçeklemesi yapılacak, bu çalışmada belirtilen hedeflere bağlı kalınarak özgün donanımsal ve yazılımsal prototipler geliştirilecektir.

## KAYNAKLAR

[1] A. Triantafyllidis et al., "Smartwatch in terventions in healthcare: A systematic review of the literature," International Journal of Medical Informatics, vol. 190, pp. 105560–105560, Oct. 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2024.105560
[2] Bilimsel Bilişim, "Çocuk Enfeksiyon Hastalıkları ve Bağışıklama Derneği," Cocukenfeksiyondernegi.org, 2018. Available: https://www.cocukenfeksiyondernegi.org/. [Erişim: Aug. 12, 2024]
[3] L. Herzog and S. G. Phillips, "Addressing Concerns About Fever," Clinical Pediatrics, vol. 50, no. 5, pp. 383–390, Dec. 2010, doi: https://doi.org/10.1177/0009922810385929
[4] M. Magno, G. A. Salvatore, S. Mutter, W. Farrukh, G. Troester, and L. Benini, "Autonomous smartwatch with flexible sensors for accurate and continuous mapping of skin temperature," 2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), May 2016, doi: https://doi.org/10.1109/iscas.2016.7527239
[5] B. M. G. Rosa, B. Lo, and E. Yeatman, "Prototype smartwatch device for prolonged physiological monitoring in remote environments," 2022 IEEE-EMBS International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), Sep. 2022, doi: https://doi.org/10.1109/bsn56160.2022.9928459
[6] N. Azizah et al., "A Vital Sign Monitoring System Exploiting BT/BLE on Low-cost Commercial Smartwatch for Home Care Patients," 2023 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Jul. 2023, doi: https://doi.org/10.1109/isitia59021.2023.10221157
[7] T. Tamura, "Current progress of photoplethysmography and SPO2 for health monitoring," Biomedical Engineering Letters, vol. 9, no. 1, pp. 21–36, Feb. 2019, doi: https://doi.org/10.1007/s13534-019-00097-w
[8] P. Castiglioni, P. Meriggi, M. Di Rienzo, C. Lombardi, G. Parati, and A. Faini, "Heart Rate Variability from Wearable Photoplethysmography Systems: Implications in Sleep Studies at High Altitude," *Sensors*, vol. 22, no. 8, p. 2891, Apr. 2022, doi: https://doi.org/10.3390/s22082891
[9] P. Charlton *et al.*, "Detecting beats in the photoplethysmogram: benchmarking open-source algorithms," *Physiological Measurement*, vol. 43, no. 8, pp. 085007–085007, Aug. 2022, doi: https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac826d
[10] "nRF54L15 - Nordic Semiconductor," *Nordicsemi.com*, 2024. Available: https://www.nordicsemi.com/Products/nRF54L15. [Erişim: Aug. 20, 2024]
[11] Flutter, "Flutter - Beautiful native apps in record time," *Flutter.dev*, 2019. Available: https://flutter.dev/ [Erişim: Aug. 20, 2024]
[12] Flutter Awesome, "Mental Health Flutter Application - attaching deployed API for ML Model," *Flutter Awesome*, Mar. 29, 2023. Available: https://flutterawesome.com/mental-health-flutter-application-attaching-deployed-api-for-ml-model/. [Erişim: Aug. 20, 2024]
[13] "AWS Health Data Portfolio | Healthcare & Life Sciences | AWS," *Amazon Web Services, Inc.* Available: https://aws.amazon.com/health/solutions/health-data-portfolio/ [Erişim: Aug. 20, 2024]
[14] Y. Haque *et al.*, "State-of-the-Art of Stress Prediction from Heart Rate Variability Using Artificial Intelligence," *Cognitive Computation*, vol. 16, Oct. 2023, doi: https://doi.org/10.1007/s12559-023-10200-0