

ŞUBAT 2024

Yüksek Lisans Tezi – Ürün Geliştirme ve Tasarım Mühendisliği

ERTUĞRUL MERMİ

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GİYİLEBİLİR ELEKTROKARDİYOĞRAFI (EKG) CİHAZ
TASARIMI VE CİHAZDA KULLANILAN ELEKTROPED'İN
GELİŞTİRİLMESİ

ÜRÜN GELİŞTİRME VE TASARIM MÜHENDİSLİĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERTUĞRUL MERMİ

ŞUBAT 2024

**GİYİLEBİLİR ELEKTROKARDİYOĞRAFI (EKG) CİHAZ
TASARIMI VE CİHAZDA KULLANILAN ELEKTROPED'İN
GELİŞTİRİLMESİ**

Gaziantep Üniversitesi

Ürün Geliştirme ve Tasarım Mühendisliği

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Züleyha DEĞİRMENCI

Ertuğrul MERMİ

Şubat 2024



©2024[Gaziantep Üniversitesi]

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilmek suretiyle tezde yer aldığını beyan ederim.

Ertuğrul MERMİ

ABSTRACT

WEARABLE ELECTROCARDIOGRAPH (ECG) DEVICE DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE ELECTROPAD USED IN THE DEVICE

MERMİ, Ertuğrul

M.Sc. in Product Development and Design Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Züleyha DEĞİRMENCİ

February

61 pages

It is aimed to develop a wearable ECG device which is lightweight, compact, able to record past ECG datas and smartphones connect abilities in this study. Also, an electropad is produced which is longer-lasting and higher comfort abilities. The ECG device is designed via Proteus PCB design program, with a circuit that consist an ATMEL series microcontroller, an amplifier that strengthens biosignals and various other components. Electropads are produced with various fabrics by using different physical types of conductive inks. Experiments have been done with graphene and sodium silicate and electropads produced which has different standards. This study aims to make a significant contribution to the development of wearable health technologies and increasing the performance of electropads.

Key words: ECG device, Heart Attack, Wearable Electronics, Electropad, Conductive Ink

ÖZET

GİYİLEBİLİR ELEKTROKARDİYOĞRAFI (EKG) CİHAZ TASARIMI VE CİHAZDA KULLANILAN ELEKTROPED'İN GELİŞTİRİLMESİ

MERMİ, Ertuğrul

Yüksek Lisans Tezi, Ürün Geliştirme ve Tasarım Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Züleyha DEĞİRMENCİ

Şubat 2024

61 sayfa

Bu çalışma, hafif, kompakt ve geçmiş EKG verilerini kaydedebilen, akıllı telefonlarla bağlantı kurabilen bir giyilebilir EKG cihazı geliştirmeyi ve daha uzun süreli kullanıma ve daha yüksek konfora sahip bir elektroped üretmeyi hedeflemektedir. EKG cihazı, ATMEL serisi mikrodenetleyici, biyosinyalleri güçlendiren bir amplifikatör ve çeşitli bileşenlerden oluşan bir devre kullanılarak Proteus programıyla tasarlanan ve üretilen bir PCB kartına monte edilerek oluşturulmuştur. Elektroped ise, grafen ve sodyum silikat gibi malzemeler kullanılarak üretilen iletken mürekkeplerin farklı fiziksel özelliklere sahip çeşitli kumaşlara uygulanmasıyla üretilmiş ve standart elektropedlerle karşılaştırmak amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, giyilebilir sağlık teknolojilerinin geliştirilmesi ve elektropedlerin performansının artırılması üzerine önemli bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: EKG cihazı, Kalp Krizi, Giyilebilir Elektronik, Elektroped, İletken Mürekkep

TEŞEKKÜR

Bu alıőma sűresince tűm bilgilerini benimle paylaőmaktan kaçınmayan, her tűrlű konuda desteęini benden esirgemeyen ve tezimde bűyűk emeęi olan, Gaziantep Ŭniversitesi űęretim űyelerinden danıőman hocam, sayın Prof. Dr. Zűleyha DEęİRMENCİ'ye sonsuz minnet ve teőekkűrlerimi sunarım.

Ŭrneklerin toplanmasında, preparasyonunda ve teőhislerinde desteklerini benden esirgemeyen deęerli arkadaőlarım Yűk. Elk. Műh. Alper KAPLAN, Dr. Buse KAPLAN ve Yűk. Teks. Műh. Duygu MERMİ 'ye sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ABSTRACT	i
ÖZET	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Problemin Belirlenmesi	1
1.2 Giyilebilir Elektronik Bir Ürünün Tasarımı	2
1.3 Vücut Sinyallerini Analiz Eden Cihaz Tasarımları	4
BÖLÜM 2 KAYNAK ÖZETLERİ	13
2.1 Elektrokardiyografi (EKG) Cihazı ile İlgili Çalışmalar	13
2.1.1 Elektrokardiyogram Sinyalleri	14
2.1.2 EKG Ölçümü Nasıl Yapılır?	15
2.1.3 Literatürde Giyilebilir EKG Cihazı Uygulamaları	16
2.2 Elektrokardiyografi (EKG) Elektrotları ile İlgili Çalışmalar	19
2.2.1 Literatürde Elektrokardiyografi (EKG) Elektrot Uygulamaları	20
BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOTLAR	22
3.1 Projede Kullanılan Cihazlar	22
3.2 Projede Kullanılan Malzemeler ve Kimyasallar	22
3.3 EKG Cihazı Geliştirme Aşamaları	23
3.3.1 Elektronik Devre Tasarımı	24
3.3.2 Prototipleme ve Devre Analizleri	25
3.3.3 Devre Kartı (PCB) Tasarımı	27

3.3.4 Tasarılan PCB Kartın Üretimi.....	28
3.3.5 Üretilen PCB ye Devre Elemanlarının Montajı	29
3.3.6 Cihaz Yazılımı	31
3.3.7 Cihazı Giyilebilir Hale Getiren T-Shirt'ün Hazırlanması.....	32
3.3.8 Cihazın Hazırlanan T-Shirt ve Standart Elektropedler ile Denenmesi	33
3.4 Temaslı Polarize Grafen Kaplamalı Elektroped Geliştirilme Aşamaları	34
3.4.1 İletken Mürekkebin Kumaşlardaki Tutunma Deneyi	37
3.4.2 İletken Mürekkep ve Kumaşlarla Elektroped Oluşturulması.....	39
BÖLÜM 4 BULGULAR.....	43
4.1 EKG Cihazı Bulguları	43
4.2 Temaslı Polarize Grafen Kaplamalı Elektroped Bulguları.....	44
BÖLÜM 5 TARTIŞMA VE SONUÇ	52
5.1 EKG Cihazı Sonuçları	52
5.2 Grafen Kaplamalı Elektroped Sonuçları	53
BÖLÜM 6 SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 EKG ile Apple Watch Serisi.....	6
Şekil 1.2 Galaxy Watch EKG Ölçümü	7
Şekil 1.3 Hibrit Akıllı Saat.....	7
Şekil 1.4 Kompakt Tasarım EKG ölçüm cihazı.....	8
Şekil 1.5 Garmin Venu ve Forerunner Serisi EKG.....	8
Şekil 2.1 EKG Sinyali.....	14
Şekil 2.2 Einthoven Üçgeni	15
Şekil 2.3 EKG Elektrot	19
Şekil 3.1 AD8232 Heart Monitör Sensör.....	22
Şekil 3.2 Devre Şematiği	24
Şekil 3.3 Breadboard Prototipleme	25
Şekil 3.4 Düzenlenmiş Şematik	26
Şekil 3.5 PCB Tasarımı	27
Şekil 3.6 PCB Devre Kartı CAD Görüntüsü	28
Şekil 3.7 Üretilen PCB Devre Kartı.....	29
Şekil 3.8 Devre Bileşenli PCB Devre Kartı CAD Görüntüsü	30
Şekil 3.9 Devre Bileşenleri Lehimlenen Pcb'nin Gerçek Görüntüsü	30
Şekil 3.10 Giyilebilir EKG T-Shirt.....	32
Şekil 3.11 Giyilebilir EKG T-Shirt Eelektroped Takılması.....	33
Şekil 3.12 Numuneler	37
Şekil 3.13 İletken Mürekkebin Numunelere Uygulanışı	38
Şekil 3.14 İletken Mürekkepli Kumaşın Mikroskop Görüntüsü.....	38
Şekil 3.15 Mürekkep Uygulanan Kumaşlar	39
Şekil 3.16 Elektropedin ilk Görüntüsü	40
Şekil 3.17 Soket Takılan Elektroped	41
Şekil 3.18 Kesilen Elektropedler	42
Şekil 4.1 EKG Verileri.....	44
Şekil 4.2 Grafen Kaplama Direnç Ölçümü	45

Şekil 4.3 Numunelerin Denenmesi	46
Şekil 4.4 Numune 1 EKG Görüntüsü	47
Şekil 4.5 Numune 2 EKG Görüntüsü	47
Şekil 4.6 Numune 3 EKG Görüntüsü	48
Şekil 4.7 Numune 4 EKG Görüntüsü	48
Şekil 4.8 Numune 5 EKG Görüntüsü	49
Şekil 4.9 Numune 6 EKG Görüntüsü	49
Şekil 4.10 Numune 7 EKG Görüntüsü	50
Şekil 4.11 Numune 8 EKG Görüntüsü	50
Şekil 4.12 Numune 9 EKG Görüntüsü	51
Şekil 4.13 Numune 10 EKG Görüntüsü	51
Şekil 5.1 Standart Elektrot EKG Verisi	54
Şekil 5.2 Standart Elektrota En Yakın Grafen Elektrot EKG Verisi	54

KISALTMALAR LİSTESİ

EKG	Elektrokardiyografi
RTC	Real Time Clock
PCB	Printed Circuit Board
CAD	Computer Aided Design
OpAmp	Operational Amplifier



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Problemin Belirlenmesi

Hasta takibinde ve hayati bulguların değerlendirilmesinde veri görüntüleme büyük bir öneme sahiptir. Kardiyak aktivitenin sürekli izlenmesi, gelecekte oluşabilecek olumsuz durumların önceden tahmin edilip önlenmesine katkı sağlar. Günlük yaşamda, risk altındaki grupların kalp aktivitelerinin takibi sadece güvenlik sağlamakla kalmaz, aynı zamanda olası sorunların önceden belirlenmesi ve erken tıbbi müdahale imkânı sunar.

Ancak mevcut EKG cihazları genellikle hastane ortamında bulunur ve hastaların kalp aktiviteleri genellikle hastalık belirtileri ortaya çıktığında takip edilir. Holter cihazları ise sadece kısa süreli takibi mümkün kılar, bu da konfor, maliyet ve ulaşılabilirlik açısından sınırlılık yaratır. Hastalar, kalp krizi belirtilerini gösterdiklerinde bile, bu belirtileri geçici bir durum olarak değerlendirip hastaneye geç başvurabilir. Kalp krizinin belirtileri diğer pek çok hastalıkla karışabilen niteliktedir, bu da hastalığın geç fark edilmesine yol açabilir. Özellikle diyabet hastalarında, nöropati nedeniyle kalp krizi belirtileri hissedilemeyebilir, bu da aniden ölüm riskini artırabilir. Gizli kalp hastalıkları, tipik belirtileri fark edemeyen hastalar arasında yaygındır ve sadece bir kısmına rutin kalp kontrolü sırasında tanı konulabilir. Bu nedenle, kalp aktivite sorunları olan hastaların belirtilerinin erken fark edilmesi ve geri bildirimle bilgilendirilmesi büyük önem taşır.

Şu an için, 24 saat ve üzeri sürekli kalp takip sağlayan bir teknolojik ürün henüz bulunmamaktadır, bu yüzden giyilebilir EKG cihazları üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Elektrokardiyografi (EKG) elektropedleri, kalp aktivitesini ölçmek ve kaydetmek amacıyla kullanılan elektromedikal cihazlarda önemli bir rol oynar. EKG elektropedleri aracılığıyla kalp elektriksel aktivitesi ölçülür. EKG elektropedleri genellikle cilde yapışan yapışkan pedler veya klipsli elektrotlar şeklinde olabilir. Klipsli elektrotlar genellikle tıbbi profesyoneller tarafından kullanılır ve hastaların giysilerine takılabilir. Yapışkan pedler ise genellikle evde kullanım veya uzun süreli izleme için daha uygundur. Ancak mevcut pedlerin en büyük dezavantajları tek kullanımlık olmaları ve konfor açısından yetersiz olmalarıdır.

Bu çalışmada ise geçmiş EKG verisi kaydedebilen, akıllı telefonla bağlantı kurabilen giyilebilir bir EKG cihazı geliştirilmesi ve daha uzun kullanımlı ve konforlu bir elektroped üretmek amaçlanmıştır.

1.2 Giyilebilir Elektronik Bir Ürünün Tasarımı

Giyilebilir elektronik tekstil tasarımı, elektronik bileşenleri kumaşlara entegre ederek hem fonksiyonel hem de estetik açıdan çekici giysiler veya aksesuarlar yaratmayı amaçlar. Bu hedefe ulaşmak için izlenmesi gereken adımlar şu şekildedir:

- Amaç ve Fonksiyonelliğin Tanımlanması: Giyilebilir elektronik tekstilin amacı açıkça tanımlanmalı ve ürünün sunması gereken işlevler detaylı bir şekilde belirlenmelidir. Bu adım, ürünün kullanılacağı alanın, örneğin sağlık izleme, iletişim, moda veya diğer uygulamaların belirlenmesiyle başlar.
- Elektronik Bileşenlerin Seçilmesi: Tasarım ve işlevsel gereksinimleri karşılayacak doğru elektronik bileşenlerin seçilmesi kritiktir. Sensörler, LED'ler, mikro denetleyiciler, piller, iletkenlik iplikleri gibi çeşitli elemanların güç gereksinimleri ve boyut kısıtlamaları göz önünde bulundurulmalıdır.
- Kumaş Seçiminin Yapılması: Giyilebilir ürün tasarımında kullanılacak kumaşın doğru seçilmesi, ürünün esnek, konforlu ve yıkanabilir olmasını sağlamak için önemlidir. Aynı zamanda iletken kumaşlar, iplikler veya iletken mürekkepler gibi malzemeler kullanılarak tekstil içinde devre oluşturmak mümkündür.

- Tasarım Çizelgesinin Oluşturulması: Elektronik bileşenlerin tekstil üzerine yerleştirilmesini özetleyen detaylı bir tasarım çizimi oluşturulmalıdır. Bu çizim, tasarımın sadece işlevsel değil aynı zamanda estetik yönlerini de düşünerek, giyisinin yapısına, boyutuna ve işlevselliğine uygun şekilde elektronik elemanların yerleştirilmesine odaklanmalıdır.
- Elektronik Bileşenlerin Entegre Edilmesi: Elektronik bileşenlerin iletken iplikler veya diğer uygun yöntemler kullanılarak kumaşa entegre edilmesi sırasında, bağlantıların güvenliği ve sistemin insan sağlığına uygunluğu konularına özel dikkat gösterilmelidir. Ayrıca, yıkama kolaylığı için çıkarılabilir bileşenler tercih edilmelidir.
- Kablo Yönetimi: Verimli kablo yönetimi, karmaşık yapıyı azaltmak ve kullanıcının rahatlığını sağlamak için planlanmalıdır. Kabloların kumaşın içinde estetik bir şekilde gizlenmesi veya özel kanallar oluşturulması önemlidir.
- Güç Kaynağı: Elektronik bileşenlerin güç gereksinimlerine uygun bir güç kaynağı seçilmelidir. Tasarıma uygun olarak yeniden şarj edilebilir piller, madeni hücreler veya diğer güç çözümleri tercih edilmelidir.
- Test ve Prototipleme: İlk prototipin oluşturulması ve giyilebilir ürünlerin işlevselliğinin test edilmesi, bağlantı, konfor veya performans ile ilgili sorunların tanımlanarak çözülmesi için kritik öneme sahiptir. Bu aşamada tasarımın yeniden gözden geçirilmesi, genel işlevselliği ve kullanıcı deneyimini iyileştirmek için gerekebilir. PUKÖ döngüsü, çözüm araçlarının uygulanması için kullanışlı bir yaklaşımdır.
- Kullanıcı Arayüzü: Giyilebilir cihaz kullanıcı etkileşimini içeriyorsa, kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmalıdır. Kullanıcıların giyilebilir ürünle etkileşime nasıl gireceği düşünülmeli ve buna uygun tasarım oluşturulmalıdır.
- Bu adımların yanı sıra, üretilen ürünün faydalı kullanım ömrünü uzatmak için bakım talimatlarının oluşturulması, ürünün performans analizi için gerekli testlerin yapılması ve tasarım, üretim ve kullanıma yönelik yönergelerin belgelendirilmesi, tasarımın bütünlüğü ve kalitesi açısından kritik öneme sahiptir.

1.3 Vücut Sinyallerini Analiz Eden Cihaz Tasarımları

Vücuttan gelen sinyalleri algılamak için kullanılan çeşitli teknikler, sağlık izleme ve tanı amaçlı giyilebilir elektronik cihazların tasarımını destekleyen kapsamlı bir yelpazeye sahiptir. Bu tekniklerin bazıları şunlardır:

- Elektrodlar ve Elektrokardiografi (EKG/ECG): Cildin üzerine yerleştirilen elektrodlar, kalbin elektrik aktivitesini ölçer ve EKG cihazları aracılığıyla kalp fonksiyonunu izlemek ve anormallikleri teşhis etmek için kullanılır.
- Elektromiyografi (EMG): Elektrodlar, kasların elektriksel aktivitesini ölçer. Bu teknik, kas fonksiyonunu değerlendirmek ve nöromusküler bozuklukları incelemek amacıyla kullanılır.
- Elektroencefalografi (EEG): Baş derisi üzerine yerleştirilen elektrotlar, beyin elektrik aktivitesini ölçer. EEG, beyin fonksiyonlarını incelemek ve nörolojik bozuklukları teşhis etmek için kullanılır.
- Photoplethysmography (PPG): Işık sensörleri, kan hacmi değişikliklerini ölçer ve bu yolla kalp atış hızı, kan oksijen seviyeleri ve vasküler fonksiyonları değerlendirmek için kullanılır.
- Bioimpedans Ölçümü: Elektrik akımının dokulardaki direncini ölçer. Bu, vücut kompozisyonunu tahmin etmek ve hidrasyon seviyelerini izlemek amacıyla kullanılır.
- Accelerometri: Hız ve hareketi ölçen bu teknik, fiziksel aktiviteyi izlemek ve duruş değişikliklerini tespit etmek için kullanılır.
- Inersiyel Ölçüm Birimi (IMU): Akselerometre, giroskop ve bazen magnetometreyi birleştirerek yönlendirme ve hareketi ölçer. Bu, hareket izleme ve vücut pozisyonunu değerlendirmek için kullanılır.
- Sıcaklık Sensörleri: Cilt veya vücut sıcaklığını ölçer, bu da ateş izleme ve termal konfor değerlendirmesi için kullanılır.
- Elektrookulografi (EOG): Göz çevresindeki elektrotlar, göz hareketlerini ölçer ve göz hareketlerini incelemek, uyku bozukluklarını teşhis etmek amacıyla kullanılır.
- Galvanik Cilt Tepkisi (GSR): Cildin elektrik iletkenliğini ölçer ve duygusal veya stres tepkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılır.

- Magnetokardiografi (MCG): Kalbin elektrik aktivitesi tarafından üretilen manyetik alanları ölçer. Bu, kardiyoloji alanındaki araştırmalarda tercih edilir, özellikle belirli teşhis durumlarında.
- Ultrason Görüntüleme: Ultrason dalgaları kullanarak iç yapıların görüntülerini oluşturur. Bu, iç organların görüntülenmesi ve fetal gelişimin izlenmesi amacıyla kullanılır.

Bu teknikler, giyilebilir EKG cihazları tasarlama sürecinde önemli bir rol oynar. Bir giyilebilir EKG cihazının performansını değerlendirmek için temel kriterler şunlar olabilir:

- Doğruluk: Sinyal kalitesi, kalp atış hassasiyeti ve aritmi tespiti yapılmalı, sonuçlar klinik değerlendirmelerle karşılaştırılmalıdır.
- Güvenilirlik ve Tutarlılık: Düzenli performans, uzun süreli izleme için önemlidir.
- Kullanışlılık ve Rahatlık: Yıkanabilirlik ve kullanım kolaylığı ürünün tercih edilmesini sağlar.
- Veri İletimi ve Bağlantı: Gönderilen verilerin doğru ve güvenilir olduğundan emin olunmalıdır.
- Pil Ömrü: Güç tüketimi ve enerji verimliliği değerlendirilmeli, batarya ömrü amaçlanan kullanım için yeterli olmalıdır.

Veri güvenliğinin sağlanması, dayanıklılık, çevresel etkileşimlere karşı direnç, kolay kalibrasyon ve bakım gibi unsurlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, giyilebilir EKG cihazları ile yapılan klinik çalışmaların ve denemelerin sonuçlarının gözden geçirilmesi, gerçek dünya senaryolarında doğruluğunun ve güvenilirliğinin desteklenmesi önemlidir. Kullanıcı geri bildirimleri ve teknolojik gelişmeleri dikkate alarak cihazın düzenli olarak güncellenmesi, zaman içinde performansını korumak ve iyileştirmek için önemlidir. Ayrıca, sağlık profesyonelleri ile yakın iş birliği yapmak ve son kullanıcılardan gelen geri bildirimleri değerlendirmek, giyilebilir EKG cihazlarının etkinliğini artırabilir ve kullanıcı deneyimini iyileştirebilir.

Şu anda piyasada bulunan ticari bazı ürünler ve özellikleri özetlendiğinde;

1. EKG ile Apple Watch Serisi: Apple Watch Series 4 ve sonraki modellerde, kullanıcıların kollarından doğrudan bir elektrokardiogram çekmelerini sağlayan bir EKG uygulaması bulunur. Bu özellik atriyal fibrillation ve normal sinüs ritmi belirtilerini tespit etmek için tasarlanmıştır.



Şekil 1.1 EKG ile Apple Watch Serisi

2. Samsung Galaxy Watch Active 2: Samsung Galaxy Watch Active 2 aynı zamanda kalbin elektrik aktivitesini izleyebilecek bir EKG sensörü de içerir. Kullanıcıların kalp sağlığı konusundaki anlayışlarını sağlamak için tasarlanmıştır.



Şekil 1.2 Galaxy Watch EKG Ölçümü

3. Withings Move EKG: Withings, bir elektrokardiogram özelliği içeren bir hibrit akıllı saat olan Move ECG'yi sunuyor. Kullanıcılar, saatin bezelini 20 saniye boyunca dokunarak bir EKG kaydı alabilirler.



Şekil 1.3 Hibrit Akıllı Saat

4. AliveCor KardiaMobile: Her ne kadar geleneksel bir giyilebilir değilse de, Alive Cor'dan Kardiamobile cihazı akıllı telefonlara bağlanabilen kompakt bir EKG monitörüdür. Tek yönlü EKG kayıtlarını yakalamak için taşınabilir bir çözümdür.



Şekil 1.4 Kompakt Tasarım EKG ölçüm cihazı

5. Garmin Venu ve Forerunner Serisi: Garmin'in Venu & Forerunners serisindeki bazı modeller kalp atışı izleme özelliğine sahiptir, bu da kalp hızı değişkenliğini ölçme ve stres seviyelerini değerlendirme yeteneğini içerir. Geleneksel bir EKG olmasa da, bu özellikler kalp sağlığı hakkında bilgi sunar.



Şekil 1.5 Garmin Venu ve Forerunner Serisi EKG

Ancak bu ürünler ticari olarak tasarlandığı için hiçbir tıbbi sorumluluk almamaktadır. Amaç gerçek verilere erişmenin ötesinde ticari olarak satılabilir ürünler üretmektir. Genel olarak düşünüldüğünde elektrokardiogram (EKG veya EKG) aygıtları öncelikle kalbin elektrik aktivitesini ölçmek için kullanılır. Ancak literatürden anlaşılacağı üzere EKG cihazlarının farklı hastalıkları teşhis etmek için kullanılabilir olup olmadığı araştırılmaktadır. EKG, çeşitli kalp rahatsızlıklarını teşhis etmek ve izlemek için değerli bir araç olsa da diğer hastalıkları tespit etmek açısından sınırlamaları vardır. EKG tarafından tespit edilebilir koşullar:

1. Aritmi: EKG, atriyal fibrillation (AFib), atrial flutter ve ventriküler tahikardi gibi kalp ritmindeki düzensizlikleri tespit edebilir.
2. Ulaştırma Anormalleri: EKG, atrioventriküler (AV) bloğu veya bağ dalı bloğu gibi kalbin elektrik iletkenliği sistemiyle ilgili sorunları tespit edebilir.
3. İshemi ve kalp krizi: EKG dalga şekli değişiklikleri, kas iskemisi (kalbe kan akışının azalması) veya kas enfeksiyonu gösterebilir. (Heart attack).
4. Hipertrofi: EKG, kalp kasının genişlemesini gösteren kalp hipertrofisi şekilleri gösterebilir.

Sınırlamalar:

1. Sınırlı teşhis kapsamı: EKG, kalbin elektrik aktivitesine özgüdür ve tüm tıbbi durumlar için kapsamlı bir teşhis aracı değildir.
2. Yapısal sorunlar: EKG doğrudan kalbin yapısal anormalleri, valf bozuklukları veya doğuştan kalp kusurları gibi tespit edemez. Bu amaç için sıklıkla echocardiography gibi görüntüleme çalışmalarına ihtiyaç vardır.
3. Kalp Dışı Sorunlar: EKG kalp dışı tıbbi durumları teşhis etmek için tasarlanmamıştır. Nefes alma, gastrointestinal, nörolojik veya diğer kalp dışı sorunlar hakkında bilgi vermez.
4. Aralıklı İzleme: Geleneksel EKG'ler bir anın anlık anlık görüntüleri. Aritmik aritmileri tespit etmek için uzun bir süre boyunca sürekli izlenim gerekebilir.

5. Sahte Pozitifler ve Negatifler: EKG sonuçları hastanın hareketleri, zayıf elektrot teması ve elektrik müdahalesinin de dahil olmak üzere çeşitli faktörler tarafından etkilenebilir. Bu, sahte pozitif veya negatiflere yol açabilir.

EKG, kardiyovasküler tıbbın güçlü bir aracı olsa da kapsamlı bir tıbbi değerlendirme genellikle laboratuvar testleri, görüntüleme çalışmaları ve klinik değerlendirmeler de dahil olmak üzere teşhis yöntemlerinin bir kombinasyonu içerir. Akıllı saatlerde bulunanlar gibi giyilebilir EKG aygıtları, uygun ve sürekli izleme sağlar, ancak genellikle klinik sınıf EKG'lerden daha sınırlıdır. Herhangi bir tıbbi test sonuçlarının derinlemesine değerlendirilmesi ve yorumlanması için her zaman sağlık uzmanlarıyla görüşün. Bilinçli teşhis ve tedavi kararları almak için EKG bulgularını hastanın genel sağlığı ve semptomları bağlamında dikkate alabilirler.

Genel olarak güncel ürünler değerlendirildiğinde vücuttan sinyali almak için kablolar kullanıldığı görülmektedir. Yapılan araştırmalara göre Elektrokardiogram (EKG veya EKG) sinyali geleneksel kablolar kullanmadan kablosuz veya temassız EKG izleme sistemleri aracılığıyla elde edilebilir. Bu teknoloji ile bağlantısız EKG izlemeyi gerçekleştirmek için iki ana yaklaşım vardır:

1. Kapasitif Sensing: • Kapasitif sensing, vücudun elektrotlara yakın olmasından kaynaklanan elektrik kapasitansındaki değişiklikleri tespit etmekle ilgilidir. Bu, doğrudan cilt teması gerektirmeyen özel sensörler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Sensörler, geleneksel elektrotlar ve kablolar olmadan EKG sinyallerini yakalamak için akıllı giysilere veya patch'lere yerleştirilebilir.

2. Radar tabanlı algılama: • Radar teknolojisi, EKG de dahil olmak üzere fizyolojik sinyallerin temassız olarak izlenmesi için keşfedilmiştir. Doppler radar sistemleri, kalp atışından kaynaklanan derinin yüzeyindeki ince hareketleri tespit edebilir. Bu sistemler yansıtıcı radar sinyalleri kullanarak doğrudan cilt teması olmadan kalp atış hızı ve EKG benzeri bilgileri çıkarır.

Bu temassız yaklaşımlar rahatlık ve rahatlık sağlarken, bazı faktörleri dikkate almak önemlidir:

- Sinyal Kalitesi: Bağlantısız yöntemler, deriye doğrudan bağlı elektrotlarla geleneksel EKG ile karşılaştırıldığında sinyal kalitesinde sınırlamalar yaratabilir. Sinyal gücü ve doğruluğu kullanılan teknolojiye ve vücuttan olan mesafeye bağlı olarak değişebilir.
- Rahatsızlık: Bağlantısız yöntemler çevresel rahatsızlığa, hareket eseri ya da diğer elektronik cihazların varlığına duyarlı olabilir.
- Klinik Doğrulama: Çeşitli senaryolarda verimliliğini sağlamak için temassız EKG izleme sistemlerinin doğruluğu ve güvenilirliği standart klinik EKG ölçümlerine göre doğrulanmalıdır.

Çeşitli şirketler ve araştırma kurumları temassız EKG izleme teknolojilerinin geliştirilmesi ve geliştirilmesi üzerinde çalışıyorlar. Bu tür cihazları değerlendirirken, cihazın doğruluğunu ve güvenilirliğini belirli kullanım durumları için değerlendirmek için mevcut edebiyatı, ürün özelliklerini ve üreticiler tarafından yürütülen herhangi bir klinik doğrulama çalışmasını gözden geçirmek çok önemlidir.

Vücut ile cihaz arasındaki bağlantı için iletken iplikler yerine iletkenlik mürekkep veya iletim dokusu kullanılabilir. Bu malzemeler, vücuttan sensörlere veya elektronik bileşenlere elektrik sinyallerini iletebilen esnek ve iletkenlik yolları oluşturmayı sağlar. Giyilebilir EKG cihazlarının bağlamında, gerekli elektrod izlerini oluşturmak için dokuma üzerinde iletkenlik mürekkep uygulanabilir. Mürekkep biyokompatibiliteye sahip olmalı ve defalarca eğilme ve uzatma sonrasında bile iletkenliği koruyabilmelidir. Mürekkep ve iletken kumaş arasındaki seçim, giyilebilir cihazın esnekliği, konforu ve dayanıklılığı gibi özel gereksinimlerine bağlıdır. Ayrıca kullanılan malzemeler, ciltle güvenli ve güvenilir bir temas sağlamak için biyokompatibiliteye sahip olmalıdır. Tasarım ve malzeme seçeneklerinin arayüzün elektrikli direnci, sinyal kalitesi ve kullanıcı rahatlığı gibi faktörleri dikkate alması önemlidir. Doğru yerleşim ve iyi tasarım uygulamalarına uymak doğru ve güvenilir sinyal iletimi sağlarken rahat bir kullanıcı deneyimi sürdürmek için çok önemlidir.

Sürücü mürekkep giyilebilir elektroniklerde çok yönlü ve değerli bir malzeme olmasına rağmen, kullanım sırasında bazı kısıtlamalar veya dezavantajlarla karşılaşılabilir. Giyilebilir cihazların bağlamında iletkenlik mürekkep kullanımıyla ilgili bazı potansiyel zorlukları şöyle sıralanabilir:

1. Kalıcılık Sorunları: Sürücü mürekkep izleri zamanla yıpranabilir. Bu, iletkenlik ve sinyal kalitesinin azalmasına yol açabilir.
2. Ciltte İritasyon: Bazı iletken mürekkepler, potansiyel olarak cildin tahrişine veya alerjiye neden olabilecek maddeleri içerebilir. Hassas ciltli kullanıcılar cihazın giyilebilirliğini sınırlayarak rahatsızlık yaşayabilirler.
3. Yıkanabilirlik: İletici mürekkep yıkama ve temizleme süreçlerine dayanıklı olabilme yeteneği değişebilir. Sık yıkama, mürekkeplerin iletkenliğini azaltabilir ve cihazın performansını etkileyebilir.
4. Sınırlı iletkenlik: Bazı iletim mürekkeplerinin iletkenliği geleneksel metal iletkenlerden daha düşük olabilir. Bu, sinyal iletiminin verimliliğini ve cihazın genel performansını etkileyebilir.
5. Temellere bağlanma: Mürekkeplerin, özellikle esnek veya uzatılabilir malzemelere, farklı tipte temellere güçlü bağlanmasını sağlamak zor olabilir. Kötü tutuş, iletken izlerin delaminasyonuna veya ayrılmasına yol açabilir.
6. Çevre duyarlılığı: Mürekkep, sıcaklık, nem ve kimyasal maddelere maruz kalma gibi çevresel faktörlere duyarlı olabilir. Çevresel koşullardaki değişiklikler iletken mürekkep özelliklerini etkileyebilir.
7. Karmaşık Üretim Süreçleri: Sürücü mürekkeplerini giyilebilir cihazlara entegre etmek için yapılan üretim süreçleri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha karmaşık olabilir. Bu karmaşıklık, üretim maliyetlerinin artmasına ve üretim büyütme zorluklarına yol açabilir.
8. Engelleme ve Crosstalk: Yakın mesafedeki iletkenlik izleri, özellikle yoğun bir şekilde entegre tasarımlarda engelleme veya crosstalk yol açabilir. Sinyal bütünlüğünün bozulması, ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilir.
9. İletken mürekkep türleri: Her biri kendi özelliklere sahip bir dizi iletim mürekkepleri formülasyonu vardır. Mevcut iletkenlik mürekkepleri her tür uygulama için uygun olmayabilir ve belirli bir kullanım vakası için doğru mürekkepleri bulmak önemli olabilir.

BÖLÜM 2

KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Elektrokardiyografi (EKG) Cihazı ile İlgili Çalışmalar

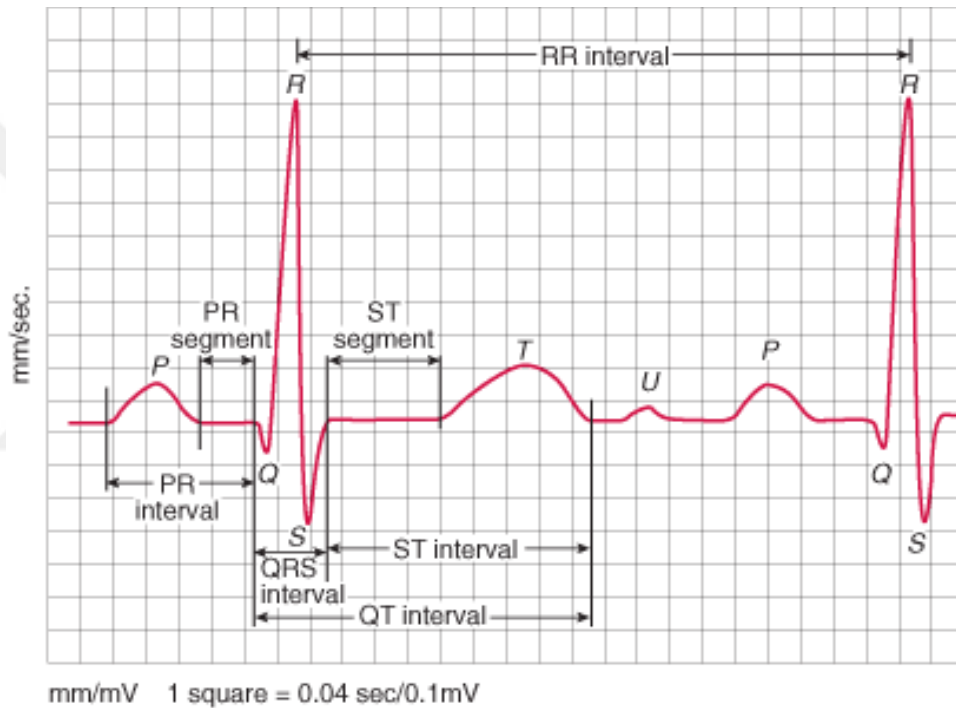
Elektrokardiyografi (EKG), hem yetişkinlerde hem de çocuklarda klinik kardiyolojide yaygın olarak kullanılan bir tanı aracıdır. Aynı zamanda giyilebilir cihazlarda tanı amaçlı kullanılan en yaygın vücut sinyallerinden biridir. EKG, koroner arter hastalığı, kalp yetmezliği ve kalp kapak hastalığı dışındaki çeşitli kalp rahatsızlıklarının tanısında önemli bir rol oynar. Bu tanı yöntemi genellikle vücuda yerleştirilen 12 elektrot aracılığıyla elde edilen elektriksel aktivite sinyallerini kullanır. Ancak, kalbin üç boyutlu modelini oluşturmak için bu elektrotlarla elde edilen verileri analiz etmek ve yorumlamak, uzman hekim ve eğitilmiş personel tarafından gerçekleştirilen karmaşık bir süreçtir. Maalesef, 12 elektrotlu EKG ile elde edilen kalp modelinin oluşturulması son derece yüksek maliyetlidir ve genellikle klinik uygulamaların dışında kullanılmayan prosedürlere sahiptir. Bu durum, kalp sağlığının değerlendirilmesi için daha erişilebilir ve maliyet etkin yöntemlere duyulan ihtiyacı ortaya koyar. Ancak, EKG'nin tanı koymada sağladığı benzersiz bilgiler, kalp rahatsızlıklarının erken teşhisi ve etkili tedavisi için kritik öneme sahiptir. (Maxime Ringwald, 2020)

Günümüzde, temel aritmilerin tanımlanması ve tespiti için artık yalnızca 1 EKG elektrotu yeterlidir. Bu gelişme, uzmanlık gerektirmeyen ve bu alanda eğitilmemiş bireylerin bile kullanabileceği giyilebilir EKG cihazlarının popülerleşmesine yol açmıştır. Bu cihazlar, ergonomik tasarımları ve kullanıcı dostu ara yüzleri sayesinde geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından benimsenmektedir. Son yıllarda, tüketici odaklı giyilebilir EKG cihazları, sağlık bilincinin artması ve bireylerin kendi sağlık durumlarını takip etme isteği ile birlikte büyük bir talep görmektedir. Bu cihazlar, genellikle uzun süreli EKG kaydı yapabilmeye özelliği ile öne çıkmaktadır. Bu sayede, kullanıcılar günlük aktiviteleri sırasında veya dinlenirken kalp ritimlerini izleyebilir ve potansiyel aritmileri tespit edebilirler. Bu cihazlar genellikle günlük yaşamın bir

parçası haline gelmiş, kullanıcıların sürekli olarak kalp sağlıklarını izleyebilecekleri pratik araçlar haline gelmiştir. Bu gelişmeler, bireylerin kendi sağlık durumlarına daha fazla özen göstermelerini ve sağlık uzmanları ile daha bilinçli bir iletişim kurmalarını sağlamaktadır. (Zeineb Bouzid MS, 2022)

2.1.1 Elektrokardiyogram Sinyalleri

EKG sinyalleri kalbin depolarizasyon ve repolarizasyon sonucunda oluşmaktadır. EKG sinyali Şekil 2.1'de olduğu gibi P, Q, R, S, T adı verilen 5 sinyalden oluşmaktadır.



Şekil 2.1 EKG Sinyali

P Dalgası: EKG de kaydedilen ilk sinyaldir, kulakçığın (atriyum) depolarizasyonunu gösterir. P dalgasının uzunluğu maksimum 0,1 saniye olup genliği de en fazla 2,5 mV'dir.

PR Aralığı: SA düğümünden çıkan elektriksel uyarının karıncığa ulaşması için geçen süre olup, 0,12 ile 0,20 saniye arasında değişiklik göstermektedir.

QRS Kompleksi: Karıncıkların (Ventriküler) depolarizasyon dalgasıdır, Q dalgası P dalgasından sonraki ilk negatif dalgayı, R dalgası ilk pozitif dalgayı, S dalgası ise R'den sonraki negatif dalgayı ifade eder. Süresi 0,1 ile 0,12 saniye arasındadır.

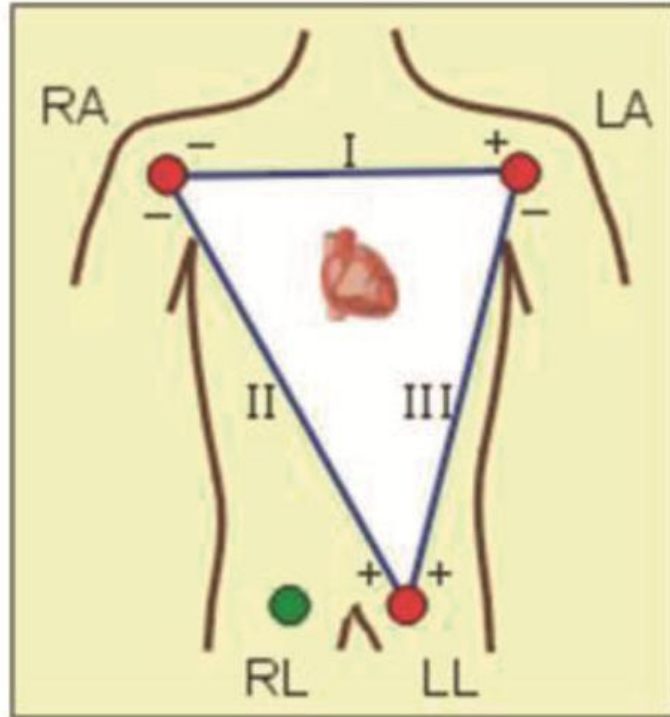
ST Segmenti: Ventriküllerin depolarizasyonu ile repolarizasyonu arasındaki sessiz dönemi gösterir. 0 ile 0,15 saniye arasındadır.

T Dalgası: Karıncıkların (Ventriküller) repolarizasyonunu yansıtır.

U Dalgası: T dalgasını izleyen, her zaman görülmeyen ve oluşum nedeni kesin olarak bilinmeyen bir dalgadır. (AKSU, 2014) (Başçifci, 2011)

2.1.2 EKG Ölçümü Nasıl Yapılır?

Şekil 2.2'de olduğu gibi elektriksel sinyali ölçebilmek için vücudun belirli en az 3 noktasına elektrot yerleştirilir. Genelde elektrotların yerleşiminde Einthoven üçgeni kullanılır. Kalbin bulunduğu bölgede RA(Right Arm), LA(Left Arm), LL(Left Leg) noktalarından ölçme yapılabilir. Lead I sol ve sağ omuz arasındaki potansiyel farkını, Lead II sağ omuz ve sol ayak arasındaki potansiyel farkını ve Lead III sol omuz ve sol ayak arasındaki potansiyel farkını gösterir. (Onder Yakut, 2014)



Şekil 2.2 Einthoven Üçgeni

2.1.3 Literatürde Giyilebilir EKG Cihazı Uygulamaları

Tıbbi takip çalışması için 2000 yılında Giyilebilir bir EKG cihazı yapılmıştır. (T. Martin, 2000) Buna paralel olarak hemen ardından giyilebilir sistemler için izleme üniteleri çalışmaları gerçekleştirilmiştir. (Raskovic, 2004) Bu sistemin bütünleşmiş uygulaması olarak EKG kayıt Sistemi yapılmıştır Kablosuz uzaktan evde bakım koşullarında sürekli aritmi izlemi için giyilebilir EKG kayıt sistemi gerçekleştirilmiştir. (R. Fensli, 2005) Kablosuz akıllı EKG sensor kartı uygulaması ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte Vücut Alan ağı oluşturularak giyilebilir EKG cihazları sensor düğümlere uyumlu hale getirilmiştir. (J. Welch, 2005), (Zhang, 2009)

Ülkemizde birçok üniversitede giyilebilir veya taşınabilir EKG cihazlarının yeni teknolojilere uyumlu hale getirme çalışmaları sürdürülmektedir. Bunlardan bazıları;

- Başal, H. çalışmasında düşük maliyetli, hastanın hareket yeteneğinde herhangi bir kısıtlamaya sebep olmayan küçük boyutlu ve kolay taşınabilir, verileri hem büyük kapasiteli taşınabilir bellek (MicroSD) hem de USB aracılığı ile bilgisayara aktarılabilecek bir EKG kayıt sistemi tasarım ve uygulaması hedeflemiştir. Bilgisayar ortamına aktarılan veriler istenildiğinde saklanabilecektir, gerektiğinde çıktı alınabilecek ve internet aracılığı ile uzak noktalara gönderilebilecektir. (BAŞAL, 2010),
- Türker, G. Yaptığı projede; hastaların anlık veya sürekli takip gerektiren durumlar için taşınabilir bir elektrokardiyogram (EKG) devresi tasarlanmıştır. Bu devre, hareket sınırlılığı olmadan kalp sinyallerini izleme amacını taşımaktadır. EKG sinyalinin algılanması, yükseltilmesi, temizlenmesi ve sayısallaştırılması için tek kullanımlık elektrotlar kullanılmıştır. Elde edilen EKG sinyali, Zigbee 802.11.4 standardına göre çalışan Kablosuz Algılayıcı Ağı (KAA) aracılığıyla merkezi bir düğüme iletilmiştir. Bu ağ sayesinde, bilgisayarın seri portundan alınan EKG verisi sürekli akış grafiğine dönüştürülmüştür. Geliştirilen taşınabilir sistem, hastaların EKG'lerini takip ederken kablo kullanımını ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışma, KAA'nın kendi kendine ağ oluşturma yeteneği ve artırılabilir düğüm özelliği sayesinde EKG

sinyallerinin uzak mesafelere iletilmesindeki kısıtlamaları aşabileceğini göstermektedir. (Türker, 2010),

- Bayrak, T. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; hastaların ameliyat esnasında aldıkları narkozun etkisini vücutlarından atmaları ve normal fizyolojik yaşam değerlerine ulaşabilmeleri için yürütülmeleri gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı yürütülme esnasında, tasarlanan sistemle hastanın istenilen fizyolojik değerlerinin ölçülerek radyo frekans (RF) yardımıyla hemşire veya doktor gözlem odasına aktarılması ve belirlenen referans değerleri ile karşılaştırma yapılarak gerektiğinde hasta üzerindeki modülden sesli uyarı verilmesidir. Sistem iki ana modül olarak düşünülebilir. Birinci modül hasta üzerinde belirlenen biyoelektrik sinyali alan ve gerekli işlemlerden geçirdikten sonra RF verici ile ortama ileten kısım, ikinci modül ise vericiden gelen sinyali alarak tasarlanan arayüz programıyla bilgisayarda gerçek zamanlı olarak gözlenmesini sağlayan kısım biçiminde tanımlanabilir. (Tuncay Bayrak, 2009),
- Canal, R. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; hastanın kendi elektrokardiyografisini (EKG) bilgisayar üzerinden izleyebileceği bir EKG cihazı tasarlanmıştır. Bu noktada öncelikle bir EKG cihazının tasarımı yapılmıştır. Donanımın içerisinde bir enstrümantasyon yükselteci, analog süzgeçlere, seviye kaydırıcıya, analog-sayısal dönüştürücüye yer verilmiştir. Süzgeç tasarımında özellikle kararlı yapıya sahip UAF42 aktif süzgeci kullanılmıştır. Süzgeç tasarımları öncelikle Proteus Professional v7.7 programında denenmiş ve hesaplamaların doğru olduğu görüldükten sonra uygulamaya geçilmiştir. Analog sinyalimizin, sayısal hale dönüştürülmesi için PIC16F877A mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Böylece EKG sinyali 10 bit sayısal sinyale dönüştürülüp RS232 iletişim protokolü kullanılarak bilgisayarın seri portuna gönderilmiştir. Bilgisayar üzerinde çalışan ve içinde port dinleme yazılımı ile kullanıcı ara yüzü olan bir program Labview 7.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Böylece EKG sinyali gerçek zamanlı gösterilmiştir (M., 2011),
- Aslantaş, V. ve arkadaşı yaptıkları çalışmalarında; Kişinin EKG, vücut ısısı ve nabız gibi sağlık parametreleri Taşınabilir İzleme Birimi (TİB) adı verilen bir

gömülü sistem vasıtasıyla elde edilerek, IEEE 802.15.1 Bluetooth kablosuz haberleşme standartında, ağ geçidi olarak ayarlanmış bir kişisel sayısal asistan cep bilgisayarına (PDA) aktarılması, bilgilerin cihaz üzerinde görüntülenmesi ve uzun dönemli olarak depolanması, acil durum söz konusu olduğunda bilgilerin merkezi sunucuya IEEE 802.11 WLAN veya GSM/GPRS teknolojisi ile kablosuz olarak İnternet üzerinden gönderilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, kişiye önemli ölçüde hareket özgürlüğü sağlanırken, günlük yaşamını aksatmadan tıbbi verilerin uzun dönemli olarak depolanması, merkezi sunucuya gerçek-zamanlı olarak aktarılması, olası acil durumlarda çeşitli alarmların tetiklenmesi ve ilgili kurumların harekete geçirilmesi sağlanmıştır. (Veysel ASLANTAŞ, 2006),

- Can, S. gerçekleştirdiği sistem sayesinde; hastanın evden çıkmadan bir uzman tarafından takibi sağlanmaktadır. Böylece kişinin hastane dışından sağlık bilgileri takip edilmekte ve olası sorunlara karşı erken müdahale edilebilmektedir. Bu çalışmada kollar ve bacadan elektrotlarla alınan EKG (Elektrokardiyogram) bilgisi yükseltilerek işlenebilir sinyallere dönüştürülmektedir. Analog olan EKG sinyali bir mikroişlemci yardımıyla sayısal işarete çevrilerek Bluetooth modüle aktarılmaktadır. EKG verisi Bluetooth ile cep telefonuna gönderilmekte ve EKG Çizici Programı aracılığıyla EKG sinyalinin görüntülenmesi ve cep telefonundakilerinin baş kabir telefona aktarılması sağlanmaktadır. (CAN, 2010)

Medikal alanda veri iletiminde düşük güçlü kablosuz teknolojiler kullanılmaktadır. Hem ses-veri iletişimi sağlayan yaygın olarak kullanılan sistemler; Zigbee- IEEE 802.15.4 enerji verimi yüksek olan kısa mesafe haberleşmelerde tercih edilir (Nicolas Chevrollier, 2005), Bluetooth, kızılötesi (İnfrared), Radyo Frekans (RF), Kablosuz Algılayıcı Ağlar-KAA (Wireless Sensor Networks). İlerlemekte olan diğer kablosuz teknolojiler tercih edilebilir ve Mobil sağlık servis sunum sistemlerine entegre edilebilirler (Sim, 2006). Bu teknolojilerin performans açısından değerlendirme çalışmaları önem taşımaktadır (Nada Golmie, 2005).

Kablosuz EKG uygulamaları: 1960'de kalp sesleri, denizcilerin kullandıkları radyo linkleri üzerinden iletilmiştir (Yılmaz E., 1999). 2001'de EKG sinyalinin bluetooth modülü üzerinden iletimi (Marr D., 2001) ve 2003'de EKG, EMG, EEG gibi biyolojik

sinyallerin iletimi ve görüntülenmesi çalışmaları yapılmıştır (Al-Imari, 2003). Aynı yıl Queensland Üniversitesi Wireless teknolojisi kullanarak EKG işaretinin bilgisayara iletimini sağlamıştır (Lambourn J., 2003). Araştırmacılar 94MHz çalışma frekansına sahip alıcı ve verici ile EKG işaretlerinin 12m uzaklığa kablosuz iletimini gerçekleştirmiştir (Melnyk M.D., 2004). Telsiz ortamda 433MHz ve 916MHz de çalışan alıcı vericilerle EKG işareti 30m uzaklığa iletilmiştir (Thaddeus R F Fulford-Jones 1, 2004). Biyolojik sinyallerin 433.4MHz ile 434.6MHz ISM taşıyıcı bandı frekans aralığında tekrarlayıcı sistemler kullanılarak daha uzak mesafe iletimi gerçekleştirilmiştir (U., 2006).

2.2 Elektrokardiyografi (EKG) Elektrotları ile İlgili Çalışmalar

Klinik EKG genellikle düşük maliyetle temin edilebilen ve yüksek kaliteli ve kararlı sinyaller sağlayabilen tek kullanımlık jelleşmiş Ag/AgCl elektrotları tercih edilir. (Şekil 2.3) Tipik olarak Ag/AgCl elektrotları metalik bir çitçittan oluşur, bu çitçitlere bir Ag/AgCl düğmesi takılır, algılama alanını genişletmek ve sinyal kalitesini arttırmak için iyonik elentlerden oluşan katı veya sıvı hidrojel gibi maddeler kullanılır. Bu tarz elektrotlar uzun vadeli kullanımlar için uygun değildir çünkü kullanılan jellere ve elektrotların deriye yapışması için kullanılan yapışkan maddelere karşı cilt reaksiyonlarına neden olabilir. (Jacqui Crawford, 2012)

Aynı zamanda yapışkan destek veya hidrojel zamanla kurur ve yapıştırılan noktadan düşebilir, bu durum giyilebilir uygulamaların konfor gereksinimlerine aykırı bir durumdur. (Searle, 2000)



Şekil 2.3 EKG Elektrot

2.2.1 Literatürde Elektrokardiyografi (EKG) Elektrot Uygulamaları

Elektrotlar sistem ve vücut biyo-potansiyelinin sinyal alımını sağlayan parçalardır. Elektrotlar polarize edilebilir veya polarize edilemez (kuru ve ıslak elektrotlar) olarak sınıflandırılabilir. (Taji, 2014)

Polarize edilemeyen (ıslak) elektrotlar; elektrot ile cilt arasında bir jel veya başka biyosinyal iletken malzeme (Ag/AgCl elektrotları gibi) aracılığıyla bir akım akış yolu vardır. (Taji, 2014)

Polarize edilebilir (kuru) elektrotlar; akım akış yolundan yoksundur ve bunun yerine, iletken malzeme ve cilt arasında kapasitif bir bağlantı olarak çalışırlar. (Taji, 2014) Polarize edilebilir elektrotların genellikle temaslı ve temassız türde tipleri olabilir.

Temaslı polarize yani Biyo-potansiyelin olduğu kontak tipi elektrotlar iletken malzemenin ciltle doğrudan bağlantısı vardır. Literatürdeki bazı temaslı polarize elektrot çalışmaları şunlardır;

- Paslanmaz çelik iplik ile yapılmış polarize elektrot (Carvalho, 2014), (Cho, 2011), (Michael A Mestrovic, 2007),
- Paslanmaz çelik yüzeyli polarize elektrot (Vincenzo Randazzo, 2018),
- Paslanmaz çelikle kaplanmış poliamid tel ile yapılmış polarize elektrot (Michal Hanic, 2014),
- Ag lifleri ile yapılmış polarize elektrot (Taina Pola, 2007), (Muhammet Uzun, 2015),
- Ag tekstilleri ile yapılmış polarize elektrot (M. G. Srinivasa, 2017), (R. Ambrosio, 2014),
- Ag kaplı poliimid ile yapılmış polarize elektrot (Yusuf A. Bhagat, 2018), (Thanit Apiwattanadej, 2018),
- Ag kaplamalı PVDF ile yapılmış polarize elektrot (Tong In Oh, 2013)

- Poliamid kaplamalı polarize elektrot (T. Pereira, 2013),
- Ag nanotel ile yapılmış polarize elektrot (Myers, 2014),
- Ag kaplı cam kompozit ile yapılmış polarize elektrot (Partha Sarati Das, 2017),
- Ag kaplı Naylon ile yapılmış polarize elektrot (Michael A Mestrovic, 2007),
- Ag baskı yöntemi ile yapılmış polarize elektrot (Masahiro Inoue, 2017), (T. Takeshita, 2018),

Temassız tip polarize elektrotlar, elektrofizyolojik ölçümler sırasında kullanılan önemli bir teknoloji olarak öne çıkar ve aynı zamanda kapasitif elektrotlar olarak adlandırılırlar. Bu elektrot türü, iletken plaka ile cilt arasında yer alan bağlantı elektrotları vasıtasıyla ölçümleri gerçekleştirir. Bağlantı elektrotları genellikle pamuk, polyester veya benzeri malzemelerden oluşur ve cilt ile elektrot arasındaki etkileşimi optimize etmek amacıyla kullanılır. Bu tip elektrotlar, hassas biyopotansiyel ölçümlerinde kullanıldıklarında düşük gürültü seviyeleri ve güvenilir sonuçlar sunarak araştırmacılara ve klinik uzmanlara değerli veri sağlar. Bu tür elektrotlar, gerçek anlamda giyilebilir tekstillere entegre edilerek kullanıcılara üst düzey konfor sunma potansiyeline sahiptir. Elektrotlar, tasarlanan giysiye özel olarak entegre edilir ve ciltle doğrudan temas etmeyerek kullanıcının rahatlığını maksimum seviyeye çıkarır. Bu entegrasyon, özellikle giyilebilir sağlık teknolojileri ve kişisel izleme uygulamaları için önemli bir avantaj sağlar. Ancak, temassız polarize elektrotların bir dezavantajı vardır: Bu elektrotlar, geleneksel elektrotlara kıyasla daha düşük bir elektrokardiyogram (EKG) sinyal kalitesine sahip olabilir. Bu durum, bazen hassas biyopotansiyel ölçümleri gerçekleştirmekte zorlanabilecekleri anlamına gelir. Bu alandaki literatürde, temassız polarize elektrotların performansını artırmaya yönelik bir dizi çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, sinyal kalitesini artırmak ve bu elektrotların güvenilirliğini optimize etmek amacıyla çeşitli tekniklerin ve geliştirmelerin araştırıldığı bilgileri içermektedir. Bu gelişmeler, temassız polarize elektrotların gelecekte daha etkili ve güvenilir bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayabilir. Literatürde çalışması yapılan bazı temassız polarize elektrot çalışmaları şunlardır; (Guatapi, 2018), (Sumit Majumder, 2018), (Mingyi Chen, 2018), (Silvester Fuhrhop, 2009), (Nemati, 2012), (Yong Gyu Lim, 2007)

BÖLÜM 3

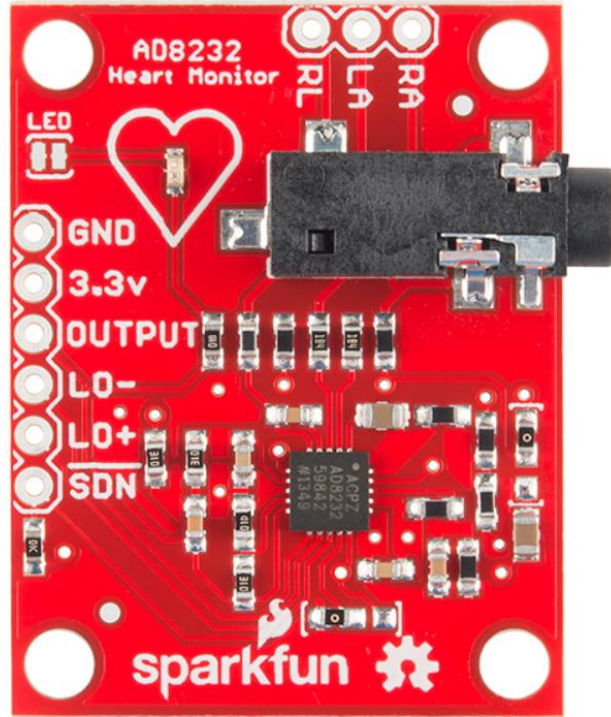
MATERYAL VE METOTLAR

3.1 Projede Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada, tasarlanan EKG cihazı ve elektroped in ölçümleri için yüksek hassasiyetli osiloskop, sinyal jeneratörü, 1200x dijital mikroskop, gerilim, akım, voltaj, kapasitans ölçümü yapan cihazlar kullanılmıştır.

3.2 Projede Kullanılan Malzemeler ve Kimyasallar

EKG cihazının tasarımında mikrokontrolcü olarak ATMEL mikroçipler kullanılmıştır. Vücuttan alınan zayıf EKG sinyallerinin güçlendirilmesi için tasarlanan devrede düşük harmonik bozulma ve düşük gürültü, yüksek doğruluk ve düşük güç tüketimi olan AD8232 amplifikatör kullanılmıştır. (Şekil 3.1) Elektroped tasarımında ise farklı teknik özelliklerde muhtelif kumaşlar, grafen ve sodyum silikat kullanılmıştır.



Şekil 3.1 AD8232 Heart Monitör Sensör

3.3 EKG Cihazı Geliştirme Aşamaları

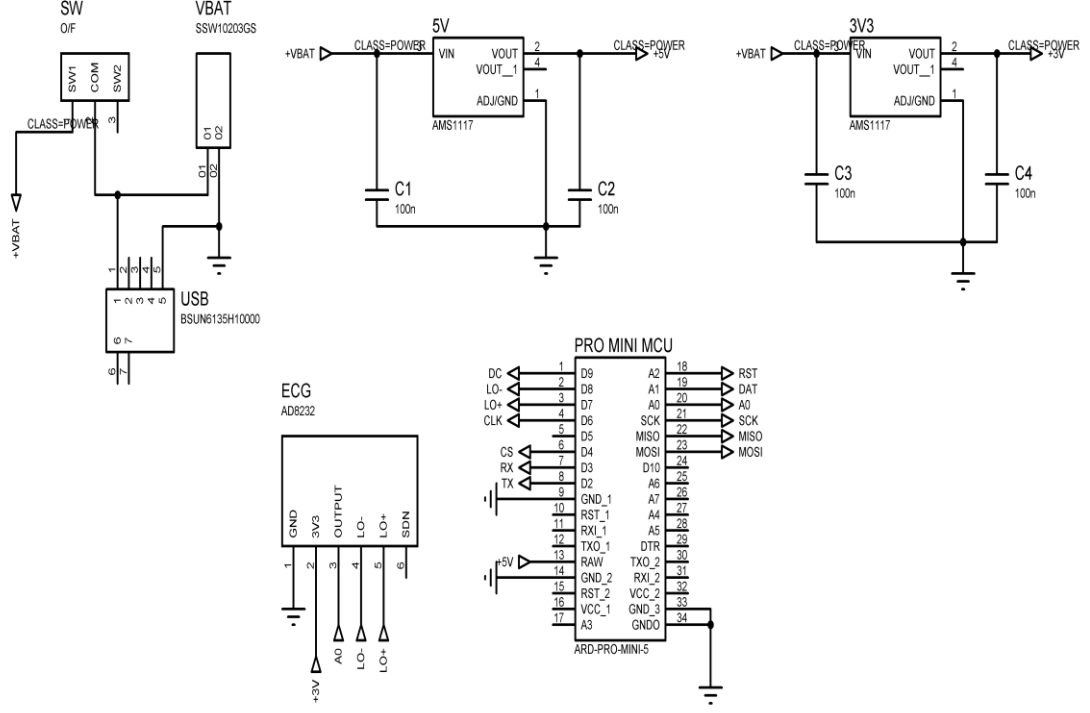
Elektrokardiyografi (EKG) cihazı tasarımı ile ilgili izlenecek yol, bir dizi adımdan oluşan kapsamlı bir süreci içermektedir. Bu süreç, özelleşmiş ve detaylı adımları içeren bir dizi alt aşamaya ayrılabilir.

- Tasarım süreci, öncelikle projenin belirli gereksinimlerinin ayrıntılı bir şekilde belirlenmesiyle başlar. Bu aşamada, kullanıcı ihtiyaçları, teknik özellikler ve sistem performans kriterleri göz önüne alınarak detaylı bir analiz yapılır.
- Ardından, donanım ve yazılım bileşenlerinin seçimi sürecine geçilir. Bu aşamada, uygun sensörler, işlemciler, bellek birimleri ve diğer elektronik bileşenlerin seçimi yapılır. Ayrıca, kullanılacak yazılım platformları ve algoritmalar belirlenir. Bu adım, cihazın istenen fonksiyonlarına uygun şekilde çalışabilmesi için kritik öneme sahiptir.
- Devre tasarımı ve prototipin oluşturulması aşamasında, seçilen bileşenlerin entegrasyonu ve tasarımın fiziksel bir prototipe dönüştürülmesi sağlanır. Bu aşamada, devre kartları tasarlanır, prototip üretilir ve ilk testler gerçekleştirilir. Test ve kalibrasyon süreçleri, cihazın doğru ölçümler yapabilmesi ve güvenilir sonuçlar üretebilmesi için gerekli olan ayarlamaların yapılmasını içerir.
- Kullanılabilirlik değerlendirmesi aşamasında, cihazın kullanıcı dostu ve hasta için konforlu bir deneyim sunması için tasarımın kullanıcı ara yüzü ve ergonomisi değerlendirilir. Güvenlik standartlarına uygunluk kontrolü, cihazın endüstri normlarına ve sağlık standartlarına uygunluğunu sağlamak amacıyla gerçekleştirilir.
- Nihai üretim aşamaları, tasarımın seri üretim için optimize edilmesini ve ürünün pazara sunulmasını içerir. Bu süreç, kalite kontrolü, maliyet analizi ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesini kapsar.

Sonuç olarak, EKG cihazı tasarım süreci, proje özelliklerine göre özelleştirilebilen esnek bir yapıya sahiptir ve her aşama, projenin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için dikkatlice yönetilmelidir.

3.3.1 Elektronik Devre Tasarımı

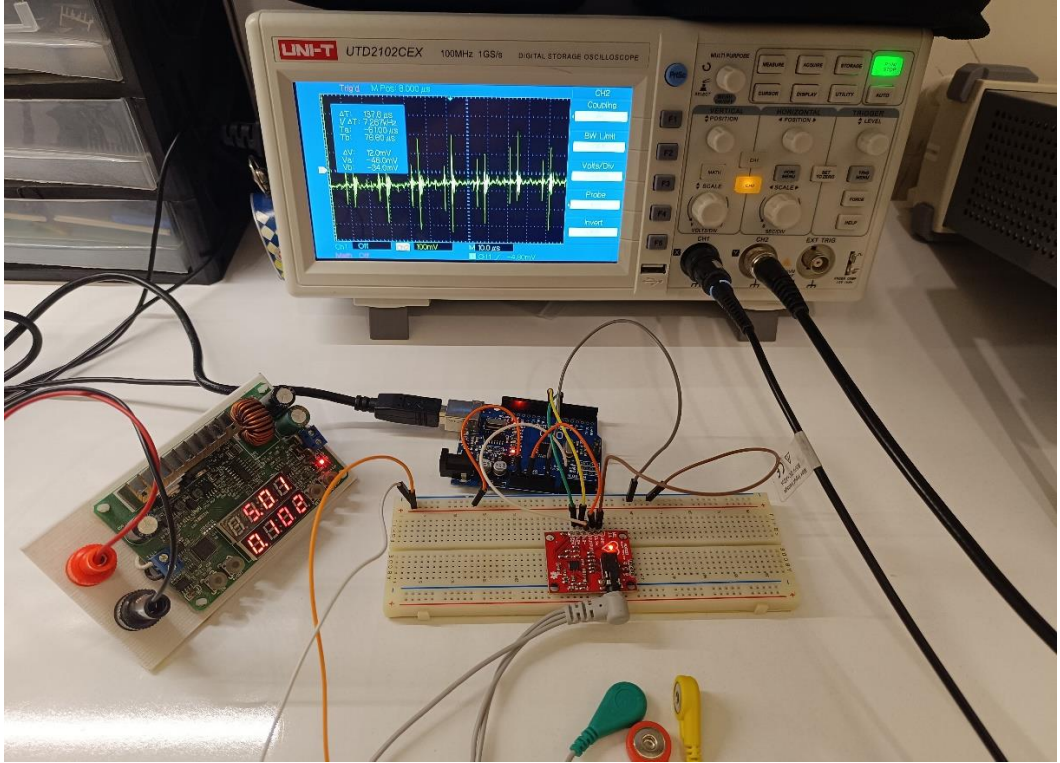
- Projede kullanılması öngörülen komponentler, kontrolcüler, sensörler ve diğer devre elemanları ile elektronik devre şematığı çizildi. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 Devre Şematığı

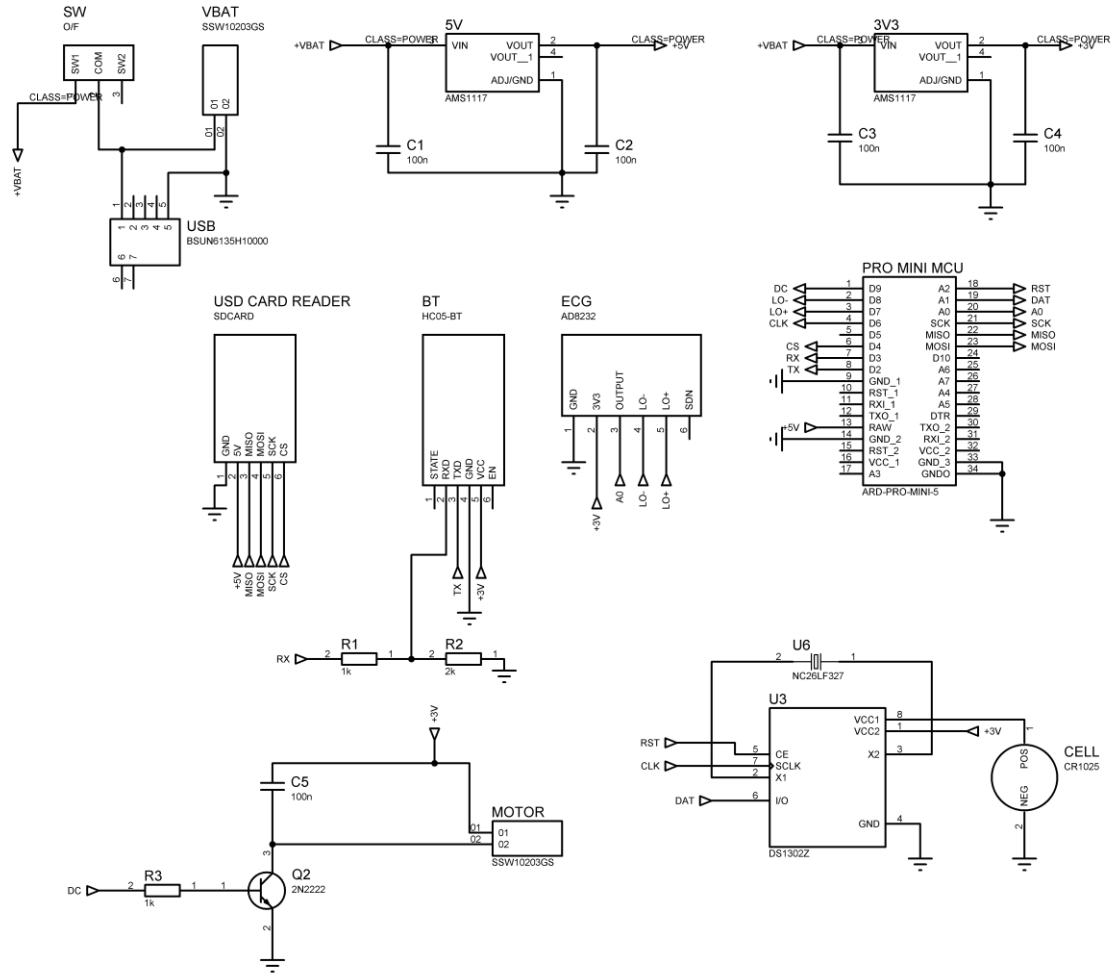
3.3.2 Prototipleme ve Devre Analizleri

- Prototipleme de deneyler sonucunda devrede kullanılan komponentlerin veya diğer devre elamanlarının değişme olasılığı vardır. Bu değişimin hızlı ve pratik yapılabilmesi ve tekrar test edilebilmesi için devre, deney aşamasında breadboard da kurulacak. Breadboard: üzerinde devrelerimizi test ettiğimiz araçtır. Kurduğumuz devreleri birbirlerine lehimlemeden kolaylıkla test etmemizi sağlar. Tasarladığımız devreleri baskı devre veya delikli plakette üzerine aktarmadan önce denememize olanak sağlar. Bu sayede devre bağlantılarını kontrol ederek bir hata olup olmadığını gözlemlemiş oluruz. Devreleri tak-çıkart şeklinde kurabildiğimiz için kullandığımız elektronik bileşenleri başka projelerde tekrar kullanma imkânı verir.
- Kullanılacak devre elemanları hazırlandıktan sonra ön deneylerin yapılabilmesi için deneysel devre breadboard da kuruldu. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3 Breadboard Prototipleme

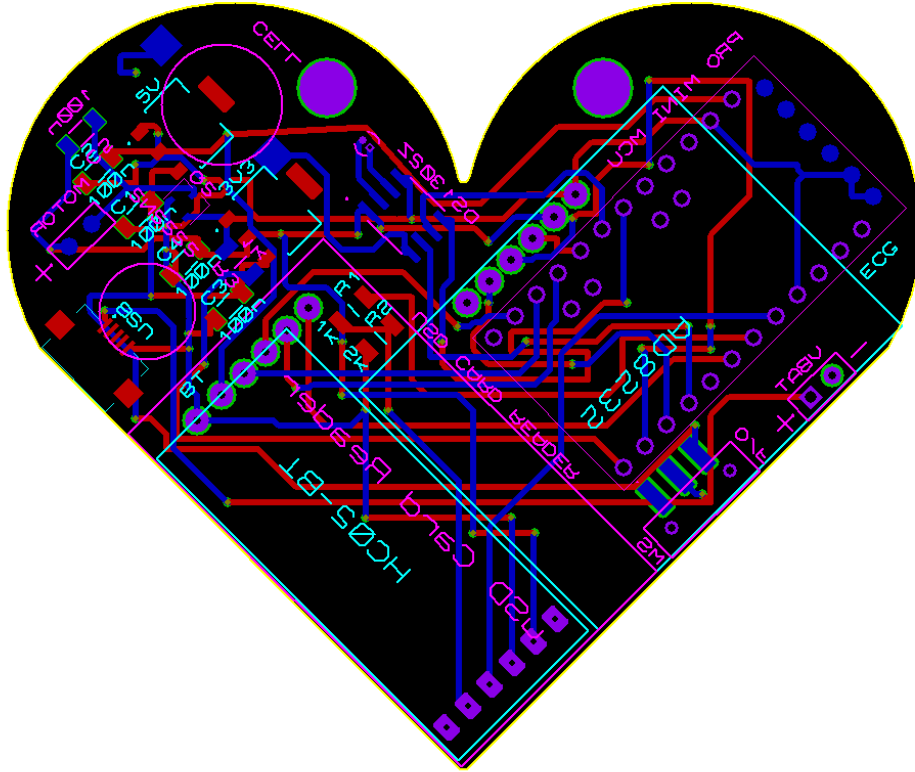
- Devre analizleri yapıldıktan sonra doğru komponentler belirlendi, ek olarak akıllı telefon bağlantısı için bluetooth modül, EKG veri kaydı için hafıza kartı ve enerji kesintisinde saat değişimi olmaması adına RTC (Real Time Clock) gerçek zamanlı saat modülünü eklendi ve devre şeması tekrar çizildi. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Düzenlenmiş Şematik

3.3.3 Devre Kartı (PCB) Tasarımı

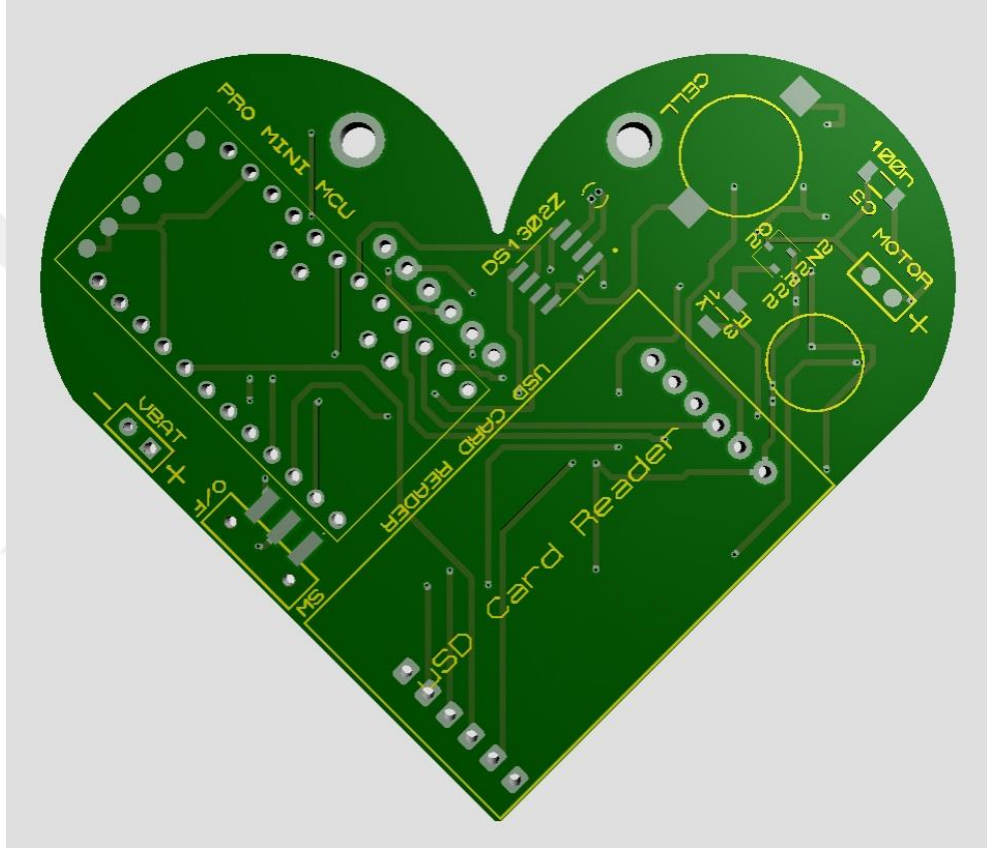
- Oluşturulan devrenin profesyonel PCB üretimi yapılabilmesi için Proteus programı ile devre kartı (PCB) tasarımı yapıldı. Üretilen kart şekli projeye uyumlu olması için kalp şeklinde çizildi. (Şekil 3.5)
- PCB (printed circuit board) baskılı devre kartı anlamına gelmektedir. PCB, elektronik devre elemanlarını monte etmek için yüzeyinde iletken (örneğin bakır) yollar ve adalar, yüzeyler arasında ise içi lehim kaplı delikler içeren değişik yalıtkan materyallerden yapılmış plakalardır. PCB devreleri ortaya çıkmadan önce elektronik devreler hem karmaşık hem de zahmetli bir süreç olan noktadan noktaya kablolama süreci inşa edilmekteydi. Bu yöntemle inşa edilen elektronik devrelerde kablo yalıtımlarının yıllar içerisinde eskimeye ve çatlamaya başlamasından dolayı sık sık arızalar ve kısa devreler meydana gelmekteydi.



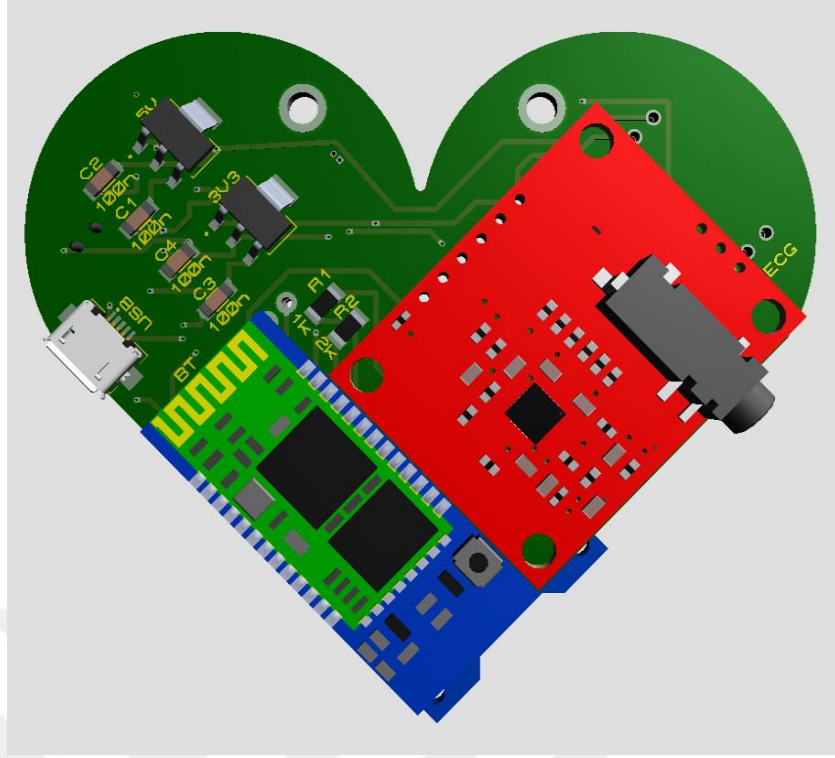
Şekil 3.5 PCB Tasarımı

3.3.4 Tasarlanan PCB Kartın Üretimi

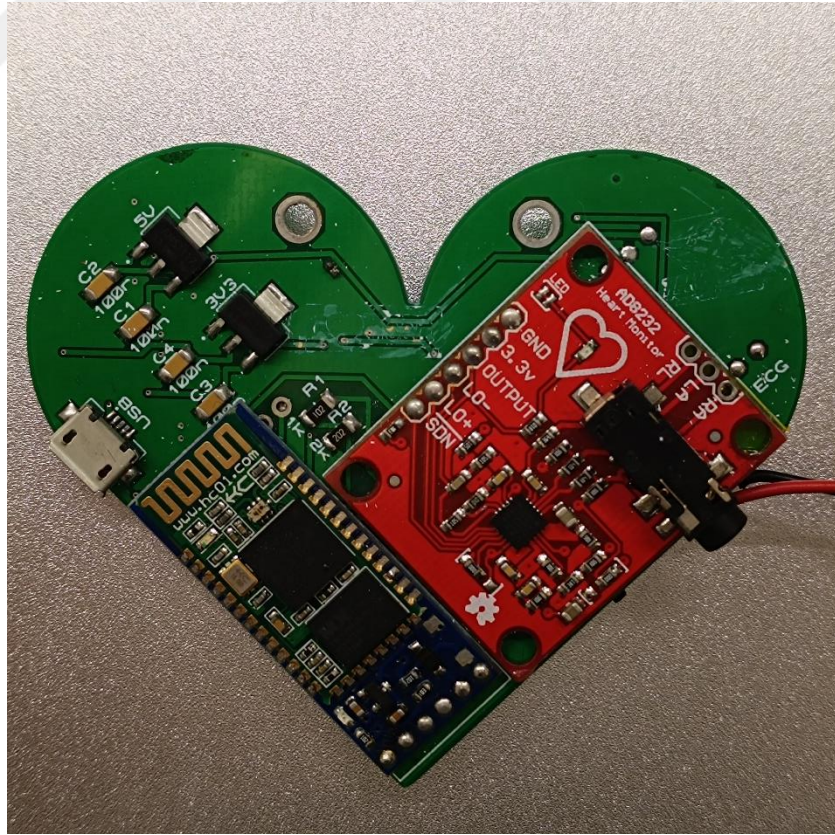
- Ön deneyleri breadborad da kurulan daha sonra şematiği çizilip kart tasarımı yapılan devre kartı; PCB üretim hizmeti veren firmaya üretime uygun CAD dosyaları gönderilerek ürettirildi. Tasarlanan PCB'nin CAD görüntüsü Şekil 3.6, Üretilen PCB'nin görüntüsü ise Şekil 3.7 de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 PCB Devre Kartı CAD Görüntüsü



Şekil 3.8 Devre Bileşenli PCB Devre Kartı CAD Görüntüsü



Şekil 3.9 Devre Bileşenleri Lehimlenen Pcb'nin Gerçek Görüntüsü

3.3.6 Cihaz Yazılımı

- Cihazın yazılımının yazılma süreci aşağıdaki aşamalardan oluşmuştur:
 - İhtiyaç Analizi ve Tasarım: Cihazın işlevsel gereksinimlerine uygun yazılımın genel tasarımı yapıldı, bu aşamada modüllerin ve bileşenlerin nasıl bir araya geleceği planlandı.
 - Geliştirme Ortamının Seçimi: Projeye uygun yazılım ortamı olarak Arduino IDE seçildi.
 - Kodlama: Tasarlanan yazılımın kodu yazılmaya başlandı. Bu aşamada, yazılımın işlevselliğini sağlamak için algoritma ve veri kütüphaneleri kullanıldı.
 - Derleme veya Yorumlama: Yazılan kod, Arduino IDE (derleyici veya yorumlayıcı) kullanılarak makine diline çevrildi. Derleme, kodun bir dilde yazılmasından sonra başka bir dile dönüştürülmesidir. Yorumlama, kodun çalışma zamanında çözümlenmesidir.
 - Hata Ayıklama (Debugging): Derleme ve yorumlama işlemi sonrası yazılımın hatalarını bulmak ve düzeltmek amacıyla hata ayıklama işlemi yapıldı. Hata ayıklama işlemi kullanılarak programın düzgün çalışması sağlanır.
 - Test Etme: Yazılımın doğru ve istenilen şekilde çalıştığından emin olmak için testler yapıldı. Farklı senaryolarda yazılımın performansı ve dayanıklılığı test edildi.

3.3.7 Cihazı Giyilebilir Hale Getiren T-Shirt'ün Hazırlanması

Elektropedlerin vücuda tam yapışmasını sağlamak amacıyla esnek kumaştan üretilen t-shirt tercih edildi. Elektropedlerin konumunun doğru olması ve değişmemesi adına elektropedlerin takılabileceği zimbalar çakıldı. Elektropedin çıkarılabilir olmasıyla tshirtün yıkanabilir ve elektropedin değişebilir olması amaçlandı. Çakılan zimbalara cihaz bağlantısını sağlayan esnek, iletkenliği yüksek emaye kaplamalı ince kablolar kullanıldı. (Şekil 3.10) Bu kabloların gerekli testlerden sonra iletken iplik ile değiştirilmesi planlandı.



Şekil 3.10 Giyilebilir EKG T-Shirt

3.3.8 Cihazın Hazırlanan T-Shirt ve Standart Elektropedler ile Denenmesi

Donanımı ve yazılımı ve giyilebilir t-shirt ü hazırlanan cihazın doğruluğunu, kararlılığını ve diğer tüm fonksiyonlarını test etmek amacı ile standart yapışkanlı elektropedlerle deneyi yapıldı. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11 Giyilebilir EKG T-Shirt Eelektroped Takılması

3.4 Temashlı Polarize Grafen Kaplamalı Elektroped Geliştirilme Aşamaları

Grafen bazlı elektrotlar, tek atom kalınlığındaki karbon tabakaları olan grafenin kullanılmasıyla geliştirilen özel elektrotlardır. Grafen, benzersiz özellikleri sayesinde dikkat çeken bir malzemedir. Mükemmel elektriksel iletkenliği, olağanüstü mekanik dayanıklılığı, hafif yapısı ve biyo uyumlu özellikleriyle bilinen grafen, çeşitli endüstrilerde ve özellikle biyomedikal alanında geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir.

Elektrokardiyografi (EKG) gibi tıbbi görüntüleme tekniklerinde kullanılan elektrotlar, hastaların kalp aktivitelerini ölçmek için önemli bir rol oynar. Grafen bazlı elektrotlar, bu alanda çeşitli avantajlar sunar. Grafenin olağanüstü elektriksel iletkenliği, hassas kalp sinyallerini doğru bir şekilde iletmeye olanak tanır. Aynı zamanda, grafenin mekanik dayanıklılığı, elektrotların uzun ömürlü olmasını sağlar, böylece tekrarlı kullanımlarda dayanıklılık sağlar.

Grafenin hafif yapısı, elektrotları taşıma ve kullanma kolaylığı sağlar. Bu özellik, sağlık profesyonellerinin ve hastaların rahat bir şekilde elektrokardiyografi testlerine tabi tutulmalarını kolaylaştırır. Biyo uyumlu özellikleri sayesinde grafen, vücutla uyumlu bir malzeme olarak kabul edilir ve alerjik reaksiyon riskini minimize eder.

Sonuç olarak, grafen bazlı EKG elektrotları, grafenin benzersiz özelliklerinden kaynaklanan avantajları sayesinde tıbbi görüntüleme tekniklerinde güvenilir ve etkili bir elektrot malzemesi olarak öne çıkar. Bu teknolojik ilerleme, biyomedikal alanında daha hassas ve güvenilir tanımlar konulmasına katkıda bulunabilir. Grafen bazlı ECG elektrotlarının bazı avantajları ve özellikleri:

- Yüksek iletkenlik özelliği, elektrokardiyografi (EKG) gibi tıbbi görüntüleme tekniklerinde kullanıldığında olağanüstü bir performansa yol açar. Elektriksel iletkenlik açısından etkileyici bir performansa sahip olan grafen, EKG sinyallerini son derece hassas bir şekilde ölçme kabiliyetine sahiptir. Bu da kalp aktivitelerini daha doğru bir şekilde izleme ve değerlendirme imkânı sağlar.

- Esnek yapısı ve hafifliği, elektrotların cilde daha iyi adapte olabildiğini ve kullanıcının rahatlığını artırabilmesini sağlar. Elektrotların esnek olması, vücut hareketleriyle uyumlu olmalarına ve daha uzun süreli kullanımlarda dayanıklılık sağlamalarına olanak tanır. Ayrıca, grafenin hafif olması, elektrotları taşıma ve kullanma süreçlerini daha kolay hale getirir.
- Biyolojik uyumluluğu, vücut ile etkileşimde genellikle minimal reaksiyonlara neden olması anlamına gelir. Bu özellik, grafen bazlı elektrotların biyo uyumlu olmasını sağlar, yani vücutta alerjik reaksiyon riskini minimize eder.
- Dayanıklılık konusunda grafen, uzun ömürlü elektrotların geliştirilmesi için ideal bir malzeme olarak öne çıkar. Grafenin dayanıklılığı, elektrotların tekrarlı kullanımlarda performansını korumasına yardımcı olabilir.
- Son olarak, grafen tabanlı elektrotlar yüksek çözünürlükte ölçüm yapabilirler. Bu özellik, ECG sinyallerinin daha detaylı bir şekilde kaydedilmesine ve daha kapsamlı bilgilerin elde edilmesine olanak tanır.

Ancak, tüm bu avantajlara rağmen, grafen bazlı EKG elektrotlarının ticarileşmesi ve yaygın olarak kullanılması için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bu süreç, teknolojinin güvenilirlik, maliyet etkinliği ve geniş çaplı kabul açısından daha fazla optimize edilmesini gerektirir.

Bu çalışmada giyilebilir bir EKG cihaz tasarımı için öncelikle devre üzerine çalışılmış söz konusu sinyalleri en hızlı ve doğru şekilde ölçebilen oldukça küçük vücut kullanımına uygun bir devre üretilmiştir. Daha sonra bu sinyalleri vücuttan alan pedlerin kablolar yardımıyla bir tshirtte entegre edilmiş ve ölçümlerin aynı güvenilirlikte sonuçlandığı görülmüştür. Çalışmadaki ana amaç konforlu ve fonksiyonel bir ürün tasarımı olduğundan pedler yerine sinyali alabilecek farklı teknolojiler araştırılmış ve iletken mürekkebin aynı amaçla kullanılabilmesi düşünülmüştür. İletken mürekkebin baskı yapılacağı yüzeyin esnek olmaması ve kararlılığı oldukça önemlidir ancak diğer taraftan kullanıcıdaki sinyali alırken herhangi bir temasızlık olmaması için de giysinin vücudu sarması gerekmektedir. İki fonksiyonun aynı anda oluşabilmesi açısından mürekkebin dokuma kumaş üzerine aktarılarak tıpkı elektroped gibi çalışması ve bu parçanın tişörtte çitçitli bir tasarım ile birleştirilmesine karar verilmiştir.

İletkenlik açısından en doğru kumaşı seçebilmek amacıyla 10 adet rastgele seçilmiş farklı özelliklerde kumaş ve bu kumaşlara iletken mürekkebin aktarılacağı yollar için kılavuzlar yapıştırılmıştır. İletkenlik değerleri osiloskop yardımıyla ölçülerek en iyi kumaş seçimi yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan numuneler ve teknik özellikleri Tablo'da verilmiştir.

Numune Numarası	Numune Özellikleri
N1	Selülöz
N2	Selülöz
N3	Selülöz
N4	Sentetik selülöz
N5	Selülöz sentetik
N6	Selülöz sentetik
N7	Sentetik
N8	Sentetik
N9	Selülöz sentetik
N10	Selülöz

3.4.1 İletken Mürekkebin Kumaşlardaki Tutunma Deneyi

Bu çalışmada, grafen tozu ve sodyum sülfat kullanılarak hazırlanan iletken mürekkep, farklı fiziksel özelliklere sahip çeşitli kumaşların belirlenen bölgelerine 15mm çapında uygulanmıştır. Bu uygulama, kumaşların yüzey özelliklerini iyileştirmek ve elektriksel iletkenliğini artırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan iletken mürekkep, kumaşların belirlenen bölgelerine eşit ve homojen bir şekilde dağılmıştır.

İletken mürekkep uygulamasının ardından, kumaşlar tamamen kurduktan sonra, bu özellikli bölgelerin yüzey detayları dijital mikroskop altında incelenmiştir. Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14, bu incelemelerin görsel sonuçlarını sunarak, uygulanan iletken mürekkebin kumaşların yüzey özelliklerinin değişimleri ve mürekkebin homojenliğini açıkça göstermektedir.

Bu analizler, grafen tozu ve sodyum sülfat içeren iletken mürekkebin kumaş yüzeylerindeki mikro düzeydeki değişiklikleri inceleyerek, malzeme uygulamalarının etkinliği ve homojenliği hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu aşamada elde edilen gözlemler, gelecekteki benzer uygulamaların ve geliştirmelerin tasarım ve optimizasyon süreçlerine ışık tutabilecek niteliktedir.



Şekil 3.12 Numuneler



Şekil 3.13 İletken Mürekkebin Numunelere Uygulanışı



Şekil 3.14 İletken Mürekkepli Kumaşın Mikroskop Görüntüsü

3.4.2 İletken Mürekkep ve Kumaşlarla Elektropedi Oluşturulması

Mürekkep uygulandığında, boşlukları elektropedi oluşturacak şekilde olan lazer kesim plastik kalıplar kumaşlara yapıştırıldı. Daha sonra, grafen ve sodyum silikat ile hazırlanan iletken mürekkep tüm numunelere uygulandı. (Şekil 3.15)



Şekil 3.15 Mürekkep Uygulanan Kumaşlar

Mürekkep kuruduktan sonra, plastik kalıplar dikkatlice çıkarıldı. Bu işlem sonucunda, kumaş üzerinde yalnızca istenilen şekilde mürekkep kaldı. Bu yöntem sayesinde, mürekkebin istenilen bölgelere yalnızca belirli desenlerde ve miktarlarda uygulanması sağlandı, böylece istenilen fiziksel özelliklere sahip elektropedler oluşturuldu. (Şekil 3.16)



Şekil 3.16 Elektropedin ilk Görüntüsü

Elektropedin EKG cihaz kaplolarına sorunsuz bir şekilde takılabilmesi için her bir elektropede delikler açıldı ve EKG cihazlarına tam uyumlu soketler eklenerek montaj işlemi tamamlandı. Bu işlem, elektriksel ölçümlerin istikrarlı ve doğru bir şekilde alınabilmesi için elektropedlerin EKG cihazlarına mükemmel uyumunu sağladı. (Şekil 3.17)



Şekil 3.17 Soket Takılan Elektroped

Tüm numunelere delikler açıldıktan ve EKG cihazlarına uyumlu soketler titizlikle takıldıktan sonra, kuruyan mürekkebin oluşturduğu elektroped şeklinde kumaşlar dikkatlice kesildi. Bu adımların tamamlanmasıyla, elektropedler ölçüm deneyleri öncesinde son hallerine ulaşmış oldu. (Şekil 3.18)



Şekil 3.18 Kesilen Elektropedler

BÖLÜM 4

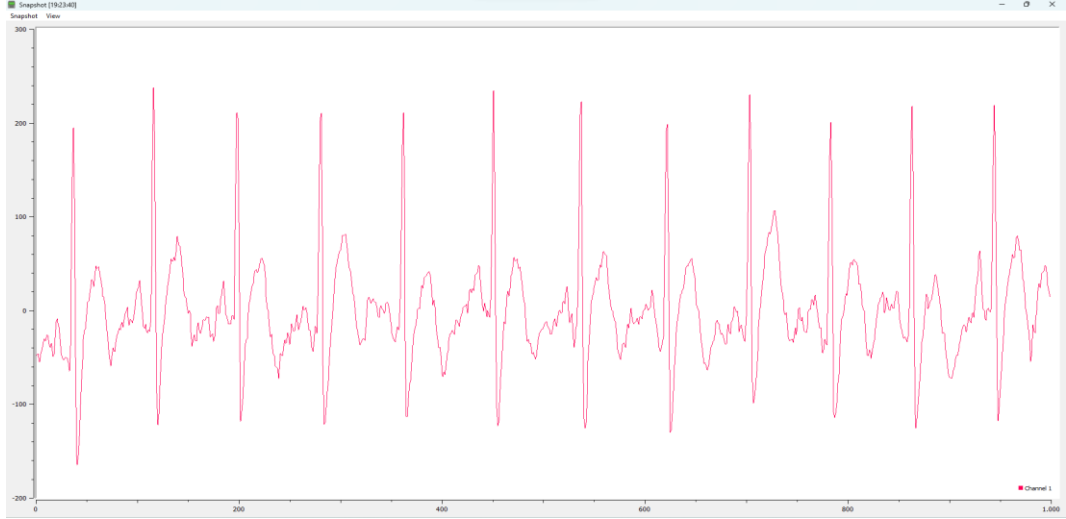
BULGULAR

4.1 EKG Cihazı Bulguları

Kalp sinyalinin vücuttan algılanması için standart yapışkanlı tek kullanımlık elektrotlar kullanılmıştır. Düşük seviyedeki EKG sinyallerinin iletilmesi için AD8232 sensörü ile sinyal yükseltmeleri yapılmıştır. EKG sinyalinin bozulmasına yol açabilecek ve devre içi interferansları ortadan kaldırmak için donanımsal ve yazılımsal filtre kullanılmıştır. Bu filtreleme işlemleri, elektrokardiyografi (EKG) sinyalinin temiz ve net bir şekilde elde edilebilmesini sağlamak adına önemli bir adımdır. Ayrıca, devre tasarımına ait komponent ve sensörler büyük oranda yüzey montajlı (SMD) tercih edilmiştir, bu da cihazın kompakt ve taşınabilir olmasına katkıda bulunmuştur.

Elde edilen vücut sinyalleri, kablosuz iletişim için HC-05 Bluetooth sensörü kullanılarak bilgisayar ve akıllı telefonlara aktarılmıştır. Bu kablosuz iletim, hasta takibi ve veri toplama süreçlerini daha pratik hale getirirken, elde edilen EKG verileri dijital olarak aktarılarak serial monitör yazılımları ile rakamsal ve grafiksel olarak görüntülenmiştir. Şekil 4.1'de, Bluetooth bağlantısı ile aktarılan ve ardından grafiğe dönüştürülen EKG verileri görsel olarak ifade edilmektedir.

Bu bağlamda, yapılan bu teknolojik entegrasyon ve iletim süreci, hasta izleme ve teşhis uygulamalarında daha hızlı, etkili ve kullanıcı dostu bir yaklaşım sunarak, tıbbi alanın modern teknolojiyle birleşimine önemli bir katkı sağlamaktadır. Ancak, kullanılan sensörlerin performansının artırılması ve kararlılığın sağlanması için daha fazla geliştirme ve iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

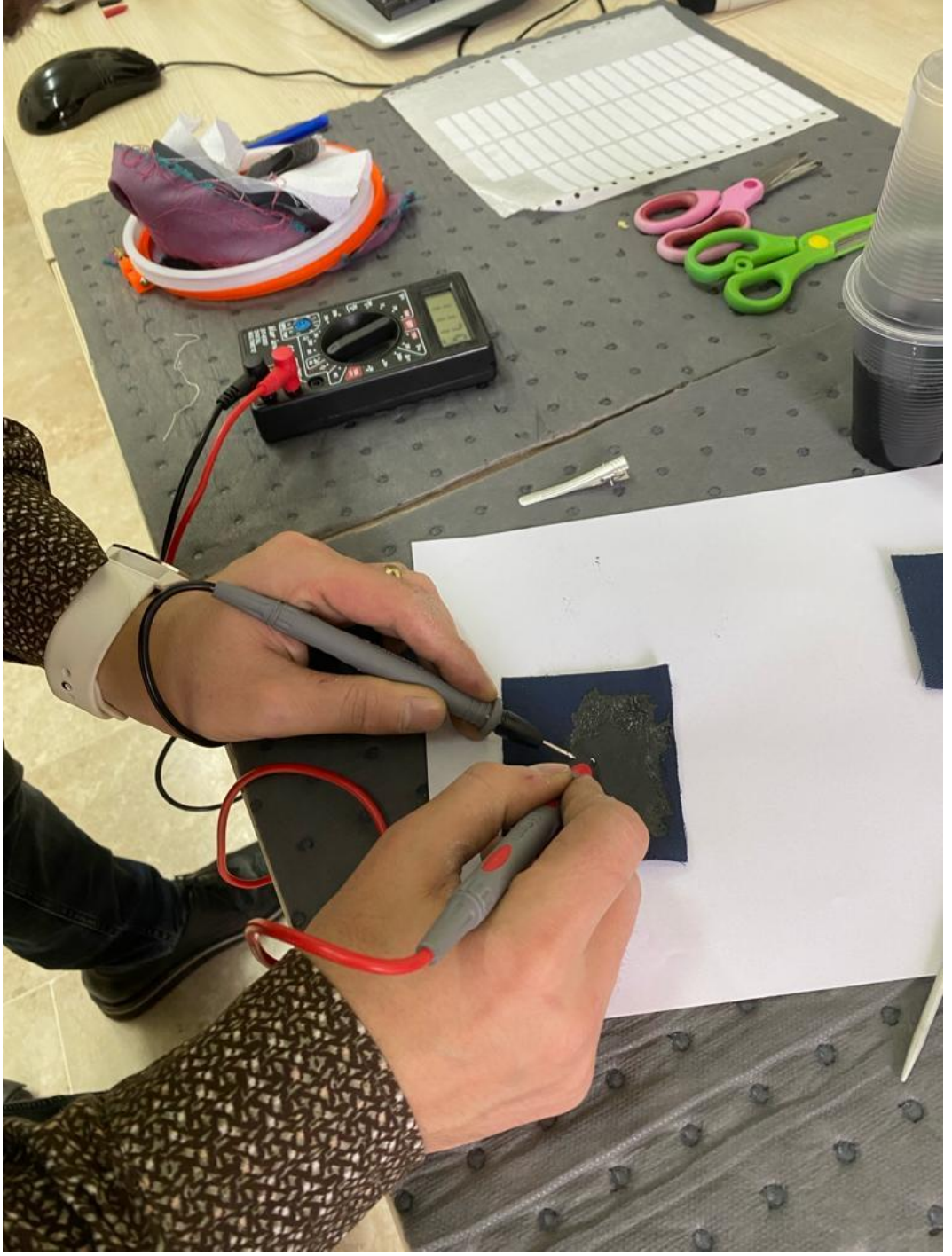


Şekil 4.1 EKG Verileri

4.2 Temash Polarize Grafen Kaplamalı Elektroped Bulguları

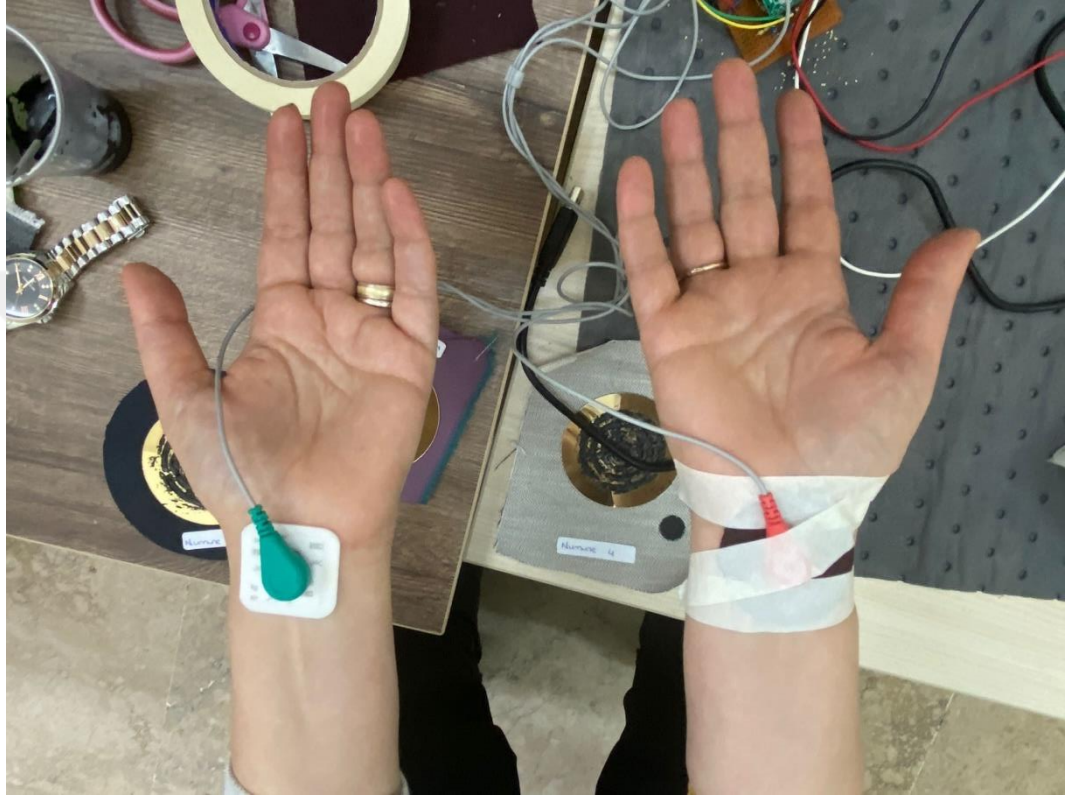
Elbise ve tekstil endüstrisindeki inovasyonlara yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, grafen kaplamalı kumaşların elektriksel direnç özellikleri incelenmiştir. Başlangıçtaki ortalama direnç değeri, 1 kat grafen mürekkebi ile kaplanmış numune için 2,55 Ohm/cm² olarak belirlenmiştir. Bu değer, grafenin iletken özellikleri ve kumaşın yüzeyine uygulanan tek kat kaplamanın başlangıç seviyesini temsil etmektedir.

Çalışmanın devamında, kumaşın üzerine uygulanan grafen kaplamalarının sayısının artmasıyla birlikte direnç değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Özellikle, 7 kat grafen kaplama sonrasında kumaşın direnç değeri 11.79 Ohm/cm² olarak belirlenmiştir, (Şekil 4.2) bu da kaplama sayısındaki artışın iletkenlikte gözle görülür bir iyileşmeye işaret etmektedir. Bu bulgular, grafen kaplamalı kumaşların iletkenlik özelliklerinin, uygulanan grafen katmanlarının sayısına bağlı olarak artabileceğini göstermektedir. Bu potansiyel iletkenlik artışı, giyilebilir elektronik cihazlar, akıllı tekstiller ve diğer benzer uygulamalar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak, bu teknolojinin ticarileştirilmesi ve geniş çapta kullanılabilmesi için daha fazla test, optimizasyon ve endüstri standardizasyonu gerekebilir.



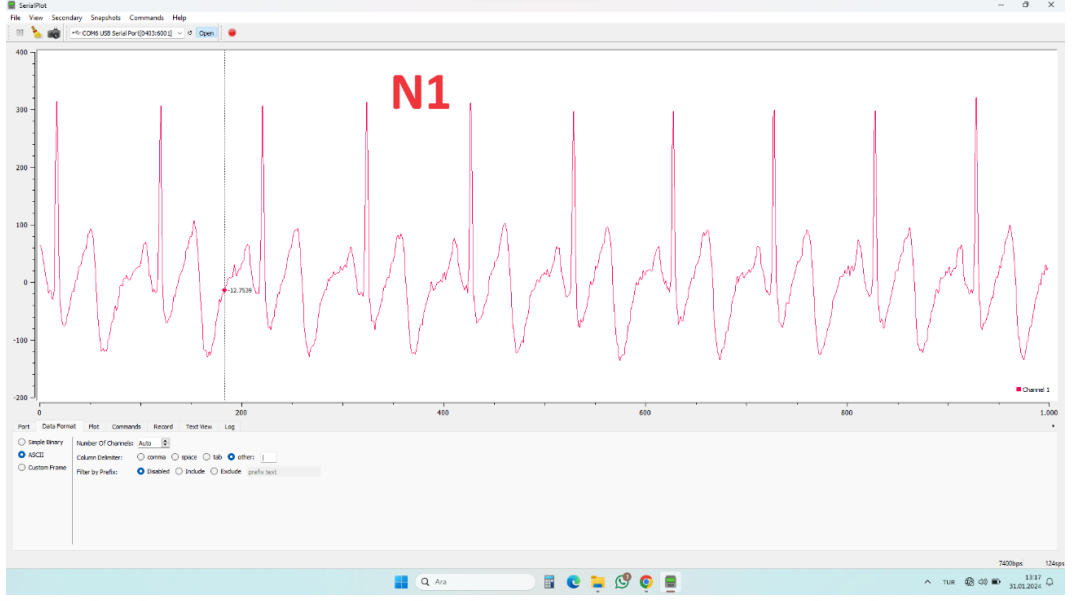
Şekil 4.2 Grafen Kaplama Direnç Ölçümü

Çalışmanın devamında, Şekil 4.3’de gösterildiği gibi grafen mürekkeple oluşturulan elektropedler, çalışma kapsamında üretilen EKG cihazının sol el dışına ve sol bileğe standart jelli elektroped sabitlenerek takıldı. Ardından, sağ bilek bağlantısına oluşturulan tüm numuneler sırasıyla takılarak EKG sinyalleri görüntülendi.

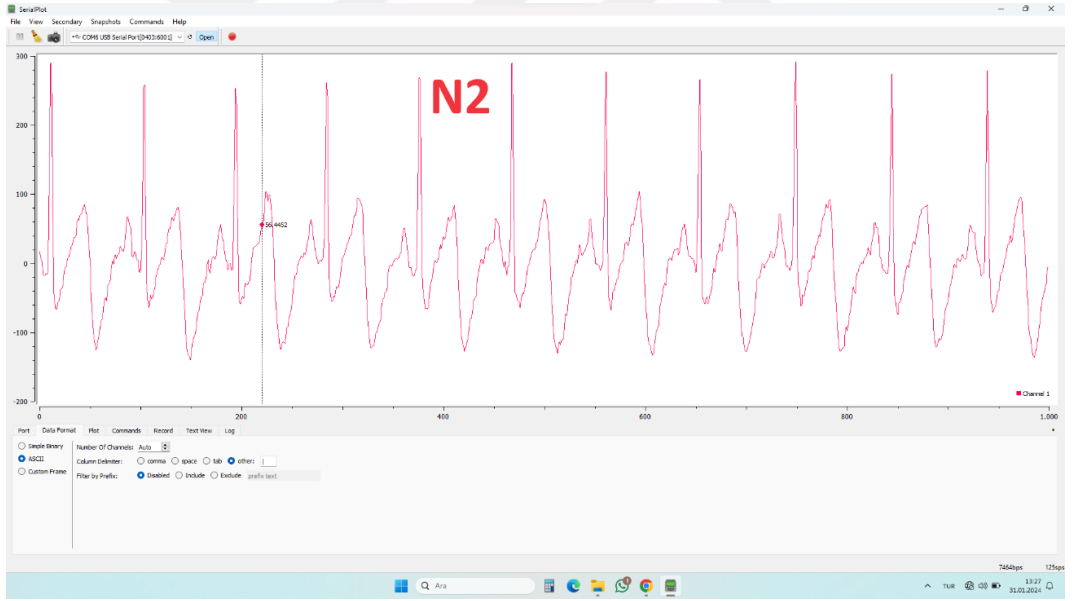


Şekil 4.3 Numunelerin Denenmesi

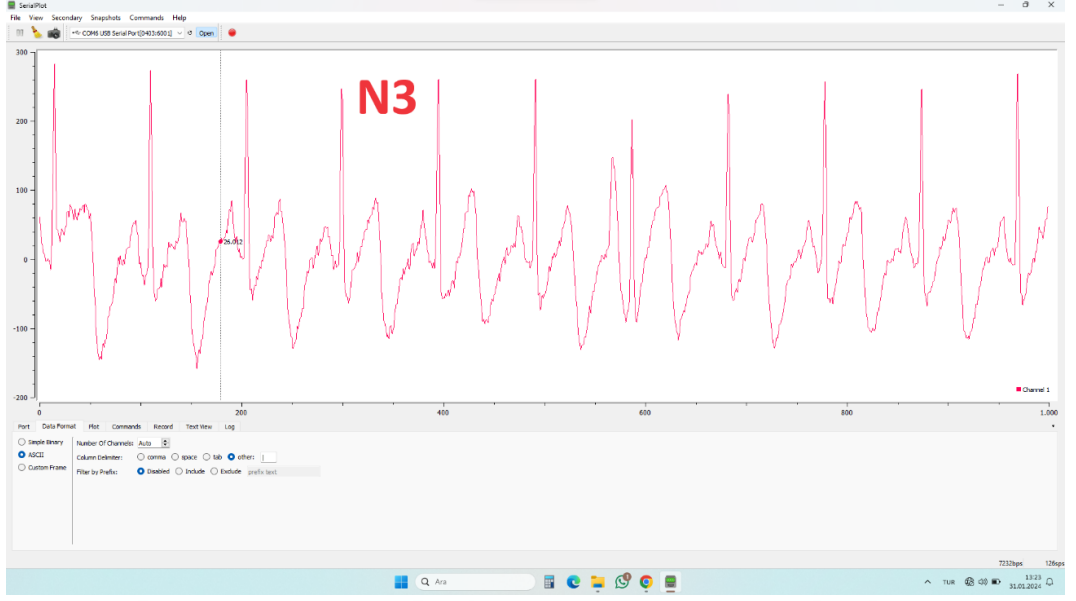
Her bir numune için elde edilen EKG verileri, Şekil 4.4'ten Şekil 4.13'e kadar olan aralıkta görsel olarak sunulmuştur. Bu grafikler, farklı numunelerin elektriksel aktivitelerini karşılaştırmak ve değerlendirmek için kullanılmıştır.



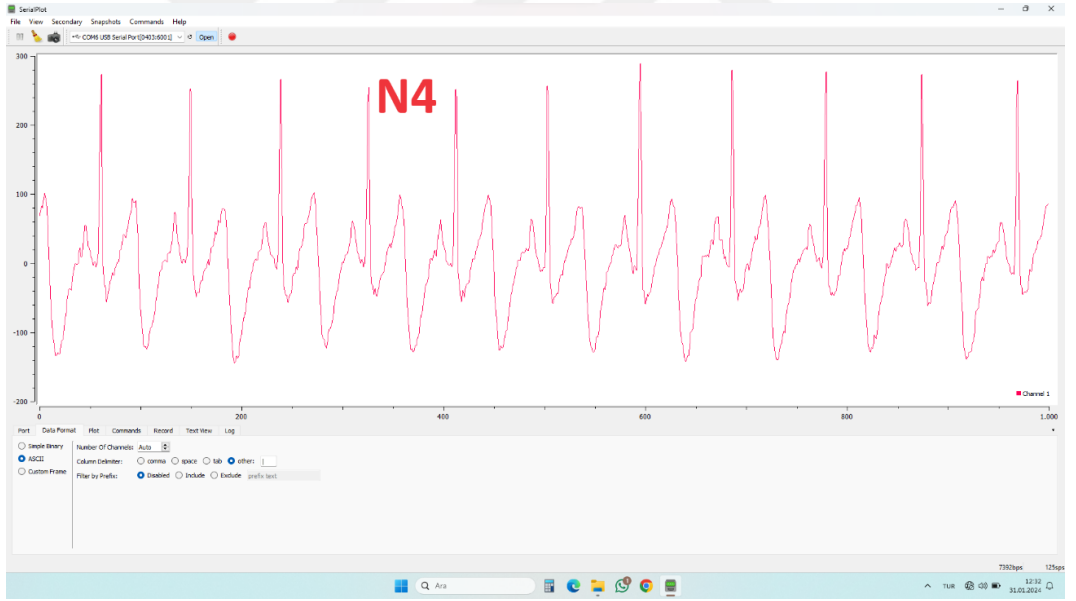
Şekil 4.4 Numune 1 EKG Görüntüsü



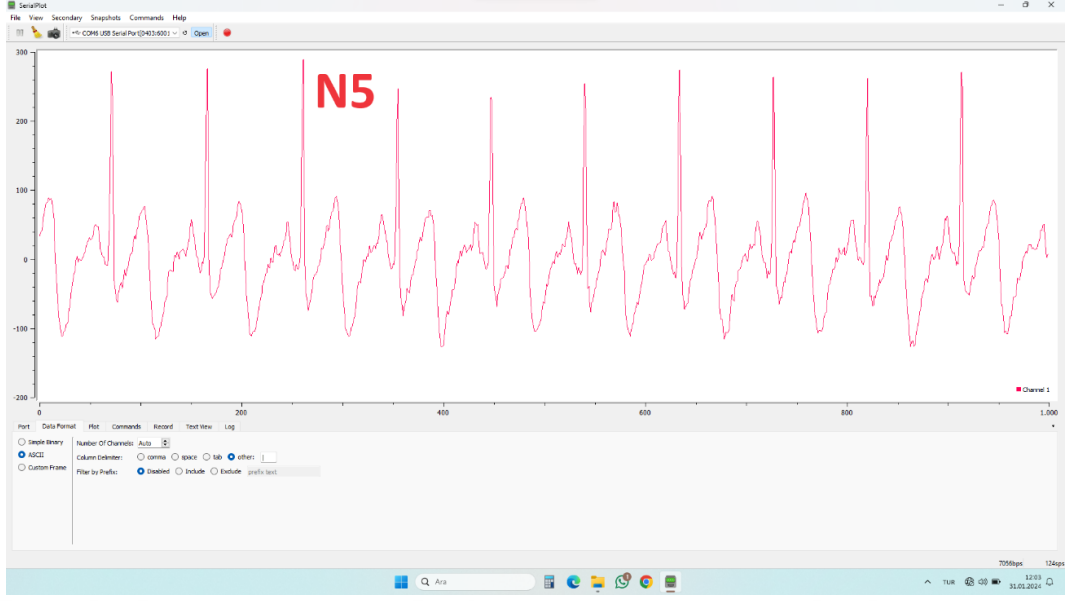
Şekil 4.5 Numune 2 EKG Görüntüsü



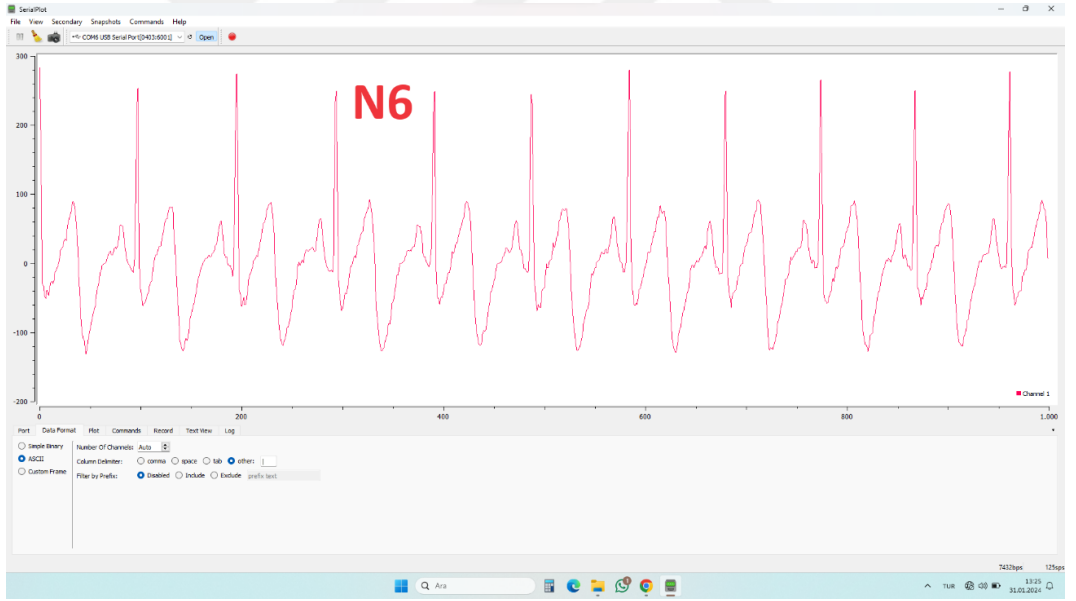
Şekil 4.6 Numune 3 EKG Görüntüsü



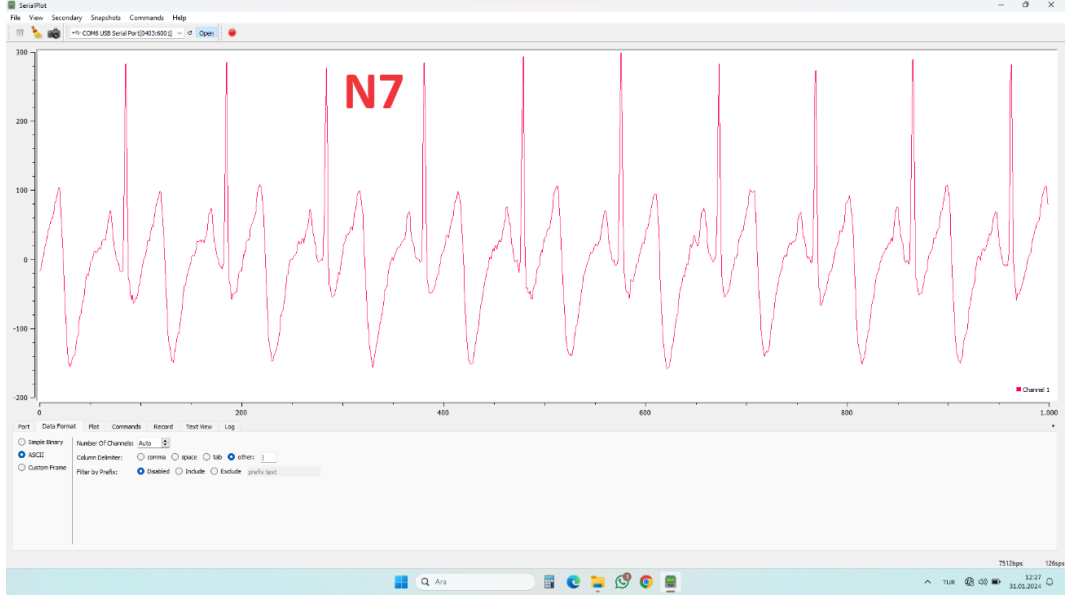
Şekil 4.7 Numune 4 EKG Görüntüsü



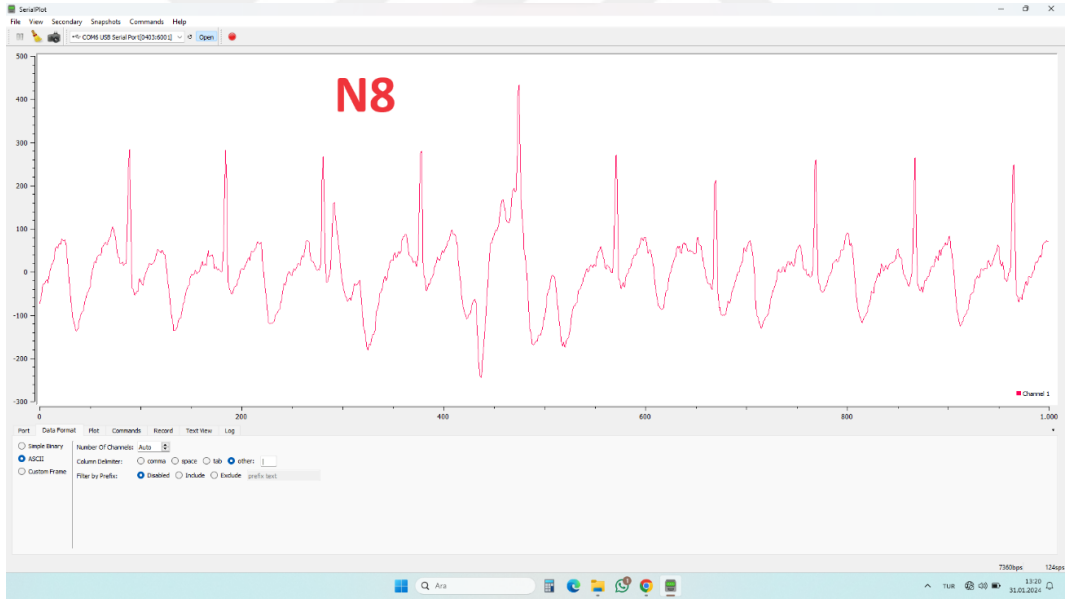
Şekil 4.8 Numune 5 EKG Görüntüsü



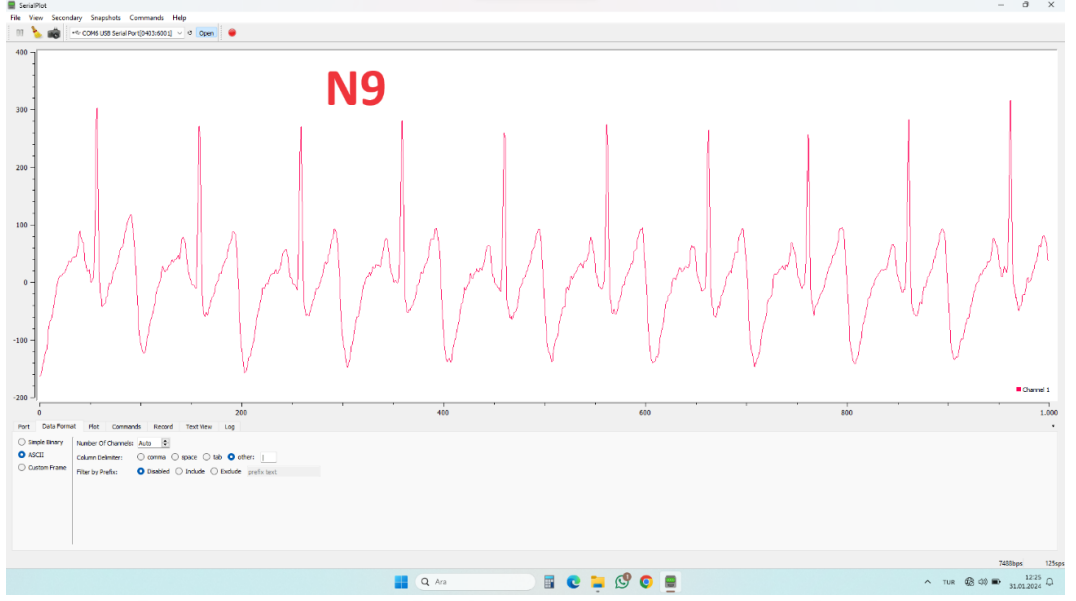
Şekil 4.9 Numune 6 EKG Görüntüsü



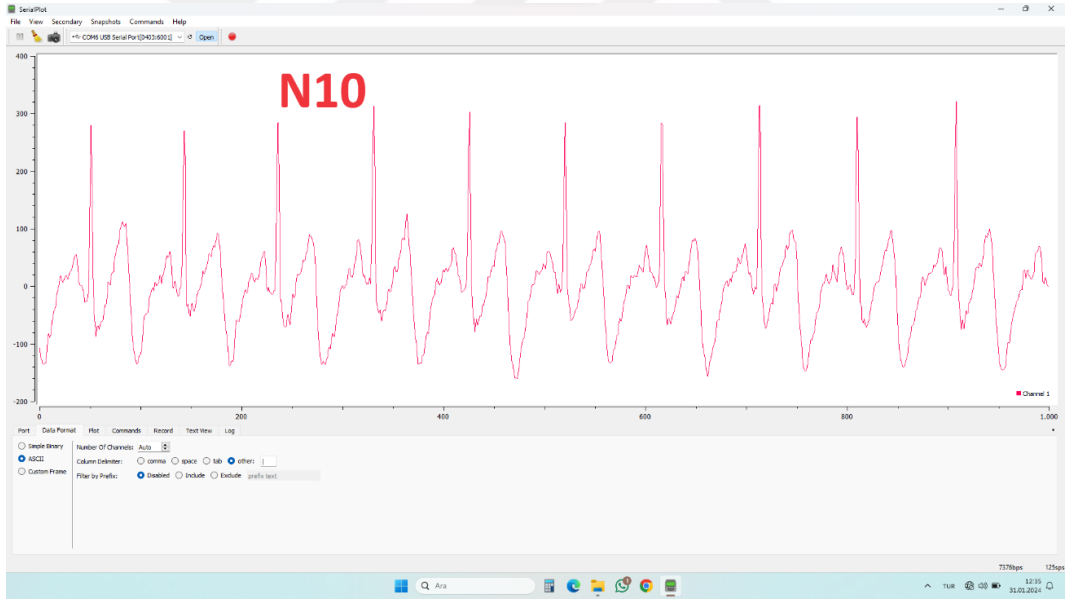
Şekil 4.10 Numune 7 EKG Görüntüsü



Şekil 4.11 Numune 8 EKG Görüntüsü



Şekil 4.12 Numune 9 EKG Görüntüsü



Şekil 4.13 Numune 10 EKG Görüntüsü

BÖLÜM 5

TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 EKG Cihazı Sonuçları

Bu araştırmada, tıbbi alanda önemli bir gelişme olan taşınabilir bir Elektrokardiyografi (EKG) ölçüm cihazının başarılı bir şekilde geliştirilmiş olup, bu cihazın kullanımıyla elde edilen EKG verilerinin kablosuz olarak iletilmesi üzerine odaklanılmıştır. Geliştirilen sistem, HC-05 Bluetooth sensörü sayesinde kablo gereksinimini ortadan kaldırarak, elde edilen EKG verilerini uzak bir bilgisayara aktarabilme yeteneği sunmaktadır. Bu teknolojik yenilik, hastaların EKG verilerini, geleneksel kablo bağlantılarına ihtiyaç duymadan uzaktan takip etme olanağı sağlar. Özellikle hastane ortamlarında, doktorların kabloların sınırlamaları olmadan hastaların kalp aktivitelerini izleyebilmesi, tedavi ve teşhis süreçlerini daha etkili hale getirebilir.

Araştırma kapsamında, Bluetooth sensörü ve radyo frekansları gibi kablosuz iletim teknolojilerinin kullanımı gözlemlenmiştir. Çalışmada, bu teknolojilerin sorunsuz iletim sağladığı ancak sinyalin kısa mesafe sonrasında azaldığı ve bağlantı sorunlarına neden olabileceği belirtilmiştir. Bu gözlemler, kablosuz iletim teknolojilerinin geliştirilmesi ve güçlendirilmesi gerekliliğini vurgular.

Deneyleerde, vücut üzerinden alınan EKG sinyalinin ilk olarak osiloskop kullanılarak görüntülediği belirtilmiştir. HC-05 sensörü ile gerçekleştirilen kablosuz iletim sonrasında, elde edilen EKG verilerinin başarıyla bilgisayara aktarıldığı ve arayüz programıyla grafiksel bir formda görüntülediği ifade edilmiştir. Bu uygulamanın sonuçları, iletilen EKG sinyallerinin doğruluğunun, osiloskop üzerinde izlenen sinyallerle karşılaştırıldığında gecikme veya bozulma olmadan aktarıldığını göstermiştir. Bu nedenle, geliştirilen taşınabilir EKG ölçüm cihazı ve kablosuz iletim teknolojisi, tıbbi alanda önemli bir ilerleme sunmakta olup, hastaların daha konforlu bir deneyim yaşamalarına ve sağlık profesyonellerinin verilere daha hızlı ve etkili bir şekilde erişmelerine olanak tanımaktadır.

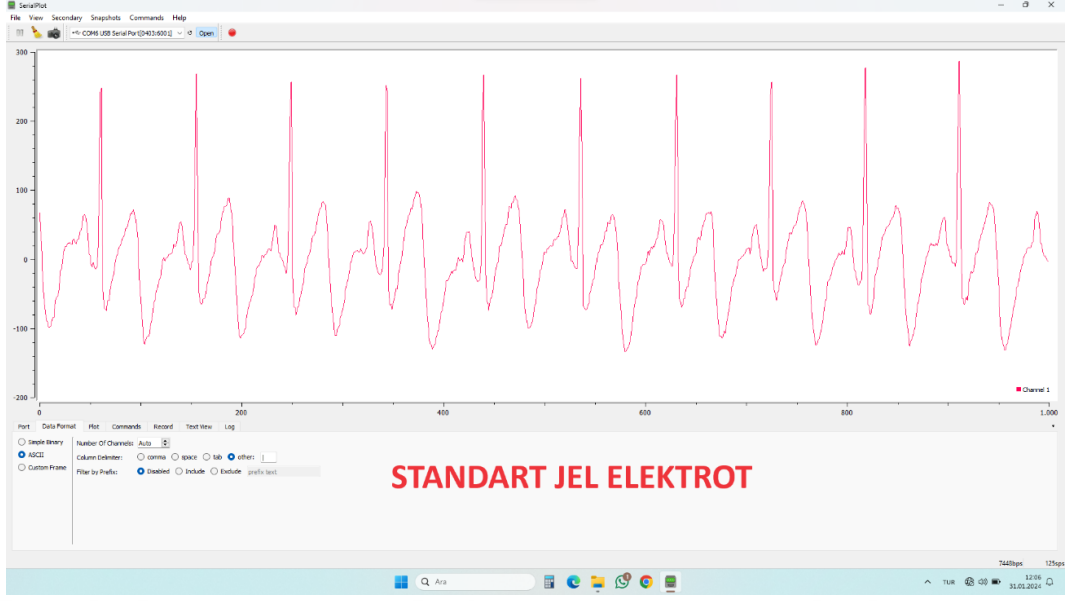
5.2 Grafen Kaplamalı Elektroped Sonuçları

Grafen kaplamalı elektrotlar ile standart jelli Ag/AgCl elektrotlar arasında yapılan kıyaslama sonuçlarına göre, EKG sinyal ölçümlerinde %95 oranında benzerlik tespit edilmiştir. Ancak, bu benzerlik oranının altında kalan %5'lik farkın kaynağı, grafenin mürekkep haline getirilirken kullanılan sodyum sülfat kimyasalının, mürekkep kuruduktan sonra yüzeyde oluşan kısmının yalıtkan özellik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

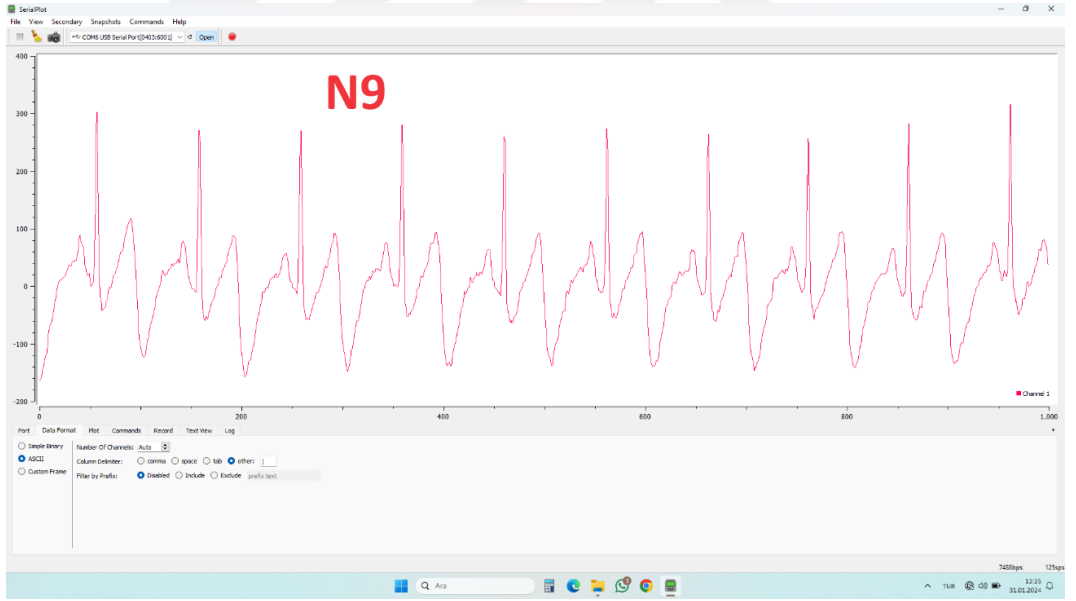
Bu durum, grafen kaplamalı elektrotların performansını olumsuz yönde etkileyebilir ve bu elektrotların daha gelişmiş bir formülasyon veya işleme ihtiyaç duyabileceği anlamına gelir. Bu potansiyel yalıtkan etkisi, elektrot yüzeyindeki homojen iletkenlik eksikliği nedeniyle sinyal ölçümlerinde küçük sapmalara yol açabilir. Bu nedenle, grafen kaplamalı elektrotların üretim sürecinde kullanılan kimyasal bileşenlerin ve işlemlerin optimize edilmesi, yüzeydeki yalıtkan özellikleri minimize etmek için önemli olabilir.

Geliştirilmiş bir formülasyon veya işlemin kullanılması, grafen kaplamalı elektrotların genel performansını artırabilir ve standart jelli Ag/AgCl elektrotlarla daha yüksek benzerlik oranları elde edilebilir. Bu, elektrokardiyografi (EKG) gibi tıbbi uygulamalarda daha güvenilir ve doğru sonuçlar elde etmek için önemli bir adım olabilir. Ancak, bu iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi için daha fazla laboratuvar testi ve validasyon çalışmaları yapılması gereklidir.

Sonuç olarak yapılan deneylerde, grafen mürekkep kaplamalı elektropedlerle elde edilen EKG verileri Şekil 4.4'ten 13'e kadar görsel olarak sunulmuştur. Bu verilerden, kullanılan kumaşın iletkenlik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, Şekil 5.1'de standart jelli elektrotlarla elde edilen EKG verisi ile tüm numunelerin EKG verileri kıyaslandığında, en yakın sonucun Şekil 5.2'de EKG verisi gösterilen, 9 numaralı numune olan Selüloz sentetik kumaşın daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.1 Standart Elektrot EKG Verisi



Şekil 5.2 Standart Elektrota En Yakın Grafen Elektrot EKG Verisi

BÖLÜM 6

SONRAKİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu araştırmada, biyolojik sinyallerin analizi sırasında elde edilen P, Q, R, S, T noktalarının sorunsuz bir şekilde oluştuğu gözlemlenmiştir. Ancak, kullanılan cihazda bulunan AD8232 biyomedikal sensörü ile elde edilen sinyallerin, bir hekim tarafından yorumlanacak kalitede olmadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, cihazın güncellenmesi veya iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Önerilen çözüm olarak, vücuttan alınan zayıf EKG sinyallerini güçlendirmek amacıyla özel bir Op Amp devresi tasarlanabilir ve bu devre, daha kesin ve kararlı biyolojik veriler elde etmek için kullanılabilir. Özgün bir Op Amp devresi, sinyal güçlendirme konusunda daha yüksek kontrol ve özelleştirme sağlayarak mevcut EKG cihazının performansını artırabilir. Bu sayede, biyolojik sinyallerin daha detaylı bir şekilde analizi mümkün olabilir ve cihazın tıbbi teşhislerde daha etkili bir araç haline gelmesine katkıda bulunabilir. Ancak, bu önerilen çözümün pratikte nasıl performans göstereceği ve kullanımının yaygınlaştırılması için daha fazla test ve değerlendirme çalışmaları yapılması gereklidir.

Grafen kaplamalı elektrotlarda kullanılan mürekkep, birçok uygulamada temel bir bileşen olarak karşımıza çıkar. Bu mürekkep, elektrot yüzeyine uygulandıktan sonra kurur ve bu kuruma sürecinde sertleşir. Ancak bu sertleşme, kullanıcı konforunu olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, elektrot kuruduktan sonraki aşamada, elde edilen sertliği azaltmak ve genel konforu artırmak amacıyla mürekkep karışımının daha esnek hale getirilmesi gerekmektedir. Bu esneklik artışını sağlamak için mürekkep karışımı daha fazla silikonize maddeler içerecek şekilde modifiye edilmelidir. Bu sayede, grafen kaplamalı elektrotların kullanımını sırasında daha iyi bir konfor ve etkili performans elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- AKSU, U. (2014). *Geniş Qrs Taşikardi'li Hastalarda A-V Disosiasyon Saptamada Standart Ekg İle Lewis Ekg Nin Karşılaştırılması*. <http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/54305.pdf> adresinden alındı
- Al-Imari. (2003). *Telemetry based system for measurement and monitoring of biomedical signals*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1213061> adresinden alındı
- BAŞAL, H. (2010). *Usb Arayüzlü Bir Ekg Tasarım Ve Uygulaması*. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/363143/yokAcikBilim_373937.pdf?sequence=-1&isAllowed=y adresinden alındı
- Başçıfcı, N. (2011). *Zigbee tabanlı mobil sağlık izleme sistem tasarımı ve uygulaması*. <http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/53> adresinden alındı
- CAN, S. (2010). *EKG işaretinin cep telefonu ile iletilmesi*. <https://dSPACE.gazi.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12602/145833/?sequence=1&isAllowed=y> adresinden alındı
- Carvalho, H. (2014). *Health monitoring using textile sensors and electrodes: An overview and integration of technologies*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6860033> adresinden alındı
- Cho, G. (2011). *Performance Evaluation of Textile-Based Electrodes and Motion Sensors for Smart Clothing*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6015519> adresinden alındı
- Guatapi, A. V. (2018). *Development of a low cost mobile system for monitoring cardiac activity based on noncontact electrodes*. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2018.8580304> adresinden alındı
- J. Welch, F. G. (2005). *A Wireless ECG Smart Sensor for Broad Application in Life Threatening Event Detection*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1403967> adresinden alındı

- Jacqui Crawford, L. D. (2012). *Practical Aspects of ECG Recording*. https://books.google.com.tr/books/about/Practical_Aspects_of_ECG_Recording.html?id=Qwib65inYNEC&redir_esc=y adresinden alındı
- Lambourn J. (2003). *Portable ECG Logger*. Queensland University adresinden alındı
- M. G. Srinivasa, P. S. (2017). *Dry electrodes for bio-potential measurement in wearable systems*. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256600> adresinden alındı
- M., C. (2011). *Labview Tabanlı, Bilgisayar Destekli Gerçek Zamanlı EKG Cihazının Tasarımı*. https://ab.org.tr/ab11/kitap/canal_ozkaraca_AB11.pdf adresinden alındı
- Marr D. (2001). *ECG Application Featuring Data Transmission by Bluetooth*. Queensland University adresinden alındı
- Masahiro Inoue, Y. A. (2017). *Design of printed E-textile probes to suppress electrocardiography noise*. <https://doi.org/10.23919/ICEP.2017.7939421> adresinden alındı
- Maxime Ringwald, A. C. (2020). *Smart watch recording of ventricular tachycardia: Case study*. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.10.040> adresinden alındı
- Melnyk M.D., S. J. (2004). *A Wireless Electrocardiogram System*. Cornell University adresinden alındı
- Michael A Mestrovic, R. J. (2007). *Preliminary study of dry knitted fabric electrodes for physiological monitoring*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4496911> adresinden alındı
- Michal Hanic, L. S. (2014). *BIO-monitoring system with conductive textile electrodes integrated into t-shirt*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6828472> adresinden alındı
- Mingyi Chen, I. D. (2018). *A 400GΩ Input-Impedance, 220MVpp Linear-Input-Range, 2.8Vpp CM-Interference-Tolerant Active Electrode for Non-Contact Capacitively Coupled ECG Acquisition*. <https://doi.org/10.1109/VLSIC.2018.8502270> adresinden alındı
- Muhammet Uzun, E. S. (2015). *The use of conductive wires for smart and protective textiles*. <https://doi.org/10.1109/EHB.2015.7391494> adresinden alındı
- Myers, A. C. (2014). *Wearable silver nanowire dry electrodes for electrophysiological sensing*. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/ra/c4ra15101a> adresinden alındı

- Nada Golmie, D. C. (2005). *Performance analysis of low rate wireless technologies for medical applications*. <https://dblp.org/rec/journals/comcom/GolmieCR05> adresinden alındı
- Nemati, E. (2012). *A wireless wearable ECG sensor for long-term applications*. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2012.6122530> adresinden alındı
- Nicolas Chevrollier, N. T. (2005). *On the Use of Wireless Network Technologies in Healthcare Environments*. <https://www.nist.gov/publications/use-wireless-network-technologies-healthcare-environments> adresinden alındı
- Onder Yakut, S. S. (2014). *Measuring ECG Signal Using e-Health Sensor*. <https://avesis.kocaeli.edu.tr/publication/showdocument/122afc54-8ae4-439e-8001-ce890507175b> adresinden alındı
- Partha Sarati Das, J.-Y. P. (2017). *A flexible touch sensor based on conductive elastomer for biopotential monitoring applications*. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2016.11.008> adresinden alındı
- R. Ambrosio, C. G. (2014). *Electrical characterization of textile electrodes for an ECG acquisition system*. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2014.6978306> adresinden alındı
- R. Fensli, E. G. (2005). *A wearable ECG-recording system for continuous arrhythmia monitoring in a wireless tele-home-care situation*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1467724> adresinden alındı
- Raskovic, D. (2004). *Medical Monitoring Applications for Wearable Computing*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8129956> adresinden alındı
- Searle, A. (2000). *A direct comparison of wet, dry and insulating bioelectric recording electrodes*. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/21/2/307> adresinden alındı
- Silvester Fuhrhop, S. L. (2009). *A textile integrated long-term ECG monitor with capacitively coupled electrodes*. <https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2009.5372095> adresinden alındı
- Sim, M. L. (2006). *Wireless technologies for telemedicine*. <https://dl.acm.org/doi/10.1007/s10550-006-0050-9> adresinden alındı
- Sumit Majumder, L. C.-H. (2018). *Noncontact Wearable Wireless ECG Systems for Long-Term Monitoring*. <https://doi.org/10.1109/RBME.2018.2840336> adresinden alındı
- T. Martin, E. J. (2000). *Issues in wearable computing for medical monitoring applications: a case study of a wearable ECG monitoring device*.

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/888463/authors#authors> adresinden alındı
- T. Pereira, H. C. (2013). *Wearable biopotential measurement using the TI ADS1198 analog front-end and textile electrodes.* <https://doi.org/10.1109/MeMeA.2013.6549761> adresinden alındı
- T. Takeshita, M. Y. (2018). *Development of multi-lead ECG measurement wear using electrostatic flocking technology.* <https://doi.org/10.23919/ICEP.2018.8374690> adresinden alındı
- Taina Pola, J. V. (2007). *Textile Electrodes in ECG Measurement.* <https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2007.4496917> adresinden alındı
- Taji, B. (2014). *Impact of Skin–Electrode Interface on Electrocardiogram Measurements Using Conductive Textile Electrodes.* <https://ieeexplore.ieee.org/document/6670113> adresinden alındı
- Thaddeus R F Fulford-Jones 1, G.-Y. W. (2004). “ *A Portable , Low-Power, Wireless Two-Lead EKG System.* <https://doi.org/10.1109/iembs.2004.1403627> adresinden alındı
- Thanit Apiwattanadej, L. Z. (2018). *Electrospun polyurethane microfiber membrane on conductive textile for water-supported textile electrode in continuous ECG monitoring application.* <https://doi.org/10.1109/DTIP.2018.8394190> adresinden alındı
- Tong In Oh, S. Y. (2013). *Nanofiber Web Textile Dry Electrodes for Long-Term Biopotential Recording.* <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2012.2201154> adresinden alındı
- Tuncay Bayrak, S. B. (2009). *Ameliyat Sonrası Hasta Üzerinden Alınan Biyoelektrik Sinyallerin Radyo Frekans (RF) Haberleşme Sistemi ile Taşınması için Sistem Tasarımı.* https://www.emo.org.tr/ekler/7dd20524d434fc4_ek.pdf adresinden alındı
- Türker, G. F. (2010). *Kalp atışının sezilmesi ve alınan sinyalin kablosuz algılayıcı ağlar ile iletimi.* <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/423526> adresinden alındı
- U., F. (2006). *Wireless Transmission of EKG Signal.* <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s10916-005-7980-5> adresinden alındı

- Veysel ASLANTAŞ, R. K. (2006). *Cep Bilgisayarı (PDA) Tabanlı Taşınabilir Kablosuz Elektrokardiyogram İzleme ve Alarm Sistemi* .
https://www.emo.org.tr/ekler/12a6a7477077af6_ek.pdf adresinden alındı
- Vincenzo Randazzo, E. P. (2018). *VITAL-ECG: A portable wearable hospital*.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8336776> adresinden alındı
- Yılmaz E. (1999). *Uzayda Olsanızda Sağlığınız Denetim Altında*.
<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=pgSgWG3K7G9QJ2ZmeMwJjDQP?dergiKodu=4&cilt=32&sayi=376&sayfa=44&yaziid=11356> adresinden alındı
- Yong Gyu Lim, K. K. (2007). *ECG Recording on a Bed During Sleep Without Direct Skin-Contact*. <https://doi.org/10.1109/TBME.2006.889194> adresinden alındı
- Yusuf A. Bhagat, P. V. (2018). *Like Kleenex for Wearables: A soft, strong and disposable ECG monitoring system*.
<https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2018.8584778> adresinden alındı
- Zeineb Bouzid MS, S. S.-Z. (2022). *Remote and wearable ECG devices with diagnostic abilities in adults: A state-of-the-science scoping review*.
<https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2022.02.030> adresinden alındı
- Zhang, F. (2009). *QRS Detection Based on Multiscale Mathematical Morphology for Wearable ECG Devices in Body Area Networks*.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/5075532?arnumber=5075532> adresinden alındı

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ertuğrul MERMİ

Eğitim Bilgileri:

Derece	Bölüm	Üniversite	Yıl
Lisans	Makine Mühendisliği	Cumhuriyet Üniversitesi	2013 - 2018
Yüksek Lisans	Ürün Geliştirme ve Tasarım Mühendisliği	Gaziantep Üniversitesi	2022 – Devam Ediyor