

Giyilebilir Teknolojiler Kullanan Bir Akıllı Triyaj Sistemi Tasarımı

Design of an Intelligent Triage System Using Wearable Technologies

Nursun ÜSTÜNKARLI

İlk ve Acil Yardım Programı
İzmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, TÜRKİYE
nursun.ustunkarli@ieu.edu.tr

Aydın AKAN

Elektrik-Elektronik Müh. Böl.
İzmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, TÜRKİYE
akan.aydin@ieu.edu.tr

Furkan COZAR , Cansu COZAR

İYTE Kuluçka Merkezi A8
Healthy Race Yazılım Sanayi ve Ticaret A.Ş.
İzmir, TÜRKİYE
kadirfurkancozar@hrdevices.com

Özetçe —Afet, kaza gibi acil müdahale gerektiren durumlarda, mevcut triyaj süreçlerinin büyük ölçüde manuel ve personel deneyimine dayalı olması, bu nedenle yoğun olaylarda zaman kaybı ve hatalara açık olmasıdır. Sağlık ekibi kısıtlı zamanda birçok yaralının yaşamsal bulgularını ölçüp önceliklendirme yapmak zorundadır ve geleneksel yöntemler (elle nabız kontrolü, solunum sayma, bilinç kontrolü, kağıt triyaj etiketleri vb.) süreklilik arz etmeyen, anlık ve statik değerlendirmelerdir. Bu durum özellikle kitlesel kazalarda hastaların durumundaki kötüleşmelerin gözden kaçmasına yol açabilmektedir. Bu çalışmanın amacı insan hatalarını en aza indirgeyen basit akıllı giyilebilir bir triyaj sistemi geliştirmektir.

Anahtar Kelimeler—Acil Tıbbi Müdahale; Giyilebilir Sağlık Cihazı; Triyaj Otomasyonu; EKG Sensörü; Hayati Belirti İzleme.

Abstract—In situations requiring emergency response, such as disasters and accidents, current triage processes are largely manual and rely on staff experience, making them prone to time loss and errors during high-volume events. Healthcare teams must measure and prioritize the vital signs of many injured individuals in a limited timeframe, and traditional methods (manual pulse checks, respiratory counts, consciousness checks, paper triage tags, etc.) are inconsistent, instantaneous, and static assessments. This can lead to overlooked deterioration in patient conditions, particularly in mass casualties. The aim of this study is to develop a simple smart wearable triage system that minimizes human errors.

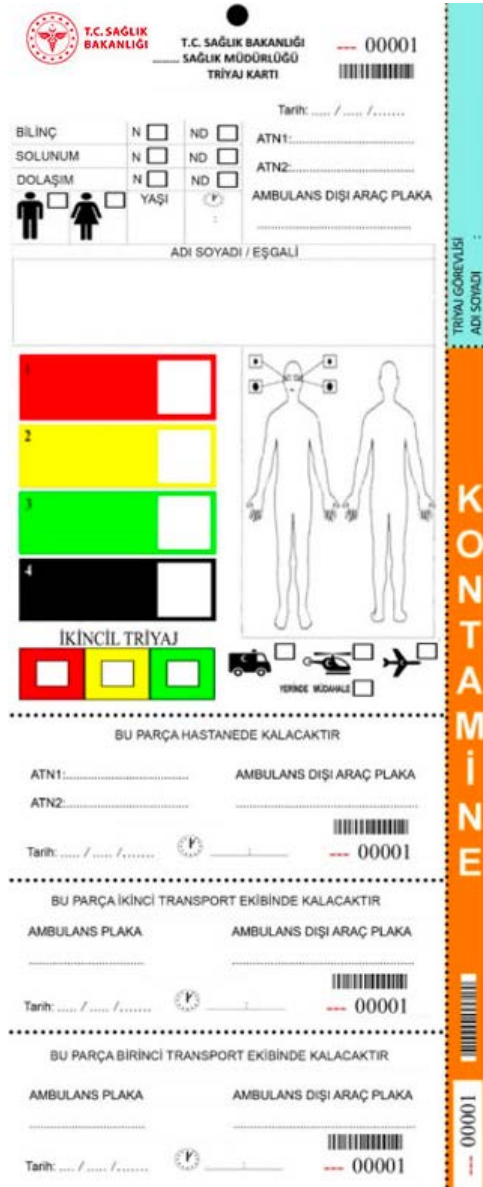
Keywords—Emergency Medical Response; Wearable Health Device; Triage Automation; ECG Sensor; Vital Signs Monitoring.

I. GİRİŞ

Acil sağlık hizmeti gereksiniminin hızlı, etkin ve verimli karşılanabilmesi için sağlık ekibi üyelerinin tamamının (Dr, Hemşire ,ATT, Paramedik) triyaj yapabilme yeteneğini kazanmış olmaları beklenir. Çünkü bir acil durum nedeniyle hastaya gerekli tıbbi bakımı gerçekleştirmenin önkoşulu; olay yeri yönetimi ile olay yeri güvenliğinin sağlanması ve çok sayıda hasta varsa triyaj işlemlerinin yapılmış olmasıdır. Özellikle afetlerde, olağandışı durumlarda (ODD) yapılacak triyaj, eldeki kıt

kaynak ile çok sayıda hayat kurtarabilmek için "mevcut eldeki kaynak durumu ile yaşama şansı daha yüksek olan yaralılara müdahale dengesinin" kurulması gerekir [1]. Triyaj kararları genel olarak yaralının sağlık durumuna ve kaynakların ulaşılabilirliğine göre karar verilmektedir [2], [3]. Dünyada ve ülkemizde triyaj işlemi olay yerine ilk gelen ambulans ekibi tarafından yapılmaktadır. Çok çeşitli triyaj yöntemleri olmakla beraber (SALT, CRAMS, SAVE vb.) özellikle kitlesel olaylarda mevcut kaynakların en yararlı kullanımı söz konusu olduğundan yapılacak sınıflandırma için kullanılan triyaj yöntemi yetişkinlerde START yöntemidir. 1983 yılında California Newport Beach itfaiyesi tarafından geliştirilen START (Simple Triage and Rapid Treatment) üç temel kriterin; solunum, dolaşım, bilinç değerlendirilmesinden oluşur. Solunum veya dolaşım kriterlerine bakarken herhangi birinde renk koduna ulaşıldıysa sonraki kriter(bilinç) değerlendirilmez, kod verilir ve sonraki yaralıya geçilir. Triyaj personeli kendisine en yakın yaralıdan başlar ve tüm yaralılar değerlendirilinceye kadar devam eder. START uygulamasında her hasta için ortalama 30 saniye ayrılması üzerine kurgulanır [4]. Triyaj uygulamalarında yaralılar 4 farklı renk kategorisine göre belirlenir ve transportu önem kazanır. Bu belirlemenin hastanın solunum sayısı ve nabız sayısı verileri kullanılarak yapılması önemlidir. Bu anlamda olay yerine ilk varan ekipte bulunan sağlık profesyonelinin kendi duyularını kullanarak hastanın solunum, nabız sayılarını sayarak karar vermesi gerekir. Afet durumlarında genellikle açık hava ortamlarında(gürültü, kaos, karanlık vb.) nedeniyle yanlış kararlar verilebilmektedir. Ayrıca, ilk triyaj sonrası hasta durumundaki değişiklikler için tekrar kontrol gerekmektedir. Bir başka sorun ise, açık hava koşulları nedeniyle seçilen triyaj kartlarının hasta üzerinde seçilmesi veya hava koşulları nedeniyle de hasta üzerinde sabit durmaması, ıslanması gibi handikapları doğurabilmektedir. Sağlık Bakanlığı tarafından kullanılan triyaj kartı ön yüzü örnek olarak Şekil 1'de görülmektedir.

Hem insan hem de hava koşulları kaynaklı zaman kaybını engellemek amacıyla acil olay yerlerinde yaralıların yaşamsal verilerini hızla ölçerek otomatik triyaj kararı verebilen bir giyilebilir cihaz sistemi geliştirme planlanmıştır. Bu sistem, trafik kazası, deprem gibi felaket senaryolarında ambulans



Şekil 1, Türkiye Sağlık Bakanlığı T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Müdürlüğü Triyaj Kartı'nın ön yüzünü göstermektedir. Kartın baş kısmında 'T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI' ve 'SAĞLIK MÜDÜRLÜĞÜ TRIYAJ KARTI' yazmaktadır. Kartın ortasında, hastanın bilinci, solunumu, dolaşımı ve yaşı gibi temel vital bulguların kaydedildiği alanlar bulunmaktadır. Ayrıca, hastanın adı, soyadı ve işgali de girilebilir. Kartın alt kısmında, hastanın ambulans dışı araç plakası ve ambulans plakası kaydedilmektedir. Kartın sağ tarafında, hastanın ambulans dışı araç plakası ve ambulans plakası kaydedilmektedir. Kartın alt kısmında, hastanın ambulans dışı araç plakası ve ambulans plakası kaydedilmektedir. Kartın alt kısmında, hastanın ambulans dışı araç plakası ve ambulans plakası kaydedilmektedir.

Şekil 1: Halen Kullanılan Triyaj Kartı Ön Yüzü

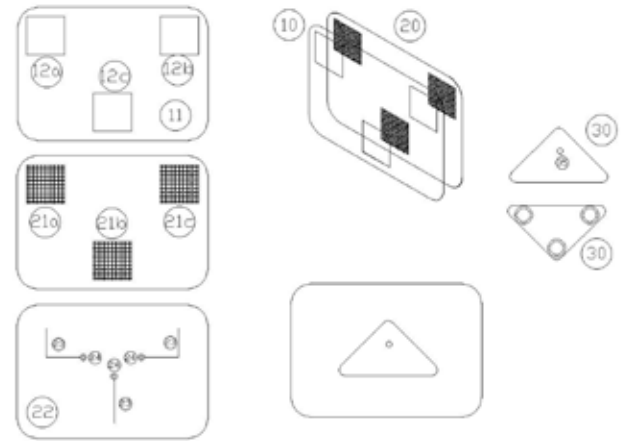
ekiplerinin her bir hasta için ayrı ayrı hayati bulgu ölçümü yapma yükünü azaltacak, kesintisiz ve gerçek zamanlı bir izleme sağlayarak hastaların durum değişikliklerini anında saptayacaktır. Proje kapsamında geliştirilecek yeniden kullanılabilir bandaj ve elektronik izleme modülü, hastanın EKG (elektrokardiyografi), nabız, solunum sayısı, cilt sıcaklığı ve kalp ritim değişkenliği (HRV) gibi hayati parametrelerini sürekli olarak ölçerek değerlendirecektir. Ölçülen veriler, cihaz içindeki gömülü yazılım tarafından anlık olarak analiz edilerek ilgili triyaj kodu (kırmızı, sarı, yeşil) otomatik şekilde belirlenecek ve cihazın üzerindeki LED panelde görsel olarak gösterilecektir. Böylece sağlık profesyonelleri, hangi hastaya öncelikli olarak müdahale edilmesi gerektiğini cihazın doğrudan bildirdiği triyaj renk kodundan hızla anlayabilecektir. Sistem aynı zamanda Sağlık Bakanlığı'nın istemesi durumunda elde edilen verileri merkezi bir sunucuya veya hastane bilgi sistemine kablosuz olarak iletebilecek altyapıya sahip olacaktır. Bu sayede, olay yerindeki ilk müdahale kalitesini ve hızını

artırmak, hayati tehlikesi olan vakaların hızlı tespit edilmesini sağlamak ve genel olarak afet/acil durum süreçlerinde daha fazla hayat kurtarılmasına katkıda bulunmak hedeflenmektedir.

II. ÖNERİLEN SİSTEM TASARIMI

A. Elektronik Donanım ve Sensör Tasarımı

Geliştirilen sistem, olay yeri gibi zorlu çevresel koşullarda kullanılmak üzere optimize edilmiş, taşınabilir ve enerji verimli bir elektronik izleme cihazı ile bu cihaza entegre çalışan bir giyilebilir bandajdan oluşmaktadır. Tasarlanan sistemin blok diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Sistemde kullanılan bandaj iki katmandan oluşmaktadır: birinci katman; ön yüzünde hastanın cildine yapışan tek kullanımlık malzeme (10), arka yüzünde tıbbi sınıf film tabanlı yapışkan malzeme (11) ve insan vücuduna teması için kesilmiş elektrod boyutunda deliklerden oluşur (12a, 12b, 12c), ikinci katman (20); yeniden kullanılabilir, yıkanabilir ve iletken ipliklerle örülmüş tekstil elektrotları içeren, elastik bir kumaştan üretilmiştir (21a, 21b, 21c).



Şekil 2: Tasarlanan Cihaz Blok Diyagramı

Cihazda kullanılan tekstil elektrotların arka yüzü (22), insan vücudundaki elektrofizyolojik sinyalleri (örneğin EKG, solunum sinyalleri) algılamak üzere tasarlanmıştır [5], [6]. Bu çalışmada, tamamen tekstil tabanlı, yıkanabilir ve yeniden kullanılabilir elektrotlar kullanılmıştır. Bu elektrotlar, hastanın cildine konforlu şekilde uyum sağlayacak şekilde tasarlanmış ve sinyal kalitesini artırmak için Şekil 3'de görüldüğü gibi optimize edilmiştir (Şekil 2: 23, 24).

Elektrotlardan alınan sinyaller, düşük seviyede ve yüksek empedanslıdır. Bu nedenle öncelikle analog filtreleme ve amplifikasyon işlemlerine tabi tutulur. Sistem tasarımında, biyosinyal ölçüm entegresi kullanılmıştır. Bu entegre sayesinde EKG ve BioZ (biyolojik empedans) verileri doğrudan dijitalleştirilerek mikrodenetleyiciye (MCU) iletilir [7]. Sinyal işleme sürecinde kullanılan filtreler aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır:

- 0.5 Hz yüksek geçiren filtre: Hareket kaynaklı DC sapmaların engellenmesi.



Şekil 3: Geliştirilen cihaz ve tekstil elektrotlu bandaj görseli.

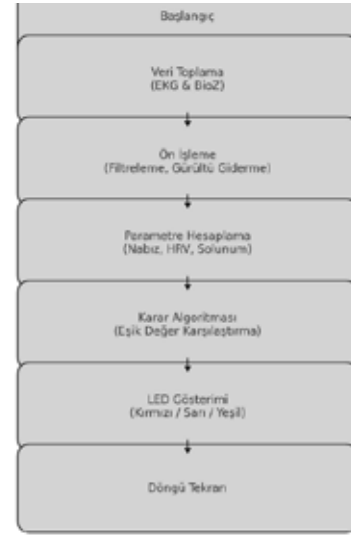
- 40 Hz alçak geçiren filtre: Elektrotlar üzerindeki kas gürültüsünün (EMG) bastırılması.
- 0.1–0.5 Hz arası bant geçiren filtre: Solunum sinyallerinin ayrıştırılması.

Solunum sayısı, BioZ sinyalindeki empedans değişimine bağlı olarak elde edilmektedir. Elektrotlar üzerinden geçen düşük genlikli bir akım, vücut içi direnç değişimlerini algılamaya olanak sağlar [8]. Bu verilerden solunumun frekansı ve dalga formu çıkarılır. Tüm sistem düşük güç tüketimli olup batarya ile 24 saatten uzun çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır [9]. Cihazın modüler yapısı sayesinde farklı hasta boyutlarına uyarlabilir form faktörü mevcuttur.

B. Yazılım Tasarımı

Sistem içerisindeki gömülü yazılım, cihazda yer alan mikrodeneleyici üzerinde çalışmakta olup, biyosinyallerin gerçek zamanlı olarak toplanması, ön işlenmesi, analizi ve sınıflandırılmasından sorumludur. Tasarım, yüksek güvenilirlik, düşük güç tüketimi ve gerçek zamanlı işlem kabiliyeti dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Yazılım mimarisi temel olarak üç katmanda organize edilmiştir; (i) veri toplama, (ii) sinyal işleme ve (iii) karar destek. Cihazın yazılım akış diagramı Şekil 4'de verilmiştir [10].

- 1) **Veri Toplama Katmanı:** Cihaza entegre edilmiş biyosinyal ölçüm entegresi üzerinden EKG ve BioZ verileri sürekli olarak okunmakta ve mikrodeneleyiciye aktarılmaktadır. ADC örnekleme frekansı uygulama senaryosuna bağlı olarak 128–250 Hz aralığında konfigüre edilebilmektedir. Ham veriler, 256 örnek kapasiteli dairesel tampon (circular buffer) yapısında geçici olarak saklanmaktadır. Bu yaklaşım, veri kaybını önlerken eşzamanlı olarak diğer yazılım görevlerinin çalışmasına olanak tanımaktadır.
- 2) **Sinyal İşleme Katmanı:** Toplanan veriler, gürültü ve artefaktların giderilmesi amacıyla dijital filtreleme



Şekil 4: Geliştirilen cihazın yazılım akış diyagramı.

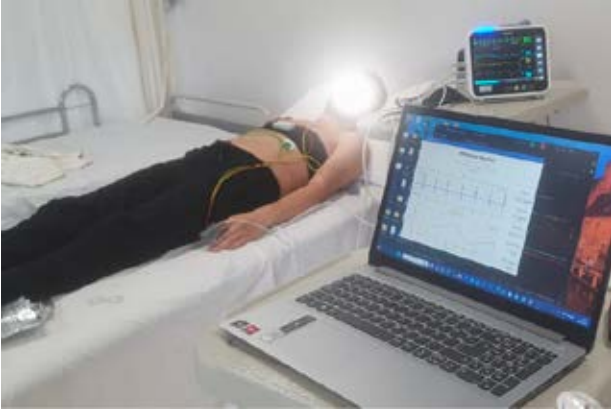
işlemine tabi tutulur. EKG sinyali için 0.5–40 Hz bant geçiren ikinci dereceden Butterworth filtresi uygulanmakta, ardından R-dalgaları optimize edilmiş Pan–Tompkins algoritması ile tespit edilmektedir. R–R aralıklarından anlık kalp hızı, ortalama kalp hızı ve HRV (Heart Rate Variability) parametreleri (RMSSD, SDNN) hesaplanmaktadır. BioZ sinyali ise düşük frekanslı solunum bileşenini ortaya çıkarmak amacıyla alçak geçiren filtre ile işlenir ve tepe/çukur noktalarının zaman farklarına dayalı olarak solunum sayısı belirlenir.

- 3) **Karar Destek Katmanı:** Hesaplanan fizyolojik parametreler, önceden tanımlanmış eşik değerler ile karşılaştırılır. Bu eşiklere göre triyaj renk kodu atanır:
 - **Kırmızı (acil müdahale):** RR > 30/dk veya < 8/dk, nabız > 130 bpm veya bilinç yokluğu.
 - **Sarı (gözlem gerekli):** Orta seviye sapmalar, stabil ancak dikkat gerektiren vaka.
 - **Yeşil (hafif yaralı):** Normal aralıklarda yaşamal bulgular.

Belirlenen renk kodu, cihazın ön yüzünde bulunan yüksek parlaklık LED göstergesi ile kullanıcıya görsel olarak iletilmektedir. Sistem (Şekil 2: 30) tamamen bağımsız olarak çalışmakta olup, herhangi bir veri iletimi, harici depolama veya kablolu iletişim özelliği bulunmamaktadır. Bu sayede düşük güç tüketimi korunmakta ve sahada kesintisiz çalışabilme süresi uzatılmaktadır.

III. DENEYSEL SONUÇLAR

Geliştirilen giyilebilir triyaj sisteminin performansını değerlendirmek amacıyla, tasarlanan sistem üzerinde toplam 6 sağlıklı denek ile pilot çalışmalar yapılmıştır. Önerilen sistem ile elde edilen verilerde hasta başı monitör ile uyumlu sonuçlar gözlenmiştir. Örnek bir kayıt süreci görseli Şekil 5'de görülmektedir. Denekler yaş ortalaması düşük (20 yaş altı) ve kronik rahatsızlığı (kalp, akciğer v.b.) olmayan bireylerden seçilmiştir. Daha sonraki bir çalışmada yaş alt sınırı 50 olarak



Şekil 5: Yapılan çalışmaların örnek görseli.

saptanarak ve en az 1 kronik rahatsızlığı olan deneklerle geliştirilen cihazın test edilmesi planlanmıştır. Deneklerin her birinden eş zamanlı olarak EKG, solunum grafiği ve nabız verileri toplanmıştır. Solunum sinyali, tekstil elektrotlar aracılığıyla elde edilen BioZ (biyolojik empedans) sinyalinin analizi ile çıkarılmıştır. Bu sayede, geleneksel kablolu ve yapışkan elektrotlara kıyasla kullanım kolaylığı ve uzun süreli izleme imkanı sağlanmıştır.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Elde edilen veriler, standart medikal cihazlarla alınan referans değerlerle karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, tekstil elektrotların hem EKG hem de solunum ve nabız ölçümlerinde yüksek doğruluk ve güvenilirlik sunduğunu göstermiştir. Ayrıca, ölçümlerde gözlenen sinyal gürültüsü minimum düzeyde tutulmuş, cihazın saha koşullarında da kararlı olarak çalışabileceği doğrulanmıştır (Şekil 5).

Bu deneysel çalışmalar, geliştirdiğimiz giyilebilir triyaj sisteminin pratikte kullanılabilirliğini ortaya koymakta ve acil durumlarda hızlı, güvenilir ve kesintisiz hayati bulgu izleme sağlayabileceğini desteklemektedir. Sonuç olarak; bu çalışmada geliştirilen akıllı triyaj bantları, 112 Ambulanslarında halen kullanılmakta olan triyaj kartlarının ortaya çıkardığı sorunları yok edecektir. Personelin dikkatini çekecek renk kodlarını, bant üzerindeki led ışıkla sağlayacak; kazazedinin durumunda olan anlık değişiklikleri ledlerdeki renk değişimi olarak yansıtacaktır. Ayrıca toplanan yaşamsal verileri, Wi-Fi kablolu iletişim teknolojisi ile afet koordinasyon merkezine ve hastanelere gönderebilecektir. Ülkemizde ve dünyada kullanıma sunulması, daha fazla hastanın hayatta kalmasını kolaylaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Ekşi, A., "Hastane Öncesi Acil Sağlık Hizmetleri," *Trijaj*, ss.203, Ekm. 2021.ISBN:978-625-7849-43-2.
- [2] Lanoix R, Wiener DE, Zayas VD. "Concepts in disaster triage in the wake of the world trade center terrorist attack," *Advanced Emergency Nursing Journal*, 2002; 24 (2): 60-71
- [3] Rådestad M, Lennquist MK, Rüter A, Castrén M, Svensson L, Gryth D, Fossum B., "Attitudes towards and experience of the use of triage tags in major incidents: a mixed method study," *Prehospital And Disaster Medicine*, 2016; 31(4): 1-10.
- [4] QAEMS Department Mass Casualty, START Triage and the SMART Tag System, 2013.

- [5] L. Corchia et al., "Dry Textile Electrodes for Wearable Bio-Impedance Analyzers," **IEEE Sensors Journal**, Feb. 2020.
- [6] M.J. Sánchez et al., "Design of Wearable Textile Electrodes for the Monitorization of Patients with Heart Failure," **Sensors**, vol. 24, no. 11, 2024.
- [7] Research on wearable-patch-based impedance pneumography for respiration measurement, **ResearchGate**, 2021.
- [8] Pantelopoulou, A., Bourbakis, N.G., "A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 40, no. 1, 2010.
- [9] Poh, M.Z., Swenson, N.C., Picard, R.W., "A Wearable Sensor for Unobtrusive, Long-Term Assessment of Electrodermal Activity," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2010.
- [10] Gjoreski, M., et al., "Monitoring Stress with a Wrist Device Using Context," *Sensors*, 2017.