

Karar Destekli Akıllı İnfüzyon Pompası Tasarımı

Design of a Smart Infusion Pump With Decision Support

Melahat KIZIL ve Nursun ÜSTÜNKARLI
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu
İzmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
{melahat.kizil,nursun.ustunkarli}@ieu.edu.tr

Berkay İlber TUNAKAN ve Aydın AKAN
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
{berkay.tunakan,akan.aydin}@ieu.edu.tr

Özetçe —Acil sağlık hizmetlerinde hızlı ve doğru ilaç uygulaması, hasta yaşamını doğrudan etkileyen kritik bir süreçtir. Bu çalışmada; hastanın tıbbi geçmişi, yaşamsal bulguları ve klinik durumu dikkate alınarak, paramediklerin karar verme süreçlerini destekleyen akıllı bir infüzyon pompası tasarlanmıştır. Tasarım süreci; literatür taramaları, 112 ekipleriyle yapılan görüşmeler, öğrenci staj gözlemleri ve protokol bazlı doz hatalarına dair geri bildirimler temelinde yürütülmüştür. Pompa, QR kod veya entegre sistemlerle hasta bilgilerini tanıyarak algoritma destekli doz önerileri sunmakta; görsel/sesli yönlendirmeler sağlamaktadır. “Hızlı Mod” özelliği ile kardiyak arrest, anafilaksi ve hipoglisemi gibi durumlara yönelik protokoller içermektedir. Sistem, riskli ilaçlara karşı uyarı verip doğru ilaç-doz-hız kombinasyonlarını önermekte; uygulama zamanlarını izleyerek otomatik uyarılar oluşturabilmektedir. Kullanıcı dostu arayüzü ve düşük ışıktaki çalışabilen LCD ekranı ile sahada güvenli kullanım sunar. Cihaz, hasta verilerini kullanarak doğru doz hesaplamalarını desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler—Akıllı infüzyon pompası; acil sağlık hizmetleri; ilaç uygulama; karar destek sistemi; paramedik; hastane öncesi bakım.

Abstract—Rapid and accurate drug administration is a critical process that directly affects patient outcomes in emergency medical services. In this study, a smart infusion pump was designed to support paramedics' decision-making by considering the patient's medical history, vital signs, and clinical condition. The design process was guided by literature reviews, interviews with ambulance teams, student internship feedback, and observations of protocol-based dosing errors. The pump identifies patient data via QR codes or integrated systems and offers algorithm-supported dosage suggestions with visual and audio guidance. The "Quick Mode" includes predefined protocols for common emergencies such as cardiac arrest, anaphylaxis, and hypoglycemia. The system can alert users about high-risk medications, recommend appropriate drug-dose-rate combinations, and issue automatic reminders for administration timing. Its user-friendly interface and LCD screen, operable in low light, ensure safe and effective use in the field. The device aims to support accurate dosage calculations using patient-specific data such as age, weight, height, and medical history.

Keywords—Smart infusion pump; emergency medical services; drug administration; decision support; paramedics; prehospital care.

I. GİRİŞ

Acil sağlık hizmetleri (112), hastane öncesi dönemde hasta ve yaralıları olay yerinde veya ambulansla müdahale eden sağlık sisteminin önemli bir alanıdır. Bu alanda görev yapan paramedikler, çok çeşitli sağlık problemleriyle karşılaşabileceklerinden, her türlü zorluğa karşı hazırlıklı olmalıdırlar. Hastane öncesi ortam, hastane koşullarından belirgin şekilde farklıdır; genellikle hareketli, dar, öngörülemez ve sınırlı bir alan ve ekipmanla hasta ve yaralıları müdahale gerektiren bir yapıya sahiptir.

Paramediklerin yalnızca güçlü bir mesleki eğitim almaları yeterli değildir; aynı zamanda kullandıkları tıbbi cihaz ve ekipmanlara da son derece hâkim olmaları gerekir. Bu ekipmanlar arasında defibrilatörler, vantilatörler, sedyeler, atel sistemleri ve intravenöz sıvı tedavisi uygulamalarında kullanılan infüzyon pompaları v.s yer alır. Günümüzde ambulanslarda kullanılmaya başlanan infüzyon pompaları, hastaya damar yolu açarak sıvı ve ilaç verilmesinde önemli rol oynamaktadır. İlaç uygulamalarında doz hesaplamalarının belirli formlere göre yapılması gerektiğinden, acil durumun stresi altında paramedikler yanlış doz uygulayabilmekte ve bu da hastanın klinik durumunu olumsuz etkileyebilmektedir. Eğer infüzyon pompası kullanılmıyorsa, sıvı uygulaması sırasında damla sayımı ile manuel hesaplamalar yapılmakta; bu durum zaman kaybına neden olmakta ve hata riskini artırmaktadır. Ayrıca kullanılan serum setlerindeki kısaçlar, ufak bir hareketle açıldığında hastaya istenilenden fazla sıvı geçişine neden olabilmekte, bu durum özellikle bebek hastalar için hayati risk oluşturabilmektedir. Bu ortamlarda yapılan ilaç hataları, hastaların sağlığını ciddi biçimde tehdit etmektedir. Nitekim 2023 yılında yayımlanan karma yöntemli bir sistematik derlemede, hastane öncesinde ilaç hatasına yol açan faktörlerin çok katmanlı olduğu ve bu hataların sıklığının önemli düzeyde olduğu raporlanmıştır [1]. İsrail'deki bir üniversite hastanesinin acil servisine sevk edilen yetişkin hastalar üzerinde yapılan retrospektif bir araştırmada verilen ilaç sayısının fazlalığının ve uzun transport sürelerinin daha yüksek oranda ilaç hatalarına olduğu anlaşılmıştır [2].

Tüm bu sorunlar göz önünde bulundurulduğunda, hastane öncesi acil sağlık hizmetlerinde kullanılmak üzere; kompakt, yerçekimine ihtiyaç duymadan sıvı akışını sağlayabilen, gerektiğinde hastanın üzerine veya koluna monte edilebilen,

ilaç dozlarını otomatik olarak hesaplayabilen, sağlam yapılı, şiddetli sıcaklık değişimlerine uyumlu, hareket ve elektriksel parazitlere dayanıklı, taşınabilir infüzyon pompası tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. İdeal olarak bu cihazlar, en az 24 saat kesintisiz çalışabilecek kapasitede, şarj edilebilir ve uzun ömürlü pillerle donatılmalıdır.

2013-2015 yılları arasında Almanya, Bad Belzig acil tıp hizmet merkezinin hastane öncesi acil servis doktorları tarafından tedavi edilen 708 hastayı retrospektif olarak değerlendirilmiş ve özellikle yaşlı hastalar ilaç hataları açısından yüksek riskli olarak tanımlanmıştır [3]. Aynı şekilde pediatrik olgularda durum daha da endişe vericidir. Paramedikler hasta ağırlıklarıyla karşılaştırıldığında sıklıkla uygun doz aralığının dışında uygulama gerçekleştirdikleri anlaşılmıştır [4].

Hastane ortamında yaygın olarak kullanılan akıllı infüzyon pompaları programlanabilir doz sınırları, ve alarm sistemleri sayesinde hataları azaltma potansiyeline sahiptir. Ancak mevcut pompaların çoğu, ambulans veya olay yeri gibi dinamik koşullara uyum sağlayacak biçimde tasarlanmamıştır. Karmaşık menüler, küçük ekranlar ve uzun kurulum adımları, yüksek tempolu acil senaryolarda cihazların kullanımını kısıtlamaktadır. Bununla birlikte, literatürde ambulanslarda kullanılan infüzyon pompalarının hasta güvenliğini artırma ve sağlık personelinin iş yükünü azaltma potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır [5]. (Bu bağlamda, hastanın tıbbi geçmişini (alerjiler, kronik hastalıklar, daha önceki ilaç intoleransları vb.) işleyerek karar veren ve paramedikleri, protokollere dayalı olarak yönlendiren akıllı ve taşınabilir bir infüzyon sistemi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Infüzyon pompaları genellikle büyük hacimli olup, yerçekimine ve herhangi bir elektrik veya pil desteğine ihtiyaç duymadan çalışmazlar (Şekil 1). Bu nedenle bu çalışmada, halihazırda kullanılan infüzyon pompalarının hantal olması, çok yer kaplaması ve taşıma sırasında ortaya çıkan zorlukları gidermek amacıyla daha pratik, yer ve zamandan tasarruf edebilecek bir pompa tasarlanması amaçlanmıştır.



Şekil 1: Geleneksel (sol) ve Taşınabilir (sağ) infüzyon sistemi

II. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, hastane öncesi acil sağlık hizmetlerinde görev yapan paramediklerin ilaç uygulama süreç-



Şekil 2: Önerilen infüzyon pompası tasarımı

lerinde karşılaştıkları zorluklara çözüm sunmak amacıyla karar destekli, taşınabilir ve kullanıcı dostu bir akıllı infüzyon pompası prototipi geliştirilmiştir. Çalışma üç aşamada yürütülmüştür:

1. İhtiyaç Analizi: Araştırmanın ilk aşamasında, İzmir Ekonomi Üniversitesi İlk ve Acil Yardım Programı öğrencilerinin yaz stajı değerlendirmesi sonucu sahada karşılaşılan problemler toplanmıştır. Görüşmelerde özellikle ilaç doz hesaplamalarındaki hatalar, sıvı kesintileri, ekipman hantallığı ve transport sırasında cihazların ergonomik zorlukları ön plana çıkmıştır.

2. Literatür ve Mevcut Sistem Analizi: İlaç hataları, infüzyon pompalarının kullanımındaki sınırlılıklar ve hasta güvenliği ile ilgili ulusal ve uluslararası literatür taranarak sistemin ihtiyaç duyulan özellikleri belirlendi. Mevcut infüzyon pompa sistemlerinin teknik yetersizlikleri analiz edildi ve bunlara alternatif oluşturabilecek fonksiyonel kriterler çıkarılmıştır.

3. Prototip Tasarımı ve Sistem Akışı: Geliştirilen akıllı infüzyon pompası, hastanın yaş, boy, kilo, medikal geçmiş ve ilaç kontrendikasyon bilgilerini kullanıcıdan etkileşimli olarak alan bir arayüzle tasarlandı. Mikrodenetleyici kontrollü sistem, algoritma destekli doz hesaplaması yapmakta, ilaç-hasta uyumsuzluklarında sesli ve görsel uyarılar vermektedir. Ayrıca cihaz, "Hızlı Mod" özelliğiyle sık karşılaşılan acil durumlar için (kardiyak arrest, anafilaksi, hipoglisemi vb.) önceden tanımlı protokollerle hızlı ilaç uygulamasına olanak sağlamaktadır. Cihazın küçük boyutlu ve kola monte edilebilir yapıda olması, sahada taşınabilirliğini ve kullanım kolaylığını artırmaktadır. Bu çalışmada, acil sağlık hizmetlerinde görev yapan sağlık profesyonellerinin ilaç doz hesaplama ve uygulama süreçlerini desteklemek amacıyla akıllı bir infüzyon pompası geliştirilmiştir. Sistem yalnızca hastanın yaş, boy ve kilo bilgilerini değil, aynı zamanda tıbbi geçmişe dair kritik verileri de etkileşimli sorular yoluyla dikkate alır. Kullanıcıya doz hesaplama, kontrendikasyon kontrolü ve motor seçimi gibi karar noktalarında destek sunar.

III. CİHAZ TASARIMI

A. Kullanıcı İş Akışı

Kullanıcı iş akışı, cihazın başlatılmasından infüzyon işleminin tamamlanmasına kadar olan süreci kapsar. İşlem cihazın açılması ve ilaç kutusunun hazneye yerleştirilmesiyle başlar. Borular peristaltik pompaya düzgün yerleştirildikten sonra kullanıcıdan hasta hakkında bilgi alınır. Eğer hasta bilinci yerindeyse, sistem yaş, boy, kilo gibi verileri ister ve ardından ilaç seçimi yapılır. Kontrendikasyon soruları kullanıcıya yöneltilir. Sonuçlara göre ilaç verilebilirlik durumu belirlenir.

Eğer hasta bilinci kapalıysa, kullanıcı acil durum modunu aktif eder. Bu modda ilaç ve doz bilgileri manuel olarak girilir ve sistem doğrudan infüzyon işlemini başlatır. Kullanıcı ayrıca zaman kontrollü infüzyon seçeneğini de tercih edebilir.



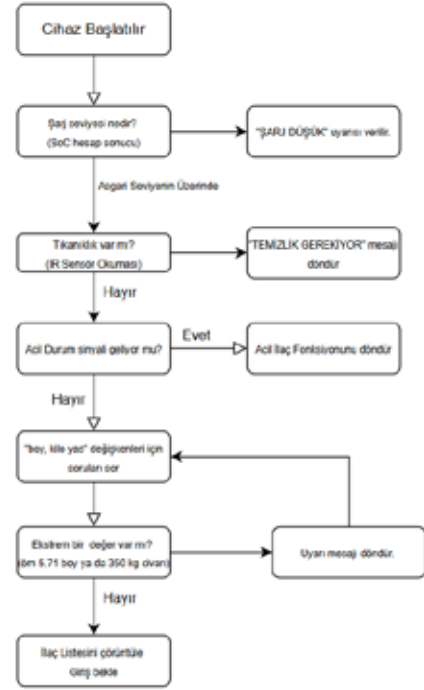
Şekil 3: Kullanıcı İş Akışı Diyagramı

B. Teknik İş Akışı

Cihazın Başlatılması ve Hazırlık Aşaması:

Cihaz ilk çalıştırıldığında sistem otomatik olarak açılış kontrol döngüsünü başlatır. Öncelikle batarya seviyesi kontrol edilir ve State of Charge (SoC) değeri değerlendirilir [6]. Eğer bu değer belirlenen eşik altına düşerse, kullanıcıya "ŞARJ DÜŞÜK" uyarısı sesli ve görsel yollarla iletilir. Ardından hortum hattının uygunluğu kontrol edilir. Bu aşamada IR sensörü kullanılarak hortum içerisindeki sıvı geçişi takip edilir. Eğer sensör, ışığın kırılma indeksindeki sabitliğe dayanarak sıvı akışı olmadığını tespit ederse sistem, hattın tıkalı olduğunu varsayar [7]. Tıkanıklık ya da kirlenme gibi durumlar söz konusuysa, kullanıcıya "TEMİZLİK GEREKİYOR" uyarısı gösterilir. Bu kontrollerin ardından kullanıcıdan yaş, boy ve kilo bilgileri istenir. Giriş verileri, tanımlı eşik değerlerin dışında ise kullanıcıya uyarı verilir ve düzeltme istenir. Doğrulan

veriler üzerinden uygun ilaçlar listelenir ve sistem bir sonraki adıma geçer.



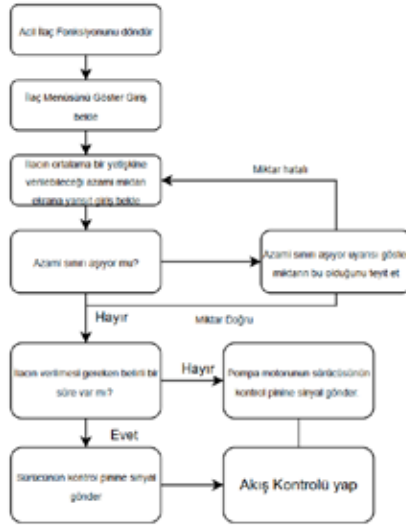
Şekil 4: Başlatma ve Hazırlık Aşaması

Acil Modun Aktifleşmesi ve Süreç Akışı: Acil mod, hastanın bilinçsiz, iletişime kapalı ya da yaşamsal riski yüksek olduğu senaryolarda devreye alınmak üzere tasarlanmıştır. Bu mod, kullanıcıdan bilişsel geri bildirim alınamayan durumlarda vakit kaybını önlemek amacıyla sistem yönlendirmeleri devre dışı bırakılarak çalışır. Paramedik, acil mod aktif hale getirildiğinde kütüphanede tanımlı ilaç bilgisi ve dozajlarından birini seçebilir. Ya da doğrudan ilaç seçimi ve doz bilgilerini elle girer. Kullanıcı tarafından girilen doz bilgisi, sistemde tanımlı maksimum güvenli doz eşikleri ile karşılaştırılır. Eğer girilen değer bu sınırı aşıyorsa, sistem görsel ve sesli uyarılarla kullanıcıdan onay ister. Onay alınmadan infüzyon işlemi başlatılmaz. Onay verildiği takdirde sistem iki seçenek sunar: Doğrudan uygulama veya belirli bir zaman diliminde kademeli uygulama. Seçime göre motor kontrol birimi gerekli gerilim ve zamanlama parametrelerini alarak infüzyon sürecini başlatır. Bu sayede acil müdahale sırasında sistem, hızla devreye girerek kritik zaman kazanımı sağlar ve hayat kurtarıcı rol üstlenir.

Kontrendikasyon Kontrollü Otomatik Doz Hesaplama Süreci:

Normal modda kullanıcı, sistem tarafından sunulan kontrendikasyon sorularına yanıt verir. Bu yanıtlar ikili olarak kodlanır ve her bir ilaç için tanımlı kurallar dizisine göre değerlendirilir. Eğer kullanıcı yanıtları belirli bir risk düzeyini işaret ederse, sistem ilacın uygulanabilirliğine dair karar verir. Kısıtlı doz önerilen senaryolarda sistem kullanıcıya azami doz miktarını bildirir; uygun koşullarda ise otomatik doz hesaplama algoritması devreye girer.

Tasarlanan elektronik kartın şematik devresi Şekil 6'da görülmektedir. Hesaplanan doz doğrultusunda sistem, peristaltik pompa ya da hacme uygun başka bir motoru seçerek sürücü devresine sinyal gönderir. İlaç infüzyonu



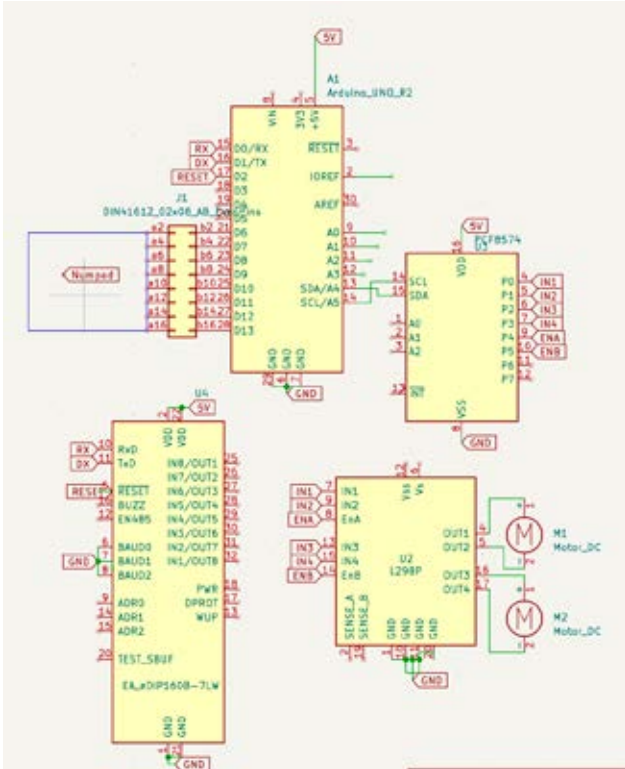
Şekil 5: Acil Modun Başlatılması ve Manuel Süreç

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada geliştirilen karar destekli akıllı infüzyon pompası, hastane öncesi acil sağlık hizmetlerinde ilaç uygulama hatalarını azaltmayı ve paramediklerin karar verme süreçlerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Literatürde bu tür hataların hasta güvenliğini ciddi şekilde tehdit ettiği bilinmektedir [9], [10]. Geliştirilen cihaz, kola monte edilebilen kompakt yapısı, kullanıcı dostu arayüzü, düşük ışıktaki çalışabilen ekranı ve hasta verilerine dayalı doz hesaplama algoritmasıyla öne çıkmaktadır. “Hızlı Mod” özelliği sayesinde kardiyak arrest, anafaksi veya hipoglisemi gibi durumlarda önceden tanımlı protokoller hızla uygulanabilmektedir. Ayrıca kontrendikasyonlara dayalı otomatik doz önerisi ve IR sensörle sıvı akış kontrolü gibi özellikler, hem doğruluk hem de güvenlik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu akıllı infüzyon pompası, paramediklerin iş yükünü azaltabilecek ve hasta güvenliğini artıracak önemli bir teknolojik yenilik sunmaktadır. Klinik testlerle desteklendiğinde, hastane öncesi bakımda yaygın şekilde kullanılabilecek potansiyele sahiptir.

KAYNAKÇA

- [1] Walker D, Moloney C, SueSee B, Sharples R, Blackman R, Long D, Hou XY. Factors Influencing Medication Errors in the Prehospital Paramedic Environment: A Mixed Method Systematic Review. *Prehosp Emerg Care*. 2023;27(5):669-686. doi: 10.1080/10903127.2022.2068089. Epub 2022 Jun 27. PMID: 35579544.
- [2] Lifshitz AE, Goldstein LH, Sharist M, Strugo R, Asulin E, Bar Haim S, Feigenberg Z, Berkovitch M, Kozar E. Medication prescribing errors in the prehospital setting and in the ED. *Am J Emerg Med*. 2012 Jun;30(5):726-31. doi: 10.1016/j.ajem.2011.04.023. Epub 2011 Jul 8. PMID: 21741787.
- [3] Ramadanov N, Klein R, Schumann U, Aguilar ADV, Behringer W. Factors, influencing medication errors in prehospital care: A retrospective observational study. *Medicine (Baltimore)*. 2019 Dec;98(49):e18200. doi: 10.1097/MD.00000000000018200. PMID: 31804342; PMCID: PMC6919435.
- [4] Hoyle JD, Davis AT, Putman KK, Trytko JA, Fales WD. Medication dosing errors in pediatric patients treated by emergency medical services. *Prehosp Emerg Care*. 2012 Jan-Mar;16(1):59-66. doi: 10.3109/10903127.2011.614043. Epub 2011 Oct 14. PMID: 21999707.
- [5] Atanda O, West J, Stables T, Johnson C, Merrifield R, Kinross J. Flow rate accuracy of infusion devices within health-care settings: a systematic review. *Ther Adv Drug Saf*. 2023 Jul 21;14:20420986231188602. doi: 10.1177/20420986231188602. PMID: 37492690; PMCID: PMC10363896.
- [6] A. Bayraktar and O. Aydın, “Determination of Battery State of Charge with a Data-Driven Ensemble Learning Model for Electric Vehicle Applications,” *Frontiers in Energy Research*, vol. 13, p. 1573972, 2025. doi: 10.3389/fenrg.2025.1573972.
- [7] Y. Saputro and R. S. Nugroho, “Design and Prototype of Infusion Monitoring System Based on Infrared Sensor and Microcontroller,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 15, no. 1, pp. 1–6, 2022. doi: 10.35882/teknokas.v15i1.1.
- [8] M. F. A. Basher, S. A. Vasantharaj, A. A. Elattar, and H. M. A. Fahmy, “Smart Intravenous (IV) Infusion Monitoring System,” *Inventions*, vol. 9, no. 4, p. 89, 2021. doi: 10.3390/inventions9040089.
- [9] Poranen A, Kouvonen A, Nordquist H. Human errors in emergency medical services: a qualitative analysis of contributing factors. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2024 Aug 30;32(1):78. doi: 10.1186/s13049-024-01253-7. PMID: 39215372; PMCID: PMC11363522.
- [10] Takhtinejad NJ, Stewart D, Nazar Z, Hamad A, Hadi MA. Identifying factors influencing clinicians’ reporting of medication errors: a systematic review and qualitative evidence synthesis using the theoretical domains framework. *Expert Opin Drug Saf*. 2024 Oct;23(10):1271-1282. doi: 10.1080/14740338.2024.2396397. Epub 2024 Sep 16. PMID: 39192820.



Şekil 6: Tasarlanan Elektronik Kart Şematik Devresi