

e-ISSN: 2791-6081

JHIT

JOURNAL OF HEALTH INSTITUTES OF TÜRKİYE

TÜRKİYE
SAĞLIK ENSTİTÜLERİ BAŞKANLIĞI
DERGİSİ

Cilt: 8 | Sayı: 1 | Yıl: 2025

**TU
SEB**
TÜRKİYE
SAĞLIK
ENSTİTÜLERİ
BAŞKANLIĞI

galenos
yayınevi

EDITORIAL BOARDS

Publication Owner

Prof. Dr. Ümit Kervan (Türkiye)

Türkiye Health Institutes Presidency, President of Health Institutes of Türkiye
umit.kervan@tuseb.gov.tr

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Mehmet Birhan Yılmaz (Türkiye)

Vice President of the Turkish Health Institutes
mehmetbirhan.yilmaz@tuseb.gov.tr

Editorial Assistant

Ceren Can (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, Ankara
ceren.can@tuseb.gov.tr

Editorial Board

Prof. Dr. Ateş Kara (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, Türkiye Vaccine Institute, ANKARA
ateskara@gmail.com

Prof. Dr. Erkan Kaptanoğlu (Türkiye)

Head of the Department of Neurosurgery, Marmara University Faculty of Medicine, İSTANBUL
ekaptanoglu@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Feza Korkusuz (Türkiye)

Division of Sports Medicine, Department of Internal Medicine, Hacettepe University Faculty of Medicine, ANKARA
feza.korkusuz@hacettepe.edu.tr

Prof. Dr. Duygu Özel Demiralp (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, Türkiye Biotechnology Institute, ANKARA

Prof. Dr. Seza Özen (Türkiye)

Department of Pediatrics, Hacettepe University Faculty of Medicine, ANKARA
sezaozen@hacettepe.edu.tr

Prof. Dr. Hakkı Muammer Karakaş (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, ANKARA

Prof. Dr. Burak Civelek (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, Türkiye Cancer Institute, ANKARA
burak.civelek@tuseb.gov.tr

Prof. Dr. Feride İpek Komsuoğlu Çelikyurt (Türkiye)

Kocaeli University Faculty of Medicine, Internal Medical Sciences, Medical Pharmacology, KOCAELİ

Prof. Dr. Ali Demir Sezer (Türkiye)

Prof. Dr. Aykut Özarendeli (Türkiye)

Prof. Dr. Bülent Yılmaz (Türkiye)

Prof. Dr. Işıl Maral (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, Türkiye Health Policy Institute, ANKARA

Prof. Dr. Serkan Topaloğlu (Türkiye)

Vice President of the Presidential Health and Food Policies Council, ANKARA

Prof. Dr. Şirin Güven (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, Türkiye Institute of Mother, Child, and Adolescent Health, ANKARA

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Enes Gökler (Türkiye)

Health Institutes of Türkiye, Türkiye Institute of Public Health and Chronic Diseases, ANKARA

English Editor

Merve Şenol

Please refer to the journal's webpage (<https://jhit.galenos.com.tr/>) for “Journal Policy” and “Instructions to Authors”.

The editorial and publication process of the Journal of Health Institutes of Türkiye are shaped in accordance with the guidelines of the **International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE)** and the **Committee on Publication Ethics (COPE)**.

The journal is in conformity with the Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing. Journal of Health Institutes of Türkiye is indexed in **Crossref, SOBIAD, SUDOC, ROAD, ERIH PLUS, Mirabel, and OpenAlex**.

The journal is published online.

Owner: Health Institutes of Türkiye

Responsible Manager: Prof. Dr. Mehmet Birhan Yılmaz

“Dergi Politikası” ve “Yazarlara Yönergeler” için lütfen derginin web sayfasını (<https://jhit.galenos.com.tr/>) ziyaret ediniz.

Türkiye Sağlık Enstitüleri Dergisi dergisinin editöryal ve yayın süreçleri, **Uluslararası Tıbbi Dergi Editörleri Komitesi (ICMJE)** ve **Yayın Etiği Komitesi (COPE)** tarafından belirlenen rehberlere uygun olarak şekillendirilmiştir. Dergi, Akademik Yayıncılıkta Şeffaflık ve En İyi Uygulama İlkeleri ile tam uyumludur.

Türkiye Sağlık Enstitüleri Dergisi, **Crossref, SOBIAD, SUDOC, ROAD, ERIH PLUS, Mirabel** ve **OpenAlex** gibi dizinlerde yer almaktadır.

Dergi çevrim içi olarak yayımlanmaktadır.

Yayın Sahibi: Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı

Sorumlu Müdür: Prof. Dr. Mehmet Birhan Yılmaz

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Orijinal Araştırmalar / Original Articles

- 1 **Panoramik Radyografilerde Foramen Mentalenin Yapay Zeka Tabanlı Sistemler ile Tespiti**
Detection of Mental Foramen in Panoramic Radiographs with Artificial Intelligence-based Systems
Adalet Çelebi, Deniz Bora Küçük, Göksu Nurşah Adaş, Ayşe Özcan Küçük, Muammer Türkoğlu, Fethi Atıl; Mersin, Samsun, Türkiye
- 12 **The Impact of COVID-19 on Prognosis of Acute Limb Ischemia**
Akut Ekstremitte İskemisi Prognozunda COVID-19 Etkisi
Bilal Perçin, Salih Salihi, Halilibrahim Erkengel; Sakarya, Türkiye

Derleme / Review

- 16 **Acil Sağlık Hizmetleri ve Ambulanslarda Akıllı İnfüzyon Pompaları Kullanımının Ekonomik Etkileri**
Economic Impacts of the Use of Smart Infusion Pumps in Healthcare Institutions
İbrahim Çınar, İbrahim Çatak; İzmir, Türkiye



Panoramik Radyografilerde Foramen Mentalenin Yapay Zeka Tabanlı Sistemler ile Tespiti

Detection of Mental Foramen in Panoramic Radiographs with Artificial Intelligence-based Systems

¹ Adalet Çelebi¹, ² Deniz Bora Küçük², ¹ Göksu Nurşah Adaş¹, ¹ Ayşe Özcan Küçük¹, ² Muammer Türkoğlu², ¹ Fethi Atıl¹

¹Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

²Samsun Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye

ÖZ

Amaç: Panoramik radyolojik görüntülerde mental foramenlerin hassas bir şekilde tespit edilmesi, diş hekimliğinde çok sayıda klinik ve teşhis uygulaması için büyük önem taşımaktadır.

Yöntemler: Bu çalışmada, YOLO ailesinin birden fazla versiyonu (YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11 ve YOLO World) ile RT-DETR mimarisi dahil olmak üzere gelişmiş derin öğrenme tabanlı nesne algılama modellerinin, mental foramenlerin tanımlanması ve lokalizasyonundaki performansları araştırılmıştır. Model eğitimi ve değerlendirmesi için ağız, diş ve çene cerrahisi uzmanları tarafından manuel olarak belirlenmiş 100 anonimleştirilmiş panoramik radyolojik görüntüden oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır.

Bulgular: Modeller, kesinlik, duyarlılık ve mAP50 gibi standart ölçütler kullanılarak değerlendirilmiş ve RT-DETR-x mimarisi, %89,0 kesinlik, %85,0 duyarlılık ve %85,6 mAP50 ile en yüksek performansı elde etmiştir. Özellikle YOLO World-s ve YOLOv9e, tespit doğruluğu ve hesaplama verimliliğini etkili bir şekilde dengeleyerek rekabetçi sonuçlar sunmuştur. Elde edilen bulgular, yapay zeka tabanlı tespit sistemlerinin diş teşhisini otomatikleştirme ve kolaylaştırma konusundaki klinik uygulanabilirliğini vurgulamakta, aynı zamanda derin öğrenme modellerinin karmaşık anatomik varyasyonları ve görüntüleme zorluklarını ele almada ne kadar sağlam olduğunu göstermektedir.

Sonuç: Bu araştırma, model genellemesini ve doğruluğunu daha da artırmak için veri setinin genişletilmesi ve gelişmiş topluluk tekniklerinin entegre edilmesi önerileriyle, otomatik diş teşhisinde gelecekteki ilerlemelere sağlam bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mental foramen tespiti, panoramik dental görüntüler, nesne tespit modelleri, otomatik tespit sistemleri

ABSTRACT

Objective: Accurate detection of mental foramen in panoramic radiological images is of great importance for numerous clinical and diagnostic applications in dentistry.

Methods: The present study has aimed to investigate the performance of multiple versions of the YOLO family (YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11 and YOLO World) and advanced deep learning-based object detection models, including the RT-DETR architecture, in the identification and localization of mental foramen. A dataset of 100 anonymized panoramic radiological images manually annotated by an oral maxillofacial surgery specialist was used for model training and evaluation.

Results: The models were evaluated using standard metrics such as precision, sensitivity and mAP50 and the RT-DETR-x architecture achieved the highest performance with 89.0% precision, 85.0% sensitivity and 85.6% mAP50. In particular, YOLO World-s and YOLOv9e provided competitive results by effectively balancing detection accuracy and computational efficiency. The findings highlight the clinical applicability of AI-based detection systems in automating and facilitating dental diagnosis, while demonstrating how robust deep learning models are in handling complex anatomical variations and imaging challenges.

Conclusion: This research provides a solid foundation for future advances in automated dental diagnosis, with recommendations for expanding the dataset and integrating advanced ensemble techniques to improve model generalization and accuracy.

Keywords: Mental foramen detection, panoramic dental images, object detection models, automated detection systems

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Göksu Nurşah Adaş

Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

E-posta: gksuada@gmail.com

ORCID ID: orcid.org/0009-0003-4714-7069

Geliş Tarihi/Received: 28.11.2024 **Kabul Tarihi/Accepted:** 28.03.2025 **Yayınlanma Tarihi/Publication Date:** 30.04.2025

Atf/Cite this article as: Çelebi A, Küçük DB, Adaş GN, Özcan Küçük A, Türkoğlu M, Atıl F. Detection of mental foramen in panoramic radiographs with artificial intelligence-based systems. J Health Inst Turk. 2025;8(1):1-11

GİRİŞ

İnsan vücudundaki çeşitli anatomik yapılar, hem tıp alanında hem de teknolojik gelişmelerde giderek artan bir ilgi odağı haline gelmektedir. Bu yapılardan biri olan foramen mentale, ağız ve çene cerrahisi, diş hekimliği ve nöroanatomi gibi disiplinlerde önemli bir anatomik işaret noktası olarak öne çıkmaktadır. Mental sinir, nervus alveolaris inferiorun bir dalı olarak alt çene kemiğindeki mental foramen aracılığıyla yumuşak dokuya çıkar ve küçük azı dişlerini, alt dudağı, bukkal diş etini ve mukozayı innerve eder (1). Mental sinirin, nervus alveolaris inferiorundan ayrıldıktan sonra yumuşak dokuya geçişi mental foramen yoluyla gerçekleşmektedir (2).

Mental foramen bölgesine yönelik cerrahi veya endodontik tedavilerde, mental sinirin zarar görmesi çeşitli komplikasyonlara yol açabilir. Özellikle sinir hasarı sonrası gelişen parestezi, mental sinir bölgesinde sıkça karşılaşılan bir komplikasyondur (3). Bazı durumlarda, periapikal enfeksiyonlar dahi mental sinirde paresteziye neden olabilir (4). Tedavi sırasında meydana gelebilecek sinir hasarı, klinik olarak çeşitli nörolojik sorunlarla kendini gösterebilir (5). Bu tür komplikasyonların önlenmesi için hekimin, anatomik yapıların konumunu radyolojik görüntülerde doğru bir şekilde tespit etmesi büyük önem taşımaktadır.

Foramen mentale, premolar dişler bölgesinde yer almakta olup, radyolojik görüntülerde yuvarlak veya oval, tek ya da çok sayıda, bilateral bir radyolusensi olarak izlenmektedir (6). Anatomik yapıların ve varyasyonlarının tedavi öncesinde radyolojik olarak belirlenmesi, diş hekimliği pratiğinde gerçekleştirilecek işlemlerin başarısını doğrudan etkileyen kritik bir faktördür (7). Mental foramenin konumunun doğru bir şekilde tespit edilmesi ve bu anatomik varyasyonların anlaşılması, tedavi güvenliğini ve başarısını artırmada önemli bir rol oynamaktadır (8).

Yapay zeka algoritmalarının sağlık alanında kullanımı, özellikle görüntü işleme teknolojilerinde, insan gözünden kaçabilecek detayları yakalayarak tedavi güvenliğini artırmayı hedeflemektedir (9). Son yıllarda, yapay zeka tabanlı sistemler, özellikle tıbbi görüntü analizi alanında devrim niteliğinde ilerlemeler kaydetmiştir (10-20). Bu gelişmeler, sağlık sektöründe tanı ve tedavi süreçlerini dönüştürmüş, daha hızlı ve doğru analizlerin yapılmasını mümkün kılmıştır. Dental radyografilerde yapay zeka destekli otomatik analiz sistemleri, tanı süreçlerini hızlandırmak, hata oranlarını azaltmak ve uzmanlık gereksinimini minimize etmek amacıyla yaygın şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Özellikle derin öğrenme teknikleri, üstün modelleme kabiliyetleri sayesinde daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşarak diş radyolojisi başta olmak üzere birçok alanda önemli katkılar sağlamaktadır.

Dental radyografiler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, literatürün genellikle panoramik görüntülere dayalı çürük tespiti (11-14), gömülü diş tespiti (15-19), diş ve çene kırıklarının (20-22) ve anatomik yapıların belirlenmesi (23-26) gibi farklı odak alanlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çalışmalarda, bölgesel (*region-based*) ve piksel tabanlı (*pixel-based*) derin öğrenme segmentasyon yöntemlerinin sıklıkla tercih edildiği dikkat çekmektedir. Söz konusu yöntemler, dental radyografilerde yüksek çözünürlüklü detayların hassas bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımakta; böylelikle hem klinik doğruluğu artırmakta hem de manuel işleme olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak, literatürde mental foramenin otomatik ve hassas bir şekilde tespiti üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmalarda (27,28), genellikle piksel tabanlı segmentasyon yöntemlerine dayanan UNet mimarisi gibi modellerin kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, mental foramen gibi küçük ve hassas anatomik yapıların tespiti, özellikle dental cerrahi ve tanı süreçlerinde büyük önem taşımaktadır. Bölgesel tespit yöntemleri, bu tür yapıların doğru lokalizasyonunu sağlayarak klinik süreçlerde daha hızlı ve etkili çözümler sunmaktadır. Bu eksiklik, mental foramenin bölgesel tabanlı derin öğrenme yöntemleriyle tespit edilmesine yönelik araştırmaların gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Bölgesel tespit yöntemleri, yalnızca hız ve doğruluk avantajı sunmakla kalmayıp aynı zamanda dental radyografilerin analizi sırasında kullanıcı dostu sistemlerin geliştirilmesine de olanak tanımaktadır. Mental foramenin bölgesel tabanlı tespitine yönelik bu çalışma, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemekte ve dental radyoloji alanında yapay zeka destekli çözümlerin potansiyelini bir adım öteye taşımaktadır.

Bu çalışmada, panoramik dental görüntülerde yapay zeka tabanlı bir sistem geliştirilerek foramen mentalenin bölgesel tabanlı olarak doğru ve otomatik bir şekilde tespit edilmesi hedeflenmiştir. Önerilen sistemin, tanı süreçlerini hızlandırarak klinik verimliliği artırması ve diş hekimlerinin iş yükünü hafifletmesi beklenmektedir. Ayrıca, önerilen modelin yüksek doğruluk oranı ile manuel işlemlere olan bağımlılığı azaltarak, dental cerrahi ve tanı süreçlerinde güvenilirliği artıracağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, çalışma hem literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta hem de dental radyoloji alanında yapay zeka tabanlı çözümlerin uygulanabilirliğini genişletmeyi hedeflemektedir. Çalışma kapsamında, *you only look once* (YOLO) ve *real-time detection transformer* (RT-DETR) gibi son teknoloji derin öğrenme modelleri kullanılarak mental foramenin otomatik tespiti gerçekleştirilmiş, bu modellerin performansları detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Bu analizler, dental görüntülerdeki zorlu anatomik yapıların tespitine yönelik güçlü algoritmalar geliştirilmesine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın ana katkıları şunlardır:

- Panoramik dental görüntülerde mental foramenin otomatik ve hassas bir şekilde tespitine yönelik, derin öğrenme tabanlı bölgesel tespit yöntemlerini kullanan ilk çalışmalardan biri olarak, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.
- YOLO ve RT-DETR gibi son teknoloji derin öğrenme modelleri kullanılarak, dental radyografilerde mental foramen tespitine yönelik kapsamlı bir karşılaştırma yapılmış ve bu modellerin performansları detaylı metrikler (Precision, Recall, mAP50) üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı modellerin avantajları ve sınırlılıkları detaylı olarak analiz edilmiştir.
- Kullanıcıların panoramik diş görüntülerini yükleyerek mental foramen bölgelerini anında tespit ve görselleştirme yapabildiği web tabanlı bir gerçek zamanlı sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, diş hekimleri için pratik bir çözüm sunarak teşhis süreçlerini hızlandırmayı hedeflemektedir.
- Önerilen sistem, özellikle yoğun çalışma temposuna sahip diş hekimleri ve röntgen okuma konusunda deneyimsiz yeni mezunlar için kullanıcı dostu bir çözüm sunarak tanı süreçlerinde doğruluğu artırma ve manuel işlem süresini azaltma potansiyeline sahiptir.
- Çalışma, dental radyoloji alanında yapay zeka tabanlı çözümlerin uygulanabilirliğini genişleterek, tanı süreçlerini otomatikleştirmek için modern teknolojilerin nasıl kullanılabileceğini göstermektedir.
- Çalışmanın bulguları, mental foramen tespiti gibi zorlu anatomik yapıların daha geniş veri setleri, gelişmiş modeller ve çok modlu veri entegrasyonu ile nasıl daha iyi ele alınabileceğine dair öneriler sunarak, gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturmaktadır.

Bu katkılar, dental görüntüleme ve obje tespiti alanında yenilikçi yaklaşımların klinik ve teknolojik kullanımını desteklemektedir.

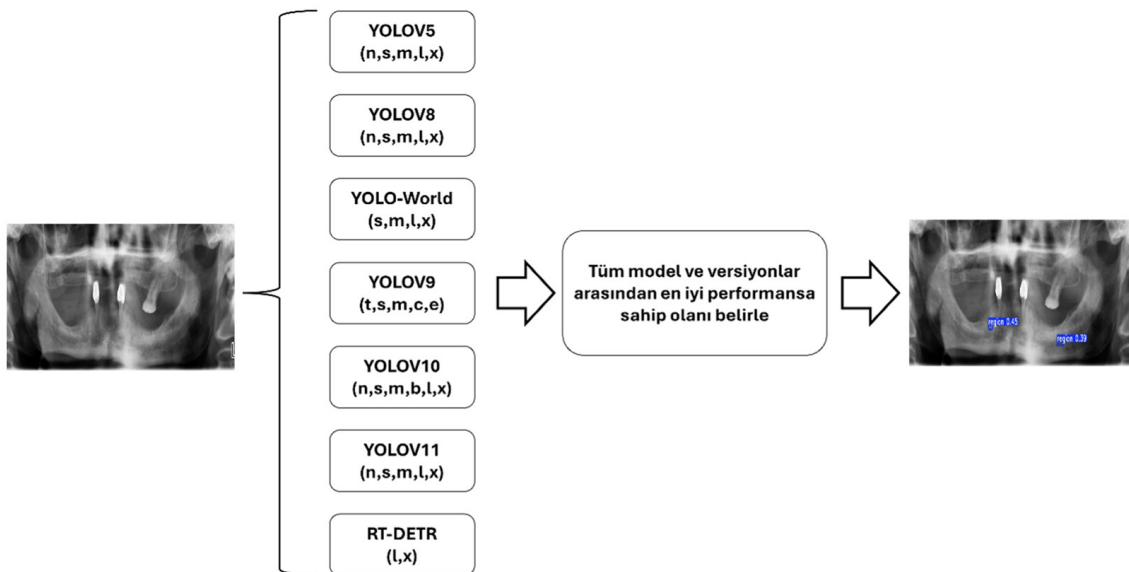
MATERYAL VE METOT

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan (743/2024) onay alınmasını takiben gerçekleştirilmiştir. Ocak 2024 ve Temmuz 2024 tarihleri arası Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Hastanesi'ne tanı ve tedavi amacı ile başvuran hastalardan elde edilen 100 panoramik görüntüde mental foramenler değerlendirilmiştir. Panoramik görüntülerindeki mental foramenleri tespit etmedeki performanslarını değerlendirmek için çeşitli nesne algılama mimarileri kullanılmıştır. YOLOv11s, YOLOv10s, YOLOv8l, YOLOv5m, YOLOv9e ve YOLO World-s dahil olmak üzere son teknoloji YOLO modelleri, verimlilikleri ve gerçek zamanlı nesne algılama görevlerindeki yaygın uygulamaları nedeniyle kullanılmıştır. Ayrıca, uçtan uca algılama görevlerinde sağlam performansıyla bilinen yeni RT-DETR mimarisi de karşılaştırmalı bir analiz için deneylere dahil edilmiştir. Bu modeller, hedef bölgeleri tanımlamadaki etkinliklerini belirlemek için kesinlik, duyarlılık ve mAP50 gibi performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Önerilen çalışmanın genel gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.

Önerilen modeli oluşturan temel mimariler alt başlıklarda daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

A. YOLO Mimarisi

Nesne tespiti, bir görüntüdeki nesneleri sınırlayıcı kutuları ve sınıf etiketlerini aynı anda tahmin ederek tanımlamayı ve konumlandırmayı amaçlamaktadır. YOLO, nesne tespitini



Şekil 1. Önerilen çalışmanın genel gösterimi

tek bir regresyon problemi olarak çerçeveleyen, hem yüksek hız hem de doğruluk sunan çığır açıcı bir yaklaşımdır (29). Geleneksel çok aşamalı yöntemlerin aksine YOLO, tespit işlemini ağırlıkla tek bir ileri geçişinde gerçekleştirerek işlem hattını önemli ölçüde basitleştirir ve gerçek zamanlı uygulamalar için oldukça verimli hale getirir.

YOLO'nun mimarisi, bir giriş görüntüsünü $I \in \mathbb{R}^{H \times W \times C}$, her bir ızgara hücresinin sınırlayıcı kutular, nesne güven puanları ve sınıf olasılıklarını tahmin ettiği $S \times S$ boyutunda bir ızgaraya böler. Her ızgara hücresi, merkezi bu hücre içerisinde kalan nesneleri tespit etmekten sorumludur. Her hücre için B sınırlayıcı kutu tahmin edilir ve bu kutular $b_i = (x_i, y_i, w_i, h_i, c_i)$ olarak ifade edilir. Burada (x_i, y_i) , sınırlayıcı kutunun normalleştirilmiş merkez koordinatlarını; (w_i, h_i) , genişlik ve yüksekliği; c_i , güven puanını ifade eder. Ayrıca, her hücre K nesne sınıfı için sınıf olasılıklarını $p = (p_1, p_2, \dots, p_K)$ olarak tahmin eder. Nihai çıktı tensörü, tüm görüntü için $S \times S \times (B \times 5 + K)$ boyutunda olup yerleştirme, güven ve sınıflandırma tahminlerini bütünleştirir (29,30).

YOLO'da sınırlayıcı kutuların yerleştirme hassasiyetini artırmak için belirli bir parametrelendirmesi kullanılır. Merkez koordinatları (x_i, y_i) , sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile ızgara hücresine kısıtlanır:

$$x_i = \sigma(t_x) + c_x, y_i = \sigma(t_y) + c_y \quad (1)$$

Burada t_x ve t_y ham çıktıları, (c_x, c_y) ise ızgara hücresinin sol üst köşesini temsil eder. Sınırlayıcı kutunun boyutları (w_i, h_i) , önceden tanımlanmış bağlantı kutusu boyutları (p_w, p_h) kullanılarak tahmin edilir:

$$w_i = p_w e^{t_w}, h_i = p_h e^{t_h} \quad (2)$$

Güven puanı c_i , nesnenin var olma olasılığı ile yerleştirme doğruluğunu birleştirir:

$$c_i = P(\text{object}) \cdot \text{IoU}_{\text{pred}, \text{truth}} \quad (3)$$

Burada *Intersection over Union* (IoU), tahmin edilen sınırlayıcı kutu ile gerçeğin kesişiminin birleşime oranını ölçer. YOLO'nun optimizasyonu, yerleştirme, güven ve sınıflandırmayı dengelemek için çok parçalı bir kayıp fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilir:

$$\mathcal{L} = \lambda_{\text{coord}} \sum_{i=1}^{S^2} \sum_{j=1}^B 1_{ij}^{\text{obj}} \left[(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2 + (w_i - \hat{w}_i)^2 + (h_i - \hat{h}_i)^2 \right] + \lambda_{\text{noobj}} \sum_{i=1}^{S^2} \sum_{j=1}^B 1_{ij}^{\text{noobj}} (c_i - \hat{c}_i)^2 + \sum_{i=1}^{S^2} \sum_{k=1}^K 1_i^{\text{obj}} \sum_{k=1}^K (p_k - \hat{p}_k)^2 \quad (4)$$

Burada 1_{ij}^{obj} ve 1_{ij}^{noobj} , bir nesnenin varlığına veya yokluğuna işaret eden göstergelerdir. λ_{coord} ve λ_{noobj} yerleştirme ve arka plan tahminlerinin önemini dengelemek için kullanılan katsayılardır.

YOLO'nun birleşik yaklaşımı, nesne tespitini tek bir regresyon problemine dönüştürerek hem verimli hem de doğru hale getirir. ızgara tabanlı gösterimi, sınırlayıcı kutu

parametrelendirmesi ve sofistike kayıp fonksiyonu, gerçek zamanlı tespit uygulamaları için güçlü bir çözüm sunar. Zamanla YOLO mimarisi önemli gelişimlere uğramış ve performansını artıran yenilikçi özellikler kazanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, YOLO mimarisine dayalı YOLOv5 (31), YOLOv8 (32), YOLOv9 (33), YOLOv10 (34), YOLOv11 (35) ve YOLO World (36) gibi son teknolojik mimariler kullanılmıştır. Bu YOLO tabanlı farklı versiyonları belirgin iyileştirmeler sunmaktadır. YOLOv5, CSPDarknet omurgası ve PANet boynuyla gerçek zamanlı hız ve yüksek doğruluk sağlarken, YOLOv8 omurga ve boyun mimarilerini optimize ederek bu performansı geliştirmiştir. YOLOv9, programatik gradyan bilgisi ve GELAN gibi yeniliklerle bilgi darboğazlarını azaltmayı başarmış; YOLOv10 ise maksimum olmayan bastırmayı (NMS) kaldırarak daha tutarlı çift taraflı eşleştirme sağlamıştır. YOLOv11, parametreleri azaltılmış optimize edilmiş bir omurga sunarken, YOLOWorld, açık kelime dağarcığı nesne tespiti özelliği ekleyerek kullanım alanını genişletmiştir. Bu gelişmeler, YOLO'nun modern tespit görevlerinde hala güçlü bir temel olduğunu ve gerçek zamanlı uygulamalarda etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

B. RT-DETR Mimarisi

RT-DETR, geleneksel özellik çıkarma tekniklerinin verimliliğini, Transformer mimarisinin güçlü küresel çıkarım yetenekleriyle birleştiren uçtan uca bir nesne tespit sistemidir. Gerçek zamanlı uygulamalar için optimize edilen RT-DETR, NMS gibi işlem sonrası tekniklere olan ihtiyacı ortadan kaldırarak, tespit işlemini doğrudan eşleştirme mekanizmasıyla gerçekleştiren bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntem, yüksek doğruluk ve hızın bir arada sağlanmasını mümkün kılmaktadır (37).

Bir giriş görüntüsü $I \in \mathbb{R}^{H \times W \times C}$, önce bir özellik çıkarıcı (örneğin, ResNet veya başka bir konvolüsyonel mimari) kullanılarak bir özellik haritasına $F \in \mathbb{R}^{H_f \times W_f \times C_f}$ dönüştürülür. Burada H_f, W_f , ve C_f , sırasıyla özellik haritasının yüksekliği, genişliği ve kanal sayısını temsil eder. Özellik haritası daha sonra $F' \in \mathbb{R}^{N \times C_f}$ şeklinde yeniden yapılandırılır, burada $N = H_f \cdot W_f$, özelliklerin gömülü temsil sayısını ifade eder. Bu işlem, verilerin Transformer tabanlı işlemeye uygun hale getirilmesini sağlar (37-40).

RT-DETR'nin temelini oluşturan transformer mimarisi, bir kodlayıcı ve kod çözücü yapıdan oluşur. Kodlayıcı, özellik temsillerine öz dikkat (self-attention) uygulayarak görüntü genelinde küresel bağımlılıkları modellemektedir. Öz dikkat mekanizması, sorgu (Q), anahtar (K) ve değer (V) matrislerini kullanarak şu şekilde tanımlanır (37):

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \quad (5)$$

Burada d k , gömülü temsillerin boyutunu ifade eder. Kod çözücü, sabit bir nesne sorgusu kümesi ($Q \text{ obj} \in \mathbb{R}^{N \times q \times d \times k}$) kullanarak her bir nesneyi modellemek için kodlayıcıdan gelen çıktılarla etkileşime girer. Bu sorgular, potansiyel nesnelerle ilgili bilgileri çıkarmak için kodlayıcı çıktılarıyla birleştirilir ve çözülmüş gömülü temsiller $Z \in \mathbb{R}^{N \times q \times d \times k}$ elde edilir. Bu temsiller, tespit edilecek nesnelerin bilgilerini içerir.

Kod çözücü çıktıları her bir nesne sorgusu için iki temel tahmin gerçekleştirir: sınırlayıcı kutular ve sınıf olasılıkları. Sınırlayıcı kutular, ileri beslemeli bir ağ kullanılarak tahmin edilir ve şu şekilde ifade edilir:

$$b_i = (x_i, y_i, w_i, h_i) \quad (6)$$

Burada (x_i, y_i) , sınırlayıcı kutunun normalleştirilmiş merkez koordinatlarını; (w_i, h_i) ise normalleştirilmiş genişlik ve yüksekliğini temsil eder. Sınıf olasılıkları ise softmax fonksiyonu kullanılarak tahmin edilir ve K sınıfı için $p_i = (p_1, p_2, \dots, p_K)$ şeklinde tanımlanır.

RT-DETR'nin öğrenme süreci, tahmin edilen nesneleri temel gerçek etiketlerle hizalamak için Hungarian algoritması kullanılarak optimize edilen bir küme tabanlı kayıp fonksiyonuyla gerçekleştirilir. Toplam kayıp, sınıflandırma kaybı ($\mathcal{L}_{cls}$) ve kutu regresyon kaybı ($\mathcal{L}_{box}$) bileşenlerinden oluşur:

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^{N_q} [\mathcal{L}_{cls}(p_i, \hat{p}_i) + 1_i^{\text{obj}} \mathcal{L}_{box}(b_i, \hat{b}_i)] \quad (7)$$

Kutu regresyon kaybı, ℓ_1 kaybı ve genelleştirilmiş IoU (GloU) kaybının bir birleşimini içerir:

$$\mathcal{L}_{box} = \lambda_{\ell_1} \|b_i - \hat{b}_i\|_1 + \lambda_{\text{giou}} \text{GloU}(b_i, \hat{b}_i) \quad (8)$$

RT-DETR, sonradan işleme ihtiyacını ortadan kaldırarak nesne tespiti sürecini büyük ölçüde basitleştirir. Transformer mimarisinden yararlanarak hem yüksek doğruluk hem de gerçek zamanlı çıkarım sağlayan RT-DETR, çeşitli uygulamalarda verimli ve ölçeklenebilir bir çözüm sunar. Bu özellikleri sayesinde RT-DETR, nesne tespiti için modern bir ilerlemeyi temsil etmektedir (37-40).

C. Veri Kümesi

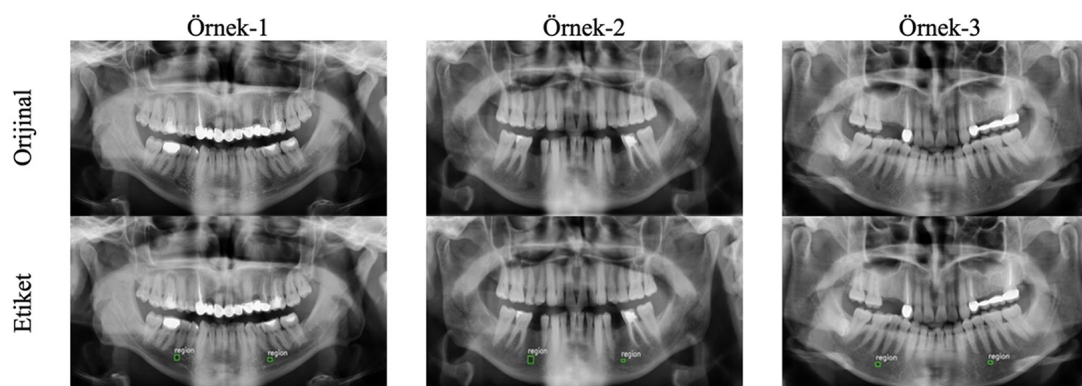
Bu çalışmada kullanılan veri kümesi, Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde anonim olarak sağlanan 100 hastaya ait panoramik ağız görüntülerinden oluşmaktadır. Bu görüntüler, dental yapıları detaylı bir şekilde incelemek ve foramen mentale bölgesini belirlemek amacıyla özel olarak hazırlanmıştır. Diş hekimlerinin katkılarıyla, her bir görüntüde foramen mentale bölgesi manuel olarak etiketlenmiştir. Etiketleme süreci, foramen mentale gibi küçük ve önemli bir yapının doğru şekilde tespit edilmesine olanak tanıyacak hassasiyette gerçekleştirilmiştir. Elde edilen örnek etiketli görüntüler Şekil 2'de verilmiştir.

Panoramik görüntüler, YOLO modellerinin işlem gereksinimlerine uygun olacak şekilde 640x640 piksel olarak yeniden boyutlandırılmıştır. Monokrom formatta olan bu görüntüler, dental anatomik yapıları belirgin şekilde ayırt edebilmek için optimize edilmiştir. Bu veri kümesi, modelin foramen mentale tespit doğruluğunu değerlendirmek ve geliştirmek için temel bir kaynak oluşturmaktadır.

D. Uygulama Detayları

Deneyisel çalışmalarda kullanılan modellerin eğitim süreci, optimal performans elde etmek amacıyla özenle tasarlanmış ve çeşitli parametreler üzerinde ince ayar yapılmıştır. Eğitimde, panoramik dental görüntülerden oluşturulan ve mental foramen bölgelerinin etiketlendiği bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti, eğitim (%80) ve test (%20) olmak üzere ikiye ayrılmış, modelin genelleme kapasitesini artırmak için veri artırma yöntemleri uygulanmıştır.

Eğitim sürecinde, batch size değeri 16 olarak belirlenmiş ve toplamda 500 epoch boyunca eğitim gerçekleştirilmiştir. Öğrenme oranı başlangıçta 10⁻³ olarak ayarlanmış ve Cosine Annealing yöntemi ile dinamik olarak değiştirilmiştir. Optimizasyon algoritması olarak AdamW tercih edilmiş olup, moment hesaplamaları için $\beta_1 = 0.9$ ve $\beta_2 = 0.9$ değerleri atanmıştır. Ağırlık çürüme katsayısı 10⁻² olarak



Şekil 2. Örnek orijinal ve etiketli görüntüler

belirlenmiştir. Model girdi boyutu 640x640 piksel olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğitim sırasında obje varlığı için Binary Cross-Entropy Loss ve bounding box regresyonu için CloU kaybı kullanılmıştır. Öğrenme oranı, eğitim süresince 3 epochluk bir ısınma periyodunda kademeli olarak artırılmıştır. Bu parametreler, tespit doğruluğunu ve bounding box koordinatlarının hassasiyetini en üst düzeye çıkarmak amacıyla optimize edilmiştir.

Eğitilen modellerin pratik uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bir web tabanlı gerçek zamanlı tespit sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, kullanıcıların panoramik dental görüntüleri yüklemesine ve tespit edilen mental foramen bölgelerini anlık olarak görselleştirmesine olanak tanır. Sunucu tarafında, hızlı ve ölçeklenebilir bir API oluşturmak için FastAPI kullanılmıştır. FastAPI, modern Python tabanlı uygulamalar geliştirmek için sunduğu esnek yapıyla tespit sisteminin performansını ve entegrasyonunu kolaylaştırmıştır. Kullanıcı arayüzü ise Next.js kullanılarak geliştirilmiş, bu sayede kullanıcı dostu ve modern bir web deneyimi sağlanmıştır. Next.js, hızlı yükleme süreleri ve dinamik sayfa oluşturma avantajlarıyla sistemin kullanılabilirliğini artırmıştır. Kullanıcılar, web arayüzü üzerinden panoramik görüntüleri yükleyebilir ve tespit edilen bölgeleri anlık olarak görselleştirebilir. Bu sistem, sadece yüksek doğruluk ve hız sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tanı süresini kısaltmayı ve dental uzmanların iş yükünü hafifletmeyi hedefler.

E. Performans Metrikleri

Bu çalışmada, nesne algılama modellerinin performansı, temel performans ölçütleri olarak kesinlik (*Precision*), duyarlılık (*Recall*) ve mAP50 kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu ölçütler, tespit sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliği hakkında fikir vermektedir. Bu performans metrikleri, Denklem 9-13'te verilmiştir.

$$\text{Kesinlik (Precision)} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (9)$$

$$\text{Duyarlılık (Recall)} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (10)$$

Bu denklem 9-10'da, DP, YP ve YN sırasıyla doğru pozitif sayısı, yanlış pozitif sayısı ve yanlış negatif sayısını temsil etmektedir. Diğer yandan, IoU, tahmin edilen bir sınırlayıcı kutu ile bir temel gerçek sınırlayıcı kutu arasındaki örtüşmeyi ölçmektedir. Bu metrik şu şekilde tanımlanır:

$$IoU = \frac{\text{Örtüşme Alanı}}{\text{Birleşme Alanı}} \quad (11)$$

Bu denklemde, $IoU \geq 0,5$ ise (mAP50 için) bir sınırlayıcı kutu gerçek pozitif olarak kabul edilir. mAP50, 0,5 IoU eşliğinde tüm sınıflar için hesaplanan ortalama hassasiyet (AP) değerlerinin ortalamasıdır. AP ise, kesinlik-hatırlama eğrisinin altındaki alan alınarak hesaplanır. Kesinlik-hatırlama eğrisi, tahminlerin güven eşiği değiştirilerek çizilir. AP ve mAP50 metrikleri

Denklem 12-13'te tanımlanmıştır.

$$AP = \int_0^1 Precision(r) dr \quad (12)$$

$$mAP50 = \frac{1}{C} \sum_{c=1}^C AP_c \quad (13)$$

burada r ve $Precision(r)$ sırasıyla duyarlılık (Recall) ve belirli bir duyarlılık seviyesinde enterpole edilmiş hassasiyeti temsil etmektedir. Ayrıca, C sınıf sayısını ve AP_c ise IoU eşiği 0,5'te c sınıfı için ortalama hassasiyettir.

BULGULAR

Bu çalışmada kapsamlı deneysel çalışmalar, MSI RTX 4090 SUPRIM LIQUID X 24 G ekran kartına sahip yüksek performanslı bir bilgisayar sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sistem, Intel Core i9-14900K işlemciye ve 128 GB RAM'e sahip olup derin öğrenme modellerinin hızlı eğitimi ve test edilmesi için optimize edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri kümesi, Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi tarafından sağlanan ve diş hekimleri tarafından manuel olarak etiketlenen panoramik dental görüntülerden oluşmaktadır. Mental foramen bölgelerinin doğru şekilde işaretlendiği toplam 100 anonim görüntü içeren bu veri kümesi, %80 eğitim ve %20 test olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Bu ayrım, modellerin genelleme kapasitesini değerlendirmek ve performanslarını karşılaştırmak için standart bir yapı sağlamaktadır.

Deneysel çalışmalarda, YOLO mimarisine dayalı YOLOv5, YOLOv11, YOLOv10, YOLOv8, YOLOv9 ve YOLO World modelleri ile RT-DETR mimarisine ait tüm versiyonlar kullanılmıştır. Modellerin performansı, kesinlik, duyarlılık ve mAP50 gibi yaygın kullanılan değerlendirme metrikleri ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, her modelin en iyi performansa sahip versiyonları belirlenmiş ve bu sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Bu kapsamda, Tablo 1 hem YOLO ailesinin farklı versiyonlarının hem de RT-DETR-x modelinin performansını detaylı bir şekilde karşılaştırmaktadır. Bu analizler, modellerin doğruluk, genelleme yeteneği ve verimlilik açısından güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarak, mental foramen tespitinde hangi modelin daha uygun olabileceğine dair önemli sonuçlar sunmaktadır.

Tablo 1. Deneysel çalışmalardan elde edilen performans sonuçları

Modeller	Precision	Recall	mAP50
YOLOv11s	86,2	67,5	72,2
YOLOv10s	76,4	70	75,6
YOLOv8l	84,5	67,5	78,5
YOLOv5m	76,9	75	78,1
YOLOv9e	86,3	70	80,5
YOLO World-s	83,8	77,5	80,5
RT-DETR-x	89	85	85,6
YOLO: You only look once			

Tablo 1’de sunulan sonuçlar, her bir modelin en iyi performans gösteren versiyonlarını yansıtmaktadır. Tablo incelendiğinde, RT-DETR-x modeli, kesinlik (%89,0), duyarlılık (%85,0) ve mAP50 (%85,6) metriklerinde tüm modeller arasında en yüksek performansı sergileyerek dikkat çekmektedir. Bu sonuç, RT-DETR-x’in mental foramen bölgelerini yüksek doğrulukla ve minimum hata ile tespit edebildiğini göstermektedir. Özellikle yüksek duyarlılık değeri, modelin görüntülerdeki mental foramen bölgelerini kaçırmadan tespit etme yeteneğini vurgulamaktadır. Bu özellik, modelin genelleme kapasitesinin güçlü olduğunu ortaya koymaktadır.

YOLO modelleri arasında, YOLO World-s modeli, %77,5 kesinlik ve %80,5 mAP50 ile dengeli bir performans sunarak öne çıkmaktadır. Bu model, yüksek bir duyarlılık değerine sahip olmasıyla daha az hata yaparak doğru tespitler gerçekleştirmiştir. Öte yandan, YOLOv9e modeli, %80,5 mAP50 ile YOLO ailesi içinde en yüksek doğruluk oranına ulaşmış ve başarılı tespit kapasitesini göstermiştir. YOLOv11s modeli ise %86,2 kesinlik değeriyle özellikle yüksek doğruluk sağlarken, düşük duyarlılık değeri (%67,5) nedeniyle genelleme yeteneğinin sınırlı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar, RT-DETR-x modelinin, karmaşık dental görüntü verilerinde mental foramen tespiti için etkili bir algoritma olduğunu kanıtlamaktadır. Model, doğruluk, kapsamlılık ve genel performans (mAP50) açısından üstün sonuçlar sunmuş ve yüksek doğruluk gerektiren durumlar için öncelikli tercih olabileceğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, YOLO modelleri, özellikle hız ve doğruluk dengesi açısından etkili alternatifler olarak öne çıkmıştır. YOLO World-s ve YOLOv9e modelleri, hem duyarlılık hem de mAP50 değerlerinde tatmin edici sonuçlar sunmuş, pratik uygulamalar için güçlü seçenekler olarak değerlendirilmiştir.

Bu analiz, derin öğrenme modellerinin mental foramen tespiti gibi karmaşık görevlerdeki potansiyelini ve klinik uygulamalara yönelik pratik değerini ortaya koymaktadır. RT-DETR-x, üstün performansı ile öne çıkarken, YOLO modelleri kullanım kolaylığı ve verimlilik açısından önemli alternatifler sunmaktadır.

Bu sayısal sonuçlarına ek olarak Şekil 3’te görsel tahmin sonuçları verilmiştir. Şekil 3’te, her bir sütun farklı bir olgu örneğini (Örnek 1-5) gösterirken, satırlar sırasıyla gerçek etiket, YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11, YOLO-World ve RF-DETR modellerinin tespit sonuçlarını göstermektedir. Mavi kutular modeller tarafından tespit edilen ilgi alanlarını işaret etmektedir.

Şekil 3, panoramik diş röntgenlerinde mental foramen bölgesinin tespiti için kullanılan farklı nesne tespit modellerinin (YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11, YOLO-World ve RT-DETR) görsel sonuçlarını karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Görsel analizler, her modelin dental

görüntülerdeki tespit hassasiyetini ve doğruluk performansını değerlendirmek için önemli bir referans oluşturmaktadır. Genel olarak, RT-DETR modeli, tüm örneklerde mental foramen bölgesini doğru bir şekilde tespit etmiş ve diğer modellere kıyasla en yüksek doğruluk oranını sergilemiştir. Özellikle, Örnek 4 için yalnızca RT-DETR modeli mental foramen bölgesini doğru bir şekilde tespit edebilmiştir. Bu durum, RT-DETR’nin düşük kontrastlı ve karmaşık anatomik yapılar karşısında üstün performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örnek 1, 3 ve 5’te RT-DETR modelinin yanı sıra YOLO-World modeli de mental foramen bölgelerini doğru bir şekilde tespit etmiştir. Ancak diğer modeller, bu örneklerde yalnızca sınırlı başarı göstermiş ve bazı mental foramen bölgelerini tespit edememiştir. Örnek 2 analizinde, YOLOv5 modeli her iki mental foramen bölgesini başarıyla tespit ederken, YOLOv10 ve YOLO-World modelleri yalnızca bir mental foramen bölgesini doğru bir şekilde tespit edebilmiştir. Aynı örnekte, YOLOv8, YOLOv9 ve YOLOv11 modelleri, mental foramen bölgelerini doğru bir şekilde tespit edememiştir. Bu sonuçlar, modeller arasındaki performans farklılıklarını net bir şekilde göstermekte ve bazı modellerin düşük kontrastlı veya anatomik açıdan karmaşık görüntülerde sınırlı bir başarı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, RT-DETR modelinin, mental foramen tespiti için en tutarlı ve güvenilir model olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Model, tüm örneklerde yüksek doğruluk oranıyla dikkat çekmiş ve klinik uygulamalarda kullanıma uygun olduğunu göstermiştir. YOLO-World modeli, birçok durumda yüksek doğruluk sağlamakla birlikte, RT-DETR kadar tutarlı bir performans sergileyememiştir. Diğer YOLO modelleri arasında, YOLOv5, bazı örneklerde dikkate değer başarılar elde etmiştir ancak genel performans açısından diğer modellere kıyasla daha düşük kalmıştır.

Bu görsel sonuçlar, mental foramenin tespitinde derin öğrenme tabanlı modellerin güçlü ve zayıf yönlerini değerlendirmek için önemli bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle RT-DETR’nin bu görev için üstün bir algoritma olduğunu gösteren bu sonuçlar, klinik uygulamalarda hangi modellerin daha uygun olduğunu belirlemek adına önemli bir rehber işlevi görmektedir. Bu çalışma, dental radyografilerde yapay zeka tabanlı nesne tespiti çözümlerinin potansiyelini ve modellerin bu alandaki pratik uygulamalara katkısını vurgulamaktadır.

TARTIŞMA

A. Literatürdeki Mevcut Çalışmalar ve Çalışmanın Katkıları

Bu çalışma, panoramik dental görüntülerde mental foramenin tespiti ve lokalizasyonuna odaklanmaktadır. Mevcut literatür incelendiğinde, mental foramenin derin öğrenme tabanlı nesne tespiti modelleri ile otomatik olarak tespitine yönelik spesifik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürdeki mevcut

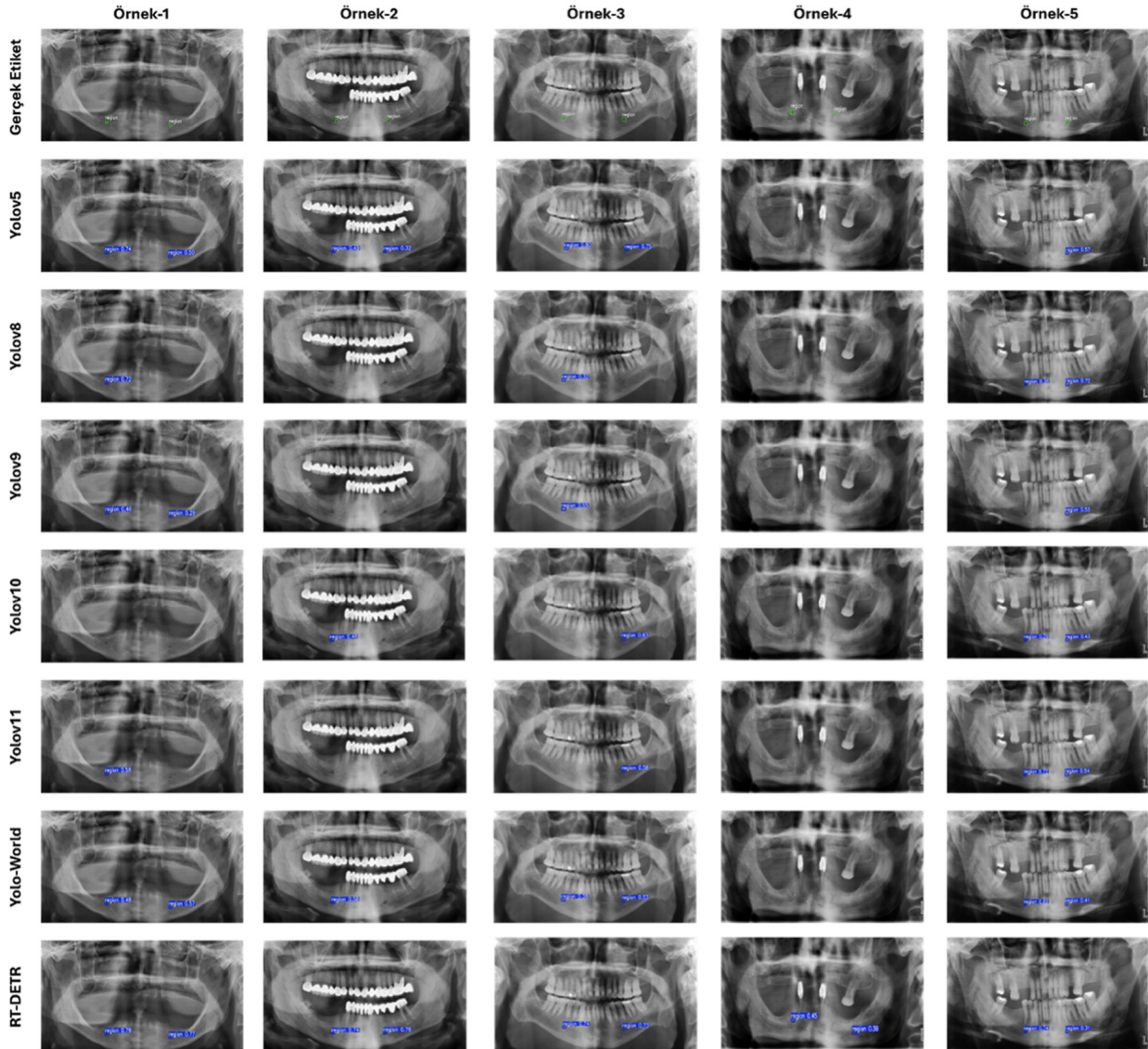
çalışmalar genellikle UNet gibi piksel tabanlı segmentasyon yöntemlerine dayanmakta ve mental foramenin sınırlarının detaylı analizine odaklanmaktadır. Ancak, bu yaklaşımlar bölgesel tespit yöntemlerinin sunduğu hız, doğruluk ve pratiklik avantajlarını sağlamaktan uzaktır. Bu bağlamda, önerilen çalışma, bölgesel tespit yöntemlerini ele alarak literatürdeki bu boşluğu gidermeyi ve bu alana önemli bir katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Mental foramen gibi küçük ve hassas anatomik yapıların doğru bir şekilde tespit edilmesi, dental cerrahi operasyonlar ve tanı süreçleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Önerilen RT-DETR ve YOLO tabanlı bölgesel tespit modelleri, manuel tespit sürecine olan bağımlılığı azaltarak hızlı ve etkili çözümler sunmaktadır. Çalışmada kullanılan modellerin karşılaştırmalı analizi, dental görüntüleme alanında hangi modellerin daha etkili olduğunu belirlemek için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma, panoramik dental görüntülerde mental foramen tespiti için bölgesel tespit modellerine dayalı ilk araştırmalardan biri olarak literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Önerilen yöntemlerin hem klinik iş akışlarını iyileştirme hem de akademik araştırmalara yeni bir yön verme potansiyeli bulunmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların daha büyük veri setleri, gelişmiş optimizasyon yöntemleri ve çok modlu veri entegrasyonuna odaklanarak bu alandaki ilerlemeyi daha da ileriye taşıması beklenmektedir.

B. Geliştirilen Gerçek Zamanlı Web Uygulaması

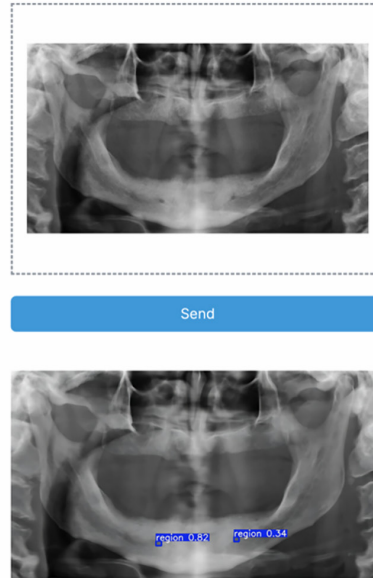
Çalışmanın bir diğer önemli katkısı, geliştirilen web tabanlı gerçek zamanlı tespit uygulamasıdır. Bu uygulama, kullanıcıların panoramik dental görüntüleri sisteme yükleyerek mental foramen bölgelerini hızlı bir şekilde tespit etmelerine ve görselleştirmelerine olanak tanımaktadır.



Şekil 3. Görsel tahmin sonuçları

Panoramik Radyografilerde Yapay Zeka Destekli Mental Foramen Tespiti

Panoramik diş görüntülerinde mental foramenlerin hassas bir şekilde tespit edilmesi, diş hekimliğinde çok sayıda klinik ve teşhis uygulaması için gereklidir. Bu çalışmada, YOLO ailesinin birden fazla versiyonu (YoloV11s, YoloV10s, YoloV8l, YoloV5m, YoloV9e ve Yolo World-s) ve RT-DETR mimarisi dahil olmak üzere gelişmiş derin öğrenme tabanlı nesne algılama modellerinin mental foramenlerin tanımlanması ve lokalizasyonu için performansı araştırılmaktadır. Model eğitimi ve değerlendirilmesi için diş uzmanları tarafından manuel olarak açıklanan 100 anonimleştirilmiş panoramik diş görüntüsünden oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır. Modeller Hassasiyet, Geri Çağırma ve mAP50 gibi standart ölçütler kullanılarak değerlendirilmiş ve RT-DETR-x mimarisi %89,0 Hassasiyet, %85,0 Geri Çağırma ve %85,6 mAP50 ile en yüksek performansı elde etmiştir. Özellikle, Yolo World-s ve YoloV9e de tespit doğruluğu ve hesaplama verimliliğini etkili bir şekilde dengeleyerek rekabetçi sonuçlar sergilemiştir. Bulgular, yapay zeka tabanlı tespit sistemlerinin diş teşhisini otomatikleştirmede ve kolaylaştırmada klinik uygulanabilirliğini vurgulamakta ve derin öğrenme modellerinin karmaşık anatomik varyasyonları ve görüntüleme zorluklarını ele almadaki sağlamlığını göstermektedir. Bu araştırma, model genellemesini ve doğruluğunu daha da geliştirmek için veri setini genişletme ve gelişmiş topluluk tekniklerini entegre etme önerileriyle otomatik diş teşhisinde gelecekteki ilerlemeler için bir temel oluşturmaktadır.



Şekil 4. Uygulama arayüzü

Sistem, teşhis süreçlerinde manuel işleme olan bağımlılığı ortadan kaldırarak zaman tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, doğru ve tutarlı sonuçlar üreterek teşhis doğruluğunu artırmayı hedeflemektedir.

Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde, uygulama özellikle yoğun iş temposuna sahip diş hekimleri için pratik bir çözüm sunmaktadır. Bunun yanı sıra, röntgen okuma konusunda deneyimsiz yeni mezunlara süreç boyunca rehberlik ederek tanı koyma yeteneklerini geliştirmelerine destek olmaktadır. Bu özellikler, sistemin klinik ortamda etkin bir şekilde kullanılmasını ve teşhis süreçlerinin daha verimli hale getirilmesini sağlamaktadır.

Geliştirilen uygulamaya ait örnek bir ekran görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir. Uygulamanın demo sürümüne <https://muammerturkoglu.com/apps/foramen-mentale-detection> adresinden erişilebilir. Bu sistem yalnızca tanı süreçlerini kolaylaştırmakla kalmamakta, aynı zamanda dental tedavilerde güvenilirliği artırarak hasta memnuniyetini iyileştirme potansiyeline sahiptir.

Çalışmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, panoramik dental görüntüler üzerinde gerçekleştirilmiş olup, kullanılan veri seti sınırlı sayıda görüntüden (100 panoramik dental görüntü) oluşmaktadır. Veri setinin sınırlı olması, modellerin genelleme kapasitelerinin tam anlamıyla değerlendirilememesine yol açmış olabilir. Daha geniş ve çeşitli bir veri setinin kullanılması, modellerin farklı yaş gruplarını, anatomik varyasyonları ve çeşitli görüntüleme koşullarını öğrenerek genelleme yeteneklerini artırabilir. Bunun yanı sıra, düşük kaliteli veya bozulmuş görüntülerde

modellerin sınırlı başarı göstermesi, daha kapsamlı veri artırma (data augmentation) teknikleriyle iyileştirilebilir.

Önerilen modellerin hiperparametre optimizasyonu ve farklı eğitim stratejilerinin detaylı bir şekilde ele alınması, performanslarını daha da artırmak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Panoramik görüntülere ek olarak, 3D görüntüleme verilerinin [örneğin; konik ışınli bilgisayarlı tomografiler (KIBT) veya manyetik rezonans görüntüleme (MRG)] entegrasyonu, modellerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırabilir. Ayrıca, RT-DETR ve YOLO gibi güçlü modellerin avantajlarını birleştiren topluluk (*ensemble*) yöntemlerinin uygulanması, daha dengeli ve yüksek performanslı tespit sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Geliştirilen modellerin klinik ortamda daha kapsamlı testlerden geçirilmesi, bu sistemlerin gerçek dünya uygulamalarındaki başarısını değerlendirmek ve kullanıcı deneyimlerine göre optimize edilmesini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Deneyisel çalışmalardan elde edilen sonuçlara dayalı olarak modellerin genelleme kapasitelerini artırmak ve daha geniş bir kullanım alanı sağlamak için aşağıdaki geliştirmeler önerilmektedir:

- **Daha büyük ve çeşitlendirilmiş veri setleri:** Gelecekte farklı yaş gruplarını, anatomik varyasyonları ve görüntüleme koşullarını içeren daha büyük ve çeşitli veri setlerinin kullanılması, modellerin genelleme yeteneklerini artırabilir.
- **Çok modlu veri entegrasyonu:** Panoramik görüntülerle birlikte 3D görüntüleme verilerinin (örneğin; KIBT veya MRG) entegrasyonu, tespit doğruluğunu ve güvenilirliğini artırabilir.

• **Topluluk(ensemble)modeller:** RT-DETR ve YOLO gibi güçlü modellerin avantajlarını birleştiren topluluk yöntemlerinin uygulanması, daha dengeli ve yüksek performanslı tespit sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir.

• **Klinik test ve optimizasyon:** Geliştirilen modellerin klinik ortamda geniş kapsamlı testleri yapılmalı ve kullanıcı deneyimlerine göre optimize edilmelidir.

Bu öneriler, mental foramen tespiti gibi hassas anatomik yapıların tespitinde daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlayarak, yapay zeka tabanlı dental çözümlerin potansiyelini daha da artırabilir.

SONUÇ

Bu çalışmada, panoramik radyografi görüntülerinde mental foramenlerin tespiti ve lokalizasyonu, son teknoloji derin öğrenme tabanlı nesne tespit modelleri kullanılarak ele alınmıştır. YOLO ailesine ait modeller ve RT-DETR mimarisi kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmış, performansları hassasiyet, geri çağırma ve mAP50 gibi metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları, RT-DETR-x mimarisinin genel olarak en yüksek performansı sergilediğini ve karmaşık dental görüntülerde mental foramen bölgelerini doğru ve güvenilir bir şekilde tespit edebildiğini ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, YOLO modellerinden YOLO-World-s ve YOLOv9e, tespit doğruluğu ile hesaplama verimliliği arasında dengeli bir performans sunarak dikkat çekici sonuçlar elde etmiştir.

Çalışmanın en önemli katkılarından biri, kullanıcıların panoramik radyolojik görüntüleri yükleyerek mental foramen bölgelerini anında görselleştirebildikleri web tabanlı gerçek zamanlı bir uygulamanın geliştirilmesidir. Bu uygulama, önerilen modellerin klinik iş akışlarına entegrasyonunu kolaylaştırarak diş hekimleri için kullanıcı dostu ve pratik bir çözüm sunmaktadır. Sistem, tespit sürecini otomatikleştirerek teşhis süresini önemli ölçüde azaltma ve dental görüntüleme analizindeki doğruluğu artırma potansiyeline sahiptir.

Elde edilen sonuçlar, derin öğrenme tabanlı nesne tespit modellerinin dental radyografilerdeki anatomik varyasyonlar ve görüntüleme zorlukları karşısındaki sağlamlığını ve esnekliğini vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmalar, modellerin genellenebilirliğini artırmak için daha geniş ve çeşitli bir veri kümesi kullanmayı hedefleyebilir. Ayrıca, gelişmiş topluluk yöntemlerinin entegrasyonu veya çok modlu görüntüleme verilerinin kullanımı, tespit doğruluğu ve güvenilirliği daha da artırabilir.

Genel olarak bu çalışma, dental görüntüleme alanında yapay zeka uygulamaları için önemli bir adım atarak, otomatik tespit sistemlerinin klinik sonuçları iyileştirme ve teşhis süreçlerini

kolaylaştırma potansiyelini ortaya koymaktadır. Çalışmada sunulan bulgular ve metodolojiler, bu alanda yapılacak gelecekteki araştırmalar için sağlam bir temel oluşturabilir ve yapay zeka destekli dental teşhis sistemlerinde daha fazla ilerlemeyi teşvik edebilir.

Etik

Etik Komite Onayı: Bu çalışma Mersin Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan (743/2024) onay alınmasını takiben gerçekleştirilmiştir.

Dipnot

Yazarlık Katkıları

Konsept: A.Ç., M.T., G.N.A., A.Ö.K., Dizayn: A.Ç., M.T., G.N.A., A.Ö.K., Veri Toplama veya İşleme: A.Ç., M.T., G.N.A., D.B.K., Analiz veya Yorumlama: A.Ç., M.T., G.N.A., Yazan: A.Ç., M.T., G.N.A., D.B.K., F.A.

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. De Andrade E, Otomo-Corgel J, Pucher J, Ranganath KA, St George N Jr. The intraosseous course of the mandibular incisive nerve in the mandibular symphysis. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2001;21(6):591-7.
2. Mraiwa N, Jacobs R, Moerman P, Lambrichts I, van Steenberghe D, Quirynen M. Presence and course of the incisive canal in the human mandibular interforaminal region: two-dimensional imaging versus anatomical observations. *Surg Radiol Anat.* 2003;25(5-6):416-23.
3. Di Lenarda R, Cadenaro M, Stacchi C. Paresthesia of the mental nerve induced by periapical infection: a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000;90(6):746-9.
4. Gambarini G, Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Prencipe M, Messineo D, Frattini L, et al. Differential diagnosis of endodontic-related inferior alveolar nerve paraesthesia with cone beam computed tomography: a case report. *Int Endod J.* 2011;44(2):176-81.
5. Yeler H, Ozeç I, Kiliç E. Infection-related inferior alveolar and mental nerve paresthesia: case reports. *Quintessence Int.* 2004;35(4):313-6.
6. Neves FS, Torres MG, Oliveira C, Campos PS, Crusoe-Rebello I. Lingual accessory mental foramen: a report of an extremely rare anatomical variation. *J Oral Sci.* 2010;52(3):501-3.
7. Phillips JL, Weller RN, Kulild JC. Size, orientation, and positional relationship to the mandibular second premolar. *J Endod.* 1990;16(5):221-3.
8. Gupta V, Pitti P, Sholapurkar A. Panoramic radiographic study of mental foramen in selected dravidians of south Indian population: a hospital based study. *J Clin Exp Dent.* 2015;7(4):e451-6.
9. Budhiraja V, Rastogi R, Lalwani R, Goel P, Bose SC. Study of position, shape, and size of mental foramen utilizing various parameters in dry adult human mandibles from North India. *ISRN Anat.* 2013;2013:1-5.
10. Shan T, Tay FR, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry. *J Dental Res.* 2021;100(3):232-44.
11. Imak A, Celebi A, Siddique K, Turkoglu M, Sengur A, Saram I. Dental caries detection using score-based multi-input deep convolutional neural network. *IEEE Access.* 2022;10:18320-9.

12. Lee S, Oh SI, Jo J, Kang S, Shin Y, Park JW. Deep learning for early dental caries detection in bitewing radiographs. *Sci Rep*. 2021;11(1):16807.
13. Thanh MTG, Van Toan N, Ngoc VTN, Tra NT, Giap CN, Nguyen DM. Deep learning application in dental caries detection using intraoral photos taken by smartphones. *App Sci*. 2022;12(11):5504.
14. Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent*. 2018;77:106-11.
15. Imak A, Çelebi A, Polat O, Türkoğlu M, Şengür A. ResMBCU-Net: an encoder-decoder network with residual blocks, modified inverted residual block, and bi-directional ConvLSTM for impacted tooth segmentation in panoramic X-ray images. *Oral Radiol*. 2023;39(4):614-28.
16. Celik ME. Deep learning based detection tool for impacted mandibular third molar teeth. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(4):942.
17. Kuwada C, Arijji Y, Fukuda M, Kise Y, Fujita H, Katsumata A, et al. Deep learning systems for detecting and classifying the presence of impacted supernumerary teeth in the maxillary incisor region on panoramic radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2020;130(4):464-9.
18. Durmuş M, Ergen B, Çelebi A, Türkoğlu M. Panoramik diş görüntülerinde derin evrimsel sinir ağına dayalı gömülü diş tespiti ve segmentasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 2023;38(3):713-24.
19. Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM, Krasnov AS, Kharchenko MA, Nikolenko SI, et al. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019;48(4):20180051.
20. Fukuda M, Inamoto K, Shibata N, Arijji Y, Yanashita Y, Kutsuna S, et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol*. 2020;36(4):337-43.
21. Dashti M, Ghaedsharaf S, Ghasemi S, Zare N, Constantin EF, Fahimipour A, et al. Evaluation of deep learning and convolutional neural network algorithms for mandibular fracture detection using radiographic images: A systematic review and meta-analysis. *Imaging Sci Dent*. 2024;54(3):232-9.
22. Son DM, Yoon YA, Kwon HJ, An CH, Lee SH. Automatic detection of mandibular fractures in panoramic radiographs using deep learning. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(6):933.
23. Park J, Lee J, Moon S, Lee K. Deep learning based detection of missing tooth regions for dental implant planning in panoramic radiographic images. *App Sci*. 2022;12(3):1595.
24. Verma D, Puri S, Prabhu S, Smriti K. Anomaly detection in panoramic dental X-rays using a hybrid deep learning and machine learning approach. In: 2020 IEEE region 10 conference (TENCON). IEEE; 2020: 263-268.
25. Imak A, Çelebi A, Türkoğlu M, Şengür A. Dental material detection based on faster regional convolutional neural networks and shape features. *Neural Processing Letters*. 2022;54(3):2107-26.
26. Van Leemput P, Keustermans J, Mollemans W. Statistical validation of a deep learning algorithm for dental anomaly detection in intraoral radiographs using paired data. *arXiv*. [preprint]. 2024.
27. Dasanayaka C, Dharmasena B, Bandara WR, Dissanayake MB, Jayasinghe R. Segmentation of mental foramen in dental panoramic tomography using deep learning. In: 2019 14th Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). IEEE; 2019:81-84.
28. Kats L, Vered M, Blumer S, Kats E. Neural network detection and segmentation of mental foramen in panoramic imaging. *J Clin Pediatr Dent*. 2020;44(3):168-73.
29. Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A. You only look once: unified, real-time object detection. *arXiv*. [preprint]. 2016.
30. Farhadi A, Redmon J. YOLOv3: An incremental improvement. In: Computer vision and pattern recognition. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer. 2018;1804:1-6.
31. Ultralytics. YOLOv5. Erişim adresi: <https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolov5/>. Erişim tarihi: 27 Kasım 2024.
32. Ultralytics. YOLOv8. Erişim adresi: <https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolov8/>. Erişim tarihi: 27 Kasım 2024.
33. Wang C-Y, Liao H-YM. YOLOv9: learning what you want to learn using programmable gradient information. 2024.
34. Wang A, Chen H, Liu L, Chen K, Lin Z, Han J, et al. YOLOv10: real-time end-to-end object detection. *arXiv*. [preprint]. 2024.
35. Ultralytics. YOLOv11. Erişim adresi: <https://docs.ultralytics.com/tr/models/yolo11/>. Erişim tarihi: 27 Kasım 2024.
36. Cheng T, Song L, Ge Y, Liu W, Wang X, Shan Y. Yolo-world: real-time open-vocabulary object detection. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2024:16901-11.
37. Zhao Y, Lv W, Xu S, Wei J, Wang G, Dang Q, et al. Detsr beat yolos on real-time object detection. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2024:16965-74.
38. Zhao Z, Chen S, Ge Y, Yang P, Wang Y, Song Y. Rt-detr-tomato: Tomato target detection algorithm based on improved rt-detr for agricultural safety production. *App Sci*. 2024;14(14):6287.
39. Li X, Cai M, Tan X, Yin C, Chen W, Liu Z, et al. An efficient transformer network for detecting multi-scale chicken in complex free-range farming environments via improved RT-DETR. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024;224:109160.
40. Zhu M, Kong E. Multi-scale fusion uncrewed aerial vehicle detection based on RT-DETR. *Electronics*. 2024;13(8):1489.



The Impact of COVID-19 on Prognosis of Acute Limb Ischemia

Akut Ekstremitte İskemisi Prognozunda COVID-19 Etkisi

Bilal Perçin, Salih Salihi, Halilibrahim Erkengel

Clinic of Cardiovascular Surgery, Sakarya Training and Research Hospital, Sakarya, Türkiye

ABSTRACT

Objective: To validate the hypercoagulability state of coronavirus disease-2019 (COVID-19) disease on the prognosis of patients with acute peripheral arterial thrombosis.

Methods: Patients presenting to emergency services with symptoms of acute limb ischemia were divided into two groups. COVID-19 positive patients were named group 1. All patients were treated according to the indications of the acute limb ischemia classification. COVID-19 positive patients were also treated with the pandemic protocols. The study was designed retrospectively, and data were collected from patient records.

Results: One hundred twenty-four patients were evaluated. D-dimer levels were higher in group 1. Fifty-eight of group 1 and 39 of group 2 patients underwent emergent surgery for thrombectomy. Three patients from group 2 needed intensive care, but only one was intubated. Eighteen of group 1 and seven of group 2 patients needed fasciotomies. After revascularization surgery, seven patients from group 1 and two patients from group 2 had ongoing ischemic symptoms (p-value <0.05). Amputation was inevitable for them. Six patients from group 1 had acute myocardial infarction. Twelve patients from group 1 and three patients from group 2 needed haemodialysis for acute renal failure. Eleven patients died in the intensive care unit from group 1, with no deaths in group 2.

Conclusion: Severe COVID-19 infection induces a highly prothrombotic state. The prevalence of acute limb ischemia is high and is associated with adverse clinical outcomes.

Keywords: COVID-19, hypercoagulability, acute arterial thrombosis, prognosis

ÖZ

Amaç: Koronavirüs hastalığı-2019 (COVID-19) hastalığının hiperkoagülabilité durumunun, akut periferik arter trombozu olan hastaların prognozu üzerindeki etkisini doğrulamaktır.

Yöntemler: Acil servise akut ekstremitte iskemisi semptomlarıyla başvuran hastalar iki gruba ayrıldı. COVID-19 pozitif hastalar grup 1 olarak adlandırıldı. Tüm hastalar, akut ekstremitte iskemisi sınıflandırmasına göre tedavi edildi. COVID-19 pozitif hastalar ayrıca pandemi protokollerine göre tedavi edildi. Çalışma geriye dönük olarak tasarlanmış olup, veriler hasta kayıtlarından toplanmıştır.

Bulgular: Yüz yirmi dört hasta değerlendirildi. Grup 1'de D-dimer seviyeleri daha yüksekti. Grup 1'de 58, grup 2'de ise 39 hasta acil olarak trombektomi için cerrahi müdahale gördü. Grup 2'den üç hasta yoğun bakım ünitesine alındı, ancak sadece birisi entübe edildi. Grup 1'de 18, grup 2'de ise 7 hasta fasiotomiye ihtiyaç duydu. Revaskülarizasyon cerrahisinden sonra, grup 1'den 7 hasta ve grup 2'den 2 hasta devam eden iskemisi semptomları gösterdi (p-değeri <0,05). Bu hastalar için amputasyon kaçınılmaz oldu. Grup 1'de 6 hasta akut miyokard infarktüsü geçirdi. Grup 1'de 12 hasta ve grup 2'de 3 hasta akut böbrek yetmezliği nedeniyle hemodiyaliz aldı. Grup 1'de yoğun bakım ünitesinde 11 hasta hayatını kaybetti, grup 2'de ise ölüm olmadı.

Sonuç: Şiddetli COVID-19 enfeksiyonu, yüksek derecede prokoagülan bir durumu tetikler. Akut ekstremitte iskemisi prevalansı yüksektir ve kötü klinik sonuçlarla ilişkilidir.

Anahtar kelimeler: COVID-19, hiperkoagülabilité, akut arteriyel tromboz, prognoz

INTRODUCTION

Since March 2020, the global coronavirus disease-2019 (COVID-19) pandemic has brought increased attention to thrombosis in affected patients. Hypercoagulability is a crucial

aspect of the disease, with numerous studies establishing a strong link between COVID-19 and coagulopathy (1-3). Notable alterations have been observed in fibrinolysis markers, including D-dimer, fibrinogen, and fibrin degradation

Corresponding Author/Sorumlu Yazar: Bilal Perçin

Clinic of Cardiovascular Surgery, Sakarya Training and Research Hospital, Sakarya, Türkiye

E-mail: bilalpercin@gmail.com

ORCID ID: orcid.org/0000-0002-1873-602X

Received/Geliş Tarihi: 20.02.2025 **Accepted/Kabul Tarihi:** 07.04.2025 **Publication Date/Yayınlanma Tarihi:** 30.04.2025

Cite this article as/Atıf: Perçin B, Salihi S, Erkengel H. The impact of COVID-19 on prognosis of acute limb ischemia. J Health Inst Turk. 2025;8(1):12-15



products (FDP), as well as coagulation parameters such as prothrombin time (PT) and antiphospholipid antibodies (APLAs, anticardiolipin IgA, anti- β 2-glycoprotein I IgA, and IgG) (1-3). Dysregulated coagulation and fibrinolysis play a significant role in COVID-19 severity and mortality. Elevated levels of D-dimer, PT, and FDP are associated with more severe disease progression (1,2). Although respiratory complications remain the hallmark of COVID-19, studies indicate that elevated D-dimer levels, accompanied by acute limb ischemia, correlate with higher mortality (1,2). These findings suggest that COVID-19 induces a distinct coagulation disorder. Autopsies of COVID-19 patients reveal the presence of fibrin thrombi within small vessels and capillaries, along with extensive extracellular fibrin deposits (3,4). Patients suffering from acute peripheral arterial occlusion face greater complications due to the pandemic, with hypercoagulability being a key contributor to poor prognosis. Symptoms such as pallor, numbness, and paresthesia become more pronounced, followed by pain and a reduced quality of life. This study aims to elucidate the thrombophilic impact of COVID-19 on the prognosis of patients with acute peripheral arterial occlusion.

MATERIALS AND METHODS

Study Design and Patient Selection

This retrospective case-control study was conducted to identify potential risk factors for acute limb ischemia in COVID-19 patients. Data were extracted from electronic hospital records, including demographic characteristics such as age, body mass index, sex, medical history, and treatment regimens (Table 1).

A total of 144 patients over 18 years old, admitted to our hospital between March 1, 2020, and December 31, 2020, with acute limb ischemia symptoms, were assessed. Peripheral vascular Doppler ultrasound was used for arterial evaluation, with intravenous contrast-enhanced computed tomography (CT) employed when further diagnostics were required. After excluding 20 patients without acute limb ischemia, 124 cases met the study criteria. Patients were classified into two groups based on COVID-19 status. COVID-19 was diagnosed using polymerase chain reaction (PCR) testing on nasopharyngeal swabs. Patients with negative PCR results but positive CT findings indicative of COVID-19 were also classified as COVID-19 positive. Additional clinical data, including laboratory findings (hemoglobin, blood cell counts, coagulation parameters, cardiac biomarkers, and creatinine levels) and radiologic assessments, were collected. Eighty patients tested positive for COVID-19 (Group 1), while forty-four tested negative (Group 2). Patients were further categorized according to the Rutherford classification for acute limb ischemia (5).

Treatment Approach

All patients received anticoagulant and antiaggregant therapy, with surgery performed when indicated. Patients classified as Rutherford Class 2b underwent urgent thrombectomy. Group 1 patients received COVID-19 treatment as per the Turkish Ministry of Health guidelines, along with medications for peripheral vascular disease. Therapeutic interventions included iloprost, cilostazol, low molecular weight heparins (LMWH) at therapeutic doses, and acetylsalicylates, while comorbid conditions were managed accordingly. COVID-19 severity was categorized per the Chinese Management Guidelines for COVID-19 into general, severe, and critical illness based on clinical and radiological findings.

Data Collection

This study adhered to the ethical principles of the Helsinki Declaration and was approved by the Ethics Committee of Sakarya University Medical Faculty (approval no: E-71522473-050.01.04-645, date: 03.13.2020).

Statistical Analysis

Statistical analyses were conducted using IBM SPSS Statistics version 26 and Microsoft Excel version 16.0. Demographic

Table 1. Patient characteristics

	Group 1 n/percent	Group 2 n/percent	p-value
Age, year (mean)	63.4	57.2	>0.05
Male sex	51 (63%)	26 (26%)	>0.05
BMI	29	28	>0.05
Hypertension	62 (77%)	33 (73%)	>0.05
DM	51 (63%)	17 (38%)	>0.05
Hyperlipidemia	43 (54%)	16 (35%)	>0.05
Smoking	50 (62%)	33 (73%)	>0.05
CAD	47 (58%)	22 (50%)	>0.05
COPD	37 (46%)	22 (50%)	>0.05
AF	14 (17%)	5 (11%)	>0.05
Concomitant DVT	9 (11%)	2 (3%)	<0.05
Malignancy	4 (3.2%)	0 (0%)	None
Complaints			
Extremity pain	80 (100%)	44 (100%)	>0.05
Numbness	48 (61%)	19 (47%)	>0.05
Pallor	47 (60%)	24 (58%)	>0.05
Paralysis	17 (24%)	2 (5%)	<0.05
Exposure COVID-19	44 (52%)	12 (26%)	<0.05

BMI: Body mass index, DM: Diabetes mellitus, CAD: Coronary artery disease, COPD: Chronic obstructive pulmonary disease, AF: Atrial fibrillation, DVT: Deep vein thrombosis, COVID-19: Coronavirus disease-2019

Table 2. Laboratory values			
	Group 1	Group 2	p-value
Total number	80	44	
WBC, ×10/L	11.7 (9.1-17.7)	10.5 (8.9-15.6)	>0.05
Neutrophil count, ×10/L	9.6 (6.7-14.4)	8.9 (7.5-12.2)	>0.05
Lymphocyte count, ×10/L	2.1 (1.8-2.2)	1.8 (1.5-2.3)	>0.05
Neutrophil to lymphocyte ratio	11.1 (7.3-19.4)	9.4 (7.3-11.1)	>0.05
Hemoglobin, g/dL	11.2±2.3	12.4±2.8	>0.05
Platelet count, ×10/L	244.6 (214.6-274.1)	257.64 (231.6-289.2)	>0.05
Prothrombin time, seconds	17.1 (16.2-19.1)	15.8 (14.1-17.2)	>0.05
aPTT, seconds	35.5 (33.7-44)	34.3 (32.4-41.1)	>0.05
CPK, U/L	167.1 (65.4-233-4)	145.7 (64.4-221.1)	>0.05
Average in-hospital D-dimer, mg/mL	21.93 (18.25-26-97)	17.28 (11.62-22.88)	>0.05
First D-dimer, mg/mL	19.88 (9.79-32)	16.79 (9.79-23.6)	>0.05
Fibrinogen, mg/dL	401 (320-529)	526.2 (341.6-589.1)	>0.05
CRP, mg/dL	14.2 (5.24-26.1)	12.3 (5.24-18.2)	>0.05
Lactate dehydrogenase, U/L	448 (388.5-522.5)	416.2 (343.7-492.5)	>0.05
WBC: White blood cell, aPTT: Activated partial thrombin time, CPK: Creatine phosphokinase, CRP: C-reactive protein			

data distributions were assessed using ANOVA and Tukey tests. Normally distributed data were expressed as mean ± standard deviation, while non-normally distributed data were presented as median and interquartile range. A p-value <0.05 was considered statistically significant.

RESULTS

Both groups had similar age distributions. However, a significant difference was noted in the incidence of deep venous thrombosis, which was observed in Group 1 but absent in Group 2 ($p<0.05$). Comorbidities such as type 2 diabetes, hyperlipidemia, smoking, and chronic obstructive pulmonary disease were present in varying proportions but did not yield statistically significant differences. Most ischemic events occurred in the lower extremities (89%), with a small proportion of bilateral involvement (3%) exclusively in Group 1. D-dimer levels were significantly elevated in Group 1 both at admission and during hospitalization (Table 2). Primary patency rates were 100% in Group 2 but dropped to 88% in

Group 1 following thrombectomy ($p<0.05$). Amputation rates were also higher in Group 1. Intensive care unit admissions, inotropic support, and intubation rates were significantly greater among COVID-19 patients. The mean hospital stay was substantially longer for Group 1 (24 ± 8 days) compared to Group 2 (8 ± 4 days, $p<0.05$).

DISCUSSION

Thrombosis has emerged as a major clinical challenge, particularly in COVID-19 patients. Since April 2020, numerous studies have highlighted the increased thrombotic risk associated with severe acute respiratory syndrome-coronavirus-2 infection. COVID-19 triggers both venous and arterial thrombosis (6-11), with acute limb ischemia becoming increasingly recognized during the pandemic (8-11). Early and meticulous assessment of COVID-19 patients presenting with non-specific symptoms is crucial for timely thrombosis diagnosis. Doppler ultrasound serves as an effective diagnostic tool for evaluating both arterial and venous limb pathologies. Notably, bilateral lower limb ischemia was only observed in COVID-19 patients. The severity of COVID-19 significantly influences peripheral arterial thromboembolism prognosis, as systemic complications further worsen outcomes. Additionally, corticosteroids used in treatment may exacerbate thrombophilia (3). Conventional management strategies for acute limb ischemia appear inadequate in COVID-19 patients, necessitating the early initiation of anticoagulation with LMWH. Surgical success rates remain suboptimal, with increased complications and amputation rates (8-11). Thus, rigorous monitoring of ischemic symptoms is essential in COVID-19 patients.

CONCLUSION

Severe COVID-19 is characterized by a hypercoagulable state, predisposing patients to arterial, venous, and microvascular thrombosis. The prevalence of acute limb ischemia is notably high in COVID-19 patients, leading to poorer clinical outcomes, reduced therapeutic success, and higher complication rates.

Ethics

Ethics Committee Approval: This study adhered to the ethical principles of the Helsinki Declaration and was approved by the Ethics Committee of Sakarya University Medical Faculty (approval no: E-71522473-050.01-04-645, date: 03.12.2020).

Footnotes

Authorship Contributions

Concept: B.P., Design: B.P., S.S., H.E., Data Collection or Processing: B.P., Writing: B.P., S.S., H.E.

Conflict of Interest: No conflict of interest was declared by the authors.

Financial Disclosure: The authors declared that this study received no financial support.

REFERENCES

1. Al-Samkari H, Karp Leaf RS, Dzik WH, Carlson JCT, Fogerty AE, Waheed A, et al. COVID-19 and coagulation: bleeding and thrombotic manifestations of SARS-CoV-2 infection. *Blood*. 2020;136(4):489-500.
2. Koleilat I, Galen B, Choinski K, Hatch AN, Jones DB, Billett H, et al. Clinical characteristics of acute lower extremity deep venous thrombosis diagnosed by duplex in patients hospitalized for coronavirus disease 2019. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*. 2021;9(1):36-46.
3. Klok FA, Kruip MJHA, van der Meer NJM, Arbous MS, Gommers DAMPJ, Kant KM, et al. Incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19. *Thromb Res*. 2020;191:145-7.
4. Tang N, Bai H, Chen X, Gong J, Li D, Sun Z. Anticoagulant treatment is associated with decreased mortality in severe coronavirus disease 2019 patients with coagulopathy. *J Thromb Haemost*. 2020;18(5):1094-9.
5. Björck M, Earnshaw JJ, Acosta S, Bastos Gonçalves F, Cochenne F, Debus ES, et al. Editor's Choice - European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2020 Clinical Practice Guidelines on the Management of Acute Limb Ischaemia. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2020;59(2):173-218.
6. Bikdeli B, Madhavan MV, Jimenez D, Chuich T, Dreyfus I, Driggin E, et al. COVID-19 and thrombotic or thromboembolic disease: implications for prevention, antithrombotic therapy, and follow-up: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol*. 2020;75(23):2950-73.
7. Goyal P, Choi JJ, Pinheiro LC, Schenck EJ, Chen R, Jabri A, et al. Clinical characteristics of Covid-19 in New York city. *N Engl J Med*. 2020;382(24):2372-4.
8. Obi AT, Barnes GD, Wakefield TW, Brown S, Eliason JL, Arndt E, et al. Practical diagnosis and treatment of suspected venous thromboembolism during COVID-19 pandemic. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*. 2020;8(4):526-34.
9. Tang N, Li D, Wang X, Sun Z. Abnormal coagulation parameters are associated with poor prognosis in patients with novel coronavirus pneumonia. *J Thromb Haemost*. 2020;18(4):844-7.
10. Wang D, Hu B, Hu C, Zhu F, Liu X, Zhang J, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*. 2020;323(11):1061-9. Erratum in: *JAMA*. 2021;325(11):1113.
11. Cattaneo M, Bertinato EM, Biocchi S, Brizio C, Malavolta D, Manzoni M, et al. Pulmonary embolism or pulmonary thrombosis in COVID-19? Is the recommendation to use high-dose heparin for thromboprophylaxis justified? *Thromb Haemost*. 2020;120(8):1230-2.



Acil Sağlık Hizmetleri ve Ambulanslarda Akıllı İnfüzyon Pompaları Kullanımının Ekonomik Etkileri

Economic Impacts of the Use of Smart Infusion Pumps in Healthcare Institutions

İbrahim Çınar¹, İbrahim Çatak²

¹İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, İzmir, Türkiye

²İzmir İl Sağlık Müdürlüğü, Acil Sağlık Hizmetleri Başkanlığı, İzmir, Türkiye

ÖZ

Bu derleme, akıllı infüzyon pompalarının ambulans ve acil sağlık hizmetlerinde kullanımının ekonomik etkilerini ele almaktadır. Akıllı infüzyon pompaları, ilaç ve sıvıların doğru dozda ve güvenli şekilde uygulanmasını sağlayarak hasta güvenliğini artırmakta ve sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmaktadır. Özellikle 112 kara, hava ve deniz ambulanslarında hasta nakilleri sırasında bu cihazların kullanımı büyük önem taşımaktadır. Ambulanslarda kullanılan pompaların hastane cihazlarıyla uyumlu olması, nakiller sırasında cihaz değişikliği ihtiyacını önleyerek süreci kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte, cihazların kaybolması veya eksik bakımı sağlık kuruluşlarına ek maliyetler yaratabilir. Eğitim eksiklikleri ise sağlık çalışanlarının kullanımda hata yapma riskini artırabilir. Cihazların düzenli bakım ve kalibrasyonu, kullanım ömrünü uzatarak ekonomik verimliliği artırırken, nesnelerin internet teknolojisi ile entegre edilmiş akıllı infüzyon pompaları sayesinde uzaktan izleme imkanı sağlanabilmektedir. Bu çalışma, akıllı infüzyon pompalarının ekonomik etkilerini değerlendirerek düzenli bakım, eğitim ve sistem uyumluluğunun önemini vurgulamakta ve bu alandaki araştırmaların artırılmasını teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı tıbbi cihazlar, infüzyon pompası, sağlık ekonomisi

ABSTRACT

This review examines the economic impact of using smart infusion pumps in ambulance and emergency medical services. Smart infusion pumps ensure that medications and fluids are delivered in the correct dose and safely, enhancing patient safety and reducing the workload of healthcare professionals. The use of these devices is particularly critical during patient transfers in 112 land, air, and sea ambulances. The compatibility of ambulance pumps with hospital devices prevents unnecessary device changes during transfers, simplifying the process. However, lost or poorly maintained devices may incur additional costs for healthcare institutions. A lack of staff training increases the risk of errors during use. Regular maintenance and calibration extend the lifespan of these pumps, enhancing economic efficiency, while integration with internet of things technology allows for remote monitoring. This study evaluates the economic impact of smart infusion pumps, highlighting the importance of regular maintenance, staff training, and system compatibility. It also aims to raise awareness about the effective use of these devices and encourage further research in this field.

Keywords: Smart medical devices, infusion pump, healthcare economic

GİRİŞ

Akıllı infüzyon pompaları, sıvı ilaçları veya çözeltileri hastanın damar yoluna belirli bir hızda ve belirli bir sürede kontrollü bir şekilde ileten tıbbi cihazlardır. Akıllı infüzyon pompaları (Resim 1), tıbbi tedavilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanım alanları, sıvı replasmanı, ilaç infüzyonu,

kan transfüzyonu ve diğer intravenöz (IV) tedavilerdir. Akıllı infüzyon pompaları yoğun bakımlar, anestezi üniteleri, ameliyathaneler, kardiyak kateterizasyon uygulanan birimler, acil servisler, 112 ambulansları ve evde bakım hizmetleri gibi çeşitli sağlık hizmeti alanlarında kullanılabilmektedir. Akıllı infüzyon pompası ile çeşitli sıvılar verilebilir. Bunlar arasında su, serum, antibiyotikler, ağrı kesiciler, antiemetikler,

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İbrahim Çınar

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, İzmir, Türkiye

E-posta: ibrahim.cinar@ikcu.edu.tr

ORCID ID: orcid.org/0000-0003-1122-3130

Geliş Tarihi/Received: 22.11.2024 **Kabul Tarihi/Accepted:** 28.03.2025 **Yayınlanma Tarihi/Publication Date:** 30.04.2025

Atıf/Cite this article as: Çınar İ, Çatak İ. Economic impacts of the use of smart infusion pumps in healthcare institutions. J Health Inst Turk. 2025;8(1):16-22





Resim 1. Akıllı infüzyon pompası örnekleri (kaynak: fotoğraf araştırmacılar tarafından çekilmiştir).

kan ve kan ürünleri, inotrop ilaçlar (dopamin, dobutamin), vazodilatör ilaçlar, trombolitik ilaçlar, bilinçli sedasyonda kullanılan ilaçlar vb. yer alabilir (1,2).

Akıllı infüzyon pompaları hasta güvenliğini en üst seviyede sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Özellikle ilaç doz hataları, yanlış ilaç seçme, bilgi ve beceri eksikliği veya unutkanlık kaynaklı sorunları çözebilmesi beklenmektedir (3-5). Akıllı infüzyon pompalarının çeşitli tipleri olmakla birlikte sıklıkla kullanımları birbirine benzerdir. Akıllı infüzyon pompaları sağlık çalışanlarının işini kolaylaştırmakta, ilaçların güvenli uygulanmasını sağlamaktadır (6). Bununla birlikte belirli bir maliyeti olan cihazlardır. Günümüzde bu cihazlar 200\$ ve altında üretim maliyetiyle piyasaya sürülebilmektedirler (7).

AKILLI İNFÜZYON POMPALARI KULLANIMININ FAYDALARI

Akıllı infüzyon pompasının kullanımının bazı faydaları bulunmaktadır. Söz konusu faydalar sayesinde transfüzyon süresi kısalabilmekte, istenen hızda ve güvenli bir şekilde transfüzyonun yapılması sağlanarak hızlı infüzyona bağlı oluşabilecek alerjik tepkimeler azalabilmektedir (8). İnfüzyon pompası yardımıyla ilaçların ne sürede ve ne oranda gidebileceği doğru şekilde takip edilebilmektedir. Bunun sonucu olarak ilaçlar kesintiye uğramadan sürekli ve güvenli bir şekilde infüze edilebilmektedir. Böylece ilaçların aşırı dozda kontrolsüz verilmesi önlenebilmektedir. İnfüzyon pompası kullanılmayınca oluşabilecek serum setine ilişkin hava veya tıkanıklık sorunları önemli oranda azalabileceğinden dolayı serum seti kaynaklı ortaya çıkabilecek olumsuzluklar

azalabilmektedir (6). Tüm bu faydalarının yanında akıllı infüzyon pompalarının oluşabilecek olası sorunları tamamen ortadan kaldırmadığı da bilinmektedir. Bu nedenle inovasyon çalışmalarına devam edilmesi önerilmektedir (9).

AKILLI İNFÜZYON POMPALARININ OLASI KOMPLİKASYONLARI

Akıllı infüzyon pompası kullanımının bazı komplikasyonları olabilmektedir. Bu komplikasyonların %10 oranında görüldüğü ifade edilmektedir. En sık görülen komplikasyon tromboflebitir. Komplikasyonlar sıklıkla hastanın yatiş pozisyonundan, kateterin bulunduğu bölge, kateterin uzun süreli durması, aşırı sıvı yüklenmesi ve ödemli deriden kaynaklanabilmektedir. Kullanılan ilaçlardan sırasıyla, prednol, dormicum, dopamin, noradrenalin ve antibiyotikler diğer ilaçlara kıyasla komplikasyon oluşumuna daha çok yol açabilmektedir (10).

AKILLI İNFÜZYON POMPASI KAYNAKLI OLUŞABİLECEK SORUNLAR

Akıllı infüzyon pompalarının kullanımı kolay olmasına rağmen cihazın kullanımıyla ilgili bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunlar, hastaların ölümüne, ciddi yan etkilere ve sağlık sisteminde büyük aksaklıklara neden olabilmektedir. Akıllı infüzyon pompası kaynaklı oluşabilecek sorunlar dört başlık altında değerlendirilebilir.

1- Teknolojik ve Donanım Kaynaklı Sorunlar: Cihazın yazılım ve programlama hatalarının olması. Cihazın sisteminin güncel tutulmaması nedeniyle sistemin işlem

esnasında çökebilmesi. Birden fazla ekran ve düğme kullanımı nedeniyle karmaşık programlama. Karmaşık ilaç kütüphaneleri. Yanlış veri girişine neden olan hatalı yazılım menüleri. Küçük ekranlar ve zayıf görsellik nedeniyle bilgiye erişim zorluğu. Eldivenle pompa kontrollerinin zor olması. İntravenöz (IV) tüplerin karmaşık ve düzensiz olması (11,12). Cihazlar arasında üretim standardının olmaması. Batarya süresinin yetersizliği. Cihaz modellerinin değişmesi. Alarm sistemlerindeki hatalar. Alarm yoğunluğu ve cihazın alarm vermesi durumunda bununla uğraşırken harcanan zaman. İnfüzyon setinin havasının çıkarılması ile ilgili sorunlar. İnfüzyon için kullanılan setlerin montajında yaşanan sorunlar. Kullanımı esnasında taşıma, montaj, teknolojik hakimiyet, arıza çıktığında tamir desteği gibi sorunlardan oluşmaktadır (6).

2- Kullanıcı Kaynaklı Hatalar: Eğitim eksikliği en önemli kullanıcı hatası kaynağıdır. Eğitim eksikliği nedeniyle cihaz kullanıcıları teknolojiyi yanlış kullanabilirler, yanlış verilere güvenerek klinik kararlar alabilirler. Özellikle çalışanların yanı sıra uygulama alanına giden öğrenciler de bu hatayı yapabilirler. Zaman baskısı ve iş yükü fazlalığı oluşabilir. İş yükü nedeniyle cihazla çalışırken kafa karışıklığı ve dalgınlıklar ortaya çıkabilir. İlaç pompalarının kullanımı hemşirelerde bilişsel yükün artmasına neden olabilir. Sağlık çalışanları cihaza fazla güvenirlir ve verileri sorgulamadan karar alırlarsa tıbbi hata yapabilirler (12,13). Klinik ortamın karmaşıklığı cihaz kullanımında hataları beraberinde getirebilir. Cihazın uyarılarından duyulan rahatsızlık nedeniyle cihaz uyarılarını atlama (bypass hatası) ve ilaç kitaplığını devre dışı bırakma gibi davranışlar ortaya çıkabilir. Yanlış doz veya infüzyon hızının girilmesi ile yanlış ilaç seçimi veya hatalı programlama sorunları oluşabilir. İkinci infüzyonlar ve bolus dozlarda hatalar ortaya çıkabilir (11,14,15).

3- Siber Güvenlik Riskleri: Akıllı infüzyon pompaları hastane bilgi sistemleriyle bütünleşik ve hastane internet ağlarına bağlı olursa siber güvenlik sorunları oluşabilmektedir. Cihazların hackerler tarafından ele geçirilme riski bulunmaktadır. Cihazlara kötü amaçlı yazılımlar eklenebilir. Bu şekilde hasta verileri çalınabilir, kimlik hırsızlığı yapılabilir. Bazı durumlarda infüzyon pompalarının doz ayarları değiştirilebilir. Hastaya yanlış ilaç dozları uygulanabilir. Cihazlar devre dışı bırakılabilir. Bu gibi durumları önleyebilmek için güçlü şifreleme yöntemleri kullanılabilir. Yalnızca yetkili kişilere cihaza erişim izni verilebilir. Ağ güvenliği mümkün olan en üst düzeyde sağlanabilir. Konuyla ilgili farkındalık eğitimleri oluşturulabilir (14).

4- Enfeksiyon ve Kontaminasyon Riski: Akıllı infüzyon pompaları sayesinde hastane ve hastane öncesi ortamlarda enfeksiyon riskleri azalabilmektedir. Bununla birlikte kullanım

esnasında cihaz kanüllerinin sterilite kurallarına dikkat edilmeden ve kontaminasyona maruz kalarak değiştirilmesi enfeksiyon gelişimine zemin hazırlayabilir. Bu nedenle cihaz kullanımı konusunda eğitim verilmesi önemlidir (16).

AKILLI İNFÜZYON POMPASI KULLANIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN NOKTALAR

Akıllı infüzyon pompalarının kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar bulunmaktadır. Cihazların doğru kullanılmaması ve teknik sorunlar hasta sağlığını riske atabilmektedir. Bundan dolayı şu noktalara dikkat edilmelidir (1,11,14,16):

- İnfüzyon pompaları kullanılırken ilaç kütüphaneleri ve doz hatası azaltma sistemleri kullanılmalıdır. İlaç kütüphanesi güncel tutulmalıdır.
- Cihazlara elle (manuel) girişler yapılmamalıdır. Cihazın uyarı sistemleri devre dışı bırakılmamalıdır. Yanlış alarm yoğunluğunu önlemek için diğer çevresel uyarılar azaltılmalıdır. Alarmlara göre oluşabilecek komplikasyonları önlemek için hekim bilgilendirilmelidir. Alarmların doğruluğu sağlık çalışanları ve teknik çalışanlar tarafından sürekli denetlenmelidir. Eksiklik veya hata öngörülüyorsa bu hatalar hızla düzeltilmelidir.
- Cihazların düzenli bakımı ve kalibrasyonları yapılmalıdır.
- Cihaz kullanılırken ikili doğrulama sistemi kullanılmalıdır. İlaç adı, dozu, konsantrasyonu ve infüzyon hızının doğru girildiğinden emin olunmalıdır.
- Özellikle yoğun bakım ve pediatrik hastaların olduğu birimler başta olmak üzere önceden belirlenmiş ilaç protokolleri kullanılmalıdır.
- Tüm sağlık çalışanları infüzyon pompası kullanımına ilişkin eğitim almalıdır.
- IV kateter hatlarının doğru bağlanması önemlidir. Bağlantı noktalarının doğruluğu için çift kontrol yapılmalıdır.
- Hava embolisini önlemek için hava filtreleri kullanılmalıdır.
- Kateter giriş noktaları steril tutulmalı ve düzenli olarak değiştirilmelidir. İşlemler esnasında eldiven ve antiseptik solüsyon kullanılmalıdır.
- Acil durumlar için yedek pil bulundurulmalıdır.
- Cihazların hastane sistemiyle eş güdümlü çalışması sağlanmalıdır. Bununla birlikte siber saldırılara karşı önlem alınmalıdır.
- Hastalar cihaza bağlı olsalar da olası komplikasyonlara karşı sürekli gözlenmelidir.
- Cihaz üzerine ilaç özellikleri ve ilacı hazırlayan sağlık çalışanlarının bilgilerin kaydedilmesi sağlanmalıdır.

AKILLI İNFÜZYON POMPALARININ AMBULANS VE ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNDE KULLANIMI

Akıllı infüzyon pompaları sıklıkla hastanelerde yoğun bakım servisleri başta olmak üzere tüm servislerde kullanılmakla birlikte 112 kara, deniz ve hava ambulansı araçlarının gidebileceği her ortamda da çalışabilmektedir. Birçok acil durumda da durumu acil olan hastaların nakli akıllı infüzyon pompası eşliğinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu nakiller doğrudan hastaneler arası yapılabilirken, acil durumda en yakın hastaneye girip, hastanın durumu durağan hale getirildikten sonra daha uygun hastaneye nakil şeklinde de planlanabilir.

Hasta nakilleri sırasında akıllı infüzyon pompalarının kullanımında bazı durumlara dikkat edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bunlar arasında en önemlilerinden birisi ambulansla kullanılan akıllı infüzyon cihazlarıyla hastanelerde kullanılan cihazların uyumlu olması gelmektedir. Bu sayede hasta nakillerinde gereksiz cihaz değişimi yapılmayacaktır. Bu nedenle bu cihazlar sağlık sistemine alınırken tüm sağlık sisteminde kullanılan belirli standartlara sahip cihazların alınmasının yapılması maliyet etkinlik açısından önemlidir. Ambulansla kullanılan cihazların bozuk olmaması gerekmektedir. Bundan dolayı düzenli bakımları ve kalibrasyonları yapılmalıdır. Ayrıca cihazların bataryaları sağlam ve dolu olmalıdır. Ambulanlar sadece araçtan güç alan bir yapıda oldukları için cihazların şarj ve batarya sorunlarının olması bu cihazlara ihtiyaç olduğu olgularda kullanımlarını kısıtlayabilecektir. Bundan dolayı ambulanslarda mutlaka yedek cihazlar veya yedek bataryalar bulunması ve her nöbet devir tesliminde kontrollerinin yapılması oldukça önemlidir (17). Akıllı infüzyon pompalarının soğuk, sıcak ve hareket halindeki ambulansın durumundan etkilenmesi söz konusu olabilmektedir. Bundan dolayı özellikle ambulanslarda kullanılan akıllı infüzyon pompalarının ambulansın çalışma koşullarına uygun cihazlar olması hasta güvenliği açısından önemlidir (18,19). Bununla birlikte ambulansın gittiği mesafenin ve transport süresinin de infüzyon pompasının akışında olumsuzluklar oluşturması mümkün olabilmektedir (19). Ambulanlara uygun cihazların kullanılmaması bazı durumlarda ilaç dozlarında sapmalar oluşturabilir. Ancak bu sapmaların elle kullanılan cihazlara göre oldukça az olduğu belirtilmektedir (20). Bu sapmalar neticesinde de hastalara uygulanan tedaviler etkin ve verimli olamayabilir. Hastalarda oluşabilecek ek sağlık sorunları sağlık sistemi içerisinde ek maliyetlere yol açabilir.

AKILLI İNFÜZYON POMPALARININ ACİL SAĞLIK HİZMETLERİNDE KULLANIMININ EKONOMİK ETKİLERİ

Akıllı infüzyon pompaları, sağlık sisteminde ekonomik açıdan önemli avantajlar sunmaktadır. Bu cihazların en temel ekonomik katkılarından birisi, hastanın klinik durumuna göre ilaç dozlarını hassas bir şekilde ayarlayabilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Bu sayede, parenteral tedavi süreçlerinde meydana gelebilecek hatalar en aza indirilebilmektedir (21-23). Parenteral tedavi kaynaklı hataların sağlık sistemine ciddi maliyet yükü oluşturduğu bilinmektedir (24,25). Konuyla ilgili yapılan bir araştırmada ilaç hatalarının İngiltere sağlık sistemine yıllık maliyetinin 98,5 milyon pound olduğu belirtilmektedir. İngiltere'de yıllık yaklaşık 237 milyon ilaç hatası olduğu ifade edilmektedir. Bu hataların büyük oranda önemsiz hata olduğu belirtilmesine rağmen, bu hataların %54,4'ünün ilaç uygulama hatası olduğu belirtilmektedir (26). Konuyla ilgili yapılan sistematik bir derlemede (27) ilaç hatalarının birim maliyetinin 2,58 euro ile 111 bin 727 euro arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Özellikle hatalı ilaç uygulamaları, hastaların daha uzun süre hastanede kalmasına, hastane yatak kapasitesinin verimsiz kullanılmasına, hastaların yaşam kalitesinde düşüşe ve bazı durumlarda mortaliteye neden olarak sağlık harcamalarını önemli ölçüde artırmaktadır (23,26). Akıllı infüzyon pompaları kullanımı esnasında aynı hat kullanılarak ikinci bir infüzyon yapmanın pompalar sayesinde maliyet etkin olduğu bulunmuştur. Akıllı infüzyon pompaları kullanılarak uygulanan hidromorfon, fentanil, midazolam ve morfin ilaçlarından dört ayda 1509 şişe ilaç tasarrufu sağlanmıştır. Yıllık olarak da 5688 şişe tasarruf öngörülmüştür. İlaç tasarrufunun yıllık maliyeti 13 bin 246 Amerikan Doları, hemşire iş gücü tasarrufu da 35 bin 341 Amerikan Doları olarak hesaplanmıştır. Daha fazla ilaç için hesaplama yapılması durumunda infüzyon pompası kullanımının tasarruf oranını artırabileceği belirtilmiştir (28). Akıllı infüzyon pompalarının ilaç dozları ve infüzyon sürelerini hassas bir şekilde ayarlayabilmesi, aynı zamanda ilaç hatalarının önlenmesinde dikkate değer bir rol oynamaktadır. Akıllı infüzyon pompaları, ilaç yan etkilerini büyük ölçüde azaltarak, bu yan etkiler nedeniyle ortaya çıkabilecek ek sağlık harcamalarını engellemektedir. Konuyla ilgili yapılan bir araştırmada akıllı infüzyon pompası için yapılan bir euroluk yatırımın 2,15 euro kazanç olarak geri döndüğü tespit edilmiştir. Ayrıca sağlık sisteminde yan etkileri önlediği için 172 bin 279 euro kazanç sağladığı belirlenmiştir (29). Özellikle, cihazlara ilaç kütüphanelerinin eksiksiz şekilde yüklenmesi

ve güncellenmesi ilaç hatalarının azalmasına önemli katkı sağlamaktadır (30). 112 acil sağlık sisteminde ilaçlar hastalara acil müdahale durumları ve hasta sevkleri esnasında infüze edilebilmektedir. Bundan dolayı bu ilaçların hastaya hatasız bir şekilde uygulanması sağlık sistemine önemli oranda ekonomik katkı sağlayabilecektir.

Akıllı infüzyon pompaları, ilaçların doğru dozda ve doğru konsantrasyonda uygulanmasını sağlayarak sağlık hizmetlerinde etkinlik ve verimliliği artırmaktadır. Bu sayede sıvı tedavilerinde ünite ve litre bazında tasarruf elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Meksika'da yoğun bakımda akıllı infüzyon pompası kullanımıyla ilgili bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonucuna göre infüzyon pompası kullanımı bir yılda 55 bin 850,97 Meksika Pesosu oranında tasarruf sağlamıştır. Akıllı infüzyon pompalarının geleneksel infüzyon pompalarına oranla %17,1 daha tasarruflu olduğu bulunmuştur. Bu tasarrufun IV solüsyon tüketimi ve kullanılan sıvı hacminin azalması kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca infüzyon pompalarının hasta güvenliğini artırdığı, ilaç hatalarını azalttığı ve sağlık hizmetinin kalitesini yükselttiği ifade edilmiştir (31). Özellikle 112 acil sağlık sisteminde sıvıların bolus veya dakş (damar yolu açık kalacak şekilde) uygulanması esnasında eksiksiz doz ayarı yapılabilmektedir.

Cihazların kullanımı sırasında ilaç adı, konsantrasyonu, hasta bilgileri, ilacın hazırlandığı tarih ve saat, hazırlayan sağlık personelinin adı gibi bilgilerin tam ve eksiksiz bir şekilde kaydedilmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin eksik girilmesi, ilaç hatalarına ve dolayısıyla ekonomik kayıplara yol açabilir (32). Bu bilgilerin tam olarak girilmesi yoluyla hastaya yapılan ilaç ve sıvı uygulamalarının tekrarlı gözden geçirilmesine imkan sağlanarak önemli ilaç hataları önlenmektedir. Bununla birlikte infüzyon pompası kullanımında, ilaçların elle hazırlanıp pompaya yerleştirilmesi yerine, üretici firmalar tarafından önceden hazırlanmış paketler kullanılması, acil sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltırken, acil ve stresli iş durumlarında insan hatasından kaynaklanabilecek güvenlik risklerini de düşürebilecektir. Özellikle çoklu ilaç uygulamasının gerekli olduğu ciddi cerrahi operasyonlar sonrası, farklı özellikteki ilaçların birbirleriyle etkileşime girmeden güvenli bir şekilde infüzyon pompası aracılığıyla uygulanması büyük önem taşımaktadır. Böylece 112 ambulanslarıyla hasta nakilleri esnasında oluşabilecek sorunlar en aza indirilebilmektedir. Bu durum, hem sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmakta hem de ilaç ve sıvı uygulamalarındaki hataların azalmasıyla birlikte oluşabilecek ek hastalık maliyetlerini düşürebilmektedir. Böylece, sağlık çalışanlarının iş verimliliği de artabilmektedir (33). Konuyla ilgili yapılan araştırmalar bu bilgileri desteklemektedir. Yapılan bir araştırmada akıllı infüzyon pompalarının hastanelerde kullanımı ve elektronik sağlık kayıtlarıyla eşleştirme

yapılması sonucunda özellikle hemşireler tarafından elle ilaç dozu girişlerinin azaldığı ve bu sayede ilaç hatalarının önemli oranda düştüğü belirtilmiştir. Böylece ilaçlar daha doğru kaydedilmiştir ve hastane gelirleri artmıştır. Hastane gelirlerinin artmasında kayıp faturalandırma oranının %11,9'dan %7,4'e düşmesi etkili olmuştur. Ayrıca hemşirelerin hatalı ilaç uygulama oranı %86 azalmıştır. Böylece hastanenin yıllık ek geliri 370 bin Amerikan Doları artmıştır (34). İsviçre'de yoğun bakımlarda yapılan bir araştırmada da akıllı infüzyon pompası kullanımı sayesinde sağlık çalışanlarının hasta bakımı ve iş yüklerinin hafiflediği, ilaç hatalarının azaldığı belirtilmiştir. Akıllı infüzyon pompası kullanımı sayesinde yıllık 600 bin İsviçre Frangı tasarruf oluşabileceği belirtilmiştir (35).

Yeni nesil infüzyon pompası teknolojileri, nesnelerin interneti (IoT) teknolojileri ile beraber kullanılabilmektedir. Böylece uzaktan hasta yönetimi için önemli yenilikler ortaya çıkabilmektedir. Bu cihazlar, IV tedavilerde hassas doz ölçümü ve yönetimi imkanı sağlayarak, hastaya uygulanan sıvı ve ilaçlar hakkında gerçek zamanlı geri bildirim sunabilmektedir. Böylece, uzaktan hasta izleme süreçleri daha güvenli ve doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle 112 acil sağlık sisteminde paramedikler tarafından uygulanan tedavinin 112 komuta kontrol merkezi hekimleri ya da hastanelerdeki uzman hekimler tarafından uzaktan izlenebilmesine imkan sağlanabilmektedir. Bu sayede 112 acil sağlık sisteminde hastaların tedavileri güvenli bir şekilde başlayıp yine güvenli bir şekilde hastanede devam edebilmektedir. Böylece hastalara durağan olmayan ortamlarda yalnız başına müdahale etmek zorunda olan paramedikler hekim desteğini de anlık olarak alabileceklerdir. Bunun sonucu olarak hastalar hastaneye henüz gelmeden takip edilebilecekler, tedavileri için ön hazırlık yapılabilecektir. Bu sayede hastaların uzun süreli hastane yatışları azalabilirken, 112 acil sağlık sisteminde çalışanların iş yükleri paylaşılabilecektir. Hastaların hastanede daha kısa süre kalmalarına yardımcı olabilen bu uygulamalar, sağlık kuruluşları üzerindeki maliyet yükünü azaltabilecektir (36).

Akıllı infüzyon pompalarının kullanımının sağladığı ekonomik faydalar, cihazların belirli bir kullanım ömrüne sahip olmasından dolayı sınırlı kalabilmektedir. Cihazların verimli ve güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için düzenli bakımlarının yapılması, amortisman maliyetlerini de beraberinde getirmektedir. Düzenli bakım, cihazların kullanım ömrünü uzatırken aynı zamanda hasta güvenliğini artırmakta ve sağlık sisteminin verimliliğine katkı sağlamaktadır. Ancak, bu bakımların ihmal edilmesi, cihazların öngörülenden daha kısa sürede işlevselliğini yitirmesine ve sağlık sistemine ek maliyetler getirmesine yol açabilir. Cihazların ömrü sona erdiğinde de yenilenmeleri gerekmektedir. Bu süreçte, eskimiş cihazların yazılımlarının güncellenmesi ya da

güncellenemiyorsa daha gelişmiş teknolojik cihazlarla değiştirilmesi zorunlu hale gelebilmektedir (37). Özellikle 112 acil sağlık sisteminde kullanılan cihazların durağan ortamlarda çalışmaması nedeniyle daha sık bakımlarının yapılması yerinde olacaktır.

Akıllı infüzyon pompaları kaynaklı önemli bir sorun pompaların kaybolabilmesidir. Kayıp pompaların nerede olduğunun bilinmemesinden dolayı akıllı infüzyon pompaları için yeni ihaleler yapılabilmekte, kayıp pompa olabileceği nedeniyle ihtiyaçtan daha fazla sayıda infüzyon pompası siparişi verilebilmektedir. Ayrıca akıllı infüzyon pompalarının sipariş verilip kullanılmaması da önemli ekonomik kayıpları beraberinde getirebilmektedir. Bu pompaların bataryalarının ve diğer bileşenlerinin kullanım ömürleri bulunmaktadır. Bu ömür içerisinde en etkili şekilde kullanılmaları önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlayabilecektir. İhtiyaç fazlası pompa alınıp da depolarda bekletilmesi ya da ambulanslarda kullanılmaması önemli bir ekonomik kayıp oluşturacaktır. Bununla birlikte sağlık kuruluşlarına birbiriyle uyumsuz akıllı infüzyon pompalarının alınması pompaların ihtiyaç halinde servisler ve ambulanslar arasında değiştirilmesini zorlaştırabilmektedir. Bundan dolayı yeterli sayıda infüzyon pompasının sayısal olarak var olduğu düşünülebilir. Ancak bu sayısal var oluş kullanıma yansımayaabilir (38).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Akıllı infüzyon pompaları, ilaçların doğru dozda ve güvenli bir şekilde verilmesini sağlayarak hasta güvenliğini artırmakta ve sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmaktadır. Bu çalışma, akıllı infüzyon pompalarının özellikle ambulans ve acil sağlık hizmetlerindeki kullanımının olası ekonomik faydalarını infüzyon pompalarının farklı sağlık hizmeti alanlarında kullanılması sonucu elde edilen sonuçlardan yararlanarak tartışmıştır. Ambulanslarda kullanılan infüzyon pompalarının hastanelerdeki cihazlarla uyumlu olması, hasta nakilleri sırasında gereksiz cihaz değişimlerinin önüne geçerek süreci kolaylaştırmaktadır. Ancak, cihazların düzenli bakımının yapılmaması, eğitim eksiklikleri ve kayıplar, sağlık kuruluşlarına ek maliyetler getirebilir.

Acil sağlık hizmetlerinde akıllı infüzyon pompalarının kullanımı, hasta güvenliği ve sağlık hizmetlerinin etkinliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle ambulans ve acil servislerde kullanılan geleneksel elle infüzyon yöntemleri, hızlı ve hassas ilaç uygulamalarında zaman kaybına ve doz hatalarına neden olabilmektedir. Akıllı infüzyon pompalarının bu alanda yaygınlaştırılması, hastane öncesi acil sağlık hizmetlerinde ilaç uygulamalarının daha kontrollü ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayabilir.

Uluslararası araştırmalar, akıllı infüzyon pompalarının hasta yönetiminde zaman kazandırarak sağlık çalışanlarının iş yükünü azalttığını ve ilaç hata oranlarını düşürdüğünü göstermektedir. Infüzyon pompalarının kullanılması, ilaç kullanımında doğruluğu artırırken önemli oranda tasarruf da sağlayabilmektedir. Türkiye’de acil sağlık hizmetlerinde akıllı infüzyon pompalarının kullanımı henüz sınırlıdır ve bu teknolojinin yaygınlaştırılması için çeşitli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. 112 acil sağlık ekiplerinde kullanılan infüzyon sistemlerinin modernizasyonu, ilaç doz hatalarının azaltılması ve sağlık çalışanlarının bu sistemleri etkin bir şekilde kullanabilmesi için eğitim programlarının oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca, bu pompaların uzaktan takip edilebilir hale getirilmesi ve elektronik sağlık kayıt sistemleriyle eş güdümlü hale getirilmesi, hasta verilerinin anlık olarak izlenmesini sağlayarak acil müdahale süreçlerini daha verimli hale getirebilir.

Sonuç olarak, akıllı infüzyon pompalarının acil sağlık sistemine uyumlu hale getirilmesi, hasta güvenliğini artırmanın yanı sıra sağlık sistemindeki maliyet etkinliğini de olumlu yönde etkileyebilecektir. Türkiye’de acil sağlık hizmetlerinde bu sistemlerin yaygınlaştırılması, hastane öncesi ilaç yönetimini standartlaştırarak hasta bakım süreçlerini iyileştirecek ve acil sağlık çalışanlarının müdahalelerini daha güvenli hale getirebilecektir. Bu doğrultuda, akıllı infüzyon pompalarının 112 acil sağlık hizmetlerinde kullanımına yönelik projeler geliştirilmesi, sistemin uygulanabilirliği açısından önemli bir adım olacaktır. Ayrıca akıllı infüzyon pompalarının kullanım istatistiklerinin ayrıntılı tutulması da önemlidir. Bu sayede akıllı infüzyon pompası kullanımına ilişkin ekonomik analizler yapılabilecektir. Bunun sonucunda da 112 ambulanslarında akıllı infüzyon pompası kullanımına ilişkin yapılan yatırımların verimliliği değerlendirilebilecektir.

Dipnot

Yazarlık Katkıları

Konsept: İ.Ç., Dizayn: İ.Ç., Analiz veya Yorumlama: İ.Ça., Gözden Geçirme ve Düzeltme: İ.Ç., Onaylama: İ.Ça., Yazan: İ.Ç.

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. BSS Medikal. Program & cihazlar. 2023 [Erişim tarihi: 2023 Mar 13]. Infüzyon pompası. Erişim adresi: <https://bssmedikal.com/program-cihazlar/>
2. Sankaran S, Deny J, Rajasekaran MP, Govindaraj V, Mahaif RR, Srinivasan A, et al. Design and development of a low cost, smart infusion pump to deliver medications for patients using labview interface with arduino. Int J Eng Adv Technol. 2019;9(154):753-8.
3. Wolf ZR, Hughes RG. Best practices to decrease infusion-associated medication errors. J Infus Nurs. 2019;42(4):183-92.

4. Mansour ME. Design of low cost smart infusion pump. In: 2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCCEE). IEEE; 2021. p. 1-5.
5. Silva RCL da, QuinellatoLouro T, Peregrino AA de F, Silva CRL da, Marta CB, Itria A. Cost-effectiveness of infusion pumps to reduce errors in a pediatric ICU. *Rev Bras Enferm.* 2019;72(3):617-23. English, Portuguese.
6. Atcı S, Karahan A. İlaç uygulamalarında infüzyon pompası cihazlarının kullanımı ve güvenliği konusunda hemşirelerin yaşadığı sorunların incelenmesi. *THDD.* 2020;1(2):1-14.
7. Ali MI. Designing a low-cost and portable infusion pump. In: 2019 4th International Conference on Emerging Trends in Engineering, Sciences and Technology (ICEEST). IEEE; 2019. p. 1-4.
8. Özlük B, Faydalı S. Hemşielikte transfüzyon yönetimi ve güvenliği: bir kalite iyileştirme çalışması. *Uluslararası Hakemli Hemşirelik Araştırmaları Dergisi.* 2017;11:32-46.
9. Sutherland A, Jones MD, Howlett M, Arenas-Lopez S, Patel A, Franklin BD. Developing strategic recommendations for implementing smart pumps in advanced healthcare systems to improve intravenous medication safety. *Drug Saf.* 2022;45(8):881-9.
10. Gök-Metin Z, Özdemir L. Determining intravenous complications in patients with infusion pumps. *HEMAR-G.* 2016;18(2-3):22-30.
11. Giuliano KK. Intravenous smart pumps. *Crit Care Nurs Clin North Am.* 2018;30(2):215-24.
12. Klarich A, Noonan TZ, Reichlen C, Barbara SMJ, Cullen L, Pennathur PR. Usability of smart infusion pumps: a heuristic evaluation. *Appl Ergon.* 2022;98:103584.
13. Hodge KS. Let's talk tech. *Clinical Nurse Specialist.* 2025;39(1):1-2.
14. Herrero L, Cano M, Ratwani R, Sánchez L, Sánchez B, Sancibrián R, et al. A review of human factors and infusion pumps: lessons for procurement. *Front Digit Health.* 2025;7.
15. Schnock KO, Rostas SE, Yoon CS, Lipsitz S, Bates DW, Dykes PC. Intravenous medication administration safety with smart infusion pumps in the neonatal intensive care unit: an observational study. *Drug Saf.* 2024;47(1):29-38.
16. Giuliano KK, Penoyer D, Mahuren RS, Bennett M. Intravenous smart pumps during actual clinical use. *J Infus Nurs.* 2021;44(3):128-36.
17. Bourn S, Wijesingha S, Nordmann G. Transfer of the critically ill adult patient. *BJA Educ.* 2018;18(3):63-8.
18. Hong KY, Kim YY, Yoo SY, Lee JH, Kim DK, Min JJ. Simulation study on flow rate accuracy of infusion pumps in vibration conditions during emergency patient transport. *J Clin Monit Comput.* 2021;35(6):1253-61.
19. del Carmen Arcentales Herrera J, Santa Cruz Belela-Anacleto A, Pedreira MLG, Kusahara DM. Influence of transport conditions on infusion pumps performance and triggering alarms: a simulation-based research. *Int Emerg Nurs.* 2022;62:101144.
20. Loner C, Acquisto NM, Lenhardt H, Sensenbach B, Purick J, Jones CMC, et al. Accuracy of intravenous infusion flow regulators in the prehospital environment. *Prehospital Emergency Care.* 2018;22(5):645-9.
21. Shah N, Jani Y. Implementation of smart infusion pumps: a scoping review and case study discussion of the evidence of the role of the pharmacist. *Pharmacy.* 2020;8(4):239.
22. Alamer F, Alanazi AT. The impact of smart pump technology in the healthcare system: a scope review. *Cureus.* 2023.
23. Sharpe EE, Corbett LM, Rollins MD. Medication errors and mitigation strategies in obstetric anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2024;37(6):736-42.
24. Nguyen PTL, Phan TAT, Vo VBN, Ngo NTN, Nguyen HT, Phung TL, et al. Medication errors in emergency departments: a systematic review and meta-analysis of prevalence and severity. *Int J Clin Pharm.* 2024;46(5):1024-33.
25. Castro RDNS, Aguiar LB, Volpe CRG, Silva CMS, Silva ICRD, Stival MM, et al. determining medication errors in an adult intensive care unit. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(18):6788.
26. Elliott RA, Camacho E, Jankovic D, Sculpher MJ, Faria R. Economic analysis of the prevalence and clinical and economic burden of medication error in England. *BMJ Qual Saf.* 2021;30(2):96-105.
27. Walsh EK, Hansen CR, Sahm LJ, Kearney PM, Doherty E, Bradley CP. Economic impact of medication error: a systematic review. *Pharmacoepidemiol Drug Saf.* 2017;26(5):481-97.
28. Lorenzo J, Antonio D, Sarraam M, Henley C. 1355: optimizing analgesic administration with smart pumps: a value-based care strategy. *Crit Care Med.* 2025;53(1).
29. Manrique-Rodríguez S, Sánchez-Galindo AC, López-Herce J, Calleja-Hernández MÁ, Martínez-Martínez F, Iglesias-Peinado I, et al. Implementing smart pump technology in a pediatric intensive care unit: a cost-effective approach. *Int J Med Inform.* 2014;83(2):99-105.
30. Blake JWC, Fiske SM, Giuliano KK. A qualitative analysis of intravenous smart pump usability. *Nurs Open.* 2022;9(4):2171-8.
31. Palacios Rosas E, Soria-Cedillo IF, Puértolas-Balint F, Ibarra-Pérez R, Zamora-Gómez SE, Lozano-Cruz E, et al. Impact of implementing smart infusion pumps in an intensive care unit in Mexico: a pre-post cost analysis based on intravenous solutions consumption. *Hosp Pharm.* 2019;54(3):203-8.
32. Choo A, Tay A, Lee SF, Foong WS, Lau JY, Abdul Shukoor NA, et al. Clinical audit on the completeness of infusion pump drug labelling in medical wards, Balik Pulau Hospital. *Electronic-Perak Medical Journal.* 2022;2(1):48.
33. Weinger MB, Kline A. Reflections on the current state of infusion therapy. *Biomed Instrum Technol.* 2016;50(4):253-62.
34. Biloft J, Finneman L. Clinical and financial effects of smart pump–electronic medical record interoperability at a hospital in a regional health system. *Am J Health-Syst Pharm.* 2018;75(14):1064-8.
35. Kosa G, Morozov O, Lehmann A, Pargger H, Marsch S, Hunziker P. Robots and intelligent medical devices in the intensive care unit: vision, state of the art and economic analysis. *IEEE;* 2022.
36. Kok CL, Ho CK, Lee TK, Loo ZY, Koh YY, Chai JP. A novel and low-cost cloud-enabled IoT integration for sustainable remote intravenous therapy management. *Electronics (Basel).* 2024;13(10):1801.
37. Silva MDS, Araújo JL, Nunes GAMA, Rosa MFF, Luz GVDS, Rosa SSRF, et al. Precision and reliability study of hospital infusion pumps: a systematic review. *Biomed Eng Online.* 2023;22(1):26.
38. Kemper BPH, Koopmans M, Does RJMM. Quality quandaries*: the availability of infusion pumps in a hospital. *Qual Eng.* 2009;21(4):471-7.