Pejouhesh dar Pezeshki (i.e., Research in Medicine) **Policy Brief**

The Quarterly Journal of School of Medicine, Shahid Beheshti University of Medical Sciences 2025; Vol. 49; No. 4

Artificial Intelligence in Dental Caries Detection: Strategies for Improving Oral Health and Reducing Costs in Iran's Healthcare System

Alireza Tabatabaei Tabrizi[1], Hadi Ghasemi[2*], Narges Panahandeh[3]

1. School of Dentistry, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2. Department of Community Oral Health, School of Dentistry, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
3. Dental Research Center, Research Institute of Dental Sciences, School of Dentistry, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received: May 26, 2026; Accepted: June 27, 2026

Abstract

Problem: Dental caries is among the most prevalent chronic diseases in Iran. Early and accurate detection of proximal caries cannot be achieved by visual-tactile examination alone and requires radiography. However, radiographic interpretation is subject to diagnostic error, and this error varies significantly across regions due to differences in dentists' experience and skill.

Options: AI-based systems using deep learning can serve as an assistive tool to improve caries detection accuracy. The underlying study shows that the EfficientNet model achieved 94.7% accuracy, 96.7% sensitivity, and 96.2% specificity.

Implementation Considerations: Successful deployment requires infrastructure (servers, cloud storage), dentist training, integration with PACS, and regulatory approval (e.g., from the Food and Drug Administration). Key challenges include data privacy, legal liability for AI errors, ongoing maintenance costs, and the role of the Medical Council in setting protocols.

Please cite this article as: Tabatabaei Tabrizi A, Ghasemi H, Panahandeh N. Artificial Intelligence in Dental Caries Detection: Strategies for Improving Oral Health and Reducing Costs in Iran's Healthcare System. Pejouhesh dar Pezeshki. 2025;49(4):68-74.

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-10-26]

[*] **Corresponding Author:** Hadi Ghasemi; **Email:** ha.ghasemi@sbmu.ac.ir
Department of Community Oral Health, School of Dentistry, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

فصلنامه علمی-پژوهشی دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی شهید بهشتی
دوره ۴۹، شماره ۴، سال ۱۴۰۴ شمسی، صفحات ۶۸ تا ۷۴

هوش مصنوعی در تشخیص پوسیدگی دندان: راهکارهایی برای ارتقای سلامت دهان و کاهش هزینه‌ها در نظام سلامت ایران

علیرضا طباطبایی تبریزی[۱]، هادی قاسمی[۲*]، نرگس پناهنده[۳]

۱- دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- گروه سلامت دهان و دندانپزشکی اجتماعی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳- مرکز تحقیقات دندانپزشکی، پژوهشکده علوم دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۶

چکیده

مشکل چیست؟ پوسیدگی دندان یکی از شایع‌ترین بیماری‌های مزمن در ایران و جهان است. تشخیص دقیق و زودهنگام پوسیدگی، به‌ویژه در سطوح بین‌دندانی (پروگزیمال)، با معاینه معمولی ممکن نیست و نیاز به رادیوگرافی دارد. اما تفسیر رادیوگرافی توسط دندانپزشکان می‌تواند دارای خطای تشخیصی قابل‌توجهی باشد و این خطا در مناطق مختلف کشور به دلیل تفاوت در تجربه و مهارت، ناهمگونی چشمگیری دارد.

گزینه‌های قابل اجرا چیست؟ سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری عمیق می‌توانند به‌عنوان ابزاری کمکی در کنار دندانپزشک، دقت تشخیص پوسیدگی را افزایش دهند. مقاله حاضر نشان می‌دهد مدل EfficientNet با دقت ۹۴/۷٪، حساسیت ۹۶/۷٪ و ویژگی ۹۶/۲٪ عملکرد بسیار خوبی داشته است.

ملاحظات اجرایی چیست؟ برای بهره‌برداری از این فناوری در ایران، تأمین زیرساخت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری (سرور، ذخیره‌سازی ابری)، آموزش دندانپزشکان، ادغام با سیستم بایگانی تصاویر (PACS) و اخذ تأییدیه‌های نظارتی (سازمان غذا و دارو) ضروری است. همچنین باید به چالش‌هایی مانند امنیت داده‌های شخصی، مسئولیت حقوقی در قبال خطای احتمالی هوش مصنوعی، هزینه‌های نگهداری و پشتیبانی فنی مداوم، و نقش سازمان نظام پزشکی در تدوین پروتکل‌ها توجه ویژه شود.

به این مقاله، به صورت زیر استناد کنید:

Tabatabaei Tabrizi A, Ghasemi H, Panahandeh N. Artificial Intelligence in Dental Caries Detection: Strategies for Improving Oral Health and Reducing Costs in Iran's Healthcare System. Pejouhesh dar Pezeshki. 2025;49(4):68-74.

*نویسنده مسئول مکاتبات: هادی قاسمی؛ آدرس پست الکترونیکی: ha.ghasemi@sbmu.ac.ir
گروه سلامت دهان و دندانپزشکی اجتماعی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-10-26]

CC BY NC

مقدمه

پوسیدگی دندان شایع‌ترین بیماری مزمن غیرواگیر در ایران و جهان است و بار مالی و درمانی بالایی بر نظام سلامت تحمیل می‌کند. بر اساس برآوردها، شیوع پوسیدگی در جمعیت بزرگسال ایران بیش از ۹۰٪ است (۱) و هزینه‌های ناشی از درمان‌های تهاجمی (مانند عصب‌کشی و کشیدن دندان) سالانه میلیاردها تومان تخمین زده میشود (۲). تشخیص دیرهنگام پوسیدگی‌های پروگزیمال و ریشه، نه‌تنها کیفیت زندگی بیماران را کاهش می‌دهد، بلکه به درمان‌های پرهزینه‌تر و طولانی‌تر منجر می‌شود.

در حال حاضر، تشخیص پوسیدگی عمدتاً بر اساس معاینه بالینی (چشمی و پروب دندانپزشکی) و رادیوگرافی بایت‌وینگ انجام می‌شود (۳). با این حال، تفسیر رادیوگرافی به تجربه و مهارت دندانپزشک وابسته است و میزان خطای تشخیصی بالایی دارد. یکی از مشکلات اساسی نظام سلامت، عدم یکنواختی در تشخیص است؛ به‌گونه‌ای که دندانپزشکان در مناطق محروم و مراکز کوچک ممکن است به دلیل کمبود تجهیزات یا آموزش، پوسیدگی‌های اولیه را شناسایی نکنند، در حالی که در مراکز مجهز، تشخیص دقیق‌تری انجام شود (۴). این ناهمگونی، عدالت در دسترسی به خدمات سلامت دهان را با چالش جدی مواجه کرده است.

فناوری هوش مصنوعی و یادگیری عمیق، به‌ویژه شبکه‌های عصبی کانولوشنال (که نوعی روش پیشرفته برای تحلیل تصاویر است)، توانسته‌اند در تشخیص بیماری‌ها از تصاویر پزشکی عملکردی در حد یا فراتر از متخصصان انسانی داشته باشند. با وجود پژوهش‌های متعدد در این حوزه در سطح جهانی، در ایران هنوز یک ابزار تشخیصی کمکی استاندارد، در دسترس، کم‌هزینه و دقیق برای پوسیدگی دندان وجود ندارد. این خلأ، انگیزه اصلی تدوین این خلاصه سیاستی است.

بررسی نقادانه کارهای پیشین

اگرچه مطالعات متعددی در خارج از کشور به کارگیری مدل‌های یادگیری عمیق برای تشخیص پوسیدگی را بررسی کرده‌اند (مانند رفرنس ۵)، اما اکثر این پژوهش‌ها بر روی مجموعه‌داده‌های محدود یا تصاویر با کیفیت بالا انجام شده‌اند و تعمیم‌پذیری نتایج به جمعیت ایرانی و شرایط بالینی متنوع کشور مورد ارزیابی قرار نگرفته است. همچنین، کمتر مطالعه‌ای به ابعاد اجرایی، اقتصادی و قانونی استقرار این فناوری در نظام سلامت پرداخته است. مقاله اصلی مورد استناد در این خلاصه سیاستی، با استفاده از یک مجموعه‌داده بزرگ و متنوع از بیماران ایرانی، گامی در جهت پر کردن این شکاف برداشته است.

روش کار

برای تدوین این خلاصه سیاستی، از یک مطالعه اصیل (Original Article) که در سال ۲۰۲۶ در *Journal of Research in Dental and Maxillofacial Sciences* منتشر شده (۶)، استفاده گردید. مطالعه اصلی شامل موارد زیر است:

جامعه مورد مطالعه: ۱۴۰۰ رادیوگرافی بایت‌وینگ از بیماران ۱۰ تا ۸۰ ساله مراجعه‌کننده به دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

روش‌شناسی: از یادگیری نظارت‌شده (supervised) و خودنظارت (self-supervised) با چهار مدل VGG19، ResNet50، GoogleNet و EfficientNet استفاده شد.

ارزیابی: شاخص‌های دقت، حساسیت، ویژگی، ارزش اخباری مثبت و منفی و F1-score برای هر مدل محاسبه گردید.

برچسب‌گذاری: تصاویر توسط سه متخصص با بیش از ۱۰ سال تجربه، برچسب‌گذاری شدند تا به عنوان استاندارد طلایی در نظر گرفته شوند.

حجم مناسب داده‌ها، مقایسه چند مدل و استفاده از برچسب‌گذاری تخصصی، پشتوانه فنی قابل قبولی برای نتایج این مطالعه فراهم کرده است. کیفیت روش‌شناسی مطالعه بالا ارزیابی می‌شود و نقاط قوت آن شامل تنوع سنی بیماران، استفاده از داده‌های بالینی واقعی و مقایسه مستقیم مدل‌ها است.

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-10-26]

نتایج (گزینه‌های سیاستی)

بر اساس یافته‌های مطالعه اصلی و تحلیل هزینه-اثربخشی، سه گزینه سیاستی قابل‌بررسی است:

گزینه ۱: تداوم روند فعلی تشخیص (فقط تفسیر انسانی)

این گزینه نیازمند سرمایه‌گذاری جدید نیست، اما همچنان به تفسیر انسانی وابسته می‌ماند و ممکن است با خطای تشخیصی و تشخیص دیرهنگام پوسیدگی‌های کوچک همراه باشد. از منظر اقتصادی، این رویکرد می‌تواند در بلندمدت به افزایش درمان‌های تهاجمی‌تر و پرهزینه‌تر منجر شود. همچنین، کیفیت تشخیص در این گزینه تا حد زیادی به تجربه دندانپزشک وابسته است و عدم یکنواختی تشخیصی در سطح کشور را تشدید می‌کند.

گزینه ۲: استفاده از سامانه مبتنی بر هوش مصنوعی به‌عنوان ابزار کمکی در مراکز منتخب

این گزینه می‌تواند دقت تشخیص را بهبود دهد و خطای تشخیصی را کاهش دهد. در مطالعه مبنا، مدل EfficientNet دقت ۷/۹۴٪، حساسیت ۷/۹۶٪ و ویژگی ۲/۹۶٪ را نشان داده است. با این حال، اجرای آن نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه برای زیرساخت، آموزش و ادغام با PACS است. همچنین، تعمیم‌پذیری عملکرد مدل به سایر مراکز و مجموعه‌داده‌های ایرانی نیازمند بررسی بیشتر است. از نظر اقتصادی، کاهش درمان‌های غیرضروری می‌تواند هزینه‌ها را در میان‌مدت جبران کند.

گزینه ۳: استقرار تدریجی سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در مراکز دولتی در مقیاس وسیع

این گزینه می‌تواند به استانداردسازی بیشتر فرایند تشخیص و کاهش وابستگی به تفاوت‌های فردی در تفسیر تصاویر کمک کند. اما اجرای آن مستلزم منابع مالی قابل‌توجه، پشتیبانی فنی مستمر، آموزش گسترده نیروی انسانی و احتمالاً بازنگری در برخی دستورالعمل‌ها و الزامات اجرایی است. امکان‌پذیری و هزینه‌مندی این گزینه در مقیاس ملی هنوز نامشخص است و به ارزیابی بیشتری نیاز دارد.

گزینه پیشنهادی کوتاه‌مدت (۲-۱ ساله)

با توجه به شواهد موجود، مناسب‌ترین گزینه در کوتاه‌مدت، اجرای پایلوت گزینه ۲ در ۳ تا ۵ دانشکده دندانپزشکی بزرگ تهران و چند مرکز جامع سلامت منتخب است. این رویکرد امکان ارزیابی عملی، فنی و اقتصادی سامانه را پیش از تصمیم‌گیری برای گسترش فراهم می‌کند.

جدول ۱- ملاحظات اجرایی و موانع بالقوه

سطح	موانع	راهکارها
دریافت‌کننده خدمت (بیمار)	ناآشنایی با هوش مصنوعی، نگرانی از امنیت داده‌های شخصی و جایگزینی دندانپزشک	اطلاع‌رسانی عمومی، تأکید بر نقش کمکی هوش مصنوعی (نه جایگزین)، تضمین محرمانگی و امنیت سامانه
ارائه‌دهنده خدمت (دندانپزشک)	مقاومت در برابر تغییر، کمبود مهارت فنی، نگرانی از مسئولیت حقوقی در صورت خطای هوش مصنوعی	برگزاری کارگاه‌های آموزشی، ارائه گواهی امتیاز بازآموزی، شفاف‌سازی قوانین مسئولیت مدنی (هوش مصنوعی به‌عنوان دستیار و نه تصمیم‌گیر نهایی)
سازمان (دانشکده/مرکز)	کمبود سرور و زیرساخت ذخیره‌سازی ابری، هزینه‌های اولیه و نیز هزینه‌های نگهداری و پشتیبانی فنی مداوم	تأمین بودجه از محل طرح‌های تحول سلامت، همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان، استفاده از مدل‌های اشتراک در هزینه یا قراردادهای پشتیبانی طولانی‌مدت
نظام سلامت (سطح کلان)	نبود استانداردها و پروتکل‌های بالینی برای هوش مصنوعی در دندانپزشکی ایران، عدم نقش‌آفرینی سازمان نظام پزشکی در تدوین تعرفه‌ها و پروتکل‌ها	تدوین آیین‌نامه توسط وزارت بهداشت، همکاری با سازمان غذا و دارو برای تأیید نرم‌افزار، مشارکت سازمان نظام پزشکی در تدوین پروتکل‌های بالینی و تعرفه‌گذاری

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-10-26]

چالش‌های حل‌نشده و پیشنهادات برای تحقیقات آینده

با وجود پتانسیل بالای هوش مصنوعی، همچنان چالش‌هایی باقی است که باید مورد توجه قرار گیرد:

تعمیم‌پذیری مدل: عملکرد مدل EfficientNet بر روی مجموعه‌داده محدود به یک مرکز، ممکن است در مراکز دیگر با کیفیت تصاویر متفاوت، کاهش یابد. نیاز به مطالعات چندمرکزی با داده‌های متنوع از سراسر کشور احساس می‌شود.

تأییدیه نظارتی: فرایند اخذ تأییدیه از سازمان غذا و دارو برای نرم‌افزارهای هوش مصنوعی تشخیصی، زمان‌بر و پیچیده است و نیاز به تدوین دستورالعمل‌های شفاف دارد.

مسائل حقوقی و اخلاقی: مسئولیت در قبال خطای تشخیصی، مالکیت داده‌ها و حریم خصوصی بیماران، هنوز به‌صورت کامل در نظام حقوقی ایران تبیین نشده است.

هزینه‌های پنهان: علاوه بر هزینه اولیه، نگهداری، به‌روزرسانی و پشتیبانی فنی مداوم، هزینه‌های قابل‌توجهی ایجاد می‌کند که باید در برآوردهای اقتصادی لحاظ شود.

پیشنهادات برای آینده

انجام مطالعات چندمرکزی با مشارکت دانشگاه‌های علوم پزشکی سراسر کشور

تدوین چارچوب حقوقی و اخلاقی مشخص برای کاربرد هوش مصنوعی در دندانپزشکی

طراحی مدل‌های مالی پایدار (مانند مشارکت عمومی-خصوصی) برای تأمین هزینه‌های جاری

ایجاد بانک داده ملی از تصاویر رادیوگرافی با برچسب‌گذاری استاندارد برای توسعه و ارزیابی مدل‌های بعدی

برنامه پایش و ارزشیابی پیشنهادی

شاخص‌های فرآیندی: تعداد تصاویر آنالیز شده توسط هوش مصنوعی، تعداد دندانپزشکان آموزش‌دیده، میزان تطابق تشخیص هوش مصنوعی با تشخیص متخصص

شاخص‌های پیامدی: میزان کاهش خطای تشخیص پوسیدگی، میزان کاهش درمان‌های غیرضروری (عصب‌کشی و کشیدن)، رضایت دندانپزشکان و بیماران، صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از تشخیص زودهنگام

تأمین‌کنندگان مالی

تهیه‌کننده خلاصه سیاستی: مرکز تحقیقات دندانپزشکی، پژوهشکده علوم دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

منبع مالی مطالعه اصلی: طرح پژوهشی داخلی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی (بدون نقش‌آفرینی در تحلیل داده‌ها و نگارش)

تعارض منافع

نویسندگان این خلاصه سیاستی اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا غیرمالی مرتبط با محتوای این سند ندارند.

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-10-26]

References

1. Shoaee S, Masinaei M, Moghaddam SS, Sofi-Mahmudi A, Hessari H, Shamsoddin E, Heydari MH, Larijani B, Fakhrzadeh H, Farzadfar F. National and subnational trend of dental caries of permanent teeth in Iran, 1990–2017. International Dental Journal. 2024 Feb 1;74(1):129-37

2. Ansari A, Derisavi S, Rahbar M, Hoseinpour AR. Estimating the Economic Burden of Dental Caries in 6-Year-Old Children and Adult Population: A Study of Households in Ardabil City. J Ardabil Univ Med Sci. 2023;23(2): 135-146.

3. Schwendicke F, Tzschoppe M, Paris S. Radiographic caries detection: a systematic review and meta-analysis. Journal of dentistry. 2015 Aug 1;43(8):924-33

4. Dobloug A, Grytten J, Holst D. Dentist-specific variation in diagnosis of caries–a multilevel analysis. Community Dentistry and Oral Epidemiology. 2014 Apr;42(2):185-91

5. Mertens S, Krois J, Cantu AG, Arsiwala LT, Schwendicke F. Artificial intelligence for caries detection: Randomized trial. *J Dent*. 2021 Dec;115:103849.

6. Tabatabaei Tabrizi A, Ghasemi H, Panahandeh N. Developing an Artificial Intelligence Software to Aid in Dental Caries Detection. *J Res Dent Maxillofac Sci*. 2026;11(1):66-74.

پیوست‌ها

پیوست ۱: جدول مقایسه دقت مدل‌های مختلف هوش مصنوعی در تشخیص پوسیدگی (برگرفته از مقاله اصلی، جدول ۱)

Table 1. Comparison of the accuracy, precision, PPV, NPV, sensitivity, specificity, and F1-score of different models on the datasets

Criteria / Model (Net)	Accuracy	Precision (PPV)	Sensitivity	Specificity	NPV	F1-score
ResNet50	92.0%	93.0%	91.0%	91.0%	92.8%	91.5%
VGG16	89.0%	86.0%	88.0%	90.0%	89.8%	87%
VGG19	93.5%	94.6%	93.8%	94.3%	94.3%	93%
GoogleNet	92.5%	93.0%	92.5%	98.0%	92.6%	90%
MobileNetV3	90.5%	90.0%	89.0%	91.0%	90.0%	88%
EfficientNet	94.7%	93.4%	96.7%	96.2%	92.4%	93.5%

پیوست ۲: نمودار ساختار مدل EfficientNet برای تشخیص پوسیدگی (شکل ۴ مقاله اصلی)

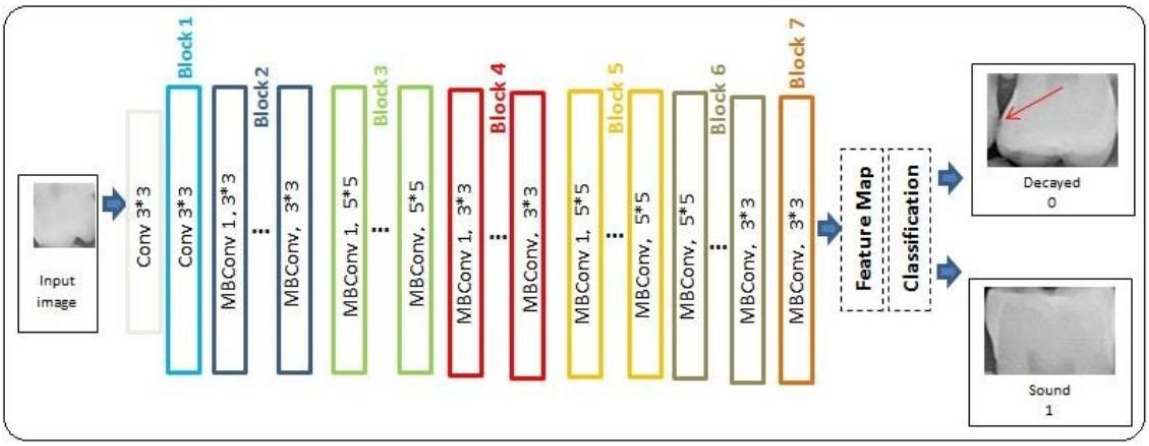

Figure 4. EfficientNet model diagram used in this study consists of seven blocks which are shown in different colors. The basic building block of EfficientNet-B0 is a mobile inverted bottleneck convolution (MBConv), while each MBConv block is shown with the corresponding kernel filter size. Finally, after block 7 and feature map, the model classifies dental image as sound or carious

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-10-26]

فهرست افراد گردآورنده منابع و مطلعین کلیدی

نقش	وابستگی سازمانی	نام
نویسنده مسئول مطالعه اصلی	مرکز تحقیقات دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی	دکتر نرگس پناهنده
مشاور سیاست‌گذاری سلامت	گروه سلامت دهان، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی	دکتر هادی قاسمی
متخصص هوش مصنوعی در دندانپزشکی	دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی	دکتر علیرضا طباطبایی تبریزی

تاریخ تدوین: خرداد ۱۴۰۵

جامعه هدف: معاونت درمان وزارت بهداشت، مرکز مدیریت فناوری‌های سلامت، مدیران دانشکده‌های دندانپزشکی، سازمان غذا و دارو، سازمان نظام پزشکی

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-10-26]