

A study of image processing techniques application for detection of proximal caries in Iran

Elham Alighardash¹, Samira Saati², Abbas Shokri², Payam Amini³, Hamed Salek Abdi², Vahid PourAmin¹, Reza Yazdi⁴

1. Computer Engineering Department, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Iran
2. Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Hamadan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran
3. Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical sciences, Ahvaz, Iran
4. Department of Computer Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

* Corresponding author e-mail: s.saati_dds@yahoo.com

Citation: Alighardash E, Saati S, Shokri A, Amini P, Salek Abdi H, PourAmin V. A study of image processing techniques application for detection of proximal caries in Iran. *Daneshvar Medicine* 2020; 28(4):57-68.

Abstract

Background and Objective: Diagnosis of enamel caries and evaluation of proximal caries depth are some of the main problems in caries detection. In this study, a new method based on image processing techniques proposed that applied to radiographic images. The purpose of this method was to automatically identify and segment decayed areas of the teeth.

Materials and Methods: For this study which was done in Hamedan province of Iran, several molar and pre-molar teeth images with 158 inter-proximal surfaces were selected. Sixty teeth with dentinal caries, 31 enamel restricted caries, 11 DEJ limited caries, and finally 56 surfaces without any caries were detected. The teeth were placed inside the prepared acrylic blocks, and the intra-proximal and occlusal contacts of the teeth were reconstructed. Then digital imaging was performed, and the results considered as the input of the proposed image processing method. In the proposed method, after preprocessing of images, by applying morphological operators, and with the help of the K-means clustering, caries were automatically detected. The final results and information were analyzed by SPSS software.

Results: The sensitivity of the proposed method was 86.7% for dentinal caries, 67.7% for enamel caries, and 63.6% of caries that limited to DEJ. The specificity was 100%, and the overall sensitivity reported as 78.4%. There was no false positive, the false negative and the accuracy of the method were 21.6% and 86% respectively.

Conclusions: The findings of the present study show that the software designed to detect proximal caries has acceptable diagnostic accuracy. In the proposed method, based on observations, the sensitivity of caries detection improves with an increase in depth of decay. Therefore, it qualifies better in detecting dentinal caries than enamel and DEJ caries.

Keywords: X-ray imaging, digital image processing, caries detection, k-means clustering

Received: 1 July 2020
Last revised: 7 Oct 2020
Accepted: 21 Oct 2020

تشخیص پوسیدگی های بین‌دندانی به کمک روش‌های پردازش تصویر در تصاویر رادیوگرافی نمونه جمعیت ایران

مقاله پژوهشی

نویسندگان: الهام علی‌قارداش^۱، سمیرا ساعتی^{۲*}، عباس شگری مرئی^۲، پیام
امینی^۳، حامد سالک عبدی^۲، وحید پورامین^۱، رضا یزدی^۴

۱. گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران
۲. گروه رادیولوژی دهان فک و صورت، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۳. گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جنیدی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۴. گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*نویسنده مسئول: سمیرا ساعتی E-mail: s.saati_dds@yahoo.com

چکیده

مقدمه و هدف: با توجه به مشکلات مربوط به تشخیص پوسیدگی مینایی و ارزیابی عمق پوسیدگی‌های بین‌دندانی، تشخیص این قبیل پوسیدگی‌ها با دشواری‌های زیادی همراه است. در این پژوهش روشی برای حل این مشکل با استفاده از تصاویر رادیوگرافی و راهکارهای پردازش تصویر ارائه شده است. هدف از این روش، شناسایی و قطعه‌بندی نواحی پوسیده دندان‌ها به شکل خودکار است.

مواد و روش‌ها: به این منظور از تعدادی تصویر دندان خلفی انسانی مربوط به استان همدان در ایران با ۱۵۸ سطح بین‌دندانی استفاده شده است. در این بخش‌ها ۶۰ پوسیدگی محدود به عاج، ۳۱ پوسیدگی محدود به مینا، ۱۱ پوسیدگی محدود به ناحیه اتصال مینا به عاج و ۵۶ سطح بدون پوسیدگی، مشاهده شدند. دندان‌ها درون بلوک‌های آکریلی آماده‌سازی شده قرار گرفته و تماس‌های بین‌دندانی و اکلوژالی دندان‌ها بازسازی شد. سپس تصویربرداری دیجیتال انجام شده و نتایج به عنوان ورودی روش پردازش تصویر پیشنهادی در نظر گرفته شده است. در این روش پس از پیش‌پردازش تصاویر، با اعمال عملگرهای ریخت‌شناسی و به کمک روش خوشه‌بندی میانگین K، پوسیدگی‌ها به شکل خودکار تشخیص داده شده‌اند. نتایج و اطلاعات نهایی توسط نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج: میزان حساسیت روش پیشنهادی برای پوسیدگی‌های عاجی ۸۶/۷٪، پوسیدگی‌های مینایی ۷۷/۷٪ و پوسیدگی‌های محدود به DEJ ۶۳/۶٪ اندازه‌گیری شد. در این مطالعه اختصاصیت روش پیشنهادی ۱۰۰٪، حساسیت کلی ۷۸/۴٪، مثبت کاذب ۰٪، منفی کاذب ۲۱/۶٪ و دقت روش ۸۶٪ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که نرم‌افزار طراحی شده برای تشخیص پوسیدگی پروگزیمال از دقت تشخیصی قابل قبولی برخوردار است. در روش پیشنهادی، بر اساس مشاهدات با افزایش عمق پوسیدگی، حساسیت تشخیص افزایش می‌یابد؛ بنابراین، تشخیص پوسیدگی عاجی بهتر از پوسیدگی مینا و DEJ است.

واژه‌های کلیدی: تصاویر رادیوگرافی، پردازش تصاویر دیجیتال، تشخیص پوسیدگی، روش میانگین K

دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱

آخرین اصلاح‌ها: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۳۰

مقدمه

در کنار معاینات کلینیکی، رادیوگرافی یکی از مهمترین وسیله‌ها برای تشخیص پوسیدگی است که در انجام آن دو روش تصویربرداری آنالوگ و دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱). یکی از موارد بالینی بسیار شایع، تشخیص وجود یا عدم وجود پوسیدگی‌های بین‌دندانی توسط دندانپزشکان و در صورت وجود، انتخاب روش درمانی مناسب برای آن است (۲). این در حالی است که حتی کلینیسین‌های ماهر و با تجربه نیز هنگام استفاده از رادیوگرافی برای تشخیص پوسیدگی تنها به مقدار متوسطی از دقت و توافق دست می‌یابند (۳، ۴). مطالعات، حساسیت تشخیص پوسیدگی دندان‌ها با استفاده از رادیوگرافی معمولی را ۴۰٪ تا ۶۰٪ گزارش کرده‌اند (۳). محققان دانشگاه UCLA نشان داده‌اند که دندانپزشکان در تشخیص چشمی پوسیدگی پروگزیمال در رادیوگرافی با فیلم، عمق ضایعات را تا ۴۰٪ اشتباه تشخیص داده و در ۲۰٪ موارد دندان سالم را به عنوان پوسیدگی تشخیص می‌دهند (۵). در این بین تشخیص وجود حفره نیز از اهمیت ویژه برخوردار است. حفره به عنوان از دست رفتن سطح مینا تعریف می‌شود. مطالعات موجود مرز مشخصی را برای تعیین محدوده حفره در مینا اعلام نمی‌کنند (۶). در نتیجه تعجب برانگیز نیست که تصمیمات درمانی متفاوت بر اساس تصاویر رادیوگرافی یکسان از نظر حضور و وسعت پوسیدگی توسط دندانپزشکان متفاوت اتخاذ شود (۷، ۸). علت این مسئله تمایل چشم به یکنواخت کردن سایه‌های خاکستری در مشاهده تصاویر رادیوگرافی است (۹).

به طور کلی دو راه برای تشخیص پوسیدگی وجود دارد:

(۱) ارزیابی کلینیکی (۲) استفاده از رادیوگرافی. مورد دوم نیز از دو طریق قابل ارزیابی است. روش اول، بررسی چشمی معمول که در اکثر کلینیک‌ها صورت می‌گیرد و روش دوم، بررسی به وسیله نرم‌افزارهای کامپیوتری موجود است. در طی سال‌های اخیر پیشرفت‌های رادیوگرافی دیجیتال امکان استفاده از برنامه‌های تشخیص

پوسیدگی را فراهم ساخته است. این برنامه‌ها قادر هستند پوسیدگی‌های مینا را از پوسیدگی‌های عاجی و همچنین تغییرات در تراکم، تفکیک کرده و مناطق دمنیرالیزه را تشخیص دهند. علاوه بر این، برنامه‌هایی از این نوع در ادغام با سیستم‌های دیجیتال امکان آنالیز سریع تصاویر را فراهم می‌سازند. این نرم‌افزارها علاوه بر استفاده کلینیکی می‌تواند در آموزش تشخیص رادیوگرافیک، حضور یا عدم حضور پوسیدگی‌ها و میزان گسترش آن‌ها به دانشجویان مفید واقع شوند.

یکی از این نرم‌افزارها Logicon Caries Detector است که به عنوان یک ابزار تشخیصی توسط FDA تایید شده و برای استفاده دندانپزشکان وارد بازار جهانی شده است. این نرم‌افزار بر روی رادیوگرافی‌های دیجیتال داخل دهانی عمل کرده و ضایعات رسیده به عاج که نیاز به ترمیم دارند را از ضایعات محدود به مینا تشخیص می‌دهد (۱۰) و این کار را با آنالیز تغییرات دانسیته رادیوگرافی و تعیین نواحی دمنیرالیزه دندان انجام می‌دهد (۹). در هر حال نمونه بومی نرم‌افزار وجود نداشته و نمونه‌های موجود در بازار جهانی نیز در داخل کشور به راحتی در دسترس نیست و همچنین در برخی مطالعات صورت گرفته دقت آن کمتر از مشاهده چشمی گزارش شده است (۹، ۱۰).

در سال ۲۰۰۲ Gakenheimer طراح نرم‌افزار LCD^۱ نتایج بالینی استفاده از این نرم‌افزار را در تعیین پوسیدگی در رادیوگرافی دیجیتال داخل دهانی منتشر کرد (۹). او ۱۸ دندانپزشک را برای استفاده از نرم‌افزار آموزش داد. دندانپزشکان ۱۷۵ سطح دارای پتانسیل پوسیدگی را ابتدا با دید چشمی و سپس با کمک نرم‌افزار بررسی کردند. پس از تشخیص نهایی ترمیم انجام شد و عمق پوسیدگی ثبت و دقت، حساسیت و اختصاصیت محاسبه شد. در بررسی پوسیدگی‌هایی که توسط دندانپزشکان در عاج تشخیص داده شدند. حساسیت قبل و بعد از استفاده از نرم‌افزار به ترتیب ۷۳٪ و ۹۵٪، اختصاصیت قبل و بعد از استفاده از

^۱ Logicon Caries Detector

نرم افزار ۸۸/۶٪ و ۸۸/۳٪ و دقت دندانپزشکان قبل و بعد از استفاده از نرم افزار نیز ۷۵/۶٪ و ۸۸/۳٪ گزارش شد. نرم افزار LCD دندانپزشک را برای تعیین پوسیدگی نفوذ کرده در عاج، ۲۰٪ تواناتر می کند در حالیکه سبب افزایش تشخیص و درمان غلط دندان های سالم نمی شود.

wenzel و همکاران در سال ۲۰۰۲ دقت تشخیصی برنامه LCD را با مشاهده گر انسانی مقایسه کردند. چهار مشاهده گر، سطح پروگزیمال ۱۹۰ دندان استخراج شده را در تمام تصاویر بر حسب شدت بیماری رده بندی کردند (۱۰). سپس هر مشاهده گر سطوح را با LCD بررسی و نتایج را ثبت کرد. برای تعیین قطعی وضعیت پوسیدگی از بررسی هیستولوژیک به عنوان استاندارد طلایی استفاده شد. پس از بررسی اختلاف میان روش های تشخیصی، دقت تشخیص پوسیدگی این نرم افزار، کمتر از مشاهده گر انسانی برآورد شد.

نرم افزار LCD در مطالعه ای دیگر در سال ۲۰۱۱ از نظر تشخیص و ارزیابی عمق پوسیدگی دندان مورد بررسی قرار گرفت (۱۱). در این پژوهش تصاویر دیجیتال که توسط سنسور Kodak RVG 5000 از ۱۰۰ سطح پروگزیمال دندان به دست آمد توسط سه ناظر آنالیز شد. سپس محقق اصلی تصاویر را توسط نرم افزار LCD مورد بررسی قرار داد. در نهایت از تصاویر عکاسی تهیه شده از دندان ها برش داده شده پس از بزرگنمایی به عنوان استاندارد طلایی استفاده شد. تمامی مقادیر بدست آمده با استفاده از آزمون chi-square مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. پس از محاسبه معیارهای حساسیت، اختصاصیت، ارزش پیش بینی مثبت، ارزش پیش بینی منفی و دقت کلی، مشخص شد که نرم افزار در رد پوسیدگی نسبت به تشخیص پوسیدگی قابلیت اطمینان بیشتری دارد. Ehsani Rad و همکاران در سال ۲۰۱۵ در ایران مطالعه ای بر روی ۳۲ سطح خاکستری رادیوگرافی پری اپیکال و بایت وینگ دندان انجام دادند. آن ها در پژوهش خود از روش خوشه بندی k-mean برای تقسیم بندی

خودکار و استخراج ویژگی های تصاویر اشعه ایکس دندانپزشکی، استفاده کردند (۱۲). نتایج نشان داد که روش مورد استفاده برای تقسیم بندی تصاویر مناسب است، همچنین می تواند به عنوان یک ابزار کمکی در تشخیص و اندازه گیری به کار برده شود. محققین در پژوهش دیگر خود در سال ۲۰۱۸ یک روش قطعه بندی جدید مبتنی بر مجموعه سطوح (LS) را در دو مرحله ارائه کردند: ایجاد فرم اولیه با استفاده از عملگرهای ریخت شناسی و قطعه بندی مجموعه سطوح هوشمند با به کارگیری فیلتر متحرک و شبکه عصبی پس انتشار. استفاده از روش دو مرحله اشاره شده در این تحقیق با دقت عملکرد ۹۰/۸۳٪ در قطعه بندی همراه است. در ۱۵۵ مورد دندان قطعه بندی شده نیز با تشخیص پوسیدگی در ۱۵۲ مورد همراه بوده است که دقت ۹۸٪ را همراه خواهد داشت (۱۳).

در سال ۲۰۱۵ در ایران Baseri و همکاران، مطالعه ای بر روی ۲۰۰ رادیوگرافی دندان انجام دادند. برای ارزیابی دقت و صحت تشخیص رادیولوژیست ها در مطالعه آن ها نرم افزاری طراحی شده برای علامت گذاری پوسیدگی دندان شامل دو بخش بود (۱۴). بخش نمایشگر نتایج که جمع آوری نظرات هشت رادیولوژیست با تجارب مختلف را انجام داد و بخش تجزیه و تحلیل که برای خواندن و تجزیه و تحلیل نظرات کاربران استفاده شد. از تعداد ۵۰ رادیوگرافی تکراری نیز استفاده شد. نتایج نشان داد که هشت رادیولوژیست در ۱۵۰ رادیوگرافی غیر تکراری، تنها ۴۰٪ تشخیص نقاط پوسیدگی را یکسان انجام داده اند. در ۵۰ رادیوگرافی تکرار شده، نیز حداقل دقت ۵۰٪ و حداکثر آن ۶۹٪ بوده است.

مطالعه Valizadeh و همکاران در سال ۲۰۱۵ در ایران بر روی ۹۳ دندان با ۱۸۳ سطح پروگزیمال، انجام شد (۱۵). تصاویر رادیوگرافی دندان ها با استفاده از روش فازی FCM^۱ به خوشه های مجزا تقسیم و نتایج نشان داد که نرم افزار ۶۰٪ پوسیدگی های مینا و ۹۷٪ پوسیدگی های

^۱ Fuzzy C-Means

در مجموع از ۷۹ دندان (۱۵۸ سطح پروگزیمال) برای این کار استفاده شده است که از این میان ۶۰ عدد دارای پوسیدگی محدود به مینا، ۱۱ عدد دارای پوسیدگی محدود به DEJ^۲ بوده‌اند. ۵۶ سطح بدون پوسیدگی نیز در نمونه‌های بررسی شده وجود داشته است. دندان‌های دارای پوسیدگی وسیع (gross) که کانتور دندان قابل تشخیص نباشد، دندان‌های دارای پوسیدگی سطح ریشه، دندان‌های دارای ترمیم پروگزیمالی آمالگام و کامپوزیت از مطالعه حذف شدند. همچنین وجود شکستگی دندان، آنومالی در سایز و شکل نیز از معیارهای دیگر حذف نمونه‌ها بوده است. دندان‌های مورد مطالعه باید دارای مقداری مینا در ناحیه gingival حفره پوسیدگی باشند تا بتوان CEJ قابل تشخیص را برای دندان‌ها تعریف کرد. دندان‌های دارای اورلپ پروگزیمالی و دندان‌های دارای پوسیدگی در pit باکال یا لینگوال که تصویر پوسیدگی آن‌ها در محدوده inter proximal سوپرایمپوز می‌شود نیز در مرحله آنالیز نتیجه از مطالعه خارج شدند. با در نظر گرفتن فرضیات فوق ۲۳ نمونه (در هر نمونه تعداد ۶ دندان) رادیوگرافی بایت وینگ دیجیتال بوسیله سیستم رادیوگرافی mindray(Soredex, Tuusula, Finland) با کولیماسیون عمودی در ولتاژ ۶۰ Kvp، آمپراژ ۶ mA، با زمان اکسپوژر ۰/۱۲ s و سنسور سایز ۲ از فاصله ۱۰ cm تهیه شد. سنسور PSP(Optime, Tuusula, Finland) موازی با محور طولی دندان‌ها قرار داده شد. شرایط اکسپوژر برای تمام تصاویر یکسان در نظر گرفته شد. تصاویر بایت وینگ تهیه و در نرم‌افزار SCANORA (Soredex, Tuusula, Finland) v.5.1 با کتراست و فرمت JPEG ذخیره شد (۱۸). حال در تصاویر به دست آمده تعیین حدود پوسیدگی با توجه به تغییرات رادیولوسنسی تصاویر جهت افزایش درجه اطمینان و دقت تشخیصی، توسط دو نفر متخصص رادیولوژی فک و صورت، تعیین

عاجی را تشخیص داده است. ضریب همبستگی بین کلاسی بین نتایج نرم‌افزار و تشخیص‌های هیستولوژیکال برای پوسیدگی‌های مینا ۶۰٪ و برای پوسیدگی‌های عاجی ۹۳٪ گزارش شد.

در سال ۲۰۱۶ Janja Jan در دانشگاه Ljubljana اسلونی مطالعه‌ای تحت عنوان تشخیص ضایعات پوسیدگی پروگزیمالی با استفاده از سیستم تشخیص پوسیدگی Canary انجام داد (۱۶). هدف این مطالعه بررسی دقت سیستم canary برای تشخیص این ضایعات در شرایط آزمایشگاهی و مقایسه آن با سیستم بین المللی ارزیابی و تشخیص پوسیدگی ICDAS-II^۱ و رادیوگرافی بایت وینگ بود. حساسیت سیستم canary به طور قابل توجهی از ICDAS-II و بایت وینگ و حساسیت ICDAS-II بالاتر از بایت وینگ گزارش شد.

در این پژوهش کاربرد روشی برای تشخیص پوسیدگی با استفاده از تصاویر رادیوگرافی و راهکارهای پردازش تصویر ارائه شده است. هدف از این روش، شناسایی و قطعه بندی نواحی پوسیده دندان‌ها به شکل خودکار است. در این روش پس از پیش پردازش تصاویر، با اعمال عملگرهای ریخت شناسی و به کمک روش خوشه بندی میانگین K، پوسیدگی‌ها به شکل خودکار تشخیص داده شده‌اند.

مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌های استفاده شده، دندان‌های طبیعی استخراج شده خلفی (پره مولر و مولر) در کلینیک‌های دندان پزشکی استان همدان است. اگرچه که هدف از این مطالعه بررسی تأثیر قومیت یا منطقه جغرافیایی بر الگوی پوسیدگی نبوده است اما مقایسه نتایج این روش با نمونه‌هایی از دیگر اقلیم‌ها در ایران و سایر کشورها می‌تواند زمینه این نوع از مطالعه را نیز فراهم کند.

¹ International Caries Detection and Assessment System

² Cemento Enamel Junction

شد. اطلاعات بدست آمده در این مرحله به عنوان پایه طراحی روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفت.

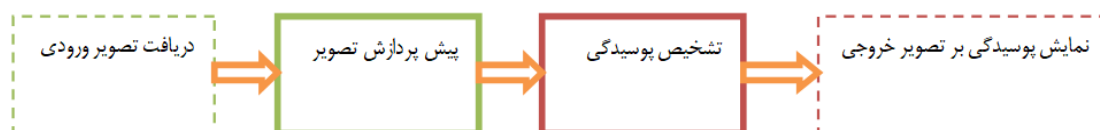
استاندارد طلایی

جهت تأیید وجود پوسیدگی در دندان ها و بررسی دقت روش ارائه شده، دندان ها توسط دیسک الماسی، موازی با محور طولی دندان در جهت مزودیستالی و در امتداد شیار مرکزی برش داده شدند و وجود یا عدم وجود پوسیدگی توسط مشاهده با استریومیکروسکوپ

Olympus(Hamburg, Germany) با بزرگنمایی ۲۰ مورد بررسی و به عنوان استاندارد طلایی مورد استفاده قرار گرفت.

روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی که در این قسمت توضیح داده خواهد شد، ورودی، تصویر رادیوگرافی و خروجی، تصویری است که مناطق پوسیدگی بر روی آن تعیین شده است. دیاگرام کلی الگوریتم را در شکل ۱ مشاهده می کنید.

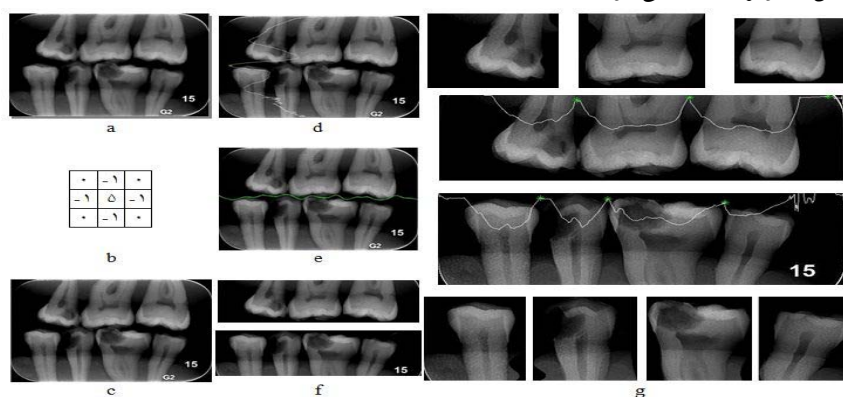


شکل ۱. دیاگرام کلی عملکرد الگوریتم

در اولین مرحله برای شفاف سازی تصویر از فیلتر لاپلاس استفاده می شود. ماسکی که برای این هدف مورد استفاده قرار می گیرد مشابه شکل ۲-ب و نتیجه اعمال فیلتر لاپلاس بر روی تصویر ۲-ا، نمونه شفاف شده آن مطابق شکل ۲-ج است.

پیش پردازش

در مرحله پیش پردازش کیفیت تصاویر ورودی بهبود داده شده و تصاویر که به صورت دو ردیف ۳ یا ۴ تایی از دندان هاست از یکدیگر جدا خواهند شد. شکل شماره ۲-ا نمونه ای از تصاویر ورودی را نشان می دهد که برای توضیح مراحل انجام کار که در قالب ۴ زیر مرحله ارائه خواهد شد نیز از همین تصویر استفاده می شود.



شکل ۲. نتیجه اعمال مراحل پیش پردازش به صورت مرحله به مرحله بر روی تصویر ورودی

در گام بعد برای جداسازی فک بالا از فک پایین شدت رنگ تجمعی را در سطرهای ماتریس تصویر مطابق با رابطه (۱) محاسبه می کنیم. مرز افقی بین دندان ها جایی است که کمترین میزان شدت رنگ تجمعی را دارد. شکل

تابع محاسبه شده از رابطه (۱) بر روی تصویر متناظر با آن در شکل ۲-د نمایش داده شده است.

رابطه ۱:

رابطه ۱) محاسبه می کنیم. مرز افقی بین دندان ها جایی است که کمترین میزان شدت رنگ تجمعی را دارد. شکل

$$A(i, j) = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m f_k(i, j, l)$$

خوشه بندی در آن استفاده شده است. باید دقت داشت که آنچه این مطالعه را به سمت پیاده‌سازی سیستم‌های مبتنی بر خوشه بندی سوق داده است، عدم همسانی شدت رنگ در تصاویر ورودی و کافی نبودن تعداد نمونه‌ها جهت آموزش سیستم است که بخشی از افت دقت و کارایی را نیز در پی داشته است. در ادامه، مراحل روش تشخیص پوسیدگی پیشنهادی توضیح داده شده و از تصاویر یکی از دندان‌های جدا شده در شکل ۲ که در شکل ۳-a نیز تکرار شده، برای نمایش نتیجه مراحل انجام کار استفاده شده است.

در ابتدا تصویر ورودی با اعمال فیلتر لاپلاس و با استفاده از ماسک شکل ۲-b شفاف شده و نتیجه آن شکل شماره ۳-b می‌شود. برای شفافیت بیشتر و مشخص شدن هر چه بیشتر جزئیات اعمال فیلتر لاپلاس یک بار دیگر تکرار می‌گردد که شکل ۳-c را حاصل می‌کند. در تصویر شماره ۳-c با آنکه لبه‌ها به خوبی نمایش داده شده‌اند، اما جزئیات غیرمرتبط نیز پررنگ شده‌اند. برای حذف آن‌ها از هموارسازی تصویر و فیلتر میانه با ماسک شکل ۳-d استفاده می‌شود و تصویر شماره ۳-e حاصل می‌شود.

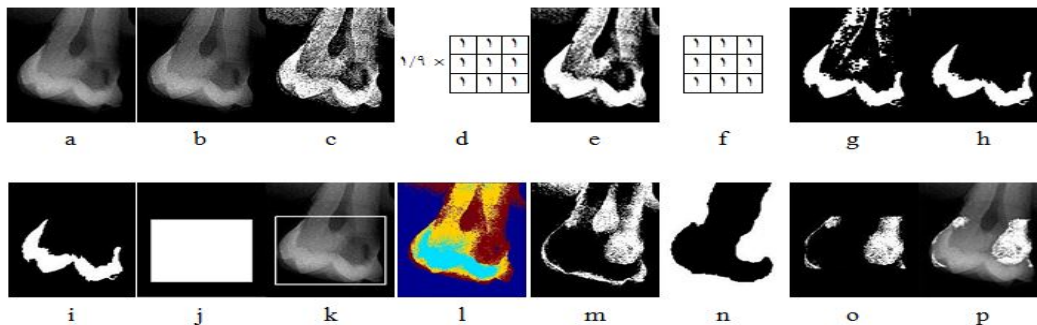
پس از تعیین محدوده‌ی فضای بین فک‌ها به روش snake fitting مرز بین فک بالا و پایین مشابه شکل ۲-e تعیین می‌شود. پس از تعیین مرز بین فک‌ها، دو قسمت بالا و پایین تصویر از یکدیگر جدا شده به صورت شکل ۲-f در می‌آید.

پس از جداسازی فک‌های بالا و پایین، از تکنیک ذکر شده برای جداسازی فکین این بار برای ستون‌های تصویر مطابق با رابطه (۲) استفاده می‌شود. نتیجه این عمل تعیین فضای بین دندان‌ها برای جداسازی آن‌ها از یکدیگر است. پس از انجام این مراحل تک تک دندان‌های دو فک بالا و پایین از یکدیگر جدا شده و برای استفاده در مراحل بعدی آماده می‌شوند. نمونه انجام این کار در شکل ۲-g نمایش داده شده است.
رابطه ۲:

$$A(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x, \theta)$$

تشخیص پوسیدگی

پس از جداسازی و بهبود اولیه تصاویر که در بخش قبل توضیح داده شد، تشخیص پوسیدگی ممکن می‌شود. آنچه در این بخش اتفاق می‌افتد، می‌تواند به شکل خودکار، نیمه خودکار یا دستی باشد. سیستم پیشنهادی مبتنی بر روش خودکار بوده و برای تشخیص از روش‌های هوشمند



شکل ۳. نتیجه اعمال مراحل تشخیص پوسیدگی به صورت مرحله به مرحله بر روی یکی از تصاویر ۲-g

حال با اعمال عملگرهای مورفولوژیک، بزرگترین ناحیه پیوسته در تصویر تعیین می‌شود. این ناحیه که در شکل ۳-

در ادامه از عملگر مورفولوژیک closing با عامل ساختاری شکل ۳-f استفاده می‌کنیم که نتیجه اعمال آن در شکل ۳-g نمایش داده شده است.

هیستولوژیکیال به عنوان استاندارد طلایی استفاده شده است. نمونه‌های موجود در قالب دو نوع سطح بدون پوسیدگی و دارای پوسیدگی جمع آوری شدند. تعداد سطوح بدون پوسیدگی ۵۶ عدد معادل ۳۵/۴ درصد و تعداد سطوح دارای پوسیدگی ۱۰۲ عدد معادل ۶۴/۶ درصد از کل نمونه‌ها است. همانطور که پیش‌تر ذکر شد از آنجا که پوسیدگی‌ها در نواحی مختلف دارای اهمیت و روش درمان متفاوت هستند در جداول ارزیابی سطوح پوسیده بر اساس نوع به سه دسته مینایی، DEJ و عاجی تقسیم شده‌اند و دقت روش پیشنهادی در مورد هر نوع به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است.

اولین گام از بررسی نتایج روش پیشنهادی با هدف تحلیل حساسیت این روش در تشخیص پوسیدگی در نواحی پوسیده طراحی شده است. نتایج این تحلیل در جدول ۱ به شکل نواحی پوسیده‌ای که به درستی توسط نرم‌افزار تشخیص داده شده‌اند و نواحی پوسیده‌ای که روش پیشنهادی قادر به تشخیص آن‌ها نبوده است، گزارش شده‌اند.

در این جدول از گزارش نتایج تشخیص در نواحی بدون پوسیدگی پرهیز شده است چرا که هدف نهایی از طراحی روش پیشنهادی، تشخیص درست نواحی پوسیده بوده است.

h دیده می‌شود، ناحیه‌ای کلی است که می‌توان ادعا کرد پوسیدگی در حدود آن به وقوع پیوسته است.

با اعمال الگوریتم پر کردن حفره‌ها، حفره‌های موجود در شکل ۳-h را پر کرده و در نتیجه آن شکل ۳-i حاصل می‌شود. سپس با استفاده از شکل شماره ۳-i و تعیین حدود ناحیه مینای مشخص شده، ماسکی به صورت شکل ۳-j ایجاد می‌شود که با اعمال آن بر روی تصویر اولیه، ناحیه تاج دندان که احتمال پوسیدگی در آن وجود دارد به صورت شکل ۳-k به دست می‌آید.

در این بخش، اصلی ترین گام روش یا الگوریتم k-means را برای تعیین ۴ خوشه بر روی تصویر اولیه اعمال می‌کنیم. با توجه به نتیجه k-means در شکل ۳-l و انتخاب ناحیه‌ی مربوط به خوشه‌ای که پوسیدگی در آن قرار دارد ماسکی مشابه شکل ۳-m ایجاد می‌شود. با پر کردن حفره‌های شکل ۳-m و استفاده از عملگر اروژن با عامل ساختاری شکل ۳-f، قسمت ریشه حذف و نتیجه مشابه شکل ۳-n می‌شود. حاصل ضرب ماسک شکل‌های ۳-j، ۳-m و ۳-n، تصویر شماره ۳-o را می‌سازد که ناحیه‌ی دچار پوسیدگی را نشان می‌دهد. از جمع تصویر شماره ۳-o با تصویر اولیه شکل ۳-a، تصویر شماره ۳-p به دست می‌آید که در آن نواحی پوسیده مشخص است.

نتایج

برای ارزیابی عملکرد روش ارائه شده، تعدادی متغیر مورد ارزیابی قرار گرفته و جهت ارزش‌دهی، بررسی

جدول ۱. میزان تشخیص پوسیدگی در نرم‌افزار در نواحی مختلف

مجموع	ارزیابی		نوع پوسیدگی
	تشخیص پوسیدگی درست (TP*)	تشخیص عدم پوسیدگی غلط (FN**)	
۶۰	۵۲	۸	Dentin
۱۰۰/۰	۸۶/۷	۱۳/۳	تعداد نمونه سهم تشخیص در نوع پوسیدگی (%)
۵۸/۸	۶۵/۰	۳۶/۴	DEJ
۱۱	۷	۴	تعداد نمونه سهم تشخیص در نوع پوسیدگی (%)
۱۰۰/۰	۶۳/۶	۳۶/۴	Enamel
۱۰/۸	۸/۷۵	۱۸/۱	تعداد نمونه سهم تشخیص در نوع پوسیدگی (%)
۳۱	۲۱	۱۰	مجموع
۱۰۰/۰	۶۷/۷	۳۲/۳	تعداد نمونه‌های دارای پوسیدگی سهم تشخیص در نوع پوسیدگی (%)
۳۰/۴	۲۶/۲۵	۴۵/۵	سهم نمونه در تشخیص (%)
۱۰۲	۸۰	۲۲	مجموع
۱۰۰/۰	۷۸/۴	۲۱/۶	تعداد نمونه‌های دارای پوسیدگی سهم تشخیص در نوع پوسیدگی (%)
۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	سهم نمونه در تشخیص (%)

* True Positive, ** False Negative

پوسیدگی در نواحی سالم نیز باشد؛ به عبارت دیگر تشخیص غلط نواحی بدون پوسیدگی به عنوان ناحیه پوسیده از ارزشمندی روش خواهد کاست. برای روشن شدن همین موضوع از نمونه‌های بدون پوسیدگی استفاده شده است و به عنوان ورودی به همراه نمونه‌های پوسیده به نرم‌افزار داده شده‌اند تا کارایی روش سنجیده شود. در جدول ۲، آنالیز بر اساس وجود و یا عدم وجود پوسیدگی، بدون در نظر گرفتن عمق آن آورده شده است. طبق نتایج گزارش شده در جدول ۲ اختصاصیت نرم‌افزار ۱۰۰٪، حساسیت کلی ۷۸/۴٪، مثبت کاذب ۰٪ و منفی کاذب ۲۱/۶٪ است.

برای محاسبه دقت روش، نسبت تشخیص‌های درست نمونه‌ها شامل تشخیص نواحی پوسیده و سالم به تعداد کل نمونه‌ها، به دست آمده که معادل ۸۶٪ است.

در جدول ۱ میزان حساسیت تشخیصی نرم‌افزار برای پوسیدگی‌های عاجی ۸۶/۷٪، پوسیدگی‌های محدود به DEJ ۶۳/۶٪ و پوسیدگی‌های مینایی ۶۷/۷٪ ارزیابی شده است. به طور کلی این روش صرف نظر از نوع پوسیدگی، ۷۸/۴ درصد دارای حساسیت تشخیص پوسیدگی است. با توجه به نتایج آزمون Chi-Square با ارزش ۵/۹۲۳ و اینکه P-value = 0.000، بین تشخیص ۳ نوع پوسیدگی تفاوت معنادار آماری وجود دارد و بنا بر مقایسه نتایج روش با استاندارد طلایی، مشاهده شده است که هرچه عمق پوسیدگی بیشتر باشد قدرت تشخیص بهتر است. برای بررسی صحت عملکرد یک روش نرم‌افزاری جهت تشخیص پوسیدگی تنها تشخیص‌های درست نواحی پوسیده کفایت نمی‌کند. یک روش کارا علاوه بر تشخیص صحیح نواحی پوسیده، باید قادر به تشخیص عدم وجود

جدول ۲. آنالیز تشخیص پوسیدگی بدون در نظر گرفتن عمق

مجموع	ارزیابی		نوع نمونه
	تشخیص وجود پوسیدگی	تشخیص عدم وجود پوسیدگی	
۵۶	۵۶	۰	نمونه‌های بدون پوسیدگی
۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۰/۰	تعداد تشخیص سهم تشخیص در نمونه (%)
۳۵/۴	۷۱/۸	۰/۰	سهم نمونه در تشخیص (%)
۱۰۲	۲۲	۸۰	نمونه‌های دارای پوسیدگی
۱۰۰/۰	۲۱/۶	۷۸/۴	تعداد تشخیص سهم تشخیص در نمونه (%)
۶۴/۶	۲۸/۲	۱۰۰/۰	سهم نمونه در تشخیص (%)
۱۵۸	۷۸	۸۰	تعداد تشخیص
۱۰۰/۰	۴۹/۴	۵۰/۶	سهم تشخیص (%)
۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	کل

بحث

جدول ۳ مقایسه دقت روش پیشنهادی را با تعدادی از روش‌های ارائه شده نمایش می‌دهد. طبق این جدول دقت روش پیشنهادی نسبت به استفاده از سیستم‌های بایت وینگ و ICDAS-II دارای بهبود است. دقت روش پیشنهادی مشابه سیستم canary است. دقت روش ارائه شده توسط Rad et. al از دقت روش پیشنهادی بیشتر است که دلیل آن می‌تواند استفاده ترکیبی از روش‌های قطعه بندی مبتنی بر مجموعه سطوح همراه با ایجاد فرم اولیه و به کارگیری فیلتر متحرک و شبکه عصبی پس انتشار باشد که با افزایش پیچیدگی محاسباتی همراه است. به بیان دیگر مزیت روش پیشنهادی در سادگی تکنیک‌های به کار رفته و کوچک بودن مرتبه محاسبات است که بدون استفاده از محاسبات پیچیده و در زمان کوتاه و با سخت‌افزار ساده، به دقت قابل قبولی رسیده است که به عنوان دقت پایه قابل اتکا بوده و در پژوهش‌های بعدی که در امتداد این مطالعه قابل اجرا است، می‌توان با افزودن تکنیک‌های جدید در بخش تشخیص این دقت را بهبود داد.

همانطور که در بخش آماده سازی نمونه‌ها گفته شد در روش پیشنهادی از ۷۹ دندان تعداد ۱۵۸ سطح پروگزیمال ایجاد شد. با هدف تشخیص ضایعات پوسیدگی محدود به مینا، DEJ و پوسیدگی‌های عاجی، پس از اجرای مراحل پیش پردازش و تشخیص پوسیدگی، ارزیابی سیستم انجام گرفت. حساسیت روش برای پوسیدگی عاجی ۸۶/۷ درصد، برای پوسیدگی مینایی ۶۷/۷ درصد و در مورد پوسیدگی در حد DEJ، ۶۳/۶ درصد محاسبه گردید. صرف نظر از نوع و محل پوسیدگی، حساسیت کلی ۷۸/۴ درصد است. علت کم بودن حساسیت تشخیصی برای پوسیدگی‌های DEJ نسبت به پوسیدگی‌های مینایی و عاجی، کم بودن تعداد نمونه‌های پوسیدگی DEJ در مقایسه با سایر پوسیدگی‌ها است. بین تشخیص ۳ نوع پوسیدگی تفاوت معنادار آماری وجود دارد ($p=0/000$) و مشاهدات نیز تائید می‌کند که هر چه عمق ضایعات پوسیدگی بیشتر باشد احتمال تشخیص ضایعه بیشتر می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه دقت روش پیشنهادی با تعدادی از روش‌های ارائه شده

روش	BW [۱۸،۱۶]	ICDAS-II [۱۷،۱۶]	Baseri et. al [۱۴]	روش پیشنهادی	Canary [۱۶]	Rad et. al [۱۳]
دقت	۰/۵۷۷	۰/۶۸۱	۰/۶۹	۰/۸۶	۰/۸۶۲	۰/۹۸

همچنین با افزایش تعداد نمونه‌ها و ایجاد تنوع بیشتر در آن‌ها می‌توان انتظار داشت که دقت کلی روش با بهبود مواجهه شود.

از یافته‌های مطالعه حاضر این نتیجه حاصل می‌شود که نرم‌افزار طراحی شده در تشخیص پوسیدگی‌های پروگزیمالی دارای دقت تشخیصی قابل قبولی است. در روش ارائه شده با افزایش عمق پوسیدگی حساسیت تشخیص پوسیدگی افزایش می‌یابد بنابراین در تشخیص پوسیدگی‌های محدود به عاج بهتر از پوسیدگی‌های محدود به مینا و DEJ عمل می‌کند. دقت کلی تشخیصی روش طراحی شده ۸۶٪ ارزیابی شد. استفاده از روش‌های جدیدتر پردازش تصویر مانند شبکه‌های عمیق که نیازمند استخراج ویژگی‌های اولیه تصویر نیستند، می‌تواند در کارهای آینده با توجه به محدودیت‌های مطالعه انجام شده، مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این در کارهای آینده می‌توان ایجاد مجموعه داده استاندارد برای تشخیص انواع پوسیدگی را مد نظر قرار داد.

یکی از دلایلی که باعث می‌شود در برخی از مطالعات انجام شده دقت‌های بسیار متفاوت از سایر مطالعات گزارش شود می‌تواند عدم وجود مجموعه داده استاندارد و مشترک برای این کار باشد. از آنجایی که در کلیه مطالعات انجام شده از داده‌های متفاوت با تعداد نمونه‌های مختلف استفاده می‌شود، مقایسه روش‌های موجود با چالش مواجه می‌شود. در صورتی که استفاده از مجموعه داده استاندارد، مقایسه روش‌ها را منطقی‌تر کرده و این کار با دقت بیشتری قابل انجام خواهد بود.

از دلایل دیگر تفاوت در دقت‌های گزارش شده می‌توان تفاوت در پیش پردازش را ذکر کرد. این کار در روش پیشنهادی سختگیرانه انجام شده است. در این مرحله با حذف موارد پوسیدگی که منجر به تغییر شکل دندان بوده‌اند و تأکید بر طبیعی بودن ساختار کلی نمونه‌های مورد بررسی، نمونه‌های به شدت پوسیده که شناسایی آن‌ها راحت‌تر بوده است حذف شده‌اند. به این ترتیب دقت تشخیصی در مقایسه با روش‌هایی که با نظارت کمتر روی نمونه‌ها همراه بوده‌اند، با افت مواجه شده است.

منابع

1. Roberson TM, Lundeen TF. Cariology: the lesion, etiology, prevention and Control. In: Roberson TM, Lundeen TF, editors. Art & Science of operative dentistry. 5th ed. St louis: Mosby; 2007: 65-131.
2. Farman TT, Gakenheimer DC, Lempicki A, Miller SR, Scheetz JP, Shafie A, et al. Computer-aided maxillofacial radiographic diagnosis: impact of variations in scintillator and acquisition mode. International Congress Series 2003; 1256: 1212-8.
3. Douglass CW, Valachovic RW, Wijesinha A, Chauncey HH, Kapur KK, McNeil BJ. Clinical efficacy of dental radiography in the detection of dental caries and periodontal diseases. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology 1986; 62(3): 330-9.
4. Wenzel A. Dental caries. In Oral Radiology Pergamon Press 2009; 270-81.
5. White SC, Hollender L, Gratt BM. Comparison of xeroradiographs and film for detection of proximal surface caries. The Journal of the American Dental Association 1984; 108(5): 755-9.
6. Duncan RC, Heaven T, Weems RA, Firestone AR, Greer DF, Patel JR. Using computers to diagnose and plan

- treatment of approval caries detected in radiographs. *The Journal of the American Dental Association* 1995; 126(7): 873-82.
7. Bader JD, Shugars DA. Understanding dentists' restorative treatment decisions. *Journal of public health dentistry* 1992; 52(2): 102-10.
 8. Kay EJ, Nuttall NM, Kniiil-Jones R. Restorative treatment thresholds and agreement in treatment decision-making. *Community dentistry and oral epidemiology* 1992; 20(5): 265-8.
 9. Gakenheimer DC. The efficacy of a computerized caries detector in intraoral digital radiography. *The Journal of the American Dental Association* 2002; 133(7): 883-90.
 10. Wenzel A, Hintze H, Kold LM, Kold S. Accuracy of computer-automated caries detection in digital radiographs compared with human observers. *European Journal of Oral Sciences* 2002; 110(3): 199-203.
 11. Behere RR, Lele SM. Reliability of Logicon caries detector in the detection and depth assessment of dental caries: an in-vitro study. *Indian Journal of Dental Research* 2011; 22(2): 362.
 12. Rad AE, Amin IBM, Rahim MSM, Kolivand H. Computer-aided dental caries detection system from X-ray images. *Computational Intelligence in Information Systems* 2015; 233-43.
 13. Rad AE, Rahim MSM, Kolivand H, Norouzi A. Automatic computer-aided caries detection from dental x-ray images using intelligent level set. *Multimedia Tools and Applications* 2018.
 14. Baseri H, Rafeh R, Tafreshi FS, Houshyar M, Khojastepour L. Introducing a dental caries marking software and evaluate radiologists' disagreement in caries detection using this software. *Journal of Dental Biomaterials* 2015; 2(1): 10-7.
 15. Valizadeh S, Goodini M, Ehsani S, Mohseni H, Azimi F, Bakhshandeh H. Designing of a Computer Software for Detection of Approximal Caries in Posterior Teeth. *Iranian Journal of Radiology* 2015;12(4):e16242.
 16. Jan J, Bakar W, Zaripah W, Mathews SM, Okoye LO, Ehler BR, et al. Proximal caries lesion detection using the Canary Caries Detection System: an in vitro study. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry* 2016; 7(4):383-90.
 17. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K. Reproducibility and Accuracy of the ICDAS-II for Detection of Occlusal Caries in Vitro. *Caries Research* 2008;42(2):79-87.
 18. Wenzel A. Bitewing and Digital Bitewing Radiography for Detection of Caries Lesions. *Journal of Dental Research* 2004; 83(suppl 1):C72-C75.