



Enhancing Cervical Cancer Diagnosis Accuracy Using Biomaterial-Based Methods, Transfer Learning, and Convolutional Neural Networks in Pap Smear Image Analysis

Mohammadjavad
Hosseinpoor *

Assistant Prof, Department of Computer
Engineering, Es.C., Islamic Azad University,
Estahban, Iran.

Abstract

Cervical cancer is one of the most common types of cancer among women and poses a serious health threat due to its strong association with the human papillomavirus (HPV). In its early stages, this disease is often asymptomatic and can progress to more advanced and life-threatening stages. The aim of this study is to improve the accuracy and speed of cervical cancer diagnosis through the analysis of Pap smear images using machine learning techniques and advanced biomaterial-based technologies. In this research, contrast-enhancing nanoparticles were employed to improve the contrast and quality of Pap smear images. The enhanced images were then analyzed using Convolutional Neural Networks (CNN) combined with three classification algorithms: K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree (DT), and Support Vector Machine (SVM). The Herlev dataset was used to evaluate the proposed model, and its performance was assessed based on accuracy, precision, recall, and F-measure. The results demonstrated that the proposed method achieved an accuracy of 98.75%, a precision of 97.50%, a recall of 96.25%, and an F-measure of 96.87%. These findings highlight the high capability of the model in detecting abnormal cells associated with cervical cancer. Overall, the integration of nanotechnology with machine learning techniques shows great promise in enhancing diagnostic processes, improving screening accuracy, and reducing the burden on healthcare systems.

Keywords: Pap smear images, contrast-enhancing nanoparticles, classification, deep learning, accuracy, neural network

Received: 15/April/2025

Accepted: 11/June/2025

eISSN: -----

ISSN: -----

بهبود دقت تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم با به کارگیری روش‌های بیومتریال، یادگیری انتقالی و شبکه‌های عصبی پیچشی در تحلیل تصاویر پاپ‌اسمیر

استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان،
ایران.

محمدجواد حسین پور *

چکیده

سرطان دهانه‌ی رحم، یکی از شایع‌ترین انواع سرطان در میان زنان است که به دلیل ارتباط آن با ویروس پاپیلومای انسانی (HPV)، تهدیدی جدی برای سلامت محسوب می‌شود. این بیماری در مراحل اولیه، معمولاً بدون علائم است و می‌تواند به مراحل پیشرفته و خطرناک برسد. هدف این پژوهش، افزایش دقت و سرعت تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم از طریق تحلیل تصاویر پاپ‌اسمیر با بهره‌گیری از روش‌های یادگیری ماشین و فناوری‌های نوین بیومتریال است. در این مطالعه، به منظور افزایش کنتراست و بهبود کیفیت تصاویر پاپ‌اسمیر، از نانوذرات کنتراست‌زا استفاده شده است. سپس تصاویر اصلاح‌شده، با استفاده از شبکه‌های عصبی پیچشی (CNN) و سه الگوریتم طبقه‌بندی، شامل K نزدیک‌ترین همسایه (KNN)، درخت تصمیم (DT) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) مورد تحلیل قرار گرفتند. مجموعه داده‌ی Herlev برای ارزیابی مدل پیشنهادی به کار گرفته شد و عملکرد مدل بر اساس معیارهای دقت، صحت، فراخوان و معیار F مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، نشان داد که روش پیشنهادی، به ترتیب دقت ۹۸/۷۵٪، صحت ۹۷/۵۰٪، فراخوان ۹۶/۲۵٪ و معیار F برابر با ۹۶/۸۷٪ را به دست آورده است. این یافته‌ها، بیانگر توانمندی بالای مدل در شناسایی سلول‌های غیرطبیعی مرتبط با سرطان دهانه‌ی رحم هستند. در مجموع، تلفیق فناوری نانو با روش‌های یادگیری ماشین، می‌تواند به بهبود فرآیندهای تشخیص، ارتقای دقت غربالگری و کاهش فشار بر سیستم‌های بهداشتی کمک کند.

کلیدواژه‌ها: تصاویر پاپ‌اسمیر، نانوذرات کنتراست‌زا، طبقه‌بندی، یادگیری عمیق، دقت، شبکه‌ی عصبی

مقدمه

سرطان دهانه‌ی رحم، به‌عنوان یکی از شایع‌ترین و پرخطرترین انواع سرطان‌ها در میان زنان، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، شناخته می‌شود (۱). بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت^۱ در سال ۲۰۱۹، این بیماری، چهارمین عامل مرگ‌ومیر ناشی از سرطان در زنان محسوب می‌شود (۲). سرطان دهانه‌ی رحم، علی‌رغم پیشرفت‌های چشم‌گیر در زمینه‌ی تشخیص و درمان، همچنان به دلیل تشخیص دیر هنگام و محدودیت‌های موجود در روش‌های غربالگری سنتی، چالش‌های عمده‌ای را در سیستم‌های بهداشتی جهانی ایجاد کرده است (۳). علائم این بیماری، شامل خونریزی غیرطبیعی رحم، درد لگنی، کاهش وزن ناگهانی، خستگی مزمن و بی‌اشتهایی است که در مراحل پیشرفته‌تر بیماری تشدید می‌شوند (۴). تشخیص دقیق و به‌موقع این بیماری، عمدتاً از طریق آزمایش‌های سیتولوژیکی، نظیر پاپ‌اسمیر و بررسی‌های بافت‌شناسی انجام می‌گیرد. روش‌های درمانی رایج، شامل جراحی، رادیوتراپی، شیمی‌درمانی و یا ترکیبی از این روش‌ها است (۵). با این حال، موفقیت‌آمیز بودن درمان، به‌شدت به مرحله‌ی تشخیص بیماری وابسته است. غربالگری سرطان دهانه‌ی رحم، به‌طور سنتی بر پایه‌ی تحلیل دستی تصاویر پاپ‌اسمیر توسط سیتوپاتولوژیست‌ها انجام می‌شود. این فرآیند، نه تنها زمان‌بر بوده، بلکه به دلیل خطاهای انسانی، تفاوت‌های ذهنی در تفسیر نتایج و خستگی ناشی از تحلیل حجم بالای داده‌ها، با محدودیت‌های جدی مواجه است (۶). این چالش‌ها، به کاهش دقت تشخیص و افزایش احتمال نتایج نادرست منجر می‌شوند. علاوه بر این، کمبود متخصصان مجرب در مناطق محروم و کشورهای درحال‌توسعه، دسترسی به خدمات غربالگری را با مشکل مواجه کرده است (۷، ۸)؛ از این رو، توسعه‌ی روش‌های خودکار و دقیق برای تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم، به یک نیاز فوری در حوزه‌ی پزشکی تبدیل شده است. پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه‌ی هوش مصنوعی^۲ و یادگیری عمیق^۳ به‌ویژه در پردازش تصاویر پزشکی، در سال‌های اخیر، امیدهای تازه‌ای برای بهبود فرآیند تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم ایجاد کرده است (۹). شبکه‌های عصبی پیچشی^۴، به‌عنوان یکی از قدرتمندترین ابزارهای یادگیری عمیق، توانایی بالایی در شناسایی الگوهای پیچیده و ناهنجاری‌های سلولی در تصاویر پاپ‌اسمیر دارند. این شبکه‌ها با استخراج ویژگی‌های عمیق از داده‌های تصویری، امکان تشخیص دقیق‌تر و سریع‌تر را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، استفاده از تکنیک‌های یادگیری انتقالی^۵ و بهینه‌سازی الگوریتم‌های هوش مصنوعی، دقت و کارایی مدل‌های تشخیصی را به‌طور قابل توجهی افزایش داده است (۱۰، ۱۱).

پیشینه‌ی پژوهش

مطالعات متعددی به بررسی کاربرد شبکه‌های عصبی کانولوشنی^۶ و روش‌های یادگیری عمیق در تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم پرداخته‌اند؛ به‌عنوان مثال، کالبور و شینده^۷ (۱۲) با استفاده از مدل‌های از پیش آموزش‌دیده و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، دقت تشخیصی بالای ۹۶/۰۱٪ را گزارش کرده‌اند. همچنین فکری ارشاد و الصفر^۸ (۱۳)، از شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه^۹ به همراه شبکه‌های عصبی کانولوشنی برای تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم استفاده کردند و نتایج مثبت و دقیقی را به دست آوردند. سیبی و رز^{۱۰} (۱۴) نیز از شبکه‌های عصبی کپسولی

1. World health organization (WHO)
2. Artificial intelligence (AI)
3. deep learning
4. Convolutional neural network (CNN)
5. transfer learning
6. convolutional neural network
7. Kalbhor & Shinde
8. Fekri-Ershad & Alsaffar
9. Multi-layer perceptron neural network
10. Cibi & Rose

عمیق و تصاویر MRI برای طبقه‌بندی دقیق سرطان دهانه‌ی رحم استفاده کردند که نشان‌دهنده‌ی دقت بالاتر این روش نسبت به سایر روش‌ها بود. در ادامه، بالوسا و همکاران^۱ (۱۵) نیز به بررسی نقش هوش مصنوعی در تشخیص سرطان پرداخته و نتایج امیدبخشی را ارائه دادند. همچنین کاویتا و همکاران^۲ (۱۶)، با استفاده از تکنیک‌های یادگیری عمیق و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها، موفق به تشخیص دقیق‌تر سرطان دهانه‌ی رحم شدند. درنهایت، کانیموزی و همکاران^۳ (۱۷)، از یک مدل یادگیری عمیق ترکیبی برای تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از فیلتر هدایت‌شده مبتنی بر هوش تطبیقی^۴، نویز تصاویر را کاهش داده و نقشه‌ای تفکیک‌پذیر را برای شناسایی نواحی مهم ایجاد کردند. مدل پیشنهادی، شامل دو سطح بود: در سطح اول، از شبکه‌های عصبی بازگشتی شامل شبکه‌ی اصلاح‌شده‌ی مکس‌اوت^۵ و حافظه‌ی کوتاه‌مدت بلندمدت^۶ استفاده شد. در سطح دوم، شبکه‌ی عصبی کاملاً متصل^۷ برای پیش‌بینی سرطان به کار رفت. نتایج، نشان داد که این روش، موجب بهبود معیارهای دقت، حساسیت، ویژگی و معیار F^* می‌شود. با بررسی روش‌های پیشین، علی‌رغم پیشرفت‌های به‌دست آمده، چالش‌هایی نظیر کمبود داده‌های برجسب‌گذاری‌شده، نیاز به منابع محاسباتی پیشرفته و محدودیت‌های تطبیق‌پذیری مدل‌ها با داده‌های جدید، همچنان وجود دارند. در پژوهش حاضر، برای رفع این محدودیت‌ها، روشی نوین مبتنی بر یادگیری انتقالی تطبیق‌پذیر و شبکه‌های عصبی کانولوشنی ارائه می‌شود. این روش، با بهینه‌سازی پارامترهای مدل و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته‌ی یادگیری عمیق، امکان تشخیص دقیق‌تر و سریع‌تر سرطان دهانه‌ی رحم را فراهم می‌کند. نتایج این پژوهش، نشان می‌دهد که استفاده از این روش می‌تواند به‌طور قابل توجهی دقت تشخیص را افزایش داده و فرآیند غربالگری را تسهیل کند. درنهایت، این مطالعه با ارائه‌ی یک مدل دقیق و کارآمد، گامی مهم در جهت بهبود تشخیص زودهنگام و پیشگیری از سرطان دهانه‌ی رحم برداشته است. امید است که با توسعه و به‌کارگیری گسترده‌ی این روش‌ها، نرخ بقای بیماران افزایش یافته و بار بیماری در سیستم‌های بهداشتی کاهش یابد.

روش

پژوهش حاضر، از نوع کاربردی بوده و در سال ۱۴۰۳ انجام شده است. داده‌های مورد استفاده، مجموعه‌داده‌ی معتبر Herlev (۱۳) بوده که شامل تصاویر سیتولوژیکی پاپ‌اسمیر برای تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم است. رویکرد پیشنهادی در این پژوهش، ترکیبی از الگوریتم‌های یادگیری انتقالی تطبیق‌پذیر، شبکه‌های عصبی پیچشی و فناوری‌های نوین بیومتریال به‌منظور افزایش دقت و کارایی در تشخیص اختلالات مرتبط با سرطان دهانه‌ی رحم است. این روش پیشنهادی، یک فرآیند چندمرحله‌ای و منسجم را دنبال می‌کند که با هدف افزایش دقت و کاهش خطا در تشخیص، طراحی شده است. مطابق با شکل ۱، این روش با مرحله‌ی جمع‌آوری داده‌ها و پیش‌پردازش تصاویر آغاز می‌شود و در ادامه با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی پیچشی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، به طبقه‌بندی نهایی اختلالات می‌پردازد. درنهایت، ترکیب نتایج با استفاده از رأی اکثریت، خروجی نهایی و بهینه را ارائه می‌دهد. در اولین گام، مجموعه‌داده‌ای از تصاویر پاپ‌اسمیر که شامل نمونه‌های نرمال و غیرنرمال (دارای اختلالات سرطانی) هستند، تهیه و به‌عنوان ورودی سیستم استفاده می‌شود. این تصاویر، حاوی اطلاعات حیاتی درخصوص سلول‌های دهانه‌ی رحم هستند و برای تشخیص دقیق، به پردازش‌های اولیه نیاز دارند. به‌منظور بهبود کیفیت و وضوح تصاویر پاپ‌اسمیر، در مرحله‌ی

1. Bulusa et al.
2. Kavitha et al.
3. Konimozhi et al.
4. Adaptive intellect-guided filter (AIGF)
5. Modified deep maxout network (MDMN)
6. Long short-term memory (LSTM)
7. E-LSTM-MDMN
8. F measure

آماده‌سازی نمونه‌ها، از نانوذرات کنتراست‌زا استفاده شده است. این نانوذرات با اتصال انتخابی به ساختارهای سلولی، باعث افزایش کنتراست میان سلول‌های نرمال و غیرنرمال می‌شوند و امکان شناسایی دقیق‌تر ویژگی‌های مورفولوژیکی سلول‌ها را فراهم می‌سازند. این مرحله، کیفیت اولیه‌ی تصاویر را برای تحلیل‌های بعدی، به‌طور قابل‌توجهی ارتقا می‌دهد.

در مرحله‌ی پیش‌پردازش، تصاویر به‌منظور آماده‌سازی برای الگوسازی و طبقه‌بندی، تحت سه فرآیند مهم قرار می‌گیرند. ابتدا نرمال‌سازی انجام می‌شود تا تصاویر از نظر روشنایی، کنتراست و کیفیت، یکنواخت شوند و ناهنجاری‌های ناشی از شرایط تصویربرداری برطرف گردد. سپس با تغییر اندازه، ابعاد تمامی تصاویر به اندازه‌ی استاندارد و یکسانی تغییر داده می‌شود تا شبکه‌های عصبی پیچشی بتوانند آن‌ها را به‌طور یکپارچه پردازش کنند. در ادامه، تقسیم‌بندی تصاویر انجام می‌شود تا بخش‌های کلیدی و مرتبط با نواحی سلولی که احتمال وجود اختلالات در آن‌ها بالاتر است، جدا شده و اطلاعات غیرضروری حذف شوند.

The Proposed Algorithm.

1. Input Herlev Pap Smear Images
2. Apply biomaterial-based enhancement (contrast agents)
3. Output Diagnose cervical cancer abnormalities
4. Preprocessing:
5. Normalize images (adjust brightness, contrast)
6. Resize images to standard dimensions
7. Segment images to isolate key regions
8. Feature Extraction using CNNs:
9. CNN1: Extract low-level features (edges, textures)
10. CNN2: Extract mid-level features (cellular structures)
11. CNN3: Extract high-level features (cellular abnormalities)
12. Classification using Machine Learning Algorithms:
13. KNN: Classify based on feature distances
14. Decision Tree: Classify using hierarchical decision-making
15. SVM: Classify using optimal feature boundaries
16. Combine Results using Majority Voting:
17. Determine final output based on majority agreement
18. Return Diagnose cervical cancer abnormalities

شکل ۱. شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی

پس از پیش‌پردازش، مرحله‌ی الگوسازی آغاز می‌شود که در آن از شبکه‌های عصبی پیچشی برای استخراج ویژگی‌های مهم از تصاویر استفاده می‌شود. در این روش، سه شبکه‌ی عصبی پیچشی به‌طور موازی به کار گرفته می‌شوند تا ویژگی‌های مختلف تصاویر را در سطوح متفاوت استخراج کنند. شبکه‌ی اول به‌عنوان لایه‌ی اولیه، ویژگی‌های سطح پایین، مانند لبه‌ها و بافت‌های سلولی را استخراج می‌کند. شبکه‌ی دوم، به‌طور عمیق‌تری به بررسی تصاویر می‌پردازد و ویژگی‌های میانی مانند ساختارهای سلولی و نواحی غیرطبیعی را شناسایی می‌کند. درنهایت، شبکه‌ی سوم، ویژگی‌های پیچیده و کلیدی مرتبط با اختلالات سلولی را استخراج کرده و اطلاعات دقیق‌تری را برای طبقه‌بندی فراهم می‌سازد. این سه شبکه، به‌طور هم‌زمان عمل کرده و مکمل یکدیگر هستند تا اطلاعات جامعی از تصاویر به دست آید. در مرحله‌ی بعد، ویژگی‌های استخراج‌شده از شبکه‌های عصبی پیچشی، برای طبقه‌بندی نهایی، به الگوریتم‌های یادگیری ماشین داده می‌شوند. سه الگوریتم اصلی برای این منظور استفاده می‌شوند که شامل K

نزدیک‌ترین همسایه (KNN)^۱، درخت تصمیم (DT)^۲ و ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۳ است. الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، بر اساس فاصله‌ی ویژگی‌ها، تصاویر را به کلاس‌های نرمال و غیرنرمال طبقه‌بندی می‌کند. الگوریتم درخت تصمیم با ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی و تحلیل ویژگی‌های کلیدی، فرآیند تصمیم‌گیری را برای تشخیص اختلالات انجام می‌دهد. در نهایت، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با استفاده از مرزهای بهینه در فضای ویژگی‌ها، تصاویر را به‌طور دقیق به دو کلاس نرمال و غیرنرمال تفکیک می‌کند. جهت اطمینان از دقت بالاتر در طبقه‌بندی، نتایج به‌دست آمده از هر سه الگوریتم یادگیری ماشین، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در این مرحله، از رأی اکثریت استفاده می‌شود تا خروجی نهایی بر اساس نظر غالب الگوریتم‌ها تعیین شود. رأی اکثریت، باعث می‌شود که احتمال خطای ناشی از هر الگوریتم کاهش یافته و نتیجه‌ی نهایی، با دقت و اطمینان بیشتری ارائه گردد. در مجموع، روش پیشنهادی با ترکیب پیش‌پردازش مؤثر، استفاده از شبکه‌های عصبی پیچشی برای استخراج ویژگی‌های عمیق و بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی، قادر است اختلالات سرطان دهانه‌ی رحم را با دقت بالا از تصاویر پاپ‌اسمیر تشخیص دهد. استفاده از رأی اکثریت به‌عنوان مرحله نهایی، دقت طبقه‌بندی را به حداکثر رسانده و مشکلات موجود در روش‌های پیشین را برطرف می‌سازد. این روش، نه تنها از دقت بالایی برخوردار است، بلکه می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای تشخیص زودهنگام و کمک به درمان به‌موقع سرطان دهانه‌ی رحم، مورد استفاده قرار گیرد.

معیارهای طبقه‌بندی

در این پژوهش، جهت ارزیابی روش پیشنهادی، از معیارها طبقه‌بندی استفاده گردیده است؛ که این معیارها شامل معیارهای دقت، صحت، فراخوان و معیار F است و هر کدام به ارائه‌ی تحلیل و ارزیابی کیفیت عملکرد یک مدل طبقه‌بندی کمک می‌کند.

۱. دقت^۴: نشان‌دهنده‌ی نسبت کل پیش‌بینی‌های صحیح به کل داده‌های ورودی است. این معیار، به‌سادگی تعداد پیش‌بینی‌های درست را نسبت به کل تعداد داده‌ها اندازه‌گیری می‌کند.

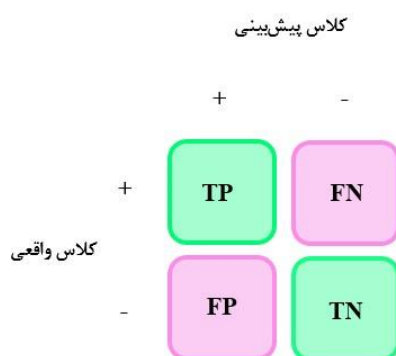
۲. صحت^۵: نسبت تعداد نمونه‌های صحیح مثبت پیش‌بینی‌شده به تعداد کل نمونه‌هایی است که به‌عنوان مثبت طبقه‌بندی شده‌اند. این معیار، به‌وضوح با کیفیت پیش‌بینی‌های مثبت مدل مرتبط است؛ به‌طوری که هرچه صحت بالاتر باشد، درصد پیش‌بینی‌های مثبت درست بیشتر خواهد بود.

۳. فراخوان^۶: یکی از معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌های طبقه‌بندی است که نشان می‌دهد چه نسبتی از نمونه‌های مثبت واقعی، توسط مدل به‌درستی شناسایی شده‌اند. این شاخص، از تقسیم تعداد نمونه‌های مثبت شناسایی‌شده درست (True Positives) بر مجموع کل نمونه‌های مثبت واقعی (True Positives + False Negatives) به دست می‌آید و بیانگر توان مدل در شناسایی موارد مثبت است؛ به‌ویژه در شرایطی که از دست رفتن نمونه‌های مثبت، اهمیت دارد.

۴. معیار F: میانگینی هارمونی بین صحت و فراخوان است. این معیار، زمانی که بین صحت و فراخوان تعادل وجود داشته باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و به‌ویژه در شرایطی که داده‌ها غیرمتعادل هستند، کاربردی است. با استفاده از این معیارها، می‌توان عملکرد مدل‌های مختلف را مقایسه کرده و مناسب‌ترین مدل را برای یک مسئله‌ی خاص انتخاب کرد. این معیارها، به تحلیل دقیق‌تر خروجی‌های مدل کمک می‌کنند و در نهایت به بهبود کیفیت

1. K nearest neighborhood (KNN)
2. Decision tree (DT)
3. Support vector machine (SVM)
4. accuracy
5. precision
6. recall

پیش‌بینی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها منجر می‌شوند. این معیارها، بر اساس ماتریس درهم‌ریختگی^۱ محاسبه می‌گردند که در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲. ماتریس درهم‌ریختگی

TP در ماتریس درهم‌ریختگی، بیانگر تعداد تصاویری است که کلاس واقعی آن‌ها سرطانی بوده و روش پیشنهادی نیز کلاس آن‌ها را به‌درستی سرطانی تشخیص داده است. FP، بیانگر تعداد تصاویری است که کلاس واقعی آن‌ها غیرسرطانی بوده، ولی روش پیشنهادی، به‌اشتباه کلاس آن‌ها را سرطانی تشخیص داده است. FN، بیانگر تعداد تصاویری است که کلاس واقعی آن‌ها سرطانی بوده، ولی روش پیشنهادی، به‌اشتباه کلاس آن‌ها را غیرسرطانی تشخیص داده است و درنهایت TN، بیانگر تعداد تصاویری است که کلاس واقعی آن‌ها غیرسرطانی بوده و روش پیشنهادی نیز به‌درستی کلاس آن‌ها را غیرسرطانی تشخیص داده است. حال بر اساس ماتریس درهم‌ریختگی، معیارهای طبقه‌بندی محاسبه می‌گردند:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (۱)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (۲)$$

$$F Measure = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (۳)$$

مجموعه داده

در این پژوهش، از مجموعه داده‌ی Herlev برای ارزیابی و بهبود دقت مدل پیشنهادی در تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم استفاده شده است (۱۳). این مجموعه داده، یکی از معتبرترین پایگاه‌های داده در حوزه‌ی غربالگری سرطان دهانه‌ی رحم محسوب شده و شامل تصاویر دیجیتال سلول‌های پاپ اسمیر است که برای تشخیص ناهنجاری‌های سلولی مرتبط با سرطان دهانه‌ی رحم مورد استفاده قرار می‌گیرند. مجموعه داده‌ی Herlev، به‌صورت گسترده در تحقیقات مرتبط با یادگیری ماشین و بینایی کامپیوتر برای تحلیل تصاویر پزشکی استفاده شده است (۱۳). این مجموعه، شامل ۹۱۷ نمونه‌ی تصویری از سلول‌های دهانه‌ی رحم است که به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند: سلول‌های غیرسرطانی و سلول‌های سرطانی. به‌طور دقیق‌تر، این مجموعه، شامل ۲۴۲ نمونه از سلول‌های غیرسرطانی و ۶۷۵ نمونه از سلول‌های سرطانی است که در دو کلاس جداگانه دسته‌بندی شده‌اند. یکی از ویژگی‌های کلیدی مجموعه داده‌ی Herlev، تنوع نمونه‌های تصویری و کیفیت بالای آن‌ها در ارائه‌ی جزئیات سلولی است. این ویژگی‌ها، به محققان امکان می‌دهد تا

مدل‌های یادگیری عمیق را به صورت دقیق آموزش داده و دقت طبقه‌بندی را افزایش دهند. از آنجا که یکی از چالش‌های اصلی در تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم، کاهش خطای انسانی و افزایش دقت سیستم‌های خودکار است، استفاده از این مجموعه داده، نقش مهمی در توسعه‌ی الگوریتم‌های تشخیصی دارد. مشخصات کلی این مجموعه داده، در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱. مشخصات مجموعه داده‌ی Herlev

تعداد نمونه‌های غیر سرطانی	تعداد نمونه‌های سرطانی	تعداد کلاس	تعداد نمونه	مجموعه داده
۲۴۲	۶۷۵	۲	۹۱۷	Herlev

مجموعه داده‌ی Herlev با توجه به ویژگی‌های یادشده، در این پژوهش به عنوان داده‌ی ورودی برای آموزش و ارزیابی مدل پیشنهادی استفاده شده است. این مجموعه داده، امکان مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های یادگیری عمیق و بررسی میزان دقت آن‌ها در تشخیص ناهنجاری‌های سلولی را فراهم می‌کند. بهره‌گیری از این مجموعه داده، به بهبود کارایی و دقت الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق کمک شایانی کرده و زمینه را برای ارتقای روش‌های خودکار تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم فراهم می‌آورد.

یافته‌ها

در این بخش، عملکرد روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده‌ی Herlev مورد بررسی قرار گرفته است. این روش، با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن توسعه یافته و برای تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم، مورد استفاده قرار گرفته است. ارزیابی مدل پیشنهادی بر اساس معیارهای متداول در حوزه‌ی طبقه‌بندی، شامل دقت، صحت، فراخوان و معیار F انجام شده و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

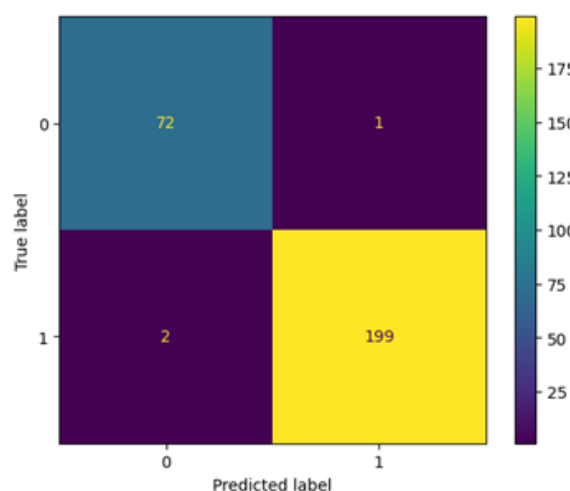
جدول ۲. نتایج روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده‌ی Herlev

معیار F	فراخوانی	صحت	دقت	روش پیشنهادی
۹۶/۸۷	۹۶/۲۵	۹۷/۵۰	۹۸/۷۵	روش پیشنهادی

روش پیشنهادی، توانسته است به دقت ۹۸/۷۵، صحت ۹۷/۵۰، فراخوان ۹۶/۲۵ و معیار F برابر با ۹۶/۸۷ دست یابد. این نتایج، نشان‌دهنده‌ی عملکرد مطلوب مدل در شناسایی بیماران مبتلا به سرطان دهانه‌ی رحم است. مقدار دقت ۹۸/۷۵، بیانگر آن است که مدل توانسته است بخش قابل توجهی از نمونه‌ها را به درستی تشخیص دهد. همچنین، صحت ۹۷/۵۰، نشان می‌دهد که از میان نمونه‌هایی که مدل به عنوان سرطانی پیش‌بینی کرده، درصد بالایی به درستی برچسب گذاری شده‌اند. فراخوان ۹۶/۲۵ نیز بیانگر توانایی مدل در شناسایی بیماران واقعی مبتلا به سرطان است که اهمیت بالایی در تشخیص بیماری‌ها دارد. همچنین مقدار ۹۶/۸۷ برای معیار F، تعادلی مناسب میان صحت و فراخوان را نشان می‌دهد.

برای درک بهتر عملکرد مدل پیشنهادی، ماتریس درهم‌ریختگی آن در شکل ۳ ارائه شده است. تحلیل این ماتریس، نشان می‌دهد که از ۷۳ نمونه‌ی سالم، مدل توانسته است ۷۲ مورد را به درستی تشخیص دهد و تنها یک نمونه‌ی سالم را به اشتباه سرطانی در نظر گرفته است. همچنین از ۲۰۱ نمونه‌ی سرطانی، مدل ۱۹۹ مورد را به درستی شناسایی کرده و تنها دو مورد را اشتباه تشخیص داده است. این نتایج، نشان می‌دهند که مدل پیشنهادی، نرخ خطای

بسیار کمی دارد و قادر است بیماران سرطانی را با دقت بالایی شناسایی کند؛ که مسئله، در کاربردهای پزشکی از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۳. ماتریس درهم‌ریختگی مربوط به روش پیشنهادی

برای ارزیابی میزان بهبود عملکرد روش پیشنهادی، مقایسه‌ای میان این روش و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، شامل ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم و K نزدیک‌ترین همسایه انجام شده که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. بررسی این جدول، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در تمامی معیارهای ارزیابی، عملکرد بهتری داشته است. دقت ۹۸/۷۵ این روش در مقایسه با دقت ۹۷/۱۵ در ماشین بردار پشتیبان، ۹۶/۴۵ در درخت تصمیم و ۹۵/۳۰ در KNN، برتری قابل توجهی را نشان می‌دهد. همچنین صحت، فراخوان و معیار F در روش پیشنهادی، بالاتر از سایر روش‌ها بوده است که بیانگر کاهش نرخ خطا و افزایش توانایی مدل در تشخیص بیماران سرطانی است.

جدول ۳. مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با روش‌های یادگیری ماشین بر روی مجموعه‌داده‌ی Herlev

معیار F	فراخوانی	صحت	دقت	
۹۳/۷۵	۹۳/۲۵	۹۴/۲۵	۹۵/۳۰	K نزدیک‌ترین همسایه
۹۵/۱۰	۹۵	۹۵/۲۰	۹۶/۴۵	درخت تصمیم
۹۶	۹۵/۵	۹۶/۵	۹۷/۱۵	ماشین بردار پشتیبان
۹۶/۸۷	۹۶/۲۵	۹۷/۵۰	۹۸/۷۵	روش پیشنهادی

دلایل برتری روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های متداول، به چند عامل اساسی بازمی‌گردد. نخست آنکه استفاده از شبکه‌ی عصبی کانولوشن، باعث شده است که مدل بتواند ویژگی‌های پیچیده‌ی سلول‌های سرطانی را بهتر استخراج کرده و از بیش‌برازش جلوگیری کند. این امر، موجب افزایش دقت و قابلیت تعمیم مدل شده است. علاوه بر این، روش پیشنهادی، توانسته است تعادل مناسبی میان دقت و فراخوان برقرار کند؛ به‌طوری که نرخ مثبت کاذب و منفی کاذب در آن کاهش یافته است. همچنین ترکیب چندین مدل یادگیری ماشین و استفاده از تکنیک‌هایی نظیر رأی‌گیری در تصمیم‌گیری نهایی، به بهبود عملکرد مدل و کاهش خطاهای احتمالی منجر شده است. از دیگر مزایای این روش، توانایی آن در بهره‌برداری از مزایای مدل‌های مختلف است. شبکه‌ی عصبی کانولوشن، در شناسایی ویژگی‌های پیچیده، عملکرد مطلوبی دارد؛ درحالی که ماشین بردار پشتیبان، در داده‌های با ابعاد بالا مؤثر است. درخت تصمیم، به دلیل قابلیت تفسیرپذیری، برای تحلیل داده‌های دسته‌بندی شده مفید است و K نزدیک‌ترین همسایه، در

تشخیص الگوهای محلی، عملکرد خوبی دارد. ترکیب این روش‌ها، باعث شده است که نقاط ضعف هر یک جبران شده و یک مدل جامع و قابل اطمینان حاصل شود.

در مجموع، نتایج ارائه‌شده، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به دلیل استفاده از یادگیری عمیق و ترکیب مدل‌های مختلف، دقت و عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتی داشته است. مقادیر دقت ۹۸/۷۵، صحت ۹۷/۵۰، فراخوان ۹۶/۲۵ و معیار F برابر با ۹۶/۸۷، نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای مدل در تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم هستند. مقایسه با سایر روش‌ها نیز نشان داد که این مدل در کاهش نرخ خطا و افزایش دقت تشخیص، موفق‌تر عمل کرده است. این یافته‌ها، تأیید می‌کنند که استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق می‌تواند به‌طور قابل توجهی دقت و قابلیت اطمینان سیستم‌های تشخیص پزشکی را بهبود بخشد و به توسعه‌ی روش‌های پیشرفته‌تر در این حوزه کمک کند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک روش نوآورانه با بهره‌گیری از ترکیب فناوری‌های بیومتریال، یادگیری عمیق و یادگیری انتقالی برای تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم از طریق تحلیل دقیق تصاویر پاپ‌اسمیر ارائه شد. نتایج آزمایش‌ها بر روی مجموعه داده‌ی Herlev، نشان داد که روش پیشنهادی، عملکرد قابل توجهی در شناسایی ناهنجاری‌های سلولی مرتبط با سرطان دهانه‌ی رحم دارد. استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی همراه با الگوریتم‌های طبقه‌بندی کلاسیک، مانند نزدیک‌ترین همسایه، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان، موجب بهبود دقت و کارایی سیستم شد. مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌های مرسوم، نشان داد که این روش از نظر دقت، صحت، فراخوان و معیار F، عملکرد بهتری دارد و میزان خطاهای مثبت و منفی کاذب را کاهش داده است. یکی از چالش‌های اصلی در روش‌های سنتی، وابستگی بالا به تحلیل دستی تصاویر پاپ‌اسمیر توسط متخصصان سیتولوژی است که موجب افزایش احتمال خطا و کاهش دقت تشخیصی می‌شود. تحلیل دستی، نه تنها زمان‌بر است، بلکه به دلیل تفاوت‌های ذهنی در تفسیر نتایج و خستگی ناشی از تحلیل حجم بالای داده‌ها، با محدودیت‌های جدی مواجه است. در مقابل، روش پیشنهادی با بهره‌گیری از یادگیری عمیق، توانست این محدودیت‌ها را برطرف کرده و دقت بالایی در تشخیص ارائه دهد. همچنین یکی دیگر از مشکلات موجود در روش‌های قبلی، کمبود داده‌های برچسب‌گذاری‌شده‌ی استاندارد و چالش‌های مرتبط با پردازش تصاویر پزشکی بود که در این پژوهش با استفاده از مجموعه داده‌ی Herlev و به‌کارگیری تکنیک‌های بهینه‌سازی مدل، به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

روش پیشنهادی، علاوه بر افزایش دقت تشخیص، قابلیت تعمیم‌پذیری بالاتری نسبت به روش‌های سنتی دارد. یکی از ویژگی‌های مهم این روش، استفاده از یادگیری انتقالی است که باعث شد مدل بتواند ویژگی‌های کلیدی تصاویر پاپ‌اسمیر را استخراج کند و حتی در شرایطی که داده‌های برچسب‌گذاری‌شده‌ی محدودی در دسترس هستند، عملکرد قابل قبولی ارائه دهد. این ویژگی، به‌ویژه در کاربردهای پزشکی که داده‌های دارای برچسب دقیق و فراوانی در دسترس نیستند، از اهمیت بالایی برخوردار است.

مقایسه‌ی مدل به کاررفته در پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین، نشان داد که روش پیشنهادی، نسبت به روش‌های ارائه‌شده در مطالعات محققان دیگر (مانند ارشاد و همکاران و کانیموژی و همکاران)، عملکرد بهتری دارد. به‌طور خاص، استفاده از ماشین بردار پشتیبان در ترکیب با شبکه‌ی عصبی پیچشی، موجب بهبود دقت و کاهش خطاهای طبقه‌بندی شد. این برتری، به دلیل توانایی در مدیریت داده‌های با ابعاد بالا و ویژگی‌های غیرخطی و همچنین بهره‌گیری از توابع کرنل برای ایجاد مرزهای تصمیم‌گیری بهینه بین کلاس‌ها است. در مقابل، شبکه‌های عصبی پرسپترون، به تنظیم دقیق پارامترهای متعددی نیاز دارند که می‌تواند فرآیند بهینه‌سازی را پیچیده‌تر کند. بر اساس مقایسه‌های

انجام شده در جدول ۴، دقت روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پیشین، به میزان ۷/۷۵ درصد، صحت ۱۰/۵ درصد، فراخوان ۵/۲۵ درصد و معیار F برابر با ۷/۸۷ درصد افزایش داشته است. این برتری روش پیشنهادی، به دلیل موازی‌سازی لایه‌های شبکه‌ی عصبی پیچشی و بهره‌گیری از ترکیب چندین الگوریتم طبقه‌بندی حاصل شده است. همچنین استفاده از رأی اکثریت در ترکیب مدل‌های طبقه‌بندی، باعث بهبود دقت و کاهش نرخ خطا شده است.

جدول ۴. مقایسه‌ی نتایج روش پیشنهادی با نتایج مطالعات پیشین بروی مجموعه داده‌ی Herlev

روش‌ها	دقت	صحت	فراخوانی	معیار F
روش ارشاد	۹۱	۸۷	۹۱	۸۹
روش کانیموژی	۹۵/۲۵	۹۱/۲	۹۵/۷۵	۹۳/۴۱
روش پیشنهادی	۹۸/۷۵	۹۷/۵۰	۹۶/۲۵	۹۶/۷۸

روش پیشنهادی، علاوه بر افزایش دقت، زمان پردازش را کاهش داده و نیاز به منابع محاسباتی سنگین را نیز بهینه‌سازی کرده است. با وجود مزایای قابل توجه، هنوز چالش‌هایی برای بهبود بیشتر مدل وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، افزایش حجم داده‌های آموزشی و بهبود کیفیت تصاویر ورودی برای افزایش دقت مدل است. همچنین استفاده از تکنیک‌های پیشرفته‌تر یادگیری عمیق، مانند شبکه‌های عصبی کپسولی^۱ و مدل‌های یادگیر خودتوضیح^۲، می‌تواند موجب بهبود عملکرد سیستم شود. به‌طور کلی، این پژوهش، نشان داد که استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق و یادگیری انتقالی، می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم داشته باشد. نتایج به‌دست آمده، نشان‌دهنده‌ی برتری روش پیشنهادی نسبت به روش‌های سنتی و سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. این روش، نه تنها دقت و کارایی بالایی در تحلیل تصاویر پاپ‌اسمیر دارد، بلکه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کمکی مؤثر در سیستم‌های غربالگری پزشکی مورد استفاده قرار گیرد و به کاهش بار تشخیصی متخصصان و بهبود فرآیندهای درمانی کمک کند. امید است که با ادامه‌ی تحقیقات در این حوزه، روش‌های تشخیصی هوشمند بهینه‌تر و کارآمدتری توسعه یابند که بتوانند به بهبود کیفیت مراقبت‌های پزشکی و افزایش نرخ بقا در بیماران مبتلا به سرطان کمک کنند.

منابع

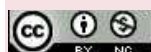
1. Mehedi MH, Khandaker M, Ara S, Alam MA, Mridha MF, Aung Z. A lightweight deep learning method to identify different types of cervical cancer. Scientific Reports. 2024 Nov 27;14(1):29446.
2. Kumar R, Kumbharkar P, Vanam S, Sharma S. Medical images classification using deep learning: a survey. Multimedia Tools and Applications. 2024 Feb;83(7):19683-728.
3. Jawahar M, Anbarasi LJ, Narayanan S, Gandomi AH. An attention-based deep learning for acute lymphoblastic leukemia classification. Scientific Reports. 2024 Jul 29;14(1):17447.
4. Chhillar I, Singh A. An Insight into Machine Learning Techniques for Cancer Detection. Journal of The Institution of Engineers (India): Series B. 2023 Aug;104(4):963-85.
5. Anjkar A, Rao NP, Paneerselvam R, Jayaramulu K, Narayana C, Yamamoto T, Noothalapati H. Deep Learning in Biomedical Applications of Raman Spectroscopy. In Biomedical Imaging: Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning 2024 Sep 27 (pp. 209-247). Singapore: Springer Nature Singapore.
6. Kumawat G, Vishwakarma SK, Chakrabarti P. Predictive Analysis of Cervical Cancer Using Machine Learning Techniques. In International Conference on Smart Computing and Communication 2024 Jan 12 (pp. 501-516). Singapore: Springer Nature Singapore.
7. Bezabh YA, Salau AO, Abuhayi BM, Ayalew AM. Classification of cervical spine disease using convolutional neural network. Multimedia Tools and Applications. 2024 Mar 27:1-7.

1. capsule networks

2. self-supervised learning

8. Salau AO, Markus ED, Assegie TA, Omeje CO, Eneh JN. Influence of Class Imbalance and Resampling on Classification Accuracy of Chronic Kidney Disease Detection. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*. 2023 Feb 1;10(1).
9. Ayalew AM, Salau AO, Abeje BT, Enyew B. Detection and classification of COVID-19 disease from X-ray images using convolutional neural networks and histogram of oriented gradients. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2022 Apr 1;74:103530.
10. Heydarnia E, Dorostgou Z, Hedayati N, Mousavi V, Yahyazadeh S, Alimohammadi M, Gheibi M, Heidari P, Igder S, Mafi A, Vakili O. Circular RNAs and cervical cancer: friends or foes? A landscape on circRNA-mediated regulation of key signaling pathways involved in the onset and progression of HPV-related cervical neoplasms. *Cell Communication and Signaling*. 2024 Feb 10;22(1):107.
11. Cea García J, Márquez Maraver F, Ríos-Pena L, Rubio Rodríguez MC, Rodríguez Jiménez I. Development and Internal Validation of a Multivariable Prediction Model for Anxiety and Depression Among Cervical Cancer Survivors at a Tertiary Hospital in Seville, Spain. *Indian Journal of Gynecological Oncology*. 2023 Dec;21(4):84.
12. Kalbhor MM, Shinde SV. Cervical cancer diagnosis using convolution neural network: feature learning and transfer learning approaches. *Soft Computing*. 2023 Jul 17:1-1.
13. Fekri-Ershad S, Alsaffar MF. Developing a tuned three-layer perceptron fed with trained deep convolutional neural networks for cervical cancer diagnosis. *Diagnostics*. 2023 Feb 12;13(4):686.
14. Cibi A, Rose RJ. Classification of stages in cervical cancer MRI by customized CNN and transfer learning. *Cognitive Neurodynamics*. 2023 Oct;17(5):1261-9.
15. Bulusu G, Vidyasagar KE, Mudigonda M, Saikia MJ. Cancer Detection Using Artificial Intelligence: A Paradigm in Early Diagnosis. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2025 Jan 8:1-39.
16. Kavitha R, Jothi DK, Saravanan K, Swain MP, Gonzáles JL, Bhardwaj RJ, Adomako E. [Retracted] Ant Colony Optimization-Enabled CNN Deep Learning Technique for Accurate Detection of Cervical Cancer. *BioMed Research International*. 2023;2023(1):1742891.
17. Kanimozhi T, Padmanaban K, Kanchana M, Asha Shiny XS. An automated cervical cancer diagnosis model using Y-net and ensemble deep learning model. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2024 Aug 28:1-4.

استناد به این مقاله: حسین پور، محمدجواد. (۱۴۰۴). بهبود دقت تشخیص سرطان دهانه‌ی رحم با به کارگیری روش‌های بیومتریال، یادگیری انتقالی و شبکه‌های عصبی پیچشی در تحلیل تصاویر پاپ اسمیر. *فصلنامه پیشرفت‌های مهندسی در حوزه‌ی پزشکی و مواد*، ۱(۱)، ۷۲-۸۳.



Journal of Recent Advancements in Material Science and Biomedical Engineering is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.