لیزر در پزشکی ۱۴۰۳/ دوره ۲۱ / شماره (۱) / ۱۳ صفحه.

مقاله پژوهشی

معرفی نرم‌افزار Optoskin V.0.1.Beta برای پردازش و تحلیل تصاویر درماتوسکوپی

انیس میسمی[۱]
محمدعلی انصاری[۲*]

۱. کارشناسی ارشد فوتونیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. دانشیار و مدیر آزمایشگاه تصویربرداری نوری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: محمدعلی انصاری
پست الکترونیکی: ansari@sbu.ac.ir
شماره تماس: ۰۹۱۲۲۵۸۹۶۴۳۷

چکیده

مقدمه: دستگاه درماتوسکوپ ابزاری است که با فراهم‌آوردن نمایی بزرگ از لکه‌های پوستی می‌تواند در تشخیص بهتر بیماری‌های پوستی از جمله سرطان خطرناک ملانوما تاثیرگذار باشد. افزودن یک ابزار نرم‌افزاری با قابلیت پردازش، تحلیل و درنهایت تشخیص لکه‌های پوستی می‌تواند به عنوان دستیار پزشک متخصص پوست عمل کند. در این مقاله، به معرفی نرم‌افزاری با عنوان Optoskinورژن یک که به عنوان رابط کاربری گرافیکی درماتسکوپ ساخته شده در آزمایشگاه تصویربرداری نوری دانشگاه شهیدبهشتی و با حمایت شرکت پرتو آوای اطلس است، می‌پردازیم.

روش بررسی: این نرم‌افزار ضمن فراهم‌آوردن امکان تصویربرداری از پوست، به پردازش تصاویر گرفته شده پرداخته و براساس الگوریتم ABCD شاخص‌های مهم یک لکه پوستی شامل تقارن، بی‌نظمی مرزی، رنگ و قطر را اندازه‌گیری می‌کند. برای اندازه‌گیری هر یک از این شاخص‌ها ابتدا تصاویر پیش‌پردازش‌شده و بعد از یافتن مرزهای لکه، با کمک الگوریتم‌های طراحی‌شده در این نرم‌افزار ویژگی‌های ظاهری ضایعه پوستی شناسایی می‌شود.

یافته‌ها: برای آزمودن عملکرد نرم‌افزار نیز از داده‌های تجربی و داده‌های موجود در دیتاست‌های HAM10000 وPH2 استفاده شده است. در نهایت، با کمک این نرم‌افزار به ۶۷٪ درستی تشخیص، ۷۲٪ حساسیت و ۶۱٪ شاخص ویژگی دست یافتیم.

نتیجه‌گیری: نرم‌افزار Optoskin برای پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر درماتوسکوپی طراحی شده است و می‌تواند به‌طور خودکار شاخص‌های مهمی مانند عدم تقارن، بی‌نظمی مرز، رنگ و قطر ضایعات را برمبنای قانون ABCD اندازه‌گیری کند. این نرم‌افزار همچنین قادر به طبقه‌بندی هوشمند ضایعات ملانومایی و خوش‌خیم است. هنگام آزمایش با داده‌های واقعی و مجموعه داده‌های استاندارد، Optoskin اثربخشی بالا، با دقت، حساسیت و ویژگی قابل توجه نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: درماتوسکوپی، پردازش تصویر، آنالیز تصویر، Optoskin V.0.1.Beta، الگوریتم ABCD، تشخیص ملانوما

مقدمه

ملانوما خطرناک‌ترین نوع سرطان پوست است که خطر آن در رشد سریع و هجوم به دیگر ارگان‌هاست. در دهه‌های اخیر، نرخ مرگ‌ومیر در اثر این بیماری افزایش یافته است [۱، ۲]. تحقیقات نشان داده معاینه دقیق لکه‌های پوستی و نظارت بر تغییرات آنها می‌تواند در تشخیص و درمان به موقع این بیماری موثر باشد و مرگباری آن را کاهش دهد [۳،۴].

درماتوسکوپی یک روش تصویربرداری غیرتهاجمی است که به کمک آن تصاویری با بزرگنمایی بیشتر به دست می‌آید [۵]. این تکنیک مهم در سه دهه اخیر توانسته به یک ابزار ضروری و مهم برای پزشکان متخصص پوست تبدیل‌شده و به آنها امکان تشخیص درست‌تر و اقدام سریع‌تر برای درمان داده است. بااین‌حال، ازآنجایی‌که تشخیص ملانوما بسیار به مهارت و تجربه پزشک متخصص در معاینه و شناسایی الگوهای موجود در لکه‌های پوستی بستگی دارد، این روش همچنان یک روش مبتنی بر کاربر باقی مانده است. بنابراین ایجاد یک الگوریتم که بتواند به‌صورت خودکار ویژگی‌ها و الگوهای موجود در ضایعات پوستی را استخراج و تحلیل کرده و عمل تشخیص را انجام دهد می‌تواند دستیار بسیار خوبی برای متخصصین به‌ویژه پزشکان جوان باشد. خوشبختانه امروزه پیشرفت‌های چشمگیری در سیستم‌های تشخیص بر مبنای کمک کامپیوتر[1] برای تشخیص خودکار ملانوما صورت گرفته است [۶] و این سیستم‌ها توانسته‌اند دست‌کم عملکرد بهتری از پزشکان کم‌تجربه و به تازگی از از متخصصان باتجربه داشته باشند [۷].

تشخیص خودکار ملانوما سه مرحله اساسی دارد که عبارتند از: قطعه‌بندی تصاویر، استخراج ویژگی‌های ضایعات پوستی و در نهایت انتخاب ویژگی‌ها و طبقه‌بندی [۸]. در فاز اول، تصاویر درماتوسکوپی تنها به دو بخش پس‌زمینه و لکه تقسیم می‌شود و موجب می‌شود با ایجاد یک ماسک بر روی پس‌زمینه، تنها بر روی خود ضایعه تمرکز کنیم. آن‌چه که در این مرحله می‌تواند به دقیق‌تر شدن محل لکه و قطعه‌بندی آن کمک کند انجام عمل پیش‌پردازش تصاویر است. این عمل می‌تواند به بهبود کیفیت تصویر و حذف نویزها کمک کرده و باعث سهولت تشخیص خودکار لکه‌های ملانومایی و غیرملانومایی شود.

مرحله دوم که شامل استخراج ویژگی‌های کلینیکی است گامی مهم در تشخیص نوع ضایعه پوستی به‌شمار می‌رود. برای انجام این فرآیند، چندین چهارچوب راهنما ایجادشده که در همگی آنها به سه مشخصه بافت، شکل و رنگ پرداخته می‌شود. این چهارچوب‌ها عبارتند از: معیار تحلیل الگو[2]، روش امتیازدهی منزیس[3]، چک لیست ۷ نکته‌ای[4]، قانون ABCD(E)[5].

روش‌تحلیل الگو به بررسی الگوی کلی موجودِ قابل مشاهده در ضایعه شامل طرح‌های شبکه‌ای، دایروی، همگون، ستاره‌ای، پیچیده، شبکه‌ی رنگدانه‌ها، ساختارهای عروقی و غیره می‌پردازد. در روش امتیازدهی منزیس ویژگی‌های لکه پوستی به دو دسته مثبت و منفی تقسیم می‌شود: ویژگی‌های منفی شامل تقارن و تک‌رنگی است. وجود هر دو ویژگی باعث می‌شود ضایعه ملانوما نباشد. ویژگی‌های مثبت شامل ۹ ویژگی ظاهری ازجمله وجود پوشش آبی - سفید، نقاط قهوه‌ای، وجود انشعابات و غیره است. وجود یکی از این ویژگی‌ها برای تشخیص ملانوما ضروری است.

در روش چک لیست هفت نکته‌ای سه معیار بزرگ و چهار معیار کوچک در نظر گرفته می‌شود که وجود سه مورد (دو مورد از معیارهای بزرگ و یک مورد از معیارهای کوچک) برای تشخیص ملانومایی بودن ضایعه پوستی ضروری است. معیارهای بزرگ شامل ساختار شبکه‌ای نامنظم، پوشش آبی - سفید و الگوهای وریدی نامنظم و معیارهای کوچک شامل بی‌نظمی در مرز و رنگدانه‌ها، وجود نقاط و لکه‌های نامنظم و ساختارهای پس‌رفتی[6] است.

قانون ABCD(E)[A] که یکی از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در معاینات کلینیکی است و در سال ۱۹۸۵ توسط گروهی از محققان

---

[1] Computer Aided Diagnosis: (CAD)

[2] Pattern Analysis Criteria

[3] Menzies Scoring

[4] ۷-Point Checklist

[5] ABCD: Asymmetry (A), Border (B), Color (C), Diameter (D), Evolution (E)

[6] Regression Structure

دانشگاه نیویورک ابداع و ازطرف انجمن سرطان آمریکا به‌عنوان یکی از روش‌های قابل اعتماد برای ارزیابی اولیه هر نوع لکه پوستی رنگ‌دانه‌دار شناخته شده است. این تکنیک می‌تواند پتانسیل ملانوما بودن یک لکه را براساس ویژگی‌هایی چون تقارن، بی‌نظمی مرزی، تنوع رنگ، قطر لکه‌های پوستی و تغییرات به‌وجودآمده در طول زمان سنجیده و به طبقه‌بندی و ارزیابی خطر کمک کند [۸-۱۰]. البته امروزه محققان به جای ارزیابی قطر که در راهنمای کلینیکی عنوان شده است از عبارت ساختارهای درموسکوپیک[1] استفاده می‌کنند و به مشخصات دیگری چون شبکه‌ی رنگدانه، نقاط، پوشش آبی - سفید و غیره می‌پردازند که البته این روش را تخصصی‌تر می‌سازد.

تلاش‌های متعددی برای خودکار نمودن فرآیند تشخیص برمبنای هر یک از روش‌های یادشده صورت گرفته است. بااین‌حال در این مقاله تنها بر روی استفاده از قانون ABCD تمرکز شده است؛ چرا که در این روش مهمترین ویژگی‌های لکه‌های ملانومایی سنجیده می‌شود و به پزشکان، متخصصین تازه‌کار و عموم افرادِ غیرپزشک امکان تشخیص زودهنگام ملانوما را می‌دهد.

در این مقاله، به توصیف نرم‌افزاری باعنوان Optoskin V.0.1.Beta پرداخته‌ایم که رابط کاربری درماتوسکوپی است که با حمایت شرکت پرتوآوای اطلس در آزمایشگاه تصویربرداری زیستی در دانشگاه شهیدبهشتی ساخته شده است. درماتسکوپ ساخته‌شده یک سیستم تصویربرداری اپتیکی است که قادر به ثبت تصویر با کیفیت ۱۲ مگاپیکسل، سرعت تصویربرداری ۲۵ فریم بر ثانیه و سیستم نورپردازی در بازه‌ی ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر است. این دستگاه با یک کابل USB به کامپیوتر متصل شده و داده‌ها را منتقل می‌کند. این دستگاه از لنزهای بزرگ‌کننده استفاده‌کرده و به‌صورت دستی بزرگ‌نمایی ۲۰ تا ۱۵۰ برابری فراهم می‌کنند. سیستم نورپردازی نیز از یک مجموعه ال‌ای‌دی حلقوی با قطبشگرهای دایره‌ای تشکیل شده است.

Optoskin I قادر به پردازش تصاویر پوست بوده و به تشخیص نوع لکه پوستی می‌پردازد. این نرم‌افزار به‌طور خودکار پارامترهایی مانند قطر، مساحت، محیط و رنگ لکه‌های پوستی را تشخیص می‌دهد. پس‌ازآن، به تحلیل آنها پرداخته و براساس الگوریتم ABCD آنها را طبقه‌بندی می‌کند. این نرم‌افزار در زبان پایتون ورژن ۳٫۷ نوشته شده است و بر روی تمامی سیستم عامل‌های ویندوز و مک قابل نصب است.

پنجره اصلی نرم‌افزار شامل قسمتی برای ورود اطلاعات بیمار، قابی برای نمایش خروجی دوربین، دکمه‌هایی برای ضبط ویدئو، ثبت عکس، نوشتن نظر و پردازش تصاویر است. قسمت پردازش تصویر شامل دو بخش با امکان پردازش پایه‌ای و پیشرفته است. این امکانات عبارتند از چرخش، تغییر اندازه، برش، اعمال فیلترهای هموارسازی[2]، افزایش وضوح تصویر[3] و قطعه‌بندی[4]، حذف مو و تشخیص مرزها. در قسمت اندازه‌گیری نیز امکان کمی‌سازی ویژگی‌های ضایعات پوستی وجود دارد. بعد از استخراج ویژگی‌های ظاهری، به هر شاخص مهم امتیازی داده‌شده و خوش‌خیمی و یا بدخیمی لکه به‌صورت خودکار تعیین می‌شود.

برای ارزیابی عملکرد نرم‌افزار از دو نوع داده‌ی تجربی و داده‌های موجود در دیتاست‌ها استفاده شده است. داده‌های تجربی توسط درماتوسکوپ گرفته شده است. این داده‌ها در آزمایشگاه تصویربرداری نوری در دانشگاه شهید بهشتی گرفته شده است که البته به‌دلیل دردسترس نبودن پزشک متخصص تنها بر روی اندازه‌گیری قطر لکه‌ها تمرکز شده است؛ به این صورت که پس از کالیبره‌کردن نرم‌افزار، از لکه‌های پوستی ۱۰ فرد داوطلب شامل ۶ مرد و ۴ زن و ۱۰ تصویر چاپی عکسبرداری و به‌طور همزمان اندازه قطر بزرگ لکه‌ها توسط کولیس اندازه‌گیری شده است تا بین عملکرد نرم‌افزار در اندازه‌گیری قطر و مقدار واقعی اندازه‌گیری‌شده مقایسه‌ای صورت گیرد. پس‌ازآن خطای مطلق اندازه‌گیری محاسبه شده است. شایان ذکر است که در مراحل بعدی قصد داریم که با همکاری با چند کلینیک تخصصی پوست از این نرم‌افزار برای ارزیابی و تشخیص داده‌های بالینی استفاده کنیم و صحت عملکرد نرم‌افزار را به صورت کلینیک بسنجیم.

[1] Dermoscopic Structures

[2] Smoothing
[3] Sharpening
[4] Segmentation

برای سایر داده‌ها از دیتاست‌های HAM10000 [۱۲] و [13] PH[2] استفاده کردیم. دیتاست HAM10000 شامل ۱۰۵۰۰ عکس درماتوسکوپی است که طی ۲۰ سال در دپارتمان علوم پزشکی دانشگاه علوم پزشکی وین و مرکز سرطان پوست کلیف روزندال در کوئینزلند استرالیا گرفته شده است. عکس‌های به‌دست‌آمده از آرشیو این مراکز در صورتی که گزارش پاتولوژیک داشتند و از تشخیص سرطانی‌نبودن خال‌های معمولی بیش‌از یک‌سال‌ونیم گذشته بود پس از مناسب‌سازی در ۷ دسته طبقه‌بندی شدند که این دسته‌ها عبارتند از: کراتوز آکتینیک[۱]، کارسینوم سلول بازال[۲]، کراتوز خوش‌خیم[۳]، درماتوفیبروم[۴]، خال ملانوسیتیک[۵]، ملانوما و ضایعات عروقی. شایان ذکر است که در این مقاله فقط عکس‌های لکه‌های ملانومایی و خال ملانوسیتیک استفاده شده است. دیتاست PH[2] هم شامل ۲۰۰ عکس درماتوسکوپی است که هر یک به‌صورت دستی قطعه‌بندی‌شده و توسط متخصصان پوست مؤلد ارزیابی قرار گرفته است. این دیتاست حاصل همکاری جمعی دانشگاه دو پورتو، تکنیکو لیسبون و مرکز درماتولوژی بیمارستان پدرو هیسپانو است. این دیتاست شامل ۸۰ خال معمول، ۸۰ خال ناهنجار مشکوک و ۴۰ لکه‌ی ملانومایی است.

برای ارزیابی عملکرد نرم‌افزار نیز شاخص‌های احتمالاتی حساسیت[۶]، شاخص ویزگی[۷] و درستی تشخیص[۸] به‌کار برده شد.

۲- روش

۲-۱- الگوریتم ABCD

یکی از روش‌هایی که متخصصان پوست برای تشخیص میزان خطر لکه‌های پوستی استفاده می‌کنند، الگوریتم ABCD است. این روش مشخصه‌های ظاهری یک ضایعه شامل تقارن، بی‌نظمی مرزی، رنگ و قطر را ارزیابی می‌کند. بعد از اندازه‌گیری این مقادیر، برای هر یک امتیازی در نظر گرفته می‌شود [۱۱]. در بخش‌های بعدی، نحوه‌ی امتیازدهی به هر ویژگی به‌صورت کامل شرح داده شده است. امتیازهای به‌دست‌آمده طبق معادله (۱) در ضرایب مشخصی ضرب‌شده و درنهایت امتیاز کلی درماتوسکوپی[۹] (TDS) به دست می‌آید.

معادله (۱)
$$TDS = 1.3 \times A_{score} + 0.1 \times B_{score} + 0.5 \times C_{sc} + 0.5 \times D_{score}$$

برطبق این امتیاز لکه‌های پوستی ملانوسیتیک به سه دسته خوش‌خیم، مشکوک و ملانوما تقسیم می‌شود. در جدول (۱) بازه‌های امتیاز کلی درماتوسکوپی و تشخیص نوع لکه بر اساس آن آمده است.

جدول ۱- تشخیص نوع ضایعه برحسب مقدار TDS [۱۱]

امتیاز کلی درماتوسکوپی (TDS)	تشخیص
<4.75	خوش‌خیم
$4.8 < TDS < 5.45$	مشکوک: نیازمند ارزیابی بیشتر
>5.45	پتانسیل بالای ملانوما

۲-۱-۱- تقارن

عدم‌تقارن یکی از مشخصه‌های مهم بدخیمی ملانومایی است. این شاخصه میزان دایروی بودن لکه‌های پوستی را تعیین می‌کند. برای تعیین تقارن یا عدم تقارن می‌توان از روش موجود در [۱۴] استفاده کرد، در این روش ابتدا تصویر را باینری کرده، سپس آن را در دو راستای افقی و عمودی از وسط به دو نیم می‌کنیم. پس از آن برحسب تعداد پیکسل‌های اجتماع و اشتراکِ دونیمه و به کمک فاصله هموود[۱۰] (معادله ۲) میزان تشابه بین آن دو نیمه را می‌سنجیم. این فاصله عددی بین ۰ تا ۱ به‌دست می‌دهد.

معادله (۲)
$$HD = \frac{N(X \cup Y) - N(X \cap Y)}{N(X \cup Y)}$$

[1] Actinic Keratoses
[2] Basal Cell Carcinoma
[3] Benign keratosis
[4] Dermatofibroma
[5] Melanocytic nevi
[6] Sensitivity
[7] Specificity
[8] Detection Accuracy

[9] Total Score Dermatoscopy: (TDS)
[10] Hammoude Distance: HD

در معادله (۲) X پیکسل‌های موجود در یک نیمه و Y پیکسل‌های موجود نیمه دیگر است. N نیز تعداد را نشان می‌دهد. در درماتوسکوپی وقتی این فاصله به کمتر از عدد تجربی ۰٫۱۶۵ برسد امتیاز درماتوسکوپی تقارن (A_{score}) در آن راستا را صفر و اگر به بالاتر از این عدد برسد A_{score} در آن راستا را یک در نظر می‌گیریم. امتیاز صفر به معنای تقارن و یک به معنای عدم تقارن در یک راستا است. پس از آن امتیاز تقارن در هر دو راستا با هم جمع می‌شوند.

۲-۱-۲- بی‌نظمی مرزی

شکل مرز یک ویژگی ظاهری اصلی در تعیین نوع ضایعه پوستی است. مرز ناهموار و محوشده معمولاً از نشانه‌های ملانوما است. امتیاز مرز (B_{score}) با محاسبه مساحت (A) و محیط (P) و طبق معادله زیر به دست می‌آید:

$$B_{score} = \frac{4\pi A}{p2} \qquad \text{(معادله ۳)}$$

B_{score} از ۰ تا ۱ متغیر است. امتیاز ۰ نشان‌دهنده‌ی بالاترین خطر است.

۲-۱-۳- رنگ

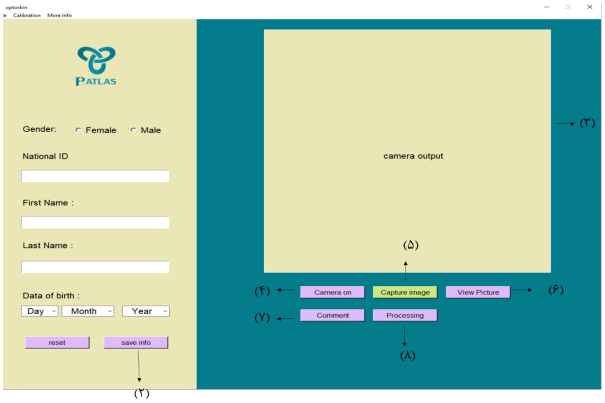
لکه‌های ملانومایی معمولاً دارای فقط یک رنگ نبوده و چندین رنگ را دربرمی‌گیرند. رنگ‌های قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای روشن، قرمز، خاکستری – آبی، مشکی و سفید از رایج‌ترین رنگ‌های موجود در لکه‌های پوستی هستند. در این‌جا به ازای تشخیص هر رنگ یک امتیاز در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱-۴- قطر

در درماتوسکوپی امتیاز قطر را برابر با اندازه قطر بزرگ لکه در نظر می‌گیرند. بنابراین، هرچه قطر بزرگتر باشد، میزان خطرناکی آن افزایش می‌یابد.

۲-۲- نرم‌افزار Optoskin V.0.1.Beta

Optoskin V.0.1.Beta نرم‌افزاری است که علاوه‌بر ایجاد یک محیط کاربری برای ثبت اطلاعات بیماران، تصویربرداری برخط، ثبت تصویر و ثبت نظر تخصصی، به پردازش تصاویر درماتوسکوپی و تحلیل آنها براساس قانون ABCD می‌پردازد (شکل ۴). برای تحلیل این تصاویر، ابتدا داده‌ها پیش‌پردازش‌شده، سپس با کمک الگوریتم‌های طراحی‌شده هر یک از شاخصه‌های ظاهری مهم در لکه‌ها استخراج‌شده و درنهایت امتیاز کلی درماتوسکوپی محاسبه و نوع لکه تشخیص داده می‌شود. در بخش‌های بعدی به هر یک از این مراحل به تفصیل پرداخته می‌شود.



شکل ۱ پنجره اصلی نرم‌افزار دستگاه درماتوسکوپ اپتواسکین ساخته شرکت پرتو آوای اطلس برای تحلیل زائده‌های پوستی. در (۱) اطلاعات شخصی بیمار واردشده و با کلیک روی (۲) اطلاعات ثبت می‌شود. با زدن دکمه (٤) ویدئویی بر خط بر روی قاب (۳) نمایش داده می‌شود. با فشردن (۵) تصویر گرفته و ذخیره می‌شود و با کلیک روی (٦) می‌توان تصویر گرفته‌شده را دید. با زدن دکمه (۷) می‌توان نمایی از تصویر را مجدداً مشاهده و تشخیص خود را درج نماییم. در (۸) نیز عکس درماتوسکوپی گرفته‌شده پردازش و تحلیل می‌شود.

۲-۲-۱- پیش‌پردازش تصویر

این عملیات خود دارای سه مرحله اساسی است. این مراحل عبارتند از:

۱) زودن نویزها
۲) قطعه‌بندی تصویر
۳) تعیین مرزها

زدودن نویزها: نویزهای ایجادشده توسط سیستم تصویربرداری، ناهمواری‌های سطح و وجود مو می‌تواند عمل تشخیص را تحت شعاع قرار دهد؛ بنابراین زدودن این عوامل، امری ضروری است. برای این‌کار ابتدا عمل هموارسازی انجام می‌شود. این عمل با

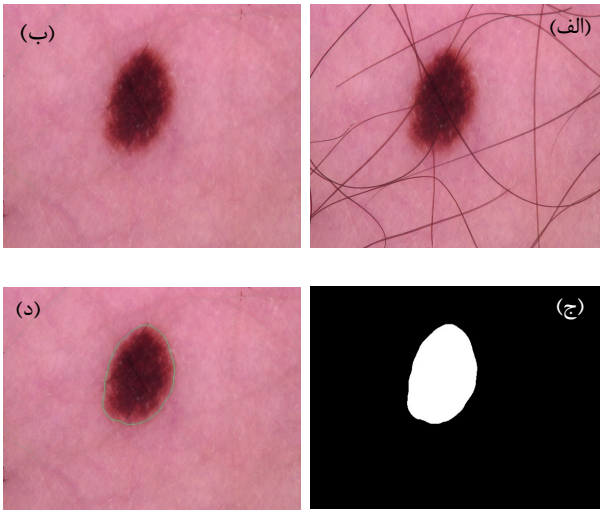
به‌کار بستن فیلتر گاوسی با کرنل ۵*۵ اتفاق‌افتاده و نویزهای اولیه حذف می‌شود. پس از آن با تغییر فضای رنگی از RGB به خاکستری تک کاناله و انجام عملیات مارفولوژیک کلوزینگ، بسیاری از جزئیات تصویر همانند کانتور موها مشخص می‌شوند. این تصویر آستانه‌گیری می‌شود. عمل آستانه‌گیری با مینیمم ۱۰ و ماکزیمم ۲۵۰ صورت گرفته و ماسکی از موهای موجود روی پوست ایجاد می‌شود. در ادامه ماسک روی تصویر اصلی اعمال‌شده و به کمک بی‌رنگ‌سازی براساس معادله «راهپیمایی سریع[1]» [۱۲] موها از تصویر اصلی حذف می‌شوند.

قطعه‌بندی تصویر: برای باینری‌سازی تصویر، ابتدا یک فیلتر متوسط‌گیری روی تصویر اعمال می‌شود. پس آز با کمک آستانه‌گیری اوتسو[2] [۱۳] (معادله‌ی۴) تصویر به دو قسمت پس‌زمینه و لکه تقسیم می‌شود. در این معادله با کمینه‌سازی واریانس درون کلاسی $\sigma_w^2(t)$ مقدار آستانه به صورت خودکار اندازه‌گیری

$$\sigma_w^2(t) = \omega_0(t)\sigma_0^2(t) + \omega_1(t)\sigma_1^2(t) \quad \text{(معادله ۴)}$$

که در این‌جا، $\omega_0(t)$ و $\omega_1(t)$ وزن احتمال دو کلاس ۰ و۱ و $\sigma_0^2(t)$ و $\sigma_1^2(t)$ واریانس این دو کلاس است.

تعیین مرزها: پس از قطعه‌بندی تصویر با اعمال یک سری پردازش‌های مارفولوژیک، شامل عملیات گسترش[3] و کاهش[4] کانتورهای موجود در عکس را یافته، پس‌از زدودن کانتورهای مرزی که در اثر نواقص در سیستم نورپردازی داده‌های موجود در دیتاست‌ها وجود دارد، به مرزهای لکه دست می‌یابیم. پس از آن با اعمال ماسکی از کانتور منتخب بر روی تصویر می‌توان مرزها را تعیین کرد (شکل ۲). البته ازآنجایی‌که درماتوسکوپ ساخته‌شده در آزمایشگاه ما از یک سیستم نورپردازی با نور قطبیده برخوردار است، این اشکال در داده‌های گرفته‌شده وجود ندارد، به‌همین‌دلیل ایجاد شروط برای کنترل خطا در کد نرم‌افزار اعمال شده است.



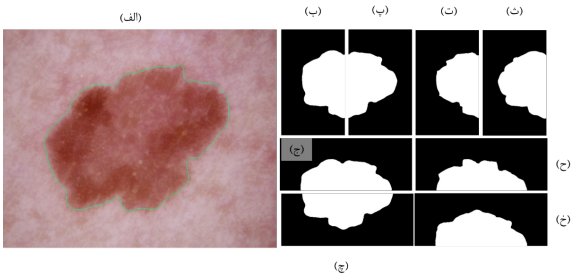
شکل ۲ عملکرد نرم‌افزار در پیش‌پردازش داده‌ها.
الف) شکل اصلی، ب) زدودن موها و نویزها، ج) قطعه‌بندی عکس، د) تعیین مرز

۲-۳- الگوریتم‌های طراحی‌شده برای اندازه‌گیری ABCD در Optoskin V.0.1.Beta

۲-۳-۱- الگوریتم تقارن

برای اندازه‌گیری تقارن ابتدا تصویر را با الگوریتم قطعه‌بندی توضیح داده‌شده در بخش قبل باینری می‌کنیم. سپس با فیت‌کردن یک بیضی دور قسمت لکه و تغییر زاویه، آن را در دو راستای افقی و عمودی تراز می‌کنیم. پس از آن تصویر را به دو نیمه تقسیم‌کرده و براساس معادله (۲) محاسبات را انجام می‌دهیم. در (شکل ۳)، نرم‌افزار پس از قطعه‌بندی، تصویر را حدود ۲۰ درجه در جهت ساعتگرد چرخانده و به دو نیمه در دو راستای افقی و عمودی تقسیم کرده است. سپس اجتماع و اشتراک را در دو راستا به‌دست‌آورده و تعداد پیکسل‌هایشان را اندازه‌گیری کرده است. در راستای افقی HD ۰٫۱۴ و در راستای عمودی ۰٫۱۳ به‌دست آمده است بنابراین امتیاز تقارن در هر دو راستا صفر شده است.

[1] Fast Marching
[2] Otsu
[3] Dilation
[4] Erosion



شکل ۳ نحوه محاسبه امتیاز تقارن در Optoskin.
الف) تصویر اصلی از دیتاست HAM10000 [۹]،
ب) نیمه راست افقی و پ) نیمه چپ افقی. ت) اشتراک نیمه‌های افقی،
ث) اجتماع نیمه‌های افقی. ج) نیمه‌ی بالای عمودی،
چ) نیمه پایین عمودی. ح) اشتراک دو نیمه عمودی،
خ) اجتماع دو نیمهی عمودی.

۲-۳-۲- الگوریتم بی‌نظمی مرزی

در اینجا از تصویر قطعه‌بندی شده برای دریافت اطلاعات مساحت و محیط استفاده می‌کنیم. این اطلاعات به ترتیب از طریق پارامتر مرتبه‌ی صفرم ممان تصویر[1] (معادله ۵) و تقریب خطی تکه‌ای[2] [۱۴] کانتور به‌دست می‌آید.

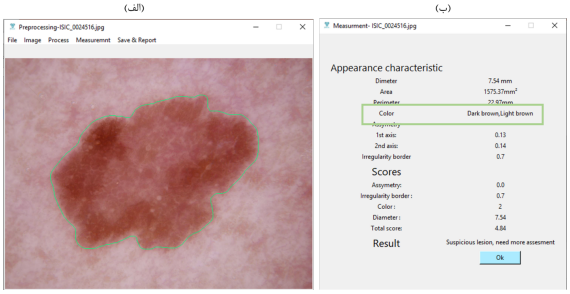
$$M_{00} = \sum_{x}\sum_{y} I(x,y) \qquad \text{(معادله ۵)}$$

در اینجا M_{00} تعداد پیکسل‌های غیرصفر در تصویر باینری است که به‌عنوان مساحت ضایعه در نظر گرفته می‌شود و $I(x,y)$ شدت پیکسل‌ها در دوراستای x و y است. در معادله خطی تکه‌ای نیز پس‌از یافتن کانتور لکه، فاصله اقلیدسی بین نقاط متوالی یک کمان اندازه‌گیری‌شده و این مقادیر درنهایت با هم جمع بسته می‌شوند و محیط به‌دست می‌آید. درنهایت با کمک معادله (۳) بی‌نظمی مرزی اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۳-۳- الگوریتم رنگ

در این نرم‌افزار تشخیص رنگ براساس روش یادگیری ماشین خوشه‌بندی کی میانگین[3] انجام می‌شود. در این الگوریتم با توجه به تعداد کلاسترها تعدادی هسته مرکزی (در اینجا RGB پیکسل‌ها) برای هر کلاستر در نظر گرفته‌شده و RGB همان مقادیر درنهایت گزارش می‌شود. ما در اینجا ۶ خوشه (کلاستر) در نظر گرفتیم. این تعداد با آزمون و خطا به‌دست آمده است. پس‌از گزارش RGB، این مقدار با پایگاه داده ما که شامل بیش از ۵۰۰۰ رنگ مختلف است مقایسه می‌شود. این مقایسه با محاسبه اختلاف اقلیدسی با رنگ‌های موجود در این پایگاه داده انجام می‌گیرد. درنهایت زمانی‌که این اختلاف به کمترین میزان خود برسد، RGB این هسته به‌عنوان یکی از رنگ‌های لکه گزارش می‌شود.

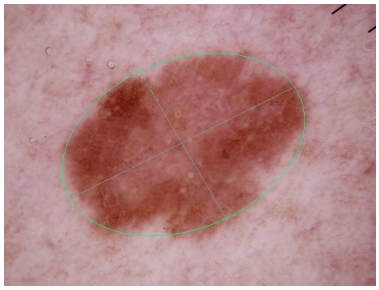
در شکل (۴) رنگ‌های تشخیص داده‌شده در زائده پوستی شکل (۳-الف) در پنجره اندازه‌گیری نرم‌افزار نشان داده شده است. با توجه به این‌که دو رنگ در این لکه تشخیص داده شده است بنابراین امتیاز رنگ برابر با ۲ به‌دست می‌آید.



شکل ٤ الف) تصویر زائده پوستی در پنجره Processing نرم‌افزار،
ب) پنجره Measurement (اندازه‌گیری) و مشخص‌شدن رنگ لکه.

۲-۳-۴- الگوریتم قطر

برای اندازه‌گیری قطر، یک بیضی که به‌طور کامل لکه را احاطه کرده است در نظر گرفتیم. قطر بزرگ این بیضی به‌عنوان قطر لکه در نظر گرفته‌شده و با توجه به نسبتی که در قسمت کالیبراسیون نرم‌افزار داریم (نسبت میلی‌متر به پیکسل) اندازه قطر به میلی‌متر به‌دست می‌آید. در شکل (۵) قطر لکه (تصویر ۳-الف) نشان داده شده است. این مقدار برابر با ۷٫۵۴ میلی‌متر به‌دست آمده است.



شکل ۵ اندازه‌گیری قطر در نرم‌افزار اپتواسکین به کمک بیضیِ پیرامون لکه

[1] Image Moment
[2] Piecewise-linear approximation
[3] k-mean clustering

۲-۴- معیارهای ارزیابی

عملکرد هر الگوریتم طبقه‌بندی توسط شاخص‌هایی آماری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در اینجا برای ارزیابی کارایی نرم‌افزار از سه شاخص حساسیت، ویژگی و درستی تشخیص استفاده کرده‌ایم. شاخص حساسیت احتمال این‌که شخص بیمار به درستی بیمار تشخیص داده شود را نشان می‌دهد. شاخص ویژگی احتمال این‌که فرد سالم توسط الگوریتم به درستی سالم تشخیص داده شود را بیان می‌کند و درستی تشخیص توانایی مدل را برای تشخیص هر دو مورد سالم و بیمار را نشان می‌دهد. در زیر روابط ریاضی این شاخص‌ها بیان شده است.

$$Sn = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \qquad Sensitivity: Sn$$

(معادله ۶) (حساسیت)

$$Sp = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \qquad Specificity: Sp$$

(معادله ۷) (ویژگی)

$$DA = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \times 100 \qquad Detection\ Accuracy: DA$$

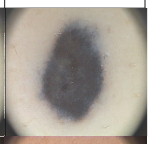
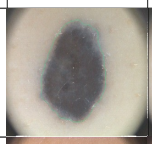
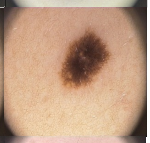
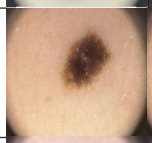
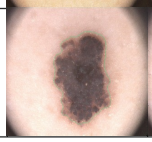
(معادله ۸) (درستی تشخیص)

که TP[1] تعداد افراد بیماری که به درستی بیمار تشخیص داده شده‌اند، TN[2] تعداد افراد سالمی که به درستی سالم تشخیص داده شده‌اند، FP[3] تعداد افراد سالمی که به‌غلط بیمار تشخیص داده شده‌اند و FN[4] تعداد افراد بیماری که به‌غلط سالم تشخیص داده شده‌اند. برای نمایش عملکرد نرم‌افزار نیز از ماتریس درهم‌ریختگی[5] استفاده شده است. این ماتریس خلاصه‌ای از پیش‌بینی الگوریتم استفاده شده را نمایش می‌دهد.

۳- یافته‌ها

برای آزمایش عملکرد نرم‌افزار از دو نوع داده تجربی و داده‌های موجود در دیتاست‌های معتبر شامل PH[2] و HAM10000 استفاده شده است. از آنجایی که داده‌های PH[2] جزئیاتی چون رنگ‌های لکه‌های پوستی را هم شامل می‌شوند به‌راحتی می‌توان عملکرد نرم‌افزار در تشخیص رنگ مقایسه کرد. در اینجا از ۹۲ داده موجود در پایگاه داده‌ها استفاده‌شده که حدود ۶۱٪ از آنها به درستی تشخیص رنگ داده شده است. در جدول ۲ نمونه‌ای از عملکرد نرم‌افزار در تشخیص رنگ، تقارن و مرزیابی داده‌های موجود در دیتاست PH[2] نشان داده شده است.

جدول ۲ نمونه‌هایی از عملکرد نرم‌افزار در تشخیص رنگ، تقارن و مرزیابی ضایعات پوستی دیتاست PH[2] [۱۰].

تصویر اصلی	مرزیابی	رنگ		تقارن	
		نرم‌افزار	اطلاعات دیتاست	نرم‌افزار	اطلاعات دیتاست
		قهوه‌ای تیره، آبی-خاکستری	قرمز، آبی-خاکستری	متقارن	متقارن
		قهوه‌ای تیره، مشکی، قهوه‌ای روشن	قهوه‌ای تیره، مشکی	متقارن	متقارن
		قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای روشن	مشکی	نامتقارن در دو راستا	نامتقارن در دو راستا

برای ارزیابی عملکرد نرم‌افزار در تشخیص بیماری از داده‌های موجود در پایگاه PH[2] و HAM10000 استفاده کردیم. برای این کار به‌صورت مساوی حدود ۳۲۴ داده ملانومایی و غیرملانومایی به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. ۱۶۲ تصویر شامل لکه‌های ملانومایی و ۱۶۲ تصویر شامل خال‌های مادرزادی خوش‌خیم است. در اینجا ۱۲۳ مورد از لکه‌های ملانومایی دارای ملانوما تشخیص داده شده‌اند (TP=۱۲۳) و ۴۸ لکه ملانومایی به‌عنوان لکه پوستی سالم (FN=۴۸)، بنابراین شاخص حساسیت نرم‌افزار در تشخیص بیماری ۷۲٪ به‌دست آمد.

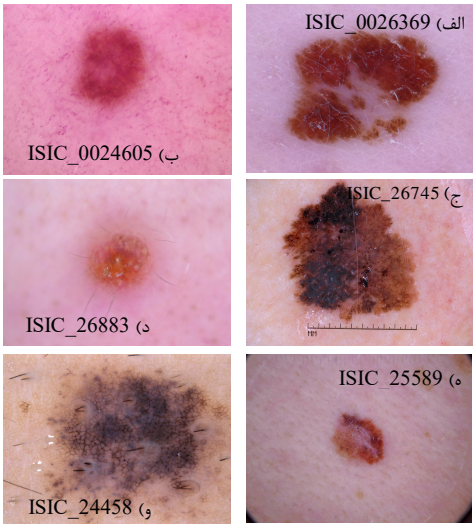
ارزیابی عملکرد نرم‌افزار روی لکه‌های خوش‌خیم غیرملانومایی ما را به تعداد ۹۴ مورد تشخیص درستِ عدم بیماری (TN=۹۴) و ۵۹ مورد تشخیص اشتباه وجود بیماری (FP=۵۹) رساند. بنابراین آمار، شاخص ویژگی این نرم‌افزار در حدود ۶۱٪ است.

---
[1] True Positive
[2] True Negative
[3] False Negative
[4] False Negative
[5] Confusion Matrix

دقت نرم‌افزار در تشخیص درست بیماری و سلامت پوست بنابر معادله (۸) ٪۶۷ به‌دست آمد. ماتریس درهم‌پیچیدگی (شکل ۶) به‌وضوح عملکرد نرم‌افزار در تشخیص سرطانی و غیرسرطانی‌بودن لکه‌های پوستی را نشان می‌دهد. در جدول (۳) نیز نمونه‌ای از عملکرد نرم‌افزار در اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری زواند پوستی براساس الگوریتم ABCD برای تصاویر موجود در شکل (۷) نشان داده شده است.

	سرطانی	غیرسرطانی
سرطانی	TP=123	FN=48
غیرسرطانی	FP=59	TN=94

شکل ٦ ماتریس درهم‌پیچیدگی الگوریتم تشخیصی نرم‌افزار



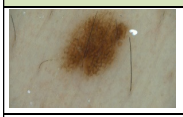
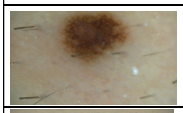
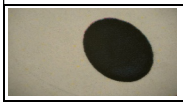
شکل ۷ تعدادی از تصویر موجود در دیتاست HAM10000.

جدول ۳ عملکرد نرم‌افزار Optoskin در اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری، محاسبه امتیازات و تشخیص و مقایسه آن با تشخیص حقیقی

نام عکس	تقارن در راستای افقی و عمودی	بی‌نظمی مرزی	رنگ‌ها	قطر (mm)	امتیاز تقارن	امتیاز مرز	امتیاز رنگ	امتیاز قطر	TDS	تشخیص نرم‌افزار	تشخیص حقیقی
الف ISIC_0026369	X: 0.19 Y: 0.2	0.69	قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای روشن	7.82	2.6	۰,۰۷	۱	۳,۹۱	۷,۵۸	ملانوما	ملانوما
ب ISIC_0024605	۰,۱۲X: ۰,۱Y:	0.84	قهوه‌ای روشن، قهوه‌ای تیره	۴,۳۷	0	۰,۰۸	۱	۲,۱۹	3.27	خوش‌خیم	خوش‌خیم
ج ISIC_0026745	۰,۲X: ۰,۱۲Y:	۰,۷۳	قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای روشن	۷,۲۸	۱,۳	۰,۰۷	۱,۵	۳,۶۴	۶,۵۱	ملانوما	ملانوما
د ISIC_0026883	Y: ۰,۰۶X: ۰,۰۴	۰,۸۷	قهوه‌ای روشن، قرمز	3.55	۰	0.09	۱	۱,۷۷	2.86	خوش‌خیم	خوش‌خیم
ه ISIC_0025589	۰,۱۵X: ۰,۱۷Y:	۰,۸۲	قهوه‌ای‌تیره، قهوه‌ای‌روشن، بنفش	۳	۱,۳	۰,۰۸	۱,۵	۱,۵	4.38	خوش‌خیم	ملانوما
و ISIC_0024458	۰,۱۹X: ۰,۱۸Y:	۰,۶	قهوه‌ای تیره، مشکی	۷,۶۸	2.6	۰,۰۶	۱	۳,۸۴	۷,۵	ملانوما	خوش‌خیم

برای ارزیابی کارایی نرم‌افزار در اندازه‌گیری قطر از خال‌ها و لکه‌های پوستی ۲۰ نفر داوطلب و اشکالی که از قبل اندازه قطرشان را می‌دانستیم استفاده شده است. برای این‌کار ابتدا نرم‌افزار کالیبره می‌شود، بدین صورت که بزرگنمایی درماتوسکوپ مقدار ثابتی درنظر گرفته می‌شود. سپس با قراردادن خط‌کش مخصوص زیر دستگاه درماتوسکوپ و کشیدن یک خط ما بین دو واحد متوالی یا غیرمتوالی خط‌کش، دستگاه به‌طور خودکار واحد پیکسل را به میلی‌متر تبدیل می‌کند. درنهایت با گرفتن تصویر از ناحیه مورد نظر، مقدار قطر بزرگ در پنجره Processing و زیرمنوی Measurement نرم‌افزار نمایش داده می‌شود. مقایسه اندازه قطر که توسط کولیس و نرم‌افزار اندازه‌گیری‌شده درنهایت خطای ۱۴٪ را نشان می‌دهد. جدول ۴ نمونه‌ای از عملکرد نرم‌افزار در اندازه‌گیری قطر را نشان می‌دهد.

جدول ۴ مقایسه قطر اندازه‌گیری‌شده توسط کولیس و نرم‌افزار

خطا (%)	اندازه‌گیری با نرم‌افزار (mm)	اندازه‌گیری با کولیس (mm)	تصویر
٤/٢	٣/٤٧	٣/٣٣	
0.6	3.2	3.18	
13	4.29	3.8	
3.9	6.6	6.35	

۴. بحث و نتیجه‌گیری

سرطان ملانوما یکی از خطرناک‌ترین سرطان‌های پوستی است که مرگباری بسیار بالایی دارد. یکی از مهمترین ابزارهایی که در معاینه لکه‌های پوستی به متخصصان کمک می‌کند، درماتوسکوپ است. استفاده از یک نرم‌افزار هوشمند که بتواند پزشک را در امر تشخیص یاری کند و اطلاعاتی جامع از وضعیت بیمار به‌دست دهد از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش یک نرم‌افزار هوشمند با نام Optoskin V.0.1.Beta توسعه یافته است که رابط کاربری درماتوسکوپی به همین نام بوده که توسط آزمایشگاه تصویربرداری نوری دانشگاه شهیدبهشتی و شرکت پرتو آوای اطلس توسعه داده شده است. این نرم‌افزار علاوه‌بر ثبت و ذخیره‌ی اطلاعات اولیه بیمار، نمایش تصویر برخط از ناحیه‌موردنظر و امکان گرفتن عکس، می‌تواند به پردازش و تحلیل عکس‌های گرفته شده بپردازد و میزان خطر را براساس قانون ABCD بسنجد. این قانون از شاخص‌های مهم معاینات پوستی است که ویژگی‌های ظاهری چون تقارن، بی‌نظمی مرزی، رنگ و قطر را بررسی می‌کند. درنهایت به هر یک از این ویژگی‌ها امتیازی تعلق‌گرفته و از مجموع آنها امتیاز کلی درماتوسکوپی به‌دست می‌آید. در این نرم‌افزار قبل از تحلیل و تشخیص ملانوما، پردازش‌هایی اولیه بر روی تصویر انجام می‌شود. این پیش‌پردازش در زودن عوامل مزاحم و تشخیص مرزها موثرند. پس‌از آن برای دست‌یافتن به هر یک از ویژگی‌های موردنظر از الگوریتم‌هایی که در قسمت روش آمده، استفاده شده است. پس از آن، برای ارزیابی عملکرد نرم‌افزار در اندازه‌گیری قطر از داده‌های تجربی و ارزیابی عملکرد تشخیص از دیتاست‌های معتبرِ موجود استفاده شده است. شایان ذکر است که درحال‌حاضر عملکرد نرم‌افزار روی داده‌های بالینی سنجیده نشده است.

درنهایت نرم‌افزار به دقت ۶۱٪ در تشخیص رنگ، حساسیت ۷۲ درصدی، (شاخص) ویژگی ۶۱٪، درستی تشخیص ۶۷٪ و خطای ۱۴ درصدی در اندازه‌گیری قطر دست یافت. نتایج به‌دست‌آمده در اینجا از آنچه که در پژوهش [۱۱] صورت گرفته ضعیف‌تر به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق، یک نرم‌افزار برای تشخیص خودکار لکه‌های پوستی براساس قانون ABCD ایجادشده که توانسته به حساسیت ۸۷ درصدی و شاخص ویژگی ۸۰ درصدی برسد. بااین‌حال این نرم‌افزار تنها بر روی ۵۰ نمونه (۲۰ نمونه خوش‌خیم و ۳۰ نمونه‌ی بدخیم) با شرایط ویژه‌ای چون استفاده از نمونه‌هایی که حتی‌الامکان تعداد موی کمتری داشته باشند امتحان شده است که البته این موضوع کارایی این نرم‌افزار را برای تعداد زیادی داده و با شرایط واقعی در هاله‌ای از ابهام قرار داده است.

اولویت ما در این پژوهش یافتن روشی برمبنای الگوریتم ABCD بود که بتواند روی بخش بزرگی از داده‌های تصادفی بدون درنظرگرفتن پیش‌فرض، عملکرد موثری داشته باشد. عملکرد نرم‌افزار ما هم روی تعداد کمی داده‌ی تصادفی (در حدود ۱۰۰عدد) برای همه شاخص‌های طرح‌شده بالای ۸۰ درصد به‌دست آمد، اما به‌دلیل اینکه عمومیت عملکرد برایمان اهمیت بیشتری داشت ما این تعداد را به ۳۲۴ عدد با تعداد مساوی عکس لکه‌های ملانومایی و غیرملانومایی افزایش دادیم که به تبع آن مقدار شاخص‌ها تغییر کرد.

۴-۱- مزایای نرم‌افزار Optoskin

این نرم‌افزار علاوه‌براین که رابط کاربری یک درماتوسکوپ دیجیتال است و می‌تواند در بررسی برخط و گرفتن عکس‌های درماتوسکوپی کمک کند، دارای یک بخش پردازش تصویر بوده و می‌تواند به کمک کمی‌سازی ویژگی‌های ظاهری لکه‌های پوستی که در علم درماتوسکوپی بسیار حائز اهمیت است، در آنالیز و درنهایت تشخیص بیماری مفید واقع شود. علاوه‌براین، این نرم‌افزار قادر به تحویل گزارشی جامع از وضعیت بیمار بوده و یک تاریخچه منسجم از روند بیماری فرد به پزشک متخصص تحویل می‌دهد.

۴-۲- معایب

نقطه ضعف این نرم‌افزار پایین‌بودن شاخص‌های ارزیابی شامل حساسیت، ویژگی و درستی تشخیص است. همان‌طورکه پیش‌از این عنوان شد حساسیت این نرم‌افزار در تشخیص بیماری ۷۲٪ و (شاخص) ویژگی که در واقع عملکرد نرم‌افزار در تشخیص عدم بیماری را نشان می‌دهد ۶۱٪ است. این بدین معناست که نرم‌افزار تمایل بیشتری به ملانوما تشخیص‌دادن لکه‌های پوستی دارد.

نقطه ضعف بعدی این نرم‌افزار استفاده از قانون ABCD برای سنجش خطرناکی لکه‌هاست. این قانون با وجود این‌که معیارهای ظاهری مهمی را می‌سنجد اما یافتن یک الگوریتم کارآمد جامع برای اندازه‌گیری همه ویژگی‌های ظاهری ما را با پیچیدگی‌های محاسباتی زمانبر روبه‌رو می‌سازد. به‌طورمثال، محاسبه این ویژگی‌ها برای تصاویر موجود در پایگاه داده HAM10000 با ابعاد ۶۰۰ در ۴۵۰ به طور متوسط ۲٫۵ ثانیه و برای تصاویر PH^2 با ابعاد ۷۶۴*۵۷۵ در حدود ۴٫۵ ثانیه طول می‌کشد و در مورد لکه‌هایی که ابعاد بزرگتری داشته یا نویزهایی مانند مو در آن بیشتر بوده این زمان طولانی‌تر هم می‌شود.

راه‌حل موثر برای بهبود پردازش و تحلیل تصاویر درماتوسکوپی و حصول نتایج مطلوب‌تر استفاده از الگوریتم‌های شبکه عصبی ژرف است. این الگوریتم‌ها با یادگیری از داده‌های آموزش‌دهنده می‌توانند در استخراج ویژگی‌های هر لکه پوستی و یافتن الگوهای ظاهری بهتر عمل‌کرده و در تشخیص و قطعه‌بندی بهتر عمل کنند. به‌عنوان مثال در تازه‌ترین پژوهش‌ها شبکه‌های عصبی کپسولی توانستند تا دقت ۹۸٪ در تشخیص درست نوع ضایعات پوستی برسند [۱۸]. امروزه بسیاری از درماتوسکوپ‌های دیجیتال ارائه‌شده در بازار نیز از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تشخیص بهتر و سریعتر بیماری‌های پوست و مو بهره می‌برند که از این موارد می‌توان به درماتوسکوپ فوتوفایندر[1] اشاره کرد که از نرم‌افزاری به نام مولیانایزر پرو[2] برای تشخیص بیماری‌های پوستی و نرم‌افزاری به نام تراکیسکیل ای آی[3] برای مو استفاده می‌کنند که هر دو نرم‌افزار از الگوریتم‌های یادگیری عمیق استفاده می‌کنند. بنابراین استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در افزایش دقت تشخیص در دستور کار بعدی قرارگرفته و به‌عنوان قدم بعدی در توسعه این نرم‌افزار درنظر گرفته‌شده و در مقالات بعدی نتایج آن مطرح می‌شود.

تشکر و قدردانی

این اثرتحت حمایت مالی صندوق حمایت ازپژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته از طرح شماره (۹۲۲۸۹۹۶۲) انجام شده است. در ضمن، از شرکت پرتو آوای اطلس بابت در اختیار گذاشتن درماتوسکوپ دیجیتال اپتواسکین جهت انجام این پروژه تحقیقاتی نهایت تشکر و قدردانی می‌نماییم.

[1] FotoFinder
[2] Moleanalyzer pro
[3] Trichoscale AI

References:

[1] Kopf, A. W., Rigel, D. S., & Friedman, R. J. (1982). The rising incidence and mortality rate of malignant melanoma. Dermatologic Surgery, 8(9), 760-761.

[2] Nasir, M., Attique Khan, M., Sharif, M., Lali, I. U., Saba, T., & Iqbal, T. (2018). An improved strategy for skin lesion detection and classification using uniform segmentation and feature selection based approach. Microscopy research and technique, 81(6), 528-543.

[3] Koh, H. K., Lew, R. A., & Prout, M. N. (1989). Screening for melanoma/skin cancer: theoretic and practical considerations. Journal of the American Academy of Dermatology, 20(2), 159-172.

[4] Khan, M. A., Muhammad, K., Sharif, M., Akram, T., & de Albuquerque, V. H. C. (2021). Multi-class skin lesion detection and classification via teledermatology. IEEE journal of biomedical and health informatics, 25(12), 4267-4275.

[5] Sinz, C., Tschandl, P., Rosendahl, C., Akay, B. N., Argenziano, G., Blum, A., ... & Kittler, H. (2017). Accuracy of dermatoscopy for the diagnosis of nonpigmented cancers of the skin. Journal of the American Academy of Dermatology, 77(6), 1100-1109.

[6] Burroni, M., Corona, R., Dell'Eva, G., Sera, F., Bono, R., Puddu, P., ... & Rubegni, P. (2004). Melanoma computer-aided diagnosis: reliability and feasibility study. Clinical cancer research, 10(6), 1881-1886.

[7] Piccolo, D., Crisman, G., Schoinas, S., Altamura, D., & Peris, K. (2014). Computer-automated ABCD versus dermatologists with different degrees of experience in dermoscopy. European Journal of Dermatology, 24, 477-481.

[۸] Messadi, M., Cherifi, H., & Bessaid, A. (2021). Segmentation and ABCD rule extraction for skin tumors classification. arXiv preprint arXiv:2106.04372.

[۹] Rigel, D. S., & Friedman, R. J. (1993). The rationale of the ABCDs of early melanoma. Journal of the American Academy of Dermatology, 29(6), 1060-1061.

[10] Lederman, J. S., Fitzpatrick, T. B., & Sober, A. J. (1984). Skin markings in the diagnosis and prognosis of cutaneous melanoma. Archives of dermatology, 120(11), 1449-1452.

[11] Jaworek-Korjakowska, J. (2012). Automatic detection of melanomas: an application based on the ABCD criteria. In Information Technologies in Biomedicine: Third International Conference, ITIB 2012, Gliwice, Poland, June 11-13, 2012. Proceedings (pp. 67-76). Springer Berlin Heidelberg.

[12] Tschandl, P., Rosendahl, C., & Kittler, H. (2018). The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions. Scientific data, 5(1), 1-9.

[13] Mendonça, T., Ferreira, P. M., Marques, J. S., Marcal, A. R., & Rozeira, J. (2013, July). PH 2-A dermoscopic image database for research and benchmarking. In 2013 35th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC) (pp. 5437-5440). IEEE.

[14] Abbadi, N. K., & Faisal, Z. (2017). Detection and analysis of skin cancer from skin lesions. Int. J. Appl. Eng. Res, 12(19), 9046-9052.

[15] Telea, A. (2004). An image inpainting technique based on the fast marching method. Journal of graphics tools, 9(1), 23-34.

[16] Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9, 1, 62-66.

[17] Novikov, A. I., Ustyukov, D. I., Tarasov, A. S., & Efimov, A. I. (2021, March). Piecewise-Linear Contour Approximation and Linear Sections Detection. In 2021 23rd International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA) (pp. 1-4). IEEE.

[18] Lan, Z., Cai, S., He, X., & Wen, X. (2022). FixCaps: An improved capsules network for diagnosis of skin cancer. IEEE Access, 10, 76261-76267.