



Presenting an intelligent, machine learning-based method with commercialization capabilities for identifying diseases from human eye iris images

Avaz Naghipour^{*1}, Ramin Shahi¹

¹ - Department of Computer Engineering, University College of Nabi Akram, Tabriz, Iran.

Abstract

From the past until today, accurate and early diagnosis of disease symptoms has been of interest to everyone. In this regard, the iridology has attracted the attention of doctors and experts due to its high speed in the early diagnosis of possible diseases. In iridology, the iris of the eye is divided into different parts and each part is assigned to a specific organ. The presence of some characteristics in each of these parts indicates the presence of a possible disease in the relevant organ. On the other hand, smart and modern medicine is expanding more and more due to its ease, speed and accuracy compared to traditional medicine. Nowadays, with the increasing progress of artificial intelligence algorithms and machine learning and the increase of its general applications, the use of artificial intelligence in medical fields has become the top of researchers' attention. In line with the automatic diagnosis of diseases and smart medicine, in this work, a new method using deep neural networks and image processing methods is presented to diseases detection from images based on iridology science. In the proposed method, human eye images are fed into a convolutional neural network. This network, which is designed with the structure of encoder/decoder networks, classifies the pixels of the input image that represent the iris from non-iris pixels. Then, with the mask of iris pixels with the input image, the area related to the iris is extracted from the eye image. After extracting the iris, the characteristics of the disease are detected by applying an adaptive thresholding method and then cropping the image according to the iridology chart. Finally, according to the characteristics of the disease in the part related to which organ, a decision is made about the type of possible disease. The proposed method has been evaluated by several widely used datasets in the field of iris image processing. The datasets include pictures taken with special cameras and also pictures taken with cellphones. The accuracy of the proposed method in locating the iris is almost 99%.

Keywords: Iridology, Deep Neural Networks, Image processing, Machine Learning, Disease Detection

Citation:

Naghipour, A. and Shahi, R. (2025). Presenting an intelligent, machine learning-based method with commercialization capabilities for identifying diseases from human eye iris images. *Journal of Intelligent Marketing Management*, 6(3), 188-205.



ارائه یک روش هوشمند مبتنی بر یادگیری ماشین با قابلیت تجاری‌سازی برای

تشخیص بیماری‌ها از روی تصاویر عنبیه چشم انسان

عوض تقی‌پور^{*}، رامین شاهی^۱

^{*} - گروه مهندسی کامپیوتر، مؤسسه آموزش عالی نبی اکرم(ص)، تبریز، ایران.

چکیده

تشخیص دقیق و زود هنگام نشانه‌های بیماری، از گذشته‌های دور تا به امروز مورد توجه همگانی بوده است. در همین راستا استفاده از علم عنبیه‌شناسی با توجه به سرعت بالا در تشخیص اولیه بیماری‌های احتمالی، مورد توجه پزشکان و متخصصان قرار گرفته است. در علم عنبیه‌شناسی، عنبیه چشم به قسمت‌های مختلفی تقسیم شده و هر قسمت به ارگان خاصی نسبت داده می‌شود. وجود یکسری مشخصات در هر یک از این قسمت‌ها بیانگر وجود بیماری احتمالی در ارگان مربوطه است. از طرفی پزشکی هوشمند و مدرن با توجه به سهولت، سرعت و دقت بالاتر نسبت به پزشکی سنتی گسترش روز افزونی را تجربه می‌کند. امروز با پیشرفت روز افزون الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و افزایش کاربردهای عمومی آن، استفاده از هوش مصنوعی در زمینه‌های پزشکی در صدر توجه محققان قرار گرفته است. در راستای تشخیص خودکار بیماری‌ها و پزشکی هوشمند، در کار حاضر روش جدیدی با استفاده از شبکه‌های عمیق و پردازش تصویر برای تشخیص بیماری‌ها از روی تصاویر و بر مبنای علم عنبیه‌شناسی ارائه شده است. در روش پیشنهادی تصاویر چشم انسان وارد یک شبکه عصبی کانولوشنی شده که این شبکه با ساختار شبکه‌های رمزنگار و رمزگشا طراحی شده و پیسکل‌هایی از تصویر ورودی که بیانگر عنبیه هستند را از پیسکل‌هایی که بیانگر عنبیه نیستند طبقه‌بندی می‌کند. سپس با ماسک پیسکل‌های شناسایی شده با تصویر ورودی، ناحیه مربوط به عنبیه از تصویر چشم استخراج می‌شود. پس از استخراج عنبیه، مشخصه‌های بیماری با اعمال یک روش حد آستانه تطبیقی تشخیص داده شده و سپس بر حسب چارت عنبیه‌شناسی برش داده می‌شود. در نهایت با توجه به این که مشخصه‌های بیماری در قسمت مربوط به کدام ارگان قرار دارند، در مورد نوع بیماری احتمالی تصمیم‌گیری می‌شود. روش پیشنهادی با استفاده از چند مجموعه داده پرکاربرد در زمینه پردازش تصاویر عنبیه ارزیابی شده و در بخش نتایج، کارایی و دقت روش پیشنهادی در استخراج عنبیه و شناسایی بیماری‌ها در مقایسه با چند روش معروف پردازش عنبیه نشان داده شده است. دقت روش پیشنهادی در مکان‌یابی عنبیه تقریباً ۹۹٪ بدست آمده است که از روش‌های موجود و معروف در این زمینه بالاتر است.

کلیدواژه‌ها: عنبیه‌شناسی، شبکه‌های عصبی عمیق، پردازش تصویر، یادگیری ماشین، تشخیص بیماری

استناد:

تقی‌پور، عوض و شاهی، رامین. (۱۴۰۴). ارائه یک روش هوشمند مبتنی بر یادگیری ماشین با قابلیت تجاری‌سازی برای تشخیص بیماری‌ها از روی تصاویر عنبیه چشم انسان. مدیریت بازاریابی هوشمند، ۶(۳)، ۱۸۸-۲۰۵.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

<https://doi.org/JABM.3.2.15564.351256.326968>

نشریه مدیریت بازاریابی هوشمند، ۱۴۰۴، دوره ۶، شماره ۳، پیاپی ۲۹

ناشر: نشریه مدیریت بازاریابی هوشمند

نوع مقاله: علمی پژوهشی

© نویسنده‌گان



مقدمه

شیوع بیماری‌های همه‌گیر، یک نگرانی جدی جهانی است. در غیاب درمان‌های مؤثر، راهبرد اصلی مهار، کاهش سرایت با جداسازی افراد آلوده است. با این حال، جداسازی افراد مبتلا به این بیماری‌ها بسیار نامطلوب است. برای کمک به تصمیم‌گیری سریع در مورد نیازهای درمان و قرنطینه، تعیین این که کدام ویژگی‌های ارائه‌شده منجر به تشخیص سریع بیماری‌های همه‌گیر باشد، مفید است. این را می‌توان با تجزیه و تحلیل ویژگی‌های بیمار، بیماری‌های همراه و علائم انجام داد. مدلی توسعه داده شده که از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی نظارت‌شده برای شناسایی ویژگی‌های ارائه‌ی که تشخیص بیماری‌های همه‌گیر را با دقت بالا پیش‌بینی می‌کنند، استفاده می‌کند. مدل‌های یادگیری ماشینی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله مراقبت‌های بهداشتی انقلاب ایجاد کرده‌اند. با کمک این مدل‌ها می‌توان روش‌های درمانی و سایر خدمات بهداشتی و پزشکی را برای افراد و بیماران توسعه داد. علم داده در پزشکی شامل مراحل جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها است. هدف از توسعه این علم پیوند دادن مراقبت‌های پزشکی و تحقیقات است. انجام این کار باعث می‌شود که بیماری‌ها را بهتر درک کرد و روش‌های درمانی را برای هر بیمار شخصی‌سازی کرد. این علم هم‌چنین امکان پیش‌بینی بهتر تأثیرات درمانی را می‌دهد. همانطور که اشاره شد این بیماری‌ها ماهیت مهاجمی دارند یعنی بیماری‌ها همه‌گیر بوده و مهم‌ترین مشکل موجود در این بیماری‌ها طبقه‌بندی افراد در معرض خطر این بیماری‌ها برای شناسایی اولیه ویروس است. طبق آخرین توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی، از آزمون واکنش زنجیره‌ای پلیمر از ترانس کریپتاز معکوس (RT-PCR)^۱ برای تشخیص قطعی آلودگی فرد به ویروس‌ها استفاده می‌شود [۱]. این آزمون از نمونه‌گیری بزاق دهان و بینی به‌دست می‌آید. با این حال، کیت‌های مربوط به تشخیص ویروس‌ها مبتنی بر این آزمون محدوداند [۲]. این کیت‌ها زمان زیادی برای تشخیص نیاز دارند و نسبت به تشخیص ویروس حساسیت کمی دارند. همچنین این کیت‌ها با توجه به ماهیت مهاجمی که دارند، پزشکان و پرستاران را در معرض آلودگی به ویروس قرار می‌دهند [۳]؛ نتیجه آزمایش واکنش زنجیره‌ای پلیمر از ترانس کریپتاز معکوس مورد استفاده برای تشخیص ویروس‌ها ممکن است منفی باشد، به خصوص در مراحل اولیه بیماری یا زمانی که بار ویروسی کم است [۴]. درنهایت، گفتنی است تشخیص مبتنی بر این آزمون مقرون به صرفه نیست. بنابراین استفاده از روش‌های نوآورانه و غیرمهاجمی برای شناسایی ویروس در مراحل اولیه بسیار مفید و تعیین‌کننده خواهد بود. مطالعات متعددی برای بررسی استفاده از یادگیری ماشینی از نظر توانایی‌های تشخیصی انجام شده است. مشخص شد که در مقایسه با مجرب‌ترین پزشک که می‌تواند با دقت ۷۹/۹۷ درصد به درستی تشخیص دهد، الگوریتم‌های یادگیری ماشینی می‌توانند با ۹۱/۱ درصد شناسایی کنند [۵]. در نهایت با استفاده از داده‌های تولیدشده در مراکز بهداشتی می‌توان با تکنیک‌های یادگیری ماشینی به شناسایی علائم تأثیرگذار این بیماری‌ها پی برد. با شناسایی علائم‌های تأثیرگذار این بیماری‌ها می‌توان به پیش‌گیری و درمان سریع بیماران پرداخت.

تشخیص و درمان بیماری‌ها، مساله‌ای است که از سال‌های دور تا به امروز دغدغه‌ای همگانی برای انسان‌ها بوده است. در این میان، سالهاست که کاربرد عنبیه‌شناسی در تشخیص بیماری‌های مختلف مورد توجه متخصصان حوزه درمان قرار گرفته است [۶]. عنبیه یک فرد کاملاً منحصر به فرد است و تقریباً در طول زندگی انسان هرگز تغییر نمی‌کند. به عقیده متخصصان، وجود مشکل و

^۱ Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction

بیماری در هریک از اندام‌های بدن بر روی قسمت خاصی از عنبیه فرد اثر می‌گذارد و تغییر می‌دهد. برای همین منظور، عنبیه به قسمت‌های مختلفی تقسیم شده و هر قسمت به ارگان خاصی از بدن ارتباط داده می‌شود. تغییر در ظاهر هر کدام از قسمت‌های عنبیه، به معنی وجود مشکل و بیماری احتمالی در عضو مربوط به آن قسمت می‌باشد. به علم تشخیص بیماری از طریق بررسی عنبیه، عنبیه شناسی گفته می‌شود [۱۸].

از طرفی در سال‌های اخیر، کاربرد هوش مصنوعی و پردازش تصویر در زمینه‌های مختلفی همچون مهندسی، پزشکی، نظامی، مخابرات و بسیاری از مسائل زندگی واقعی گسترش روزافزونی داشته است. در این میان، تحلیل و بررسی تصاویر با اهداف پزشکی و تشخیص بیماری در صدر توجه محققان بوده است [۱۳]. در راستای تشخیص هوشمند بیماری‌ها از روی تصاویر عنبیه، تحقیقات مختلفی انجام شده است [۱۱]. در این میان می‌توان به برخی از شاخص‌ترین این تحقیقات اشاره نمود. به‌طور مثال در [۲۰] از پردازش تصاویر چشم انسان برای تشخیص بیماری در روده بزرگ انسان از روی عنبیه استفاده کردند. در روش ارائه شده، ابتدا از تبدیل هاف برای تشخیص عنبیه در تصاویر چشم استفاده می‌شود و سپس از روش تشخیص لبه، قسمت مربوط به عنبیه استخراج شده و با بررسی قسمت مربوط به بیماری روده در چارت عنبیه‌شناسی، در مورد بیماری یا سالم بودن ۶۰ نفر تصمیم گرفتند که در نهایت روش پیشنهاد شده، بیماری روده در ۲۵ نفر را تشخیص داد. در [۱۹]، محققان روشی را بر مبنای یادگیری ماشین برای تشخیص بیماری‌های قلبی عروقی از روی تصاویر عنبیه معرفی کردند. روش آن‌ها به این صورت است که ابتدا قسمت مربوط به عنبیه در تصاویر چشم با استفاده از روش داگمن استخراج می‌شود. سپس تصویر استخراج شده به حالت مستطیلی تبدیل می‌شود و با توجه به چارت عنبیه‌شناسی، ناحیه‌ای که مربوط به بیماری‌های قلبی عروقی می‌باشد برش داده می‌شود و بعد ناحیه مورد نظر با استفاده از تبدیل موجک گسسته دو بعدی تجزیه شده و ویژگی‌های آن استخراج می‌شود. سپس ویژگی‌های استخراج شده به عنوان ورودی برخی از الگوریتم‌های هوش مصنوعی همچون درخت تصمیم‌گیری، ماشین بردار پشتیبان، نزدیک‌ترین همسایه و شبکه‌های عصبی اعمال شده و تصاویر اولیه طبقه‌بندی می‌شوند. نهایتاً روش آن‌ها در طبقه‌بندی تصاویر چشم ۱۹۸ داوطلب (شامل ۹۴ بیمار و ۱۰۴ سالم) دقت ۹۳ درصد را به دست آورد.

روش دیگری برای شناسایی بیماری‌ها از روی عنبیه با بررسی تغییر شکل‌های هندسی توسط ما و همکاران [۱۶] معرفی شده است. روش آن‌ها برای شناسایی بیماری‌های معده و روده در ۱۴۲ فرد بیمار و ۱۵۰ فرد سالم پیاده‌سازی شده است. خلاصه روش آن‌ها به این صورت است که ابتدا قسمت عنبیه از روی تصاویر چشم انسان مکانیابی می‌شود. سپس برخی از ویژگی‌های هندسی اصلی عنبیه که بیانگر تغییرات در عنبیه باشند، استخراج شده و برای طبقه‌بندی به دسته‌های مختلف استفاده خواهد شد. طبقه‌بندی کننده‌های مورد استفاده، طبقه‌بندی خطی فیشر، شبکه عصبی خود سازمانده و ماشین بردار پشتیبان می‌باشند که نتایج بدست آمده بیانگر دقت بالاتر ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. سمانت و آگاروال [۶]، از روش‌های یادگیری ماشین برای شناسایی دیابت از روی تصاویر عنبیه استفاده کرده‌اند. مرحله اول روش آن‌ها شامل مکانیابی، استخراج و نرمال کردن عنبیه از روی تصاویر چشم می‌باشد. در مرحله دوم ویژگی آماری مرتبه اول، ویژگی‌های بافتی و ویژگی‌های موجک از عنبیه به عنوان ویژگی‌های اصلی استخراج می‌شود و در مرحله سوم که مرحله انتخاب ویژگی است از روش‌های فیشر، تست تی و مجذور کای استفاده می‌شود. در مرحله آخر نیز از چندین مدل طبقه‌بندی برای تفکیک دسته‌های مختلف استفاده شده است. مدل‌های طبقه‌بندی استفاده شده در این روش شامل: مدل درخت دودویی، ماشین بردار پشتیبان، مدل تقویت تطبیقی، مدل‌های خطی تعمیم یافته، مدل شبکه عصبی و جنگل تصادفی می‌باشند. نهایتاً نتایج این روش نشان دهنده دقت طبقه‌بندی ۸۹ درصد برای طبقه‌بندی بیش از ۳۰۰ نمونه می‌باشد.

ارائه روش‌هایی برای تشخیص هوشمند بیماری آلزایمر بر اساس علم عنیه‌شناسی، تحقیق دیگری است که توسط هرماندز و همکاران انجام شده است [۱۲]. تفاوت این روش‌ها تنها در مرحله طبقه‌بندی است و مرحله پردازش تصویر یکسانی را دارند. روند کار بدین صورت است که ابتدا قسمت عنیه از روی تصاویر چشم با استفاده از تبدیل هاف استخراج می‌شوند. سپس بخشی از تصویر عنیه که با توجه به چارت عنیه‌شناسی که مربوط به بیماری‌های مغز انسان می‌باشد (چراکه آلزایمر مربوط به بیماری‌های مغزی است) استخراج می‌شود. پس از آن در مرحله استخراج ویژگی، شش پارامتر شامل، شدت متوسط، کانتراست متوسط، ملایمت، مومنت سوم، یکنواختی هیستوگرام و آنتروپی استخراج شده و به عنوان ورودی طبقه‌بندی کننده استفاده می‌شود. همچنین برای طبقه‌بندی تصاویر مربوط به افراد دارای بیماری از سه طبقه‌بندی کننده استفاده می‌شود. این طبقه‌بندی کننده‌ها شامل؛ طبقه‌بندی کننده ZeroR، پرسپترون چند لایه و طبقه‌بندی کننده ییزی ساده هستند.

علاوه بر این روش‌های مشابه دیگری نیز توسط دیگر محققان در زمینه تشخیص هوشمند بیماری‌ها از روی تصاویر چشم ارائه شده است [۱۷]. با بررسی اجمالی تحقیقات انجام شده در راستای تشخیص بیماری‌ها از روی تصاویر عنیه و با استفاده از روش‌های هوشمند، برخی از نکاتی که توجه مخاطب را به خود جلب می‌کند به شرح زیر است:

۱. اغلب روش‌های موجود در این زمینه، هر یک تنها به تشخیص یک بیماری خاص توجه کرده‌اند و روشی جامع برای تشخیص همه یا بیشتر بیماری‌های قابل تشخیص با عنیه‌شناسی ارائه نکرده‌اند.

۲. اکثر روش‌ها در مرحله استخراج تصاویر عنیه از تصاویر چشم از دو روش معروف در پردازش تصویر، روش داگمن و تبدیل هاف استفاده کرده و الگوریتم جدیدی را ارائه نکرده‌اند. این در حالی است که امروزه روش‌های یادگیری عمیق و یادگیری ماشین کاربرد و قابلیت بالایی در پردازش تصویر دارند.

۳. بیشتر تحقیقات موجود، از شبکه‌های عصبی برای دسته‌بندی تصاویر عنیه سالم و بیمار استفاده کرده‌اند. در حالی که با توجه به در دست بودن چارت عنیه‌شناسی و پس از استخراج ویژگی‌های بیماری در تصویر، استفاده از سیستم‌های خبره می‌تواند سریع‌تر و کاملاً دقیق باشد.

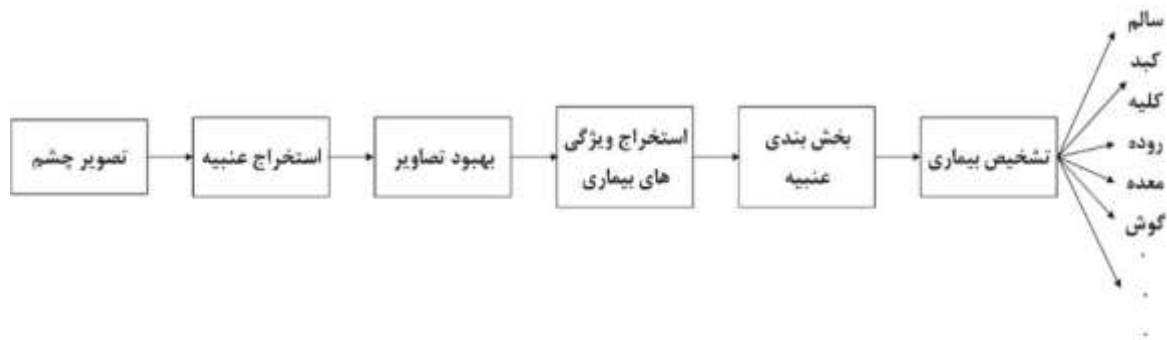
۴. در اکثر تحقیقات انجام شده توسط محققان قبلی، تعداد داده‌های آموزشی برای طبقه‌بندی کننده کم هستند (کمتر از ۵۰۰). علت کم بودن داده‌ها نیز دشواری دستیابی به تصاویر چشم افرادی است که دارای بیماری مشخصی هستند. این مورد نیز دلیل دیگری برای استفاده از سیستم‌های خبره برای طبقه‌بندی تصاویر چشم افراد با بیماری مختلف می‌باشد.

۵. بیشتر روش‌ها در مرحله استخراج ویژگی از تصاویر از ویژگی‌های آماری و بافتی استفاده کرده‌اند. اما توجه کمتری به روش‌های یادگیری عمیق و بخش‌بندی برای تشخیص نقاطی از عنیه که دارای تفاوت و مشکل هستند شده است.

در راستای حل چالش‌های فوق، در تحقیق حاضر سعی شده است که روش هوشمند جدیدی برای تشخیص بیماری‌های مختلف از روی تصاویر عنیه ارائه شود. بطور خلاصه در این روش ابتدا تصاویر چشم وارد یک شبکه عصبی عمیق کانولوشنی می‌شود که این شبکه بخش مربوط به عنیه را از تصاویر استخراج می‌کند. سپس تصاویر عنیه استخراج شده از روی تصاویر چشم برش داده شده و مشخصات بیماری‌ها با استفاده از یک روش بخش‌بندی بر پایه حد آستانه‌گذاری از روی این تصاویر شناسایی می‌شوند. در نهایت تصویر عنیه که مشخصه‌های بیماری بر روی آن مشخص شده است، بر اساس چارت عنیه‌شناسی به بخش‌های مختلفی تقسیم شده و در مورد بیماری‌های احتمالی فرد مورد بررسی تصمیم‌گیری می‌شود. تئوری روش مورد نظر به طور جامع در بخش بعدی شرح داده شده است.

مواد و روش‌ها

روش تشخیص بیماری از روی تصاویر عنیبه که در کار حاضر معرفی شده است، شامل چند مرحله کلی می‌باشد. مرحله اول مربوط به استخراج عنیبه از روی تصاویر چشم می‌باشد. در مرحله دوم کیفیت تصاویر عنیبه استخراج شده با همسان‌سازی هیستوگرام بهبود داده می‌شود. مرحله سوم مربوط به استخراج ویژگی و مکانیابی نقاط نشانگر بیماری (لکه‌ها، حفره‌ها، شیارها و غیره) است که با یک روش حد آستانه تطبیقی انجام می‌شود. در مرحله چهارم نیز تصویر عنیبه با توجه به چارت عنیبه بخش‌بندی شده و به قسمت‌های مختلف برش داده می‌شود. در مرحله آخر در مورد نوع بیماری احتمالی فرد مورد بررسی تصمیم‌گیری می‌شود. این فرایند به‌طور خلاصه در شکل ۱، قابل مشاهده است.



شکل ۱: کارنمای روش پیشنهادی

برای استخراج عنیبه از روی تصاویر چشم، در الگوریتم‌های سنتی معمولاً یک مرحله پیش پردازش صورت می‌گیرد. این مرحله برای افزایش کانتراست و حذف انعکاس‌ها از تصویر ورودی انجام می‌شود. پس از انجام پیش پردازش، فرآیند مکانیابی برای تعیین مرزهای بین عنیبه با مردمک و پلک‌ها انجام می‌شود. روش ارائه شده در تحقیق حاضر بر مبنای شبکه‌های کانولوشنی می‌باشد که باعث حذف شدن مرحله پیش پردازش می‌شود. به منظور تعیین مختصات و شعاع دقیق عنیبه و مردمک نیز یک مدل برازش کانتور ارائه شده است.

۱. استخراج عنیبه

تقسیم‌بندی دقیق عنیبه یکی از چالش برانگیزترین مسائل در زمینه شناسایی چشم و عنیبه بوده است. چالش‌های روش‌های سنتی تقسیم‌بندی عنیبه از این واقعیت ناشی می‌شود که این الگوریتم‌ها متکی به استخراج دستی ویژگی‌های تصویر و تنظیم دقیق پارامترهایی همچون محدوده تغییرات شعاع مردمک و عنیبه می‌باشند. عملکرد صحیح این الگوریتم‌ها همچنین می‌تواند شدیداً به مواردی همچون پیش پردازش و شدت خاصی از تصاویر ورودی وابسته باشد. علاوه بر این، معمولاً مدل‌های جداگانه‌ای برای شناسایی نواحی مربوط به پلک‌ها و عنیبه بکار گرفته می‌شود.

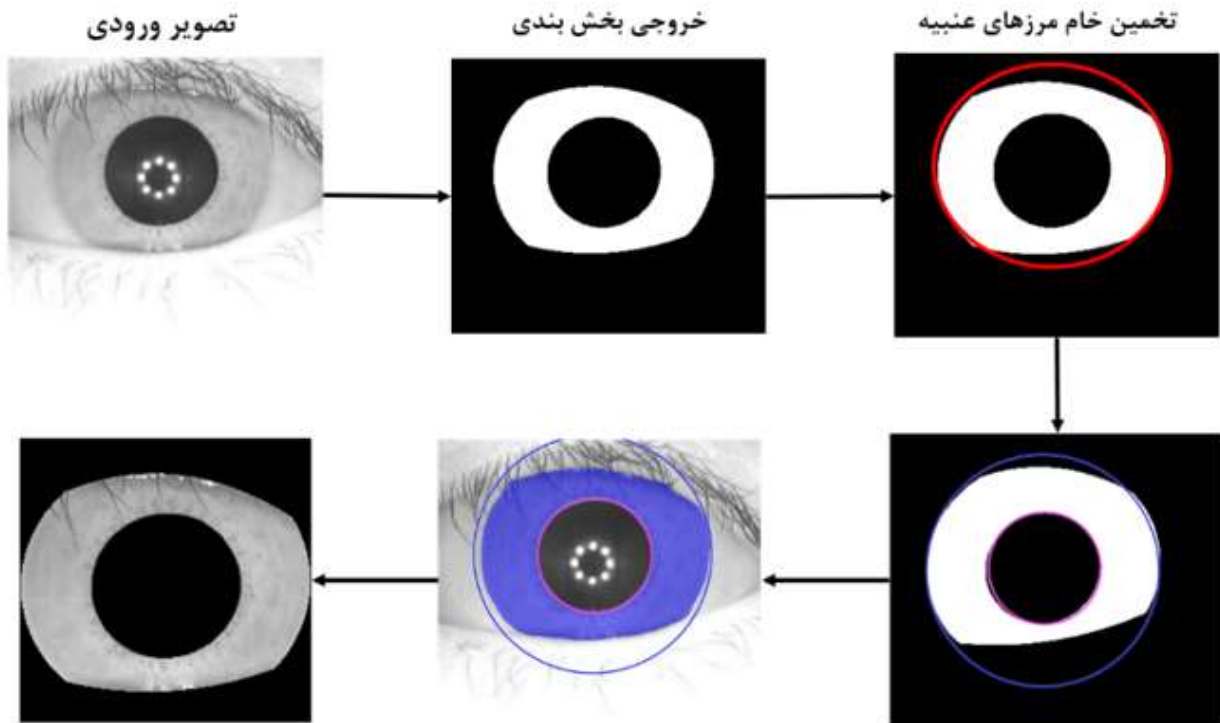
با پیشرفت‌های اخیر در تقسیم‌بندی معنایی مبتنی بر یادگیری عمیق، روش‌هایی بر اساس شبکه‌های کانولوشنی برای حل مشکلات روش‌های سنتی معرفی شده است [۱۵]. مطابق با معماری‌های موفق در زمینه بخش‌بندی معنایی همچون SegNet و UNet، جدیدترین مدل شبکه‌های کانولوشنی که برای بخش‌بندی تصاویر معرفی شده‌اند معمولاً به شکل رمزگذار و رمزگشا می‌باشند. این

معماری اجازه‌ی برجسب‌گذاری پیکسلی که به راحتی خروجی‌هایی با همان ابعاد ورودی تولید می‌کند را به شبکه عصبی می‌دهد. موفقیت مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های کانولوشنی به توانایی آن‌ها در یادگیری و استخراج ویژگی‌ها از تصاویر ورودی شبکه مرتبط می‌شود. در سمت رمزگذار، آرایش سلسله‌مراتبی لایه‌های کانولوشنی اجازه آموزش ویژگی‌های سطح پایین همچون لبه‌ها را به لایه‌های اولیه می‌دهد. در حالی که لایه‌های بعدی ویژگی‌های سطح بالاتری را از ورودی یاد می‌گیرند. محاسبات اساسی هر لایه را می‌توان به صورت یک عملیات کانولوشن و در پی آن یک تابع غیرخطی همچون واحد خطی اصلاح شده (ReLU) بیان کرد. این عملیات به صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود [۱۵].

$$B_{i,j} = f\left(b + \sum_m \sum_n \sum_k (A_{i+m,j+n} \cdot W_{m,n,k})\right) \quad (1)$$

که در آن A ، W و b به ترتیب تانسور ورودی، ماتریس وزن کرنل و بایاس عددی می‌باشند. $f(\cdot)$ نیز یک تابع غیرخطی می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که از برخی لایه‌ها، عمل نمونه‌برداری برای کاهش ابعاد فضای ورودی استفاده می‌شود. در سمت رمزگشا، ویژگی‌های سطح پایین که خروجی بخش رمزنگار می‌باشند با استفاده از توالی لایه‌های کانولوشنی پردازش می‌شوند و برجسب هر پیکسل از تصویر ورودی پیش‌بینی می‌شود. در مدل کانولوشنی بخش‌بندی‌کننده، هر ماسک خروجی تنها شامل پیکسل‌هایی است که متعلق به عنیبه هستند و مختصات دقیق مرکز و شعاع عنیبه و مردک را به دست نمی‌دهد. برای به دست آوردن این اطلاعات، یک مدل برازش کانتور مطابق با شکل (۲) معرفی شده است. روند کار بدین صورت است که ابتدا تقریب خامی از مرکزها و شعاع‌ها از روی ماسک به دست آمده از شبکه کانولوشنی بخش‌بندی‌کننده زده می‌شود. این کار با بررسی بزرگترین شیء دایره‌ای موجود در تصویر و محاسبه مرکز آن که تقریب خام مرکز عنیبه است انجام می‌شود. سپس شعاع عنیبه با محاسبه میانگین بزرگترین و کوچکترین طول عرضی شیء تقریب زده می‌شود.

با استفاده از مرکز و شعاع تقریب زده شده، یک برازش مرز دقیق‌تر با استفاده از تبدیل هاف دایره‌ای برای دایره‌هایی با شعاع نزدیک به شعاع تقریبی اولیه انجام می‌شود. پس از محاسبه شعاع و مختصات نهایی مرکز عنیبه، دوباره از تبدیل هاف دایره‌ای برای جستجوی مردمک با محدوده شعاع و محدوده مرکز در اطراف مرکز عنیبه استفاده می‌شود. دلیل انتخاب محدوده شعاع به این دلیل است که به صورت بیولوژیکی اندازه شعاع مردمک بین ۰/۱ تا ۰/۸ شعاع عنیبه تغییر می‌کند [۹].



شکل ۱: روند پردازش تصویر ورودی برای استخراج عنبیه

۲. بهبود تصاویر

هدف اصلی تقویت (بهبود) تصاویر در پردازش تصاویر به نحوی است که اطلاعات بصری آن با وضوح بیشتر و مطابق با تحلیل عنبیه‌شناسی قابل مشاهده و ارزیابی باشد. تکنیک‌های تقویت تصاویر به دو دسته گسترده تقسیم می‌شود. روش‌های حوزه فضاوی که مستقیماً بر روی پیکسل‌ها اعمال می‌شود و روش‌های حوزه فرکانسی که بر روی تبدیل فوریه تصویر اعمال می‌شود [۸]. در تحقیق حاضر از روش یکسان‌سازی هیستوگرام که یک روش حوزه فضاوی است، استفاده خواهد شد. دلیل انتخاب این روش، قابلیت تفسیر خروجی این روش از دیدگاه عنبیه‌شناسی است. یکسان‌سازی هیستوگرام شامل یافتن یک تابع تبدیل سطح خاکستری است که بتواند یک تصویر خروجی با هیستوگرام یکنواخت (یا تقریباً) تولید کند.

۳. استخراج ویژگی‌های بیماری

ویژگی‌های بیماری در عنبیه به صورت برجستگی‌ها، شیارها، لکه‌ها، تیرگی‌ها و موارد مشابه ظاهر می‌شود. در حالت عادی، این مشخصه‌ها با بافت غالب عنبیه متفاوت است. بنابراین برای تشخیص این ویژگی‌ها پس از بخش‌بندی عنبیه و برش آن از تصویر اولیه چشم، از الگوریتم‌های پردازش تصویر که مکان‌یابی پیکسل‌هایی از تصویر که دارای بافت متفاوت از اکثریت پیکسل‌ها می‌باشند، استفاده خواهد شد. در کار حاضر از یک روش حد‌آستانه تطبیقی برای اینکار استفاده خواهد شد. به این صورت که تصویر عنبیه استخراج شده، با یک مقدار حد آستانه مشخص باینری می‌شود. در نتیجه بخش‌هایی از عنبیه که دارای بافت متفاوت‌تری از اکثریت پیکسل‌های عنبیه می‌باشند، مشخص می‌شود. با توجه به این که عنبیه هر فرد با سایر افراد متفاوت است و همچنین تصاویر چشم ممکن است در شرایط مختلفی گرفته شده باشند، استفاده از یک مقدار ثابت برای حد آستانه ممکن نیست. بنابراین باید این مقدار به صورت

تطبیقی و با توجه به هر تصویر ورودی مشخص شود. الگوریتم روش حد آستانه تطبیقی نخستین بار توسط بردلی و راث [۷] ارائه است.

۴. بخش بندی عنیه

عنیه، به طور کلی به دو بخش اصلی، ناحیه مردمکی و ناحیه مژگانی تقسیم شده که این دو ناحیه توسط یک مرز مشخص به نام طوق از هم جدا می شوند. ناحیه مردمکی، ناحیه داخلی و کوچکتر عنیه بوده که در اطراف مردمک قرار دارد و ناحیه مژگانی، ناحیه بیرونی و بزرگتر است که به لبه عنیه می رسد.

۵. تشخیص بیماری

پس از استخراج عنیه از روی تصاویر چشم و تعیین مشخصه های بیماری، نوبت به آخرین مرحله یعنی تشخیص بیماری می رسد. در این مرحله، تصویر استخراج شده از عنیه با ویژگی هایی که دارای بافت متفاوت با بافت عنیه هستند روی آن مشخص شده که به بخش های مختلف چارت عنیه شناسی برش داده می شود. این فرآیند به صورت برش های دایره ای انجام می شود. سپس با توجه به این که ویژگی های بیماری در کدام بخش ها قرار دارند و بخش مربوطه به کدام ارگان مرتبط است در مورد سالم یا بیمار بودن فرد و در صورت بیمار بودن، در مورد ارگان احتمالی بیماری تصمیم گیری می شود.

۶. معماری شبکه عصبی کانولوشنی

معماری شبکه های عصبی کانولوشنی (CNN) به این صورت است که مجموعه ای متوالی از بلوک های کانولوشنی پس از لایه ورودی قرار می گیرد و بعد از آن ها نیز لایه خروجی است. بلوک های کانولوشنی شبکه پیشنهادی در کار حاضر نیز شامل یک لایه کانولوشن (با تابع فعال سازی ReLU)، و یک لایه نرمال سازی دسته ای است. چیدمان لایه ها نیز به این صورت است که در بخش رمزگذار شبکه لایه های کانولوشنی و در بخش رمزگشا نیز ترکیب لایه های کانولوشنی با ترانزاده لایه های کانولوشنی به کار گرفته شده است. همچنین لازم به ذکر است که برای کاهش هزینه های محاسباتی به جای لایه های ادغام از کانولوشن هایی با گام ۲ استفاده شده است. برای تعیین وزن های بهینه شبکه نیز، الگوریتم پس انتشار و گرادیان نزولی تصادفی با ممتنم به کار گرفته شده است [۲۳].

پس از مکانیابی مردمک، پیکسل های داخل دایره به عنوان پس زمینه تصویر علامت گذاری می شوند تا دایره خارجی که به نام مرز لیمبیک نامیده می شود شناسایی شود. سپس تبدیل هاف، دوباره برای تعیین مختصات مرکز و شعاع این دایره اعمال می شود. از آنجایی که هر دو مرز عنیه به عنوان دایره های جداگانه مدل سازی می شوند، یک قانونی به این دو دایره اعمال می شود که دایره بیانگر مرز پایلاری باید داخل دایره بیانگر مرز لیمبیک قرار گرفته باشد. اگر این شرط رعایت نشده باشد، یکبار دیگر از تبدیل هاف برای تعیین دایره استفاده می شود. برای ارزیابی مدل پیشنهادی و الگوریتم های یادگیری ماشین بکار رفته، چهار معیار دقت، صحت، نرخ بازخوانی و مقدار F1 (F-measure) محاسبه شده اند. چهار نوع تشخیص تحت عناوین مثبت صحیح شناسایی شده، منفی صحیح شناسایی شده، مثبت کاذب شناسایی شده و منفی کاذب شناسایی شده برای ارزیابی لحاظ گردیده است.

میزان "صحت" یکی از معیارهای اندازه گیری عملکرد مدل های طبقه بندی است که میزان پیش بینی صحیح طبقه بندی کننده را اندازه گیری می کند.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (2)$$

معیار دوم میزان "دقت" است که به عنوان ارزش اخباری مثبت نیز شناخته می شود و نسبت نمونه های مرتبط در میان نمونه های بازیابی شده است. به عبارت دیگر، به این پرسش پاسخ می دهد که در واقع چه نسبتی از شناسه های مثبت درست بودند؟

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (۳)$$

معیار سوم "نرخ بازخوانی" است. این معیار به این پرسش پاسخ می دهد: چه نسبتی از تشخیص های مثبت واقعی به درستی شناسایی شده اند؟ به بیان ساده تر به این مفهوم اشاره دارد که از بین همه کلاس های مثبت، چقدر درست پیش بینی شده است و باید تا حد ممکن بالا باشد. البته به این معیار حساسیت نیز گفته می شود.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (۴)$$

معیار چهارم "F-measure" است که میانگین وزنی دو مقدار قبلی دقت و نرخ بازخوانی است.

$$\text{F-measure} = \frac{2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall})}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (۵)$$

مجموعه داده ها

در کار حاضر، داده هایی از تصاویر چشم برای آموزش شبکه و الگوریتم های استخراج عنبیه، و همینطور تشخیص بیماری مورد نیاز است. برای همین منظور از دو مجموعه داده ای پر کاربرد در مسائل مربوط به پردازش تصاویر چشم استفاده شده است. همچنین توانایی روش ارائه شده بر روی تصاویر چشم افراد معمولی با استفاده از تصاویر تهیه شده با تلفن همراه نیز ارزیابی شده است. در ادامه توضیحات مختصری از مجموعه داده های مورد استفاده ذکر شده است.

مجموعه داده CASIA:

مجموعه داده CASIA توسط موسسه اتوماسیون آکادمی علوم چینی ها تهیه و منتشر شده است. در کار حاضر از نسخه چهارم این مجموعه داده که شامل تصاویر ۲۶۳۹ عکس چشم انسان است، استفاده شده است. این تصاویر با استفاده از دوربین های مخصوص از عنبیه چشم تصویربرداری شده است. این تصاویر مربوط به چشم چپ و چشم راست ۲۴۹ فرد مختلف است که از هر یک چندین عکس گرفته شده است. این تصاویر، سیاه و سفید و با رزولوشن ۳۲۰ در ۲۸۰ و با فرمت jpeg می باشند.

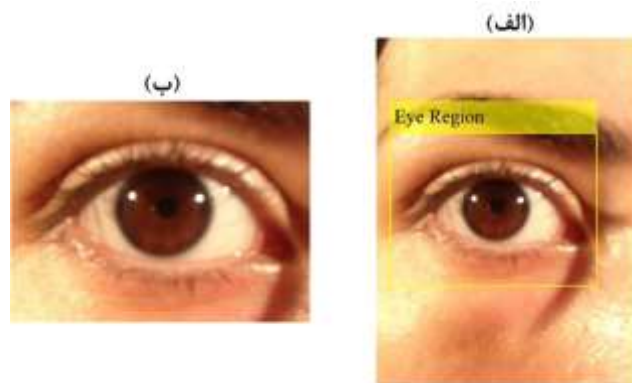
مجموعه داده IITD:

این مجموعه داده توسط آزمایشگاه تحقیق در بیومتریک موسسه فناوری دهلی (IITD) تهیه شده است [۱۴]. مجموعه IITD شامل تصاویر عنیه است که با دوربین دیجیتال مخصوص عکسبرداری از عنیه چشم تهیه شده است. تعداد تصاویر این مجموعه، ۱۱۲۰ تصویر مربوط به ۲۲۴ فرد (۱۷۶ مرد و ۴۸ زن) با سنین مختلف از ۱۵ تا ۵۵ سال است. این تصاویر با فرمت bmp، سیاه و سفید و کیفیت ۳۲۰ در ۲۴۰ می باشند.

مجموعه داده MICHE:

مجموعه داده MICHE [۱۰]، شامل تصاویر چشم انسان است که با استفاده از گوشی های هوشمند تهیه شده است. در کار حاضر از نسخه دوم مجموعه و تصاویر تهیه شده با گوشی iPhone استفاده شده است. این تصاویر به صورت رنگی، با فرمت jpg و رزولوشن ۱۵۳۶ در ۲۰۴۸ می باشند. تعداد تصاویر نیز ۱۲۶۲ عکس مربوط به ۹۲ فرد مختلف (۶۶ مرد و ۲۶ زن) در بازه سنی ۲۰ تا ۶۰ سال می باشد.

با توجه به این که داده های مجموعه MICHE با دوربین تلفن همراه تهیه شده اند و برخلاف مجموعه های CASIA و IITD بخش های قابل توجهی از صورت فرد را شامل می شود. از طرف دیگر هدف نهایی تحقیق حاضر، کاربرد آن توسط افراد عادی می باشد که اکثر این کاربران نیز تصاویر چشم خود را با استفاده از دوربین تلفن همراه تهیه خواهند کرد. در نتیجه، نیاز به یک روش پیش پردازش برای برش قسمت مربوط به چشم در داده های تصویربرداری شده با تلفن همراه وجود دارد. برای این کار باید چشم فرد در تصویر اصلی شناسایی شده و ناحیه مربوط به آن به نحوی برش داده شود که کمترین میزان نویز (پوست صورت) را شامل شود. در تحقیق حاضر از الگوریتم تشخیص اشیاء آبشاری هار برای این هدف استفاده شده است. الگوریتم تشخیص اشیاء آبشاری یکی از سریع ترین الگوریتم های تشخیص شیء به ویژه برای تشخیص اجزای صورت انسان می باشد که توسط ویولا و جونز ارائه شده است [۲۵]. نمونه ای از خروجی تشخیص چشم در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۲. (الف) ناحیه تشخیص داده شده برای چشم (ب) برش ناحیه تشخیص داده شده

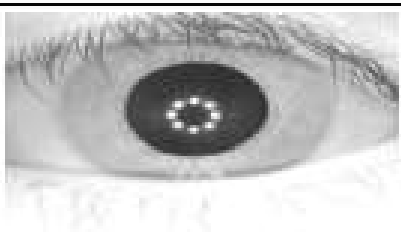
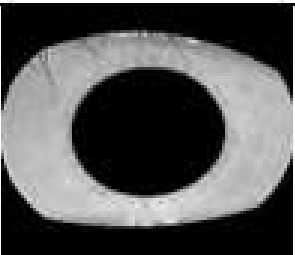
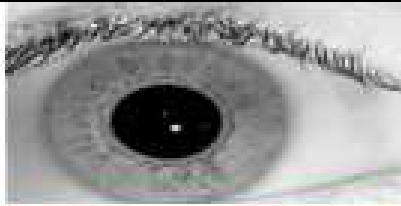
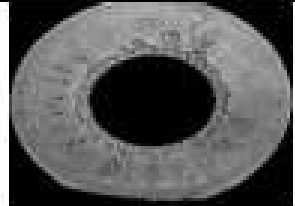
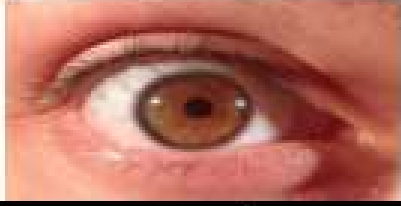

یافته‌های تحقیق

در این بخش، کاربرد روش پیشنهادی در استخراج عنیه و همچنین تشخیص بیماری‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای آموزش این شبکه از داده‌های دو مجموعه CASIA و IITD به صورت جداگانه استفاده شده است. به این صورت که شبکه کانولوشنی عمیق بر روی هر کدام از این مجموعه‌ها آموزش داده شده و نتایج آن‌ها ذکر خواهد شد. برای هر کدام از مجموعه داده‌ها، ۸۰ درصد از کل داده‌ها برای آموزش شبکه و ۲۰ درصد برای تست آن در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به دقت بخش‌بندی روش پیشنهادی برای سه معیار فراخوانی، صحت و F-measure در جدول (۱) ذکر شده و با نتایج مربوط به چند روش پرکاربرد دیگر که آن‌ها هم برای مجموعه داده‌های مشابه ارائه شده‌اند مقایسه شده است.

جدول ۱: دقت بخش‌بندی برای روش پیشنهادی و سه روش مشابه دیگر

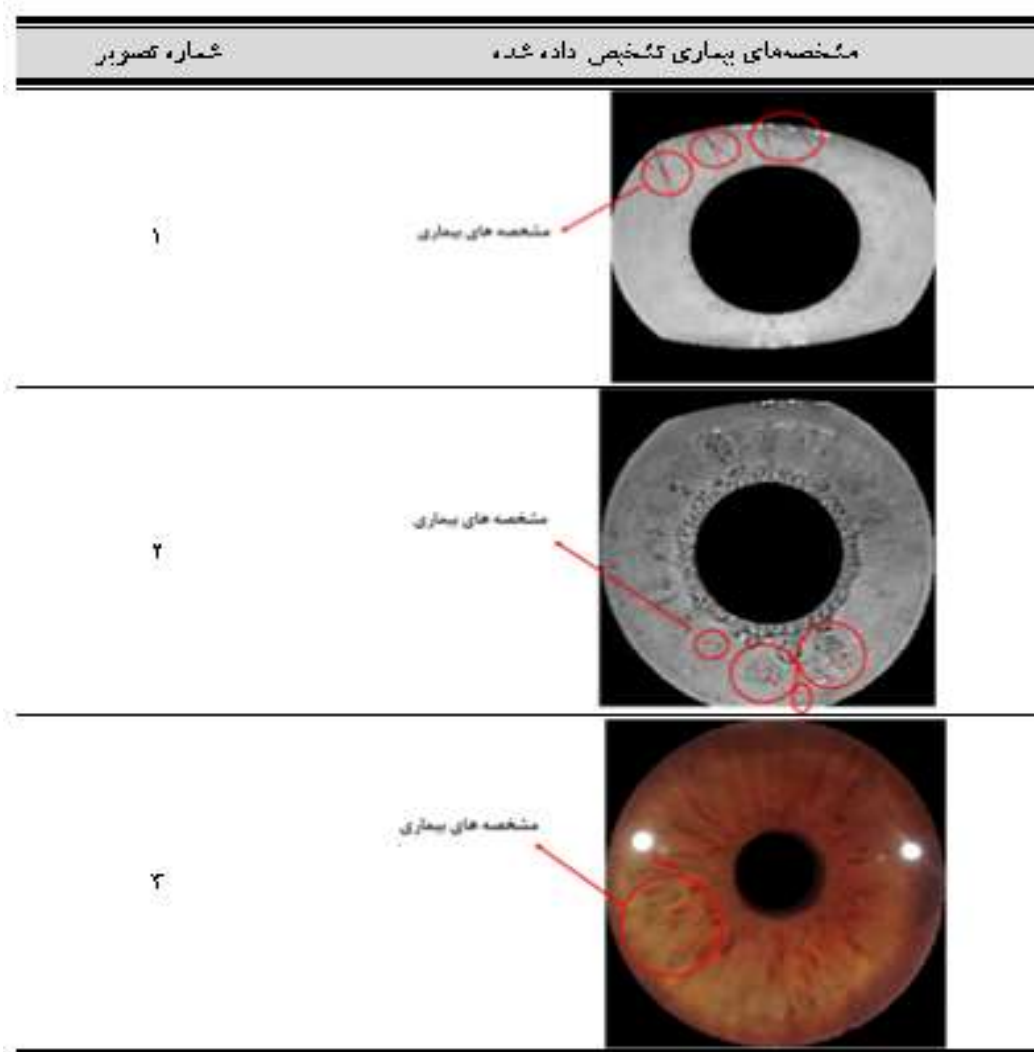
F-measure	صحت	فراخوانی	روش	دیتاست
۸۶/۱۶	۸۹/۹۱	۸۵/۱۹	[۱۴] GST	CASIA
۸۹/۱۳	۸۵/۴۴	۹۴/۷۲	[۲۰] WAHET	
۹۷/۵۸	۹۸/۱۰	۹۷/۱۰	[۲۶] IDN	
۹۹/۱۷	۹۸/۹۳	۹۹/۴۱	روش پیشنهادی CNN	
۸۶/۶۰	۸۵/۸۶	۹۰/۰۶	[۱۴] GST	IITD
۸۷/۰۲	۷۹/۴۲	۹۷/۴۳	[۲۰] WAHET	
۹۷/۵۶	۹۷/۱۶	۹۸/۰۰	[۲۶] IDN	
۹۸/۶۲	۹۸/۳۳	۹۸/۹۲	روش پیشنهادی CNN	

چنانچه از نتایج به دست آمده در جدول (۱) مشخص است، شبکه عصبی کانولوشنی پیشنهادی در مقایسه با سه روش بخش‌بندی معروف دیگر دقت بالاتری در هر سه معیار ارزیابی دارد. ویژگی مشترک سه روش مورد استفاده برای مقایسه با روش پیشنهادی در استفاده از داده‌ها و همچنین معیارهای دقت مشابه می‌باشد. در نتیجه شبکه پیشنهادی در کار حاضر پس از آموزش، کارایی بهتر و دقیق‌تری نسبت به روش‌های مشابه را دارد. برای نمایش خروجی شبکه کانولوشنی پیشنهادی، تعدادی از تصاویر مجموعه داده‌های مختلف به صورت تصادفی انتخاب شده است. مشخصات این تصاویر به این صورت است که تصویر شماره ۱ از داده‌های CASIA، تصویر شماره ۲ از مجموعه داده IITD و تصویر شماره ۳ از مجموعه داده MICHE می‌باشد. شکل (۴) خروجی شبکه عصبی کانولوشنی پیشنهادی در تشخیص عنیه از روی تصاویر انتخاب شده برای تست را نمایش می‌دهد.

شماره تصویر	تصویر بالینی	عنبیه استخراج شده
۱		
۲		
۳		

شکل ۳: نتایج شبکه کانولوشنی در تشخیص و استخراج عنبیه از روی تصاویر نمونه

در مرحله تشخیص بیماری، ابتدا مشخصه‌های بیماری با روش حد آستانه تطبیقی تعیین می‌شود. سپس پیکسل‌هایی که دارای ویژگی‌های متفاوت هستند در تصویر اصلی با رنگ قرمز مشخص خواهند شد. نتایج مربوط به استخراج ویژگی‌های بیماری برای تصاویر عنبیه استخراج شده با شبکه عصبی کانولوشنی در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل ۴: مشخصه‌های استخراج شده برای تصاویر خروجی شبکه کانولوشنی

چنانچه از شکل (۵) مشخص است نقاطی از عنبیه که دارای ویژگی‌های متفاوتی با بافت غالب عنبیه دارند به عنوان مشخصه‌های بیماری تشخیص داده شده‌اند. برای تشخیص بیماری‌ها، در روش‌های سنتی چارت عنبیه‌شناسی بر روی تصویر عنبیه تطبیق داده می‌شود. اما مشکل این مورد تغییر سایز و مکان مردک در داخل عنبیه می‌باشد. در نتیجه در کار حاضر تصویر عنبیه بر حسب بخش‌های مختلف چارت عنبیه‌شناسی برش داده شده و با توجه به هر قسمت در مورد وجود بیماری مربوطه تصمیم‌گیری شده است. این تقسیم‌بندی عنبیه بر حسب چارت ساده شده عنبیه‌شناسی انجام شده است.

در شکل (۶) تصویر چارت عنبیه‌شناسی برای چشم چپ و راست قابل مشاهده می‌باشد. در نهایت، پس از برش قسمت‌های مختلف عنبیه بر اساس چارت عنبیه‌شناسی، با توجه به این که هر قسمت مربوط به کدام ارگان می‌باشد و همچنین مشخصه‌های بیماری، در مورد بیماری احتمالی فرد تصمیم‌گیری می‌شود. نتایج مربوط به تشخیص بیماری‌ها از روی تصاویر نمونه که عنبیه آن‌ها با شبکه

عصبی کانولوشنی استخراج شده است در جدول (۲) ذکر شده است. قابل ذکر است که صحت‌سنجی نتایج نیز با مشورت افراد متخصص در زمینه عنبیه‌شناسی و پزشکان سنتی انجام شده است. در نتیجه کلیت نتایج توسط افراد متخصص در این زمینه مورد تأیید بوده است. با توجه به این نتایج می‌توان با طراحی یک نرم‌افزار جنبه تجاری‌سازی را شروع نموده که مطمئناً قابل استفاده برای تمام مخاطبان خواهد بود.



شکل ۵: چارت عنبیه‌شناسی ساده شده برای هر دو چشم چپ و راست

جدول ۲: بیماری‌های تشخیص داده شده از روی تصاویر نمونه با روش پیشنهادی

بیماری احتمالی	شماره تصویر
مهره ها، مثنه، پانکراس، کیسه صفرا، قلب، بیضه یا تخمدان، معده و روده	۱
بیضه یا تخمدان، لگن خاصره، دیواره شکمی، کشاله ران، کلیه، رحم یا پرستات، مثنه	۲
کیسه صفرا، پانکراس، قلب، کبد، بازو	۳

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، یک روش هوشمند بر مبنای شبکه‌های عصبی کانولوشنی برای استخراج عنبیه از روی تصاویر چشم انسان و تشخیص بیماری با کمک علم عنبیه‌شناسی معرفی شده است. روش پیشنهادی به‌طور خلاصه به این صورت است که ابتدا تصویر چشم وارد شبکه کانولوشنی آموزش دیده می‌شود. این شبکه، یک شبکه بخش‌بندی است که بخش مربوط به عنبیه را در تصویر چشم تعیین می‌کند. سپس با ماسک کردن خروجی شبکه و تصویر ورودی، قسمت عنبیه از روی تصویر چشم استخراج می‌شود و با همسان‌سازی هسته‌گرام، کیفیت آن بهبود داده شده و یکنواخت می‌شود. در ادامه با کمک یک روش حد آستانه تطبیقی، نقاطی از

عنبیه که دارای ویژگی‌های متفاوتی از کلیت عنبیه دارند مشخص شده و علامت گذاری می‌شوند. پس از آن تصاویر عنبیه به صورت دایره‌ای و برحسب چارت عنبیه‌شناسی به قسمت‌های مختلف تقسیم می‌شود. در نهایت با توجه به این که مشخصه‌های بیماری در کدام قسمت قرار دارند و این قسمت به کدام ارگان مرتبط می‌شود (با توجه به چارت عنبیه‌شناسی)، در مورد بیماری‌های احتمالی فرد تصمیم‌گیری می‌شود. روش پیشنهادی با برخی از معروف‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های موجود در زمینه استخراج عنبیه مقایسه شده است و کارایی آن به‌خصوص در کارهای عملی و تصاویر تهیه شده با دوربین‌های گوشی همراه نشان داده شده است. لازم به ذکر است که پیش از این روش کاملی در تشخیص بیماری‌های مختلف با استفاده از تصاویر عنبیه معرفی نشده است و روش‌های معرفی شده، تنها بر تشخیص یک بیماری خاص تأکید دارند. در نتیجه بخش استخراج عنبیه با روش‌های موجود مقایسه شده و برای ارزیابی تشخیص بیماری از افراد متخصص و پزشکان طب سنتی کمک گرفته شده است. چنانچه در بخش نتایج نشان داده شده است، شبکه کانولوشنی پیشنهادی دقت قابل قبولی را در استخراج عنبیه دارد. این شبکه با استفاده از دو مجموعه داده CASIA و IITD آموزش داده شده است و دقت آن با سه معیار صحت، فراخوانی و F-measure ارزیابی شده است. نتایج آموزش شبکه بر روی مجموعه داده CASIA برای سه معیار صحت، فراخوانی و F-measure به ترتیب ۹۸/۹۳، ۹۹/۴۱ و ۹۹/۱۷ درصد است. همچنین نتایج آموزش این شبکه بر روی داده‌های IITD برای سه معیار صحت، فراخوانی و F-measure به ترتیب ۹۸/۳۳، ۹۸/۹۲ و ۹۸/۶۲ درصد است. نهایتاً نتیجه کلی تحقیق حاضر این است که شبکه کانولوشنی ارائه شده می‌تواند مرزهای عنبیه را با دقت بسیار بالایی در تصاویر چشم تعیین کند. این دقت بالا برای داده‌های مختلف، چه تصاویر تهیه شده با دوربین‌های مخصوص عکسبرداری از عنبیه و چه تصاویر تهیه شده با تلفن همراه در بخش نتایج اثبات شده است. همچنین علاوه بر تشخیص عنبیه، روش پیشنهادی در استخراج مشخصه‌های بیماری و تشخیص بیماری‌های احتمالی نیز دقت قابل قبولی را دارد و کارایی آن بر روی داده‌های تجربی نشان داده شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت:

- مطالعاتی بر روی موضوع‌ها و چالش‌های موجود در زمینه شناسایی بیماری‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین صورت گرفت.
- همچنین تحقیق و بررسی‌هایی بر روی الگوریتم‌های یادگیری، ساختار و نحوه کار آن‌ها انجام شد.
- یک الگوریتم یادگیری ارائه شد که می‌تواند به حل مسائل در زمینه شناسایی بیماری‌ها بپردازد.
- اجرای الگوریتم شبکه عصبی کانولوشنی بر روی نمونه‌های مختلف نشان داد که الگوریتم دارای وضعیت خوبی از لحاظ شناسایی و افزایش کیفیت جواب‌ها است.
- در بیشتر موارد الگوریتم شبکه عصبی کانولوشنی جواب‌های بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های هم‌رده از خود نشان داد.
- در کارهای آتی می‌توان با افزودن سایر علائم‌های بالینی به داده‌ها میزان دقت را بالا برد. همچنین برای استفاده در مراکزهای بهداشتی و درمانی برای طبقه‌بندی اولیه بیماری‌های عفونی از سیستم پیشنهادی استفاده نمود. همچنین:
- استفاده از مدل برای سایر داده‌های استخراج شده بهداشتی توسط مراکز درمانی.
- الگوریتم پیشنهادی برای حل مسائل یادگیری با نظارت مناسب می‌باشد، لذا می‌توان با اعمال تغییراتی از آن برای حل مسائل یادگیری نیمه‌نظارت و یا بدون نظارت نیز استفاده کرد.
- همچنین با اعمال الگوریتم انتخابی به مسائل مهندسی، می‌توان آن را برای حل چنین مسائلی بکار برد. این الگوریتم مناسب مسائل دسته‌بندی می‌باشد که با اعمال تغییراتی می‌توان در مسائل رگرسیون نیز استفاده کرد.

منابع

- Dashraath, P., & et al. (2020). Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic and Pregnancy, *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 222(6), 521-531.
- Syal, K. (2021). Guidelines on Newly Identified Limitations of Diagnostic Tools for COVID-19 and Consequences, *Journal of Medical Virology*, 93(4), 1837-1842.
- Martin, C., & et al. (2020). Dynamics of SARS-CoV-2 RT-PCR Positivity and Seroprevalence Among High-Risk Healthcare Workers and Hospital Staff, *Journal of Hospital Infection*, 106(1), 102-106.
- Oğuz, Ç., & Yağanoğlu, M. (2022). Detection of COVID-19 using Deep Learning Techniques and Classification Methods, *Information Processing and Management*, 59(5):103025.
- Kazemi, Y. & Mirroshandel, S. A. (2018). A Novel Method for Predicting Kidney Stone Type using Ensemble Learning, *Artif. Intell. Med.* 84, 117–126.
- Amerifar, S., Targhi, A. T., & Dehshibi, M. M. (2015). Iris the Picture of Health: Towards Medical Diagnosis of Diseases based on Iris Pattern, *International Conference on Digital Information Management*.
- Bradley, D., & Roth, G. (2007). Adaptive Thresholding using the Integral Image, *Journal of Graphics GPU and Game Tools*, 12(2), 13-21.
- Chaskar, U., & Sutaone, M. (2012). Learning to Predict Diabetes from Iris Image Analysis, *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 9(1), 88-99.
- Daugman, J. G. (2002). High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(11).
- De Marsico, M., Nappi, Riccio, M. D., & Wechsler, H. (2015). Mobile Iris Challenge Evaluation (MICHE)-I, Biometric Iris Dataset and Protocols, *Pattern Recognition Letters*, 57, 17-23.
- Esteves, R. B., Morero, J. A. P., de Souza Pereira, S., Mendes, K. D. S., Hegadoren, K. M., & Cardoso, L. (2021). Parameters to Increase the Quality of Iridology Studies: A Scoping Review, *European Journal of Integrative Medicine*, 43, p. 101311.
- Hernandez, F., Vega, R., Leon, F. T., Morocho, D., & Fuertes, W. (2019). Early Detection of Alzheimer's Using Digital Image Processing Through Iridology: An Alternative Method, *Advances in Science Technology and Engineering Systems Journal*, 4(3).
- Kong, W. K. & Zhang, D. (2001). Accurate Iris Segmentation based on Novel Reflection and Eyelash Detection Model, *Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing*, IEEE Xplore.
- Kumar, A., & Passi, A. (2010). Comparison and Combination of Iris Matchers for Reliable Personal Authentication, *Pattern Recognition*, 43(3), 1016-1026.
- Liu, N., Li, H., Zhang, H., Liu, J., Sun, Z., & Tan, T. (2016). Accurate Iris Segmentation in Non-Cooperative Environments using Fully Convolutional Networks, *International Conference on Biometrics*.
- Ma, L., Zhang, D., Li, N., Cai, Y., Zuo, W., & Wang, K. (2013). Notice of Retraction: Iris-Based Medical Analysis by Geometric Deformation Features, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 17(1), 223-231.
- Muzamil, S., Hussain, T., Haider, A., Waraich, U., Ashiq, U., & Ayguadé, E. (2020). An Intelligent Iris Based Chronic Kidney Identification System, *Symmetry*, 12(12), p. 2066.

- Othman, Z., & Prabuwno, A. S. (2010). Preliminary Study on Iris Recognition System: Tissues of Body Organs in Iridology, *IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences*.
- Özbilgin, F., Kurnaz, Ç., & Aydın, E. (2023). Prediction of Coronary Artery Disease Using Machine Learning Techniques with Iris Analysis, *Diagnostics*, 13(6), p.1081.
- Passarella, R., Erwin, E., Fachrurrozi, M., & Sutarno, S. (2013). Development of Iridology System Database for Colon Disorders Identification using Image Processing, *Indian Journal of Bioinformatics and Biotechnology*, 2(6), 100-103.
- Putri, R., & Harmoko, A. (2019). Prediction Instrument of Diabetes Mellitus based on Iridology Image and Artificial Neural Network: Initial Findings, *IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application*.
- Samant, P., & Agarwal, R. (2018). Machine Learning Techniques for Medical Diagnosis of Diabetes using Iris Images, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 157, 121-128.
- Sathyabama, K., & Saruladha, K. (2021). An Effective Learning Rate Scheduler for Stochastic Gradient Descent-based Deep Learning Model in Healthcare Diagnosis System, *International Journal of Electronic Healthcare*, 12(1), 1-21.
- Sharan, F. (1990). *Iridology: A Complete Guide to Diagnosing Through the Iris and to Related Forms of Treatment (A Thorsons Complementary Medical Textbook)*, Amazon.
- Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Ppattern Recognition, Kauai, HI, USA*.
- Wibawa, A. D., & Purnomo, M. H. (2006). Early Detection on the Condition of Pancreas Organ as the Cause of Diabetes Mellitus by Real Time Iris Image, *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, 1008-1010.