



کاربرد روش های یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری به منظور تشخیص زود هنگام بیماری های چشمی

صبا سفیری

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی (بیوالکتریک)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ایران

Sabasafiri96@gmail.com

چکیده

تشخیص زود هنگام بیماری های چشمی نقش مهمی در پیشگیری از کاهش بینایی و افزایش اثربخشی درمان دارد، با این حال تفسیر دستی تصاویر توموگرافی انسجام نوری^۱ به دلیل حجم بالای داده ها و پیچیدگی الگوهای تصویری با محدودیت هایی همراه است. هدف این پژوهش بررسی کاربرد روش های یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری و ارزیابی توانایی آن ها در تشخیص زود هنگام بیماری های چشمی است. در این پژوهش، عملکرد مدل های مبتنی بر یادگیری عمیق و به ویژه شبکه های عصبی کانولوشنی در استخراج ویژگی های تصویری و طبقه بندی خودکار تصاویر توموگرافی انسجام نوری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین قابلیت این مدل ها در شناسایی ناهنجاری های مرتبط با بیماری هایی نظیر رتینوپاتی دیابتی، دژنراسیون ماکولا وابسته به سن و گلوکوم ارزیابی شد. نتایج تحلیل ها نشان داد که الگوریتم های یادگیری عمیق قادرند ویژگی های پیچیده و تغییرات ظریف ساختاری موجود در تصاویر توموگرافی انسجام نوری را با دقت بالا شناسایی کرده و عملکرد مطلوبی در تفکیک تصاویر سالم از تصاویر مبتلا به بیماری ارائه دهند. همچنین استفاده از این روش ها موجب کاهش وابستگی به ارزیابی دستی، افزایش سرعت پردازش داده ها و بهبود دقت تشخیص می شود. یافته های پژوهش بیانگر آن است که به کارگیری یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری می تواند به عنوان یک ابزار هوشمند و کارآمد در تشخیص زود هنگام بیماری های چشمی مورد استفاده قرار گیرد و نقش مؤثری در توسعه سامانه های کمک تشخیصی، بهبود فرآیند غربالگری و ارتقای کیفیت خدمات چشم پزشکی ایفا کند.

واژگان کلیدی: یادگیری عمیق، توموگرافی انسجام نوری، شبکه های عصبی کانولوشنی، تحلیل تصاویر پزشکی، بیماری های چشمی

¹ Optical Coherence Tomography



مقدمه

بیماری‌های چشمی از مهم‌ترین عوامل کاهش بینایی و نابینایی در جهان به شمار می‌روند و تشخیص زودهنگام آن‌ها نقش اساسی در جلوگیری از پیشرفت بیماری، افزایش اثربخشی درمان و حفظ کیفیت بینایی بیماران دارد. بیماری‌هایی نظیر رتینوپاتی دیابتی، دژنراسیون ماکولا وابسته به سن^۲ و گلوکوم از جمله اختلالاتی هستند که در مراحل اولیه ممکن است بدون علائم بالینی آشکار بروز کنند و در صورت عدم تشخیص به‌موقع، منجر به آسیب‌های غیرقابل جبران شبکیه و عصب بینایی شوند. از این رو، توسعه روش‌های دقیق، سریع و هوشمند برای تشخیص این بیماری‌ها به یکی از مهم‌ترین زمینه‌های پژوهشی در مهندسی پزشکی و چشم‌پزشکی تبدیل شده است. (Muchuchuti & Viriri, 2023; Daich Varela et al., 2023)

توموگرافی انسجام نوری یکی از پیشرفته‌ترین فناوری‌های تصویربرداری پزشکی است که با استفاده از امواج نوری، تصاویر مقطعی با وضوح بالا از لایه‌های شبکیه و عصب بینایی ایجاد می‌کند. این روش به دلیل غیرتهاجمی بودن، سرعت تصویربرداری بالا و توانایی نمایش جزئیات ساختاری با دقت میکرونی، به یکی از ابزارهای اصلی در تشخیص، پایش و مدیریت بیماری‌های چشمی تبدیل شده است. با وجود مزایای فراوان، حجم بالای تصاویر تولیدشده و پیچیدگی الگوهای موجود در آن‌ها، تفسیر دستی را زمان‌بر کرده و دقت تشخیص را به میزان تجربه پزشک وابسته می‌سازد. (Li et al., 2023)

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه هوش مصنوعی، به‌ویژه یادگیری عمیق، زمینه تحول در تحلیل تصاویر پزشکی را فراهم کرده است. الگوریتم‌های یادگیری عمیق، به‌خصوص شبکه‌های عصبی کانولوشنی^۳، قادرند بدون نیاز به استخراج دستی ویژگی‌ها، الگوهای پیچیده موجود در تصاویر توموگرافی انسجام نوری را شناسایی کرده و با دقت بالایی به طبقه‌بندی بیماری‌ها، بخش‌بندی ساختارهای شبکیه و پیش‌بینی روند پیشرفت بیماری بپردازند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که این الگوریتم‌ها در بسیاری از کاربردها عملکردی قابل مقایسه و حتی بهتر از روش‌های سنتی و ارزیابی انسانی ارائه می‌دهند. (Li et al., 2023; Akpinar et al., 2024)

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه، به‌کارگیری یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری همچنان با چالش‌هایی نظیر محدود بودن پایگاه‌های داده استاندارد، عدم تعمیم‌پذیری برخی مدل‌ها در محیط‌های بالینی، تفسیرپذیری پایین الگوریتم‌ها و ضرورت اعتبارسنجی در جمعیت‌های مختلف همراه است. همچنین، توسعه سامانه‌های هوشمند کمک‌تشخیصی که بتوانند با دقت بالا و در زمان کوتاه بیماری‌های چشمی را شناسایی کنند، همچنان از مهم‌ترین اهداف پژوهشگران این حوزه محسوب می‌شود. (Daich Varela et al., 2023; Akpinar et al., 2024)

هدف از این پژوهش، بررسی کاربرد روش‌های یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری و ارزیابی نقش آن‌ها در تشخیص زودهنگام بیماری‌های چشمی است. در این پژوهش، قابلیت الگوریتم‌های یادگیری عمیق در استخراج ویژگی‌های تصویری، طبقه‌بندی تصاویر توموگرافی انسجام نوری و شناسایی بیماری‌های شایع چشمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین، مزایا، محدودیت‌ها و ظرفیت این فناوری در توسعه سامانه‌های هوشمند کمک‌تشخیصی و بهبود فرآیند غربالگری بیماران تحلیل شده و

^۲ AMD: Age-Related Macular Degeneration (AMD)

^۳ Convolutional neural network



این فرضیه مطرح می شود که به کارگیری مدل های یادگیری عمیق می تواند موجب افزایش دقت تشخیص، کاهش خطاهای انسانی و ارتقای کیفیت خدمات چشم پزشکی شود.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و با رویکرد توصیفی-تحلیلی انجام شده است. هدف از این پژوهش، بررسی کاربرد روش های یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری و ارزیابی نقش آن ها در تشخیص زودهنگام بیماری های چشمی است. با توجه به رشد چشمگیر استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی در حوزه تصویربرداری پزشکی، در این مطالعه تلاش شد تا عملکرد روش های مختلف یادگیری عمیق در تشخیص بیماری های چشمی بر اساس تصاویر توموگرافی انسجام نوری مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

به منظور گردآوری اطلاعات، جستجوی گسترده ای در پایگاه های علمی معتبر انجام شد. مقالات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۵ که به کاربرد یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری و تشخیص بیماری های چشمی پرداخته بودند، مورد بررسی قرار گرفتند. برای دستیابی به منابع مرتبط، از کلیدواژه هایی نظیر یادگیری عمیق، شبکه های عصبی کانولوشنی، توموگرافی انسجام نوری، پردازش تصاویر پزشکی، رتینوپاتی دیابتی، دژنراسیون ماکولا وابسته به سن و گلوکوم استفاده شد. معیارهای ورود به مطالعه شامل انتشار مقاله در مجلات و کنفرانس های معتبر علمی، دسترسی به متن کامل پژوهش، استفاده از روش های یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری و ارائه نتایج کمی در زمینه تشخیص بیماری های چشمی بود. همچنین مقالاتی که اطلاعات ناکافی ارائه کرده بودند، از روش های غیرمرتبط استفاده می کردند یا دارای داده های تکراری بودند، از فرایند بررسی حذف شدند.

پس از انتخاب مقالات، اطلاعات مربوط به نوع بیماری مورد مطالعه، تعداد تصاویر مورد استفاده، روش های پیش پردازش تصاویر، نوع مدل یادگیری عمیق، معیارهای ارزیابی عملکرد و نتایج حاصل استخراج و طبقه بندی شد. در مرحله بعد، داده های گردآوری شده بر اساس نوع بیماری و الگوریتم مورد استفاده دسته بندی شدند تا امکان مقایسه عملکرد مدل های مختلف فراهم شود. در این پژوهش، تمرکز اصلی بر الگوریتم های مبتنی بر شبکه های عصبی کانولوشنی، شبکه های عمیق چندلایه و مدل های ترکیبی بوده است که بیشترین کاربرد را در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری دارند.

برای ارزیابی عملکرد مدل ها، شاخص هایی نظیر دقت، حساسیت، ویژگی و توانایی تشخیص صحیح بیماری ها مورد توجه قرار گرفت. همچنین قابلیت مدل ها در استخراج خودکار ویژگی های تصویری، شناسایی الگوهای غیرقابل مشاهده با روش های سنتی و تفکیک تصاویر سالم از تصاویر مبتلا به بیماری بررسی شد. نتایج مطالعات منتخب از نظر میزان موفقیت در تشخیص بیماری های مختلف چشمی با یکدیگر مقایسه گردید و عوامل مؤثر بر بهبود عملکرد مدل ها از جمله کیفیت تصاویر، حجم داده های آموزشی، روش های افزایش داده و معماری شبکه های عصبی مورد تحلیل قرار گرفت.

به منظور افزایش اعتبار نتایج، یافته های پژوهش های مختلف با یکدیگر تطبیق داده شد و روند پیشرفت کاربرد یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری طی سال های اخیر مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، نقاط قوت، محدودیت ها، چالش ها و فرصت های آینده در استفاده از یادگیری عمیق برای تشخیص زودهنگام بیماری های چشمی جمع بندی و تحلیل شد تا تصویری جامع از وضعیت کنونی این حوزه و مسیرهای پژوهشی آینده ارائه گردد.

یافته ها

بررسی مطالعات منتشرشده در سال های اخیر نشان داد که استفاده از الگوریتم های یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری، تحول قابل توجهی در تشخیص زود هنگام بیماری های چشمی ایجاد کرده است. اغلب پژوهش ها از شبکه های عصبی کانولوشنی برای استخراج خودکار ویژگی های تصاویر استفاده کرده اند و نتایج بیانگر آن است که این مدل ها در مقایسه با روش های سنتی پردازش تصویر، از دقت، حساسیت و سرعت بالاتری در تشخیص بیماری های شبکه بر خوردار هستند. همچنین، حذف نیاز به استخراج دستی ویژگی ها موجب افزایش قابلیت تعمیم مدل ها و کاهش وابستگی به تجربه متخصصان شده است.

مطالعات نشان می دهند که یادگیری عمیق در تشخیص بیماری هایی نظیر دژنراسیون ماکولا وابسته به سن، رتینوپاتی دیابتی، ادم ماکولا، غشای نئوواسکولار مشیمیه و گلوکوم عملکرد مطلوبی داشته است. در بسیاری از پژوهش ها، مدل های مبتنی بر شبکه های عصبی کانولوشنی توانسته اند تصاویر سالم و بیمار را با دقت بالا طبقه بندی کنند و تغییرات اولیه بافت شبکه را که در مراحل ابتدایی بیماری ایجاد می شود، شناسایی نمایند. این قابلیت نقش مهمی در تشخیص زود هنگام بیماری و آغاز درمان در زمان مناسب ایفا می کند.

بررسی مدل های مختلف یادگیری عمیق نشان داد که معماری هایی مانند ResNet، VGG، Inception و DenseNet از پرکاربردترین شبکه ها در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری هستند. نتایج یک مطالعه منتشرشده در سال ۲۰۲۴ نشان داد که مدل InceptionV3 در طبقه بندی تصاویر توموگرافی انسجام نوری به دقتی در حدود ۹۹ درصد دست یافته است. همچنین مشخص شد که افزایش تعداد تصاویر آموزشی و استفاده از داده های دارای برچسب صحیح، تأثیر مستقیمی بر بهبود عملکرد مدل ها دارد، در حالی که وجود برچسب های نادرست و محدود بودن حجم داده های آموزشی موجب کاهش دقت تشخیص می شود.

یافته های مطالعات مرور شده همچنین نشان می دهد که استفاده از یادگیری عمیق علاوه بر افزایش دقت تشخیص، زمان تحلیل تصاویر را به میزان قابل توجهی کاهش داده و امکان غربالگری تعداد زیادی از بیماران را در مدت زمان کوتاه فراهم کرده است. این موضوع به ویژه در مراکز درمانی با حجم بالای مراجعات می تواند موجب کاهش بار کاری متخصصان چشم پزشکی و تسریع فرآیند تصمیم گیری بالینی شود. علاوه بر این، به کارگیری سامانه های هوشمند مبتنی بر یادگیری عمیق، احتمال بروز خطاهای انسانی در تفسیر تصاویر را کاهش داده و یکنواختی بیشتری در نتایج تشخیص ایجاد می کند.

با وجود عملکرد مطلوب الگوریتم های یادگیری عمیق، بررسی مطالعات نشان داد که همچنان چالش هایی در استفاده بالینی از این فناوری وجود دارد. مهم ترین این چالش ها شامل محدود بودن پایگاه های داده استاندارد، عدم تنوع کافی تصاویر آموزشی، تفاوت کیفیت تصاویر حاصل از دستگاه های مختلف، پایین بودن قابلیت تفسیرپذیری برخی مدل ها و نیاز به اعتبارسنجی گسترده در محیط های بالینی است. رفع این محدودیت ها می تواند زمینه استفاده گسترده تر از سامانه های هوشمند در تشخیص بیماری های چشمی را فراهم سازد.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می دهد که یادگیری عمیق یکی از مؤثرترین روش ها برای تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری محسوب می شود و می تواند با افزایش دقت، حساسیت و سرعت تشخیص، نقش مهمی در توسعه سامانه های کمک تشخیصی هوشمند ایفا کند. با این حال، توسعه پایگاه های داده بزرگ تر، بهبود قابلیت تفسیر مدل ها و انجام مطالعات بالینی گسترده تر، از مهم ترین الزامات برای استفاده عملی از این فناوری در مراکز درمانی به شمار می روند.

به منظور مقایسه مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری و بررسی روند پیشرفت این حوزه، تعدادی از پژوهش های شاخص منتشرشده در سال های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۵ در جدول ۱ ارائه شده اند. این مطالعات از نظر نوع بیماری مورد بررسی، مدل یادگیری عمیق مورد استفاده و مهم ترین یافته های پژوهش با یکدیگر مقایسه شده اند.



جدول ۱- مطالعات منتخب در زمینه کاربرد یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری (OCT)

ردیف	نام نویسنده	سال	بیماری مورد بررسی	مدل یادگیری عمیق	مهم ترین یافته
۱	هاشمی و همکاران	۲۰۲۵	بیماری های شبکه	YOLOv8	تشخیص خودکار بیماری های شبکه از تصاویر OCT با دقت بالا.
۲	هو و همکاران	۲۰۲۵	بیماری های شبکه	WaveAttention-ResNet	بهبود تشخیص چندکلاسه بیماری های شبکه نسبت به مدل های پایه.
۳	دالی و همکاران	۲۰۲۵	رتینوپاتی دیابتی	Deep Learning	اعتبارسنجی بالینی سامانه هوش مصنوعی برای غربالگری بیماران .
۴	وانگ و همکاران	۲۰۲۴	بیماری های شبکه	Ensemble Learning	بهبود عملکرد مدل ها در مجموعه داده های محدود .
۵	آکپینار و همکاران	۲۰۲۴	بیماری های مختلف شبکه AMD, DR, DME, گلوکوم, CNV و ...)	مرور مطالعات مبتنی بر ML و DL	مرور ۷۶ مطالعه منتشر شده بین سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ و بررسی کاربرد هوش مصنوعی در تحلیل تصاویر OCT برای تشخیص بیماری های چشمی
۶	میلادینوویچ و همکاران	۲۰۲۴	ناهنجاری های شبکه و شبکه سالم	.ResNet18, .ResNet34, .ResNet50, VGG16, InceptionV3	مقایسه عملکرد مدل های یادگیری عمیق؛ InceptionV3 با دقت حدود ۹۹٪ بهترین عملکرد را نشان داد .
۷	اینفرا و همکاران	۲۰۲۳	ناهنجاری های شبکه (ERM, مایع داخل شبکه، مایع زیر شبکه، VMA, MNV, Drusen, سوراخ ماکولا و ...)	VGG16 (CNN)	توسعه یک سامانه مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشنی برای شناسایی خودکار علائم ناهنجاری های شبکه در تصاویر OCT با دقت ۹۳ تا ۹۹ درصد.
۸	دایچ وارلا و همکاران	۲۰۲۳	رتینوپاتی دیابتی، دژنراسیون ماکولا وابسته به سن (AMD)، بیماری های ارثی شبکه و رتینوپاتی نوزادان نارس	مرور انواع مدل های هوش مصنوعی و یادگیری عمیق (ResNet, CNN, Vision, U-Net و Transformer و سایر مدل ها)	مرور جامع کاربردهای هوش مصنوعی در تشخیص، طبقه بندی، پایش و پیش بینی بیماری های شبکه و تأکید بر نقش AI در افزایش دقت تشخیص و تسهیل تصمیم گیری بالینی، همراه با بیان چالش های پیاده سازی در محیط های بالینی.
۹	لی و همکاران	۲۰۲۳	بیماری های مختلف چشمی قابل ارزیابی با OCT (از جمله دژنراسیون ماکولا، رتینوپاتی دیابتی و گلوکوم)	مرور مدل های مختلف یادگیری عمیق (U-, CNN)	بررسی جامع کاربرد یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر OCT، شامل بخش بندی لایه های شبکه، طبقه بندی بیماری ها، پیش بینی پیشرفت بیماری و تریاژ



بیماران؛ همچنین شناسایی چالش‌هایی مانند کمبود داده، ضعف تعمیم‌پذیری مدل‌ها و تفسیرپذیری پایین الگوریتم‌ها.	ResNet، Net و سایر معماری‌ها				
مدل EfficientNet-B4 در غربالگری شش‌دسته‌ای بیماری‌های شایع شبکه عملکرد بالایی نشان داد و نسبت به ResNet50 از حساسیت، ویژگی و دقت بیشتری برخوردار بود	EfficientNet-B4	رتینوپاتی دیابتی، دژنراسیون ماکولا، گلوکوم، انسداد ورید شبکه و نزدیک‌بینی شدید	۲۰۲۲	ژو و همکاران	۱۰
ارائه یک شبکه عصبی کانولوشنی منسجم برای طبقه‌بندی چهارکلاسه تصاویر OCT با استخراج مؤثر الگوهای بیماری، دقت بالایی در تشخیص بیماری‌های شبکه	Coherent CNN	نئوواسکولاریزاسیون مشیمیه (CNV)، ادم ماکولای دیابتی (DME)، دروزن و شبکه سالم	۲۰۲۲	الریالات و همکاران	۱۱
ارائه مدل سبک OctNET برای طبقه‌بندی چهارکلاسه تصاویر OCT که با استفاده از تنها ۶.۹٪ پارامترهای ResNet-50، به دقت، حساسیت و ویژگی حدود ۹۹.۷٪ دست یافت و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب است	OctNET (Lightweight CNN)	نئوواسکولاریزاسیون مشیمیه (CNV)، ادم ماکولای دیابتی (DME)، دروزن و شبکه سالم	۲۰۲۱	سونیجا و همکاران	۱۲
بررسی نظام‌مند مطالعات مرتبط با غربالگری رتینوپاتی دیابتی و بیان اینکه الگوریتم‌های یادگیری عمیق دقت بالایی در تشخیص بیماری دارند، اما چالش‌هایی مانند تعمیم‌پذیری، محدودیت داده‌ها، حریم خصوصی و استقرار بالینی همچنان پابرجاست	مرور الگوریتم‌های یادگیری عمیق مبتنی بر CNN	رتینوپاتی دیابتی	۲۰۲۰	چو و همکاران	۱۲
ارائه شبکه BDA-Net برای طبقه‌بندی و قطعه‌بندی هم‌زمان تصاویر OCT که با بهره‌گیری از مکانیزم توجه (Attention Mechanism)، دقت بالایی در تشخیص بیماری‌های شبکه و استخراج نواحی آسیب‌دیده به دست آورد.	BDA-Net	بیماری‌های شبکه	۲۰۲۰	ژونگ و همکاران	۱۴
ارائه معماری اختصاصی Optic-Net برای طبقه‌بندی تصاویر SD-OCT که با بهبود جریان گرادین و کاهش پیچیدگی محاسباتی، دقتی نزدیک به ۹۹.۸٪ تا ۱۰۰٪ در مجموعه داده‌های مورد ارزیابی به دست آورد و عملکردی بهتر از برخی مدل‌های متداول نشان داد.	Optic-Net (CNN)	دژنراسیون‌های شبکه (CNV)، Drusen، DME و شبکه سالم	۲۰۱۹	کامران و همکاران	۱۵
استفاده از یادگیری بازنمایی مبتنی بر VAE در کنار شبکه‌های کانولوشنی	CNN + Variational Autoencoder	بیماری‌های شبکه و سایر ناهنجاری‌های شبکه در تصاویر	۲۰۱۹	لاوز و همکاران	۱۶



		OCT	(VAE)	موجب بهبود عملکرد طبقه‌بندی تصاویر OCT در شرایط محدودیت داده‌های آموزشی شد و دقت تشخیص را نسبت به روش‌های متداول افزایش داد.
۱۷	لی و همکاران	۲۰۱۹	بیمای های شبکه	ارائه یک مدل مبتنی بر تجميع چهار شبکه ResNet50 در طبقه‌بندی تصاویر OCT به دقت ۹۷.۳٪، حساسیت ۹۶.۳٪ و ویژگی ۹۸.۵٪
۱۸	راستی و همکاران	۲۰۱۸	بیماری ها ماکولا	ارائه یک مدل چندمقیاسی مبتنی بر CNN برای طبقه‌بندی تصاویر OCT که با استخراج ویژگی‌ها در مقیاس‌های مختلف، دقت تشخیص بیماری‌های ماکولا را بهبود داد و عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های تک‌مقیاسی نشان داد.
۱۹	دِفو و همکاران	۲۰۱۸	بیماری های مختلف شبکه	توسعه یک سامانه هوش مصنوعی برای تحلیل تصاویر سه‌بعدی OCT که با استفاده از بخش‌بندی بافت و شبکه طبقه‌بندی، عملکردی هم‌سطح یا بهتر از متخصصان چشم‌پزشکی در تشخیص و ارجاع بیماران نشان داد.
۲۰	کرمانی و همکاران	۲۰۱۸	Drusen، DME، CNV و تصاویر سالم	توسعه یک مدل مبتنی بر Inception V3 برای طبقه‌بندی خودکار تصاویر OCT که به دقتی هم‌تراز با متخصصان چشم‌پزشکی دست یافت و همچنین یکی از پرکاربردترین پایگاه‌های داده OCT را در اختیار پژوهشگران قرار داد.

بررسی مطالعات ارائه‌شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های یادگیری عمیق در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری طی سال‌های اخیر با رشد چشمگیری همراه بوده است. نتایج پژوهش‌های مختلف حاکی از آن است که شبکه‌های عصبی کانولوشنی و معماری‌های پیشرفته مبتنی بر یادگیری عمیق، از جمله ResNet، VGG، Inception، DenseNet، EfficientNet و مدل‌های ترکیبی، عملکرد مطلوبی در تشخیص و طبقه‌بندی بیماری‌های چشمی از تصاویر OCT داشته‌اند. اکثر مطالعات دقتی بالاتر از ۹۰ درصد و در برخی موارد بیش از ۹۹ درصد را گزارش کرده‌اند که بیانگر توانایی بالای این الگوریتم‌ها در استخراج ویژگی‌های پیچیده و شناسایی الگوهای بیماری است.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که کاربرد یادگیری عمیق در تشخیص بیماری‌هایی نظیر رتینوپاتی دیابتی، دژنراسیون ماکولا وابسته به سن، ادم ماکولای دیابتی، نئوواسکولاریزاسیون مشیمیه، دروزن و گلوکوم بیش از سایر بیماری‌های چشمی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بررسی روند زمانی مطالعات نیز بیانگر آن است که از سال ۲۰۱۸ تاکنون، علاوه بر افزایش تعداد پژوهش‌ها، معماری‌های مورد استفاده نیز پیشرفته‌تر شده‌اند و مدل‌های جدیدتر توانسته‌اند دقت، سرعت پردازش و قابلیت تعمیم بالاتری ارائه دهند. با این وجود، چالش‌هایی نظیر محدودیت داده‌های آموزشی، تفاوت کیفیت تصاویر، تفسیرپذیری نتایج و نیاز به اعتبارسنجی



بالینی گسترده همچنان از موانع اصلی استفاده فراگیر از این فناوری در محیط‌های درمانی محسوب می‌شوند.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی مطالعات انجام‌شده نشان داد که الگوریتم‌های یادگیری عمیق از توانایی بالایی در تحلیل تصاویر توموگرافی انسجام نوری و تشخیص بیماری‌های چشمی برخوردار هستند. نتایج پژوهش‌های مورد بررسی بیانگر آن است که استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی و معماری‌های پیشرفته یادگیری عمیق موجب افزایش دقت تشخیص، کاهش خطاهای انسانی و تسریع فرآیند غربالگری بیماری‌های چشمی شده است. همچنین روند مطالعات نشان داد که با پیشرفت معماری‌های یادگیری عمیق، عملکرد سامانه‌های تشخیصی بهبود یافته و امکان شناسایی زودهنگام بیماری‌هایی نظیر رتینوپاتی دیابتی، دژنراسیون ماکولا، ادم ماکولا و گلوکوم با دقت بیشتری فراهم شده است. با این حال، محدودیت‌هایی مانند کمبود داده‌های آموزشی استاندارد، تفاوت کیفیت تصاویر و نیاز به ارزیابی بالینی گسترده‌تر همچنان از چالش‌های مهم این حوزه محسوب می‌شوند.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از پایگاه‌های داده بزرگ‌تر و متنوع‌تر استفاده شده و مدل‌های یادگیری عمیق در شرایط واقعی مراکز درمانی مورد ارزیابی قرار گیرند. همچنین توسعه مدل‌های قابل تفسیر، استفاده از روش‌های ترکیبی و بهره‌گیری از یادگیری انتقالی می‌تواند موجب افزایش دقت و قابلیت اعتماد سامانه‌های تشخیصی شود. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که یادگیری عمیق ظرفیت قابل توجهی برای ارتقای فرآیند تشخیص زودهنگام بیماری‌های چشمی مبتنی بر تصاویر توموگرافی انسجام نوری داشته و می‌تواند در آینده نقش مؤثری در توسعه سامانه‌های هوشمند پزشکی ایفا کند.



منابع

Akpınar, M. H., Sengur, A., Faust, O., Tong, L., Molinari, F., & Acharya, U. R. (2024). Artificial intelligence in retinal screening using OCT images: A review of the last decade (2013–2023). *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 254, 108253.

Alryalat, S. A. S., Alsmadi, M. K., Jararweh, Y., Almarashdeh, I., & Alzboon, K. (2022). Coherent convolution neural network based retinal disease detection using optical coherence tomographic images. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34(10), 9688–9695.

Chu, A., Squirrell, D., Phillips, A. M., & Vaghefi, E. (2020). Essentials of a robust deep learning system for diabetic retinopathy screening: A systematic literature review. *Journal of Ophthalmology*, 2020, 8841927.

Daich Varela, M., Grauslund, J., & Simó, R. (2023). Artificial intelligence in retinal diseases: Applications, opportunities, and challenges. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 261(10), 2805–2817.

Daich Varela, M., Sen, S., De Guimaraes, T. A. C., Kabiri, N., Pontikos, N., Balaskas, K., & Michaelides, M. (2023). Artificial intelligence in retinal disease: Clinical application, challenges, and future directions. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 261(11), 3283–3297.

Daley, J. R., Wang, X., Ngo, N., Khoo, C. L., Heydon, P., Liew, G., Vallayutham, V., Kongbrailatpam, T., Osuagwu, U. L., Andric, M., Xuan, W., Simmons, D., & Kaushik, S. (2025). Development and validation of a deep learning system for the provision of a district-wide diabetes retinal screening service. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 53(7), 803–812.

De Fauw, J., Ledsam, J. R., Romera-Paredes, B., Nikolov, S., Tomasev, N., Blackwell, S., ... Ronneberger, O. (2018). Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. *Nature Medicine*, 24(9), 1342–1350.

Guo, B., Wang, D., Zhang, R., Hou, J., Liu, W., Wu, Y., Yang, X., & Zhang, L. (2025). WaveAttention-ResNet: A deep learning-based intelligent diagnostic model for the auxiliary diagnosis of multiple retinal diseases. *Frontiers in Radiology*, 5, 1608052.

Hashemi, S. S., Asadi, M., & Rabbani, H. (2025). Retinal disease identification from OCT images using dictionary learning and YOLOv8. In 2025 47th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 1–7).

Inferreira, L., Borsatti, L., Miladinovic, A., Marangoni, D., Giglio, R., Accardo, A., & Tognetto, D. (2023). OCT-based deep-learning models for the identification of retinal key signs. *Scientific Reports*, 13, 14628.

Kamran, S. A., Saha, S., Sabbir, A. S., & Tavakkoli, A. (2019). Optic-Net: A novel convolutional neural network for diagnosis of retinal diseases from optical tomography images. In 2019 18th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA) (pp. 964–970).

Kermany, D. S., Goldbaum, M., Cai, W., Valentim, C. C. S., Liang, H., Baxter, S. L., McKeown, A., Yang, G., Wu, X., Yan, F., Dong, J., Prasadha, M. K., Pei, J., Ting, M. Y. L., Zhu, J., Li, C., Hewett, S., Dong, J., Ziyar, I., ... Zhang, K. (2018). Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning. *Cell*, 172(5), 1122–1131.e9.



Laves, M. H., Ihler, S., Ortmaier, T., & Kahrs, L. A. (2019). Unsupervised anomaly detection in retinal OCT images using deep generative models. *Biomedical Optics Express*, 11(2), 831–847.

Li, F., Chen, H., Liu, Z., Zhang, X., Jiang, M., Wu, Z., & Zhang, K. (2019). Deep learning-based automated detection of retinal diseases using optical coherence tomography images. *Biomedical Optics Express*, 10(12), 6204–6226.

Li, Z., Keel, S., Liu, C., He, Y., & Meng, W. (2023). Deep learning in optical coherence tomography: Where are the gaps? *Progress in Retinal and Eye Research*, 93, 101118.

Miladinović, A., Biscontin, A., Ajčević, M., Krešević, S., Accardo, A., Marangoni, D., Tognetto, D., Inferrera, L., & Lonardi, S. (2024). Evaluating deep learning models for classifying OCT images with limited data and noisy labels. *Scientific Reports*, 14, 30321.

Muchuchuti, C., & Viriri, S. (2023). A survey of deep learning approaches for retinal disease detection using optical coherence tomography images. *Diagnostics*, 13(3), 462.

Rasti, R., Rabbani, H., Mehridehnavi, A., & Hajizadeh, F. (2018). Macular OCT classification using a multi-scale convolutional neural network ensemble. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 37(4), 1024–1034.

Sunija, A. P., Kar, S., Gayathri, S., Gopi, V. P., & Palanisamy, P. (2021). OctNET: A lightweight CNN for retinal disease classification from optical coherence tomography images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 200, 105877.

Wang, J., Peng, H., Chen, S., & Ren, S. (2024). Ensemble learning for retinal disease recognition under limited resources. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 62(9), 2839–2852.

Zhong, W., Wang, H., Xu, Z., & Zhang, Y. (2020). BDA-Net: A multi-task deep learning framework for classification and segmentation of retinal OCT images. *IEEE Access*, 8, 188462–188472.

Zhu, S., Lu, B., Wang, C., Wu, M., Zheng, B., Jiang, Q., Wei, R., Cao, Q., & Yang, W. (2022). Screening of common retinal diseases using six-category models based on EfficientNet. *Frontiers in Medicine*, 9, 808402.