

## پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم پس از عمل جراحی کاشت حلقه در بیماری قوز قرنیه

مرجان بختیارنیا<sup>۱</sup>، کیوان معقولی<sup>۲\*</sup>، فرداد فرخی<sup>۳</sup>، خسرو جدیدی<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی پزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی پزشکی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استاد، مرکز تحقیقات سلامت بینایی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

یافته / دوره ۲۲ / شماره ۲ / تابستان ۹۹ / مسلسل ۸۴

## چکیده

دریافت مقاله: ۹۹/۱۲/۱۲ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۳/۱۶

مقدمه: قوز قرنیه (کراتوکونوس) بیماری شایع قرنیه است که با نازک‌شدن، اتساع و برجسته‌شدن قرنیه مشخص می‌شود. پیشرفت این بیماری با کاهش شدید کیفیت دید و تقویت آستیگماتیسم نامنظم قرنیه و در نتیجه کاهش کیفیت زندگی بیماران همراه است. عمل جراحی کاشت حلقه داخل قرنیه یکی از راه‌های مؤثر درمان این بیماری است. هدف این پژوهش پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی در بیماران قوز قرنیه پس از عمل جراحی کاشت حلقه برای کمک به چشم‌پزشکان در انتخاب کاندیدای مناسب عمل جراحی است.

مواد و روش‌ها: مشخصه‌های بینایی که با استفاده از روش شبکه‌های عصبی و با بهره‌گیری از نرم‌افزار متلب پیش‌بینی می‌شوند، شامل دید بدون اصلاح نمره چشم (دید بدون عینک)، میزان نزدیک‌بینی یا دوربینی، آستیگماتیسم، محور آستیگماتیسم و دید با اصلاح نمره چشم می‌شوند. بدین منظور از مجموعه داده‌های گردآوری شده از آزمون سنجش بینایی بیماران پیش و پس از عمل جراحی کاشت حلقه‌های کرارینگ و مایورینگ استفاده کردیم.

یافته‌ها: در این پژوهش برای نخستین بار مشخصه‌های بینایی چشم در بیماران قوز قرنیه را شش و دوازده ماه پس از عمل جراحی کاشت حلقه با استفاده از راهکاری نوین مبتنی بر روش شبکه‌های عصبی با خطای میانگین ۹/۵۱٪ پیش‌بینی نمودیم.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج حاصل بر دقت و صحت الگوهای شبکه عصبی پیشنهادی در پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم در بیماران قوز قرنیه پس از عمل کاشت حلقه دلالت دارند. بر مبنای مشخصه‌های بینایی پیش‌بینی شده، چشم‌پزشک می‌تواند کاندیدای مناسب را برای عمل جراحی کاشت حلقه از بین بیماران خود با دقت بیشتری انتخاب نماید.

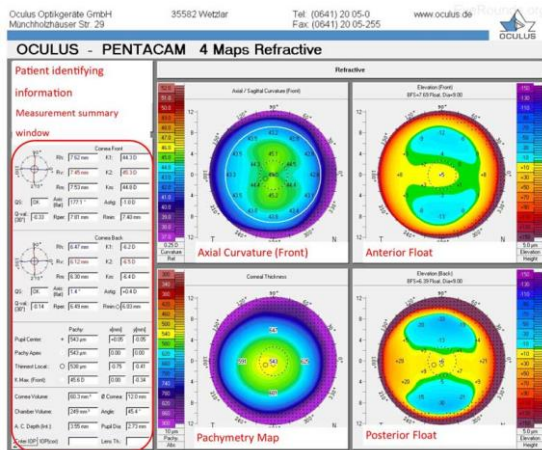
واژه‌های کلیدی: قوز قرنیه (کراتوکونوس)، پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی، آزمون سنجش بینایی، عمل کاشت حلقه، روش شبکه عصبی.

\*آدرس مکاتبه: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی پزشکی.

پست الکترونیک: k\_maghooli@srbiau.ac.ir

## مقدمه

کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. این چهار نقشه مهم عبارتند از:  
۱- نقشه انحنای قرنیه، ۲- نقشه ارتفاع سطح قدامی قرنیه،  
۳- نقشه ارتفاع سطح خلفی قرنیه و ۴- نقشه ضخامت  
قرنیه (۱). در شکل ۲ نمونه‌ای از تصاویر ثبت‌شده از قرنیه  
توسط دستگاه پنتاکم نشان داده شده است.



شکل ۲. نمونه‌ای از تصاویر ثبت‌شده از قرنیه توسط دستگاه پنتاکم (۳)

با توجه به شیوع و افزایش تعداد مبتلایان به بیماری قوز قرنیه به‌ویژه در سال‌های اخیر، درمان این بیماری توجه بسیاری از محققان و مراکز تحقیقاتی را به خود جلب کرده است. یکی از راه‌های مؤثر درمان این بیماری، عمل جراحی کاشت حلقه (رینگ) است. چنانچه بیماران توسط چشم‌پزشک برای انجام عمل کاشت حلقه به درستی شناسایی و انتخاب شوند، کمک شایانی به درمان این بیماران صورت می‌گیرد.

در راستای به کارگیری ابزارهای یادگیری ماشین برای تشخیص وضعیت قرنیه چشم از نظر بیماری قوز قرنیه تحقیقات محدودی صورت گرفته است. آکاردو و همکاران در سال ۲۰۰۳ با استفاده از روش شبکه‌های عصبی و با بهره‌گیری از اندیس‌های توپوگرافی به تشخیص قرنیه با عارضه قوز قرنیه پرداختند (۴). در این پژوهش، نه اندیس توپوگرافی به عنوان پارامترهای ورودی به شبکه عصبی در نظر گرفته شد و سه حالت تشخیصی قرنیه نرمال (N)، قرنیه با عارضه قوز قرنیه (KC) و سایر (O) به عنوان سه

قوز قرنیه (کراتوکونوس) بیماری مربوط به قرنیه است که منجر به تغییر شکل قرنیه می‌گردد. در شکل ۱ مقایسه شهودی بین چشم سالم با چشم مبتلا به بیماری قوز قرنیه صورت گرفته است. در مراحل پیشرفته این بیماری، قرنیه کاملاً تغییر شکل می‌دهد و بیمار به پیوند قرنیه نیاز پیدا می‌کند. به لطف پیشرفت‌های فنی در تصویربرداری و پردازش تصاویر، امکان تشخیص این بیماری با استفاده از روشی قابل اطمینان و غیرتهاجمی به‌وجود آمده است.

توپوگرافی قرنیه انحناهای مختلف و ویژگی‌های شکل قرنیه را به‌طور مفصل تشریح می‌کند. این اطلاعات برای تشخیص آستیگماتیسم قرنیه و سایر آسیب‌های قرنیه مانند قوز قرنیه بسیار مفید است. آشنایی با اصول توپوگرافی، امکان انتخاب نقشه‌ای متناسب با وضعیت بیمار و درک اطلاعات مربوط به نقشه‌ها را فراهم می‌آورد. دو نوع نقشه اصلی توپوگرافی عبارتند از: نقشه‌های انحنا و نقشه‌های ارتفاع. نقشه‌های انحنا به دو دسته تقسیم می‌شوند: نقشه‌های انحنا محوری و نقشه‌های انحنا مماسی (۱).



شکل ۱. چشم سالم (سمت چپ) و چشم مبتلا به بیماری قوز قرنیه (سمت راست) (۲)

توپوگرافی قرنیه توسط دستگاه‌هایی مانند دستگاه پنتاکم و ارب اسکن تهیه می‌شود. دستگاه پنتاکم یکی از پیشرفته‌ترین دستگاه‌های تصویربرداری قرنیه است که نه تنها امکان تصویربرداری بسیار دقیق قرنیه را در زمانی بسیار کوتاه فراهم می‌آورد، بلکه بررسی و تحلیل ویژگی‌های سایر بخش‌های قدامی را نیز امکان‌پذیر می‌سازد. معمولاً در اولین صفحه گزارش پنتاکم چهار نقشه قرنیه در

انحنای قرنیه و میزان آستیگماتیسم به ترتیب دارای خطای مطلق ۰/۹۷ و ۰/۹۳ دیوپتر بودند.

کواکس و همکاران در سال ۲۰۱۶ به کمک شبکه‌های عصبی و با بهره‌گیری از مشخصه‌های توپوگرافی و توموگرافی هر دو چشم به تشخیص بیماری قوز قرنیه در مراحل اولیه پرداختند (۸). در پژوهش مذکور مشخص شد که چشم‌های بیمارانی که فقط یکی از چشم‌های آن‌ها علائم اولیه قوز قرنیه را دارند، از نظر مشخصه‌های توپوگرافی و توموگرافی با چشم‌های فرد سالم تفاوت‌های قابل توجهی دارند. با استفاده از همین یافته می‌توان به تشخیص زودهنگام بیمار قوز قرنیه در مراحل اولیه بیماری دست یافت. برای نیل به این هدف، اطلاعات مربوط به مشخصه‌های مختلف هر دو چشم بیمار به الگوریتم‌های یادگیری ماشین داده شد و امکان تشخیص بیماری در مراحل اولیه با دقت بالا فراهم شد.

اگر چه تصویربرداری و توپوگرافی قرنیه بیمار، چشم-پزشک را در انتخاب کاندیدای مناسب عمل جراحی کاشت حلقه یاری می‌رساند، در صورتی که مشخصه‌های بینایی پس از عمل کاشت حلقه برای بیمار پیش‌بینی شوند، این مشخصه‌ها نقش بسیار مؤثری در انتخاب بیمار برای انجام این عمل ایفا می‌نمایند. هدف از انجام این پژوهش پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم در بیماری قوز قرنیه شش و دوازده ماه پس از عمل جراحی کاشت حلقه است. به عبارت دیگر، با استفاده از راهکار پیشنهادی در این پژوهش پیش‌بینی می‌شود که اگر فردی با عارضه قوز قرنیه تحت عمل جراحی کاشت حلقه قرار گیرد، وضعیت چشم او شش و دوازده ماه پس از عمل جراحی چگونه خواهد بود. این پیش‌بینی با بهره‌گیری از روش شبکه‌های عصبی و با استفاده از نرم‌افزار متلب صورت گرفت. تحقیقات بسیاری نشان داده است که شبکه‌های عصبی ابزاری مناسب و بهینه برای الگوسازی و پیش‌بینی، به خصوص در حوزه پزشکی هستند (۹-۱۴).

خروجی شبکه عصبی لحاظ شد. در این پژوهش، با آزمون حالت‌های مختلف پارامترهای ورودی، تعداد نورون‌ها و پارامترهای آموزش شبکه عصبی و ... بهترین نتیجه با حساسیت تشخیصی ۹۴/۱٪ به دست آمد. در همین راستا، در سال ۲۰۰۶، بشو و همکاران با استفاده از داده‌های ارتفاع داخلی و خارجی توپوگرافی سطح قرنیه، با ایجاد الگوریتمی به نام اندیس تشخیصی کراتوکونوس فوریه‌ای (FKI) در تشخیص قرنیه با عارضه قوز قرنیه به درصد حساسیت ۹۶/۱۹ رسیدند (۵).

سوزا و همکاران در سال ۲۰۱۰ تشخیص بیماری قوز قرنیه را به سه روش مختلف یادگیری ماشین ارزیابی کردند (۶). در این پژوهش کارآیی سه ابزار طبقه‌بندی SVM، MLP و RBFNN با هم مقایسه شده است. یازده مشخصه قرنیه چشم از نقشه‌های توپوگرافی قرنیه استخراج و به عنوان ورودی به ابزارهای طبقه‌بندی داده شدند. خروجی ابزارهای طبقه‌بندی چهار حالت از وضعیت قرنیه چشم بود: وضعیت سالم، آستیگماتیسم، قوز قرنیه و PRK. نتایج پژوهش مذکور بر این امر دلالت دارند که هر سه روش طبقه‌بندی به کارگرفته‌شده، توانایی خوبی در تشخیص وضعیت قرنیه چشم از نظر بیماری قوز قرنیه دارند.

والدس-ماس و همکاران در سال ۲۰۱۴ پژوهشی مشابه پژوهش حاضر به انجام رساندند که طی آن با استفاده از شبکه عصبی به پیش‌بینی وضعیت قرنیه چشم شش ماه پس از عمل جراحی کاشت حلقه در بیماری قوز قرنیه پرداخته شد (۷). در این پژوهش، نه پارامتر شامل متغیرهای توپوگرافی قرنیه، متغیرهای جراحی و مشخصه‌های حلقه به عنوان ورودی به شبکه عصبی داده شد و خروجی شبکه عصبی اندیس انحنای قرنیه (KI) و اندیس آستیگماتیسم قرنیه بود. پس از ارزیابی الگوهای مختلف از شبکه‌های عصبی، بهترین نتیجه در پیش‌بینی

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور پیش‌بینی وضعیت چشم پس از عمل جراحی کاشت حلقه در بیماری قوز قریه، پنج مشخصه بینایی بررسی شدند که عبارتند از: (۱) دید بدون اصلاح نمره چشم (دید بدون عینک) (UCVA)، (۲) میزان نزدیک‌بینی یا دوربینی (SPH)، (۳) آستیگماتیسم (Ast)، (۴) محور آستیگماتیسم (Axis) و (۵) دید با اصلاح نمره چشم (BCVA).

به منظور پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی پس از عمل کاشت حلقه از شبکه‌های عصبی استفاده شد. داده‌های ورودی به شبکه‌های عصبی، علاوه بر پنج مشخصه مذکور، دو ویژگی قطر و ضخامت حلقه‌های کرارینگ و مایورینگ استفاده شده را نیز شامل می‌شوند. خروجی شبکه‌های عصبی پنج مشخصه بینایی چشم شش و دوازده ماه پس از عمل جراحی کاشت حلقه‌های مذکور هستند.

جامعه مورد مطالعه شامل بیماران با عارضه قوز قریه است که به منظور درمان بیماری، تحت عمل جراحی کاشت حلقه قرار گرفته‌اند. نمونه‌های انتخاب‌شده بیمارانی (مرد و زن) هستند که بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ به منظور انجام عمل جراحی کاشت یکی از حلقه‌های کرارینگ یا مایورینگ (به ترتیب، ۴۴ و ۶۳ بیمار) به مرکز تحقیقات سلامت بینایی مراجعه نمودند. داده‌های مورد استفاده شامل پنج مشخصه بینایی فوق‌الذکر است که از این بیماران، پیش و پس از عمل کاشت حلقه‌های کرارینگ و مایورینگ، ثبت شده‌اند. باید به این نکته توجه نمود که به منظور آموزش شبکه‌های عصبی، به تعداد کافی از داده‌های ثبت‌شده از بیماران قوز قریه پیش و پس از عمل جراحی کاشت حلقه‌های کرارینگ و مایورینگ موردنیاز است تا بتوان شبکه‌های عصبی را به گونه‌ای آموزش داد که قادر باشند مشخصه‌های بینایی را با دقت پیش‌بینی نمایند.

گام بعدی، طراحی و آموزش شبکه عصبی با استفاده از مجموعه داده‌های گردآوری شده برای ورودی و اهداف

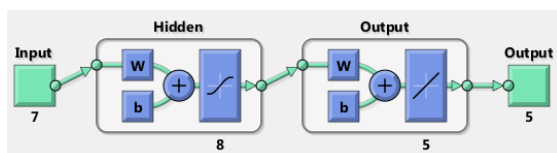
شبکه عصبی است. شبکه عصبی اطلاعات گردآوری شده به عنوان داده‌های ورودی را دریافت و با بهره‌گیری از پردازش موازی و اتصالات بین نورون‌ها و وزن‌ها، فرآیند یادگیری را آغاز می‌کند.

بر مبنای توضیحات ارائه‌شده در زمینه داده‌های استفاده‌شده، هفت ورودی و پنج خروجی برای شبکه عصبی در نظر گرفته شد. در این پژوهش آموزش چهار شبکه عصبی مجزا مد نظر قرار گرفت زیرا (۱) داده‌های آماری گردآوری شده مرتبط با کاشت دو نوع حلقه کرارینگ و مایورینگ بودند، (۲) هدف این بود که با استفاده از راهکار پیشنهادی، مشخصه‌های بینایی شش و دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه‌های مذکور پیش‌بینی شوند.

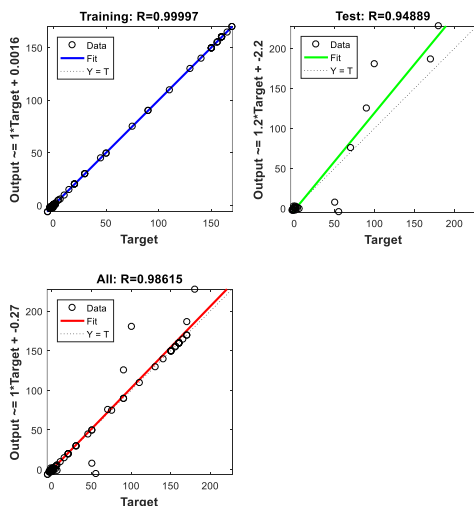
هدف شبکه‌های عصبی، یادگیری بر مبنای اتصالات منطقی بین الگوهای پارامترهای ورودی و خروجی، تحلیل و یا کشف ساختار الگوهای پارامترهای ورودی است. شبکه از طریق اصلاح وزن‌های اتصالاتی بین نورون‌ها بر مبنای داده‌های موجود آموزش می‌بیند. دو نوع اصلی شبکه‌های عصبی، بر مبنای اتصالات بین نورون‌های شبکه در اتصالات بین لایه‌ای، شبکه‌های عصبی پیش‌خور و پس‌خور هستند. در شبکه‌های پیش‌خور (جلوسو) اطلاعات تنها در یک جهت از لایه ورودی به لایه‌های پنهان و در نهایت لایه خروجی جریان می‌یابند. در شبکه‌های پس‌خور اطلاعات در نورون‌های همان لایه و یا لایه‌های قبلی نیز جریان می‌یابند (۱۵).

در تحقیقات بسیاری از شبکه‌های عصبی جلوسو با چند لایه پنهان، به دلیل توانایی خوب در پردازش و یادگیری مسایل پیچیده، استفاده شده است. این شبکه‌ها به صورت شبکه‌های با سرپرستی و با الگوریتم پس‌انتشار خطا کار می‌کنند (۱۲، ۱۶، ۱۷). شبکه عصبی به‌کاررفته در این پژوهش نیز شبکه عصبی جلوسو با یک لایه پنهان

آموزش دارای رگرسیون  $R_{\text{Training}}=0/99997$  هستند که دلالت بر نزدیکی بسیار زیاد مقادیر خروجی و اهداف شبکه در مجموعه آموزش دارد. علاوه بر مقدار عددی تحلیل رگرسیون، در نمودار رابطه بین خروجی و هدف، اگر خط برازش شده دارای زاویه‌ای نزدیک به  $45^\circ$  درجه باشد، دو مجموعه خروجی و هدف بسیار به هم نزدیک هستند. در نمودار با برچسب Test، تحلیل رگرسیون مجموعه داده‌های ارزیابی ارائه شده است. برای داده‌های ارزیابی مقدار رگرسیون  $R_{\text{Test}}=0/94889$  است. در نمودار با برچسب All، تحلیل رگرسیون برای کلیه داده‌ها (آموزش و ارزیابی) ارائه شده است. مقدار رگرسیون خطی برای کلیه داده‌ها برابر با  $R_{\text{All}}=0/98615$  است که به مقدار عددی ۱ (تطبیق کامل) نزدیک است.



شکل ۳. ساختار نمادین شبکه عصبی طراحی شده برای پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قریه شش ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ



نمودار ۱. نتایج تحلیل رگرسیون خطی برای شبکه آموزش-یافته به منظور پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم شش ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ در پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قریه دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ با

بود. تعداد نورون‌های لایه پنهان با سعی و خطا و با توجه به داده‌های ورودی تنظیم شده بود.

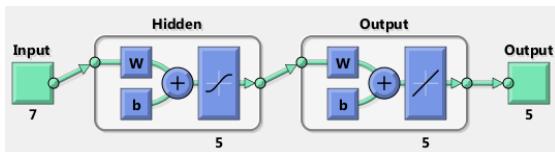
حداقل تعداد داده‌های در دسترس برای آموزش و ارزیابی (تست) هر یک از شبکه‌های عصبی ۴۰ مجموعه داده‌ها بودند. از داده‌های موجود، ۸۵٪ برای آموزش و مابقی به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی هر یک از شبکه‌های آموزش‌یافته استفاده شدند. مجموعه داده‌های آموزش و ارزیابی به طور تصادفی از بین تمام داده‌ها انتخاب شدند. داده‌های ارزیابی مجموعه‌ای از داده‌های ورودی و هدف هستند که صرفاً برای ارزیابی شبکه و تشخیص پدیده‌هایی از قبیل بیش‌برازش استفاده می‌شوند و در فرآیند آموزش شبکه استفاده نمی‌شوند.

## یافته‌ها

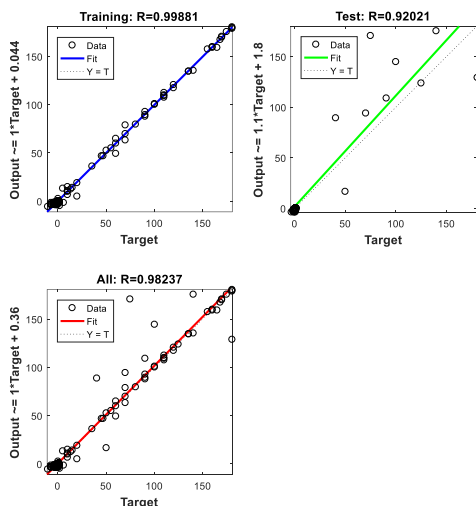
همان گونه که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد، هدف این پژوهش پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قریه شش و دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه‌های کرارینگ و مایورینگ با بهره‌گیری از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی بود. بدین منظور با استفاده از داده‌های در دسترس، چهار شبکه عصبی آموزش داده شدند. هر چهار شبکه عصبی با استفاده از ۸۵٪ داده‌ها (مجموعه داده‌های آموزش) با موفقیت آموزش یافتند. شبکه‌های عصبی آموزش‌یافته با بهره‌گیری از ۱۵٪ داده‌ها (مجموعه داده‌های ارزیابی) که برای آموزش استفاده نشده بودند، ارزیابی شدند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که شبکه‌های آموزش‌یافته قادر هستند مجموعه داده‌های ارزیابی را با دقت خوبی پیش‌بینی کنند. در ادامه، جزئیات نتایج حاصل از آموزش و ارزیابی هر چهار شبکه عصبی ارائه شده است.

در پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قریه شش ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ با استفاده از شبکه عصبی پیشنهادی (شکل ۳)، همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، مجموعه داده‌های

همان‌طور که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود، در پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قریه شش ماه پس از عمل کاشت حلقه مایورینگ با استفاده از شبکه عصبی پیشنهادی (شکل ۵)، مجموعه داده‌های آموزش دارای رگرسیون  $R_{\text{Training}}=0/99881$  است. همچنین در نمودار رابطه بین خروجی و هدف، خط برازش شده دارای زاویه‌ای نزدیک به ۴۵ درجه می‌باشد. مقدار عددی تحلیل رگرسیون و زاویه خط برازش شده در نمودار رابطه بین خروجی و هدف بر نزدیکی بسیار زیاد خروجی‌ها و اهداف شبکه در مجموعه آموزش دلالت دارند. مشابه با نمودارهای پیشین، تحلیل رگرسیون مجموعه داده‌های ارزیابی در نمودار با برچسب Test و تحلیل رگرسیون برای کلیه داده‌ها (آموزش و ارزیابی) در نمودار با برچسب All ارائه شده است. مقدار رگرسیون برای داده‌های ارزیابی  $R_{\text{Test}}=0/92021$  و برای کلیه داده‌ها  $R_{\text{All}}=0/98237$  می‌باشد که به مقدار عددی ۱ (تطبیق کامل) نزدیک هستند.

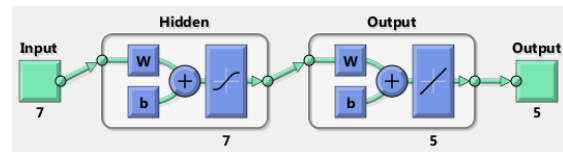


شکل ۵. ساختار نمادین شبکه عصبی طراحی شده برای پیش-بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قریه شش ماه پس از عمل کاشت حلقه مایورینگ

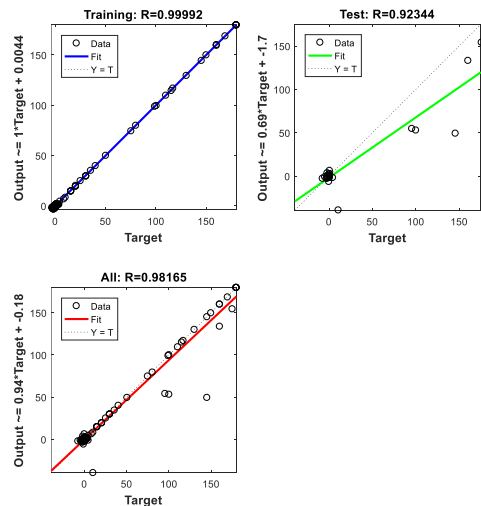


نمودار ۳. نتایج تحلیل رگرسیون خطی برای شبکه آموزش-یافته به منظور پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم شش ماه پس از عمل کاشت حلقه مایورینگ

استفاده از شبکه عصبی طراحی شده (شکل ۴)، همان‌طور که در نمودار با برچسب Training از نمودار ۲ مشاهده می‌شود، مجموعه داده‌های آموزش دارای رگرسیون  $R_{\text{Training}}=0/99992$  هستند که دلالت بر نزدیکی بسیار زیاد خروجی‌ها و اهداف شبکه در مجموعه آموزش دارد. علاوه بر مقدار عددی تحلیل رگرسیون، زاویه نزدیک به ۴۵ درجه خط برازش شده در نمودار رابطه بین خروجی و هدف، بر نزدیکی بسیار زیاد دو مجموعه خروجی و هدف دلالت دارد. در نمودار با برچسب Test از نمودار ۲، تحلیل رگرسیون مجموعه داده‌های ارزیابی ارائه شده است. برای داده‌های ارزیابی مقدار رگرسیون  $R_{\text{Test}}=0/92344$  است. تحلیل رگرسیون برای کلیه داده‌ها (آموزش و ارزیابی) در نمودار با برچسب All ارائه شده است که مقدار رگرسیون برابر با  $R_{\text{All}}=0/98165$  است. مقادیر رگرسیون به مقدار عددی ۱ (تطبیق کامل) نزدیک هستند.



شکل ۴. ساختار نمادین شبکه عصبی طراحی شده برای پیش-بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قریه دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ



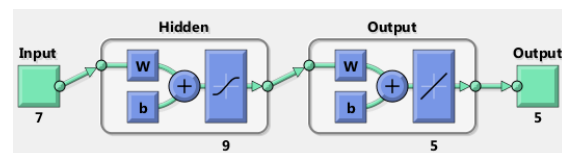
نمودار ۲. نتایج تحلیل رگرسیون خطی برای شبکه آموزش-یافته به منظور پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ

بیماری قوز قرنیه اشاره نمود. پیشرفته‌ترین درمان موجود برای این بیماری عمل جراحی کاشت حلقه داخل قرنیه است. این عمل جراحی در موارد بسیار پیشرفته بیماری و یا در بعضی از قوزهای خفیف تا متوسط که به دلیل شکل قرنیه، امکان استفاده از لنزهای تماسی وجود ندارد، کاربرد دارد. با توجه به این که میزان موفقیت عمل جراحی مذکور در بیماران قوز قرنیه متفاوت است و در صورت نا-موفق بودن درمان، بیمار به پیوند قرنیه نیاز پیدا می‌کند، یکی از دغدغه‌های چشم‌پزشکان این است که کدام یک از بیماران کاندیدای مناسبی برای انجام این عمل هستند و این روش برای چه کسانی نتایج دیداری بهتری به همراه دارد.

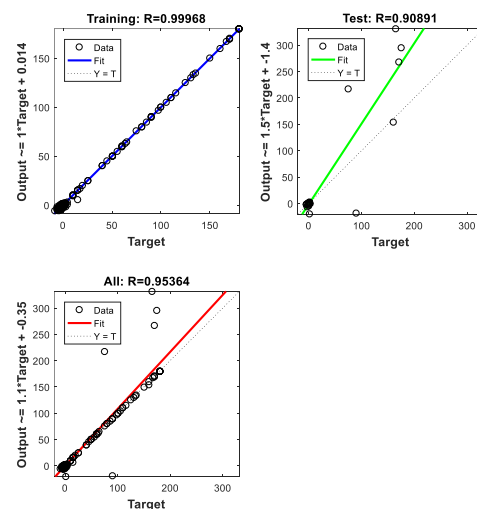
پیش‌بینی وضعیت بینایی چشم پس از عمل جراحی کاشت حلقه، چشم‌پزشکان را در تصمیم‌گیری برای انجام این جراحی یاری می‌نماید. در پژوهش حاضر به پیش‌بینی پنج مشخصه بینایی چشم: (۱) دید بدون اصلاح نمره چشم (دید بدون عینک) (UCVA)، (۲) میزان نزدیک‌بینی یا دوربینی (SPH)، (۳) آستیگماتیسم (Ast)، (۴) محور آستیگماتیسم (Axis) و (۵) دید با اصلاح نمره چشم (BCVA)، پس از عمل جراحی کاشت حلقه در بیماران قوز قرنیه توجه شده است. بدین منظور ابتدا مشخصه‌های بینایی چشم بیماران قوز قرنیه پیش و پس از عمل جراحی کاشت حلقه‌های کرارینگ و مایورینگ گردآوری شدند. با استفاده از داده‌های آماری موجود، آن‌ها می‌توان مشخصه‌های بینایی چشم بیماران با عارضه قوز قرنیه را شش و دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه پیش‌بینی نمود.

با استفاده از شبکه‌های عصبی طراحی شده و آموزش-یافته که در بخش یافته‌ها معرفی شدند، مشخصه‌های بینایی چشم بیماران با عارضه قوز قرنیه شش و دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه‌های کرارینگ و مایورینگ با

در پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قرنیه دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه مایورینگ با استفاده از شبکه عصبی طراحی شده (شکل ۶)، مجموعه داده‌های آموزش، با توجه به نمودار با برچسب Training در نمودار ۴، دارای رگرسیون  $R_{Training}=0/99968$  هستند. با توجه به نمودار با برچسب Test در نمودار ۴، برای داده-های ارزیابی مقدار رگرسیون  $R_{Test}=0/90891$  است. از تحلیل رگرسیون برای کلیه داده‌ها (آموزش و ارزیابی)، طبق نمودار با برچسب All، مقدار رگرسیون برابر با  $R_{All}=0/95364$  به دست آمده است. مقادیر رگرسیون دلالت بر نزدیکی مقادیر خروجی و اهداف شبکه در مجموعه داده‌های آموزش و ارزیابی دارند.



شکل ۶. ساختار نمادین شبکه عصبی طراحی شده برای پیش-بینی مشخصه‌های بینایی چشم با عارضه قوز قرنیه دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه مایورینگ



نمودار ۴. نتایج تحلیل رگرسیون خطی برای شبکه آموزش-یافته به منظور پیش‌بینی مشخصه‌های چشم دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه مایورینگ

## بحث و نتیجه‌گیری

هندسه نادرست لایه قرنیه چشم عامل اصلی بسیاری از عیوب انکساری چشم است که از آن جمله می‌توان به

کرارینگ با استفاده از شبکه‌های عصبی جلوسو با هشت و هفت نورون در لایه پنهان به ترتیب برابر با ۹/۸۲٪ و ۹/۲۹٪ هستند. به منظور پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم بیمار با عارضه قوز قرنیه شش و دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه مایورینگ از شبکه‌های عصبی جلوسو با پنج و نه نورون در لایه پنهان استفاده و میانگین خطای تخمین مشخصه‌های مذکور به ترتیب ۱۱/۴۶٪ و ۷/۴۷٪ محاسبه شده است. در مجموع، خطای میانگین ۹/۵۱٪ در پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم پس از عمل با استفاده از چهار شبکه آموزش‌یافته حاصل شده است.

در پژوهش والدس-ماس و همکاران (۷) که در آن به پیش‌بینی تنها یک مشخصه از قرنیه چشم شش ماه پس از عمل کاشت حلقه پرداخته شده است، خطای پیش‌بینی مشخصه انحنای قرنیه به صورت مطلق برابر با ۰/۹۷- دیوپتر گزارش شده است که نشان از دقت بالای پیش-بینی دارد اما باید توجه نمود که در پژوهش حاضر، هم زمان پنج مشخصه چشم پیش‌بینی می‌شوند که این امر مستلزم الگوی شبکه عصبی پیچیده‌تر خواهد بود. امید است در پژوهش‌های آتی با افزایش داده‌های در دسترس و هم‌چنین با اندازه‌گیری و ثبت مشخصه‌های بینایی بیشتری پیش و پس از عمل جراحی کاشت حلقه، در پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم با استفاده از شبکه-های عصبی پیشنهادی نتایج دقیق‌تری حاصل گردد.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد گروه مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات می‌باشد. نویسندگان از کادر مجرب مرکز تحقیقات سلامت بینایی به خاطر فراهم‌نمودن داده‌های مورد نیاز در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

دقت خوبی پیش‌بینی می‌شوند. در ادامه، نمونه‌ای از پیش‌بینی انجام‌شده توسط یکی از شبکه‌های آموزش‌یافته ارائه شده است. فرض می‌شود مشخصه‌های بینایی چشم بیماری با عارضه قوز قرنیه قبل از عمل به شرح زیر باشند:

$$UCVA_{pre} = 0.3 \quad SPH_{pre} = 0.25 \quad Ast_{pre} = -3.5$$

$$Axis_{pre} = 45 \quad BCVA_{pre} = 0.6$$

هم‌چنین قطر و ضخامت حلقه کرارینگ انتخاب‌شده برای کاشت به شرح زیر باشد:

Ring Diameter= 5 Ring Thickness= 280

شبکه عصبی طراحی‌شده و آموزش‌یافته برای تخمین مشخصه‌های بینایی چشم بیمار دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ، مقادیر زیر را برای مشخصه‌های مذکور پیش‌بینی می‌نماید:

$$UCVA_{output} = 0.3914 \quad SPH_{output} = -5.0048$$

$$Ast_{output} = -1.9083 \quad Axis_{output} = 160$$

$$BCVA_{output} = 0.6587$$

با توجه به مقادیر واقعی اندازه‌گیری‌شده برای مشخصه‌های مذکور و یا به عبارت دیگر اهداف شبکه که در ادامه ارائه شده‌اند، ملاحظه می‌شود تخمین مشخصه‌های بینایی چشم بیمار انتخابی دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه کرارینگ با دقت خوبی صورت گرفته است زیرا مقادیر عددی مشخصه‌های متناظر به هم نزدیک هستند.

$$UCVA_{target} = 0.3 \quad SPH_{target} = -5 \quad Ast_{target} = -2$$

$$Axis_{target} = 160 \quad BCVA_{target} = 0.6$$

در نهایت، به منظور ارزیابی بیشتر کیفیت پیش‌بینی هر شبکه، تمام داده‌های در دسترس را به‌عنوان ورودی به شبکه‌های عصبی پیشنهادی دادیم و خروجی‌های شبکه-های عصبی را با اهداف متناظر مقایسه و اختلاف عددی آن‌ها را محاسبه نمودیم. نتایج میانگین درصد خطای پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم توسط شبکه‌های عصبی پیشنهادی در ادامه ارائه شده‌اند.

بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده، میانگین خطای پیش‌بینی مشخصه‌های بینایی چشم بیمار با عارضه قوز قرنیه شش و دوازده ماه پس از عمل کاشت حلقه



## References

1. National Public Health Management Center (NPMC). Basic optometric examinations. Iran: Tabriz University of Medical Sciences. 2016: 13. (In Persian)
2. The Keratoconus Center. Normal cornea, keratoconic cornea. <http://www.thekeratoconuscenter.org/>. 2019.
3. Greenwald MF, Scruggs BA, Vislisis JM, Greiner MA. Corneal imaging: an introduction. Iowa City (Iowa): Department of Ophthalmology and Visual Sciences, University of Iowa Health Care. 2016: 9.
4. Accardo PA, Pensiero S. Neural network-based system for early keratoconus detection from corneal topography. *Journal of Biomedical Informatics*. 2002; 35(3): 151-9.
5. Bessho K, Maeda N, Kuroda T, Fujikado T, Tano Y, Oshika T. Automated keratoconus detection using height data of anterior and posterior corneal surfaces. *Japanese Journal of Ophthalmology*. 2006; 50(5): 409-16.
6. Souza MB, Medeiros FW, Souza DB, Garcia R, Alves MR. Evaluation of machine learning classifiers in keratoconus detection from orbscan II examinations. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*. 2010; 65(12): 1223-8.
7. Valdés-Mas MA, Martín-Guerrero JD, Rupérez MJ, Pastor F, Dualde C, Monserrat C, et al. A new approach based on machine learning for predicting corneal curvature (K1) and astigmatism in patients with keratoconus after intracorneal ring implantation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2014; 116(1): 39-47.
8. Kovács I, Miháltz K, Kránitz K, Juhász E, Takács A, Dienes L, et al. Accuracy of machine learning classifiers using bilateral data from a Scheimpflug camera for identifying eyes with preclinical signs of keratoconus. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2016; 42(2): 275-83.
9. Choi E, Schuetz A, Stewart WF, Sun J. Using recurrent neural network models for early detection of heart failure onset. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2017; 24(2): 361-70.
10. Pham T, Tran T, Phung D, Venkatesh S. Predicting healthcare trajectories from medical records: A deep learning approach. *Journal of Biomedical Informatics*. 2017; 69(1): 218-29.
11. Al-Bahrani R, Agrawal A, Choudhary A. Survivability prediction of colon cancer patients using neural networks. *Health Informatics Journal*. 2019; 25(3): 878-91.
12. Falahian R, Mehdizadeh Dastjerdi M, Molaie M, Jafari S, Gharibzadeh S. Artificial neural network-based modeling of brain response to flicker light. *Nonlinear Dynamics*. 2015; 81(4): 1951-67.
13. Harrison RF, Kennedy RL. Artificial neural network models for prediction of acute coronary syndromes using clinical data from the time of presentation. *Annals of Emergency Medicine*. 2005; 46(5): 431-9.
14. Daoud M, Mayo M. A survey of neural network-based cancer prediction models

- from microarray data. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2019; 97(1): 204-14.
15. Riazi SH, Zargarnejad MZ. Application of neural networks and genetic algorithms in the anticipation and optimization of the desalination process. *Oil & Gas Exploration & Production*. 2017; 1396(147): 76-86. (In Persian)
16. Mahsal Khan M, Masood Ahmad A, Muhammad Khan G, Miller JF. Fast learning neural networks using Cartesian genetic programming. *Neurocomputing*. 2013; 121(1): 274-89.
17. Engler JJ. Characterization of normality of chaotic systems including prediction and detection of anomalies. Iowa City (Iowa): Iowa Research Online, University of Iowa. 2011: 69.

## Prediction of Visual Characteristics After Corneal Ring Implantation in Keratoconus Patients

Bakhtiarnia M<sup>1</sup>, Maghooli K<sup>\*2</sup>, Farokhi F<sup>3</sup>, Jadidi K<sup>4</sup>

1. MSc, Department of Biomedical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Assistant professor, Department of Biomedical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, k\_maghooli@srbiau.ac.ir.

3. Assistant professor, Department of Biomedical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4. Professor, Vision Health Research Center, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.

Received: April. 21, 2020

Accepted: June. 15, 2020

### Abstract

**Background:** Keratoconus is a common disease characterized by progressive corneal slimming and steepening. The disease progression is generally accompanied by the significant decline in the vision, aggravation of irregular corneal astigmatism and the resultant decrease in the patient's quality of life. One of the successful treatments for Keratoconus is the corneal ring implantation. The prediction of post-surgical visual characteristics has been considered in this study to assist the ophthalmologist in appropriately choosing surgery candidates.

**Materials and Methods:** In this study, the set of data collected from numerous tests of visual characteristics performed before and after implanting the keraring and myring rings has been utilized. By using MATLAB software, the visual characteristics of keratoconus patients after implanting the rings have been estimated through correct training of the proposed neural networks. The characteristics include: uncorrected visual acuity (UCVA), sphere (SPH), astigmatism (Ast), orientation of astigmatism (Axis), and best corrected visual acuity (BCVA).

**Results:** In this research, for the first time, the visual characteristics of keratoconus patients six and twelve months after implanting the corneal ring have been predicted with the mean error of 9.51% manipulating a novel neural-network-based method.

**Conclusion:** The results indicate the precision and accuracy of the proposed method in predicting the visual characteristics of keratoconus patients after implanting the corneal rings. The ophthalmologist could precisely choose the right candidate for surgery amongst his patients based on the estimated characteristics.

**Keywords:** Keratoconus, Visual characteristics, Prediction of characteristics, Tests of visual characteristics, Ring implantation, Neural network method.

\***Citation:** Bakhtiarnia M, Maghooli K, Farokhi F, Jadidi K. Prediction of Visual Characteristics After Corneal Ring Implantation in Keratoconus Patients. *Yafte*. 2020; 22(2):11-21.