

تشخیص بیماری عروق کرونر قلب با استفاده از روش ترکیب خبره‌ها

مجید حسن زاده^۱، ایمان ذباح^{۲*}، کامران لایقی^۳

• پذیرش مقاله: ۹۶/۹/۵

• دریافت مقاله: ۹۶/۵/۲۲

مقدمه: بیماری عروق کرونر قلب، شایع‌ترین بیماری قلبی است و از علل اصلی مرگ در زنان و مردان است. این مطالعه با هدف پیش‌بینی وضعیت این بیماری با استفاده از روش ترکیب شبکه‌های عصبی (ترکیب خبره‌ها) انجام شد.

روش: این تحقیق از نوع تشخیصی و بر روی ۲۰۰ نفر از مراجعین به مرکز تخصصی قلب و عروق شهرستان تربت حیدریه انجام شد. پرونده مراجعین حاوی اطلاعات دموگرافیک بیماران شامل ۱۳ ریسک فاکتور بود. تولید مدل پیش‌بینی بیماری عروق کرونر قلب بر اساس شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه و سپس جمع‌بندی نظرات آن‌ها انجام شد.

نتایج: در ابتدا از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا استفاده گردید. بهترین معماری توانست با دقت ۷۱/۷٪ بسته بودن عروق کرونر قلب را پیش‌بینی کند. سپس با افزایش تعداد شبکه‌ها و تعلیم آن‌ها، ترکیب نتایج با یکدیگر انجام شد. ترکیب خبره‌ها با روش خطی رأی اکثریت و غیرخطی شبکه عصبی راه‌گامی انجام و دقت پیش‌بینی به ترتیب ۷۵/۸٪ و ۷۸/۳٪ به دست آمد.

نتیجه‌گیری: آنژیوگرافی یک روش تهاجمی و همراه با ریسک‌هایی مانند سکته قلبی و مغزی است؛ لذا باید از روش‌های غیرتهاجمی در تشخیص عروق کرونر قلب استفاده کرد. در این مطالعه با افزایش تعداد یادگیرها و سپس ترکیب غیرخطی آن‌ها دقت تشخیص افزایش یافت.

کلیدواژه‌ها: بیماری عروق کرونر قلب، شبکه عصبی مصنوعی، ترکیب خبره‌ها

• **ارجاع:** حسن زاده مجید، ذباح ایمان، لایقی کامران. تشخیص بیماری عروق کرونر قلب با استفاده از روش ترکیب خبره‌ها. مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی ۱۳۹۷؛ ۲۵(۲): ۲۷۴-۲۸۵.

۱. دکتر مدیریت آموزش عالی، استادیار گروه پرستاری، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۲. دانشجوی دکتری کامپیوتر، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳. دکتر کامپیوتر، استادیار گروه کامپیوتر، دانشکده برق و کامپیوتر، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** خراسان رضوی، تربت حیدریه، دانشگاه آزاد اسلامی تربت حیدریه

• شماره تماس: ۰۹۱۵۹۳۱۱۰۵۰

• Email: imanz.zabbah@iaut.ac.ir

مقدمه

با توجه به گزارش انجمن قلب آمریکا، بیش از دوازده میلیون آمریکایی از بیماری عروق کرونر قلب (Coronary Artery Disease) رنج می‌برند و هرساله بیش از پانصد هزار نفر از حمله قلبی ناشی از این بیماری می‌میرند [۱]. در ایران نیز بر اساس اطلاعات حاصل از یک مطالعه اپیدمیولوژیک که به بررسی علت مرگ‌ومیر در سال ۱۳۸۸ پرداخته است از بین ۳۲۱۵۷۰ فوتی، تعداد ۸۲۳۰۷ مورد ناشی از بیماری عروق کرونر قلبی بوده است که این عدد معادل ۲۵/۶ درصد عامل منجر به مرگ بر اثر این بیماری را نشان می‌دهد [۲]. متخصصان قلب و عروق، عوامل جسمانی شناخته شده‌ای از فشارخون بالا، سطح بالای کلسترول مضر، بیماری دیابت، کمبود فعالیت بدنی، چاقی و وراثت را با بروز بیماری عروق مرتبط می‌دانند؛ باوجوداین شواهد حاکی از آن است که این موارد حداکثر ۵۰ درصد از بروز این بیماری را پیش‌بینی می‌کنند و عوامل جسمانی فوق به‌تنهایی قادر به تبیین بروز و نیز تداوم بیماری کرونر قلب نیستند [۳]. بهترین روش ارزیابی بیماری کرونر قلبی، آنژیوگرافی است. از این روش به‌عنوان استاندارد طلایی برای تشخیص بیماری کرونر قلبی استفاده می‌شود [۴]. آنژیوگرافی یک روش تهاجمی است و علاوه بر هزینه گران آن همراه با ریسک‌هایی چون مرگ و سکته قلبی و مغزی است. به‌عنوان نمونه در مطالعه میر محمدصادقی و همکاران با عنوان بررسی بروز عوامل خطر سکته مغزی بعد از جراحی بای پس عروق کرونر قلب، از تعداد ۱۳۸۶ بیماری که تحت عمل جراحی قرار گرفته بودند، ۱/۴٪ از بیماران پس از عمل جراحی در بیمارستان دچار عارضه سکته مغزی شدند [۳]؛ بنابراین باید از روش‌های غیرتهاجمی استفاده شود که پیش‌بینی بر اساس آن‌ها دارای کمترین خطا و بیشترین اطمینان باشد.

مطالعات مختلف انجام‌شده نشان می‌دهد که بیماری عروق کرونر قلب نتیجه همگرایی تعدادی از ریسک فاکتورهای این بیماری است [۵]. اخیراً تکنیک‌های داده‌کاوی (Data mining) جهت کشف الگوها در تشخیص بیماری‌ها موردتوجه بسیاری از محققین قرار گرفته است [۶]. ازجمله می‌توان به درخت‌های تصمیم‌گیر، ماشین بردار، دسته‌بندی کننده بیزین، نزدیک‌ترین همسایه، الگوریتم‌های ژنتیک و شبکه‌های عصبی اشاره کرد. از بین روش‌های فوق، شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌طور وسیع‌تری در زمینه‌های مختلف پزشکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷]. نشاطی تنها و

همکاران در در پژوهش خود یک مدل را با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی برای پیش‌بینی سکته قلبی طراحی کردند [۸]. Suchithra پژوهشی را باهدف ساخت یک سیستم ویژه (کارآمد) با طبقه‌بندی کننده کاملاً خودکار برای تشخیص وجود بیماری ایسکمی قلب با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی انجام داد [۹]. عموماً در بیشتر مطالعات، قدرت تشخیصی و دقت پیشگویی برای مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های کلاسیک آماری بیشتر گزارش شده است [۵، ۱۰، ۱۱]. در این خصوص می‌توان به مطالعه Kurt و همکاران اشاره کرد که شامل جامعه آماری ۱۲۴۵ نفری و ۸ فاکتور بالینی بیماری کرونر قلبی بود. در این مطالعه از سه تکنیک رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم‌گیر و شبکه عصبی استفاده شده است. با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با دقت ۷۵٪ عمل پیش‌بینی کرونر قلبی را انجام داده است. که نسبت به دو روش دیگر عملکرد بهتری دارد [۱۲]. استفاده از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه جهت ارزیابی بیماری عروق کرونر قلبی در مطالعه محمدپور و همکاران با یک جامعه آماری ۱۵۰ نفری از بین بیماران مرکز فوق تخصصی قلب مازندران نشان می‌دهد که با یک دقت قابل قبول می‌توان بسته و یا باز بودن عروق کرونر قلب را پیش‌بینی کرد [۱۱]. در مطالعه انجام‌شده توسط خسروانیان و آیت در یک جامعه آماری ۱۵۲ نفری نشان داده شد که شبکه‌های عصبی احتمالی بهتر و قوی‌تر از سایر شبکه‌های عصبی در تشخیص بیماری عمل کرده‌اند [۱۳]. مطالعه متآنالیزی که توسط Sargent روی ۲۸ موردتحقیق انجام شد، نشان می‌دهد که در ۳۶٪ از موارد روش شبکه‌های عصبی بهتر از روش رگرسیونی عمل می‌کنند و در ۱۴٪ ضعیف‌تر از رگرسیونی عمل می‌کنند. همچنین در ۵۰٪ مواقع این دو روش مشابه یکدیگرند [۱۴]. در برخی از تحقیقاتی که از مجموعه داده موجود در مخزن یادگیری ماشین دانشگاه ایروین کالیفرنیا استفاده شده است، مدل‌هایی با دقت بالا به‌دست آمده که علت آن استفاده از نتایج معاینات فیزیکی، الکتروکاردیوگرافی، تصویربرداری و استرس تست علاوه بر ریسک فاکتورهای بیماری عروق کرونر می‌باشد [۱۵]؛ لذا به علت تفاوت در ریسک فاکتورهای مورد استفاده، مدل‌هایی با دقت متفاوت گزارش شده‌اند [۱۱، ۱۳].

توجه بیشتر به فاکتورهای بالینی بیماری کرونر قلب و تحلیل تأثیر آن در تشخیص بیماری موجب خواهد شد از عوارض و آسیب‌های احتمالی آنژیوگرافی و درمان‌های مربوط به عروق

کرونری قلب برای بیمارانی که نیاز به آن ندارند جلوگیری کند و در هزینه آزمون تشخیصی برای این افراد صرفه جویی شود؛ لذا این مطالعه، باهدف تعیین بسته بودن یا نبودن عروق کرونری قلب انجام شد که برای رسیدن به این هدف از روش جامع تری به نام ترکیب شبکه های عصبی مصنوعی یا همان ترکیب خبره ها استفاده شد. افزایش خبره ها منجر به تخصصی شدن وظیفه آن ها شده و ضمن تمرکز شبکه به توزیع خطا حول هدف کمک خواهد کرد و در نهایت موجب افزایش صحت عملکرد سیستم تصمیم گیر می شود؛ لذا با ترکیب نظرات آن ها حصول نتیجه ای دقیق تر صورت گرفت.

روش

تحقیق حاضر یک مطالعه تشخیصی است که بر اساس متغیرهای ورودی به پیشگویی وضعیت عروق کرونری قلب پرداخت. جامعه آماری این پژوهش از مرکز تخصصی قلب

شهرستان تربت حیدریه (دکتر حامد رضا جعفر زاده) و در مهرماه و آبان ماه ۱۳۹۴ توسط محققین طرح جمع آوری شد. این داده ها از نوع غیر قابل انتساب می باشد. جمع آوری داده از روی پرونده بیماران که به صورت سنتی ثبت شده بود، انجام گردید. تعداد پرونده های اولیه که حاوی اطلاعات دموگرافیک بیماری، تست های تشخیصی و نتیجه آنژیوگرافی موجود بوده ۳۳۱ پرونده بود که از این تعداد حدود ۳۱ مورد به دلیل نقص در پرونده و یا عدم مراجعه بیمار و به کمک پزشک متخصص ناقص تشخیص داده شد و به عنوان داده های گمشده حذف گردیدند؛ لذا پس از پالایش، داده ها قابل استفاده به ۲۰۰ مورد تقلیل پیدا کرد. این اطلاعات شامل ۱۳ متغیر بالینی جنسیت، مصرف سیگار، فشارخون بالا، دیابت، سابقه خانوادگی، سابقه سکته قلبی، نتیجه تست ورزش، نتیجه تست اکو، سن، کراتینین، کلسترول، تری گلیسیرید و کسر تخلیه می باشد (جدول ۱).

جدول ۱: آماره های توصیفی مربوط به متغیرهای کمی و کیفی پرونده های مراجعین به مرکز تخصصی قلب و عروق [۱۵]

نام متغیر	نوع	درصد	سطح معنی داری	نام متغیر	سطح معنی داری	میانگین و انحراف معیار Mean±SD
جنسیت	مرد	۴۳٪	۰/۳۷۷	سن	۰/۵۸	۱۴/۷۲±۵۴/۹۵۵۰
	زن	۵۷٪				
دخانیات	سیگاری	۸۸,۹٪	۰/۵۲۳	کراتینین	۰/۷۱	۰/۲۹±۰/۹۸۸۰
	غیر سیگاری	۱۲,۱٪				
فشارخون بالا	دارند	۶۱٪	۰/۳۹۷	کلسترول	۰/۲۲۷	۴۰/۲۹±۱۹۲/۹۸۰۰
	ندارند	۳۹٪		میلی گرم / دسی لیتر		
دیابت	دارند	۷۲٪	۰/۴۵۳	تری گلیسیرید	۰/۱۷۷	۸۳/۲۴±۱۴۴/۶۴
	ندارند	۲۸٪				
سابقه خانوادگی	دارند	۷۶٪	۰/۴۷۲	کسر تخلیه	۰/۹۹	۱۲/۶۰±۶۷/۵۸۵۰
	ندارند	۲۴٪				
سابقه حمله قلبی	دارند	۲٪	۰/۵۳۷	Significant at $P<0.01$ و $N=200$ *		
	ندارند	۹۸٪		** متغیرهای جنسیت، دخانیات، فشارخون بالا، دیابت، سابقه خانوادگی، سابقه حمله قلبی، تست ورزش و اکو از نوع کیفی می باشند.		
تست ورزش	نرمال	۲۴٪	۰/۴۲۷	*** متغیرهای سن، کراتینین، کلسترول، تری گلیسیرید و کسر تخلیه از نوع کمی می باشند.		
	غیر نرمال	۷۶٪				
تست اکو	سالم	۸۵٪	۰,۵۱۴			
	بیمار	۱۴/۵٪				

بخش اول: طراحی و آموزش شبکه عصبی با در نظر گرفتن کلیه فاکتورهای بالینی

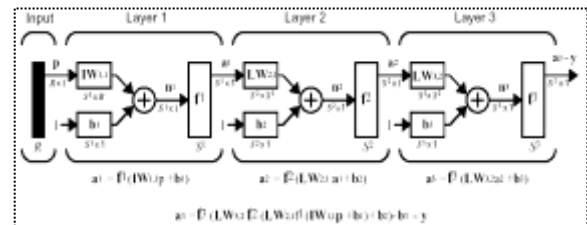
یادگیری شاخص ترین ویژگی یک شبکه عصبی است. سیستم های یادگیر، سیستم هایی هستند که صرفاً با مشاهده

عملکردشان، می توانند رفتارشان را جهت دستیابی به هدف و مقصدی خاص بهبود بخشند. زمانی پروسه یادگیری مورد نیاز است که اطلاعات کامل در مورد کل اهداف موجود نباشد. شبکه های عصبی مصنوعی مانند شبکه های عصبی برای یادگیری فرآیند به آموزش نیاز دارند. یک شبکه عصبی می تواند متشکل از چند لایه باشد. هر لایه ماتریس وزنی، بردار بایاس و

انتخاب این روش بر اساس تحقیق Mobley و همکاران در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی شریان کرونر به‌وسیله شبکه‌های عصبی مصنوعی که بیش‌ترین شباهت را این قسمت از تحقیق داشت، انجام گرفت [۱۵]. در این روش ۱۴ ویژگی شامل سن، جنسیت، نژاد، دخانیات، دیابت، فشارخون، شاخص توده بدنی و برخی عوامل خطی دیگر به‌عنوان ورودی به شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با ساختار (۱۴-۲۶-۱) اعمال گردید و خروجی شبکه متغیر تنگ بودن یا نبودن شریان کرونر در نظر گرفته شد. در این قسمت از تحقیق حاضر با حذف ویژگی غیرضروری "نژاد" یک شبکه عصبی با ۱۳ ورودی طراحی گردید، فاکتورهای بالینی ورودی شبکه عصبی در جدول ۱ نمایش داده شد. برای انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی ۳ لایه (حدود ۳۰ ساختار) مورد بررسی قرار گرفت. برخی از مدل‌های شبکه و نتایج حاصل از آن در جدول ۲ نمایش داده شد. در تمامی شبکه‌های فوق از ۷۰٪ داده‌ها در مرحله آموزش و ۳۰٪ در مرحله آزمون استفاده شد.

بردار خروجی مختص خود را دارد. در شکل ۱ یک شبکه عصبی سه لایه با S^i نرون در هر لایه و بردار ورودی P با R عضو را نشان می‌دهد.

شکل ۱: ساختار شبکه عصبی سه لایه



در این مطالعه ابتدا یک شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چندلایه مورد استفاده قرار گرفت و کلیه ویژگی‌های تشخیص بیماری کرونر قلب شامل جنسیت، دخانیات، فشارخون بالا، دیابت، سابقه بیماری خانوادگی، سابقه سکته قلبی، تست ورزش، اکو، سن، کلسترول، کراتینین، تری‌گلیسرید و کسر تخلیه به‌عنوان پارامتر ورودی به شبکه اعمال شدند.

جدول ۲: بررسی معماری‌های مختلف شبکه عصبی با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای ورودی بیماری

معماری شبکه عصبی ۳ لایه	نوع داده	دقت تشخیص (درصد)
۱۳-۱۳-۱	آموزش	۸/۶
	تست	۷۱/۷
۱۳-۱۴-۱	آموزش	۸۶
	تست	۷۰
۱۳-۱۵-۱	آموزش	۸۸
	تست	۶۹/۵
۱۳-۱۶-۱	آموزش	۸۰
	تست	۶۸
۱۳-۱۷-۱	آموزش	۸۵
	تست	۶۶/۷
۱۳-۱۸-۱	آموزش	۹۵
	تست	۶۶/۷
۱۳-۱۹-۱	آموزش	۸۲/۹
	تست	۷۰

اگر تعداد شبکه‌های عصبی افزایش یابد، می‌توان با ترکیب آن‌ها به‌دقت بالاتری دست پیدا کرد، به هر یک از این شبکه‌های عصبی یک خبره پایه گفته می‌شود. این تنوع باعث

بخش دوم: طراحی و آموزش چندین شبکه عصبی به‌عنوان خبره

گردید. شبکه عصبی ششم در شکل ۲-۶ درواقع همان شبکه عصبی راهگاهی (gating network) است که کلیه فاکتورهای بالینی بیماری را به عنوان ورودی در نظر می گیرد و در بخش اول این مقاله طراحی و تست گردید. تمامی این شبکه ها سه لایه (دولایه پنهان) دارند.

پس از طراحی این ۶ شبکه عصبی به عنوان خبره ها باید بهترین معماری شبکه عصبی موردبررسی قرار می گرفت. تعداد لایه های شبکه عصبی و تعداد نرون ها در لایه های مخفی پارامترهای تنظیم شبکه عصبی هستند که می توانند در بهبود صحت شبکه عصبی تأثیرگذار باشند؛ لذا برای هر یک از این شبکه های عصبی به عنوان خبره معماری های مختلفی موردبررسی قرار گرفت تا بهترین معماری به دست آید. برخی از این معماری ها در جدول ۳ نشان داده شد. که برای خبره های ۱ و ۲ و ۴ بهترین معماری مربوط به زمانی است که ۲۰ نرون در لایه مخفی اول و ۲۱ نرون در لایه مخفی دوم است. چراکه در این حالت شبکه ها موفق شده اند به دقت ۷۵٪ روی داده های تست و ۸۸٪ روی داده های آموزش دست پیدا کنند؛ بنابراین شبکه ای با معماری ۱-۲۱-۲۰ انتخاب گردید. همچنین برای خبره های ۳ و ۵ معماری ۱-۲۳-۲۰ به همین دلیل انتخاب شدند.

می شود که نوعی از واریانس در عملکرد سیستم به وجود آمده و در نهایت نتایج بهتری کسب شود. برای این که بتوان نتیجه مناسبی از ترکیب خبره ها گرفت باید هر یک از شبکه های عصبی طراحی شده شرایط ذیل را داشته باشد:

الف- هر یک از خبره ها به تنهایی در حد قابل قبولی (و نه کامل) دقیق باشند.

ب- هر کدام مکمل دیگری باشند، یعنی نباید مشابه هم بوده و نتیجه یکسانی تولید کنند.

با در نظر گرفتن شرایط فوق طراحی شبکه های عصبی مختلف انجام گردید. به منظور دستیابی به این هدف طبق تحلیل آماری به کمک نرم افزار SPSS 22.0 انجام شد و اهمیت ویژگی ها در بیماری کرونر قلبی موردبررسی قرار گرفت.

برخی از مطالعات نشان می دهد که پارامترهای پیوسته بیماری کرونر قلب در تشخیص بیماری بسیار تأثیرگذارتر از پارامترهای پیوسته هستند [۱۶] و بر اساس آن ۵ شبکه عصبی طراحی و پیاده سازی شد. داده های جدول ۱ نشان می دهد که ویژگی های "مصرف دخانیات" و "ابتلا به دیابت" بیشترین تأثیر را در ارزیابی کرونر قلبی دارد؛ لذا این ویژگی ها به عنوان مهم ترین پارامترهای ورودی شبکه عصبی در طراحی خبره های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند و ۵ شبکه عصبی به عنوان خبره ها به صورتی که در شکل ۲-۱ تا ۲-۵ نشان داده شد، طراحی

جدول ۳: معماری های مختلف شبکه عصبی (خبره های مختلف) و میزان عملکرد آن ها در مراحل آموزش و تست

معماری	خبره ۱		خبره ۲		خبره ۳		خبره ۴		خبره ۵	
۱-۲۱-۲۰	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
	۸۸/۶	۷۵/۳	۸۸/۲	۷۵/۹	۱۱/۴	۲۵	۸۸/۳	۷۵/۲	۱۱/۴	۲۵/۵
۱-۲۲-۲۰	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
	۱۵/۷	۳۳	۳۴/۴	۴۰	۱۱/۴	۲۵	۸۷/۹	۷۵	۱۱/۴	۲۵
۱-۲۳-۲۰	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
	۷۵	۶۵	۷۷/۹	۶۳	۸۸/۴	۷۵/۲	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۲	۷۵/۶
۱-۲۴-۲۰	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
	۵۰	۵۵	۳۱/۴	۶۱/۷	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۷۵
۱-۲۵-۲۰	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
	۸۴	۷۰	۸۱/۴	۶۱/۷	۱۲/۱	۲۵	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۷۵
۱-۲۶-۲۰	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست
	۲۰	۲۶/۷	۳۰	۲۶/۷	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۷۵	۱۱/۴	۲۶

جدول ۳: معماری‌های مختلف شبکه عصبی (خبرهای مختلف) و میزان عملکرد آن‌ها در مراحل آموزش و تست (ادامه)

تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش
۷۵	۸۸/۶	۲۵	۱۱/۴	۷۵	۸۸/۶	۶۰	۷۹/۳	۶۱/۷	۷۹/۳
تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش
۷۵	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۵۸/۳	۲۷/۱	۵۶/۷	۵۰/۷
تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش
۷۵	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۶۳/۳	۷۷/۹	۷۳/۳	۷۲/۹
تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش	تست	آموزش
۷۵	۸۸/۶	۷۵	۸۸/۶	۲۵	۱۱/۴	۶۰	۷۱/۴	۵۸/۳	۷۳/۶

بخش سوم: ترکیب شبکه‌های عصبی (ترکیب خبرها)

روش‌های مختلفی برای ترکیب خبرها وجود دارد؛ اما به‌طور کلی شامل دو دسته خطی و غیرخطی است. متداول‌ترین روش‌های خطی استفاده از رأی اکثریت (Majority Voting)، ترکیبات غیرخطی روشی به نام (Gating Network) است که در آن خروجی هر یک از خبرها به ورودی شبکه نهایی متصل می‌شود.

ترکیب خبرها در تشخیص کرونر قلب به روش خطی

یکی از متداول‌ترین روش‌های ترکیب به‌صورت خطی روش رأی اکثریت است. انگیزه اصلی این کار در اینجا است که هنگام طراحی یک سیستم خبره انتخاب‌های فراوانی وجود دارد مانند نحوه نمایش، پارامترهای خبره، داده‌های آموزشی و غیره. اگر از نتیجه چند دسته‌بندی کننده به‌صورت زیر استفاده شود:

$$f_{com} = \text{vote}(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6)$$

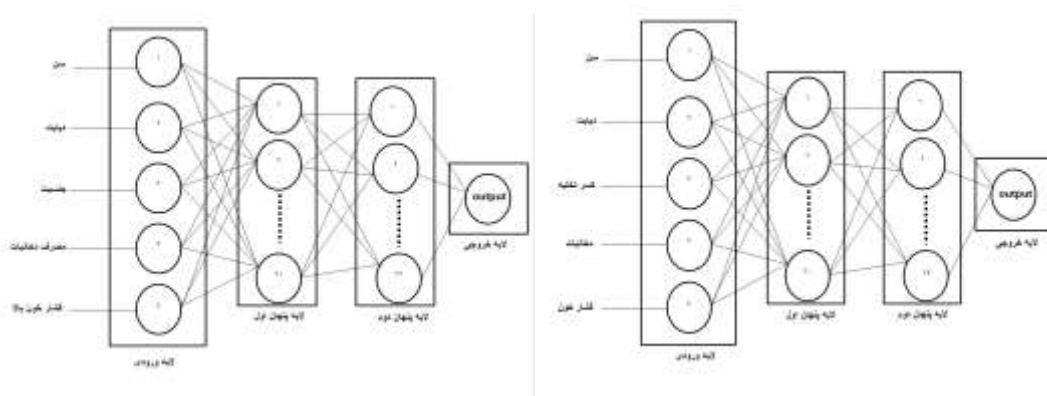
که f_1 تا f_6 همان شش خبره طراحی شده می‌باشند. برای این که بتوان نتیجه مناسبی از ترکیب خبرها گرفت، باید هر

یک به تنهایی در حد قابل قبولی دقیق باشند، البته نیازی به بسیار دقیق بودن آن‌ها نیست و کافی است هرکدام مکمل دیگری عمل کنند. به این معنا که همگی نباید مشابه هم بوده و نتیجه یکسانی تولید کنند. با توجه به این که در تحقیق حاضر دو کلاس از افراد بیمار و سالم است، لذا روش رأی اکثریت قابل استفاده است.

ترکیب خبرها در تشخیص کرونر قلب به روش

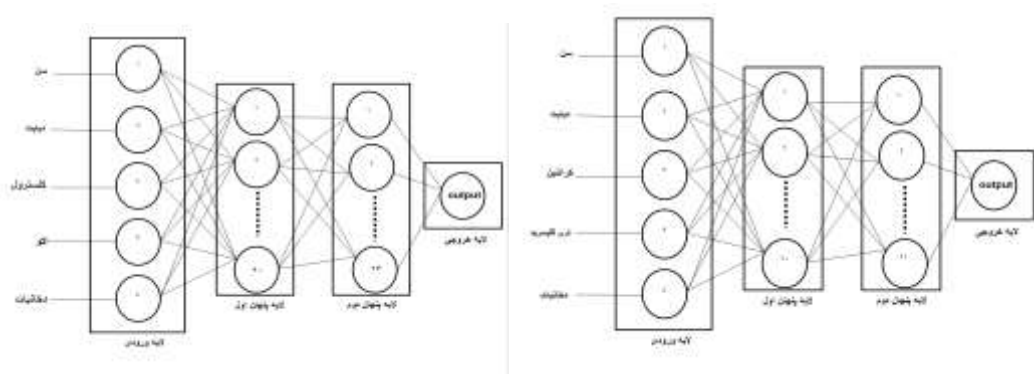
غیرخطی و خطی

در این روش وزن‌های مورد استفاده برای رأی‌گیری بر اساس ورودی‌ها تغییر می‌کنند و ثابت نیستند. خروجی خبرها توسط یک شبکه نهایی به‌صورت غیرخطی باهم ترکیب می‌شوند. شبکه راهگامی همزمان با یادگیری هر یک از خبرها یاد می‌گیرد که چه وزنی به هر خبر اختصاص داده شود تا خطا کم شود. این کار باعث تجزیه فضای ورودی بین خبرها می‌شود. شبکه Gating معمولاً از روش Softmax استفاده می‌کند تا مجموع وزن‌ها یک شود [۱۱].



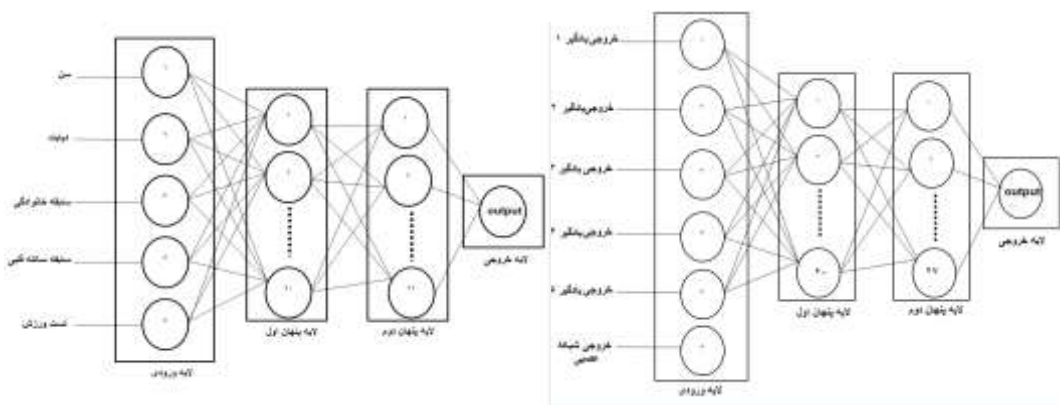
شکل ۱-۲ طراحی شبکه عصبی N1 با ورودی‌های سن- دیابت- جنسیت- مصرف دخانیات- فشارخون

شکل ۲-۲ طراحی شبکه عصبی N2 با ورودی‌های سن- دیابت- کسر تخلیه- مصرف دخانیات- فشارخون



شکل ۳-۲ طراحی شبکه عصبی N3 با ورودی‌های سن- دیابت- کلسترول- اکو- مصرف دخانیات-

شکل ۴-۲ طراحی شبکه عصبی N4 با ورودی‌های سن- دیابت- کراتینین- مصرف دخانیات- تری گلیسرید



شکل ۵-۲ طراحی شبکه عصبی N5 با ورودی‌های سن- دیابت- سابقه خانوادگی- سابقه سکت قلبی- تست ورزش

شکل ۶-۲ طراحی شبکه عصبی راهگامی با ورودی‌های شبکه عصبی N6 تا N1

شکل ۲: مدل‌سازی شبکه‌های عصبی، با توجه به ریسک فاکتورهای بیماری عروق کرونر قلب

نتایج

در این مطالعه ۲۰۰ مراجعه کننده به مرکز تخصصی قلب و عروق جهت تشخیص بیماری کرونر قلبی مورد بررسی قرار گرفتند. از این تعداد ۴۷٪ مرد و ۵۳٪ را زن تشکیل می دادند. از میان ریسک فاکتورهای ثبت شده در پرونده بیماران ۵ فاکتور

آن دارای پارامترهای پیوسته بودند. انتخاب فاکتورهای بالینی ورودی با تحلیل های آماری انجام شد. جدول ۴ مدل های مختلف شبکه عصبی بر اساس ریسک فاکتورهای اعمال شده و بهترین معماری را نشان می دهد.

جدول ۴: میانگین ۱۰ مرتبه مدل سازی بر روی ۶ شبکه عصبی به منظور پیش بینی بیماری عروق کرونر قلب

شماره مدل	ریسک فاکتورها	بهترین معماری شبکه	دقت ارزیابی	دقت تست
۱	سن - دیابت - جنسیت - مصرف دخانیات - فشارخون	۱-۲۱-۲۰-۵	۸۸٪/۶	۷۵٪/۴
۲	سن - دیابت - کسر تخلیه - مصرف دخانیات - فشارخون	۱-۲۱-۲۰-۵	۸۸٪/۲	۷۵٪/۹
۳	سن - دیابت - کلسترول - اکو - مصرف دخانیات	۱-۲۱-۲۰-۵	۸۸٪/۴	۷۷٪/۹
۴	سن - دیابت - کراتینین - مصرف دخانیات - تری گلیسرید	۱-۲۱-۲۰-۵	۸۸٪/۳	۷۵٪/۶
۵	سن - دیابت - سابقه خانوادگی - سابقه سکته قلبی - تست ورزش	۱-۲۳-۲۰-۵	۸۴٪/۲	۷۴٪/۹
۶	کلیه ۱۳ فاکتور	۱-۲۶-۱۴-۱۳	۸۸٪/۲	۷۱٪/۷

جدول ۵ نتیجه ترکیب خطی به روش رأی اکثریت و شبکه راهگاهی روی داده های آموزش و تست را نشان می دهد.

جدول ۵: نتیجه ترکیب نتایج شبکه های عصبی در تشخیص کرونر قلبی به دور روش خطی و غیر خطی

تست	آموزش
۷۵٪/۳	روش خطی رأی اکثریت
۷۸٪/۳	روش غیر خطی راهگاهی

خبره‌های مستقل‌تر باعث افزایش نرخ بازشناسی می‌شود [۱۷].
دو روش مناسب که در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفتند Majority voting و gating network می‌باشد [۱۸].
در مطالعه محمودی و همکاران برای پیش‌بینی بیماری عروق کرونر از تکنیک قدرتمند شبکه‌های عصبی استفاده گردید که مدل نهایی به‌دست‌آمده دارای دقت ۷۴/۱۹ درصد و توانست با درصد بالایی بیماران را تشخیص داده و تعداد ۲۷۱ نفر از ۸۱۵ فردی که فاقد بیماری عروق کرونر بودند را مشخص نماید [۱۹].
در تحقیقات دیگری که مدل‌های به‌دست‌آمده تنها مبتنی بر ریسک فاکتورهای بیماری عروق کرونر می‌باشند، به علت تفاوت در ریسک فاکتورهای مورد استفاده مدل‌هایی با دقت متفاوت گزارش شده است [۱۲، ۲۰]. در بررسی انجام‌شده توسط Jyoti جهت پیش‌بینی ابتلا به بیماری قلبی مدل ارائه شده توسط درخت تصمیم دارای میزان دقت ۸۳ درصد می‌باشد [۱۲]. این در حالی است که درخت تصمیم ارائه شده در این مطالعه از دقت بالاتری برخوردار بوده است. در مطالعه محمد پور و همکاران به کاربرد شبکه عصبی در ارزیابی بیماری عروق کرونر قلب پرداخته و حساسیت مدل به‌دست‌آمده ۳۲٪ به دست آمد، که نشان از توان بالای این مدل در تشخیص سریع‌تر بیمارانی است که نیازمند اقدامات تشخیصی و درمانی هستند. حساسیت بالای مدل ارائه‌شده در این مطالعه را می‌توان به‌کارگیری متغیرهای مفیدی چون نتیجه تست ورزش و نتیجه اکو و همچنین تعیین تعداد نرون‌های کمتر در لایه میانی شبکه عصبی می‌باشد [۱۱]. در مطالعه‌ای که به مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه و با تابع مبتنی بر شعاع در سیستم‌های تصمیم‌یار بالینی برای تفکیک در بیماری نارسایی قلبی و انسداد مزمن ریه پرداخته‌شده است، مدل شبکه عصبی با حساسیت ۳۳٪ به‌عنوان مدل برتر جهت ایجاد تمایز در تشخیص بیماران مبتلا به نارسایی قلبی و انسداد مزمن ریه معرفی شده است [۲۱]. استفاده از ترکیب خبرها در تشخیص سایر بیماری‌ها نیز نتایج خوبی به همراه داشته است [۲۲]. در برخی از تحقیقات بررسی‌شده، از آنالیز منحنی‌های راک برای ارزیابی مدل به‌دست آمده، استفاده شده است و در برخی دیگر ملاک ارزیابی، دقت مدل در مجموعه داده آزمایش بوده است [۲۳]. اگرچه در برخی از پژوهش‌ها به علت عملکرد بهتر شبکه‌های عصبی روی داده‌های آموزش، ملاک ارزیابی داده‌های آموزش قرار گرفته‌اند، لیکن در پژوهش حاضر ملاک دقت عملکرد روی مجموعه داده‌های آزمون (داده‌های تست) بود.

جدول ۶ نتیجه تشخیص بیماری عروق کرونر قلب با یک شبکه عصبی با حضور کلیه ریسک فاکتورها و نیز زمانی که از ترکیب شبکه‌های عصبی به روش خطی رأی اکثریت و غیرخطی شبکه راهگامی استفاده شده است را نشان می‌دهد.
نتایج حاکی از آن است که در استفاده از شبکه‌های عصبی به تنهایی و ترکیب شبکه‌های عصبی به صورت خطی و ترکیب غیرخطی شبکه‌های عصبی، به ترتیب دقت‌های ۷۱/۷٪ و ۷۵٪/۳ و ۷۸٪/۳ قابل حصول است.

جدول ۶: نتایج تشخیص بیماری کرونر قلب با استفاده از ترکیب شبکه‌های عصبی در روش‌های مختلف روی نمونه‌های تست

ترکیب به شبکه عصبی راهگامی	ترکیب به روش رأی اکثریت	شبکه عصبی بدون ترکیب
۷۸٪/۳	۷۵٪/۳	۷۱٪/۷

بحث و نتیجه‌گیری

نتیجه مطالعه حاکی از آن است که استفاده از چندین شبکه عصبی مصنوعی و ترکیب آن‌ها به روش غیرخطی نسبت به ترکیب خطی و نسبت به زمانی که فقط از یک شبکه عصبی استفاده می‌شود در پیش‌بینی دقیق‌تر بیماری عروق کرونر قلب بهتر است.

در مطالعات مختلف تحت عنوان داده‌کاوی پزشکی، راهکارهای متعددی جهت کشف روابط بین عوامل کرونر قلبی ارائه شده است. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوریتم پس انتشار خطا جهت تشخیص بیماری کرونر قلبی در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش سعی شد برای بهبود تشخیص بیماری کرونر قلب از روش‌های مختلف با تأکید بر روش ترکیب خبرها استفاده شود. در اولین مرتبه مدل‌سازی از یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا استفاده‌شده که با حضور کلیه ۱۳ ریسک فاکتور موجود انجام شد. از شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یک طبقه‌بندی برای کلاس‌بندی داده‌ها به دو دسته بیمار و سالم استفاده گردید و معماری‌های مختلف شبکه عصبی برای حصول بهترین کلاس‌بندی مورد بررسی قرار گرفت که در بهترین حالت نتیجه تشخیص روی داده‌های تست ۷۱/۷٪ به دست آمد.

در مرتبه دوم مدل‌سازی، با توجه به ترتیب اهمیت ریسک فاکتورها به طراحی شبکه‌های عصبی مختلف پرداخته و نتایج آن‌ها با یکدیگر ترکیب گردید. اثبات شده است که ترکیب

یادگیری کامل یادگیرها شده و دقت تشخیص را کاهش دهد. پیشنهاد می‌شود که این مدل با مجموعه داده‌های بیشتر تست شود و اطلاعات افراد سالم بیش‌تری نیز به مجموعه اضافه گردد و با نصب در مراکز درمانی به‌صورت آزمایشی به‌عنوان دستیار پزشک مورد استفاده قرار بگیرد تا سرانجام با تغییرات ضروری و رسیدن به سطح مطلوب دقت، در انتخاب مدلی جامع و مناسب جهت پیش‌بینی بیماری عروق کرونر قلبی مؤثر واقع شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از شورای محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهرستان تربت حیدریه به‌واسطه حمایت از طرح پژوهشی به شماره 1-1289-10-A کمال تشکر را داشته باشند. همچنین بدین‌وسیله از همکاری دکتر حامد رضا جعفر زاده متخصص قلب و عروق کمال تشکر را دارد.

تضاد منافع

بدین‌وسیله نویسندگان تصریح می‌نمایند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

در مطالعه حاضر علت بهبود نتیجه را می‌توان این‌گونه توصیف کرد که؛ اگرچه هریک از شبکه‌های عصبی می‌توانند به‌تنهایی به پیش‌بینی بیماری عروق کرونر قلب بپردازند؛ اما وقتی تعداد ورودی‌های این شبکه‌ها که شامل ویژگی‌های بیماری کرونر است کاهش یابد باعث تمرکز بیشتر شبکه و در نتیجه افزایش دقت طبقه‌بندی می‌شود. به این ترتیب برای هر طبقه‌بندی پایه، توزیع نمونه‌های ورودی برای آموزش در جهتی تغییر داده می‌شود که طبقه‌بندی‌ها بر روی نمونه‌ها سخت‌تر متمرکز شوند و در نهایت هر یک از شبکه‌ها بهتر تعلیم داده شوند.

تکنیک‌های داده‌کاوی می‌تواند به‌عنوان دستیار پزشک در تشخیص بیماری‌های خاص جهت پیش‌گویی امکان‌ابتلا افراد به بیماری‌ها استفاده شوند. مدل ارائه‌شده در این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های غربالگری جهت شناسایی افراد در معرض خطر استفاده شود. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های محققین این حوزه عدم وجود دیتای بومی است و از آنجایی‌که بسیاری از تحقیقات پزشکی مبتنی بر کاوش داده است، اهمیت ثبت داده‌های صحیح بسیار مشهود است. محدودیت دیگر عدم وجود داده‌های کافی مربوط به افراد سالم است چراکه در بیشتر داده‌های ثبتی تعداد نمونه‌های افراد سالم نسبت به بیمار بسیار کمتر است. وجود این عدم تقارن می‌تواند منجر به عدم

References

1. Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, Carabello B, Dehmer GJ, Eagle KA, et al. ACC/AHA guidelines for coronary angiography: executive summary and recommendations. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Coronary Angiography) developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Circulation* 1999;99(17):2345-57.
2. Amani F, Kazemnejad A, Habibi R, Hajizadeh E. Pattern of mortality trend in Iran during 1970-2009. *J Gorgan Univ Med Sci* 2011;12(4):85-90. Persian
3. Mir Mohammad Sadeghi SM, Hadipour M, Molavi Vardanjani. incidence of postoperative stroke after coronary artery bypass surgery and its risk factors. *J Babol Univ Med Sci* 2011; 13(3): 74 - 9. Persian
4. Samadi S, Nazifi Naeini M, Abbaspour S. Estimating the duration of treatment and hospitalization costs using neural network approach. *Health Information Management* 2012; 8(7):948- 57. Persian
5. Catalano PJ, Ryan LM. Bivariate latent variable models for clustered discrete and continuous outcomes. *Journal of the American Statistical Association* 1992;87(419):651-8.
6. Chae YM, Kim HS, Tark KC, Park HJ, Ho SH. Analysis of healthcare quality indicator using data mining and decision support system. *Expert Systems with Applications* 2003;24(2):167-72.
7. Zhang G, Eddy Patuwo BY, Hu M. Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting* 1998;14(1):35-62.
8. Neshati Tanha A, Soleimani P. Prediction of acute heart attack using logistic regression (case study: a hospital in Iran). *Journal of Industrial Engineering* 2016;50(1):109-19. Persian
9. Suchithra PU. Clinical decision support system for diagnosing heart disease. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* 2014;2(3):121-9.
10. Falk CT. Risk factors for coronary artery disease and the use of neural networks to predict the presence or absence of high blood pressure. *BMC Genet.* 2003;4(1):S67.
11. Mohammadpour RA, Esmaeili MH, Ghaemian A, Esmaeili J. Application of Artificial neural network for assessing coronary artery disease. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2012; 21(86):9-17. Persian
12. Kurt I, Ture M, Kurum AT. Comparing performances of logistic regression, classification and regression tree, and neural networks for predicting coronary artery disease. *Expert Systems with*

Applications 2008;34(1):366-74.

13. Khosravanian A, Ayat SS. Presenting an intelligent system for diagnosis of coronary heart disease by using Probabilistic Neural Network. Health Inf Manage 2015; 12(1):3-13. Persian

14. Sargent DJ. Comparison of artificial neural networks with other statistical approaches: results from medical data sets. Cancer 2001;91(8 Suppl):1636-42.

15. Mobley BA, Schechter E, Moore WE, McKee PA, Eichner JE. Neural network predictions of significant coronary artery stenosis in men. Artif Intell Med 2005;34(2):151-61.

16. Zabbah I, Hassaanzadeh M, Kohjani Z. The effect of continuous parameters on the diagnosis of coronary artery disease using artificial neural networks. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences 2017; 4(4):29-39. Persian

17. Lasota T, Londzin B, Trawiński B, Telec Z, editors. Investigation of Mixture of Experts Applied to Residential Premises Valuation. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013.

18. Sineglazov V, Chumachenko E, Gorbatyuk V. Using a mixture of experts' approach to solve the forecasting task. Aviation 2014;18(3):129-33.

19. Mahmoudi I, Askari Moghadam R, Moazzam MH, Sadeghian S. Prediction model for coronary artery disease using neural networks and feature selection based on classification and regression tree. J Shahrekord Univ Med Sci 2013; 15(5):47-56. Persian

20. Mobley BA, Schechter E, Moore WE, McKee PA, Eichner JE. Predictions of coronary artery stenosis by artificial neural network. Artif Intell Med 2000;18(3):187-203.

21. Soni J, Ansari U, Sharma D, Soni S. Predictive data mining for medical diagnosis: An overview of heart disease prediction. International Journal of Computer Applications 2011;17(8):43-8.

22. Zabbah I, Yasrebi Naeini S E, Ramazanpoor Z, Sahragard K. The diagnosis of thyroid diseases using combinati on of neural networks through hierarchical method. Journal of Health and Biomedical Informatics 2017; 4(1) :21-31. Persian

Diagnosis of Coronary Heart Disease using Mixture of Experts Method

Hasanzadeh Majid¹, Zabbah Iman^{2*}, Layeghi Kamran³

• Received: 13 Aug, 2017

• Accepted: 26 Nov, 2017

Introduction: Coronary Artery Disease (CAD) is one of the most common heart diseases and the main cause of mortality in men and women. This study aimed to predict the disease status using Neural Network compound (mixture of experts).

Methods: The present study was a diagnostic study conducted on 200 patients referred to a heart specialty center in Torbat-e-Heydarieh. Patients' files contained their demographic information including 13 risk factors. A model for predicting CAD based on multilayer perceptron neural network and mixture of experts was produced.

Results: First, we used a neural network of multilayer perceptron with Propagation algorithm by different architectures. The best architecture could predict closed coronary artery with the accuracy of 71.7%. Then, by increasing the number of neural networks and training process, results were combined. Mixture of experts by liner method (majority voting) and nonlinear method (gating network) was applied and the accuracy rates of 75.8 percent and 78.3 percent were respectively obtained.

Conclusion: Angiography is an invasive diagnostic procedure with risk factors such as stroke and heart attack. Therefore, non-invasive methods should be used for the diagnosis of CAD. In this study, with increasing the number of learners and their nonlinear mixture, the accuracy of diagnosis was increased.

Keywords: Diagnosing Coronary Heart Disease, Artificial Neural Network, Mixture of expert.

• **Citation:** Hasanzadeh M, Zabbah I, Layeghi K. Diagnosis of Coronary Heart Disease using Mixture of Experts Method. Journal of Health and Biomedical Informatics 2018; 5(2): 274-285.

1. Ph.D in Higher Education Management, Assistant Professor, Nursing Dept., Torbat Heydarieh University of Medical Sciences, Torbat Heydarieh, Iran

2. PhD Student in Computer, School of Electrical and Computer, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3. Ph.D. in Computer, Assistant Professor, Department of Computer, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

***Correspondence:** Computer Dept., Islamic Azad University of Torbat Heydarieh, Khorasan Razavi, Iran

• **Tel:** 09159311050

• **Email:** imanzabbah@iautorbat.ac.ir