kahrobaonline.ir

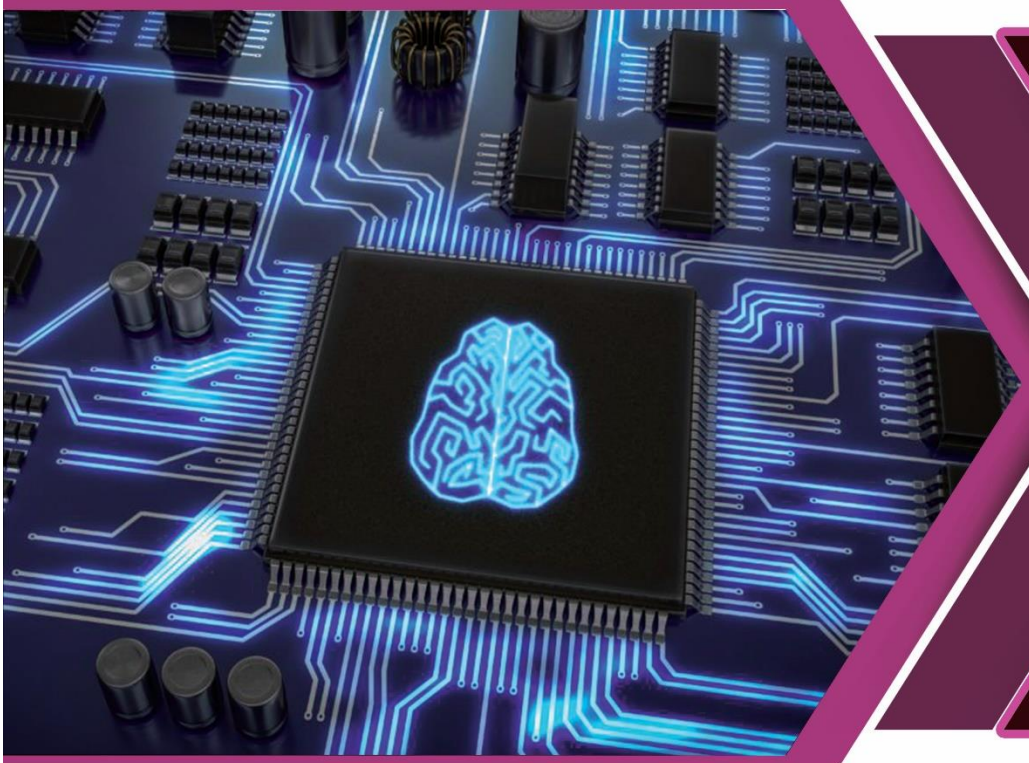
پاییز ۹۹
سال نهم

کهربا

شماره بیست و نهم

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

Journal of Electrical and Computer Engineering



فیبر کریستال فوتونی دایروی 26 حالته

دمای بافت های سرطانی سینه در طول درمان

بررسی سیستم عصبی عضلانی با یک مدل جامع

کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص خطای آسانسور

طراحی زیرساخت مخابراتی شبکه هوشمند در پایلوت نمونه

تشخیص الگوی ضربان پایه قلب جنین با استفاده از تکنولوژی هوش مصنوعی

پیش بینی سری زمانی آشوبی با استفاده از ترکیب نتایج پیش بینی کننده خطی و شبکه عصبی غیرخطی NARX

تشخیص نفوذ و ارتقای امنیت در شبکه صدا و سیمای مرکز بوشهر با استفاده از PCA و طبقه بندی ترکیبی

متا الگوریتم های پردازش تصویر و داده کاوی از معیارهای چندگانه بکاررفته در ثبت تصاویر پزشکی

ISSN :2322-3723

شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاداسلامی ۷۷۸۲۱



سال نهم

شماره بیست و نهم

پاییز 99

صاحب‌امتیاز

سایت نواندیشان

مدیرمسئول

مهدی عارف خیابانی

سردبیر

امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

دکتر میثم عسگری- ارشد برق- دکترای علوم و مهندسی کامپیوتر- استادیار دانشگاه OHSU پورتلند آمریکا

دکتر امیرحسین رحمانی – دکترای برق قدرت- مدیر گروه برق دانشگاه آزاد دزفول

دکتر ملیحه نیک سیرت- دکترای علوم کامپیوتر- استادیار دانشگاه صنعتی بیرجند

دکتر محمد دوستی زاده- دکترای برق، قدرت- مربی دانشگاه آزاد اسلامی خرم آباد

دکتر علویه میرفتح الهی- دکترای علوم اعصاب گرایش هوش مصنوعی- دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندس امین شیخ نجدی- استاد الکترونیک دانشگاه آزاد دزفول (مربی)

مهندس آزاد رحیمی – کارشناس ارشد برق قدرت- عضو هیئت علمی دانشگاه فنی و حرفه ای سنندج

مهندس مهسا سرائی – کارشناس ارشد برق مخابرات

مهندس علی کمالی- کارشناس ارشد برق قدرت – کارشناس پژوهشکده خودرو محیط زیست دانشگاه تهران

مهندس آرام قادری – کارشناس ارشد برق الکترونیک

مهندس سیما نیک پرور - کارشناسی ارشد مکاترونیک – دانشگاه تبریز

درباره کهربا	**3**
یادداشت مدیرمسئول	**4**
آشنایی با مشاهیر	
دکتر پرویز جبه‌دار مالانی- افتخار برق ایران	**5**
مقالات	
تشخیص الگوی ضربان پایه قلب جنین با استفاده از تکنولوژی هوش مصنوعی کریم فائز-هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر-دپارتمان برق و الکترونیک سمیرا حسنی-دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه آزاد قزوین-دانشجو کارشناسی ارشد	**7**
بررسی سیستم عصبی عضلانی با یک مدل جامع وحید رنجبر عین الدین-دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز-دانشجو کارشناسی ارشد مریم فریور-سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور-اداره کل استان اصفهان مهران کریمیان ریزی-دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز-دانشجو کارشناسی ارشد	**17**
متا الگوریتم‌های پردازش تصویر و داده‌کاوی از معیارهای چندگانه بکار رفته در ثبت تصاویر پزشکی عاطفه حسن زاده – هیئت علمی دانشگاه تهران– دپارتمان فنی زهرا آذرکیش – دانشکده فنی فومن پردیس تهران– دانشجو کارشناسی ارشد	**23**
فیبر کریستال فوتونی دایروی 26 حالته مهران کریمیان ریزی-دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز-دانشجو کارشناسی ارشد مریم فریور-سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور-اداره کل استان اصفهان وحید رنجبر عین الدین-دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز-دانشجو کارشناسی ارشد	**27**
پیش‌بینی سری زمانی آشوبی با استفاده از ترکیب نتایج پیش‌بینی کننده خطی و شبکه عصبی غیرخطیNARX مرضیه نحاسی-دانشکده تحصیلات تکمیلی تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان-کارشناسی ارشد مهدی کماندار–هیئت علمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان – دپارتمان برق و کامپیوتر	**35**
کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص خطای آسانسور مهران شیخی کاریزکی – دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند-دانشجو دکتری حلیمه شمشیری – کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی	**41**
دمای بافت‌های سرطانی سینه در طول درمان مهران کریمیان ریزی-دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز-دانشجو کارشناسی ارشد وحید رنجبر عین الدین-دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز-دانشجو کارشناسی ارشد	**49**
تشخیص نفوذ و ارتقا امنیت در شبکه صداو سیمای مرکز بوشهر با استفاده از PCA و طبقه بندی ترکیبی مریم جوکار – دانشجو کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی لیان بوشهر موسی مجرد– استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد فیروزآباد حسن رافعی نیا- مربی موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی لیان بوشهر	**55**
درباره کهربا	**63**

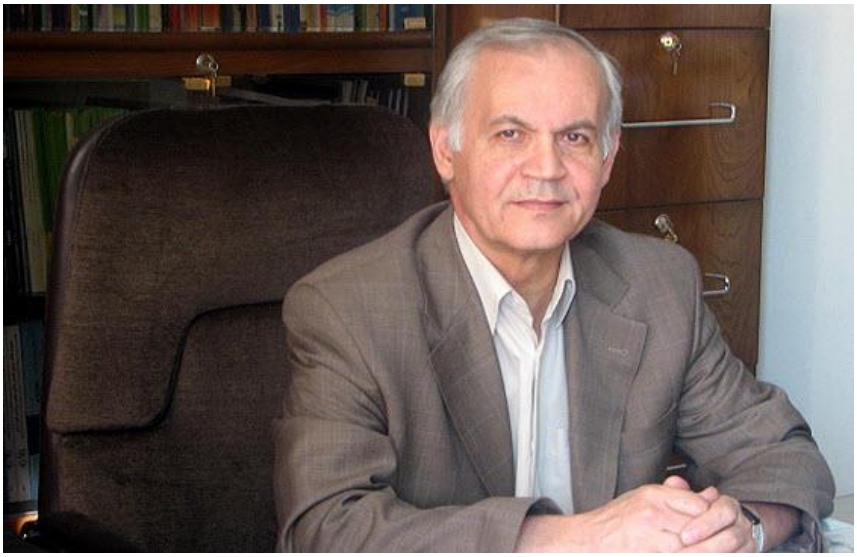
درباره کهربا

مجله الکترونیکی کهربا، باهمت و تلاش جمعی از دانشجویان و مهندسین برق، بخصوص اعضای انجمن علمی و پژوهشی نواندیشان، در سال هزار و سیصد و نود شروع به کارکرد. کهربا از سال ۹۱ با کسب شماره بین‌المللی استاندارد مجلات (ISSN:2322-3723) و ثبت در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران، به‌عنوان فصلنامه‌ای رسمی و تخصصی در حوزه صنعت برق شناخته‌شده است. این نشریه تخصصی در سال ۹۵ موفق به اخذ پروانه انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، با مجوز شماره ۷۷۸۲۱ و ثبت در سامانه جامع رسانه‌های کشور(e-rasaneh) و بانک اطلاعات نشریات کشور(magiran) گردید. در سال 97 طی تفاهم‌نامه‌ای با بانک مقالات کشور (سیویلیکا) موردحمایت این پایگاه قرارگرفته و مقالات ارائه‌شده به نشریه پس از انتشار در سیویلیکا نمایه شده و در نظام رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.

یادداشت مدیرمسئول

در نهمین پاییز از فعالیت نشریه کهربا و پس از انتشار بیست‌وهشت شماره از مجله مفتخریم با انتشار بیست و نهمین شماره از این نشریه در خدمت علاقه‌مندان این مجله تخصصی باشیم. تلاش ما از روز نخست، جمع‌آوری، تهیه و ارائه مطالبی ساده و کاربردی، درعین‌حال تخصصی، به قشر فرهیخته دانش‌پژوه و کسانی که مشتاق به دانستن علوم مهندسی برق و الکترونیک یا کامپیوتر هستند، بوده است. امید است با هدایت و راهنمایی شما هر شماره بهتر و پخته‌تر از شماره پیشین گردد. . امیداست که باهمت و همیاری دوستان بتوانیم قدمی هرچند کوچک، جهت جلب رضایت و بالا بردن سطح دانش شما برداریم؛ و روزبه‌روز شاهد پیشرفت و موفقیت‌های شما عزیزان باشیم.

آشنایی با مشاهیر



دکتر پرویز جبه‌دار مارالانی- افتخار برق ایران

دکتر پرویز جبه‌دار در سال 1320 در تبریز به دنیا آمده و دوران تحصیلات ابتدایی را در دبستان‌های تبریز گذرانده و در سال 1332 وارد دوره شده است. علاقه به ریاضیات از همان اوایل تحصیل در وی مشهود بود به‌طوری‌که اولین جایزه خود را در کلاس دوم ابتدایی به دلیل توانایی‌های خاصش در حل مسائل ریاضی دریافت کرده و در سال سوم متوسطه (کلاس نهم)، در مسابقات ریاضی در سطح استان آذربایجان شرقی رتبه اول را کسب کرد.

اگرچه حرفه پدر که دندان‌پزشک تجربی بود او را از کودکی به تحصیل در رشته دندان‌پزشکی علاقه‌مند کرده بود ولی وقتی در سال 1337 در کلاس یازدهم در مسابقات ریاضی در سطح استان آذربایجان شرقی رتبه اول را به دست آورد و به اردوی بهترین دانش آموزان در رامسر اعزام شد، سرنوشت تقدیر دیگری برای او رقم زده بود.

او نویسنده و استاد ممتاز بازنشسته مهندسی برق در دانشگاه تهران است و به‌عنوان یکی از چهره‌های شاخص مهندسی برق در ایران شناخته می‌شود. وی تحصیلات کارشناسی خود را در سال ۱۳۴۲ در دانشکده فنی دانشگاه تهران با کسب رتبه اول در رشته الکترومکانیک به پایان رساند.

پس‌ازآن با کسب بورس تحصیلی، تحصیلات خود را در دانشگاه کالیفرنیا، برکلی تا مقطع دکترا ادامه داد. سپس در آزمایشگاه‌های بل مشغول به کار شد که پس از مدتی ترجیح داد به ایران برگردد و به‌عنوان استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران به کار مشغول شود.

پرویز جبه‌دار چندین کتاب در زمینه مهندسی برق ترجمه و تألیف کرده است که بیشتر آن‌ها (مانند کتاب‌های نظریه اساسی مدارها، الکترومغناطیس میدان و موج و سیگنال‌ها و سیستم‌ها) در دانشکده‌های مهندسی برق ایران به‌عنوان مرجع استفاده می‌شود. همچنین دو عدد از این کتب «روش‌های کامپیوتری طرح و تحلیل مدار» و «سیستم‌های کنترل نوین» در سال‌ها ۱۳۶۷ و ۱۳۷۰ به‌عنوان کتاب سال جمهوری اسلامی معرفی گشته است. وی به‌عنوان استاد ممتاز و نمونه دانشگاه تهران و به‌عنوان اولین چهره ماندگار در رشته مهندسی برق نیز انتخاب شده است.

او عضو فرهنگستان علوم ایران، شورای انتشارات دانشگاه تهران، هیئت‌مدیره انجمن مهندسان برق و الکترونیک ایران، کمیته مهندسی برق شورای عالی برنامه‌ریزی و سرپرست کمیته علمی رشته مهندسی برق، المپیاد علمی دانشجویی و... نیز بوده است.

برخی عناوین و افتخارات دکتر جبه‌دار:

مهندس الکترومکانیک با تخصص برق، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

فوق‌لیسانس مهندسی برق با تخصص کنترل، دانشگاه کالیفرنیا – برکلی ۱۳۴۵

دکترای مهندسی برق با تخصص کنترل، دانشگاه کالیفرنیا – برکلی ۱۳۴۸

پژوهشگر مرکز تحقیقات بل آمریکا ۴۹ – ۱۳۴۸
آغاز فعالیت آموزشی و پژوهشی در دانشکده فنی دانشگاه تهران ۱۳۴۹
استاد ممتاز دانشگاه تهران مهرماه ۱۳۷۱
استاد نمونه دانشکده فنی دانشگاه تهران ۱۳۷۳
سرپرست انستیتو الکتروتکنیک دانشگاه تهران ۱۳۸۱
مدیر گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی دانشگاه تهران ۱۳۸۱
عضو فرهنگستان علوم ایران از سال ۱۳۷۱ تاکنون
سرپرست کمیته علمی رشته مهندسی برق، المپیاد علمی دانشجوی کشور از ۱۳۷۴ تاکنون
عضو شورای انتشارات دانشگاه تهران از سال ۱۳۶۵ تاکنون
عضو کمیته مهندسی برق شورای عالی برنامه‌ریزی از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۶۹
عضو هیئت‌مدیره انجمن مهندسان برق و الکترونیک ایران از سال ۱۳۷۸ تاکنون
عضو شورای عالی کانون فارغ‌التحصیلان دانشکده فنی دانشگاه تهران ۱۳۷۸ – ۱۳۷۰
جزو یکی از چهره‌های ماندگار سال ۱۳۸۱
برنده جایزه کتاب سال ایران در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۶۹
استاد مدعو دانشگاه واترلو، کانادا ۸۱ – ۱۳۸۱ (در فهرست مطالعاتی)
انتشار بیش از ۸۰ مقاله علمی در مجلات و کنفرانس‌های داخلی و خارجی

www.kahrobaonline.ir

تشخیص الگوی ضربان پایه قلب جنین با استفاده از تکنولوژی هوش مصنوعی

کریم فائز[1]، سمیرا حسنی[2]

[1] استاد،، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران kfaez@aut.ac.ir
[2] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد قزوین، قزوین، ایران
samira65hassani@gmail.com

چکیده: کاردیوتوکوگرافی (CTG) یک ابزار استاندارد برای کمک به بررسی سلامت جنین در دوران بارداری و زایمان می‌باشد. هدف اصلی این مقاله تشخیص و تفسیر خط پایه جهت تشخیص تاکیکاردی، برادیکاردی و نرمال بودن ضربان قلب جنین به‌صورت هوشمند بر اساس استاندارد (FIGO) می‌باشد. در این مقاله در نرم‌افزار متلب پس از شناسایی انواع نویز، شبکه عصبی MLP برای درون‌یابی فاصله‌های کمتر یا مساوی با 15 ثانیه و نقاط سیگنال سوزنی با فیلتر پایین گذر اصلاح شدند. و با اعمال فیلتر گوسین بیس لاین به‌صورت منحنی در هر بازه‌ی زمانی تعیین و ازنظر تشخیصی طبقه‌بندی شد.

و به مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش‌های دیگر و همچنین تفسیر کامپیوتری چند نمونه سیگنال با تفسیر بصری توسط پزشک متخصص زنان و زایمان نیز انجام شد. در سنجش و ارزیابی مدل هرمیت با مدل شبکه‌ی عصبی، با استفاده از روش اندازه‌گیری خطا بر اساس معیار RMSE در درون‌یابی فاصله‌ها، خطای شبکه‌ی عصبی و هرمیت به ترتیب برای نمونه داده آموزشی [1.8038,4.1859]، داده‌ی تست [1.5694,6.1753] به نسبت میانگین(4 به یک)، نتایج حاصله از به‌کارگیری فیلتر پایین گذر در اصلاح نقاط سیگنال سوزنی به نسبت 5 به 1 در مقایسه با روش‌های پیشین دارای عملکرد بالاتری بوده و دقت و عملکرد فیلتر گوسین در تعیین منحنی خط پایه در هر نقطه‌ی زمانی برای هر نمونه در بعضی موارد با اختلاف +- 5 بیانگر خطای کمتر و دقت بالایی در تقابل با نظر متخصص زنان و زایمان و سایر روش‌هاست.

کلیدواژه‌ها: *مانیتورینگ الکترونیکی ضربان قلب جنین، ضربان پایه قلب جنین، شبکه عصبی MLP، فیلتر گوسین*

مقدمه

ثبت الکتریکی ضربان قلب جنین (FHR)[1] نزدیک سه دهه است که به‌عنوان روش تشخیصی قابل قبولی پذیرفته‌شده است. هدف از مانیتورینگ جنین تشخیص هیپوکسی جنین و اقدام به‌موقع و پیشگیری از آسیفیکسی، مرگ جنین حین زایمان و صدمات نورولوژیک و مرگ‌ومیر نوزادی است. در این موارد پیش‌آگهی طولانی‌مدت به‌وضوح به ماهیت و شدت مشکل زمینه‌ای بستگی دارد اما با تشخیص به‌موقع، معالجات مناسب مامایی و نوزادی می‌توان خطر نتایج ناگوار را کاهش داد. [1و2]. علت اصلی انجام مانیتورینگ FHR توانایی تشخیص آسیفیکسی در مراحل اولیه و دادن اجازه مداخله به متخصص مامایی برای پیشگیری از عوارض نورولوژیک و مرگ جنین است.[3و4] استفاده بالینی از تست‌هایی قبل از زایمان با کاهش مورتالیتی(مرگ‌ومیر)و موربیدیتی(شیوع مرض، ناخوشی) همراه است. EFM[2] به دلیل آسان بودن و نداشتن کنتراندیکاسیون (منع مصرف) در بسیاری از مراکز مامایی جهان روش استاندارد ارزیابی قبل از زایمان است[5و6]. یکی از شاخص‌های مهم بهداشت هر کشوری مرگ‌ومیر مادران باردار و نوزادان می‌باشد. سیاست‌های موجود در سیستم بهداشت کشورها در تلاش‌اند تا این آمار را تا حد امکان پایین بیاورند. متأسفانه در کشور ما همچنان مرگ‌ومیر نوزادان و آمار مرده زایی بسیار بالاست [7] آمار مرگ‌ومیر نوزادان ایرانی، یک درصد است که ۴۵ درصد مرگ‌ومیر نوزادان در روز اول و ۷۸ درصد در هفته اول رخ می‌دهد.

[1] Fetal heart rate

[2] Electronic fetal monitoring

شایع‌ترین علت آن پس از نارسایی‌ها، ناهنجاری‌های نوزادان، اختلالات دوران نوزادی و آنسفالوپاتی ناشی از آسفیکسی گزارش شده است [8].

امروزه تکنولوژی دستگاه‌های مانیتورینگ موجود این قابلیت را دارد که چندین تغییر جنینی (ریتم قلبی، اشباع اکسیژن، حرکات آشکار بدن جنین) و مادری (ریتم قلبی، الکتروکاردیوگرام، اشباع اکسیژن و فشارخون) را یکجا نشان می‌دهد. دستگاه مانیتورینگ الکترونیکی قلب جنین، EFM از دو بخش تشکیل شده است. یک بخش آن ضربان قلب جنین را شناسایی و پردازش می‌کند و بخش دیگر شناسایی انقباضات رحمی را به عهده دارد. در حال حاضر EFM پرکاربردترین روش غربالگری سلامت جنین است و روشی ساده، غیرتهاجمی و ازنظر زمان و هزینه مقرون‌به‌صرفه می‌باشد. در بسیاری از موارد که احتمال دیسترس جنین وجود داشته باشد EFM انجام می‌شود و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در مورد ادامه یا ختم حاملگی تصمیم‌گیری می‌شود [9]

در این تست الگوی ضربان قلب جنین با استفاده از دستگاه مانیتورینگ الکترونیکی خارجی روی نوار ثبت می‌شود. تعاریف متعددی برای الگوی طبیعی در نظر گرفته شده است. آخرین تقسیم‌بندی عنوان شده توسط انستیتو ملی کودک و توسعه سلامت انسانی، کالج آمریکایی زنان و مامایی و انجمن طب مادر و جنین به این صورت می‌باشد که ارزیابی نوار قلب جنین به‌صورت سیستماتیک انجام می‌شود. یعنی جنبه‌های اساسی زیر به ترتیب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. انقباضات رحمی، ضربان پایه قلب جنین، تغییرپذیری ضربان پایه قلب جنین، وجود افزایش دوره‌ای ضربان قلب جنین، وجود کاهش دوره‌ای ضربان قلب جنین، تغییرات در ضربان پایه قلب جنین در طول زمان [10].

فعالیت پایه قلب جنین، به ویژگی‌های پایه‌ای گفته می‌شود که در صورت عدم وجود تسریع‌ها یا افت‌های دوره‌ای مرتبط با انقباضات رحم، حالت غالب دارند. ضربان پایه قلب جنین، معادل میانگین تقریبی ضربان است که در یک نوار 10 دقیقه‌ای، به افزایش‌های 5 ضربان در دقیقه"گرد"می‌شود. در هر فاصله 10 دقیقه‌ای، حداقل مدت پایه قابل تفسیر باید 2 دقیقه باشد [10].مقدار طبیعی ضربان پایه قلب جنین 160-110 ضربه در دقیقه است. البته به علت عدم بلوغ سیستم عصبی مرکزی[3] CNS و غالب بودن سیستم سمپاتیک در یک جنین نارس 20 هفته، ضربان قلب بین 170-150 ضربه در دقیقه [4](bpm) می‌باشد. این در حالی است که در سن بیشتر از 40 هفته ممکن است 120-110 ضربه در دقیقه باشد. این تعداد نشان‌دهنده کنترل غالب سیستم پارا سمپاتیک است [10].

برادیکاردی به پایین بودن غیرطبیعی میزان پایه ضربان قلب جنین (FHR)(کمتر یا مساوی 110 ضربان در دقیقه) به مدت 10 دقیقه یا بیشتر گفته می‌شود، و باید از تغییرات دوره‌ای FHR مثل انواع افت، افتراق داده شود. [11] نکته مهم اینکه، هرگونه کاهش ناگهانی FHR به کمتر از 110 ضربان در دقیقه را باید پاتولوژیک تلقی کرد مگر آنکه غیرازآن ثابت شود. ر تاکیکاردی به افزایش ضربان قلب جنین بیش از 160 ضربان در دقیقه را می‌گویند. با توجه به سیستم خون‌رسانی جنین و ارتباط مستقیم وضعیت جفت و ضربان قلب جنین در سیستم گردش خون رحمی جفتی هر یک از الگوهای فوق ممکن است به دلایل متفاوتی به وجود آیند ولی بررسی نوار قلب جنین می‌تواند نوع خطر و یا میزان آن را تا حدود زیادی تشخیص داده و اقدام به‌موقع گروه درمان را تسریع کند[12].

باوجود این تکنولوژی پیشرفته هنوز آمار فلج مغزی یا مرگ‌ومیر پره ناتال تغییر نکرده است. یکی از علت‌های مهم در این رابطه را می‌توان عدم تشخیص صحیح و اقدام به‌موقع پزشک یا مامای مسئول اعلام کرد، عدم دسترسی به متخصصین زنان در مناطق محروم، عدم به‌روزرسانی آموزش‌های کادر درمان بیمارستان‌ها ازجمله متخصصین زنان، ماماها و بهورزها، عدم وجود الگوریتم ثابت برای تشخیص اختلالات الگوی ضربان قلب جنین می‌تواند مراحل تشخیص را کند یا غیرقابل‌دسترس نماید [13]. اختلاف تشخیص بین افراد متفاوت و همین‌طور خود فرد در موقعیت‌های متفاوت از علل خطای تشخیص این روش کم‌هزینه و در دسترس غربالگری گزارش شده است [4و14].

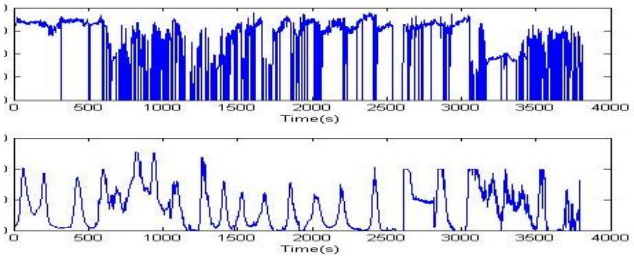
لذا این مطالعه در جهت بررسی دقت روش‌های هوش مصنوعی برای تشخیص اختلالات ضربان پایه قلب جنینی انجام شده است.

[3] Central nerveousv system

[4] Beat per minitus

مواد و روش‌ها

شکل (1) نمونه‌ای از نوار قلب جنین ضبط‌شده توسط دستگاه الکتروکاردیوگرافی (EFM) است. و شامل دو نمودار ضربان قلب جنین و انقباضات رحمی می‌باشد که نمودار بالایی همان ضربان قلب جنین (FHR) را نشان می‌دهد و نمودار پایینی انقباضات رحمی است. در نمودار بالایی محور افقی نمایانگر زمان برحسب ثانیه و محور عمودی نمایانگر مقدار ضربان قلب جنین برحسب ضربان در دقیقه است. همچنین در نمودار پایینی محور افقی بیانگر زمان برحسب ثانیه و محور عمودی بیانگر مقدار انقباض رحمی برحسب ضربان در دقیقه می‌باشد.



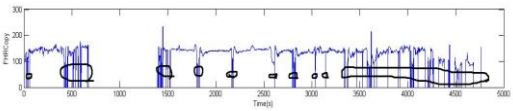
شکل (1) نمونه‌ای از نوار قلب جنین ضبط‌شده توسط دستگاه الکتروکاردیوگرافی (EFM) است.

نکته‌ی قابل‌توجه آن است که تعیین خط پایه بر روی نمودار FHR صورت خواهد گرفت. در سیگنال خوانده شده محدوده‌ی محور عمودی نمودار FHR به‌صورت بازه‌ی 200-40 مشخص شده است زیرا در تفسیر پزشکی محدوده‌ی ضربان قلب طبیعی بین 110 تا 160bpm می‌باشد چنانچه FHR بیشتر از 200 و کمتر از 40 شود جزء خطای دستگاه تلقی می‌شود و سیگنال در خارج از این بازه ارزش تشخیص گذاری را نداشته و از سیگنال حذف می‌شوند.[19] سیگنال خوانده‌شده دارای انواع نویزها می‌باشد. در این مقاله پس از شناسایی انواع نویزها [20]، طبقه‌بندی آن‌ها به‌صورت نقاط fall، نقاط سیگنال سوزنی و نقاط ازدست‌رفته (مقادیر نامعلوم) انجام گرفته است و برای اصلاح هرکدام از آن‌ها راهکار یا الگوریتمی پیشنهاد شده است.

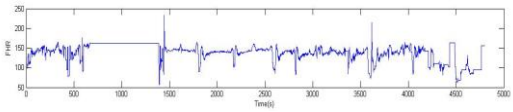
نقاط fall: به نقاطی که مقدار آن‌ها در سیگنال FHR در یک نمونه صفر بوده و در نمونه‌ی قبل و بعدازآن دارای مقدار غیر صفر باشد نقاط fall می‌گویند. جهت رفع نویز نقاط fall الگوریتمی پیشنهاد شد.

در الگوریتم پیشنهادی جهت شناسایی و رفع نقاط fallابتدا انواع نویزهای موجود در سیگنال شامل (نویز نقاط سیگنال سوزنی، نویز نقاط ازدست‌رفته و نویز نقاط fall) طبق تعاریف ارائه شده در تعریف نویزها، شناسایی و تفکیک می‌شوند. سپس در سیگنال دارای نویز نقاطfall، از ابتدای سیگنال شروع کرده و مقدار اولین نمونه از سیگنال با هر مقدار صفر یا غیر صفر که ا ست باقی ما نده از نمونه‌ی دوم به بعد تا آخرین نمونه اگر مقدار نمونه‌ای از سیگنال برابر با صفر بود مقدار (عدد FHR) آن نمونه با عدد یا مقدار FHR نمونه‌ی ماقبل آن جایگزین می‌شود. این روند تا آخرین نمونه‌ی سیگنال تکرار شده است. شکل(3) الف : نمودار ضربان قلب جنین (FHR) را نشان می‌دهد که محور افقی آن بیانگر زمان برحسب ثانیه و محور عمودی آن بیانگر مقدار ضربان قلب جنین برحسب ضربان در دقیقه می‌باشد. که نقاط fall به صورت ا شکال هند سی سیاه‌رنگ م شخص شده‌اند. ب: نمودار ضربان قلب جنین (FHR)، پس از رفع نویز نقاط fall موجود در نمودار الف می‌باشد. در این نمودار نیز محور افقی بیانگر زمان برحسب ثانیه و محور عمودی بیانگر مقدار ضربان قلب جنین برحسب ضربان در دقیقه است.

الف:



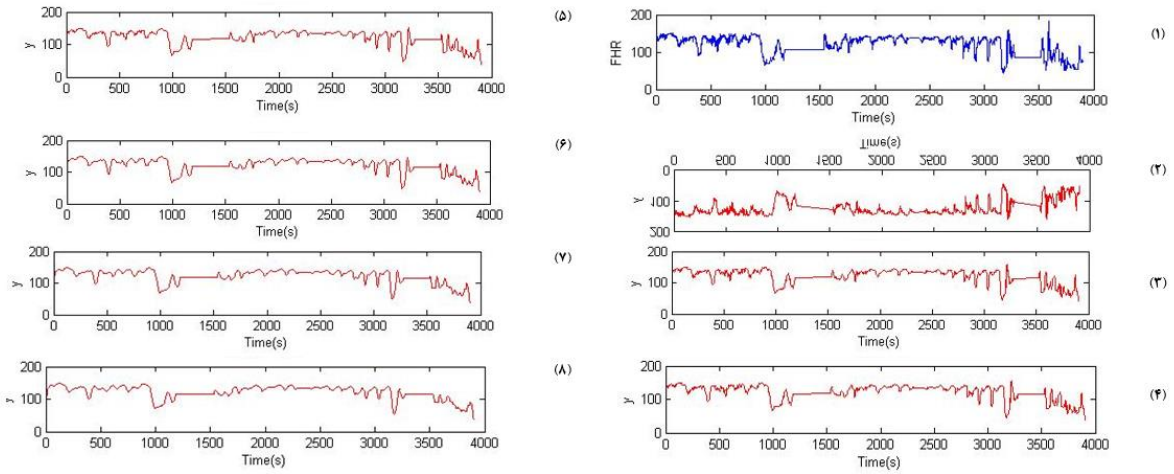
ب:



شکل (2) الف) نمودار ضربان قلب جنین، ب) اصلاح نقاط fall موجود در قسمت الف

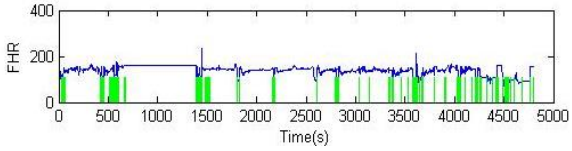
نقاط سیگنال سوزنی: در اصطلاح پزشکی خطوط تیز و بلندی در سیگنال هستند که فاصله‌ی بین پایین و بالای (دو انت ها‌ی) آن خطوط بیش از 25 بوده یعنی اختلاف مقادیر نمونه‌ها در این خطوط بی‌شتر یا م ساوی با 25 نمونه (عدد 25) می‌باشد.در تفسیر پزشکی، سیگنال سوزنی نویز هستند و باید ا صلاح شوند زیرا در

تشـــخیص ضـــربان پایه‌ی قلب جنین تأثیر نامطلوبی را به‌جا می‌گذارند .[19] در این مقاله جهت اصلاح نقاط سیگنال سوزنی از فیلتر گو سین ا ستفاده شد. در شکل(3)، مراحل اعمال فیلتر گوســین با اندازه‌ی پنجره‌های متفاوت w=1 تا اندازه‌ی پنجره‌ی w=30، پهنای باند 1/4و نرخ فرکانســی4 هرتز نشــان داده شده ا ست. که با روش آزمون سعی و خطا و فیلتر ا ندازه‌ی پنجره‌ی w=7 ســیگنال دارای نقاط (spike) اصلاح شده است.



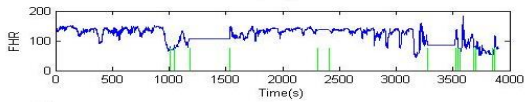
شکل (3) (1) نمودار ضربان قلب جنین (FHR) با نویز سیگنال سوزنی می‌باشد، (2) نویزگیری نمودار با w=1، (3) w=5، (4) w=7، (5) w=10، (6) w=15، (7)w=20 ، (8) w=30 است. در تمامی نمودارها محور افقی بیانگر زمان برحسب ثانیه و محور عمودی بیانگر مقدار ضربان قلب جنین برحسب ضربان در دقیقه است.

نقاط ازدست‌رفته‌ی سیگنال: مقادیر نامعلوم نمونه‌ها و یا نقاط گمشده در سیگنال‌ها می‌باشند که منجر به گسستگی سیگنال می‌گردد و به دو دسته فاصله‌های کمتر یا مساوی با 15 ثانیه و بیشتر از 15 ثانیه تقسیم می‌شوند. در تفسیر پزشکی فواصل باید درون‌یابی و اصلاح شوند. بنابراین در این کار ابتدا با الگوریتم پیشنهادی به شناسایی کل فواصل (فاصله‌های کمتر یا مساوی با 15 ثانیه و بیشتر از 15 ثانیه) پرداخته شده است و سپس برای اصلاح هر کدام از فاصله‌های مذکور روشی پیشنهاد شده است. در شکل (4) کل فاصله‌ها در نمونه‌ای از سیگنال FHR بر طبق الگوریتم پیشنهادی شناسایی و به‌صورت خطوط عمودی سبزرنگ در زیر سیگنال مشخص شده است.



شکل (4) شناسایی کل فواصل موجود در سیگنال ضربان قلب جنین

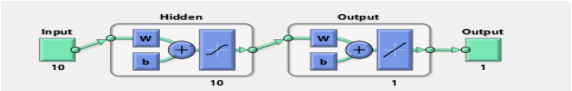
پس از شناسایی کل فواصل، حال برای اصلاح هر کدام از فاصله‌های بیشتر از 15 ثانیه همچنین فاصله‌های کمتر یا مساوی با 15 ثانیه نیاز به تفکیک و جداسازی فاصله‌ها از هم می‌باشد که برای تقسیم‌بندی و جداسازی فاصله‌های کمتر یا مساوی با 15 ثانیه از فاصله‌های بیشتر از 15 ثانیه الگوریتم پیشنهادی دیگری ارائه گردید. در شکل (5) فاصله‌های بیشتر از 15 ثانیه بر طبق الگوریتم پیشنهادی در نمونه‌ای از سیگنال FHR شناسایی و به‌صورت خطوط عمودی سبزرنگ در زیر سیگنال مشخص شده است.



شکل (5) فاصله‌های بیشتر از 15 ثانیه در سیگنال ضربان قلب جنین

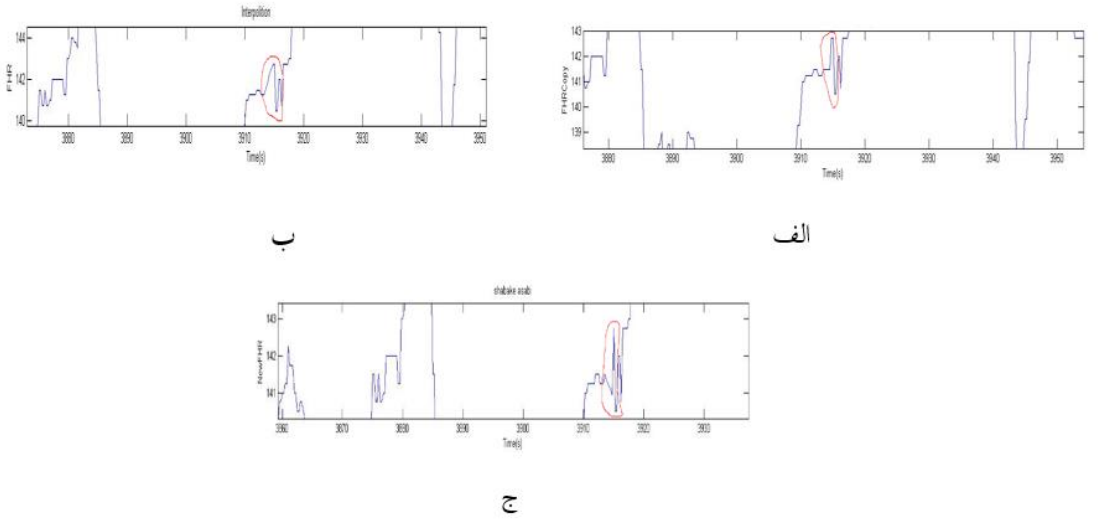
همچنین در این مقاله برای اصلاح فاصله‌های کمتر یا مساوی با 15 ثانیه از شبکه عصبی پیشنهادی استفاده شد و روش قبلی درون‌یابی هرمیت[نیز جهت مقایسه با روش پیشنهادی پیاده‌سازی و از فاصله‌های بیشتر از 15 ثانیه چشم‌پوشی شده است. شکل (6) نشان‌دهنده‌ی شبکه‌ی

عصبیMLP به همراه تعداد لایه‌های آن می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود شبکه‌ی پیشنهادی متشکل از سه لایه می‌باشد: یک بردار ورودی، یک لایه‌ی پنهان و یک لایه‌ی خروجی. نودهای بردار ورودی 10، لایه‌ی پنهان 10و لایه‌ی خروجی 1 است. تابع فعالیت در لایه‌ی پنهان تابع زیگموئید و تابع فعالیت لایه‌ی خروجی تابع خطی بوده همچنین الگوریتم یادگیری آن BP و نوع یادگیری شبکه، یادگیری با ناظر است.



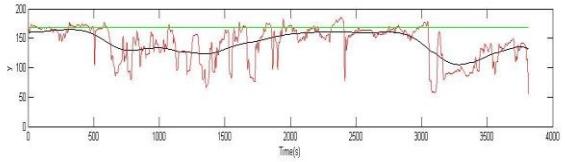
شکل (6) شبکه عصبی پیشنهادی

شکل (7)، (الف) نمونه‌ای از فاصله کمتر یا مساوی با 15 ثانیه بدون اصلاح به‌صورت منحنی بسته قرمزرنگ در سیگنال مشخص شده است و در (ب) و (ج) به ترتیب اصلاح فاصله‌ی مذکور در قسمت (الف) با استفاده از روش درون‌یابی هرمیت و شبکه‌ی عصبی به‌صورت منحنی بسته قرمزرنگ در شکل نشان داده شده است.



شکل (7) الف)نمونه‌ای از فاصله کمتر یا مساوی با 15 ثانیه در سیگنال ضربان قلب جنین، ب)اصلاح فاصله‌ی موجود در قسمت الف به روش درون‌یابی هرمیت، ج) اصلاح فاصله‌ی موجود در قسمت الف با استفاده از شبکه عصبی پیشنهادی

سپس برای تعیین منحنی بیس لاین از فیلتر گوسین با مشخصات: پهنای باند:1/4، باند فرکانس 4 هرتز[5] و اندازه‌ی پنجره‌ی فیلتر 400-50 استفاده شد. که با استفاده از این فیلتر، منحنی بیس لاین از روی سیگنال FHR، و همچنین پارامترهای تابع (نویزها و فاصله‌ها و ...) که به‌صورت میانگین وزنی می‌باشد و یک رابطه‌ی غیرخطی است تخمین زده شد و برای تعیین عدد بیس لاین با میانگین‌گیری از منحنی به‌دست‌آمده در هر ده دقیقه استفاده شد. شکل (8) منحنی بیس لاین به‌صورت منحنی سیاه‌رنگ و خط بیس لاین به‌صورت یک خط سبزرنگ بر روی سیگنال FHR مشخص شده است.



شکل (8) بیس لاین اولیه به رنگ خط سبز و بیس لاین ثانویه به شکل منحنی سیاه‌رنگ بر روی سیگنال ضربان قلب جنین

پس از مراحل فوق و تعیین عدد بیس لاین، کلاسه‌بندی آن به ترتیب زیر انجام گرفت:

[5] Hertz

1- ضربان پایه قلب جنین (بیس لاین) بین 110 تا 160 ضربه در دقیقه = ضربان نرمال قلب جنین

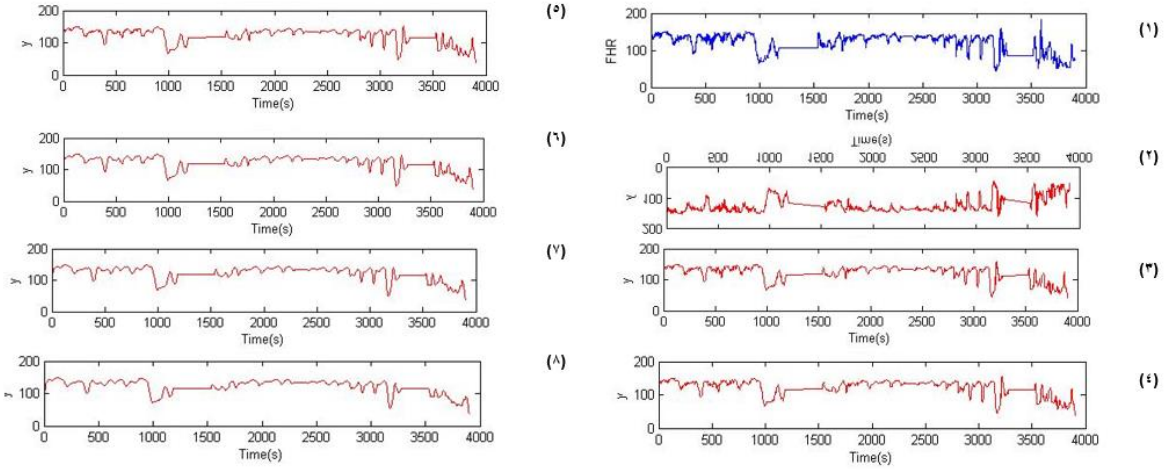
2- ضربان پایه قلب جنین (بیس لاین) بیشتر یا مساوی از 160 ضربه در دقیقه = تاکیکاردی قلب جنین

3- ضربان پایه قلب جنین (بیس لاین) کمتر یا مساوی از 110 ضربه در دقیقه = برادیکاردی قلب جنین [20]

یافته‌ها

در این مقاله برای به دست آوردن بانک اطلاعاتی (Data Base) از پایگاه داده‌ی CTU-UHBCTG استفاده شد که این نمونه‌ها مابین سال‌های 2009 و 2012 از دانشگاه ward بیمارستان در Brno گرفته شده است. [21]. و شامل اطلاعات میانگین سن مادر(29/8)، سن بارداری(37-43) و پیامدهای جنینی بود .[22] نرخ نمونه‌برداری این دستگاه hz4 بوده یعنی در هر 0.25 ثانیه یک نمونه‌برداری انجام شده است. مجموعه‌ای از 400 نوار قلب جنین به‌صورت تصادفی از بین 9164 نمونه انتخاب شد. [22]

پیاده‌سازی روش‌های پیشنهادی بر روی نرم‌افزار MATLAB 2014 و سیستم‌عامل ویندوز 10 انجام شد. در آزمایش اول هدف ارزیابی میزان تسریع و دقت خطای روش پیشنهادی و روش پیشین برای اصلاح نویز نقاط سوزنی spike در سیگنال است. در این آزمایش، با ارائه‌ی الگوریتم پیشنهادی در ابتدا جهت رفع نقاط نویزfall و سپس فیلترگذاری با پنجره‌های مختلف به روش آزمون سعی و خطا، مشخص گردید روش پیشنهادی با اندازه‌ی پنجره w=7 سریع‌تر نسبت به روش پیشین با اندازه‌ی پنجره‌ی w=30 به جواب یکسان در اصلاح نویزspike می‌پردازد. شکل9 نتایج حاصل از این آزمایش را در یک نمونه سیگنال ارائه نموده است. که این میزان بهبود عملکرد و کارایی و دقت روش پیشنهادی را مشخص می‌کند.



شکل (9) (1) نمودار ضربان قلب جنین (FHR) با نویز سیگنال سوزنی می‌باشد، (2) نویزگیری نمودار با w=1، (3) w=5، (4) w=7، (5) w=10، (6) w=15، (7)w=20 ، (8) w=30 است. در تمامی نمودارها محور افقی بیانگر زمان برحسب ثانیه و محور عمودی بیانگر مقدار ضربان قلب جنین برحسب ضربان در دقیقه است

آزمایش دوم

هدف این آزمایش ارزیابی خطا با استفاده از معیار RMSE در روش شبکه عصبی پیشنهادی و هرمیت برای درون‌یابی نقاط با مقادیر نامعلوم در سیگنال است. در این آزمایش،70 درصد از داده‌ها به داده‌های آموزشی تعلق گرفته است و کارایی روش پیشنهادی در پیدا کردن مقادیر نامعلوم سیگنال برای فاصله‌های کمتر از 15 ثانیه در چند نمونه سیگنال تصادفی ارزیابی‌شده است. همچنین، نتایج این آزمایش با نتایج حاصل از روش هرمیت مقایسه شده است.

جدول 1 نتایج حاصل از این آزمایش را ارائه نموده است. نتایج این آزمایش نشان داد خطای حاصل از روش پیشنهادی در نمونه‌ی تصادفی سیگنال اول برای داده‌ی آموزشی، 1.8038 و خطای حاصل در روش هرمیت به مقدار 4.1859 است که این میزان خطا به نسبت 1 به 3 است، همچنین در داده‌ی تست خطا 1 به 5 و در داده کلی 1 به 3 است. سه سیگنال تصادفی دیگر نیز میزان خطاها به ترتیب داده‌ی آموزشی، تست و داده کلی برای هر دو روش محاسبه شده است. واضح است در هر چهار نمونه سیگنال تصادفی میزان خطای روش پیشنهادی به‌مراتب خیلی کمتر از روش هرمیت می‌باشد که این میزان کارایی و دقت روش پیشنهادی را مشخص می‌کند.

جدول (1) نتایج حاصل از اندازه‌گیری خطا برای اصلاح فاصله‌ها- در دو روش درون‌یابی هرمیت[28,30] و روش پیشنهادی شبکه‌ی عصبی در چند نمونه سیگنال تصادفی بر اساس معیار RMSE

شماره‌ی سیگنال	داده‌ی آموزشی		داده‌ی تست		داده‌ی کلی	
	شبکه‌ی عصبی صفحه 50	درون‌یابی هرمیت	شبکه‌ی عصبی صفحه 50	درون‌یابی هرمیت	شبکه‌ی عصبی صفحه 50	درون‌یابی هرمیت
1	1.8038	4.1859	1.5694	6.1753	1.7368	4.8688
2	1.5085	4.9105	1.7080	2.4599	1.5710	4.3237
3	1.1632	6.8088	1.5867	7.3269	1.3048	6.9682
4	2.1524	4.7895	1.4441	2.1804	2.1608	4.0845

در جدول 2 نتایج تعیین بیس لاین مربوط به 10 سیگنال با استفاده از روش پیشنهادی و مقایسه با روش پیشین و نظر پزشک متخصص آورده شده است.

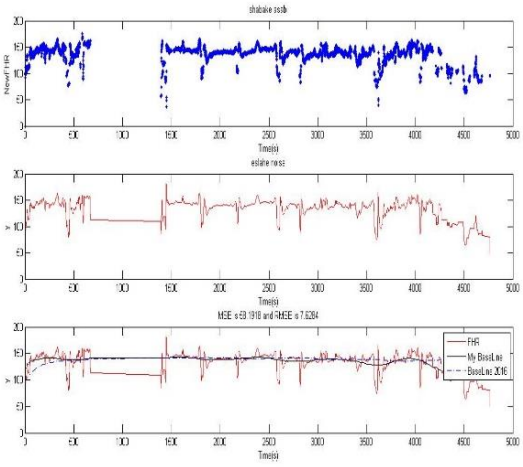
جدول (2) نتایج مقایسه‌ی روش پیشنهادی و روش پیشین با نظر متخصص زنان و زایمان

Record Number	Doctor	BL 2016	My BL
1001	140	142	**139**
1002	150	153	**152**
1010	130-140	**133**	**130**
1012	130	**127**	125
1014	130-150	**136**	**134**
1015	145	**140**	139
1016	140	133	**136**
1018	160	156	**158**
1020	150	152	**151**
1024	140	**131**	**138**

بحث

هدف این آزمایش ارزیابی روش پیشنهادی در تعیین عدد بیس لاین ازنظر دقت می‌باشد. جدول2 نتایج حاصل از این آزمایش را ارائه نموده است. نتایج این آزمایش نیز نشان داد روش پیشنهادی در تعیین عدد بیس لاین خیلی نزدیک‌تر به نظر پزشک متخصص زنان و زایمان نسبت به روش پیشین (مقاله‌ی 2016) شده است.

شکل 9 مقایسه‌ی روش پیشین در تعیین بیس لاین به‌صورت یک خط [23] با روش پیشنهادی در یک نمونه از سیگنال FHR را نشان می‌دهد.



جدول (2) نتایج مقایسه‌ی روش پیشنهادی و روش پیشین با نظر متخصص زنان و زایمان

نتایج روش‌های پیشین و نظر پزشک متخصص زنان و زایمان مقایسه شد که نتایج مقایسه‌ها نشان داد روش

پیشـــنهادی قادر اســـت ســـریع‌تر از روش مورد مقایســـه، نویزهای spike را اصلاح نماید و همچنین روش پیشنهادی شبکه عصبی نسبت به روش پیشین با دقت بالاتر و خطای کمتری، فاصـــله های کمتر از 15 ثانیه را درون یابی می‌نماید.و در پایان روش فیلترگذاری پیشنهادی نسبت به روش پیشـــین در تعیین عدد بیس لاین با دقت بالایی به نظر پزشـــک متخصـــص زنان و زایمان نزدیک بوده و طبق ایمیل های موجود برای تأیید یه گرفتن روش مذکور ســـازمان فدراســـیون بین‌المللی زنان و زایمان(FIGO) مشخص گردید روش پیشنهادی مورد تائید جهانی بوده و نسبت به روش‌های پیشین دقت بالا و خطای کمتری دارد.

منابع

[1] Parer J, Quilligan E, Boehm F, Depp R, Devoe LD, Divon M, et al, "Electronic fetal heart rate monitoring: Research guidelines for interpretation," *American journal of obstetrics and gynecology, 1997;177(6):1385-90.*

[2] Gandhi H, Kean L, " Electronic fetal heart rate monitoring," *British journal of hospital medicine (London, England: 2008;69(7):388-91.*

[3] Graham EM, Petersen SM, Christo DK, Fox HE, "Intrapartum electronic fetal heart rate monitoring and the prevention of perinatal brain injury," Obstetrics & Gynecology, 2006;108(3, Part 1):656-66.

[4] Turan S, Turan O, Berg C, Moyano D, Bhide A, Bower S, et al, " Computerized fetal heart rate analysis, Doppler ultrasound and biophysical profile score in the prediction of acid–base status of growth-restricted fetuses," Ultrasound in Obstetrics & Gynecology. 2007;30(5):750-6.

[5] Signorini MG, Magenes G, Cerutti S, Arduini D, "Linear and nonlinear parameters for the analysisof fetal heart rate signal from cardiotocographic recordings," IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2003;50(3):365-74.

[6] Tucker SM, " Pocket Guide to Fetal Monitoring and Assessment:" Mosby; 2004.

[7] Freeman RK, " Problems with intrapartum fetal heart rate monitoring interpretation and patient management," Obstetrics & Gynecology, 2002;100(4):813-26.

[8] Mendez-Bauer C, Poseiro J, Arellano-Hernandez G, Zambrana M, Caldeyro-Barcia R, "Effects of atropine on the heart rate of the human fetus during labor," *American journal of obstetrics and gynecology*, 1963;85(8):1033-53.

[9] Cunningham F, Leveno K, Bloom S, Hauth J, Rouse D, Spong C. "Labor induction. Williams Obstetrics," *23rd ed New York: McGraw-Hill. 2010:500-10.*

[10] Ayres-de-Campos D, Spong CY, Chandraharan E. "FIGO consensus guidelines on intrapartum fetal monitoring: Cardiotocography". *International Journal of Gynecology & Obstetrics. 2015;131(1):13-24.*

[11] Cunningham F, Leveno K, Bloom S, Hauth J, Rouse D, Spong C. "Williams Obstetrics 23rd Edition McGraw Hill". *New York. 2010:2010.*

[12] Gandhi H, Kean L. Electronic fetal heart rate monitoring. British journal of hospital medicine (London, England: 2005). 2008;69(7):388-91.

[13] Fox HE. Intrapartum electronic fetal heart rate monitoring and the prevention of perinatal brain injury. Obstetrics & Gynecology. 2006;108(3, Part 1):656-66.

[14] Bernardes J, Costa-Pereira A, Ayres-de-Campos D, Van Geijn H, Pereira-Leite L. Evaluation of interobserver agreement of cardiotocograms. International Journal of Gynecology & Obstetrics. 1997;57(1):33-7.

[15] Bertha Guijarro-Berdiñas*, Amparo Alonso-Betanzos, Oscar Fontenla-Romero 1. Laboratory for Research and Development in Artificial Intelligence, Department of Computer Science, Faculty of Informatics, University of A Coruña, Campus de Elviña s/n, *15071, A Coruña, Spain Received 27 July 1999; received in revised form 16 January 2001.*

[16] Noguchi Y, Matsumoto F, Maeda K, Nagasawa T. "Neural network analysis and evaluation of the fetal heart rate." Algorithms. 2009;2(1):19-30.

[17] Cristian Rotariu1, Alexandru Pasarica1, Gladiola Andruseac1, Hariton Costin1,2."Automatic Analysis of the Fetal Heart Rate Variability and Uterine Contractions". *2014 International Conference and Exposition on Electrical*

and Power Engineering (EPE 2014), 16-18 October, Iasi, Romania.

[18] Shahad Alyousif*, MA Mohd, Bilal B, M Sheikh and M Algunaidi." Rule-Based Algorithm for Intrapartum Cardiotocograph Pattern Features Extraction and Classification." 10.06.2015; Accepted: 29.09.2016; Published: 11.10.2016.

[19] George Georgoulas1 , Petros Karvelis2 , Jiří Spilka3 , Václav Chudáček3 ,Chrysostomos D. Stylios2 , Lenka Lhotská. "Investigating pH based evaluation of fetal heart rate (FHR) recordings." Received: 25 October 2016/Accepted: 30 May 2017.

20- بررسی NST و بررسی سلامت جنین (تفسیر مانیتورینگ الکترونیک، ضربان قلب جنین حین زایمان . اصول ارزیابی سلامت جنین) دکتر فاطمه رحیمی شعر باف، دکتر محبوبه شیرازی،1394

[21] Ji˘r´ı Spilka1 George Georgoulas2 Petros Karvelis2 Vangelis P. Oikonomou2 V´aclav Chud´a˘cek1 Chrysostomos Stylios2 Lenka Lhotsk´a1 Petr Jank˚u3. "Automatic evaluation of FHR recordings from CTU-UHB CTG database."

[22] George Georgoulas1 , Petros Karvelis2 , Jiří Spilka3 , Václav Chudáček3 , Chrysostomos D. Stylios2 , Lenka Lhotská. "Investigating pH based evaluation of fetal heart rate (FHR) recordings." Received: 25 October 2016/Accepted: 30 May 2017.

[23] Spilka J, Georgoulas G, Karvelis P, Oikonomou V, Chudáček V, Stylios C, et al. "Automatic evaluation of FHR recordings from CTU-UHB CTG database." In: Information technology in bio-and medical informatics; 2013. p. 47–61.

بررسی سیستم عصبی عضلانی با یک مدل جامع

وحید رنجبر عین الدین[1]، مریم فریور[2]، مهران کریمیان ریزی[3]

[1] دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، v.ranjbar98@ms.tabrizu.ac.ir
[2] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران، farivar.maryam@yahoo.com
[3]دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، mehrankarimian97@ms.tabriz.ac.ir

چکیده: یک چارچوب مدل‌سازی برای سیستم عصبی عضلانی در پنج مؤلفه ارائه شده است. مولفه‌ها عبارتند از: [1] مدل بیوفیزیکی *motoneuron pool* پیش‌بینی بکارگیری موتور یونیت و زمان*firing* موتور یونیت. [2] شرح بیوفیزیکی مبتنی بر اتصال جفت انقباض برانگیخته در سارکومرها که تعیین‌کننده استرس ناشی از چرخه متقابل پل از یک سارکومر است. [3] انتشار پتانسیل عمل در امتداد الیاف ماهیچه‌های اسکلتی بر اساس مدل مونودوماین [4] شرح مکانیکی پیوسته سه‌بعدی از هندسه ماهیچه از جمله توزیع واقعی واحد متغیر موتور یونیت برای محاسبه تغییر شکل‌ها و نیروی اعمال شده [5] مدل‌های پدیدارشناختی *muscle spindel* که بازخورد حسی را به سیستم اعصاب مرکزی ارائه می‌دهد. اجزا از طریق جریان اطلاعات کاملاً با یکدیگر همراه هستند و ساختن یک استراتژی جدا از زیرمولدهای مختلف غیرممکن است. مدل یکپارچه اجازه می‌دهد تا کل مسیر را از ورودی سوپراسپینال شبیه‌سازی کند تا تولید را مجبور به بررسی پدیده‌های مختلف سیستم عصبی و عضلانی و تجزیه و تحلیل فرضیه‌های مختلف فیزیولوژیکی کند.

کلید واژه: *عصبی، عضلانی، فیبر ماهیچه‌ای*

مقدمه

حرکت بدن انسان از طریق تعامل ماهیچه‌های اسکلتی و حرکات موتور نورون (MNs) امکان‌پذیر است. مدل‌های معمولی سیستم عصبی عضلانی (NMS) یا بر رویMN pool و یا بر روی عضله اسکلتی متمرکز می‌شوند. این مدل‌ها غالباً بصورت ایزوله ساخته می‌شوند و روشی یکپارچه نیستند.

در مقاله، چندین روش مختلف مدل‌سازی برای توصیف عملکرد NMS وجود دارد که به طور معمول، رویکردهای پدیدارشناختی و بیوفیزیکی از یکدیگر متمایز می‌شوند. به عنوان مثال[1]، فوگلوند و همکاران یک مدل پدیدارشناختی از MN pool و ماهیچه، که تولید نیروی با پارامترهایی مثل(میزان تخلیه MN ها، خواص چرخشی آن‌ها، و غیره) ناشی از مشاهدات تجربی را ارائه می‌دهند. از طرف دیگر، مدل هاجکین هاکسلی الکتروفیزیولوژی غشای سلولی تحریک آمیز را توصیف می‌کند. مدل[3و4] آن‌ها مبنای بسیاری از مدل‌های بیوفیزیکی MN و همچنین مدل‌های غشای سلول فیبر ماهیچه[5] را فراهم می‌کند. مدل‌های بیوفیزیکی پیچیده‌تر و گران‌تر از مدل‌های پدیدارشناختی هستند و به طور معمول فقط روی یکی از ویژگی‌های اتصال انقباض برانگیخته (ECC) تمرکز می‌کنند مثل دینامیک کلسیم[6] . یک halfsarcomere مبتنی بر مدل بیوفیزیکی (HSM) که کل ECC را توصیف می‌کند توسط شورتن و همکاران[7] توسعه یافته است. روهرل و همکاران[8] HSM را به یک مدل هندسی از کل عضله گسترش داده‌اند، و مقاله‌ای برای انتشار پتانسیل عمل (AP) در امتداد فیبرهای عضلانی [9] و تغییر شکل عضله بر اساس اصول مکانیک پیوسته

[10] را ارائه کردند. این مدل عضلانی با مدل MN پدیدارشناختی Fuglevand و همکاران همراه شده است.[1]

هدف از این کار، ایجاد یک مدل محاسباتی یکپارچه از سیستم عصبی عضلانی است که شامل پنج قسمت می‌باشد: یک مدل از MN pool، یک مدل عضله اسکلتی چند مقیاسه و چند مرحله‌ای (نیمه سارکومر، سطح فیبر و پیوسته) و یک مدل از muscle spindle تشکیل شده است. با استفاده از مدل یکپارچه سیستم عصبی عضلانی، می‌توان کل مسیر کنترل MN pool را برای انقباض عضله شبیه‌سازی کرد. این امر به بررسی و آزمایش فرضیه‌های فیزیولوژیکی می‌پردازد. برنامه‌های کاربردی بالقوه مدل محدود به تحریک الکتریکی عملکردی[11]، تجزیه و تحلیل موتور یونیت (MU) و توزیع فیبر MU [12]، و محاسبه سیگنال‌های EMG مجازی نمی‌شود.

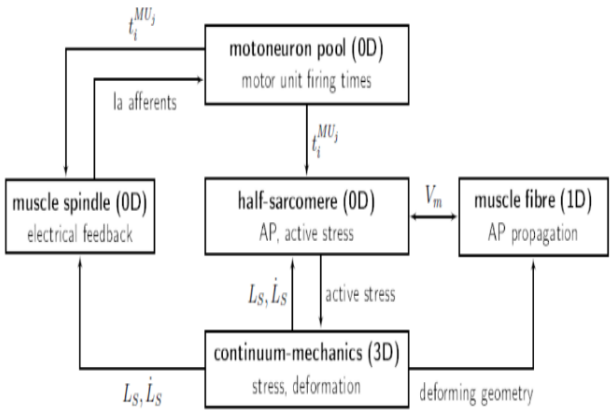
روش

نمای کلی از پنج قسمت پیشنهادی در شکل 1 نشان داده شده است. اجزای منفرد مدل از طریق تبادل اطلاعات، که از طریق فلش در شکل 1 به تصویر کشیده شده، با یکدیگر در تعامل هستند. تمام قسمت‌های مدل ورودی را دریافت می‌کنند و خروجی مورد نیاز بخش دیگری از مدل را تولید می‌کنند. بنابراین، هیچ بخشی به صورت جداگانه قابل حل نیست و کل مدل باید به روشی یکپارچه و همراه حل شود.

مدل motoneuron pool :

MN ورودی های سیناپسی از موتور کورتکس، interneurons و نورون های آوران را با هم ادغام می‌کند. بسته به ورودی یکپارچه، آلفا موتور نورون ممکن است پتانسیل تحریک پس سیناپسی را تخلیه کند. APS های عصبی در اتصالات عصبی-عضلانی به APS عضلانی تبدیل می‌شود. یک MN و تمام فیبرهای عضلانی که توسط این MN جذب می‌شوند، یک MU را ایجاد می‌کنند.

در این مطالعه، MN pool توسط یک مدل بیوفیزیکی Hodgkin Huxley از نوع الکتروفیزیولوژی غشایی[13و4]، تعیین زمان MU recruitment و زمان MU firing نشان داده شده است.



شکل 1 بررسی اجمالی مدل. پنج جعبه نشان‌دهنده پنج مؤلفه مدل هستند. فلش ها جریان اطلاعات را نشان می‌دهند. $t_i^{MU_j}$ زمان i-th firing موتور یونیت j را نشان می‌دهد، V_m ولتاژ غشایی، L_S طول سارکومر و $\dot{L}_S$ سرعت کوتاه کننده سارکومر است.

مدل نیمه سارکومر: پتانسیل عمل باعث آزاد شدن یون‌های کلسیم از شبکه سارکوپلاسمی به داخل پلاسمای سلول می‌شود. هنگامی که یون های کلسیم به واحدهای نظارتی (RU) یک سارکومر متصل می‌شوند، RU می‌تواند تغییراتی در شکل ایجاد کند به گونه ای که حفره های سر میوزین را بر روی رشته های اکتین مسدود کند. با وجود RU در حالت خنثی سازی، سرهای میوزین می‌توانند به رشته های اکتین بپیوندند تا پل های متقاطع (XB) را بسازند. حالا این پل های متقاطع که رشته اکتین را نسبت به رشته میوزین می‌کشد، به عنوان powerstroke شناخته می‌شود. به فرآیند اتصال سر میوزین، پاوراستروک و جدا شدن از رشته اکتین چرخه XB گفته می‌شود و مرحله اصلی تولید نیرو می‌باشد. ECC به مسیر تحریک الکتریکی گرفته شده تا انقباض و تولید نیرو از sarcomere گفته می‌شود. مدل نیمه سارکومر بیوفیزیکی بکار رفته در این کار، کل ECC را توصیف می‌کند که شامل الکتروفیزیولوژی غشایی، انتشار کلسیم و دینامیک، و چرخه XB است . پارامترهای مختلف برای شبیه‌سازی MU های چرخشی کند و سریع امکان‌پذیر است.

مدل فیبر عضلانی : پتانسیل عمل در امتداد فیبر انتشار می‌یابد و باعث چرخه XB در سارکومرهای مربوطه می‌شود.

انتشار AP توسط یک معادله به عنوان معادله مونودوماین اتصال جفت HSM های فردی با یکدیگر مدل‌سازی شده است[9].

مدل پیوسته مکانیکی کل عضله: ماهیچه‌های اسکلتی از الیاف عضله تشکیل شده است که به موازات هم تراز شده و در جهت جانبی از طریق ماتریس خارج سلولی به هم وصل می‌شوند. فیبر یک MU در بعضی از قسمت‌های سطح مقطع ماهیچه‌ها توزیع شده و با فیبرهای سایر MU ترکیب می‌شوند.

یک مدل هندسی از ماهیچه مورد نیاز است تا توزیع مکانی فیبر MU را در نظر بگیرد. در این بخش، یک مدل مکانیکی پیوسته از رفتار پسیو عضله با عملکرد فعال و ایجاد نیرو تقویت می‌شود[14]. هندسه ماهیچه و معادلات حاکم بر مکانیک پیوسته با استفاده از روش اجزاء محدود (FEM) گسسته می‌شود.

مدل muscle spindle :

گیرنده‌های حسی در muscle spindle و Golgi tendon به ترتیب تغییرات در طول عضله و تنش را تشخیص می‌دهند. تغییرات حس شده به سیگنال‌های الکتریکی منتقل می‌شوند که از طریق آوران‌های نورونی به سیستم اعصاب مرکزی منتقل می‌شوند. این فیدبک برای پایداری NMS مهم است، زیرا اطلاعات عصبی مرکزی را در مورد وضعیت عضلات ارائه می‌دهد. در این کار یک مدل پدیدارشناختی برای یک دوک عضلانی اتخاذ شده است.

مدل یکپارچه سیستم عصبی عضلانی:

یک مدل فیبر یک بعدی متشکل از HSMهای مرتب شده در مدل هندسی سه‌بعدی عضله تعبیه شده است. زمان MU firing که در مدل MN pool تعیین شده بود، به عنوان ورودی به مدل عضله استفاده می‌شود. هنگامی که MN مرتبط با آن تخلیه شود، یک جریان تحریک‌کننده بر روی HSM [7] واقع در محل اتصال عصبی عضلانی برای همه فیبرهایMU اعمال می‌شود. جریان تحریک‌کننده پتانسیل غشای غده را دپولاریزه می‌کند و پتانسیل عمل عضله را ایجاد می‌کند، که در امتداد فیبرها پخش می‌شود[9] و HSM ها را فعال می‌کند. HSM ها استرس فعال (تنش) تولید شده در عضله به دلیل چرخه XB را تعیین می‌کنند. مقادیر استرس فعال در معادله سازنده مکانیکی پیوسته همگن شده و درج می‌شوند[14و8]. مدل مکانیکی پیوسته، استرس موضعی و توزیع کرنش و هندسه تغییر شکل عضله به دلیل وجود بارهای خارجی و چرخه XB را تعیین می‌کند. به دلیل تغییر شکل هندسه ماهیچه، فیبرهای جاسازی شده تغییر شکل می‌یابد. ممکن است فیبرها بصورت موضعی کشیده یا فشرده شوند که این امر بر انتشار پتانسیل عمل عضله تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، اطلاعات مربوط به طول و سرعت محلی به عنوان ورودی برای HSM ها استفاده می‌شود، زیرا استرس فعال سارکومر می‌تواند به طول همپوشانی رشته و سرعت کوتاه شدن بستگی داشته باشد. اطلاعات مربوط به تغییر در طول سارکومر و سرعت انقباض نیز در مدل muscle spindle،[15] همراه با ورودی بدنه استاتیک و پویا بوسیله گاما موتور نورون ارائه می‌شود. مدلmuscle spindle بازخورد فیزیولوژیکی را ارائه می‌دهد که در مدلpool MN یکپارچه شده است.

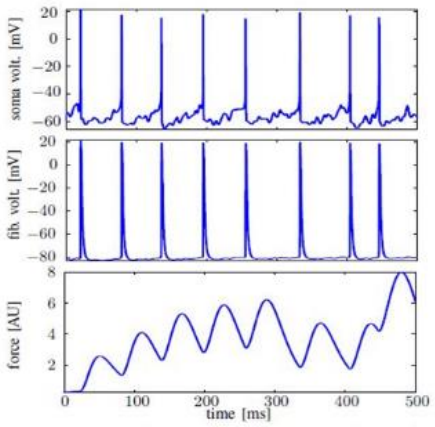
اطلاعات دقیق در مورد اجرا و ادغام عملی اجزای مختلف مدل (به عنوان مثال نرم افزار، مراحل زمان شبیه‌سازی، روش های راه حل) در [14] ارائه شده است.

نتیجه

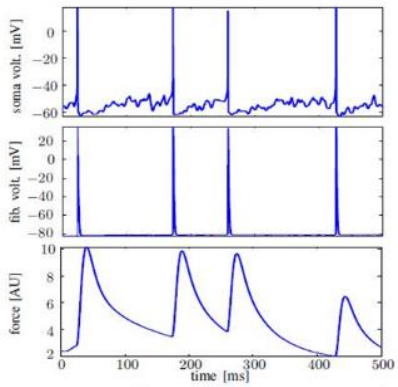
در این بخش، یک چارچوب مدل‌سازی منحصر به فرد برای NMS ارائه شده است. از این رو، اثبات مفهوم به جای طیف گسترده‌ای از نتایج نشان‌دهنده پتانسیل مدل برای یک برنامه خاص است.

ابتدا نتایج مربوط به اتصال بین مدل نوع هاچکین هاکسلی pool MN و مدل ماهیچه اسکلتی ارائه می‌شود. ورودی سیناپسی با نویزهای مشترک و مستقل به MN pool با 120 MN اعمال می‌شود. ورودی مشترک بیانگر اتصال مشترک بین MNها است، درحالی‌که ورودی مستقل مربوط به تغییرپذیری در پتانسیل‌های غشایی MNها است. براساس سیگنال ورودی کل و آستانه خاص آن، یک MN پتانسیل‌های بعد از سیناپس را با نرخ مشخصی تخلیه می‌کند. تخلیه MN در فیبرهای MU

بصورت پتانسیل عمل عضله ظاهر می‌شود. AP در امتداد الیاف MU تکثیر می‌شود و باعث انقباض در سارکومرها می‌شود.



شکل 2. در مقابل زمان برای کمترین میزان MU (Mu # 1)، ولتاژ غشای جسم سلولی (بالا)، ولتاژ غشای فیبر عضلانی (متوسط) و نیرو (پایین) است.



شکل 3. در مقابل زمان برای MU # 84، ولتاژ غشای جسم سلولی (بالا)، ولتاژ غشای فیبر عضلانی(متوسط)، و نیرو (پایین) است.

شکل 2 پتانسیل غشای سوما (بالا)، پتانسیل غشای فیبر عضلانی (وسط) و نیروی (پایین) یک فیبر در کمترین حالت MU (MU #1) را نشان می‌دهد. یک نقشه یکسان برای الیاف MU #84 (جایی که MU #1 کمترین سرعت و MU #120 سریع‌ترین MU است) در شکل 3 ترسیم شده است. همانطور که انتظار می‌رود، MU کوچکتر (MU #1) با سرعت بالاتری نسبت به MU شماره 84 تخلیه می‌کند. علاوه بر این، می‌توان درک کرد که چگونه هر AP عصبی به طور مستقیم به یک AP عضله و یک پاسخ پیچشی تبدیل می‌شود. همچنین باید توجه داشت که مدل‌هایی که بصورت یکپارچه حل شده‌اند پیشرفت قابل توجهی در مقایسه با مدل‌های قبلی داشته‌اند .

یک مدل هندسی از عضله قدامی تیبیالیس (TA) از مجموعه داده های یک مرد بصورت بصری ایجاد می‌شود.(16) اطلاعات توزیع فیبر بر اساس داده های MRI تنسور می‌باشد . 192 مدل فیبر عضلانی، که هر یک از آن‌ها 50 HSM است، در هندسه TA تعبیه شده و به 10 MU تقسیم می‌شوند. هر 10 MU در فرکانس بالا (50 100Hz) تحریک می‌شوند. شکل 4، APهای انتشار دهنده را در امتداد الیاف ماهیچه‌ها و تغییر شکل هندسه به دلیل تحریک کاربردی را نشان می‌دهد. آزمایش‌های عددی در شرایط ایزومتریک انجام می‌شود.

بحث

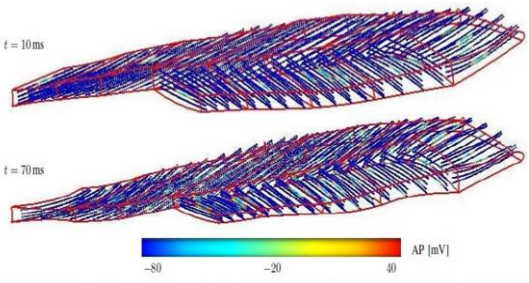
توسعه مدل‌های دقیق و یکپارچه NMS بسیار مهم است زیرا می‌توانند بینش جدیدی از فیزیولوژی زمینه ای را ارائه دهند. در مدل‌های موجود NMS،[13و14] ماهیچه توسط معادلات تحلیلی ساده توصیف می‌شود که اجزای مکانی عضله را در نظر نمی‌گیرند. با این حال، توزیع فیبرهای MU بر روی برخی از قسمت‌های عضلات از سطح مقطع و درهم آمیختگی آن‌ها با فیبرهای MU های مختلف می‌تواند به میزان قابل‌توجهی بر خروجی نیرو تأثیر بگذارد. علاوه بر این، مدل‌های موجود از NMS،[1و4] بازخورد فیزیولوژیکی را شامل نمی‌شود. برای شبیه‌سازی واقع گرایانه NMS، مکانیسم‌های بازخورد باید در نظر گرفته شود.

مدل یکپارچه محدودیت دارد. HSM [7] کاملاً پیچیده است و شامل تعداد زیادی پارامتر است. بسیاری از این پارامترها به راحتی برای هر عضله و هر گونه موجود نیستند و تعیین بسیاری از آنها دشوار است. اگرچه HSM مبتنی بر چندین مدل ثابت است و در عضلات سولئوس موس و EDL تأیید شده است، اما عدم اطمینان مقادیر پارامتر وجود دارد. علاوه بر این، اگرچه مؤلفه‌های جداگانه مدل اعتبارسنجی شده است، اعتبارسنجی مدل کلی بسیار دشوار است، و هنوز کامل نشده است.

در حالی‌که مدل‌های بیوفیزیکی برای MN pool و شرح ECC استفاده می‌شود، یک مدل پدیدارشناختی[15] برای muscle

spindle در چارچوب پیشنهادی گنجانده شده است. از نظر نویسندگان، در حال حاضر هیچ مدل بیوفیزیکی muscle spindle وجود ندارد و احتمالاً لازم نیست.

در بدن، عضلات از طریق تاندون به استخوان متصل می‌شوند. چارچوب ارائه شده توضیحی در مورد تاندون ندارد. یک مدل مکانیکی مداوم از تاندون می‌تواند یکپارچه شود اما باعث افزایش بیشتر پیچیدگی کلی مدل می‌شود.



شکل 4. مدلی از عضله قدامی Tibialis می باشد، انتشار پتانسیل عمل در پاسخ به تحریک زیاد در هر MU 10 و تغییر شکل عضله در زمان t = 10,40 و 70 میلی ثانیه.

به ویژه، تفاوت زیاد در خصوصیات مواد بافت عضله و تاندون، محلول سیستم مکانیکی زنجیره را پیچیده می‌کند. از آنجایی که تاندون در مدل در نظر گرفته نشده است، اندام های Golgi tendon نیز اجرا نمی‌شوند[17]. در اینجا، muscle spindle مهمترین گیرنده‌های حسی تصور می‌شود[15].

علاوه بر این، هیچ مدلی برای اتصالات عصبی عضلانی در چارچوب گنجانده نشده است. این به هیچ‌وجه در شرایط فیزیولوژیکی محدودیتی محسوب نمی‌شود. فرض بر این است که اتصالات عصبی عضلانی AP عصب را به AP عضلات تبدیل می‌کند. برای بررسی‌های انجام شده در حال حاضر در مورد ماهیچه‌های سالم، الگویی از اتصالات عصبی عضلانی ضروری نیست.

با توجه به پیچیدگی محاسباتی مدل، در حال حاضر امکان شبیه‌سازی تعداد واقعی فیبرهای ماهیچه ای وجود ندارد. [12] در یک تجزیه و تحلیل از قدرت عضله از تعداد فیبرهای تعبیه شده متفات است.

چارچوب مدل به روشی کلی تنظیم شده است که امکان بررسی پدیده‌های مختلف را فراهم می‌کند. کل مسیر از ورودی قشر مغزی تا تولید نیرو را می‌توان با استفاده از مدل یکپارچه شبیه‌سازی کرد. علاوه بر این، HSM حاوی توضیحی[7] از خستگی متابولیک است. خستگی بر تولید نیرو در انقباضات پایدار تأثیر می‌گذارد. از مدل یکپارچه می‌توان برای بررسی تأثیر خستگی متابولیک بر رفتار کل عضله استفاده کرد. با توجه به ادغام مکانیسم های بازخورد الکتریکی از طریق muscle spindle، می‌توان تأثیر تغییرات طول، سرعت و تحریک گاما موتور نورون بر MNS را مورد بررسی قرار داد.

مراجع

[1] A. J. Fuglevand, D. A. Winter, and A. E. Patla, “Models of recruitment and rate coding organization in motor unit pools,” *Journal of Neurophysiology*, vol. 70, no. 6, pp. 2470–2488, 1993.

[2] A. L. Hodgkin and A. F. Huxley, “A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve,” *The Journal of Physiology*, vol. 117, no. 4, pp. 500–544, 1952.

[3] R. R. Cisi and A. F. Kohn, “Simulation system of spinal cord motor nuclei and associated nerves and muscles, in a Web-based architecture,” *Journal of Computational Neuroscience*, vol. 25, no. 3, pp. 520–542, 2008.

[4] F. Negro and D. Farina, “Decorrelation of cortical inputs and motoneuron output,” *Journal of Neurophysiology*, vol. 106, no. 5, pp. 2688–2697, 2011.

[5] W. Wallinga, S. L. Meijer, M. J. Alberink, M. Vliek, E. D. Wienk, and D. L. Ypey, “Modelling action potentials and membrane currents of mammalian skeletal muscle fibres in coherence with potassium concentration changes in the t-tubular system,” *European Biophysics Journal*, vol. 28, no. 4, pp. 317–329, 1999.

[6] S. M. Baylor and S. Hollingworth, "Model of Sacomeric Ca2+ Movements, Including ATP Ca2+ Binding and Diffusion, during Activation of Frog Skeletal Muscle," *The Journal of General Physiology*, vol. 112, no. 3, pp. 297–316, 1998.

[7] P. R. Shorten, P. O'Callaghan, J. B. Davidson, and T. K. Soboleva, "A mathematical model of fatigue in skeletal muscle force contraction,"*Journal of Muscle Research and Cell Motility*, vol. 28, no. 6, pp. 293–313, 2007.

[8] O. Roh ¨ rle, J. B. Davidson, and A. J. Pullan, "Bridging scales: a three-dimensional electromechanical finite element model of skeletal muscle," *SIAM Journal on Scientific Computing*, vol. 30, no. 6, pp.2882–2904, 2008.

[9] J. P. Keener and J. Sneyd, *Mathematical Physiology*. Springer, 1998,vol. 8.

[10] O. Roh ¨ rle, "Simulating the electro-mechanical behavior of skeletal muscles," *IEEE Computing in Science and Engineering*, vol. 12, no.6,pp. 48–58, 2010.

[11] J. H. Kim, M. L. Trew, A. J. Pullan, and O. Roh ¨ rle, "Simulating a dualarray electrode configuration to investigate the influence of skeletal muscle fatigue following functional electrical stimulation," *Computers in Biology and Medicine*, 2012.

[12] O. Roh ¨ rle, J. B. Davidson, and A. J. Pullan, "A physiologically based, multi-scale model of skeletal muscle structure and function," *Frontiers in Physiology*, vol. 3, 2012.

[13] J. Dideriksen, F. Negro, R. Enoka, and D. Farina, "Motor unit recruitment strategies and muscle properties determine the influence of synaptic noise on force steadiness," *J Neurophysiol*, vol. 107, no. 12, pp. 3357–3369, 2012.

[14] T. Heidlauf and O. Roh ¨ rle, "A parallel framework for a multiscale chemo-electro-mechanical skeletal muscle model," *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, submitted.

[15] M. P. Mileusnic, I. E. Brown, N. Lan, and G. E. Loeb, "Mathematical Models of Proprioceptors. I. Control and Transduction in the Muscle Spindle," *Journal of Neurophysiology*, vol. 96, no. 4, pp. 1772–1788,2006.

[16] V. M. Spitzer and D. G. Whitlock, "The visible human dataset: The anatomical platform for human simulation," *The anatomical record*, vol. 253, no. 2, pp. 49–57, 1998.

[17] M. P. Mileusnic and G. E. Loeb, "Mathematical Models of Proprioceptors. II. Structure and Function of the Golgi Tendon Organ," *Journal of Neurophysiology*, vol. 96, no. 4, pp. 1789–1802, 2006. self tolerance and autoimmunity. Nature 2005,435(7042):590-597.

متا الگوریتم‌های پردازش تصویر و داده‌کاوی از معیارهای چندگانه بکار رفته در ثبت تصاویر پزشکی

عاطفه حسن‌زاده[1] زهرا آذرکیش[2]

[1] استادیار- دانشکده فنی فومن- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران Hasanzadeh.a@ut.ac.ir

[2]دانشجوی کارشناسی فناوری اطلاعات، دانشکده فنی فومن-پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران Zahra.azarkish@ut.ac.ir

چکیده: در این مقاله معیارهای گوناگون ثبت تصویر اعم از معیارهای مبتنی بر شدت و معیارهای آماری مطرح شده است. با توجه به آن‌ها نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر و تنظیم پارامترها در ثبت تصاویر پزشکی مطالعه شده است، زیرا رصد نتایج به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی معیارهای بکار رفته امکان تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه روش‌های پردازش تصویر فراهم می‌آورد. استفاده از متا الگوریتم در ثبت تصویر در نظر گرفته شده است که با بسیاری از الگوریتم‌های پردازش تصویر قابل استفاده است. روش‌های داده‌کاوی نیز برای شناسایی روابط در بین الگوریتم‌ها و معیارها مطالعه شده است. داشتن مقادیر معیارهای چندگانه برای توسعه فرایند پردازش تصویر و تنظیم پارامترها حائز اهمیت است، اما درعین‌حال پیامدهایی را نیز در بردارد که به آن‌ها نیز پرداخته شده است.

کلیدواژه‌ها: *پایگاه داده، پردازش تصویر، متا الگوریتم، معیارهای آماری، معیارهای مبتنی بر شدت*

مقدمه

معیارهای جدیدی در زمینه ثبت تصویر بالأخص در حوزه زیست پزشکی کشف و بررسی شده است که هم معیارهای اختلاف / تمایز و هم معیارهای تشابه را در بر می‌گیرد. دلایل زیادی برای علاقه‌مندی به این معیارها وجود دارد. بااین‌وجود، فراوانی روش‌های نا شی از سیستم تصویربرداری با کارایی بالا، بالأخص در پزشکی، معضلی اساسی برای پزشکان است و این سؤال اساسی مطرح می‌شود که از کدام متریک باید استفاده شود؟

برای پاسخگویی به این سؤال تلاش‌هایی صورت گرفته است که منجر به دست‌یابی به الگوها و الگوریتم‌هایی با استفاده از معیارهای ارزیابی چندگانه شده است و نتایج بهتری را در زمینه پردازش تصویر به همراه داشته است [1-4]، که از آن‌ها برای ثبت در تصویربرداری پزشکی می‌توان استفاده نمود.

در این مقاله دو خانواده از معیارهای تشابه تصویر در نظر گرفته شده است: معیارهای مبتنی بر شدت (معیارهای شدت یا مقادیر درخشندگی وکسل‌ها) و معیارهای آماری (معیارهای توزیع آن‌ها).

استفاده از چندین معیار در پردازش تصویر به این دلیل دارای اهمیت است که اندازه‌گیری‌ها اقدامات اجرایی هستند، بنابراین آگاهی از آن‌ها شرط لازم برای یک عملکرد خوب است. انتخاب نوعِ الگوریتم می‌تواند عواقب مهم و تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد داشته باشد. همچنین الگوریتم ها به‌نوبه خود محدودیت‌های بالقوه‌ای در عملکرد پردازش تصویر دارند. از این منظر، روش‌های پردازش تصویر نقش بهینه‌ساز را ایفا می‌کنند که بر فرضیات مربوط به توزیع‌های به‌دست‌آمده از تصاویر استوار بوده و اعتبار سنجی این توزیع‌ها را بر عهده دارند.

معیارهای گوناگونی در بخش 2 مطرح شده است که نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر و تنظیمات پارامتر را می‌توان برحسب آن‌ها ارزیابی کرد و مقادیر متریک را می‌توان با داده‌کاوی تجزیه‌وتحلیل نمود تا بهترین نتایج را به دست آورد.

رصد نتایج به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی معیارهای بکار رفته امکان تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه روش‌های پردازش تصویر فراهم می‌آورد. استفاده از یک متا الگوریتم در ثبت تصویر در نظر گرفته شده است، این روش با بسیاری از الگوریتم‌های پردازش تصویر قابل استفاده است. روش‌های داده‌کاوی نیز امکان شناسایی روابط در بین الگوریتم‌ها و معیارها را فراهم می‌آورد.

توجه به این نکته ضروری است که هر معیار دارای نقاط قوت و

ضعفی است و منجر به قرارگیری آن در رده‌ای خاص از روش‌های پردازش تصویر می‌شود. اما همه آن‌ها در این واقعیت مشترک‌اند که هیچ الگوریتمی نمی‌تواند از معیار مورداستفاده برای ارزیابی آن بهتر باشد. به‌طور معادل، ارزیابی مناسب کارایی یک الگوریتم نیازمند در نظر گرفتن معیارهای متعدد است. پیامدهای به‌کارگیری معیارهای چندگانه در بخش 3 مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

معیارهای تصویر

اگر R و S دو تصویری هستند که بایستی با یکدیگر مقایسه شوند، معیار مورد بررسی $D(R,S)$ است که در اینجا D مقدار شباهت را نشان می‌دهد که به‌عنوان یک متریک یا متر تعبیر می شود. اگرچه متریک‌های بسیاری وجود دارد، معمولاً شباهت بین تصاویر به‌عنوان تابعی از شدت (درخشندگی) یا توزیع شدت وکسلهای مربوطه در بین تصاویر مشخص می شود یا بر اساس مورفولوژی ویژگی‌های موجود در هر دو تصویر است.

همه ساله مقالات زیادی در زمینه ثبت تصاویر پزشکی منتشر می‌شود که متریک‌های جدیدی را معرفی می‌کند. متریک‌هایی که در جدول 1 مطرح شده‌اند، شامل معیارهای مبتنی بر شدت هستند (که فقط به شدت وکسل‌ها متکی هستند) و معیارهای آماری که مبتنی بر توزیع این شدت‌ها هستند که در آن، N اندازه تصاویر (تعداد کل پیکسل‌ها) است و x موقعیت‌های وکسل را نشان می‌دهد.

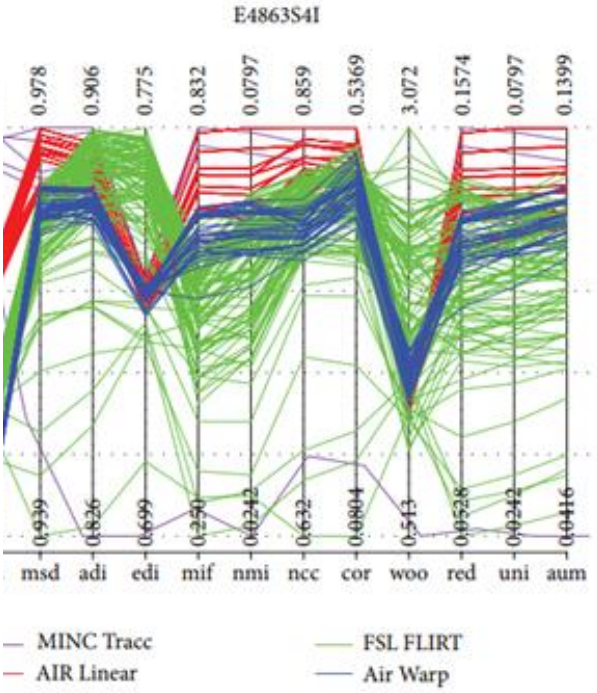
جدول 1: برخی معیارهای تصویر آماری و مبتنی بر شدت

ردیف	نام معیار	ضابطه
1	میانگین مربعات اختلاف شدت‌ها	$msd(R,S)=\frac{1}{N}\sum_x (R(x)-S(x))^2$
2	قدر مطلق اختلاف شدت‌ها	$adi(R,S)=\frac{1}{N}\sum_x \lvert R(x)-S(x)\rvert$
3	آنتروپی شانون از اختلاف شدت‌ها	$edi(R,S)=\frac{1}{N}\sum_x p(R(x)-S(x))\log p(R(x)-S(x))$
4	اطلاعات متقابل	$mif(R,S)=I(R,s)=H(R)+H(S)-H(R,S)$
5	اطلاعات متقابل نرمالایز شده	$nmi(R,S)=\frac{I(R,S)}{H(R,S)}+1=\frac{H(R)+H(S)}{H(R,S)}$
6	همبستگی متقاطع نرمالایز شده	$ncc(R,S)=\frac{\mathrm{cov}(R,S)}{\sigma_R\sigma_S}$
7	همبستگی	$\mathrm{cor}(R,S)=1-\frac{1}{N}\sum_i \frac{N(i)\sigma^2(i)}{\sigma^2}$
8	جنگل	$woo(R,S)=1-\frac{1}{N}\sum_i \frac{N(i)\sigma(i)}{\mu(i)}$
9	فراوانی	$red(R,S)=\frac{I(R,S)}{H(R)+H(S)}=1-\frac{H(R,S)}{H(R)+H(S)}$
10	یک متریک جهانی	$uni(R,S)=1-\frac{I(R,S)}{H(R,S)}=2-\frac{H(R)+H(S)}{H(R,S)}$
11	متریک جهانی دیگر	$aum(R,S)=1-\frac{I(R,S)}{\max(H(R),H(S))}$

در متریک‌های همبستگی و جنگل اندیس i روی مقادیر شدت تغییر می‌کند و $N(i)$ تعداد وکسل را در $\mu(i)$ و $\sigma^2(i)$ نیز میانگین و واریانس شدت‌های S در موقعیت‌های وکسل یکسان‌اند. همبستگی متقابل نرمالایز شده همبستگی وکسل مانند با میانگین و انحراف استاندارد محاسبه شده بر روی کل تصویر است.

متریک‌ها به نوع برنامه و به روش‌های ورودی تصاویر بستگی دارد. معیارهای موجود در جدول 1 نشان می‌دهد که چگونه هر متریک نقاط قوت و ضعف خود را در هنگام استفاده از دسته‌بندی از روش‌های تصویر نشان می‌دهد. برخی از متریک‌ها برای دسته‌بندی‌های خاص طراحی شده‌اند و یا هدفمند هستند و بنابراین نمی‌توانند کلیه انواع تصویر و کیفیت‌های ممکن موجود در یک برنامه خاص را شامل شوند. برای اینکه امکان مقایسه‌ای بین متریک‌های گوناگون وجود داشته باشد، همه مقادیر در بازه $[0,1]$ امتیازدهی می‌شوند و 1 به‌عنوان حد مطلوب و بهینه در نظر گرفته شده است.

به‌عنوان یک نمونه مقایسه‌ای و در حوزه تصویربرداری پزشکی، شکل 1 تمام مقادیر متریک‌ها را برای 186 نوع مختلف از تصویر تولیدشده توسط چهار ابزار ثبت تصویر را نشان می‌دهد.



شکل 1: این نقشه مختصات موازی نمایش تصویری از یازده مقدار متریک ما برای 186 نوع مختلف تصویر E4863S4I، تولیدشده توسط چهار ابزار ثبت تصویر شامل AIR Warp آبی، AIR Linear قرمز، FSL FLIRT سبز و MINC Tracc بنفش [5].

مقادیر متریک بالاتر "بهتر" بوده و شباهت بیشتر یا فاصله کمتری را نشان می‌دهد. هر مسیر در سراسر طرح، ردیف 11 مقدار متریک به‌دست‌آمده توسط یک تصویر را ارائه می‌دهد. درمجموع 186مسیر وجود دارد، بنابراین یک جدول کامل از 186×11 مقدار متریک در اینجا ترسیم‌شده است. امتیازات بالاتر بهتر است، اما نتایج مربوط به محاسبه متریک / نمره در هر ستون به‌طور مستقل مقیاس بندی شده است، بنابراین ستون‌ها نشان‌دهنده بازه‌های واقعی مختلف هستند.

پراکندگی مقادیر محور عمودی ظاهراً چشمگیر نیست. توجه کنید که برخی از اختلالات به دلیل بروز بیماری رخ می‌دهد، اما در بقیه موارد ترتیب نتایج نسبتاً منطبق با متریک‌های در نظر گرفته شده در امتداد مسیرها است.

پیامدهای استفاده از معیارهای چندگانه

نخستین پیامد این است که متریک‌ها اشیای مختلف را اندازه می‌گیرند و می‌توانند نامناسب باشند. مفاهیم بسیاری از تشابه وجود دارد. این گستردگی از اندازه‌گیری‌های مبتنی بر متریک‌های آماری جدول 1 برای برخی از مسائل مناسب نیست.

به‌عنوان‌مثال، ثبت تصاویر دگرگونی عصب یا آسیب مغزی با استفاده از این معیارها ممکن است نتایج متضادی داشته باشد و مقادیر متریک "بهتر" ممکن است تطابق رضایت بخشی نداشته باشد، زیرا معیارهای وکسل - سطح ممکن است تشابه سراسری یا معنایی نداشته باشد. معیارهای موردا ستفاده باید متناسب با مسئله باشند.

همچنین معیارهای تصویر می‌توانند شامل ویژگی‌های تصویر (و بنابراین هم تشخیص ویژگی و هم تطابق ویژگی) باشند و هم مدل (و بنابراین تخمین مدل، بازسازی تصویر، تبدیل تصویر و بهینه‌سازی عددی) [6].

به‌طورکلی، هر جنبه‌ای از ثبت تصویر می‌تواند بخشی از یک تعریف متریک تصویر باشد. این معیارهای مبتنی بر ویژگی و مدل می‌توانند محاسبات قوی به همراه داشته باشند، اما معیارهای جدول 1 هزینه محاسباتی سنگینی ندارند.

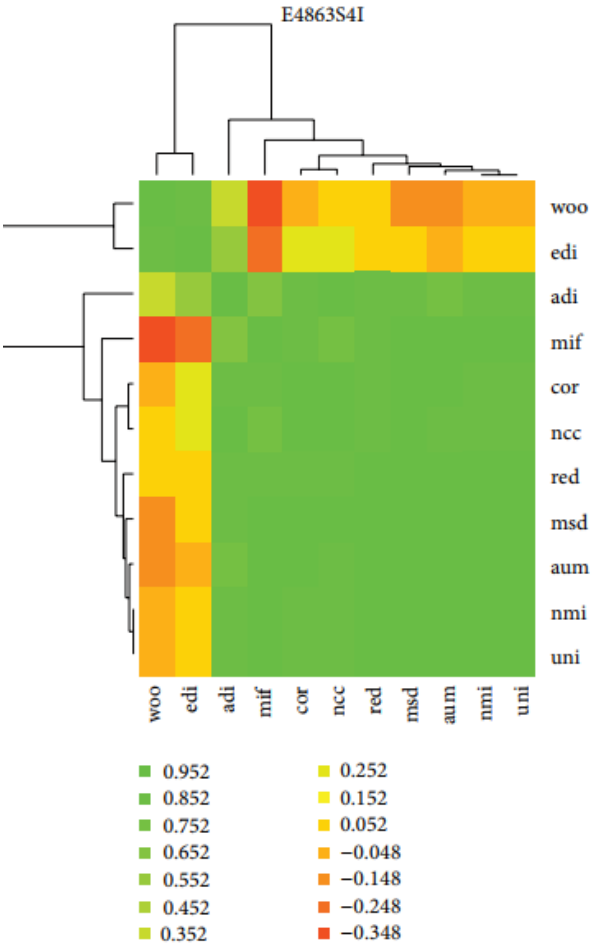
درنهایت متریک‌ها می‌توانند نتایج متناقضی را ارائه کند. ثبات در میان این معیارها را می‌توان با یک نمودار مختصاتی موازی از داده‌ها (شکل 1) و یا یک نمایش تصویری از ماتریس همبستگی (شکل 2) تجسم نمود و درنتیجه جدول ارزش معیار را می‌توان با تعداد محدودی از ابعاد تقریب زد.

در این مورد، متریک edi دارای کمترین سازگاری با دیگران است و انعکاسی از مؤلفه اصلی دوم است. تجربه بیشتر با این سازگاری ممکن است به تجزیه‌وتحلیل عملکرد در سراسر خانواده‌های متریک و یا توسعه نظریه‌های مربوط به ترکیبات محدب از معیارهای انتخاب شده منجر شود.

بااین‌حال، برای کاهش ابعاد، کار با متریک‌هایی صورت می‌گیرد به این معنی که نتایج آن ها به‌طور بالقوه همبسته اند. به‌عنوان‌مثال، می‌توان به متریک جنگل یا woods [7] اشاره نمود:

$$woo(R,S)=1-\frac{1}{N}\sum_{i}\frac{N(i)\sigma(i)}{\mu(i)} \qquad (1)$$

که در آن اندیس i روی مقادیر شدت تغییر می‌کند، $N(i)$ تعداد وکسل‌های در R با مقدار i است و μ و σ میانگین و انحراف استاندارد شدت‌ها در S در موقعیت‌های وکسل یکسان هستند. متریک (1) اغلب با سایر معیارها متضاد بوده است. اگرچه ازنظر ثبت موارد مربوط به تصاویر پزشکی مناسب است، ناسازگاری آن ایجاب می‌کند که متریک جنگل اغلب نتایج بسیار متفاوتی را نسبت به سایر معیارها به دست آورد.



شکل 2: نمایش نقشه گرما از ماتریس همبستگی برای جدول مقادیر متریک برای 186 نوع تصویر ورودی E4863S4I، با معیارهای خوشه‌بندی‌شده در یک سلسله‌مراتب توسط تشابه ناهموار

ازآنجاکه متریک‌ها را می‌توان به‌طور خودکار محاسبه کرد، ارزیابی مجموعه‌ای از آن‌ها نه‌تنها راهی ارزان برای ارزیابی جنبه‌های مختلف تشابه است بلکه راهبردی برای حذف نتایج ضعیف و نیز پایه‌ای برای یادگیری ماشین است. ماشینی شدن هرگز نیاز به نظر متخصص را نادیده نمی‌گیرد، اما می‌تواند به از بین بردن عدم تمرکز و بهبود بهره‌وری کمک کند.

در ادامه پیامدها می‌توان به این مطلب اشاره نمود که مقادیر متریک را می‌توان در یک پایگاه داده برای تجزیه‌وتحلیل ذخیره کرد. در جریان این توسعه، ما اجرای آن را در انتخاب معیارها، در ضبط نتایج (با یک پایگاه داده) اصلاح کرده‌ایم که در پیشرفت‌های عملکردی مختلف افزایش همسانی و کاهش تغییر فایل را به همراه دارد.

به‌طور خاص، ما برای ثبت تمام مقادیر متریک به‌دست‌آمده در هر اجرا و همچنین ابرداده در مورد اجرای برنامه از یک سیستم پایگاه داده استفاده کردیم که موجب می‌شود از ابزارهای دیگر تحلیل داده برای ارزیابی جداول حاصل از مقادیر متریک و اطلاعات اجرایی استفاده شود.

استفاده از بانک اطلاعاتی برای ذخیره اطلاعات بالأخص در حوزه تصویربرداری اعصاب، سه فایده مهم را فراهم می‌آورد: نخست آنکه پایگاه داده، متا الگوریتم را به خصوصیات ACID (اتمی بودن، ثبات، انزوا و دوام) مجهز می‌کند. دوم، این امکان را فراهم می‌آورد که متا الگوریتم در محیط‌های محاسبات موازی به‌طور مؤثر عمل کند.

در حقیقت استفاده از بانک اطلاعاتی برای ثبت نتایج به‌طور مستقل روشی زیبا برای رفع این نیاز است و امکان استخراج و تجزیه‌وتحلیل داده‌های منتج را فراهم می‌کند. سوم آنکه مدیریت اطلاعات در مورد مقادیر متریک در یک پایگاه داده، امکانات جالب‌توجهی را برای داده‌کاوی فراهم می‌آورد.

به‌عنوان‌مثال، می‌توان دریافت که نه‌تنها الگوریتم‌ها و تنظیم پارامترها نتایج بهتری را برای تصاویر حاصل از یک منبع معین به دست می‌آورند، بلکه همچنین زمان اجرا و حتی تفاوت عملکرد در نسخه‌های مختلف یک الگوریتم داده را تجزیه‌وتحلیل می‌کنند.

نتیجه‌گیری

معیارهای گوناگون ثبت تصویر شامل معیارهای مبتنی بر شدت و معیارهای آماری مطرح شـــد. نتایج حاصـــل از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر و تنظیم پارامترها در ثبت تصاویر پزشکی مطالعه و برر سی شد. ا ستفاده از متا الگوریتم در ثبت تصویر در نظر گرفته شد. روش‌های داده‌کاوی برای شناسایی روابط در بین الگوریتم‌ها و معیارها مطالعه شد. پیامدهای نا شی از ارائه مقادیر معیارهای چندگانه برای توســعه فرایند پردازش تصــویر و تنظیم پارامترها بررسی شد.

مراجع

[1]J.H. Hipwell, G.P. Penney, T.C. Cox, J.V. Byrne, and D.J. Hawkes, "2D-3D intensity based registration of DSA and MRA-a comparison of similarity measures," in Proceedings of the Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI '02), T. Dohi, R. Kikinis, vol. 2489 of Lecture Notes in Computer Science, pp.501–508, 2002.

[2]G.P. Penney, J. Weese, J.A. Little, J.A., P. Desmedt, D.L.G. Hill, and D.J. Hawkes, "A comparison of similarity measures fo ruse in 2-D-3-D medical image registration," IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol.17, No.4, pp.586–595, 1998.

[3]A. Roche, G. Malandin, N. Ayache, and S. Prima, "Towards a better comprehension of similarity measures used in medical image registration," in Proceedings of the 2nd International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI '99), vol. 1679 of Lecture Notes in Computer Science, pp.555–566, Springer, 1999.

[4]J.P.W. Pluim, J.B.A.A. Maintz, and Viergever, "Mutualinformation-based registration of medical images: a survey," IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 22, no. 8, pp. 986–1004,2003.

[5]K. Leung, K., A. Cunha, A.W. Toga, and D.S. Parker, "Developing Image Processing Meta-Algorithms with Data Mining of Multiple Metrics", Computational and Mathematical Methods in Medicine, Volume 2014, 7 pages.

[6]B. Zitova, and L. Flusser, Image registration methods: a survey," Image and Vision Computing, Vol. 21, No.11, pp.977–1000, 2003.

[7]R.P. Woods, S.T. Grafton, C.J. Holmes, S.R. Cherry, and J.C. Mazziotta, "Automated image registration: I. General methods and intrasubject, intramodality validation,"Journal of Computer Assisted Tomography, Vol.22, No.1, pp.139–152, 1998.

فیبر کریستال فوتونی دایروی 26 حالته

مهران کریمیان ریزی[1]، مریم فریور[2]، وحید رنجبر عین الدین[3]

[1] دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، mehrankarimian97@ms.tabriz.ac.ir
[2] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران، farivar.maryam@yahoo.com
[3]دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، v.ranjbar98@ms.tabriz.ac.ir

چکیده: در این مقاله، طراحی جدیدی از فیبر کریستال فوتونی دایروی، که می‌تواند 26OAM حالته را پشتیبانی کند، پیشنهاد شده است. تجزیه و تحلیل عددی نشان می‌دهد که فیبر پیشنهادی دارای مقادیر بسیار خوبی از پارامتر های فیبر، مانند تلفات محدودسازی[1] پایین است که در طول موج 1/55 میکرومتر، دارای مقدار کمتر از 0/003dB /m می‌باشد، ویژگی پراکندگی رنگی تخت که تغییرات پراکندگی آن برای حالت OAM با تعداد مرتبه $|l| \leq 4$ در محدوده طولی $39.84 ps/nm/km$ در طول پهنای باند 750 nmاز1/25 به 2 میکرومتر می رسد و دارای ویژگی ضریب غیرخطی کوچک است و دارای مقدار کمتر از $2.08 W^{-1}/Km$ برای همه حالت ها در 1/55 میکرومتر است. علاوه بر این، تأثیر تغییر شکل هندسی بر دو برابر شدن مودال فیبر پیشنهاد شده نیز مورد بحث قرار گرفته است. ثابت شده است که دو بعدی شدن مودال ناشی از تغییر شکل هندسی برای حالت های مختلف برداری، متفاوت است و در حالتی که میزان بیضویت آن کمتر از 1/08 باشد، بیشتر حالت های مرتبه بالاتر، دارای دو برابر شدن مودال دوگانه کمتری نسبت به مودهای مرتبه پایین تر می باشند.

کلیدواژه‌ها: *فیبر کریستال فوتونیک، pcf، فیبر، کریستال فوتونی*

مقدمه

ممان زاویه‌ای مداری (OAM) می‌تواند بیانگر بعد دیگری برای مالتی پلکس[6] کردن باشد. تعامد بین هر دو حالت OAM و حالت های نظری بی نهایت آن (شار توپولوژی آن می‌تواند هر عدد صحیح مثبت و منفی به جز صفر باشد)، سبب می‌شود که مالتی پلکس کردن OAM به عنوان یکی از کاندیداهای امیدوار کننده مالتی پلکس کردن بخش فضایی در نظر گرفته شود [5-1]. متاسفانه، فیبر چند حالته stepindex متداول، نمی‌تواند به خوبی از انتقال حالت OAM ثابت پشتیبانی کند. بنابراین، طراحی فیبرهای نوری خاصی که بتوانند از انتقال حالت OAM پشتیبانی کنند، به امری مهم بدل شده است.

تاکنون، بسیاری از انواع فیبرهای ویژه ای که می‌توانند از انتقال حالت های OAM پشتیبانی کنند، پیشنهاد شده است، مانند فیبر بسط یافته [6]، فیبر حلقه ای [10-7]، فیبر هسته هوایی[11]، فیبر هوایی پیچ خورده [12]، فیبرهای پروفیل درجه بندی معکوس سهموی [13]، فیبر حلقه‌ای کمکی گودالی[7] [14] و فیبرهای چند حالته چند هسته‌ای- ممان – زاویه‌ای- مداری چندگانه (MOMCSF) [15] وغیره.

فیبرهایی که در آن‌ها، حالت های OAM می‌توانند انتشار یابند، باید ضریب پراکندگی نسبتاً مسطح، مساحت موثر بزرگ و به ویژه کنتراست[8] شاخص انکسار بالا، بین منطقه انتقال حالت[9] و پوشش[10] را داشته باشند تا ضریب پراکندگی نسبتاً تختی را داشته باشند تا بدین وسیله، تضمین شود که انتقال حالت های OAM دارای تزویج با حالت‌های LP نخواهد بود [10].

فیبرهای OAM که در منابع ذکر شده در بالا ارائه شده‌اند، دارای پارامترهای کافی قابل تنظیم برای اطمینان از برخورداری از

[1] Multiplexing
[2] trench-assisted ring fiber
[3] Contrast
[4] Mode Transmission Region
[5] Cladding

ویژگی‌های خوب برای حالت های OAM ذکر شده در بالا نمی‌باشند و اکثر آن‌ها باید با دقت مورد استفاده قرار گیرند [10،11،16،17]. در سال 2012، یانگیو و همکاران در ابتدا پیشنهاد نمودند که می‌توان از فیبر کریستال فوتونی برای پشتیبانی از انتقال حالت های OAMاستفاده کرد [18]. حلقه PCF طراحی شده ازAs2S3 و سوراخ‌های هوایی، برای تحقق کنتراست شاخص مواد بزرگ استفاده می‌نماید، اما می‌تواند تنها 2 حالت از OAM $(l = \pm 1)$ را پشتیبانی کند و دارای پراکندگی بیشتری است. علاوه بر این، انواع دیگر PCF وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای پشتیبانی از حالت OAM مانند فیبر کریستال فوتونی چند هسته‌ای [19] و فیبر کریستال فوتونی پیچیده [20] استفاده نمود. در این مقاله، ما یک فیبر کریستال دایروی جدید (C-PCF) ارائه می‌دهیم که دارای یک سوراخ هوایی مرکزی و چند حلقه سوراخ هوایی بیرونی به همراه یک منطقه حلقوی برای نگهداری 26 حالت OAM می‌باشد که در محدوده طول موج از 1/25 تا 1/9 میکرومتر (650 نانومتر) کار می‌کند. فیبر C-PCF جدید نیاز به بهبود عملکرد ندارد و دارای پارامترهای قابل تنظیم است.

در [21] گایژو و همکاران به طور مستقل یک فیبر حلقه ای دارای ریزساختار[11] را ارائه داده‌اند، که در نگاه اول به نظر می‌رسد ساختار آن مشابه ساختار پیشنهاد شده در این مقاله است، اما در واقع کار آن‌ها کاملاً متفاوت است. ساختار فیبر در [21] به نظر می رسد بیش از حد دارای تقارن دایروی است. برای ساختار فیبری که در [21] پیشنهاد شده است، اندازه سوراخ‌های هوایی در ساختار حلقه ای ناحیه روکش متفاوت است، تا بدین وسیله، بتوان همان تعداد برابری از سوراخ‌های هوایی در حلقه‌های مختلف داشت. بنابراین، سوراخ های هوایی در حلقه داخلی، دارای ابعاد بسیار کوچکتری از حلقه بیرونی می باشند. ساخت چنین ساختاری با اندازه سوراخ های مختلف، نسبت به ساختار پیشنهادی ما، دارای دشواری هایی در ساخت می‌باشد و کارایی بهتر از آنچه که در این مقاله ارائه شده نشان نمی‌دهد. ما دریافتیم که C-PCF پیشنهاد شده در این مقاله دارای تقارن کافی دایروی برای اطمینان از انتقال پایدار حالت‌های OAM است. فیبرهای تمام- سیلیکا براگ[12] که در [22] با موفقیت ساخته شده، ثابت کرد که تولید جدید C-PCFما امکان‌پذیر است.

در بخش 2، ساختار پیشنهاد شده C-PCF توصیف خواهد شد. در بخش 3، ویژگی‌های حالت مانند توزیع حالت، شکست انعطاف پذیر، پراکندگی کروماتیک[13]، تلفات محدودسازی، منطقه حالت موثر، ضریب غیرخطی و دو طرفه شدن معادله بحث خواهد شد.

طراحی فیبر کریستالی فوتونی دایروی پیشنهادی

ایده این موضوع که C-PCF می‌تواند به عنوان یک فیبر انتقال حالت OAM انتخاب گردد، به صورت زیر است. پایه اصلی PCF در شکل 1(a) نشان داده شده است. با این ایده که حالت OAM می‌تواند در یک منطقه حلقه انتشار یابد، هسته و اولین سوراخ حلقه هوایی را به یک سوراخ بزرگ هوایی تعبیه شده در مرکز تغییر می دهیم و حلقه هوایی سوراخ دوم را به عنوان منطقه انتقال حالت OAM حذف می کنیم، بقیه حلقه های سوراخ هوایی به عنوان بخشی از روکش در نظر گرفته می‌شود. فیبر C-PCF طراحی شده نهایی، در شکل 1(b) نشان داده شده است. مواد پس زمینه فیبر طراحی شده، سیلیس با شاخص شکست 1/444 است. پارامترهای قابل تنظیم این ساختار عبارتند از: شعاع سوراخ هوایی مرکزی r، شعاع داخلی پوشش R، قطر سوراخ های هوایی خارجی $(n = 3.4.5 \ldots.)$ d_n، فاصله بین دو حلقه دایروی متوالی Λ و تعداد حلقه های سوراخ هوایی خارجی N. در این مقاله، مقادیر به این صورت در نظر گرفته شده‌اند که:

$$N = 4 \quad \frac{d_n}{\Lambda} = 0.8 \quad r = 6\mu m \quad R = 4.4\mu m$$

$$d_3 = d_4 = d_5 = d_6 = 1.76\mu m$$

حالت‌های پشتیبانی شده OAM و ویژگی‌های آن‌ها

حالت‌های پشتیبانی شده OAM

حالت های OAM با استفاده از ترکیب مقادیر تکین برداری متداول فیبر ها تشکیل می‌شوند که دارای روابط زیر می باشند [10]:

$$\begin{cases} OAM_{\pm}^{\pm} = HE_{l+1.m}^{even} \pm jHE_{l+1.m}^{odd} \\ OAM_{\pm}^{\mp} = HE_{l-1.m}^{even} \pm jHE_{l-1.m}^{odd} \end{cases}$$

در این مقاله، خواص حالت C-PCF پیشنهادی، با استفاده از شبیه‌سازی عددی (COMSOL) مورد بررسی قرار گرفته است. و فیبر، توانایی پشتیبانی از OAM 26 حالته را در پهنای باند 650

[6] Micro Structure
[7] Bragg Fibers
[8] Chromatic Dispersion

نانومتری از بازه 1/25 میکرومتر تا 1/9 میکرومتر دارد که شامل این موارد می‌شود:

$$OAM_{\pm 1.1}^{\pm}\{HE_{21}\}$$

$$OAM_{\pm 2.1}^{\pm}\{HE_{31}.HE_{11}\}.OAM_{\pm 3.1}^{\pm}\{HE_{41}.HE_{21}\}$$
$$OAM_{\pm 4.1}^{\pm}\{HE_{51}.HE_{31}\}.OAM_{\pm 5.1}^{\pm}\{HE_{61}.HE_{41}\}$$
$$OAM_{\pm 6.1}^{\pm}\{HE_{71}.HE_{51}\}.OAM_{\pm 7.1}^{\pm}\{HE_{81}.HE_{61}\}$$

شکل 2، توزیع شدت حالت های یکه[14] برداری که توسط C-PCF پیشنهادی پشتیبانی می‌شود را، نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده نمود که تمام حالت‌ها به خوبی در منطقه حلقوی محدود می‌شوند.

شاخص ریزش موثر[15]

شاخص مؤثر هر حالت بردار به عنوان تابعی از طول موج با شبیه‌سازی عددی در شکل 3 (a) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که فرکانس های قطع حالت‌های HE_{91} و EH_{71}حدود 1/5 میکرومتر (نشان داده شده توسط علامت دایره باز) است، بنابراین ما این دو حالت را نادیده می‌گیریم. برای پشتیبانی از حالت های OAM، جداسازی شاخص موثر بین حالت‌های بردار باید بیشتر از 1×10^{-4} باشد، در غیر این صورت آن‌ها به حالت LP متصل می‌شوند. شکل 3 (b) مقدار مطلق اختلاف شاخص موثر بین حالت های HE و EH در C-PCF طراحی شده را نشان می‌دهد. در عین حال، ما خط مرجع 1×10^{-4} را در همان شکل ایجاد می‌کنیم. از شکل 3 (b) می‌توان مشاهده کرد که اختلاف شاخص‌های موثر در همه گروه‌های حالت HE و EH بزرگتر از 1×10^{-4} است. بنابراین، تمام این حالت‌ها می‌تواند در C-PCF به شکل پایدار وجود داشته باشد.

ویژگی‌های پراکندگی

پراکندگی کروماتیک را می‌توان به صورت زیر بیان نمود [23]:

$$(2)D = -\frac{\lambda}{C}\frac{d^2 Re_{[n_{eff}]}}{d\lambda^2}$$

در این مقاله، پراکندگی ماده نیز در نظر گرفته شده است. شکل 4 پراکندگی را به عنوان تابعی از طول موج برای حالت‌های مختلف در طراحی C-PCF نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که تغییرات پراکندگی برای حالت‌های OAM با $|l| \leq 4$ (l نشان‌دهنده مرتبه حالت OAM می‌باشد) در بازه طولی 39.84ps/nm/km در پهنای باند 750 nm از 1/25 تا 2 میکرومتر اتفاق افتاده است که خیلی بیشتر از نتایج نشان داده شده در [18] می‌باشد. و نیز مشاهده می‌شود که تغییرات پراکندگی حالت‌های EH، کمتر از حالت‌های HE است. تغییرات پراکندگی EH_{41} و EH_{51} و EH_{61} برابرند با:

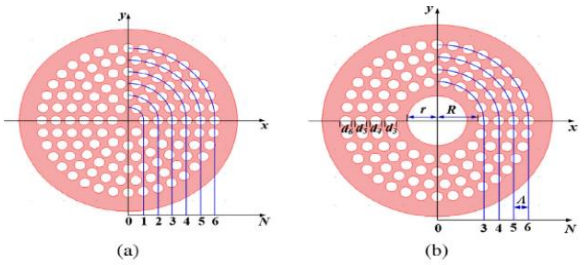
46.1ps/nm/km و 43.53ps/nm/km،6.68ps/nm/km

همچنین این مقادیر، کمتر از نتایج نشان داده شده در [18] می باشند.

تلفات محدودسازی

تلفات محدودسازی برای ساختار های فیبر پیشنهادی به صورت زیر محاسبه می‌گردد [23]:

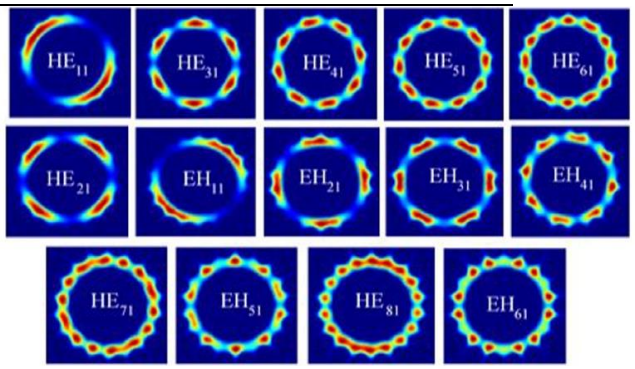
$$L = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{20}{In(10)}10^6 Im(n_{eff})(^{dB}/_{m}) \qquad (3)$$



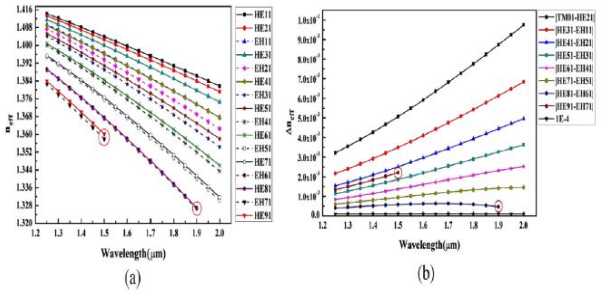
شکل 1 : (الف) سطح مقطع پایه اصلی PCF و (ب) C-PCF جدید طراحی شده

[9] Eigen modes

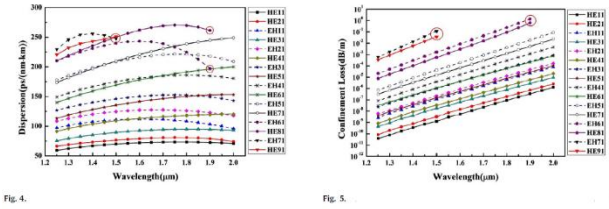
[10] Effective Refractive Index



شکل 2 : توزیع شدت eigenmodes بردار پشتیبانی شده توسط پیشنهاد شده است.



شکل 3 : (الف) ضریب شکست موثر به عنوان اثر طول موج برای حالتهای مختلف و (ب) مقدار مطلق اختلاف شاخص موثر بین حالتهای HE و EH به عنوان تابعی از طول موج در C-PCF طراحی شده



شکل(4) : پراکندگی به عنوان تابعی از طول موج برای حالت های مختلف در C-PCF طراحی شده.

شکل (5) : از دست دادن تصفیه به عنوان تابعی از طول موج برای حالت های مختلف در C-PCF طراحی شده.

تلفات محدودسازی تمامی حالت‌ها در C-PCF طراحی شده در شکل 4 نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که میزان تلفات محدودسازی، با افزایش مرتبه حالت OAM، افزایش می‌یابد که دلیل این امر، احتمال بیشتر نشتی[16] آن از طریق پوشش برای طول موج بزرگتر است. برای حالت HE_{21}، تلفات محدودسازی درحدود $2.54 \times 10^6\ {}^{dB}/_{m}$ در 2 میکرومتر می‌باشد که این میزان، در حدود 4 برابر از نتایج موجود در [18] کوچکتر می‌باشد. شکل همچنان نشان می‌دهد که تلفات محدودسازی مربوط به حالت های EH، دارای مقدار بزرگتری از این میزان تلفات در حالت های HE می‌باشد. در 1/55 میکرومتر، بیشترین میزان تلفات محدودسازی، متعلق به حالت EH_{61} بوده که دارای مقدار حدودی 0.003 dB/m می‌باشد.

ناحیه حالت موثر و ضریب غیر خطی

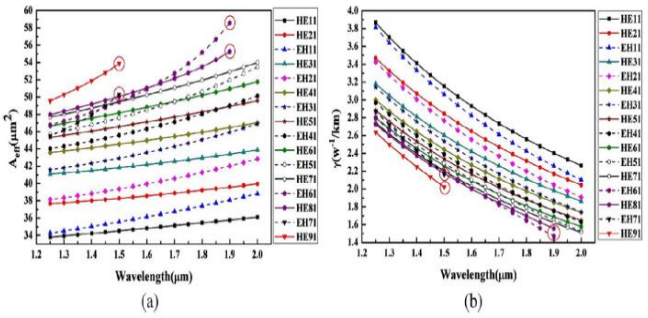
ناحیه حالت موثر A_{eff} با استفاده از تعریف استاندارد [24] محاسبه می‌گردد:

$$A_{eff} = \frac{(\iint |E(x.y)|^2 dxdy)^2}{\iint |E(x.y)|^4 dxdy} \quad (4)$$

که در آن، E(x,y) بیانگر توزیع میدان الکتریکی مربوط به میدان عرضی (متقاطع)[17] می‌باشد. ضریب غیر خطی را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود [24]:

$$\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{eff}} \quad (5)$$

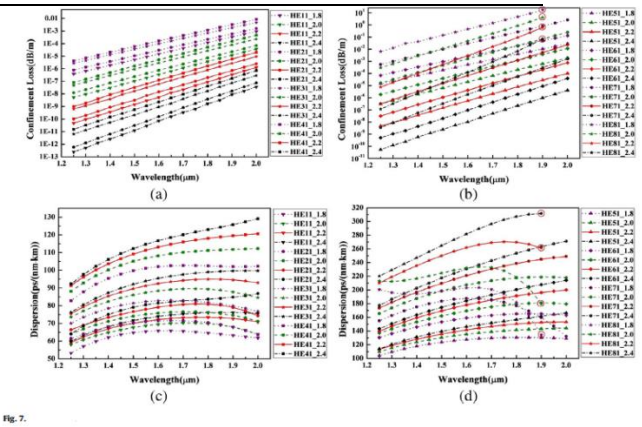
که در آن، $n_2 = 2.6 \times 10^{-20} m^2 W^{-1}$ بوده و بیانگر شاخص غیرخطی برای سیلیس مخلوط شده است.



شکل(6) : (a) منطقه حالت موثر و (b) پارامتر غیر خطی به عنوان تابعی از طول موج برای حالت های مختلف در C-PCF طراحی شده

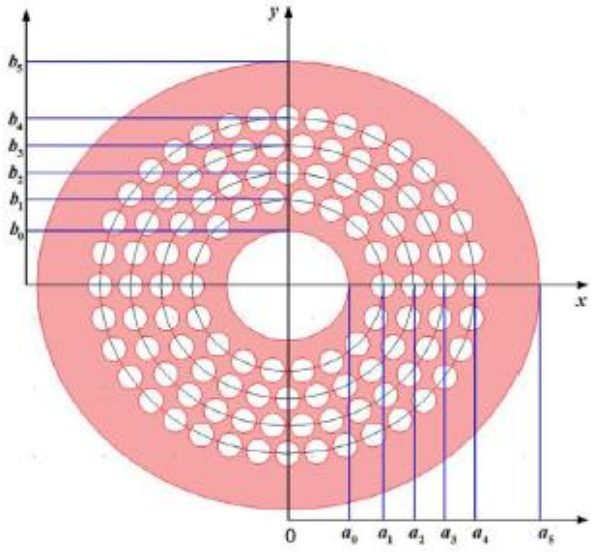
[16] Leakage

[17] Transverse



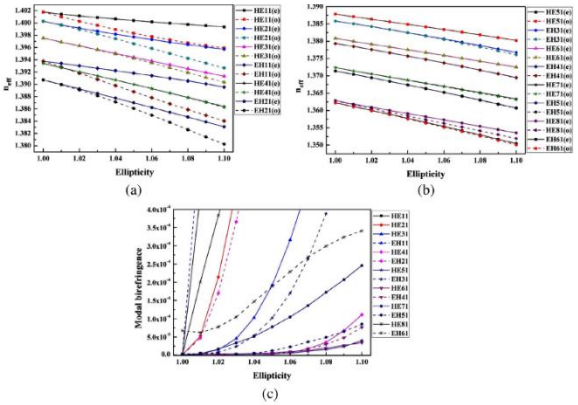
شکل (7) : (a,b)از دست دادن حبس و(c,d) پراکندگی تمام حالت های HE که در C-PCF طراحی شده برای متفاوت Λ با $r = 4.4\ \mu m$ ،R $= 6\ \mu m$ فرض شده است. حالت های مشابه با یک نماد مشخص شده اند، و رنگ ها و سبک های مختلف مقادیر مختلف Λ

منطقه حالت موثر C-PCF طراحی شده توسط حل کننده[18] حالت اجزای محدود[19] تمام برداری، محاسبه شده و شکل 6 (a) نتایج را نشان می‌دهد. در شکل 6 (a)، منطقه حالت موثر با افزایش طول موج و مرتبه حالت افزایش می‌یابد. و ضریب غیرخطی که در شکل 6 (b) نشان داده شده است، دارای تغییرات مخالف نسبت به منطقه حالت موثر می‌باشد. در 155 میکرومتر، بیشینه ناحیه حالت موثر برابر با 50/54 میکرومتر HE_{81} می‌باشد و میزان ضریب غیرخطی آن به صورت کمینه برابر با$(2.08\frac{W^{-1}}{km})$ است.



[18] Solver
[19] Finite Element

شکل (8) : سطح مقطع تغییر شکل یافته C-PCF



شکل (9) : (الف، ب) شاخصهای شکست انعطاف پذیر از همه حالتهای زوج و فرد برای حالتهای برداری که در C-PCF فرض شده اند و (ج) تجزیه مجدد دو حالته بردارها به عنوان تابعی از بیضایی در $1/55\mu m$

تأثیرات پارامتر های فیبر بر روی تلفات محدودسازی و پراکندگی

برای فیبر پیشنهاد شده، می‌توانیم r را از 3/8 به 4/7 میکرومتر با پارامتر های ثابت دیگر، تنظیم کنیم. هنگامی که مقدار r کوچکتر از 3/8 میکرومتر است، حالت های رادیال نامطلوب مرتبه دوم ظاهر می‌شوند. برعکس، هنگامی که r مقداری بزرگتر از 4/7 میکرومتر داشته باشد، فیبر از بسیاری جهات پشتیبانی نمی‌کند. در این کار، ما مقدار $r = 4.4\mu m$ را در نظر گرفته‌ایم.

همچنین تلفات محدودسازی و پراکندگی را به ترتیب برای تمام حالت‌های HE در $\Lambda = 1.8\mu m\ ,\ 2.2\mu m\ .\ 2.4\mu m$ محاسبه شده است. شکل 7 بیانگر نتایج مربوطه می‌باشد. از رنگ‌های مختلف و سبک‌های خط[20] برای نشان دادن نتایج مختلف برای Λ مختلف استفاده شده است و حالت‌های یکسان، با همان نماد مشخص شده‌اند. از شکل 7 (a) و (b) می‌توانیم دریابیم که تلفات محدودسازی، با افزایش Λ برای همه حالت‌ها، کاهش می‌یابد. و برای همین حالت، تلفات محدودسازی، به ازای دامنه‌های مختلف، تغییر می‌کند. شکل 7 (c) و (d) نشان‌دهنده روند افزایش پراکندگی و تغییر آن با افزایش Λ می‌باشند. ولی میزان دگرگونی تغییرات پراکندگی تحت تأثیر Λ، دارای مقدار بسیار بزرگی نیست. مقایسه‌ی تلفات محدودسازی با میزان پراکندگی، نشان می‌دهد که تغییر Λ تأثیر بیشتری در میزان تلفات محدودسازی نسبت به پراکندگی دارد.

[20] Font Style

به نظر می‌رسد ویژگی‌های انتشار[21] ساختار، که در آن $\Lambda = 2.4\mu m$ می‌باشد، بهتر است. ولی هنگامی که $\Lambda = 2.4\mu m$ است، در این صورت فاصله بین دو سوراخ هوایی مجاور در اولین حلقه پوشش بیش از حد برای تولید نزدیک می‌شود. بنابراین، در این کار، برای رعایت مصالحه، مقدار Λ را برابر با $\Lambda = 2.2\mu m$ تنظیم می نماییم.

دو شکستی بودن مودال[22]

دوشکستی شدن مودال نیز یک پارامتر برای نشان دادن عملکرد فیبر پشتیبانی حالت OAM است. دو شکستی شدن مودال به صورت زیر تعریف می‌شود [17]:

$$B_n = \left|n_{eff}^{even} - n_{eff}^{odd}\right| \quad (6)$$

که در آن، n_{eff}^{odd} و n_{eff}^{even} بیانگر شاخص های شکست موثر دارای مقادیر تکین زوج و فرد می‌باشد که حالت های OAM را تشکیل می‌دهند.

در اینجا بحث ما، در میزان تولرانس ساخت برای فیبر C-PCF طراحی شده، می‌باشد. به عبارت دیگر، تغییر شکل هندسی در اینجا، محدود به ایجاد یک ساخت ناقص[23] است. برای سادگی، فرض کنیم هنگامی که فیبر دچار تغییر شکل می‌شود، سوراخ مرکزی هوایی و تمام حلقه های بیرونی، میزان بیضویت e خود را حفظ می‌نمایند، در حالی که همانطور که در شکل 8 نشان داده شده است، همه سوراخ های هوایی خارجی هنوز دایروی هستند، به دلیل اینکه برای سوراخ های کوچک در حلقه بیرونی، کشش سطحی وجود دارد که این کشش، تمایل دارد حفره های کوچک را در اشکال اصلی خود حفظ کند. مقادیر محوری کوچک که فاصله بین سوراخ هوایی مرکزی و تمام حلقه های بیرونی را اندازه گیری می‌کنند، می‌توان با $b_n = \frac{a_n}{\varepsilon}(n = 0.1.2 \dots .5)$ شمارش کرد.

شکل 9 (a) و (b) نشانگرهای ریزش موثر همه حالت های زوج و فرد برای حالت های برداری پشتیبانی شده در C-PCF به عنوان تابعی از میزان بیضویت در 1/55 میکرومتر است. این موضوع، نشان می‌دهد که تفاوت شاخص‌های انشعابی موثر بین حالت های زوج و فرد برای یک حالت HE یاEH، با افزایش میزان بیضویت، افزایش می‌یابد. با مقایسه مقادیر شکل‌های 9 (a) و (b) می‌توان دریافت که بیشتر حالت‌های مرتبه بالاتر، اختلاف کمی نسبت به حالت های مرتبه پایین‌تر دارند. شکل 9 (c)، دوشکستی بودن مودال حالت های برداری را به عنوان تابعی از بیضویت در 1/55 میکرومتر نشان می‌دهد و این نتیجه را تأیید می‌کند. از شکل 9 (c)، می‌توانیم متوجه شویم که دو برابر شدن مودال دو شکستی، وقتی که میزان بیضویت بزرگتر از 1 باشد، برای حالت‌های EH11،HE11،HE81،HE21 و EH21 وجود خواهد داشت. درحالی که دو شکستی بودن مودال EH41،HE61،HE51،HE41 و EH51، دارای مقادیر نسبتاً کوچک است و حتی مقدار بیضویت آن تا 1/08 است. بنابراین، تا زمانی که بیضویت کمتر از 1/08 باشد، این حالت‌ها می‌توانند عملکرد خوب خود را حفظ کنند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، ما یک فیبر کریستال دایروی جدیدی را پیشنهاد کرده ایم که می‌تواند به طور مداوم از 26 OAM حالته از 1/25 تا 1/9 میکرومتر (650 نانومتر) با جداسازی شاخص به اندازه کافی بزرگ پشتیبانی کند. تجزیه و تحلیل عددی نشان می‌دهد که فیبر پیشنهاد شده دارای ویژگی‌های بسیار خوبی از فیبرها، مانند کمینه تلفات محدودسازی است که دارای مقدار کمتر از 0/003 dB / m در طول موج 1/55 میکرومتر می‌باشد، همچنین پراکندگی رنگ کروماتیک که تغییرات پراکندگی برای حالت OAMبا $|l| \leq 4$ در 39.84ps/nm/km بیش از پهنای باند 750 nm از 1/25 تا 2 میکرومتر می‌باشد و نیز، ضریب غیرخطی کوچک که کمتر از $(2.08\frac{W^{-1}}{km})$ برای همه حالت‌ها در 1/55 میکرومتر است. علاوه بر این، تأثیر تغییر شکل هندسی در دو شکستی مودال فیبر پیشنهاد شده نیز مورد بحث قرار گرفته است. ثابت شده است که دو شکستی شدن مودال ناشی از تغییر شکل هندسی برای حالت‌های مختلف بردار، متفاوت است و وقتی که وضعیت تغییر شکل، بسیار شدید نباشد، بیشتر حالت‌های مرتبه بالاتر دارای دو شکستی مودال کمتر از حالت‌های مرتبه پایین‌تر می باشند. بر اساس انعطاف پذیری ساختار، ما می‌توانیم با تنظیم پارامترها، یک C-PCF جدید با مجموعه ای از ویژگی‌های خوب به دست آوریم. به طور خلاصه، این نوع از ساختار فیبر، یک نوع امیدوارکننده برای مالتی پلکس کردن حالت مبتنی بر OAM در سیستم‌های انتقال فیبر خواهد بود.موجب کاهش اندک شدت پمپاژ در نزدیکترین حفره نسبت به حفره پر شده با VLP می‌شود. با ارائه تعاریف دقیق تر می‌توان به مقایسه طیف لیزر برای این سناریوها پرداخت که طیف آنها فاقد VLP است. مقایسات ارائه شده در شکل 6 (g) نشان می‌دهد که تفاوت اندکی در طیف لیزر وجود دارد.

[21] Propagation
[22] Modal birefringence
[23] Imperfect Fabrication

مراجع

[1] L. Allen et al., Orbital angular momentum of ligh and transformation of Laguerre Gaussian Laser modes, Phys. Rev. A 45 (11) (1992) 8185–8189.
[2] J. Wang et al., Terabit free-space data transmission employing orbital angular momentum multiplexing, Nat. Photonics 6 (7) (2012) 488–496.
[3] B. Nenad et al., Terabit-scale orbital angular momentum mode division multiplexing in fibers, Science 340 (6140) (2013) 1545–1548.
[4] H. Hao et al., 100 Tbit/s free-space data link enabled by three-dimensional multiplexing of orbital angular momentum, polarization, and wavelength, Opt. Lett. 39 (2) (2014) 197–200.
[5] W. Jian et al., Ultra-high 435-bit/s/Hz spectral efficiency using N-dimensional multiplexing and modulation link with pol-muxed 52 orbital angular momentum (OAM) modes carrying Nyquist 32-QAM signals, in: European Conference on Optical Communication (ECOC), 2015, 2015.
[6] H.I. Sztul et al., Cylindrical vector beam generation from spun fiber, Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 7227 (5) (2009) 561–564.
[7] N. Bozinovic, P. Kristensen, S. Ramachandran, Long-range fiber-transmission of photons with orbital angular momentum, in: Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), 2011, 2011.
[8] N. Bozinovic, P. Kristensen, S. Ramachandran, Are orbital angular momentum (OAM/Vortex) States of light long-lived in fibers?, Frontiers in Optics 2011/ Laser Science XXVII, Optical Society of America, San Jose, California, 2011
[9] Y. Yue et al., Mode properties and propagation effects of optical Orbital Angular Momentum (OAM) modes in a ring fiber, IEEE Photonics J. 4 (2) (2012) 535–543.
[10] C. Brunet et al., Design, fabrication and validation of an OAM fiber supporting 36 states, Opt. Express 22 (22) (2014) 26117–26127.
[11] P. Gregg et al., Stable transmission of 12 OAM states in air-core fiber, in: Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), 2013, 2013.
[12] J. Ye et al., Excitation and separation of vortex modes in twisted air-core fiber, Opt. Express 24 (8) (2016) 8310–8316.
[13] B. Ung et al., Few-mode fiber with inverse-parabolic graded-index profile for transmission of OAM-carrying modes, Opt. Express 22 (15) (2014) 18044–18055.
[14] S. Li, J. Wang, A compact trench-assisted multi-orbital-angular-momentum multi-ring fiber for ultrahigh-density space-division multiplexing (19 rings 22 modes), Sci. Rep. 4 (2014) (3853-3853).
[15] L. Shuhui, W. Jian, Supermode fiber for orbital angular momentum (OAM) transmission, Opt. Express 23 (14) (2015) 18736–18745.
[16] B.U. Charles Brunet, Bélanger Pierre-André, Messaddeq Younès, L.A.R. Sophie LaRochelle, Vector mode analysis of ring-core fibers: design tools for spatial division multiplexing, J. Lightwave Technol. 32 (23) (2014).
[17] M. Zhu et al., A new designed dual-guided ring-core fiber for OAM mode transmission, Opt. Fiber Technol. 25 (2015) 58–63.
[18] Y. Yue et al., Octave-spanning supercontinuum generation of vortices in a As2S3 ring photonic crystal fiber, in: Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), 2012, 2012.
[19] C. Zhao et al., Design of multicore photonic crystal fibers to generate cylindrical vector beams, J. Lightwave Technol. 34 (4) (2016) 1206–1211.
[20] X.M. Xi et al., Orbital-angular-momentum-preserving helical Bloch modes in twisted photonic crystal fiber, Optica 1 (3) (2014) 165–169.
[21] G. Zhou et al., Design and analysis of a microstructure ring fiber for orbital angular momentum transmission, IEEE Photonics J. 8 (2) (2016) 1–12.
[22] G. Vienne et al., Ultra-large bandwidth hollow-core guiding in all-silica Bragg fibers with nano-supports, Opt. Express 12 (15) (2004) 3500–3508.
[23] P.S. Maji, P.R. Chaudhuri, Circular photonic crystal fibers: numerical analysis of chromatic dispersion and losses, ISRN Opt. 2013 (2013) 1–9.
[24] H. Xu et al., Ultra-flattened chromatic dispersion control for circular photonic crystal fibers, J. Opt. 13 (5) (2011) 994–1001.

پیش‌بینی سری زمانی آشوبی با استفاده از ترکیب نتایج پیش‌بینی کننده خطی و شبکه عصبی غیرخطیNARX

مرضیه نحاسی[1]، مهدی کماندار[2]

[1]فارغ التحصیل ارشد رشته مهندسی فناوری اطلاعات و مدرس در دانشگاه فنی‌حرفه ای (دختران بیرجند) وعلمی کاربردی (جهاد دانشگاهی بیرجند و مرکز بیرجند)nohasimarzie@yahoo.com

[2] مدیر گروه رشته کامپیوتر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمانm.kamandar@kgut.ac.ir

چکیده: در این مقاله پیش‌بینی سری زمانی آشوبی و تحلیل باقیمانده با استفاده از شبکه‌های عصبی خطی و غیرخطی همراه با تئوری تعبیه انجام گرفته است. از تئوری تعبیه جهت بازسازی سری‌های زمانی به نقاط فضای حالت مناسب استفاده شده است. نقاط فضای حالت به یک شبکه عصبی خطی داده شده و سپس باقیمانده‌ی حاصل از سری زمانی پیش‌بینی شده، به صورت یک سری زمانی جدید در نظر گرفته شده و در فضای حالت مناسب بازسازی شده‌است. در ادامه نقاط فضای حالت بدست آمده به یک شبکه عصبی بازگشتی ***NARX*** خورانده شده تا مورد تحلیل قرار گیرند. در نهایت مقادیر پیش‌بینی شده از سری زمانی اصلی و سری زمانی باقیمانده با هم جمع شده و با مقادیر واقعی سری زمانی مقایسه شده‌اند. برای ارزیابی روش پیشنهاد شده، روش برای معادلات مکی‌گلاس و لورنز که سری‌های زمانی آشوبی تولید می‌کنند و همچنین برای سری زمانی زمان واقعی لکه‌های خورشیدی اجرا شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های پیش‌بینی موجود می‌تواند به طور موثرتری سری‌های زمانی آشوبی را پیش‌بینی کند.

کلمات کلیدی– پیش‌بینی، تئوری بازسازی، تحلیل باقیمانده، سری‌های زمانی آشوبی، ، شبکه‌های عصبی

مقدمه

پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی به‌طور گسترده در اقتصاد، پردازش سیگنال، کنترل خودکار و دیگر زمینه‌ها بکار می‌آید [1]، در طول چند دهه گذشته، پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی یک موضوع چالش‌برانگیز و جالب بوده است. اگرچه سری‌های زمانی آشوب ویژگی‌های سیستم‌های دینامیکی را به‌صورت تصادفی نشان می‌دهند، در فضای حالت آن، رفتارهای قطعی را ارائه می‌دهند. تئوری آشوب به‌عنوان یک بخش اساسی تئوری غیرخطی، یک ابزار مناسب برای نشان دادن ویژگی‌های سیستم‌های دینامیکی و پیش‌بینی روند سیستم‌های پیچیده فراهم کرده است [2].

تئوری تعبیه تاکنز عنصر ضروری تحلیل سری‌های زمانی آشوب است. تاکنز بیان می‌کند که اگر سری زمانی از یک سیستم دینامیکی معین به‌دست‌آمده باشد آنگاه بازسازی فضای حالت این سیستم به کمک یک اسکالر D با نام بُعد محاط و یک اسکالر τ با نام زمان تأخیر امکان‌پذیر می‌باشد [3]. در واقع یک مجموعه مشاهدات از یک سیستم آشوب می‌تواند به یک سری بردارهای n-بُعدی با دو پارامتر D و τ بازسازی شود. مبتنی بر تئوری تاکنز، اگر بُعد به‌اندازه کافی بزرگ باشد، بردار بازسازی تعداد زیادی از نهادهای مهم سری زمانی را نشان خواهد داد [2].

در بین تکنیک‌های هوش محاسباتی شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌طور مستقل یا به‌عنوان ابزار کمکی برای پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوب بکار گرفته شده‌اند. کارایی و اثربخشی انواع شبکه‌های عصبی ازجمله پیش‌خور چندلایه، بازگشتی و... در پژوهش‌های مختلف بررسی و تشریح شده است. ازجمله در کار تحقیقاتی صورت گرفته توسط [4] مقایسه تجربی بین معماری شبکه عصبی پیش‌خور و چند معماری شبکه بازگشتی (شبکه المان، جردن و شبکه المان توسعه‌یافته)، براساس دقت

پیش‌بینی، زمان آموزش موردنیاز و پایداری انجام گرفته است. فروغ مرزبان و همکارانش [5] پژوهشی در زمینه پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوب‌گونه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی دینامیک زمان گسسته انجام داده‌اند. به‌طور تجربی نشان داده شده است که معماری اصلی شبکه‌های

اتورگرسیو غیرخطی با ورودی برون‌زاد -NARX[1] که حلقه‌ای از خروجی‌های تأخیری تولید شده دارد، می‌تواند برای پیش‌بینی بلندمدت سری‌های زمانی تک متغیره به‌طور کارایی استفاده شود [6]. سهم تجزیه‌وتحلیل باقیمانده همراه با ترکیب شبکه‌های عصبی المان و NARX برای افزایش کارایی روش‌های پیش‌بینی بررسی شده است [2]. کاربرد دو روش تجزیه مسئله با شبکه‌های عصبی بازگشتی برای مسئله پیش‌بینی سری‌های زمانی مکی-گلاس، لورنز و لکه‌های خورشیدی توسط [7] ارائه شده است.

همچنین پژوهش‌های مختلفی در جهت ارائه مدل‌هایی از ترکیب روش‌های مختلف هوش محاسباتی به‌منظور پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی انجام گرفته است، در زیر می‌توان اشاره‌ای به این موارد داشت. یک رویه بهینه‌سازی برای مدل شبکه پس انتشار - BPN[2] مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، به‌منظور پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی پیشنهاد شده است [8]. در پژوهشی دیگر یک مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم ترکیبی، پیشنهاد داده‌اند. این مدل مبتنی بر شبکه عصبی المان بوده و از الگوریتم بهبودیافته‌ی ترکیب بهینه‌سازی ازدحام ذرات با ایده فرآیند تبرید شبیه‌سازی شد به‌جای الگوریتم استاندارد پس انتشار استفاده کرده است [1].

در روش‌های پیش‌بینی تحلیل باقی‌مانده کمتر موردتوجه بوده است. خطاهای پیش‌بینی به علت تصادفی بودن نیستند بلکه همبستگی بالای باقیمانده‌ها را نشان می‌دهند و همچنین در مواردی باقیمانده‌ها ویژگی‌های سیستم اصلی را به ارث می‌برند. در این پژوهش همراه با مدل پیش‌بینی از تحلیل باقیمانده به‌منظور افزایش کارایی مدل بهره خواهیم گرفت. با استفاده از تئوری تاکنز نقاط فضای حالت سری زمانی را بازسازی می‌کنیم. با توجه به این‌که سری‌های زمانی به‌طورکلی شامل مؤلفه‌های خطی و غیرخطی می‌باشند [9]. ارائه روش‌های ترکیبی که بتواند هر دو مؤلفه را مدل کند در جهت بهبود کارایی مدل پیش‌بینی مفید خواهد بود. در این مطالعه شبکه عصبی خطی و شبکه عصبی بازگشتی NARX را برای پیش‌بینی بکار گرفته‌ایم. ادامه مقاله به شرح زیر است: بخش 2 سری‌های زمانی آشوب و روش بازسازی آن‌ها در فضای حالت و خلاصه‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی را بحث می‌کند. بخش 3 روش پیش‌بینی پیشنهاد شده با جزئیات بیان می‌شود و کارایی روش پیشنهادی روی سه سری زمانی آشوبی شناخته‌شده‌ی مکی‌گلاس، لورنز و لکه‌های خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه‌گیری در بخش 4 ارائه شده است.

بازسازی سری زمانی آشوبی و شبکه‌های عصبی مصنوعی

تعداد زیادی سیستم‌های طبیعی رفتار آشوب‌گونه یا غیرخطی را نشان می‌دهند. تحلیل سری‌های زمانی آشوب‌گونه سه فاز اصلی دارد: 1) بررسی ویژگی‌های سیستم 2) تشخیص پارامترهای فضای حالت برای بازسازی 3) پیش‌بینی سری زمانی [10]. در تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی، یک گام مهم تعیین ویژگی‌های داده است. روش‌های زیادی برای فرق گذاشتن بین داده‌های تصادفی یا دوره‌ای از داده آشوبی استفاده شده است. تبدیل فوریه، توان لیاپونف، توان هرست، بُعد فراکتال ازجمله روش‌های تشخیص آشوب در سری‌های زمانی هستند [2].

تئوری تعبیه تاکنز عنصر ضروری تحلیل سری‌های زمانی آشوب است. تاکنز بیان می‌کند که اگر سری زمانی از یک سیستم دینامیکی معین به‌دست‌آمده باشد آنگاه بازسازی فضای حالت این سیستم به کمک یک اسکالر D با نام بُعد محاط و یک اسکالر τ با نام زمان تأخیر امکان‌پذیر می‌باشد [3]. یکی از روش‌های مرسوم برای پیداکردن بُعد محاط بهینه سری‌های زمانی آشوبی، روش شمارش نزدیک‌ترین همسایه‌های کاذب می‌باشد [11]. برای انتخاب زمان تأخیر مناسب τ، کمترین وابستگی بین عناصر نزدیک به هم در نقاط فضای فاز باید فراهم شود؛ بنابراین اولین کمترین تابع اطلاعات دوطرفه می‌تواند انتخاب شده باشد [12]. سپس سری زمانی می‌تواند در فضای چندبُعدی به‌وسیله رسم نقاط داده Y(t) به‌صورت معادله (1)، تعبیه می‌شود: که N طول سری زمانی اصلی، D بُعد تعبیه سری زمانی و T زمان تأخیر و t=0,1,2,…,N-DT-1 است.

$$Y(t) = [x(t), x(t-T), \dots, x(t-(D-1)T)] \quad (1)$$

[1] Nonlinear AutoRegressive with eXogenous input
[2] Back-propagation network

می‌توان گفت که یک شبکه عصبی مصنوعی ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد.

شبکه‌های عصبی را می‌توان به دودسته ایستا و پویا تقسیم‌بندی نمود. شبکه‌های عصبی فاقد اجزای پسخوردی و تأخیری می‌باشند و خروجی آن‌ها مستقیماً از طریق اتصالات روبه‌جلو شبکه تعیین می‌شود. در شبکه‌های پویا خروجی شبکه علاوه بر ورودی فعلی آن، به ورودی‌ها و خروجی‌های قبل و حالت شبکه نیز بستگی دارد [13]. عموماً شبکه‌های پویا دارای قدرت و کارایی بیشتری نسبت به شبکه‌های ایستا می‌باشند (البته آموزش آن‌ها نیز پیچیده‌تر و دشوارتر می‌باشد). ازآنجاکه شبکه‌های پویا دارای حافظه هستند از آن‌ها می‌توان برای فراگیری الگوهای ترتیبی و متغیر در زمان استفاده نمود. ازجمله‌ی این کاربردها می‌توان به پیش‌بینی‌های مالی، تسهسم کانال‌ها در سیستم ارتباطی، تشخیص فاز در سیستم‌های فشارقوی، مرتب‌سازی، تشخیص خطا، تشخیص گفتار و حتی پیش‌گویی ساختار پروتئین در علم ژنتیک اشاره کرد.

در ادامه به‌طور خلاصه دو شبکه عصبی خطی وNARX را معرفی خواهیم کرد. شبکه‌های خطی کاملاً شبیه به شبکه‌های پرسپترون می‌باشند با این تفاوت که علاوه بر صفر و یک می‌توانند هر مقدار دیگری را به‌عنوان خروجی تولید نمایند زیرا در این شبکه‌ها از یک تابع خطی در تابع انتقال استفاده شده است. شبکه‌های عصبی NARX، متعلق به معماری شبکه‌های عصبی پویای بازگشتی هستند. در شبکه‌های NARX خروجی بر مبنای خروجی‌های مراحل قبل و مقادیر مستقل سیگنال ورودی خارجی می‌باشد. این شبکه دارای کاربردهای زیادی می‌باشد. از این نوع شبکه می‌توان به‌عنوان پیشگو در راستای پیشگویی مقدار بعدی سیگنال ورودی استفاده نمود و یک کاربرد مهم این شبکه‌ها در مدل‌سازی سیستم‌های پویا غیرخطی می‌باشد [13].

مدل پیش‌بینی

با توجه به این‌که سری‌های زمانی به‌طورکلی شامل مؤلفه‌های خطی و غیرخطی می‌باشند [9]. ارائه روش‌های ترکیبی که بتواند هر دو مؤلفه را مدل کند در جهت بهبود کارایی مدل پیش‌بینی مفید خواهد بود. پس از تشخیص حضور آشوب، پارامترهای فضای حالت یعنی بُعد تعبیه و زمان تاخیر تعیین می‌شوند. با استفاده از مقادیر این پارامترها که به‌طورکلی D برای بُعد تعبیه و T برای زمان تأخیر در نظر گرفته شده است، تعداد [N-(D-1)T]از نقاط فضای فاز به‌صورت معادلات (2) تولید می‌شوند:

$$y(j), \quad j = 1 \sim [N-(D-1)T \quad (2)$$

$$Y(1)= [\, x(1), x(1+T), \ldots, x(1+(D-1)]$$
$$Y(2)= [\, x(2), x(2+T), \ldots, x(2+(D-1)]$$
$$\vdots$$
$$Y(j)=[x(N-(D-1)T), x(N-(D-1)T+T), \ldots, x(N)]$$

یک لایه عصبی خطی ایجاد و با D واحد ورودی و D واحد خروجی با استفاده از نقاط فضای حالت تولیدشده‌ی y(j), j=1~[N-(D-1)T-1] به‌عنوان ورودی و y(k), k=2~[N-(D-1)T] به‌عنوان خروجی آموزش داده می‌شود. ورودی و خروجی شبکه به‌وسیله معادلات (3) و (4) مشخص‌شده‌اند.

$$\begin{bmatrix} Y(1) \\ Y(2) \\ \vdots \\ Y(N-(D-1)T-1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} Y(2) \\ Y(3) \\ \vdots \\ Y(N-(D-1)T \end{bmatrix} \quad (4)$$

در این مرحله به‌نوعی علاوه بر جداسازی بخش خطی از غیرخطی، یک پیش‌بینی خطی از مقادیر آینده نقاط فضای حالت به دست می‌آید. پس از کامل شدن آموزش، مقادیر باقیمانده را به دست می‌آوریم.

به‌منظور بررسی سهم تحلیل باقیمانده‌ها در بهبود کارایی و دقت روش پیش‌بینی پیشنهاد شده، باقیمانده‌های به‌دست‌آمده را به‌عنوان یک سری زمانی آشوبی جدید با طول $N_1=N-(D-1)T-1$ در نظر گرفته و مشابه مرحله قبل نقاط فضای حالت را با توجه به مقادیر D_1 و T_1 تولید می‌کنیم. یک شبکه NARX موازی جدید با D_1 واحد ورودی و D_1 واحد خروجی ایجاد می‌کنیم. این شبکه عصبی به‌خوبی قابلیت پیش‌بینی مقادیر غیرخطی باقیمانده از سری زمانی را دارد. زمانی که آموزش کامل شد مقادیر پیش‌بینی به‌دست‌آمده از این شبکه را به ازای داده آموزشی بدست می‌آوریم. طول سری زمانی پیش‌بینی باقیمانده‌ها $N_1-(D_1-1)T_1-1$ است، بنابراین آخرین $N_1-(D_1-1)T_1-1$ داده از پیش‌بینی سری زمانی اصلی و مقادیر واقعی سری زمانی انتخاب می‌شوند.

سری زمانی پیش‌بینی باقیمانده را با مقادیر پیش‌بینی سری زمانی اصلی جمع می‌کنیم. مجموع حاصل را در قیاس با مقادیر اصلی قرار می‌دهیم.

شبیه‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی

به‌منظور ارزیابی، روش پیشنهادی روی سه سری زمانی آشوبی شناخته‌شده‌ی مکی‌گلاس، لورنز و لکه‌های خورشیدی اعمال

شده و کارایی آن را با نتایج گزارش شده در سایر پژوهش‌ها برای این مجموعه داده‌ها مقایسه کرده‌ایم.

معادله مکی‌گلاس: مکی‌گلاس در پژوهش‌ها به علت ویژگی‌های آشوب‌گونه‌اش به‌عنوان مدل محک استفاده می‌شود. معادله دیفرانسیل که منجر به سری زمانی می‌شود در معادله (5) مشخص شده است:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{ax(t-\tau)}{[1+x^c(t-\tau)} - bx(t) \quad (5)$$

در معادله مکی گلاس، پارامتر تأخیر τ، ویژگی‌های معادله را تعیین می‌کند. به این معنی که $\tau < 4.43$ یک جذب‌کننده* نقطه ثابت، $13.3 < \tau < 4.43$ یک جذب‌کننده چرخه‌ای ثابت، $16.8 < \tau < 13.3$ یک جذب‌کننده چرخه‌ای حد دوبل و $\tau >$ 16.8 آشوب را تولید می‌کند. پارامترها بر طبق گزارش‌های قبلی توسط [14] انتخاب شده‌اند که مقادیر ثابت b=0.1، a=0.2 و c=10 می‌باشند. یک مجموعه نمونه سری زمانی آشوبی با طول 1000 داده تولید شده توسط معادله مذکور استفاده شده است 500 نمونه اول برای آموزش و 500 نمونه بعدی برای تست انتخاب شده‌اند. سری زمانی با بُعد تعبیه D=3 و زمان تأخیر T=2 در فضای حالت بازسازی شده است. نقاط به‌دست‌آمده به لایه عصبی خطی با D واحد ورودی داده شده است. مقادیر پیش‌بینی شده با مقدار داده واقعی مقایسه شده و باقیمانده‌ها محاسبه شده‌اند. 485 نمونه باقیمانده با بُعد تعبیه D_1=3 و زمان تأخیر T_1=2 در فضای حالت بازسازی شده‌اند. نقاط فضای حالت به یک شبکه عصبی بازگشتی NARX موازی با 7 نرون در لایه پنهان داده شده و پس از کامل شدن آموزش خروجی حاصل با مقادیر پیش‌بینی به‌دست‌آمده از مرحله قبل جمع می‌شوند.

جهت ارزیابی با نتایج گزارش شده از سایر پژوهش‌ها خطای مجذور میانگین، خطای مجذور میانگین ریشه، بر طبق معادلات (6) و (7) محاسبه شده‌اند.

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}(\mathrm{y_i} - \hat{y_i})^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}(\mathrm{y_i} - \hat{y_i})^2} \quad (7)$$

که y_i و $\hat{y_i}$ به ترتیب داده مشاهده شده، داده پیش‌بینی شده و N طول داده مشاهده شده است. برای 500 نمونه داده سری زمانی آشوبی مکی‌گلاس با نتایج گزارش شده در ادبیات مقایسه شده و در جدول 1 ارائه شده‌اند. آزمایش‌های انجام شده برای سری زمانی مکی-گلاس، تائید می‌کند که کارایی روش پیشنهاد شده قابل قیاس با روش‌های ارائه شده در پژوهش‌ها است.

جدول 1: مقایسه خطای پیش‌بینی در دیگر پژوهش‌ها و روش پیشنهاد شده از سری زمانی مکی‌گلاس

روش پیش‌بینی	منبع	خطای پیش‌بینی	
		MSE	RMSE
تحلیل باقیمانده و ترکیب شبکه عصبی المان- NARX	محمود اردلانی فرسا، 2010، [2]	1.3855e-9	3.7222e-5
الگوریتم ترکیبی با شبکه عصبی المان	زین، 2010، [1]	--	0.0160
ترکیب شبکه عصبی BPN با الگوریتم ژنتیک	ونگ و هانگ، 2007، [8]	--	0.0155394
تجزیه مسئله با شبکه‌های عصبی بازگشتی	ژانگ، 2012، [7]	--	6.3e-4
روش پیشنهاد شده	---	**7.4053e-6**	**2.7e-3**

معادله لورنز: یک مثال سیستم‌های آشوب، آب و هواست. کارهای لورنز به‌طور گسترده برای استقرار تئوری آشوب است. معادلات لورنز به‌صورت معادله (8) نوشته می‌شوند:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \sigma[y(t) - \mathrm{x(t)}] \quad (8)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = \mathrm{x(t)[r - z(t)] - y(t)}$$

$$\frac{\mathrm{Dz(t)}}{\mathrm{dt}} = \mathrm{x(t)y(t) - bz(t)}$$

که σ،r، b پارامترهای بعدی و مقادیر عمومی برای این پارامترها b=8/3، r=28 و $\sigma = 10$ هستند [15].

یک مجموعه نمونه سری زمانی آشوبی با طول 2500 داده تولید شده با 1500 نمونه اول برای آموزش و 1000 نمونه بعدی برای تست توسط معادله مذکور استفاده شده است. نقاط فضای حالت با پارامترهای D=3 و T= به لایه عصبی خطی با D واحد ورودی داده شده است. 993 نقطه فضای حالت باقیمانده‌ها با D_1=3 و T_1=1 به یک شبکه عصبی بازگشتی NARX موازی با مشخصاتی که در بالا گذشت، داده شده و پس از کامل شدن آموزش خروجی حاصل با مقادیر پیش‌بینی به‌دست‌آمده از مرحله قبل جمع شده و با مقادیر اصلی مقایسه می‌شوند. مقایسه کارایی روش پیشنهادی را با نتایج گزارش شده در ادبیات در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2: مقایسه خطای پیش‌بینی در دیگر پژوهش‌ها و روش پیشنهاد شده از سری زمانی لورنز

روش پیش‌بینی		خطای پیش‌بینی	
		MSE	RMSE
تحلیل باقیمانده و ترکیب شبکه عصبی المان-NARX	محمود اردلانی فرسا، 2010، [2]	1.1731e-8	1.0831e-4
تجزیه مسئله با شبکه‌های عصبی بازگشتی	ژانگ، 2012، [7]	--	2.2e-2
سیستم ترکیبی موجک- عصبی- فازی انطباقی	بدونسکای، 2013، [17]	--	0.189
روش پیشنهاد شده	---	**1.7462e-7**	**4.1788e-4**

لکه‌های خورشیدی: پیش‌بینی فعالیت‌های خورشیدی موضوعی چالش‌برانگیز و مهم برای محققان مختلف و علاقه‌مند است [16]. سری‌های زمانی هموارشده ماهیانه لکه‌های خورشیدی از SIDC به‌دست‌آمده است. برای مقایسه با تعدادی از کارهای تحقیقاتی منتشر شده در پژوهش‌ها، داده در شرایط مشابه انتخاب شده است. سری لکه‌های خورشیدی از نوامبر 1834 تا ژوئن 2001 (2000 نقطه) انتخاب شده و در بازه [0,1] نرمال شده‌اند.1000 نمونه به‌عنوان داده آموزشی و 1000 نمونه دیگر برای تست مدل پیش‌بینی انتخاب شده‌اند. پارامترهای فضای حالت برای سری زمانی اصلی D=5 و T=1 و برای 995 نمونه باقیمانده D1=5 وT1=1 تعیین شده‌اند. مقایسه کارایی روش پیشنهادی را با نتایج گزارش شده در ادبیات در جدول 3 ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک روش پیش‌بینی جدید با استفاده از ترکیب تئوری بازسازی و تحلیل باقیمانده و ترکیب شبکه‌های عصبی خطی و NARX موازی برای پیش‌بینی سری‌های زمانی آشوبی توسعه داده شده است. همان‌طور که مشاهده شد روش پیشنهادی معتبر بوده و کارایی آن قابل قیاس با روش‌های پیشنهاد شده در گذشته است. در این مطالعه پارامترهای فضای حالت براساس بهترین گزینه‌ها در پژوهش‌های گذشته و سعی خطا تعیین شده بود، به‌عنوان پیشنهادی برای کارهای آینده می‌توان این مقادیر می‌تواند از روش‌های معتبر دیگری تعیین شود. همچنین با توجه به اثربخشی مدل می‌توان آن را برای دیگر سری‌های زمانی زمان واقعی نیز مورد آزمایش قرار داد.

جدول 3. مقایسه خطای پیش‌بینی در دیگر پژوهش‌ها و روش پیشنهاد شده از سری زمانی لکه‌های خورشیدی

روش پیش‌بینی	منبع	خطای پیش‌بینی	
		MSE	RMSE
تحلیل باقیمانده و ترکیب شبکه عصبی المان-NARX	محمود اردلانی فرسا، 2010، [2]	1.4078e-4	0.0119
ترکیب PCA و شبکه عصبی	ونگ و هانگ، 2007، [8]	---	13.66
تجزیه مسئله با شبکه‌های عصبی بازگشتی	ژانگ، 2012، [7]	---	2.17e-2
روش پیشنهاد شده	----	**6.1489e-6**	**2.5e-3**

5. مراجع

[1] Y. Xin, Z. Ye, Y.-G. He, and Z. Hai-xia, "Prediction of chaotic time series of neural network and an improved algorithm," in Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), 2010 IEEE Fifth International Conference on, pp. 1282-1286, 2010.

[2] M. Ardalani-Farsa and S. Zolfaghari, "Chaotic time series prediction with residual analysis method using hybrid Elman–NARX neural networks," Neurocomputing, vol. 73, pp. 2540-2553, 2010.

[3] پری‌زنگنه م. و عطایی م. و معلم پ.، «بازسازی فضای حالت سری‌های زمانی آشوبی با استفاده از یک روش هوشمند»، نشریه الکترونیک و قدرت دانشکده مهندسی برق، شماره 2، 1388.

[4] J. Mandziuk and R. Mikolajczak, "Chaotic time series prediction with feed-forward and recurrent neural nets," Control and Cybernetics, vol. 31, pp. 383-406, 2002.

[5] مرزبان ف.، بی‌باک م.، تشنه‌لب م.،« شناسایی و پیش‌بینی سیستم‌های آشوب با استفاده از شبکه‌های عصبی دینامیک زمان گسسته»، چهارمین کنفرانس داده‌کاوی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، 1389.

[6] J . M. P. Menezes Jr and G. A. Barreto, "Long-term time series prediction with the NARX network: An empirical evaluation," Neurocomputing, vol. 71, pp. 3335-3343, 2008.

[7] R. Chandra and M. Zhang, "Cooperative coevolution of Elman recurrent neural networks for chaotic time series prediction," Neurocomputing, vol. 86, pp. 116-123, 2012.

[8] T.-Y. Wang and C.-Y. Huang, "Applying optimized BPN to a chaotic time series problem," *Expert Systems with Applications*, vol. 32, pp. 193-200, 2007.

[9] Ufuk Yolcu, E. E ." A new linear & nonlinear artificial neural network model for time series forecasting",.Decision Support Systems, PP 1340-1347, 2013.

[10] D. S. Karunasinghe and S.-Y. Liong, "Chaotic time series prediction with a global model: Artificial neural network," *Journal of Hydrology*, vol. 323, pp. 92-105, 2006.

[11] M. B. Kennel, R. Brown, and H. D. Abarbanel, "Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction," Physical review A, vol. 45, p. 3403, 1992.

[12] C. Frazier and K. M. Kockelman, "Chaos theory and transportation systems: instructive example," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 1897, pp. 9-17, 2004.

[13] کیا م.، شـــبکه‌های عصـــبی در MATLAB، ویرایش دوم، انتشارات کیان رایانه،1390.

[14] J. Zhang and K. Man, "Time series prediction using RNN in multi-dimension embedding phase space," in Systems, Man, and Cybernetics, 1998. 1998 IEEE International Conference on, 1998, pp. 1868-1873.

[15] Q.-L. Ma, Q.-L. Zheng, H. Peng, T.-W. Zhong, and L.-Q. Xu, "Chaotic time series prediction based on evolving recurrent neural networks," in Machine Learning and Cybernetics, 2007 International Conference on, 2007, pp. 3496-3500.

[16] Sello, S ., "Solar cycle forecasting: a nonlinear dynamics approach", Astronomy & Astrophysics PP.312-320, 2001.

[17] Y. Bodyanskiy and O. Vynokurova, "Hybrid adaptive wavelet-neuro-fuzzy system for chaotic time series identification," Information Sciences, vol. 220, pp. 170-179, 2013.

کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص خطای آسانسور

مهران شیخی کاریزکی[1]، حلیمه شمشیری[2]

[1] دانشجوی دکتری مهندسی برق، گرایش مخابرات-سیستم، دانشگاه بیرجند، mehran369sh@yahoo.com

[2] کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، گرایش هوش مصنوعی، h.shamshiry@yahoo.com

چکیده: با احداث ساختمان‌های بلند در سال‌های اخیر، آسانسور در زندگی اغلب مردم استفاده می‌شود و اهمیت آسانسورها بیشتر و مهم‌تر شده است. مسئله مهم در سیستم‌های آسانسور تشخیص زودهنگام خطای آسانسور می‌باشد. روش‌های تشخیص خرابی یا خطای آسانسور برای تضمین جان و مال افراد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تکنیک‌های هوش مصنوعی از فناوری‌های مهم قرن بیست و یکم در تشخیص خطای آسانسور می‌باشند که در این مقاله از دو جنبه نظری و کاربردی مورد بحث و بررسی قرارگرفته اند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی مورداستفاده در این مقاله شبکه عصبیBP ،شبکه عصبی RBF و الگوریتم‌های SVMو K-means می‌باشند. بعد از تعیین الگوریتم‌ها به بررسی کاربرد آن‌ها و هوش مصنوعی در تشخیص خطای آسانسور پرداخته شده است. سرانجام، روند توسعه احتمالی هوش مصنوعی در تشخیص خطای آسانسور در آینده مورد بحث قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: *آسانسور، الگوریتم، تشخیص خطا، هوش مصنوعی*

مقدمه

با پیشرفت سریع علم و فناوری، ایمنی دستگاه‌های مورداستفاده روزمره نسبت به گذشته از اهمیت بیشتری برخوردار شده است که آسانسورها هم از این موضوع مستثنی نیستند و در شرایط کنونی، حوادث ناشی از آسانسورها مانند به دام افتادن افراد و سقوط آسانسور و قطع شدن برق و غیره زیاد اتفاق می‌افتد [1]. بنابراین در این مقاله به مطالعه چگونگی بهبود راه‌های تشخیص خطای آسانسور، برای نجات به‌موقع و کاهش میزان تلفات حادثه با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی پرداخته‌ایم. روش معمول برای کاهش میزان حوادث آسانسور، کاهش میزان ریسک خرابی آسانسور مطابق با ارزیابی عملکرد آسانسور می‌باشد[2]. که نتیجه آن، بهبود قابلیت اطمینان آسانسور و کاهش میزان حادثه بوده است. بااین‌وجود، به دلیل تعداد زیاد آسانسورها، انجام این روش کار دشواری می‌باشد؛ بنابراین، Chen و همکاران[3]. روش جدید محاسبه ریسک با ریاضیات فازی را برای محاسبه مقدار ریسک سیستم آسانسور پیشنهاد دادند. در عصر داده‌های بزرگ، با توسعه تکنولوژی‌های داده‌کاوی [4]، تکنولوژی هوش مصنوعی به‌عنوان منبع اطلاعات Real time می‌تواند روشی مؤثر برای تشخیص خطای آسانسورها و کاهش میزان حوادث در آسانسورها باشد. به‌طورکلی استفاده از فناوری هوش مصنوعی برای تشخیص خطاهای آسانسور دارای چهار مرحله اصلی است: (1) انتخاب مدل، (2) استخراج ویژگی، (3) بهینه‌سازی و آموزش مدل و (4) تشخیص الگوی خطای آسانسور.

از فناوری هوش مصنوعی به‌طور گسترده در تشخیص انواع مختلف نقص‌های مکانیکی استفاده شده است. به‌عنوان‌مثال، Chan [5]از الگوریتم K-Means بهبودیافته به‌منظور تجزیه‌وتحلیل وضعیت میزان خرابی آسانسورهای مختلف استفاده می‌کند. در [6] توسط Li و همکاران، روشی برای تشخیص خطای سیستم درب آسانسور بر اساس شبکه عصبی BP پیشنهاد شده است. Tian و همکاران [7]. برای دستیابی به تشخیص به‌موقع خطاها از طریق کوتاه‌ترین مسیر، روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان بهبودیافته را ارائه دادند. Gao [8]، نتایج آموزش دو الگوریتم شبکه عصبی BP و شبکه عصبی RBF را مقایسه

نموده که نتیجه مقایسه نشان داد، شبکه عصبی RBF از لحاظ سرعت آموزش، سریع‌تر از شبکه عصبی BP می‌باشد و قابلیت تعمیم بهتری دارد. سپس از شبکه عصبی RBF برای تأیید تشخیص خطای کمپرسور هوا استفاده می‌شود. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که شبکه عصبی RBF می‌تواند نوع خطای کمپرسور هوا را به‌طور دقیق پیش‌بینی کند. Shen [9] ترکیب وضعیت Real time عملکرد آسانسور را با ماشین حالت محدود (FSM) بر پایه جریان داده استفاده می‌کند تا قضاوت کند که آیا خطا در حین عملکرد آسانسور رخ می‌دهد یا خیر. سپس او از مدل Net Series مبتنی بر سری‌های زمانی استفاده می‌کند تا با سایر مدل‌های یادگیری ماشین مانند ماشین بردار پشتیبانی (SVM)، حافظه کوتاه‌مدت (LSTM) و شبکه‌های عصبی پیچشی کاملاً محکم (UFCNN) مقایسه کند. این ثابت می‌کند که مدل Net Series از تعمیم و همگرایی بهتری در تشخیص خطای آسانسور برخوردار است.

در این مقاله، هدف ما تحقیق و پژوهش الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تشخیص خطای آسانسور با دو روش نظری و کاربردی می‌باشد. در ادامه مقاله، بخش دوم چندین الگوریتم اصلی هوش مصنوعی مانند K-Means، SVM، BP و RBF را معرفی می‌کند. بخش سوم کاربردهای این الگوریتم‌های هوش مصنوعی را در تشخیص خطای آسانسور بررسی می‌کند. چشم‌انداز روش‌های هوش مصنوعی در تشخیص خطای آسانسور در بخش چهارم بحث شده است؛ و نتیجه‌گیری در بخش پنجم آورده شده است.

معرفی الگوریتم AI

در این بخش الگوریتم‌های کلی هوش مصنوعی برای تشخیص خطای آسانسور معرفی می‌شوند. امروزه به دلیل استفاده از سنسورهای دقیق، می‌توان اطلاعات مختلف آسانسور را به‌صورت پویا تحت نظارت داشت و الگوریتم‌ها نیازی به دانش قبلی ندارند و توانایی خودآگاهی قوی دارند. این الگوریتم‌ها می‌توانند اطلاعات مفید و مؤثری را از مجموعه داده‌ها استخراج کنند و سپس خطای آسانسور را تشخیص دهند.

شبکه عصبی BP

شبکه عصبی BP یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های تشخیص خطاهای مکانیکی می‌باشد که شامل یک لایه ورودی، چند لایه مخفی و یک لایه خروجی است. BP یک روش بازگشت به عقب می‌باشد که برای محاسبه گرادیان و تابع هزینه‌ی تمام وزن‌های شبکه می‌باشد. BP نیاز به یادگیری با نظارت دارد. با مشکل کمینه محلی (کوچک کردن تابع هزینه‌بر روی تمام داده‌ها) مواجه است که برای حل مشکل از روش گرادیان کاهشی استفاده می‌شود که هدفش پیدا کردن مجموعه وزن‌های بهینه می‌باشد. این شبکه عصبی از قابلیت نگاشت غیرخطی خوبی با عملکرد تعمیم عالی برخوردار می‌باشد. [10و11].

شبکه عصبی RBF

یک شبکه عصبی مصنوعی که از توابع پایه‌ای شعاعی به‌عنوان توابع فعالیت استفاده می‌کند و خروجی این شبکه یک ترکیب خطی از توابع پایه‌ای شعاعی برای پارامترهای ورودی و نرون ها است و این شبکه تابع تقریب و پیش‌بینی سری‌های زمانی و کلاس‌بندی و کنترل سیستم را انجام می‌دهد و دارای سه لایه: لایه ورودی، لایه مخفی با یک تابع فعالیت RBF خطی و لایه خروجی می‌باشد. در مقایسه با BP ساختار ساده‌تر و همگرایی بهتری دارد و می‌تواند کمینه محلی را بدون هیچ مشکلی تقریب بزند. شبکه عصبی RBF با تبدیل داده‌های ورودی از طریق یک تابع هسته، داده‌های ورودی را از حالت ورودی با بعد پایین به حالت ورودی با بعد بالاتر تبدیل می‌کند. درنتیجه، مسئله غیرخطی با بعد پایین را به یک مسئله تفکیک‌پذیر خطی با بعد بالاتر تبدیل می‌کند. به‌طور خلاصه، شبکه عصبی RBF با استفاده از واحد لایه مخفی پایه، فضای لایه مخفی را ایجاد می‌کند و با تابع هسته که همان نقطه شعاعی مرکزی متقارن است ترکیب می‌کند و به‌صورت کاهشی یکنواخت داده‌های ورودی به فضای قابل‌تفکیک خطی با بعد بالاتر نگاشت می‌یابد [12].

الگوریتمSVM

SVM یک الگوریتم یادگیری با نظارت است که به دلیل پردازش عالی شناسایی الگو و رگرسیون اغلب برای حل مسائل کوچک تشخیص خطا در ابعاد بالاتر استفاده می‌شود [13و14]. یکی از الگوریتم‌های رایج در حوزه دسته‌بندی داده‌ها است، درواقع مجموعه‌ای از نقاط در فضای n بعدی داده‌ها هستند که مرز دسته‌ها را مشخص می‌کنند و مرزبندی و دسته‌بندی داده‌ها بر اساس آن‌ها است و با جابجایی یکی از آن‌ها خروجی دسته‌بندی تغییر می‌کند. هدفش یافتن بهترین و بهینه‌ترین مرز بین داده‌ها است به‌گونه‌ای که بیشترین فاصله ممکن را از تمام دسته‌ها

داشته باشد و یک نمودار بهینه ایجاد کند و برای مواردی که با دقت بسیار بالا نیاز به ماشین داده‌ها داریم، به‌شرط اینکه توابع نگاشت را به‌درستی انتخاب کنیم، بسیار خوب عمل می‌کند[15].

الگوریتم K-means

K-means یکی از الگوریتم‌های یادگیری بدون نظارت است. اجرای آن ساده و آسان اما بسیار مؤثر است. عملکرد اصلی این الگوریتم طبقه‌بندی نمونه داده‌های مشابه در یک گروه با یکدیگر که کمترین تشابه با داده‌های خارج از خوشه خودشان را دارند می‌باشد. خوشه مرکزی را به‌طور تصادفی تولید می‌کند و خوشه متعلق به هر نقطه داده را طبق اصل کوتاه‌ترین فاصله اختصاص می‌دهد و سپس موقعیت خوشه مرکزی را بر اساس میانگین ارزش هر نقطه در خوشه تنظیم می‌کند. در مرحله بعد، طبق اصل کوتاه‌ترین فاصله تا زمانی که خوشه مرکزی دیگر تغییر نکند این تکرار ادامه می‌یابد. درنتیجه تابع هزینه را به حداقل می‌رساند و فرایند بهینه‌سازی باعث تغییر مکان خوشه مرکزی و انتساب هر نقطه در کوتاه‌ترین فاصله می‌شود [16].

کاربرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی در تشخیص خطای آسانسور

کاربرد شبکه عصبی BP در تشخیص خطای آسانسور

یکی از الگوریتم‌های معروف شبکه عصبی BP می‌باشد که به‌طور گسترده در پیش‌بینی غیرخطی، تشخیص خطا و شناسایی الگو بکار برده می‌شود. این الگوریتم دارای دو مشکل همگرایی و کمینه محلی است که در ترکیب با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، الگوریتم ژنتیک(GA) ، تحلیل مؤلفه اساسی (PCA) و... این مشکلات را می‌توان حل نمود. Li و Ai[17]، شبکه‌های عصبی BP را که با استفاده از الگوریتم بیزین تنظیم شده است را با داده‌های ورودی فازی شده ترکیب می‌کند. سپس بر اساس تئوری شواهدD-S ، نتایج حاصل از شبکه عصبی BP ادغام می‌شوند. درنهایت تصمیم‌گیری تلفیقی عیب‌یابی از سیستم راه‌انداز و کشش آسانسور تکمیل می‌گردد. تصمیم‌گیری تلفیقی تشخیص خرابی دستگاه نتایج مطمئن‌تری را ارائه می‌دهد.

Wang[18]، از روش حذف نویز بیشینه ضرایب تبدیل موجک و پارامترهای مشخصه حرکت آسانسور که با استفاده از روش کاهش ویژگی مجموعه راف کاهش یافته است استفاده می‌کند تا یک مدل آسانسور سرعت‌بالا برای تشخیص خطای توقف اضطراری مبتنی بر شبکه عصبی BP فازی فراهم کند. نتایج شبیه‌سازی ثابت می‌کند که مدل آسانسور دقت بالایی در آسانسورهای سرعت‌بالا دارد، چون سرعت همگرایی شبکه عصبی BP نامشخص است به دست آوردن مقدار کمینه محلی آسان است. همچنین Wang[19] از الگوریتم ژنتیکی (GA) استفاده می‌کند که از مزایای جستجوی سراسری موازی و استحکام قوی برخوردار است. الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی وزن اولیه و آستانه شبکه عصبی BP فازی استفاده می‌شود. سپس این نتایج بهینه را با نتایج آموزش شبکه عصبی بدون بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک مقایسه می‌کند. این نشان می‌دهد که شبکه عصبی بهینه‌سازی شده توسط GA از قابلیت تعمیم قوی‌تری برخوردار است. درنهایت، تشخیص خطا در سیستم کنترل آسانسور بر اساس این الگوریتم ممکن می‌شود. Liu [20]. باهدف این مسئله که سرعت همگرایی شبکه عصبی BP نامشخص و به دست آوردن مسئله کمینه محلی آسان است، از الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی (SA)استفاده می‌کند که یکی از روش‌های جستجوی تصادفی اکتشافی برای به دست آوردن راه‌حل بهینه سراسری است؛ و برای بهینه‌سازی سرعت همگرایی شبکه عصبی، از روش گرادیان مزدوج استفاده می‌کند. سرانجام، یک شبکه عصبی BP که ترکیبی از دو روش گرادیان مزدوج با یک الگوریتم SA با حافظه است را ارائه می‌دهد. مدل شبکه عصبی بهینه‌سازی شده عملکرد بهتری را در زمان آموزش، سرعت همگرایی و دقت نشان می‌دهد. صحت نتیجه تشخیصی تقریباً 100٪ است. Zhang و همکاران[21]، برای جمع‌آوری سیگنال‌های ویژگی خطا، از تجزیه میانگین محلی (LMD)استفاده کردند و سپس یک تشخیص خطا از یاتاقان (rolling bearings) را بر اساس یک شبکه عصبی BPساده بررسی کرده‌اند. Wen و همکاران[22]. یک شبکه عصبی BP بهبودیافته را بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)پیشنهاد دادند که نواقص شبکه عصبی BP که مقداردهی اولیه تصادفی وزن و آستانه، دقت پیش‌بینی را کاهش می‌دهد را حل کند؛ و سپس یک مدل پیش‌بینی خطای سیستم درب آسانسور را بر اساس شبکه عصبی PSO-BP ارائه می‌دهند.

یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد شبکه عصبی BP است که مشکل آن مقدار کمینه محلی و مقداردهی اولیه تصادفی وزن و آستانه است. بهینه‌سازی الگوریتم، هماهنگی خوب ویژگی غیرخطی را نشان می‌دهد که برای تشخیص خطا کاملاً مناسب است.

کاربرد شبکه عصبی RBF در تشخیص خطای آسانسور

در مقایسه با شبکه عصبیBP ، شبکه عصبی RBF دارای سرعت آموزش سریع‌تر و ساختار ساده‌تری است. ازآنجاکه می‌تواند یک راه‌حل سراسری بهینه را جستجو کند، هیچ مشکلی با مقدار کمینه محلی ندارد. این روش به‌طور گسترده در تشخیص نفوذ، تشخیص خطا، تشخیص پلاک و غیره استفاده می‌شود. بااین‌حال، برخی از کاستی‌ها در شبکه عصبی RBF نیز وجود دارد: انتخاب اولیه خوشه مرکزی کاملاً تصادفی است که ممکن است تأثیر بسیار خوبی در پیش‌بینی‌های بعدی داشته باشد. اما درعین‌حال می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانندSA ، GA و غیره برای بهینه‌سازی آن‌ها استفاده کرد. Duan و همکاران [23]. دو روش انتخابی خوشه مرکزی RBF و استخراج سیگنال حرکت پویا آسانسور به‌عنوان ورودی را ترکیب می‌کنند تا نوع خطای آسانسور در حال حرکت را پیش‌بینی کنند. Feng [24] استانداردسازی گسسته را بر روی داده‌های ورودی انجام می‌دهد و از K-means برای تعیین تعداد نورون‌های لایه مخفی استفاده می‌کند. سپس قابلیت بهینه‌سازی سراسری قوی، سرعت همگرایی بالا و عدم نیاز به تنظیم بیش‌ازحد پارامتر PSO را برای ایجاد یک شبکه عصبیRBF بر اساس PSO بهبودیافته ترکیب می‌کند. سرانجام، مقایسه با شبکه عصبی RBF معمولی، تشخیص عالی شبکه عصبی PSO-RBF را نشان می‌دهد. Zhang و همکاران [25] با استفاده از تجزیه بسته موجک برای استخراج ویژگی باند فرکانسی سیگنال پایداری غیر هم‌سطح یاتاقان و انطباق آن با بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی برای ایجاد مدلی که توانایی انطباقی قوی داشته باشد. آن‌ها مدلی برای تشخیص خطای یاتاقان بر اساس تجزیه بسته موجک و شبکه عصبی BBO-RBF ارائه دادند. با توجه به این پدیده که سیگنال خطای چرخ‌دنده ضعیف است و تشخیص آن دشوار است، Zhang and Xiao [26]. از تجزیه مقادیر منفرد (SVD) برای حذف نویز سیگنال ارتعاش چرخ‌دنده استفاده می‌کنند و سپس انرژی مقادیر تجزیه بسته موجک را به‌عنوان ورودی شبکه عصبی RBF برای تشخیص خطای چرخ‌دنده در نظر می‌گیرند. [27Zhang]. از ویژگی‌های الگوریتم تجزیه حالت تجربی گروهی (EEMD) بهره می‌برد که می‌تواند تجزیه‌وتحلیل تطبیقی را انجام دهند تا سیگنال‌های لرزش چند چرخ‌دنده را در گروه‌های بردار IMF پراکنده کنند و مقادیر ویژه را از ماتریس کوواریانس استخراج کنند. سپس از طریق الگوریتم تنظیم فضای مماس محلی(LTSA) ، ابعاد بردار ویژه را کاهش می‌دهند و به‌عنوان مقادیر ورودی شبکه عصبی RBF به‌منظور طبقه‌بندی و شناسایی خطای چرخ‌دنده استفاده می‌شود. او همچنین مدل‌های wavelet packet-RBFو LTSA-RBF را مقایسه می‌کند. محمدی و همکاران[28]. الگوریتمی را بر اساس تکامل ترکیبی پیشنهاد می‌کند که می‌تواند به‌طور خودکار معماری و پارامترهای وضعیت شبکه عصبی RBF را تعیین کند.

اگرچه مقداردهی اولیه خوشه مرکزی شبکه عصبی RBF استاندارد کاملاً تصادفی است و این ممکن است منجر به طولانی شدن زمان تکرار الگوریتم شود ولی الگوریتم‌های بهینه‌سازی زیادی برای حل چنین مشکلاتی استفاده می‌شوند. شبکه عصبی RBFبهینه در ترکیب با بسیاری از تکنولوژی‌های پیش‌پردازش داده‌های کارآمد، در زمینه تشخیص خطا بسیار قوی می‌باشند.

استفاده از شبکه عصبی SVM در تشخیص خطا آسانسور

SVMمی‌تواند برای طبقه‌بندی چندگانه یا پیش‌بینی داده‌ها استفاده شود. فرایند بهینه‌سازی آن، یافتن یک ابر صفحه (hyperplane) بهینه از بین نمونه‌های مختلف است. بیشتر با روش‌های ریاضی بهینه‌سازی می‌شود و حتی درصورتی‌که تعداد نمونه‌ها کم باشد می‌تواند تأثیر خوبی برای یادگیری داشته باشد. اینکه تأثیر آموزش خوب باشد یا خیر بستگی دارد به (1) : انتخاب تابع هسته، (2) انتخاب پارامترهایSVM . برای توضیح دومی، SVMروش‌های مختلف انتخاب پارامتر از قبیل روش گرادیان کاهشی، روش اعتبار سنجی متقابل، ایمنی مصنوعی و غیره را دارد.Gao [29]. برای تعیین پارامترهای SVM از جستجوی شبکه و اعتبارسنجی متقابل استفاده می‌کند، طبقه‌بندی کننده را به‌صورت یک‌به‌یک برای هر یک از دو نوع نمونه روی مسئله چند کلاسی خطاها ایجاد می‌کند؛ و سپس ابر صفحه بهینه را می‌یابد. سرانجام، طبقه‌بندی کننده ایجاد شده می‌تواند نوع خطا را طبقه‌بندی کند و آزمایش‌ها ثابت می‌کند که نتیجه تشخیص صحیح است. He و همکاران [30]، نمونه‌های سیگنال شکاف از خطاهای مختلف را از طریق سنسور جابجایی جریان گردابی با دقت بالا به دست آورده و سپس با تجزیه بسته موجک، بردار ویژه خطا را استخراج می‌کنند. سیستم تشخیص خطای آسانسور برای ترمز، بر اساس ماشین بردار پشتیبان حداقل-مربعی (LSSVM) است. در مرحله اول، Yi [31]، سیگنال شتاب ارتعاشات آسانسور را به بسته موجک تجزیه می‌کند، اطلاعات انرژی هر باند فرکانسی سیگنال را به دست می‌آورد و بردار ویژه انرژی را ایجاد می‌کند. در مرحله دوم، با مقایسه سه روش بهینه‌سازی پارامترهای SVM، تعیین می‌کند که PSO با طبقه‌بندی بهینه دقیق برای بهینه‌سازی پارامترها استفاده می‌شود. درنهایت، یک LSSVM مبتنی بر PSO ایجاد شده است که می‌تواند خطاهای آسانسور را با توجه به سیگنال حرکت آسانسور طبقه‌بندی کند. برای تشخیص

خطاهای یاتاقان آسانسور Saimurugan و همکاران [32]، استفاده می‌کند از 12 سیگنال ارتعاشی به‌دست‌آمده از حسگرهای پیزوالکتریک برای ویژگی‌های آماری از طریق درخت تصمیم و اثرات چهار تابع هسته مختلف مدل SVM در طبقه‌بندی خطا را مقایسه می‌کند. Li و همکاران [33] پیشنهاد روش تشخیص خطا بر اساس نسل دوم تبدیل بسته موجک (RSGWPT)، مجموعه‌های راف مجاور (NRS) و SVM را داده‌اند. در این روش از RSGWPT برای استخراج ویژگی‌های خطا برای نوشتن بردار ویژه و از NRS برای کاهش ابعاد بردار ویژه استفاده می‌کند. درنهایت، از SVM برای طبقه‌بندی حالت خطا با توجه به ویژگی‌های کلیدی آن استفاده می‌شود. از این روش برای تشخیص خطای گیربکس استفاده می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که توانایی طبقه‌بندی خوبی دارد. Yi و همکاران [34] سیگنال‌های شتاب ارتعاش و سیگنال‌های نویز در سه جهت X، Y، Z از ماشین را جمع‌آوری کردند، سیگنال ویژگی را با استفاده از تجزیه بسته موجک برای آموزش LSSVM استخراج کردند و درنهایت پارامترهای LSSVM را به‌وسیله GA بهینه‌سازی کردند به‌طوری‌که مدل طبقه‌بندی آسانسور برای خطای ماشین راندمان تشخیص خوبی دارد.

SVM دارای یک اصول طبقه‌بندی ساده و خوبی است؛ اما در هنگام استفاده از داده‌های بزرگ، زمان محاسبات و حافظه محاسباتی زیادی را هدر می‌دهد. یکی از راه‌حل‌ها این است که ابعاد داده را کاهش دهیم. به‌عنوان‌مثال، با استفاده از تکنولوژی‌های پیش‌پردازش داده‌ها مانند PCA و SVD. راه دیگر این است که مجموعه داده‌های بزرگ را به چندین مجموعه داده کوچک برای آموزش SVM تقسیم کنید. هر دو می‌توانند مشکل راندمان پایین استفاده از SVM را در مجموعه داده‌های بزرگ حل کنند.

استفاده ازK-means در تشخیص خطای آسانسور

K-meansیک الگوریتم خوشه‌بندی یادگیری بدون نظارت است. این الگوریتم ساده اما کارآمد یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد در تجزیه‌وتحلیل خوشه است. برای مثال می‌توان از آن برای یافتن مرکز گره عصبی در لایه مخفی شبکه عصبی RBF استفاده کرد. این اثر مطلوبی در خوشه‌بندی دارد، اما درعین‌حال ممکن است در بهینه محلی قرار بگیرد و اثر خوشه‌بندی آن به انتخاب تعداد k خوشه مرکزی وابسته است. روش‌های بهینه‌سازی متنوعی برای حل مسئله بهینه محلی وجود دارد، مانند K-means++. برای انتخابk ، در حال حاضر، روش اصلی فقط روش elbow (نقطه تورم روی منحنی) و ضریب contour می‌باشند که دقت کمتری دارند؛ اما این تأثیری در این‌که یکی از روش‌های اصلی تشخیص خطا در این مرحله باشد ندارد.

با توجه به این مشکل که الگوریتمK-means به‌راحتی به مسئله بهینه محلی ورود می‌کند، Fei [35]، الگوریتم K-means را بر اساس بهبود PSO پیشنهاد می‌کند که می‌تواند ضمن جلوگیری از ورود به بهینه محلی، سرعت همگرایی الگوریتم را بهبود بخشد. و سپس او چهار نوع مختلف از سیگنال خطا مکانیکی را جمع‌آوری می‌کند. ثابت شده است که مدل PSO- K-means می‌تواند چهار خطا مکانیکی را بهتر از قبل طبقه‌بندی کند. Tsortzisو Likas [36]. راه‌حل دیگری پیشنهاد می‌دهند: به حداقل رساندن واریانس در حداکثر k خوشه و سپس خوشه. Zhang و همکاران [37]، این روش و تابع هسته را ترکیب می‌کنند و سپس آن را با K-meansمعمولی و K-means++ مقایسه می‌کنند. نشان داده شده است که برتری روش جدید مشهود است. سپس با استفاده از الگوریتم هسته مینی ماکس K-means، یک مدل تشخیص خطای ارتعاش برای واحد مولد توربین آبی ایجاد می‌شود. Du و همکاران [38]، با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان (ACA) که دارای مزایای جستجوی هوشمند و بهینه‌سازی سراسری است، الگوریتم توصیف داده بردار پشتیبانی (SVDD) را بهینه کرده و این مسئله که انتخاب پارامتر SVDD تأثیر واضحی در عملکرد طبقه‌بندی دارد را حل می‌کند. سپس مدل SVDD مبتنی بر بهینه‌سازی ACA با K-means ایجاد می‌شود . مدل تشخیص خطا برای ماشین‌های دوار که از شاخص DBI برای تعیین تعداد خوشه مرکزی استفاده می‌شود تأثیر برجسته‌ای دارد. Zhang و همکاران [39] یک روش تشخیص خطا مکانیکی را بر اساس آنتروپی جابجایی چند مقیاسی (MPE) وK-means++ پیشنهاد دادند. سپس آن‌ها این روش را برای تغییر طبقه‌بندی حالت خطا به تپ چنجر زیر بار اعمال کردند. در [40]،Gong و همکاران. یک شاخص ارزیابی را بر اساس الگوریتم K-Means و PCA پیشنهاد دادند. شاخص ارزیابی با افزایش تعداد خوشه‌ها، آستانه تشخیص خطاها را بهبود می‌بخشد، بنابراین می‌تواند سیگنال‌های خطا را با حساسیت بیشتری تشخیص دهد. Amruthnath و Gupta [41]. اثر خوشه‌بندی انواع مختلفی از روش‌های خوشه‌بندی مانند K-means, Fuzzy C-Means و غیره را مقایسه می‌کنند. راه‌حل‌های زیادی برای این مسئله که الگوریتمK-means ممکن است در محاسبات تکراری وقت خود را تلف کند وجود دارد. به‌عنوان‌مثال، Elkan K-means سرعت محاسبات K-means را با کاهش محاسبات غیرضروری بهینه می‌کند و Mini Batch K-means

زمان تکرار K-means را با کاهش منظم تعداد نمونه‌ها در مجموعه نمونه‌های آموزشی کاهش می‌دهد.

رویدادهای آینده

با توسعه مداوم فناوری هوش مصنوعی، توانایی به‌کارگیری فناوری هوش مصنوعی در تشخیص خطا آسانسور به‌طور مداوم در حال پیشرفت است. مطالب فوق فقط به قسمتی از کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص خطا اشاره دارد و رویدادهای جدیدی در تشخیص خطا در آینده وجود دارد.

تشخیص تصویر

با بهبود مداوم بینایی رایانه، مدل تشخیص خطا مبتنی بر پردازش تصویر به یکی از مسیرهای توسعه تشخیص خطا آسانسور تبدیل خواهد شد. علاوه بر این، با ظهور انواع مختلفی از بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی پیچشی (CNN)مانندResNet و DenseNet ،[42] تشخیص خطا Real time بر اساس پردازش تصویر ممکن است از تشخیص خطا به پیش‌بینی خطا تبدیل شود. نتیجه پیش‌بینی وقوع خرابی، جلوگیری بیشتر از ضرر مالی می‌باشد. Yaman و Karakose [43]. یک روش تشخیص خطا برای طناب آسانسور را بر اساس پردازش تصویر ارائه می‌دهند و تشخیص لبه بر روی تصویر طناب آسانسور دریافت شده را برای شناسایی وضعیت طناب انجام می‌دهند. تصاویر با دوربین‌های ثابت توسط سیستم آسانسور گرفته می‌شود. موقعیت طناب آسانسور با استخراج لبه‌ها بر روی تصاویر تعیین می‌شود. بنابراین، طناب آسانسور به‌صورت Real time نظارت می‌شود. طناب شناسایی شده با استفاده از روش همبستگی خودکار به سیگنال‌های تصویر تبدیل می‌شود؛ و سیگنال تفاوت، سیگنال‌های خطا را که با استفاده از سیگنال همبستگی خودکار به‌دست‌آمده را به‌عنوان خطای طناب نشان می‌دهد.

یادگیری قانون انجمنی

امروزه، بسیاری از فن‌آوری‌های تشخیص خطا در آسانسورها محدود به یک جزء یا یک سیستم محلی خاص هستند؛ اما به دلیل همبستگی بین اجزای مختلف درون سیستم، معمولاً تشخیص خطا با انحرافاتی مواجه می‌شود. بر این اساس، دقت تشخیص خطا آسانسور را می‌توان با استفاده از برخی روش‌های یادگیری ماشین به‌طور قابل‌توجهی بهبود داد تا قواعد ارتباط هر یک از مؤلفه‌ها را پیدا کرده و برخی از تنظیمات را در سیستم تشخیصی انجام داد. تحقیقات زیادی در مورد روش یادگیری ماشین انجام شده است، مانند الگوریتم Apriori در یادگیری قانون انجمنی. این امر می‌تواند قوانین انجمنی را در مجموعه داده‌ها و همبستگی داده‌ها به دست آورد.

سیستم تشخیص خطای هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی

مکانیسم خطا و دانش قبلی روش‌های تشخیص خطا عمدتاً به مکانیسم خطا و درخت خطا متکی بوده و یا به شناسایی الگو و سیستم‌های خبره مبتنی بر قانون تکیه دارد. با پیشرفت هوش مصنوعی، سیستم‌های تشخیصی زیادی امروزه وجود دارند اما به اندازه کافی هوشمند نیستند و نیاز به پیشرفت‌های جدیدی خواهند داشت. سیستم تشخیص خطای هوشمند، ترکیبی از هوش مصنوعی، مکانیسم خطا و دانش قبلی است که یکی از مسیرهای توسعه تشخیص خطا خواهد بود.

5. نتیجه‌گیری

تشخیص خطای آسانسور برای کاهش وقوع خرابی آسانسور و اطمینان از ایمنی و امنیت افراد قابل توجه است. ظهور فناوری هوش مصنوعی ابزار فنی جدیدی را برای تشخیص خطا آسانسور به ارمغان آورده است. در این مقاله شبکه عصبیBP ، شبکه عصبیRBF ، - K-means و SVMبه‌صورت نظری معرفی شده و کاربرد آن‌ها به‌طور خلاصه گفته شده است. نتایج حاصل از این الگوریتم‌ها به‌تنهایی خوب عمل نمی‌کنند و مشکلاتی دارند که با استفاده از ترکیب آن‌ها با الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توان بهتر و سریع‌تر خطای آسانسورها را تشخیص داد. با پیشرفت سریع هوش مصنوعی، اعتقاد بر این است که تشخیص خطای آسانسور بیشتر و مؤثرتر خواهد شد.

منابع

[1] State Administration for Market Regulation. (2019) The Notice about Safety Status of Special Equipment in 2018 (In Chinese). http://samr.saic.gov.cn/tzsbj/gzdt/201904/t20190404_292592.html

[2] Zhang H. and Rui Y.N. 2009 Rese arch on Extension-Fuzzy-Based Evaluation Used for Elevator Performance Electrotechnics Electric 08 12-15

[3] Chen Z.P., Wang Z., Zhang G.A., Li C.G., Li Z.W. and He P. 2019 Research of big-data-based elevator fault diagnosis and predication Journal of

Mechanical & Electrical Engineering 36 90-94
[4] Chang K. 2014 A Comparative and Analysis Research of Neural Network in the Classification Algorithm of Data Mining (Anhui University)
[5] Chang S. 2018 The Mining Algorithm Research of Elevator Safety Big Data Based on Hadoop Journal of Weinan Teachers College 33 34-40
[6] Li F.J., Qu Z.W., Dou L.Q. and Zong Q. 2009 Study of the fault prediction for elevator gate system based on neural network Journal of Tianjin University of Technology 25 8-10
[7] Tian Z.X., Zhang Y., Pan Y.X. and Li J.D. 2018 Application Research of Ant Colony Algorithm in Elevator Monitoring System (In Chinese) Electronics World **9** 202
[8] Gao B. 2016 Research on Mechanical Fault Diagnosis Based on Neural Network (Qingdao University of Science and Technology)
[9] Shen Z.P. 2018 Research and Application of Elevator Safety Monitoring Method based on Big Data (Zhejiang University of Technology)
[10] Fan Z.Y. 2011 BP neural network model and learning algorithm (In Chinese) Software Guide 10 66-68
[11] Wu C.Y. 2007 The Research and Application on Neural Network (Northeast Agricultural University)
[12] Chai J., Jiang Q.Y. and Cao Z.K. 2002 Function Approximation Capability and Algorithms of RBF Neural Networks Pattern Recognition and Artificial Intelligence 15 310-316
[13] John S.T. and Sun S.L. 2011 A review of optimization methodologies in support vector machines Neurocomputing 74 3609-3618
[14] Widodo A. and Yang B.S. 2007 Support vector machine in machine condition monitoring and fault diagnosis Mechanical Systems and Signal Processing 21 2560-2574
[15] Ding S.F., Qi B.J. and Tan H.Y. 2011 An Overview on Theory and Algorithm of Support Vector Machines Journal of University of Electronic Science and Technology of China 40 2-10
[16] Khawaja S.G., Khan A.M., Akram M.U. and Khan S.A. 2018 A novel architecture for k-means clustering algorithm AECIA 2016. Marrakech 311-320
[17] Li R. and Ai Y.L. 2010 Study on fault diagnosis of elevator based on neural network information fusion technology Computer Engineering and Applications 46 231-234
[18] Wang Z.P. 2016 A Research of Emergency Stop Fault Diagnosis Technology Based on Big Data Analysis of High-Speed Elevator Running Characteristics and its Application (In Chinese) (Zhejiang University of Technology)
[19] Wang H.B. 2013 Research of Elevator Real-time Monitoring and Online Intelligent Fault Diagnosis Based on Fuzzy Neural Network (Northeast University)
[20] Liu L. 2013 Research on the Elevator Fault Diagnosis Based on the BP Neural Network (Xinjiang University)
[21] Zhang L.P., Liu H.M. and Lu C. 2016 Fault Diagnosis Technology of Rolling Bearing Based on LMD and BP Neural Network Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (Guilin,) 1327-1331
[22] Wen P.G., Zhi M., Zhang G.Y. and Li S.M. 2016 Fault Prediction of Elevator Door System Based on PSO-BP Neural Network Engineering 8 761-766
[23] Duan D., Qiu Y.M. and Zhou L. 2011 Fault Predication of Multi-Elevator Operating System Based on Neural Network Computer Systems and Applications 20 252-255
[24] Feng X. 2017 Research and Implementation of Monitoring and Warning System for Elevator Operation (University of Science and Technology of China)
[25] Zhang Q., Gao J.W., Zhang B., Mao Y.L. and Dong H.H. 2017 Fault Diagnosis of Rolling Bearing Based on Wavelet Packet and BBO-RBF Industrial Control Computer 30 83-84
[26] Zhang Q. and Xiao S.G. 2017 Gear Fault Diagnosis of RBF Neural Network Based on Singular Value

Decomposition (In Chinese) The 7th National Conference of Local Mechanical Engineering Society and the Cross-Strait Machinery Science and Technology Academic Forum (Wenchang,) 311-315
[27] Zhang J.T. 2018 The fault diagnosis of gear based on manifold learning method and radial basis function neural network College of Machinery and Equipment
[28] Mohammadi R., Fatemi Ghomi S.M.T. and Zeinali F. 2014 A new hybrid evolutionary based RBF networks method for forecasting time series: A case study of forecasting emergency supply demand time series Engineering Applications of Artificial Intelligence 36 204-214
[29] Gao F. 2014 Research and Development of Fault Diagnosis Expert System for Elevators (Northeastern University)
[30] He W.H., Wu P.L. and Shen W.C. 2010 Fault Diagnosis of Elevator Brake Based on LS-SVM Industry and Mine Automation 36 44-48
[31] Yi S.L. 2016 Research on Elevator Fault Diagnosis Method Based on Vibration Feature Extraction (Kunming University of Science and Technology)
[32] Saimurugan M., Ramachandran K.I., Sugumaran V. and Sakthivel N.R. 2011 Multi component fault diagnosis of rotational mechanical system based on decision tree and support vector machine Expert Systems with Applications 38 2923-4660
[33] Li N., Zhou R., Hu Q.H. and Liu X.H. 2012 Mechanical fault diagnosis based on redundant second generation wavelet packet transform, neighborhood rough set and support vector machine Mechanical Systems and Signal Processing 28 1-696
[34] Yi S.L., Wan Z., Tao R., Li K., Gou M. and Li X.S. 2016 Diagnosis of Elevator Faults with SVM Based on Optimization by GA Computer and Digital Engineering 44 166-170
[35] Fei X.J. 2015 Machinery Fault Intelligent Detection Based on Improved K-means Clustering Computer Measurement and Control 23 1121-1123
[36] Tzortzis G.F. and Likas A.C. 2009 The Global Kernel k-Means Algorithm for Clustering in Feature Space IEEE Transactions on Neural Networks 20 1181-1194
[37] Zhang X.Y., Zhang X.P. and Su B.P. 2015 Vibrant fault diagnosis for hydro-turbine generating unit using minmax kernel K-means clustering algorithm Power System Protection and Control 43 27-34
[38] Du W.L., Li A.S., Sun W., Li Y.M. and Liu C.L. 2012 Fault Diagnosis of Rotating Mechanism Based on Ant Colony SVDD Algorithm and Cluster Method Journal of Shanghai Jiao Tong University 46 1440-1444
[39] Zhang Y., Chen B., Xu Y., Wang L., Xu H.H. and Ma H.Z. 2018 Mechanical fault diagnosis method for OLTC based on MPE and K-means++ algorithm 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC) (Chongqing,) 1252-1256
[40] Gong X.B., Wang R.X. and Xu M.Q. 2014 Early Sensor Fault Detection Based on PCA and Clustering Analysis Journal of Harbin Institute of Technology (New Series) 21 113-120
[41] Amruthnath N. and Gupta T. 2018 A Research Study on Unsupervised Machine Learning Algorithms for Early Fault Detection in Predictive Maintenance 2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) (Chongqing,) 355-361
[42] He K., Zhang X.Y., Ren J. and Sun J. 2016 Deep Residual Learning for Image Recognition 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (Las Vegas,) 770-778
[43] Huang G., Liu Z., Maaten L.v.d. and Weinberger K. Q. 2017 Densely Connected Convolutional Networks 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (Honolulu,) 2261-2269

دمای بافت‌های سرطانی سینه در طول درمان

مهران کریمیان ریزی[1]، وحید رنجبر عین الدین[2]

[1] دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، mehrankarimian97@ms.tabriz.ac.ir

[2]دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، v.ranjbar98@ms.tabriz.ac.ir

چکیده: در این مقاله، تشخیص کیست سینه بر اساس مشخصه دمایی سطحی پیشنهاد شده است. مشخصه دمایی یک سینه‌ی نرمال و سینه همراه با کیست در این مطالعه، ارزیابی شده است. انتقال گرما داخل سینه با استفاده از معادله‌ی گرمای زیستی پنس با استفاده از روش المان محدود در نرم افزار COMSOL Multiphysics، حل شده است. یک سطح مقطع دو بعدی از سرطان سینه با استفاده از نیم دایره مدل سایز شده است در حالی که کیست به صورت یک دایره‌ی کوچک در نظر گرفته شده است . توزیع دمایی بر روی سطح سینه برای سینه ی نرمال و سینه همراه با کیست با سایز های مختلف در این مطالعه مشخص شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی تفاوت در مشخصه دمای سطحی سینه‌ی نرمال و سینه همراه با کیست با سایز های مختلف می‌باشد.

کلید واژه: *بافت سینه، روش المان محدود، درمان با افزایش دما*

[44] Yaman O. and Karakose M. 2017 Auto Correlation Based Elevator Rope Monitoring and Fault Detection Approach with Image Processing 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) (Malatya,) 1-5

مقدمه

مادامی که تکنولوژی‌های بی‌سیم محبوبیت بیشتری پیدا می‌کنند، تاثیر امواج الکترومغناطیس (EM) که از این دستگاه های منتشر می‌شود، یکی از مهم‌ترین مشکلات در ذهن عموم مردم شده است. سینه یکی از آسیب‌پذیرترین ارگان‌های بدن نسبت به موج‌های EM می‌باشد، از این‌رو سرطان سینه یکی از مهم‌ترین مشکلات سلامتی در تمام جوامع می‌باشد. شناسایی زود هنگام یکی از مهم‌ترین موضوعات برای درمان موفق این مشکل می‌باشد[1].

در طول دهه‌ی اخیر، تعداد تحقیقات در رابطه با میزان نشر موج‌های EM بر روی سرطان سینه‌ی زنان در فرکانس‌های مایکروویو، افزایش داشته است. تحلیل‌های دو بعدی سینه در معرض موج‌های مایکروویو در سال 2007 توسط لازنبیک و همکارانش بررسی شد[2] و مدل سه‌بعدی آن نیز توسط سانتورلی و همکارانش در سال 2011 بررسی شد[3]. سانتورلی سطح انرژی را با استفاده از تفاوت‌های محدود در دامنه‌ی زمانی (FDTD) بررسی کرده است که در این شرایط، آنتن در مکان های خاصی با فرکانس‌های خاص قرار داشته است. از نوع اپلیکاتورهای پیچه‌ای، در مطالعه‌ی واجوکوا و همکارانش در سال 2014 استفاده شده است[4] تا بتوان SAR و مشخصه‌های دمایی در فرکانس 2.45Ghz در برنامه‌ی SEMCAD را با استفاده از مدل کروی سینه و تومور، مشخص کرد. توزیع سه‌بعدی الگوی نرخ جذب ویژه (SAR)، و دمای مدل‌های چند لایه‌ای سینه ی سرطانی نیز در زمان نشر موج‌های EM در فرکانس 2.45GHz، بررسی شده است. بررسی توزیع الگوی SAR، نسبت موج‌های منتشر شده (SWR)، خطر بافتی و دمای بافتی در طول نشر موج از آنتن با فرکانس 2.45Ghz با قطر های مختلف نیز ارزیابی شده است. به علاوه، شبیه‌سازی های عددی FDTD ارزیابی امنیت فرکانس رادیویی (RF) برای بافت‌های سینه نیز با استفاده از مدل‌های آناتومیک زنانه با فرکانس نشر 64 و 128 MHz بررسی شده است. در تمام این مطالعه، این نتیجه‌گیری به دست آمد که افزایش در SAR، برای ایجاد ریسک گرمایش بحرانی در بافت‌ها، کافی نمی‌باشد[5].

در زمان درمان سرطان، مهم‌ترین هدف ضعیف کردن بافت‌های سرطانی با استفاده از گرما بدون آسیب زدن به

بافت‌های سالم بدن انسان می‌باشد. روش‌های تصویر برداری مختلف مانند گرمانگاری، مقطع‌نگاری با استفاده از مایکروویو و رادارهای فراصوت پهن‌باند، تکنیک‌های پهن باند و نازک باند مایکروویو و دیگر تکنیک‌های دامنه‌ی زمانی نیز اخیراً گزارش شده‌اند[7]. فراصوت متمرکز قوی نیز یکی از روش‌های درمانی جدید برای سرطان سینه می‌باشد[8]. ژنگ و همکارانش، توزیع افزایش دما در سینه‌ی انسان را در طول این درمان با استفاده از روش عددی FDTD بررسی کردند[9]. آن‌ها از مدل سینه از تصویرهای MRI از 4 بیمار مختلف استفاده کردند. یک روش شناسایی جدید سرطان سینه با ترکیب گرما نگاری و تکنیک‌های تحریک با فرکانس بالا نیز در سال 2017 توسط رحمت نیا و همکارانش ارائه شده است[10]. آن‌ها مکان و سایز بافت بد خیم را با تغییر دما بر روی سطح سینه، تخمین زدند.

به صورت موازی، فانتوم‌های واقعی سینه و پیکربندی‌های مختلف برای آنتن نیز در مقالات بهبود یافته است[11]. ساخت مدل‌های همگن و ناهمگن برای کاربرد های تصویر برداری ماکرویو نیز برای شبیه‌سازی ویژگی‌های دی الکتریک سینه‌ی انسان طراحی شده است. یک مدل سینه سه‌بعدی بر اساس امواج ماکرویو با شکل، سایز و تراکم بافتی مختلف در سال 2015 بررسی شده است[12]. به علاوه، منابع نشر EM نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. میزان کنتراست آنتن‌های دایره ای و صفحه‌ای برای سرطان سینه نیز در سال 2014 با استفاده از تصویر برداری‌های مایکروویو با مدل‌های دو بعدی FDTD در سینه[13]، بررسی شده است. نتیجه‌گیری این مقاله‌این بوده است که به نظر می رسد پیکر بندی دایره ای نسبت به تغییرات عادی در حالت ناهمگونی دی الکتریک در سینه، عملکرد بهتری دارد. عملکرد آنتن‌های پهن شیار و آنتن های اتصالی نیز در سال 2013 توسط سم و همکارانش بررسی شده است[14] تا با این روش بتوان سرطان سینه را از نظر الگوی تشعشع، از دست رفتن بازگشت موج، پهنای باند و SAR در فرکانس‌های 2GHz تا 10GHz شناسایی کرد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فرکانس های پهن باند با آنتن‌های شیاری، عملکرد بسیار خوبی دارند.

انگیزه‌ی این مطالعه، استفاده از سیگنال‌های تلفن همراه برای شناسایی تومور در سینه می‌باشد. هدف این مطالعه اندازه گیری کردن سیگنال‌های تلفن همراه بر روی سینه‌ی انسان می‌باشد. افزایش دما و سطوح SAR در این مقاله در نظر گرفته شده و با محدودیت‌های مشخص شده توسط سازمان‌هایی مانند ICNIRP، مقایسه شده است[15]. همچنین این روش ممکن است شناسایی ناحیه‌ی تومور را به دلیل مشخصه‌های EM (میزان عبور دهی و غیره) را هم تسهیل ببخشد، زیرا مشخصه‌های بافت‌های سرطانی به صورت محسوس نسبت به منطقه های سالم، متفاوت می‌باشد[16]. به این هدف، روش المان محدود (FEM) برای حل کردن معادله‌های تفاضلی نسبی (PDE) مرتبط با معادله امواج EM و معادله‌ی گرمای زیستی، مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر ورودی مانند سایز تومور، مکان تومور، فاصله‌ی آنتن تا سینه نیز در این مطالعه تغییر داده شده است تا مقدار افزایش SAR و دما را مشخص کرد[17].

پیش‌زمینه‌های نظری

زمانی که بافت انسان در معرض موج‌های RF قرار می گیرد، اندازه گیری میزان انرژی جذب شده با نام روش SAR شناخته می‌شود و با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد :

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{\rho} \qquad (1)$$

که E نشان‌دهنده‌ی مقدار موثر میدان الکتریکی داخل بدن انسان، ρ نشان‌دهنده‌ی تراکم جرمی بافت $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ و σ نشان‌دهنده‌ی میزان رسانش $\left(\frac{S}{m}\right)$ می‌باشد. عمق نفوذ انرژی EM باید یک سانتی یا بیشتر باشد تا SAR معنی پیدا کند. روش FEM برای محاسبه‌ی SAR در مدل‌های کروری مورد استفاده قرار می گیرد و آنتن SAR کنار سینه قرار می‌گیرد و به عنوان منبع تحریک متحرک مورد استفاده قرار می‌گیرد[18].

زمانی‌که سر انسان در معرض میدان‌های EM قرار می‌گیرد، جریان خون و پارامترهای گستره‌ی متابولیک باید در نظر گرفته شود[19]. رابطه‌ی بین میدان‌های EM و انتقال گرما را می‌توان با استفاده از معادله‌ی گرمای زیستی پنس محاسبه کرد :

$$c\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (K\nabla T) + \rho(SAR) - B(T - T_{blood}) \quad (2)$$

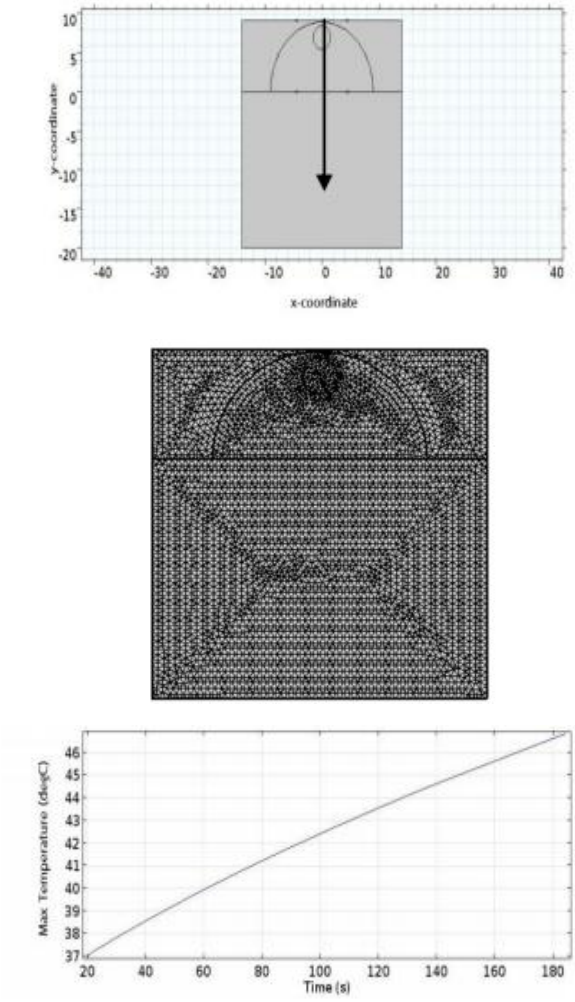
که در این معادله T نشان‌دهنده‌ی دما در هر نقطه داخل بافت، ρ نشان‌دهنده‌ی تراکم بافت و c نشان‌دهنده‌ی ظرفیت گرمایی ویژه‌ی این بافت می‌باشد[20]. عبارت اول دست راست این معادله، انتقال گرمای رسانشی را توصیف می‌کند که k نشان‌دهنده‌ی رسانایی گرمایی بافت می‌باشد. عبارت دوم نیز نشان‌دهنده‌ی انتقال گرما در اثر همرفت و نشر در اثر خون را نشان می‌دهد که h_b ضریب همرفت گرمایی در خون، C_b ظرفیت گرمایی ویژه‌ی خون و T_{blood} دمای خون می‌باشد که معمولا به صورت 37 درجه سانتی گراد در نظر گرفته می‌شود. عبارت Q_m گرمای متابولیک می‌باشد[21].

نتایج شبیه‌سازی

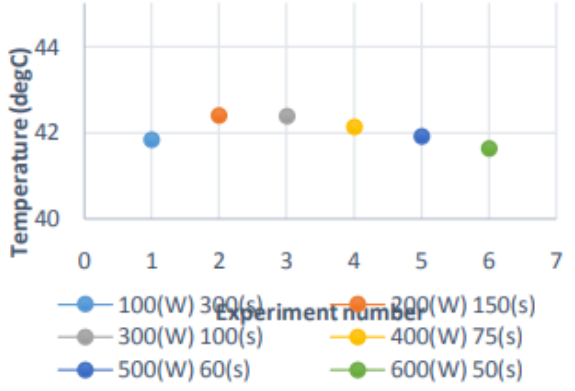
همانطور که می‌توان از شکل 1 مشاهده کرد، بافت سینه که توسط هوا پوشانده شده است، به صورت یک نیم دایره با شعاع 9 سانتی متر و متصل به یک مستطیل با 20 سانتی متر طول و 18 سانتی متر عرض تعریف شده است که این مستطیل در واقع بدن بیمار را مشخص می‌کند ؛ بافت سرطانی نیز به صورت یک دایره‌ی کامل به شعاع 2 سانتی متر توصیف شده است. یک فلش نشان‌دهنده‌ی جهت موج 2.45GHz می‌باشد که از قسمت بالایی به سمت قسمت پایینی حرکت کرده و از هوا عبور می‌کند. مدل FEM که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است را می‌توانید در شکل 2 مشاهده کنید.

هدف این مطالعه به دست آوردن دامی 42 تا 43 درجه در سلول های سرطانی و در عین حال حداقل کردن دمای افزایش یافته در دیگر مناطق سینه می‌باشد. شبیه‌سازی اول با ورودی توان ثابت در قسمت بالایی با مدت زمان درمان متغیر انجام شده است. نتایج در شکل 3 نشان‌دهنده‌ی این می‌باشد که زمان درمان بین 75-115 ثانیه برای توان ورودی 300W مناسب می‌باشد.

دوما، انرژی ثابت مرتبط با توان ورودی و مدت زمان درمان به صورت 3000W.s تعریف شده است. شش ترکیب مختلف از همین انرژی شبیه‌سازی شده و نتایج آن در شکل 4 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با یک مقدار مشابه از انرژی، دما ثابت می ماند و موضوع ترکیب توان ورودی تغییری را ایجاد نمی‌کند[22].



شکل (1) : مدل فرآیند، مدل FEM فرایند و حداکثر دما روی سلول سرطانی با توان ورودی 300 وات

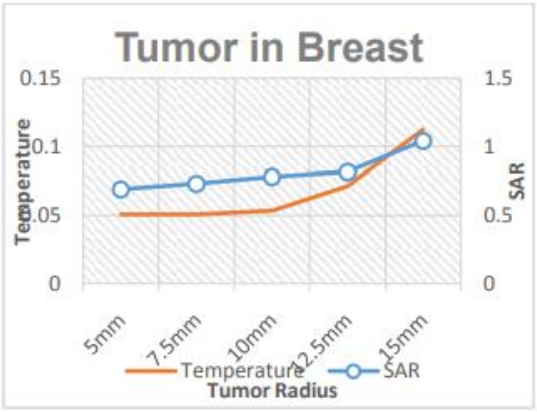


شکل (2) : تغییرات دما در سطح انرژی ثابت

جدول (1) : خواص بافت طبیعی و بافت تومور

	Conductivity (S/m)	Permittivity
Normal tissue	4	9
Tumor	9	50

سینه‌ی سالم و تومور بدخیم، از نظر ویژگی‌های دی‌الکتریک کاملا متفاوت هستند. بخش ناسالم سینه شامل سطوح بالاتری از آب می‌باشد که در نتیجه مقادیر رسانش بالاتری دارد. این موضوع منجر به شکل‌گیری مقادیر SAR بالا شده و در نتیجه دما در بافت توموری در مقایسه با ناحیه ی سالم افزایش پیدا می‌کند. جدول 1 نشان‌دهنده‌ی بافت نرمال و ناحیه‌ی سرطانی در مطالعه‌های قبلی می‌باشد.



شکل (5) : SAR و افزایش دما در ناحیه تومور در پستان انسان برای اندازه های مختلف تومور

شبیه‌سازی‌ها برای شعاع 5،7/5، 10، 12/5 و 15 میلی‌متر از بافت سرطانی انجام شده است که فاصله‌ی بین سینه و آننت به صورت 2/5 سانتی متر ثابت و شعاع سینه نیز به صورت 5 سانتی متر در نظر گرفته شده است.

می‌توان در شکل 5 مشاهده کرد مادامی که سایز تومور افزایش میابد، تاثیر تشعشع بر روی سینه‌ی انسان نیز بیشتر می‌شود و از این‌رو منطقه‌ی بد خیم نسبت به منطقه‌ی سالم، متمایز می‌شود.

جمع بندی

این مقاله یک مدل 2 بعدی از سینه‌ی انسان را نشان می‌دهد تا بتوان دمای بافت در اثر تشعشع یک منبع میدان الکترومغناطیسی با فرکانس GHz2.45 در زمان درمان با افزایش دما را بررسی کرد. معادله‌ی مکسول برای یک مدل از سلول های انسانی در سرطان سینه و معادله‌ی گرمای زیستی پنس برای مشخص کردن دمای بافت‌ها در این مطالعه با استفاده از روش تحلیل المان محدود در نرم افزار COMSOL، مورد استفاده قرار گرفته است.

از شبیه‌سازی ها کاملا مشخص است که منطقه‌ی تومور به مقدار 43-42 درجه‌ی سانتی گراد تا مقدار بهینه بعد از مدت 75 ثانیه،گرم می‌شوند. زمانی که انرژی بر روی 3000W.s ثابت می‌شود، مشاهده می‌شود که توزیع دمایی بر روی سلول های سرطانی سینه، مشابه می‌باشد.

مراجع

[1] W.C. Amalu, W.B. Hobbins, J.F. Head, and R.L. Elliott, Infrared imaging of the breast—an overview (Biomedical Engineering Handbook Medical Devices and Systems, Boca Raton, FL: CRC Press 2006).
[2] M. Lazebnik, D. Popovic, L. McCartney, C. Watkins, M. Lindstrom, J. Harter, S. Sewall, T. Ogilvie, A. Magliocco, T. Breslin, W. Temple, D. Mew, J. Booske, M. Okoniewski, and S. Hagness, A large-scale study of the ultrawideband microwave dielectric properties of normal, benign and malignant breast tissues obtained from cancer surgeries, Physics in Medicine and Biology, 52, 2007, 6093-6115.
[3] A. Santorelli, and M. Popovic, SAR distribution in microwave breast screening: results with TWTLTLA wideband antenna. 7th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), Adelaide, SA, Australia, December 6-9, 2011.

[4] L. Vojackova, I. Merunka, O. Fiser, and J. Vrba,Interstitial applicators for breast cancer treatment by microwave thermoablation. Proc. IEEE 24th International Conference Radioelektronika, Bratislava: Slovak University of Technology, 2014.
[5] A. Sanpanich, Y. Kajornpredanon, P. Phasukkit, S. Tungjitkusolmun, C. Pintavirooj, and P. Nantivatana, Opened-tip applicator and ex vivoexperimental results for microwave breast cancer ablation. 2012 IEEE AsiaPacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), Singapore, August 27-29, 2012.
[6] A. Manzanarez, J. E. Lara, and A. Vera, Influence of the surrounding tissues in the radiation pattern of microcoaxial antenna for the treatment of breast tumors. 2016 3rd International Conference in Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), Mexico City, Mexico, September 26-30, 2016.
[7] B.S. Park, A. Razjouyan, L.M. Angelone, B. McCright, and S.S. Rajan, RF safety evaluation of a breast tissue expander device for MRI: Numerical Simulation and experiment, IEEE Transaction in Electromagnetic Compatibility,59 (5), 2017.
[8] E.Y.K. Ng, A review of thermography as promising noninvasive detection modality for breast tumor, International Journal of Thermal Science, 48, 2009, 849-859.
[9] E.Y.K. Ng, S.C. Fok, Y.C. Peh, F.C. Ng, and L.S.J. Sim, Computerized detection of breast cancer with artificial intelligence and thermograms, International Journal of Medical Engineering Technology, 26 (4), 2002, 152–157.
[10] E.Y.K. Ng, Y. Chen, and L.N. Ung, Computerized breast thermography: Study of image segmentation and temperature cyclic variations, International Journal of Medical Engineering Technology,25 (1), 2001, 12–16.
[11] E.Y.K. Ng, L.N. Ung, F.C. Ng, and L.S.J. Sim, Statistical analysis of healthy and malignant breast thermography, International Journal of Medical Engineering Technology, 25 (6), 2001, 253–263.
[12] E.Y.K. Ng, and N.M. Sudharsan, An improved 3-D direct numerical modelling and thermal analysis of a female breast with tumour, International Journal of Medical Engineering Technology, 215 (1), 2001, 25–37.
[13] E.Y.K. Ng, and E.C. Kee, Advanced integrated technique in breast cancer thermography, International Journal of Medical Engineering Technolog, 32 (2),2008, 103–114.
[14] A. Sam, and A.A. Jone, Ultra wide band radar based breast cancer detection using stacked patch and wide slot antenna, International Journal of Electronic Signal Systems, ISSN:2231-5969, 3 (1), 2013, 36-40.
[15] M.H. Bah, J.S. Hong, and D.A. Jamro, Study of breast tissues dielectric properties in UWB range for microwave breast cancer imaging, International Conference in Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015), Bangkok, Thailand, June 28- 29, 2015.
[16] M. Zhang, T. Azuma, X. Qu, R. Narumi, S. Takagi, Y. Matsumoto, K. Okita, H. Furusawa, and J. Shidooka, Temperature distribution analysis for high intensity focused ultrasound breast cancer treatment by numerical simulation, 2015 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings (IUS), Taipei, Taiwan, November 15, 2015.
[17] S. Rahmatinia, and B. Fahimi, Magneto-Thermal modeling of biological tissues: a step toward to breast cancer detection, IEEE Transactions on Magnetics, 53(6), 2017.
[18] Y.C. Lai, C.B. Soh, E. Gunawan, and K.S. Low, Homogenous and heterogenous breast phantoms for ultra-wideband microwave imaging applications, Progress in Electromagnetic Research, PIER 100, 2010, 397-415.
[19] J.A.H. Tuncay, and I. Akduman, Realistic microwave breast models through T1-weighted 3-D MRI data, IEEE Transaction in Biomedical Engineering, 62(2), 2015, 688-698.
[20] R.C. Conceiçao, M. O'Halloran, M. Glavin, and E. Jones, Comparison of planar and circular antenna configurations for breast cancer detection using microwave imaging, Progress in Electromagnetic Research, PIER 99, 2009, 1-20.
[21] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz). Health Physics, 41, 1998, 449-552.
[22] T.H. Kim, J.K. Pack, Measurement of electrical characteristics of female breast tissues for the development of the breast cancer

detector, Progress in Electromagnetic ResearchC, 30, 2012, 189–199.

تشخیص نفوذ و ارتقا امنیت در شبکه صداوسیمای مرکز بوشهر با استفاده از PCA و طبقه‌بندی ترکیبی

مریم جوکار[1]، موسی مجرد[2،3] و حسن ارفعی‌نیا[4]

[1]دانشجو کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی-غیر دولتی لیان بوشهر، بوشهر، ایران، mar.mj324@gmail.com

[2]استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران، m.mojarad@iauf.ac.ir

[3]باشگاه پژوهشگران جوان، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

[4]مربی، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی-غیر دولتی لیان بوشهر، بوشهر، ایران، harfaeinia@gmail.com

چکیده: با توجه به اهمیت پرداختن به میزان اثربخشی برنامه‌های صداوسیما و نیز لزوم اعتمادسازی به آن، بحث حملات سایبری و نفوذ آن چندان مورد توجه قرار نگرفته است. همین امر امنیت شبکه‌های وابسته به این سیستم‌ها را با چالشی بزرگ روبرو کرده است. این در حالی است که سرعت بالای توسعه فن‌آوری، اهمیت توجه به مسئله تشخیص نفوذ در این حوزه را دوچندان کرده است. هدف اصلی پژوهش حاضر شناسایی ویژگی‌های مؤثر در شبکه‌های وابسته به صداوسیمای مرکز بوشهر است که در آن پژوهشگر به دنبال چگونگی مدل‌سازی داده‌ها جهت تشخیص حملات سایبری و ورودهای غیرمجاز است. در این تحقیق تشخیص نفوذ و ارتقا امنیت در شبکه صداوسیمای مرکز بوشهر با استفاده از الگوریتم PCA و یک روش طبقه‌بندی ترکیبی انجام شده است. در اینجا الگوریتم PCA برای کار انتخاب ویژگی‌های مؤثر و روش طبقه‌بندی ترکیبی برای کار مدل‌سازی داده‌ها و تشخیص نفوذ استفاده می‌شود. دلیل استفاده از مدل طبقه‌بندی ترکیبی توانایی بیشتر آن در پیش‌بینی داده‌ها و مدل‌سازی الگوهای پیچیده‌تر است. پژوهش از نظر هدف کاربردی و به روش توصیفی انجام شده است. جامعه آماری تحقیق رکوردهای ثبت شده از شبکه صداوسیمای مرکز بوشهر است که از طریق گزارش‌گیری از داده‌های ورودی شبکه استخراج شده است. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با دقت میانگین 97.64٪ روی مجموعه داده NSL-KDD عملکرد مناسبی را در تشخیص نفوذ و ارتقاء امینت فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها: *تشخیص نفوذ، ارتقای امنیت، شبکه صداوسیمای مرکز بوشهر، الگوریتم PCA، طبقه‌بندی ترکیبی*

مقدمه

تکنولوژی اینترنت به‌طور چشمگیری ارتباط با دیگران را تغییر داده است. شبکه‌های کامپیوتری یکی از سرویس‌های که امروزه اینترنت برای ارتباطات و انتقال اطلاعات بین کاربران فراهم کرده است. امروزه تهدیداتی که از اینترنت می‌آیند بیش‌ازپیش پیچیده شده و توانایی این را دارند که از راه‌حل‌های امنیتی معمول از قبیل دیوار آتش و آنتی‌ویروس نیز رد شوند. امروزه، نفوذ به یک نگرانی فزاینده تبدیل شده است[1]. با ظهور فناوری‌های جدید هرروز و گسترش رایانه‌ها، امنیت به موضوعی بسیار مهم تبدیل شده است. ازاین‌رو، امنیت هر شبکه یک موضوع مهم با اولویت است که باید از آن مراقبت کرد.

یک‌راه حل ممکن برای بهبود امنیت، اضافه کردن یک سیستم تشخیص نفوذ است که به‌عنوان یک‌لایه اضافی در راه‌حل‌های امنیتی محسوب می‌شود. این سیستم‌ها، مؤلفه اصلی یک شبکه امن هستند. سیستم‌های تشخیص نفوذ می‌توانند به شناسایی تهدیدات در شبکه‌ها کمک کنند و یک ابزار لازم و مهم برای زیرساخت شبکه‌ها می‌باشند [2]. از تشخیص نفوذ برای شناسایی مزاحم‌ها و کاربران خود سیستم که از امتیازات قانونی خود سوء استفاده می‌کنند استفاده می‌شود. سیستم‌های تشخیص نفوذ سنتی نمیتوانند خود را با حملات جدید تطبیق دهند. ازاین‌رو، امروزه سیستم‌های تشخیص نفوذ مبتنی بر داده کاوی مطرح شده است. روش‌های داده کاوی با مشخص نمودن یک برچسب دودویی (بسته نرمال، بسته غیرنرمال) و همچنین مشخص نمودن ویژگی‌ها و خصیصه با الگوریتم‌های انتخاب ویژگی می‌توانند داده غیر نرمال به خوبی تشخیص دهند[3]. بنابراین، دقت و درستی سیستم‌های تشخیص نفوذ افزایش یافته و در نتیجه امنیت شبکه بالا می‌رود. طبقه‌بندی یکی از مهمترین و گسترده‌ترین تکنیک‌های با ناظر در داده کاوی است. این یک فرآیند دو مرحله‌ای است و داده‌های ورودی را به دو دسته تقسیم می‌کند؛ در مرحله اول (مرحله یادگیری)، الگوریتم طبقه‌بندی داده‌ها را با استفاده از مدل‌سازی تجزیه و تحلیل می‌کند و به بررسی روابط و الگوها می‌پردازد. این در حالیست که در مرحله دوم از مدل ایجاد شده برای کار تشخیص و پیش‌بینی داده‌های جدید استفاده می‌شود.

در حالیکه شبکه‌های صدا و سیما یک‌راه‌حل امیدوارکننده برای حل کمبود طیف رسانه‌ای ارائه می‌دهند، آنها هنوز هم در معرض تهدیدات امنیتی قرار دارند. تاکنون فقط تعداد معدودی محقق استفاده از سیستم‌های تشخیص نفوذ را برای مقابله با این تهدیدات علیه شبکه‌های صدا و سیما در نظر گرفته‌اند[4]. سیستم تشخیص نفوذ یکی از تکنیک‌های گسترده است که در یک توپولوژی شبکه به کار میرود تا از یکپارچگی و در دسترس بودن دارایی‌های حساس در سیستم‌های امن محافظت کند. اگرچه بسیاری از رویکردهای یادگیری با ناظر و بدون ناظر از حوزه یادگیری ماشین برای افزایش اثربخشی سیستم تشخیص نفوذ استفاده شده است، اما هنوز هم برای دستیابی به عملکرد خوب، الگوریتم‌های تشخیص نفوذ نفوذ باید بهبود یابند[5]. از چالش‌های بهبود سیستم‌های تشخیص نفوذ میتوان به موارد زیر اشاره کرد: 1) تعداد زیادی از داده‌های زائد و بی‌ربط در مجموعه داده‌های مرتبط با روند طبقه‌بندی یک سیستم تشخیص نفوذ تداخل دارند. 2) ممکن است یک مدل طبقه‌بندی انفرادی در تشخیص یک نوع از حملات عملکرد خوبی نداشته باشد. 3) بسیاری از مدل‌ها برای مجموعه داده‌های قدیمی طراحی شده‌اند و این منجر به کاهش سازگاری آنها برای حملات جدید می‌شود[6].

یکی از بزرگترین مشکلات و چالش‌ها در جهت بهبود امنیت در شبکه‌های کامپیوتری سازمان‌ها، مربوط به شناسایی و تشخیص مؤثر و مناسب حملات سایبری و نفوذهای غیر مجاز می‌باشد. با توجه به تلاش‌های زیادی که در پژوهش‌های گذشته به موضوع تشخیص نفوذ پرداخته‌اند، هنوز هم این مبحث به دلیل ضرورت امنیتی مورد توجه می‌باشد[7]. در این تحقیق یک رویکرد ترکیبی برای شناسایی نفوذ و حملات اینترنتی به شبکه‌های کامپیوتر سازمان صدا و سیما ارائه شده است. روش پیشنهادی شامل یک الگوریتم PCA برای تشخیص ویژگی‌های مؤثر و یک روش طبقه‌بندی ترکیبی برای مدل‌سازی داده‌های نفوذ است. در این مقاله از مجموعه داده NSL-KDD و همچنین پایگاه داده رکورد شده از شبکه صداوسیمای مرکزی استان بوشهر برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی استفاده شده است.

ادامه این مقاله به شرح زیر است: برخی از جدیدترین کارهای انجام شده در بخش 2 بررسی شده است. در بخش 3 روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم PCA و رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی به منظور تشخیص ارائه می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی روش پیشنهادی برای تشخیص نفوذ در رکوردهای شبکه صدا و

سیما استان بوشهر در بخش 4 آورده شده و در نهایت نتیجه-گیری و پیشنهادها در بخش 5 بیان شده است.

پیشینه تحقیق

در این بخش درباره کارهای صورت گرفته در حوزه تشخیص نفوذ بحث می‌شود. در[8] یک سیستم تشخیص نفوذ برای مبارزه با حملات علیه شبکه‌های رادیویی پیشنهاد شد. در این مقاله شبکه‌های رادیویی بر اساس شبکه منطقه‌ای بی‌سیم و برخی از تهدیدات امنیتی علیه آن توصیف شده است. برای اینکه کاربران ثانویه مورد حمله در شبکه‌های رادیویی به سرعت تشخیص داده شوند، یک شناسه ساده اما مؤثر ارائه شده است. پیشنهاد این تحقیق از میزان تجمع غیر پارامتری به عنوان الگوریتم تشخیص نقطه تغییر برای کشف رفتار غیرعادی ناشی از حملات است. سیستم تشخیص نفوذ پیشنهاد شده یک روش تشخیص ناهنجاری را اتخاذ کرده و پارامترهای سیستم شبکه-های رادیویی را از طریق یک مرحله یادگیری پروفایل می‌کند. در[9] رویکرد یادگیری نیمه ناظار مبتنی بر ترکیب برای یک سیستم تشخیص نفوذ توزیع شده پیشنهاد شده است. روشی که برای انتخاب ویژگی‌ها استفاده شده براساس شاخص جینی و اندازه‌گیری اهمیت متغیر است. طبقه‌بندی‌های مورد استفاده نیز جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم‌گیری و K نزدیکترین همسایه می‌باشند. برای ترکیب طبقه‌بندها از یک اسمبلینگ برای دادن کلاس نهایی از چند طبقه‌بند استفاده شده است.

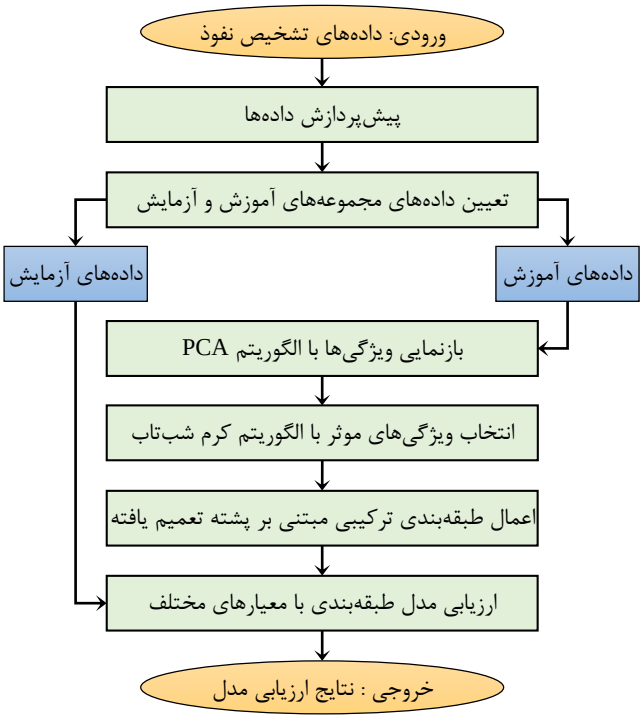
در[10] یک روش جدید برای تشخیص نفوذ با استفاده از ترکیب ماشین بردار پشتیبان با تقویت ویژگی ارائه شده است. در این مقاله، تبدیل نسبت‌های چگالی حاشیه‌ای لگاریتم روی ویژگی-های اصلی با هدف به دست آوردن داده‌های آموزش تبدیل شده با کیفیت بهتر انجام می‌شود. سپس از مجموعه ماشین بردار پشتیبان برای ساخت مدل تشخیص نفوذ استفاده می‌شود. در [11]کاهش ابعاد با IG-PCA و طبقه‌بندی ترکیبی برای تشخیص نفوذ شبکه معرفی شده است. در این مقاله یک تکنیک کاهش ابعاد ترکیبی جدید برای شناسایی نفوذ، ترکیب رویکردهای افزایش اطلاعات و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی با استفاده از یک طبقه‌بندی گروهی مبتنی بر ماشین بردار پشتیبان، الگوریتم‌های یادگیری مبتنی بر نمونه و پرسپترون چند لایه پیکربندی شده است. در [12] مدل تشخیص نفوذ یکپارچه با استفاده از انتخاب ویژگی chi-square و طبقه‌بندی ترکیبی معرفی شد. هدف از این مقاله شناسایی ویژگی‌های مهم مورد نیاز در ساخت مدل تشخیص نفوذ و در نتیجه دستیابی به حداکثر دقت است. این مدل از یک رویکرد طبقه‌بندی گروهی با حداقل پیچیدگی برای غلبه بر مسائل موجود در مدل‌های تشخیص نفوذ استفاده می‌کند. در این مقاله، از انتخاب ویژگی-های Chi-square و مدل‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، نائو بیز و غیره برای ایجاد یک مدل تشخیص نفوذ ترکیبی استفاده شده است. از آنجا که یک عدم تعادل کلاس عظیم در ترافیک شبکه وجود دارد، پیش بینی برچسب کلاس با رأی اکثریت یک‌راه حل بهینه در اولویت اعتماد به یک طبقه‌بندی واحد است.

الگوریتم [13] ارائه شده است. این الگوریتم یک سیستم تشخیص نفوذ مؤثر بر اساس انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی ترکیبی است. این روش ابتدا زیرمجموعه ویژگی‌های بهینه را بر اساس همبستگی انتخاب می‌کند. سپس، از الگوریتم‌های C4.5، RF و PA برای ایجاد یه مدل طبقه‌بندی ترکیبی استفاده می‌کند. در نهایت، از روش رای گیری اکثریت را برای ترکیب توزیع احتمال طبقه‌بندی‌ها بهره می‌گیرد. الگوریتم TSE-IDS [14] ارائه شده است. این روش یک طبقه‌بندی ترکیبی دو مرحله‌ای مبتنی بر تشخیص ویژگی‌های ناهنجار است. تکنیک انتخاب ویژگی ترکیبی است و شامل PSO، ACO و GA است. در اینجا کارایی ویژگی‌ها بر اساس مدل طبقه‌بندی درخت هرس خطا انجام شده است و در نهایت، یک مدل طبقه‌بندی ترکیبی در دو سطح برای مدل‌سازی داده‌های تشخیص نفوذ اعمال می‌گردد. الگوریتم ELNIDS [15] ارائه شده است. این روش یک سیستم یادگیری ترکیبی در شبکه مبتنی بر اینترنت چیزها است. در اینجا از چهار طبقه‌بندی مختلف ترکیبی شامل درخت تصمیم تقویت شده، درخت تصمیم شکسته شده، درخت تصمیم تبعیض آمیز و درخت تصمیم RUSBoosted برای تشخیص نفوذ استفاده شده است.

روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل چندین گام است: در ابتدا داده‌های مربوط به نفوذ از مجموعه داده ورودی پیش پردازش می‌شوند تا

از کیفیت لازم برای آموزش مدل برخوردار باشند. سپس داده-های مربوط به مجموعه‌های آموزش و آزمایش مشخص می‌شوند. در این مقاله، از یک الگوریتم کرم شب تاب که با PCA توسعه یافته برای انتخاب زیرمجموعه ویژگی‌هایی مؤثر در شناسایی نفوذ استفاده می‌شود. روش انتخاب ویژگی پیشنهادی مبتنی بر اندازه گیری توزیع ویژگی‌ها و توزیع داده‌ها است. به منظور بهبود الگوریتم کرم شب تاب در انتخاب ویژگی‌ها، از خصوصیات الگوریتم PCA استفاده شده که میتواند روند انتخاب ویژگی را بهبود بخشد، زیرا انتخاب بر اساس PCA مانع از انتخاب ویژگی-های مشابه که تأثیر یکسانی در شناسایی نفوذ دارد، می‌شود. در مرحله بعد، از یک مدل طبقه‌بندی ترکیبی برای مدل‌سازی داده‌های نفوذ و محاسبه تناسب هر راه‌حل استفاده می‌شود. بنابراین، این مرحله از روش پیشنهادی به ارائه یک روش طبقه-بندی ترکیبی برای محاسبه تناسب هر راه‌حل از الگوریتم کرم شب‌تاب اختصاص دارد. روش طبقه‌بندی ترکیبی از k مدل طبقه‌بندی کلاسیک نظیر SVM، ID3 و KNN استفاده می-کند و از تکنیک پشته تعمیم یافته برای ترکیب خروجی‌ها بهره می‌گیرد. شکل 1 فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل 1: فلوچارت روش پیشنهادی

پیش پردازش داده‌ها

در این مرحله از تکنیک‌های پاک‌سازی و نرمال‌سازی استفاده می‌شود. در پاک‌سازی نمونه‌هایی که دارای مقادیر گم شده (مقادیر از دست رفته با نماد «؟») هستند از مجموعه داده حذف شده و با تخصیص مقادیر ثابت منحصر به فرد، ویژگی‌های کیفی را به کمی تبدیل می‌کنیم. در نرمال‌سازی نگاشت محدوده ارزش ویژگی‌ها به یک محدوده مشخص و یکسان انجام می‌شود. در اینجا، نرمال‌سازی بر اساس رابطه (1) انجام شده است.

$$x_{i,j}^{norm} = \frac{x_{i,j}}{\max\limits_{k=1..N}(k,j)} \qquad (1)$$

در این رابطه، $x_{i,j}^{norm}$ و $x_{i,j}$ به ترتیب مقدار ویژگی نرمال شده و واقعی برای نمونه i و ویژگی j است و N تعداد کل نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

تعیین داده‌های آموزش و آزمایش

به‌طور کلی داده‌های بخش آموزش برای ساخت مدل و از داده-های بخش آزمایش برای تست و ارزیابی مدل استفاده می‌شود. در این تحقیق از اعتبارسنجی 10-fold برای تعیین داده‌های آموزش و آزمایش استفاده شده است. در این روش همه نمونه‌ها از مجموعه داده به 10 بخش با اندازه برابر افراز شده و از 9 بخش برای کار آموزش و از بخش باقیمانده برای کار آزمایش مدل استفاده می‌شود. این فرایند 10 بار تکرار شده بطوریکه همه بخش‌ها یکبار برای آزمایش استفاده شوند. در نهایت میانگین ارزیابی برای 10 اجرای مستقل به عنوان خروجی گزارش می‌شود.

بازنمایی ویژگی‌ها با الگوریتم PCA

در اینجا از الگوریتم تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) برای بازنمایی ویژگی‌ها و در نهایت کاهش ابعاد داده‌ها استفاده می-کنیم. بر مبنای PCA، چرخاندن دستگاه مختصات در جهت بیشترین واریانس داده‌ها میتواند در کاهش تعداد ویژگی‌ها مؤثر باشد. بیشترین واریانس داده‌ها در راستای بردار ویژه متناظر با بزرگترین مقدار ویژه است. ازاین‌رو هرچه مقدار ویژه کمتر باشد واریانس داده‌ها در راستای بردار ویژه متناظر با آن نیز کمتر است. با اعمال PCA روی مجموعه داده ورودی، تعداد K مؤلفه

اصلی از مجموعه داده با ابعاد $N \times D$ استخراج می‌شود. بنابراین مجموعه داده به ابعاد $N \times K$ نگاشت داده می‌شود. در اینجا، N تعداد نمونه‌ها، D تعداد ویژگی‌های اصلی و K تعداد مولفه-های اصلی است. با ترکیب ویژگی‌های اصلی و استخراج شده، ساختار جدید مجموعه داده بصورت $N \times M$ جائیکه $M = D + K$ می‌باشد.

انتخاب ویژگی با الگوریتم کرم شب تاب

اکنون با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب [16]، زیرمجموعه ویژگی‌های مؤثر در تشخیص نفوذ شناسایی می‌شوند. در اینجا ساختار نمایش کرم‌های شب تاب (راه‌حل‌ها) به صورت یک بردار باینری M بیتی است که برای هر اندیس 0 عدم انتخاب و 1 بیانگر انتخاب ویژگی مربوطه است. در اینجا M تعداد کل ویژگی‌ها بر مبنای ترکیب مجموعه داده اصلی و الگوریتم PCA است. جمعیت اولیه نیز به صورت تصادفی با توجه به ساختار نمایش کرم‌ها تولید می‌شود. اگر اندازه جمعیت N_p باشد، بنابراین جمعیت اولیه ماتریسی در ابعاد $N_p \times M$ است. در این تحقیق لوسی‌فرین هر کرم شب‌تاب، دقت طبقه‌بندی ویژگی‌های انتخاب شده از هر راه‌حل را با توجه به مجموعه داده آموزشی نشان می‌دهد. $\ell(i)$ لوسی‌فرین کرم شب‌تاب i-ام است و با استفاده از یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی محاسبه می‌شود.

احتمال حرکت برای کرم شب تاب i-ام نشان می‌دهد که شب تاب i-ام با چه احتمالی به سمت همسایگان خود حرکت می-کند. برای تشخیص همسایگان کرم شب تاب i-ام از پارامتر شعاع حسگری (rs) استفاده می‌شود. در اینجا، rs با توجه به مقدار لوسی‌فرین تعیین می‌گردد. در این مقاله همسایگان کرم شب تاب i-ام، کرم‌های شب‌تابی از همه جمعیت با مقدار لوسی-فرین بیشتر هستند. در الگوریتم کرم شب‌تاب شعاع تصمیم (rd) نشان‌دهنده برد حسگری هر کرم شب تاب نسبت به کل فضای جستجو می‌باشد. در اینجا، همسایگان کرم شب‌تاب i-ام (N_i)، تمامی کرم‌های شب‌تابی هستند که مقدار لوسی‌فرین آنها حداکثر به مقدار آستانه th از مقدار لوسی‌فرین کرم شب‌تاب i-ام بیشتر است. اکنون احتمال حرکت کرم شب‌تاب i-ام به سمت j-مین کرم شب‌تاب از مجموعه N_i به صورت رابطه (2) محاسبه می‌شود.

$$p_{ij} = \frac{\ell(j) - \ell(i)}{\sum_{k \in N_i} \ell(k) - \ell(i)} \quad (2)$$

در نهایت برای کرم شب تاب i-ام، یک کرم شب تاب از مجموعه N_i با استفاده از ساختار چرخ رولت انتخاب می‌شود. برای شبیه-سازی حرکت کرم شب تاب i-ام به سمت کرم شب تاب j-ام از رابطه (3) استفاده می‌شود.

$$X_i(k) = \begin{cases} X_i(k) & \alpha > R \\ X_j(k) & Otherwise \end{cases}, k = 1,2,\dots,M \quad (3)$$

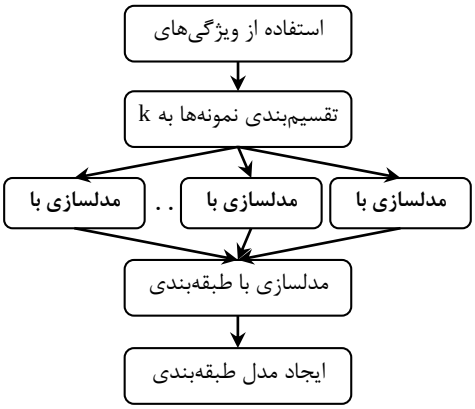
در این رابطه، R یک عدد تصادفی بین [0,1]، α پارامتر کنترلی ثابت به منظور همگرایی الگوریتم، $X_i(k)$ موقعیت k-ام از کرم شب‌تاب i-ام و $X_j(k)$ موقعیت k-ام از کرم شبت‌تاب j-ام می-باشد. برای بروزرسانی لوسی‌فرین کرم شب‌تاب i-ام از مقدار قبلی آن و همچنین مقدار تابع برازندگی مطابق رابطه (4) استفاده می‌شود.

$$\ell_i(t) = (1-\rho)\,\ell_i(t-1) + \gamma\, J(X_i(t)) \quad (4)$$

در این رابطه، $\ell_i(t)$ و $\ell_i(t-1)$ به ترتیب مقدار جدید و قبلی لوسی‌فرین برای کرم شب‌تاب i-ام می‌باشد. $J(X_i(t))$ مقدار برازندگی کرم شب‌تاب i-ام را در تکرار t (تکرار جاری) نشان می‌دهد. به منظور مدل کردن افت تدریجی با زمان مقداری از لوسی‌فرین فعلی با ضریبی کمتر از 1 توسط پارامتر کنترلی ρ کم می‌شود. پارامتر γ یک ثابت عددی برای مدل کردن تاثیر برازندگی بر لوسی‌فرین است. حداکثر تکرار مراحل الگوریتم کرم شب تاب با توجه به پارامتر Max_{Iter} تعیین می‌شود.

رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی

در اینجا، از یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی برای مدل‌سازی داده‌های آموزشی و محاسبه برازندگی راه‌حل‌ها در الگوریتم کرم شب تاب استفاده می‌شود. نمونه‌های آموزشی به k دسته با اندازه برابر تقسیم شده و سپس برای مدل‌سازی و آموزش هر دسته از یک روش طبقه‌بندی انفرادی استفاده می‌شود. خروجی روش-های طبقه‌بندی انفرادی بر اساس تکنیک پشته تعمیم یافته ادغام می‌گردند. این فرایند آموزش به عنوان روش bagging [17] شناخته می‌شود. شکل 2 معماری رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل 2: معماری رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی

در اینجا طبقه‌بندی ترکیب یا فرا-طبقه‌بندی کار یادگیری نتایج پیش‌بینی‌ها در روش‌های طبقه‌بندی انفرادی بر اساس برچسب خروجی واقعی را انجام می‌دهد. در واقع ورودی فرا-طبقه‌بندی، برچسب پیش‌بینی و برچسب واقعی از k روش طبقه‌بندی انفرادی است. این فرایند ادغام خروجی‌ها مطابق تکینک پشته تعمیم یافته است که بجای رای اکثریت از یادگیری رفتار روش-های طبقه‌بندی انفرادی استفاده می‌کند.

نتایج و مقایسه‌ها

در این بخش آزمایش‌های گسترده‌ای برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی انجام شده است. شبیه‌سازی با نرم‌افزار متلب ورژن 2019a انجام شده و همه آزمایش‌ها بوسیله یک PC با پردازنده اینتل core i7 و فرکانس 3.2GHz، حافظه 16GB اعمال می‌شود. در آزمایش‌های انجام شده مقادیر تنظیم شده برای پارامترهای روش پیشنهادی به صورت زیر است.

$N_p = 75,\ th = 0.15,\ \alpha = 0.4,\ \rho = 0.25,\ \gamma = 0.2,$
$Max_{Iter} = 200,\ k = 3$

در اینجا از SVM، ID3 و KNN به عنوان مدل‌های طبقه‌بندی انفرادی و از لجستیک رگرسیون به عنوان مدل طبقه‌بندی ترکیب استفاده شده است. علاوه بر این، از مجموعه داده NSL-KDD و همچنین پایگاه داده رکوردهای شده از شبکه صداوسیمای مرکزی استان بوشهر برای شبیه‌سازی و مقایسه استفاده شده است. مجموعه داده NSL-KDD این مجموعه داده شامل 41 ویژگی، 25193 نمونه در دو کلاس نرمال و نفوذ است. کلاس نفوذ نیز دارای چهار زیر کلاس Dos، R2L، U2R و Probe می‌باشد. مجموعه داده صدا و سیما مرکز بوشهر به صورت دستی از ثبت رکوردهای ورودی به شبکه صدا و سیما استان بوشهر استخراج شده است که شامل 300 نمونه و 11 ویژگی در 2 کلاس نرمال و نفوذ است. ویژگی‌های این مجموعه داده شامل 1- تاریخ (Date)، 2- ساعت (Time)، 3- آدرس IP مبدا (SRC IP)، 4- آدرس پورت مبدا (SRC port)، 5- آدرس IP مقصد (DST IP)، 6- آدرس پورت مقصد (DST port)، 7- تعداد درخواست‌های متوالی (Req)، 8- نوع سرویس درخواست شده (Service)، 9- نوع پروتکل مورد استفاده (Protocol)، 10- دامنه (Domain) و 11- تعداد بایت‌های مورد دسترسی (Byte-Length) می‌باشد.

در آزمایش اول نتایج روش پیشنهادی و مدل‌های طبقه‌بندی ID3، SVM و CART و همچنین الگوریتم‌های CFS-BA، TSE-IDS و ELNIDS از لحاظ معیارهای مختلف روی مجموعه داده NSL-KDD مقایسه شده است. این معیارها شامل دقت، درستی، فراخوان، اندازه‌گیری F و زمان اجرا مطابق جدول 1 است. نتایج برتری روش پیشنهادی را نسبت به الگوریتم‌های ID3، SVM و CART به ترتیب با 38.94٪، 32.30٪ و 37.42٪ در معیار دقت نشان می‌دهد. این برتری نسبت به الگوریتم‌های CFS-BA، TSE-IDS به ترتیب 0.24٪ و 8.6٪ می‌باشد، این درحالیست که و ELNIDS نسبت به روش پیشنهادی 2.1٪ برتری دارد. دلیل برتری سایر مدل-های طبقه‌بندی از روش پیشنهادی در معیار زمان اجرا، این است که روش پیشنهادی حاوی یک الگوریتم بهینه‌سازی برای انتخاب زیرمجموعه ویژگی‌های بهینه است، ولی مدل‌های طبقه-بندی از همه ویژگی‌ها برای کار مدل‌سازی استفاده می‌کنند.

جدول 1. مقایسه روش پیشنهادی با مدل‌های طبقه‌بندی مختلف روی مجموعه داده NSL-KDD

روش‌ها	دقت (٪)	درستی (٪)	فراخوان (٪)	اندازه‌گیری F (٪)	زمان اجرا (s)
ID3	70.27	58.99	84.03	69.32	733
SVM	73.80	69.87	74.43	72.08	1018
CART	71.05	66.23	74.19	69.98	816
CFS-BA	89.91	81.50	92.12	89.34	7843
TSE-IDS	97.41	97.17	95.31	97.05	10227
ELNIDS	99.71	97.75	98.12	99.61	6204

روش پیشنهادی	97.64	98.23	95.86	97.05	5817

در آزمایش دوم مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی و سایر روش-های مورد مقایسه در دو حالت بدون انتخاب ویژگی و انتخاب ویژگی انجام شده است. این مقایسه برای هر دو مجموعه داده NSL-KDD و صدا و سیما در جدول 2 گزارش شده است.

جدول 2: مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌ها روی مجموعه داده NSL-KDD و صدا و سیما

روش‌ها	مجموعه داده	دقت بدون انتخاب ویژگی (٪)	دقت با انتخاب ویژگی (٪)
ID3	NSLKDD	70/27	-
	صدا و سیما	85/13	-
SVM	NSLKDD	73/80	-
	صدا و سیما	89/51	-
CART	NSLKDD	71/05	-
	صدا و سیما	87.16	-
CFS-BA	NSLKDD	96/91	89/91
	صدا و سیما	-	-
TSE-IDS	NSLKDD	97/86	97/41
	صدا و سیما	-	-
ELNIDS	NSLKDD	99/68	99/71
	صدا و سیما	-	-
روش پیشنهادی	NSLKDD	97/48	97/64
	صدا و سیما	98/25	98/34

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سیستم‌های تشخیص نفوذ به‌طور گسترده برای محافظت از امنیت شبکه استفاده می‌شوند. تکنیک‌های مختلف یادگیری ماشین برای بهبود عملکرد این سیستم‌ها بسیار رایج هستند و از میان آنها، یادگیری ترکیبی توجه فزاینده‌ای پیدا کرده و به عنوان روشی مؤثر در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله یک رویکرد ترکیبی شامل الگوریتم PCA برای انتخاب ویژگی‌ها و طبقه‌بندی ترکیبی برای کار مدل‌سازی داده‌ها به منظور تشخیص نفوذ روی شبکه صداوسیمای مرکزی استان بوشهر ارائه شد. رسیدگی به ویژگی‌های نامربوط در مجموعه داده‌های بعد بالا باعث یک چالش طولانی‌مدت برای تشخیص ناهنجاری شبکه شده است. از بین بردن چنین ویژگی‌هایی با اطلاعات طیفی نه تنها سرعت فرآیند طبقه‌بندی را بالا می‌برد بلکه به مدل‌های طبقه‌بندی کمک می‌کند که در طول زمان تشخیص حمله، تصمیم‌های دقیق بگیرند، به خصوص زمانی که با داده‌های با مقیاس بزرگ و ناهمگن مواجه هستند. در اینجا الگوریتم کرم شب‌تاب با استفاده از الگوریتم PCA توانسته به خوبی داده‌های زائد را تشخیص و حذف کند. این عما در نهایت منجر به بهبود فرایند مدل‌سازی توسط رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی شده است. برای کارهای آینده پیشنهاد می‌شود از سایر الگوریتم‌های تکاملی نظیر ژنتیک و پرندگان به جای الگوریتم کرم شب‌تاب برای بهینه‌سازی ویژگی‌های استفاده شود. علاوه بر این، می‌توان با ادغام چندین الگوریتم تکاملی فرایند انتخاب ویژگی‌ها را نیز به صورت ترکیبی و مطلوب‌تر انجام داد.

منابع

[1] Salo, F., Nassif, A. B., & Essex, A. (2019). Dimensionality reduction with IG-PCA and ensemble classifier for network intrusion detection. *Computer Networks*, *148*, 164-175.

[2] Jabbar, M. A., & Aluvalu, R. (2017). RFAODE: A novel ensemble intrusion detection system. *Procedia computer science*, *115*, 226-234.

[3] Vinutha, H. P., & Poornima, B. (2018). An ensemble classifier approach on different feature selection methods for intrusion detection. In *Information systems design and intelligent applications* (pp. 442-451). Springer, Singapore.

[4] Jabbar, M. A., Srinivas, K., & Reddy, S. S. S. (2016, December). A Novel Intelligent Ensemble Classifier for Network Intrusion Detection System. In *International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition* (pp. 490-497). Springer, Cham.

[5] Aburomman, A. A., & Reaz, M. B. I. (2016). A novel SVM-kNN-PSO ensemble method for intrusion detection system. *Applied Soft Computing*, *38*, 360-372.

[6] Ghalehgolabi, M., & Rezaeipanah, A. (2017). Intrusion Detection System Using Genetic

Algorithm and Data Mining Techniques Based on the Reduction. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, *6*(11), 461-466.

[7] Subasi, A., Qaisar, S. M., Al-Nory, M., & Rambo, K. A. (2019). Intrusion Detection in Smart Grid Using Bagging Ensemble Classifiers. In *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe)* (pp. 1-5). IEEE.

[8] Fadlullah, Z. M., Nishiyama, H., Kato, N., & Fouda, M. M. (2013). Intrusion detection system (IDS) for combating attacks against cognitive radio networks. *IEEE network*, *27*(3), 51-56.

[9] Zhou, Y., Cheng, G., Jiang, S., & Dai, M. (2020). Building an efficient intrusion detection system based on feature selection and ensemble classifier. *Computer Networks*, 107247.

[10] Tama, B. A., Comuzzi, M., & Rhee, K. H. (2019). TSE-IDS: A two-stage classifier ensemble for intelligent anomaly-based intrusion detection system. *IEEE Access*, *7*, 94497-94507.

[11] Salo, F., Nassif, A. B., & Essex, A. (2019). Dimensionality reduction with IG-PCA and ensemble classifier for network intrusion detection. *Computer Networks*, *148*, 164-175.

[12] Thaseen, I. S., Kumar, C. A., & Ahmad, A. (2019). Integrated intrusion detection model using chi-square feature selection and ensemble of classifiers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *44*(4), 3357-3368.

[13] Verma, A., & Ranga, V. (2019, April). ELNIDS: Ensemble learning based network intrusion detection system for RPL based Internet of Things. In *2019 4th International conference on Internet of Things: Smart innovation and usages (IoT-SIU)* (pp. 1-6). IEEE.

[14] Khonde, S. R., & Ulagamuthalvi, V. (2019). Ensemble-based semi-supervised learning approach for a distributed intrusion detection system. *Journal of Cyber Security Technology*, *3*(3), 163-188.

[15] Gu, J., Wang, L., Wang, H., & Wang, S. (2019). A novel approach to intrusion detection using SVM ensemble with feature augmentation. *Computers & Security*, *86*, 53-62.

[16] Bauer, E., & Kohavi, R. (1999). An empirical comparison of voting classification algorithms: Bagging, boosting, and variants. *Machine learning*, *36*(1-2), 105-139.

[17] Yang, X. S. (2010). Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation. *International journal of bio-inspired computation*, *2*(2), 78-84.

ارتباط با کهربا

متخصصان و مهندسین گران‌قدر می‌توانند از طریق آدرس سایت مجله www.kahrobaonline.ir سایر اطلاعات مجله ازجمله نحوه ارسال مقالات جهت انتشار در نشریه و نیز فرم اشتراک مجله را دریافت کنند. همچنین به اطلاع می‌رسانیم طی توافق صورت گرفته بین پایگاه علمی سیویلیکا و مجله کهربا ازاین‌پس به مقاله برتر هر شماره یک کارت اشتراک رایگان دانلود از این پایگاه هدیه داده می‌شود.

اپلیکیشن این مجله را می‌توانید از مارکت نرم‌افزارهای موبایل (مایکت) و یا http://noandishaan.com/kahroba/kahroba.apk دریافت کنید.

ایمیل مجله kahroba@noandishaan.com پل ارتباطی ما با مهندسین و متخصصین می‌باشد، لطفاً ما را از پیشنهادها و انتقادات ارزشمند خود بهره‌مند سازید. جهت حمایت‌های مالی و معنوی از نشریه و یا معرفی محصولات خود نیز می‌توانید از طریق همین ایمیل با ما در ارتباط باشید.