

بهینه سازی شبکه های عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتمهای ICA و PSO جهت پیش بینی سیگنالهای حیاتی قلب ECG

همایون ابراهیمیان^۱، حسن درستی^۲، وجیهه عابد^۳، لعیا تدین^۴

^۱دپارتمان علوم پایه، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران
شماره تماس: ۰۳۲۶۱۹۳۳-۹۱۲-۹۸+ آدرس پست الکترونیکی: H.Ebrahimian@arums.ac.ir

^۲دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی اهر، اهر، ایران
شماره تماس: ۰۹۶۵۰۹۵۴-۹۱۴-۹۸+ آدرس پست الکترونیکی: hd.dorosti@gmail.com

^۳دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی اهر، اهر، ایران
شماره تماس: ۰۳۰۵۳۸۶۷-۹۱۴-۹۸+ آدرس پست الکترونیکی: vabed89@gmail.com

^۴دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی شبستر، شبستر، ایران
شماره تماس: ۰۹۶۵۰۹۵۴-۹۱۴-۹۸+ آدرس پست الکترونیکی: layatadaion@gmail.com

چکیده

استفاده از شبکه عصبی در مسائل مختلف مورد توجه پژوهشگران است. به خصوص در مسائلی که نیاز به پیش بینی است، یک ابزار بسیار مفید محسوب می شود. در این پژوهش ما از شبکه عصبی مصنوعی دو لایه با ساختار MLP و روش آموزش پس انتشار خطا به پیش بینی سیگنال ECG پرداختیم. ابتدا شبکه عصبی را با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری آموزش داده و تست کردیم و توانستیم ۸۶٪ سیگنال را پیش بینی کنیم و در ادامه این کار را (آموزش شبکه عصبی) با استفاده از الگوریتم PSO شبکه عصبی را آموزش انجام دادیم و توانستیم سیگنال الکتروکاردیوگرام را با دقت حدود ۸۷/۸٪ پیش بینی کنیم.

کلمات کلیدی

شبکه های عصبی مصنوعی، ECG، سیگنال قلبی، شبکه عصبی MLP، الگوریتم PSO، الگوریتم ICA

۱- مقدمه

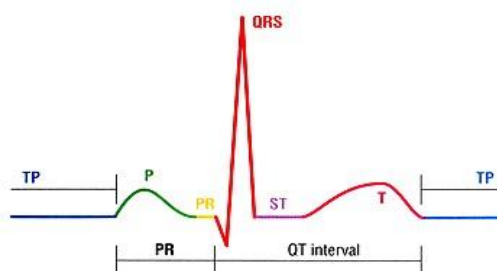
الکتروکاردیوگرام یک سیگنال الکتریکی است که فعالیت قلب را به صورت الکتریکی نشان می‌دهد. ECG برای اندازه‌گیری سرعت و نظم جریان قلب و همچنین اندازه و موقعیت حفره‌های قلب و هرگونه صدمات ناشی از داروها و دستگاه‌هایی که برای تنظیم ضربان قلب به کار می‌روند را نشان می‌دهد. برای یک متخصص قلب و عروق سیگنال ECG اطلاعات مهمی در مورد شرایط قلب بیمار می‌دهد بنابراین تفسیر ECG در پزشکی نوین بسیار مهم است [۵].

سیگنال ECG برای اولین بار در سال ۱۸۹۵ توسط ویلیام اینتون بدست آمده است. هر چند اصول پایه‌ای که وی مطرح کرد هنوز استفاده می‌شود، ولی در طی سال‌ها مطالعات زیادی در این زمینه شده است. تغییر در نوع طبیعی ساختار شناخته شده سیگنال‌های فرد سالم نشان دهنده بیماری قلبی است [۸]. پزشکان سعی کردند برای تشخیص اختلالات قلبی به تجزیه تحلیل سیگنال ECG بپردازند، از جمله اولین کارهایی که در این زمینه انجام گرفت می‌توان به پژوهش انجام شده توسط گیلیبرتو سیریا اشاره کرد که توانست با تجزیه تحلیل سیگنال ECG سکنه قلبی را پیش‌بینی کرده و تا حدودی مرگ قلبی را پیش‌بینی کند. البته وی این کار را با سری‌های زمانی انجام داد. زمانی که برای پیش‌بینی نیاز داشت، خیلی بیشتر از الگوریتم‌های هوشمند بود. وی برای این کار به زمانی حدود نیم ساعت نیاز داشت، تا در این زمان سیگنال‌های موجود را ثبت کند. و سپس از روی آنها پیش‌بینی سیگنال در لحظه آینده را انجام داد [۱۲]. گیلیبرتو سیریا می‌توان فردی پیش‌رو در پیش‌بینی سیگنال ECG نامید. هر چند که کار وی کاستی‌هایی هم داشت، که از جمله آن‌ها می‌توان به زمان زیادی که نیاز داشت برای ثبت سیگنال اشاره کرد. و در ادامه اینکه چون وی از سری‌های زمانی استفاده می‌کرد، نیاز به حل رابطه‌های سخت ریاضی داشت. با این اوصاف باز هم نتیجه به دست آمده دارای خطای زیادی بود. با علم به این مشکلات در ادامه محققان استفاده از الگوریتم‌های هوشمند را در پیش گرفتند، که تا حالا به نتایج جالبی رسیدند.

۲- سیگنال ECG و شبکه‌های عصبی

۲-۱- الکتروکاردیوگرام (ECG)

سیگنال‌های ECG خروجی دستگاه الکتروکاردیوگراف است که تغییرات پتانسیل الکتریکی ناشی از تحریک عضله قلب می‌باشد. این سیگنال‌ها برای اندازه‌گیری سرعت و تعداد ضربان قلب استفاده می‌شود، همچنین برای نشان دادن اندازه، شکل و موقعیت بطنها و برای تشخیص هرگونه آسیب و یا بیماری در قلب مورد استفاده قرار گرفته و اطلاعات زیادی را در باره شرایط قلب بیمار برای یک کاردیولوژیست فراهم می‌کند [۱۲]. سیگنال‌های ECG شکل و ویژگی‌های خاص خود را دارند که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: نمونه ای از سیگنال ECG

۲-۲- شبکه‌های عصبی پرسپترون

در سال ۱۹۵۰ وارن مک کلاچ و والتر پیترز اولین نورون مصنوعی را مداسازی کردند. این نورون مجموع سیگنال‌های ورودی وزن دار را با یک مقدار آستانه مقایسه کرده و در مورد خروجی تصمیم می‌گیرد. اگر مجموع سیگنال‌های وزن دار شده از مقدار آستانه کمتر شود خروجی صفر و در غیر این صورت مقدار یک را به عنوان خروجی تولید می‌کند [۳].

در سال ۱۹۵۰ فرانک روزنبلات و همکاران یک کلاس از شبکه‌های عصبی تحت عنوان شبکه‌های عصبی پرسپترون را معرفی نمودند. نورونها در این نوع شبکه‌های مشابه با نورونهای طراحی شده توسط مک کلاچ و پیترز بودند. روزنبلات نقش مهمی در شکل‌گیری قواعد یادگیری در آموزش

شبکه‌های پرسپترون در راستای حل مسائل تشخیص الگو داشت. وی ثابت کرد که قاعده‌ی یادگیری او همواره به وزن‌های صحیح همگرا می‌شود. این بدین معنی است که این شبکه‌ها در صورت وجود پاسخ، حتما مسئله را حل می‌کنند [۴]. مدل عمومی شبکه‌های پرسپترون، شبکه جلو رونده با روش تعلیم پس انتشار خطا است. شبکه‌های جلو رونده، شبکه‌هایی هستند که ورودی‌های لایه اول نورون‌های آن به نورون‌های لایه‌های بعدی متصل بوده و در هر سطح این مسئله صادق بوده تا به لایه خروجی برسد. روال آموزش پس انتشار خطا به این صورت است که پس از مشخص شدن خطا در خروجی شبکه، وزن‌های ارتباطی بین نورون‌ها تصحیح می‌شوند تا خطا در خروجی مینیمم شود. [۳].

۲-۳- شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه MLP

امروزه شبکه‌های عصبی پرسپترون کماکان دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و یک راه حل سریع و مطمئن برای حل مسائل طبقه‌بندی هستند. در بسیاری از مسائل پیچیده ریاضی که به حل معادلات پیچیده غیر خطی منجر می‌شود، یک شبکه پرسپترون چند لایه می‌تواند به سادگی با تعریف وزن‌ها و توابع مناسب مورد استفاده قرارگیرد. در این نوع شبکه‌ها از یک لایه ورودی جهت اعمال ورودی‌های مسئله یک لایه پنهان و یک لایه خروجی که نهایتاً پاسخ‌های مسئله را ارائه می‌نمایند، استفاده می‌شود [۳]. در شکل ۲ یک شبکه پرسپترون با یک لایه پنهان نشان داده شده است. (مدل به کار برده شده در شبیه سازی). ورودی X_i در وزن خود ضرب شده و وارد لایه دوم می‌شود (لایه پنهان) و سپس مجموع ضرایب همه X_i ها محاسبه شده و مقدار معین به دست می‌آید و دو باره به عنوان ورودی وارد لایه بعدی می‌شود و این پرو سه تا زمانی که به لایه خروجی برسد ادامه می‌یابد و در لایه خروجی با اعمال تابع خروجی بر روی آن، خروجی به دست می‌آید.

لازم به ذکر است که تعداد نورون‌های استفاده شده در هر لایه در پژوهش حاضر به صورت زیر است:

۱- لایه اول (لایه ورودی) ۵ نرون

۲- لایه دوم (لایه پنهان) ۳ نرون

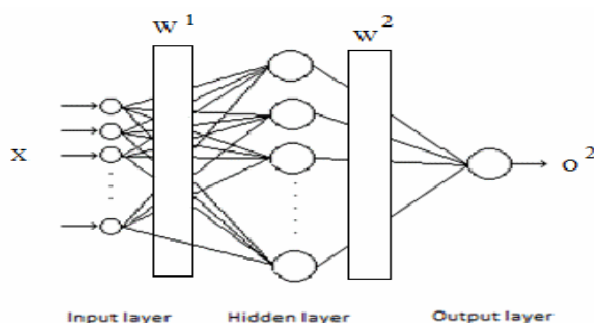
۳- لایه آخر (لایه خروجی) ۱ نرون

البته این مقادیر بعد از اعمال نورون‌های مختلف به سیستم و یافتن بهترین جواب به دست آمد. در این شبکه‌ها شرایط زیر وجود دارد:

۱- نرون‌های هر لایه فقط به نرون‌های لایه بعدی متصل می‌شود.

۲- هر نرون به تمامی نرون‌های لایه بعدی متصل می‌شود.

۳- نورون‌های لایه ورودی در محاسبات نقش مهمی ندارند و وزن آنها ثابت و برابر یک است. این نورون‌ها فاقد تابع فعال سازی می‌باشد.



شکل ۲: شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

۲-۴- بانک داده MIT-BIH Arrhythmia Database

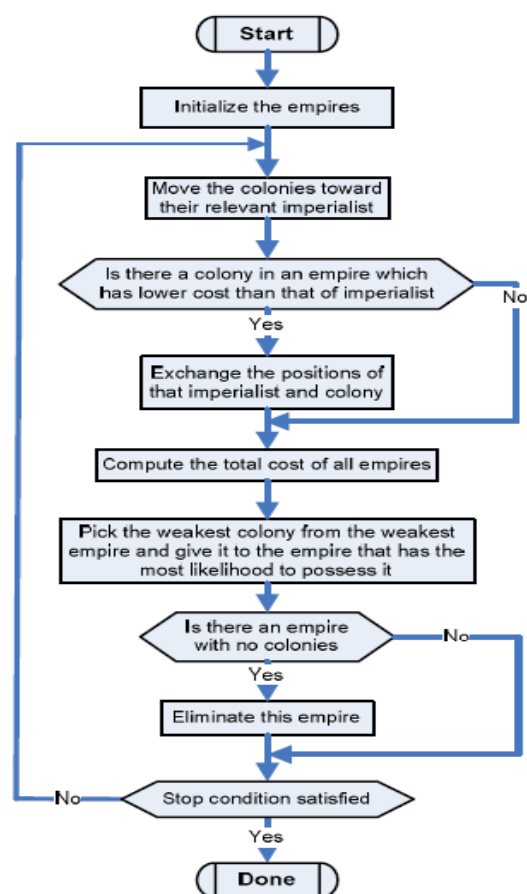
برای اجرای این پژوهش از بانک داده ۲۰۰۸، MIT-BIH Arrhythmia Database استفاده شده است. این بانک داده در سایت Physionet موجود می باشد. این بانک داده شامل ۱۰۰ ثبت ECG از ۱۰۰ مورد شامل ۵۳ مرد در محدوده سنی ۳۲ تا ۸۹ سال و ۴۷ زن در همان محدوده سنی است. هر ثبت شامل ثبت از لیدهای بالا و پایین می باشد. در این پژوهش از لید بالا که از لحاظ ظاهری دارای کمپلکس QRS مشهودتری است، استفاده شده است. هر ثبت با ۱۱ بیت دیجیتال شده و با فرکانس ۳۶۰ هرتز نمونه برداری انجام پذیرفته است.

۳- الگوریتمهای بهینه سازی

۳-۱- الگوریتم رقابت استعماری ICA

الگوریتم رقابت استعماری Imperialist Competitive Algorithm جزء الگوریتم های بهینه سازی حوزه محاسبات تکاملی است. در حقیقت اگر الگوریتم ژنتیک را معادل سازی ریاضی فرآیند تکامل زیستی و طبیعی در طبیعت در نظر بگیریم، این الگوریتم (الگوریتم رقابت استعماری) معادل مدل سازی ریاضی تکامل اجتماعی است.

شکل ۳ فلوجارت الگوریتم پیشنهادی را نشان می دهد. همانند دیگر الگوریتم های تکاملی، این الگوریتم، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک کشور نامیده می شوند، شروع می شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت به عنوان امپریالیست انتخاب می شوند. باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می آید، به سمت خود می کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه در صدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل گیری امپراطوری های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آنها شروع می شود. هر امپراطوری ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری های رقیب، و به سيطرة در آوردن آنها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری های بزرگتر افزوده شده و امپراطوری های ضعیف تر، حذف خواهند شد. امپراطوری ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند.



شکل ۳: فلوجارت الگوریتم ICA

با گذشت زمان، مستعمرات، از لحاظ قدرت به امپراطوری‌ها نزدیک‌تر خواهند شد و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد در دنیا داشته باشیم، با مستمراتی که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست، خیلی نزدیک هستند. در بهینه‌سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه بر حسب متغیرهای مسئله، است. ما یک آرایه از متغیرهای مسئله را که باید بهینه شوند، ایجاد می‌کنیم.

۳-۲- الگوریتم ازدحام ذرات PSO

ایده الگوریتم Particle Swarm Optimization، اولین بار توسط کندی و ابرهاردت در سال ۱۹۹۵ مطرح شد. PSO یک الگوریتم محاسبه ای تکاملی الهام گرفته از طبیعت، و براساس تکرار می‌باشد. منبع الهام این الگوریتم، رفتار اجتماعی حیوانات، همانند حرکت دسته جمعی پرندگان و ماهی‌ها می‌باشد. همانطور که از اسمش پیداست یک روش بهینه سازی مبتنی بر انبوهی از ذرات است.

مبنای توسعه الگوریتم PSO به این صورت است که جوابهای ممکن در یک مسئله بهینه سازی بصورت پرندگانی بدون حجم و خصوصیات کیفی در نظر گرفته می شوند که از آنان به عنوان ذرات یاد می شود، این پرندگان در یک فضای n بعدی پرواز کرده و مسیر حرکت خود در فضای جستجو را بر اساس تجارب گذشته خود و همسایگانش تغییر می دهند.

الگوریتم PSO دارای ساختاری ساده بوده و در عین حال کار آیی قابل قبولی دارد. پس با توجه به این قابلیت الگوریتم PSO در یافتن جواب بهینه سراسری با احتمال بسیار بالا و نرخ همگرایی بالا، از این الگوریتم برای آموزش شبکه های عصبی استفاده شده است.

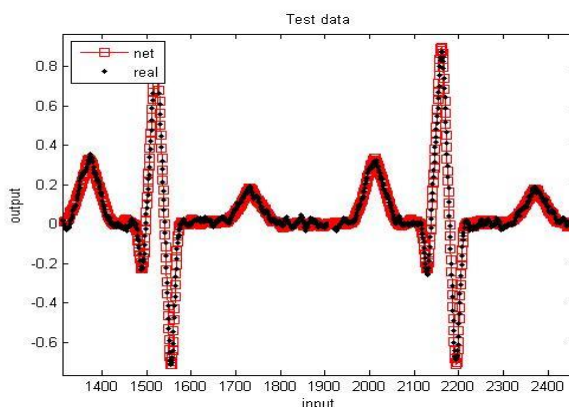
۴- پیش بینی سیگنال ECG با استفاده از شبکه های عصبی

آموزش شبکه های عصبی به آسانی صورت می گیرد لذا پیش بینی با استفاده از آن می تواند به سادگی انجام گیرد و نتایج بهتری داشته باشد ولی ذکر این مطلب ضروری است که پیش بینی ما زمانی به واقعیت نزدیک خواهد بود که ما بتوانیم شبکه را به درستی آموزش دهیم و در این فرآیند از تعداد لایه ها و نورون های مناسب استفاده کنیم.

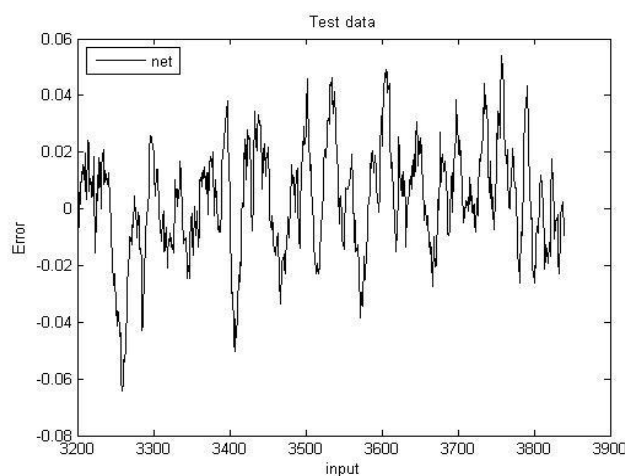
۴-۱ پیش بینی سیگنال ECG با استفاده از الگوریتم ICA

در این پژوهش ابتدا از ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است. به این معنی که وزن های شبکه عصبی، با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری تعیین می گردد. در ابتدا ساختار شبکه عصبی تو سط کاربر باید تعیین گردد. یعنی تعداد نورون ها. سپس با استفاده از تابع TrainUsing_ICA_Fcn.m (در شبیه سازی) وزن های شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری تعیین می گردد. می دانیم الگوریتم ICA قابلیت بهینه و کمینه کردن یک تابع هدف را دارا می باشد، تابع هدفی که در این جا باید کمینه شود اختلاف داده های واقعی و داده های خروجی شبکه عصبی می باشد. یعنی در هر مرحله ضرایب وزن ها که انتخاب شدند، خروجی شبکه عصبی محاسبه شده و اختلاف آن با داده های واقعی به دست می آید که در واقع مقدار تابع هدف می باشد.

برای شروع ما ۱۵ سیگنال در Dataset قرار دادیم و شبکه را آموزش داده و تست کردیم و در ادامه با توجه به خروجی به دست آمده بعد از بهینه سازی وزن ها به وسیله الگوریتم رقابت استعماری (شکل 4) که با بهینه سازی وزن ها شبکه عصبی بهتر آموزش دیده و در نتیجه سیگنالی که پیش بینی کرده است به سیگنال واقعی بسیار نزدیک است. خطای تست شبکه عصبی با وزن های بهینه شده (شکل 5) کاهش یافته است که دلیل آن انتخاب وزن های مناسب برای ورودی های شبکه عصبی مصنوعی است.



شکل ۴: سیگنال واقعی و پیش بینی شده توسط شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم ICA در آموزش



شکل ۵: خطای سیگنال پیش بینی شده توسط شبکه عصبی بعد از بهینه سازی وزنها با الگوریتم ICA

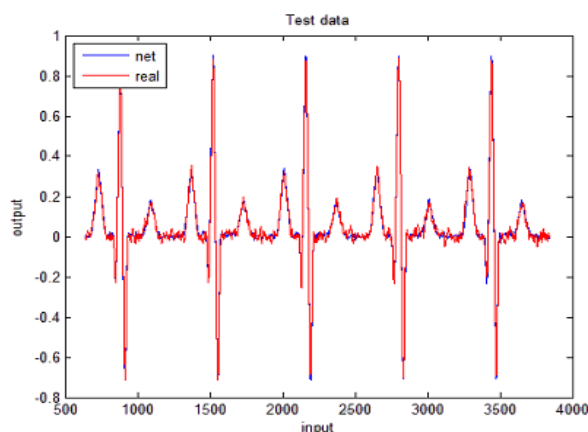
دو نمودار بالا همانطور که در توضیحات قبلی هم بیان شد حاصل آموزش شبکه های عصبی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری است که با ۱۵ سیگنال دریافت شده از پایگاه داده به دست آمده اند و حال در جدول زیر نتیجه حاصل از وجود ۱۰۰ سیگنال در پایگاه داده آمده است.

جدول ۱: پاسخ شبکه های عصبی با وزنه های بهینه شده با الگوریتم ICA

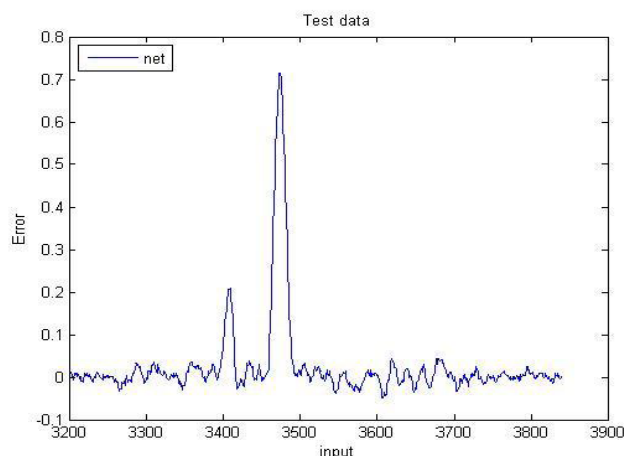
زمان پردازش (ثانیه)	تعداد دوره آموزشی (Epoch)	در صد خطای شبکه عصبی (MSE)	روش بهینه سازی شبکه عصبی
۲۰۰٫۸	۱۰۳	۱۳٫۸۷	الگوریتم رقابت استعماری

۴-۲ پیش بینی سیگنال ECG با استفاده از الگوریتم PSO

در این بخش از الگوریتم PSO برای بهینه سازی وزنه های شبکه عصبی جهت پیش بینی سیگنال ECG استفاده شد. در این مرحله نیز از ۱۵ سیگنال موجود در Dataset استفاده شد که شکل های ۶ و ۷ حاصل پیش بینی می باشد.



شکل ۶: سیگنال واقعی و پیش بینی شده توسط شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم PSO در آموزش



شکل ۷: خطای سیگنال پیش بینی شده توسط شبکه عصبی بعد از بهینه سازی وزنها با الگوریتم ICA

در شکل‌های ۶ و ۷ نتیجه پیش بینی سیگنال ECG با استفاده از بهینه سازی شبکه عصبی توسط الگوریتم PSO نشان داده و در جدول ۲ نتایج حاصل از این پیش بینی آمده است.

جدول ۲: پاسخ شبکه های عصبی با وزنه های بهینه شده با الگوریتم ICA

زمان پردازش (ثانیه)	تعداد دوره آموزشی (Epoch)	در صد خطای شبکه عصبی (MSE)	روش بهینه سازی شبکه عصبی
۲۰۰.۸	۱۰۳	۱۲.۸۰	PSO

۵- نتیجه

با بررسی نتایج به دست آمده می توان گفت که هر دو روش قادر به پیش بینی سیگنال الکتروکاردیوگرام می باشند. وقتی که آموزش شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم ICA انجام گرفت شبکه عصبی با دقت ۸۶٪ توانست پیش بینی کند و دقت پیش بینی وقتی که از الگوریتم PSO استفاده شد به ۸۷.۸٪ افزایش یافت که نشان دهنده برتری الگوریتم PSO در آموزش شبکه عصبی نسبت به الگوریتم ICA است. با بررسی نتایج پژوهش‌های گذشته و پژوهش حاضر معلوم شد که دو روش پیشنهادی ما از لحاظ دقت در پیش بینی سیگنال بهتر از پژوهش‌های مشابه قبلی است و همچنین با ثبت ۲۰ الی ۳۰ ثانیه از سیگنال ECG می تواند آن را پیش بینی کند. و در این روش قادر هستیم به تعداد سیگنال‌هایی که شبکه را آموزش دادیم سیگنال الکتروکاردیوگرام را پیش بینی کنیم.

مراجع

- [۱] دلیری، ایوب، جعفری، سجاد، مرادی، محمدحسن. پیش بینی سیگنال تغییر پذیری نرخ ضربان قلب با استفاده از مدل سازی تطبیقی دینامیکی فازی. انجمن سیستم های فازی ایران، ۱۳۸۴، ۱-۶
- [۲] مخلص، امید. مهرشاد، ناصر. رضوی، سید محمد. به کار گیری ساختارهای ترکیبی از شبکه های عصبی به منظور تشخیص آریتمی ها قلبی با استفاده از ادغام ویژگی های موجک و زمانی. سیستم های هوشمند در مهندسی برق، ۱۳۹۰، ۲-۱
- [۳] منہاج، محمد باقر، مبانی شبکه های عصبی، تهران: دانشگاه امیرکبیر، چاپ هشتم، ۱۳۹۱
- [۴] مارتین، تی. هاگان، هاوارد. بی. دیموث، مارک. بیل، ترجمه: سیدمصطفی کیا، طراحی شبکه های عصبی، تهران: خدمات نشر کیارایانه سبز، چاپ دوم، ۱۳۹۰

- [۵] درستی، حسن، ابراهیمیان، همایون، قیامی، محمد. مروری بر روشهای هوشمند مختلف برای پیش بینی آریتمی های قلبی با استفاده از سیگنال الکترو کاردیوگرام (ECG). مجله مکاترونیک. ۱۳۹۱. ۳۰-۳۴
- [۶] درستی، حسن، ابراهیمیان، همایون، قیامی، محمد. پیش بینی سیگنال ECG با استفاده از شبکه های عصبی. ماهنامه مهندسی پزشکی. ۱۳۹۳. ۵۴-۵۸
- [7] Arvaneh, M., Ahmadi, H., Azemi, A., Shajiee, M., Dastgheib, Z.S. "Prediction of Paroxysmal Atrial Fibrillation by Dynamic Modeling of the PR Interval of ECG ." *Seventh International Conference on Natural Computation (2009)*: 1-5.
- [8] Mohsenifar, Najmeh, Sadr, Ali. "Prediction of ECG Signals Missing Parts Using Artificial Neural Network." *Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine Vol. 2 No. 8 (2011)*: 203-208.
- [9] Tonekabonipour, Hoda, EmamAli, Teshnelab, Mohamad, AliyariShoorehdeli, Mehdi. "Ischemia Prediction via ECG using MLP and RBF predictors with ANFIS Classifiers." *Seventh International Conference on Natural Computation (2011)*: 776-780.
- [10] Elbuni, Mohamed, Ali, Nasser. "ECG Parameter Extraction Algorithm using (DWTAE) Algorithm ." *IEEE (2009)*: 315-320.
- [11] Park, W.J., Harley, G.R., Venayagamoorthy, K.G. "Comparison of MLP and RBF Neural Networks Using Deviation Signals for On-Line Identification of a Synchronous Generator." *IEEE (2002)*: 274-279. Dedkhard, S., "Risk Factor of Cardiovascular Disease in Rural Thai Women", Ph.D. Thesis, the University of Arizona, 2006.
- [12] ECG Library, <http://www.ecglibrary.com/ecghist.html>