

تفکیک هوشمند آریتمی قلبی با موجک

## تفکیک هوشمند آریتمی‌های قلبی با استفاده از شبکه موجک

محمد تقی شاکری<sup>۱</sup>، وحید رضا سبزواری<sup>۲</sup>، اسد عازمی<sup>۳</sup>، مرتضی خادمی<sup>۴</sup>، حسین قلی زاده<sup>۵</sup>

۱- دانشیار گروه پزشکی اجتماعی و بهداشت، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

۳- دانشیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استادیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۵- دانشجوی دکتری کنترل، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۶/۵/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۶/۲۶

### چکیده

**مقدمه:** آریتمی‌های قلبی از جمله رایج‌ترین علل مرگ و میر در جهان به شمار می‌آیند. سیگنال الکتروکاردیوگرام بعنوان ابزاری مفید و غیرتهاجمی در تشخیص این گونه بیماری‌ها همچنان دارای نقشی بی‌بدیل می‌باشد. تفکیک هوشمند آریتمی‌های قلبی یکی از بهترین و مطمئن‌ترین روشهای تشخیص سریع و صحیح علائم موجود در این سیگنال می‌باشد.

**مواد و روشها:** شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزاری کارآمد در حل مسائل گوناگون بوده و در برخورد با مسائل مختلف بصورت هوشمند عمل می‌کنند. این شبکه‌ها بعنوان مدلی ساده از سیستم عصبی، سعی در شبیه‌سازی فرایند یادگیری و تصمیم‌گیری مغز انسان دارند. مدلسازی قوی، سادگی ساختار و موازی بودن عملیات محاسباتی از جمله دلایل موفقیت این شبکه‌ها می‌باشد.

در این پژوهش برای نخستین بار از شبکه موجک جهت تفکیک آریتمی‌های قلبی استفاده شده است. این شبکه تلفیقی از قابلیت‌های بسیار خوب شبکه عصبی در یادگیری و پیش‌بینی؛ همچنین دقت بالا و تجزیه و تحلیل چند دقتی تبدیل موجک می‌باشد. از جمله برتریهای شبکه موجک بر شبکه عصبی، قابلیت انتخاب توابع فعالیت گره‌ها با توجه به ساختار سیگنال و وجود الگوریتمهای مشخص جهت تعیین ساختار بهینه شبکه است.

**نتایج:** در روش پیشنهادی از داده‌های موجود در پایگاه داده استاندارد MIT-BIH استفاده شده و دقتی بیش از ۹۸/۸٪ در تفکیک پنج دسته از افراد با بیماری‌های مختلف قلبی بدست آمده است که مبین بهبود قابل ملاحظه در تفکیک آریتمی‌های قلبی نسبت به روشهای موجود می‌باشد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** با مقایسه نتایج بدست آمده در روش پیشنهادی و نتایج تحقیقات انجام گرفته در این زمینه از جمله کاربرد مجزای شبکه عصبی و تبدیل موجک، دقت بالاتر روش پیشنهادی بر روشهای دیگر مشخص می‌شود. از جمله دلایل اصلی این دقت بالا، انتخاب ویژگی مناسب برای تفکیک بین آریتمی‌ها و مزیت ذاتی شبکه موجک بر روشهای هوشمند رایج می‌باشد. (مجله فیزیک پزشکی ایران، دوره ۳، شماره ۱۲، پاییز ۸۵: ۲۴-۱۷)

**واژگان کلیدی:** آریتمی‌های قلبی، شبکه موجک، شبکه عصبی مصنوعی، تبدیل موجک

\* نویسنده مسؤول: محمد تقی شاکری

آدرس: گروه پزشکی اجتماعی و بهداشت، دانشکده پزشکی، دانشگاه

علوم پزشکی مشهد. [m\\_t\\_shakeri@yahoo.com](mailto:m_t_shakeri@yahoo.com)

تلفن: ۸۴۰۰۴۹۴-۸۴ (۵۱۱) +۹۸

## ۱- مقدمه

بیماری‌های قلبی بنا بر آمارهای سازمان جهانی بهداشت شایعترین علت فوت را در میان سایر بیماری‌ها به خود اختصاص می‌دهند. تشخیص سریع و مراقبت ویژه پزشکی از بیماران مبتلا به این امراض میتواند تا حد زیادی از مرگ ناگهانی آنها جلوگیری نماید. تغییر و اعوجاج در هریک از پارامترهای اصلی سیگنال الکتروکاردیوگرام<sup>۱</sup> می‌تواند نشان دهنده یک بیماری قلبی باشد که ممکن است به هرعلتی ایجاد شده باشد. هر یک از این تغییرات نابهنجار به طورکلی یک "آریتمی قلبی" نامیده می‌شود. گفتنی است که علل و عواملی نظیر ارث، استعمال دخانیات، ابتلا به چاقی و غیره تحت عنوان ریسک فاکتورها سبب تشدید خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی خواهد شد. بعضی از انواع این آریتمی‌ها بسیار خطرناک هستند، که در این تحقیق به بررسی پنج نوع از آنها پرداخته می‌شود.

مجموعه داده‌هایی که در مورد بیماری‌های قلبی جمع‌آوری شده است شامل ویژگی‌های متفاوتی می‌باشد. دسته‌ای از آنها فقط بر اساس داده‌های آزمایشگاهی تشکیل شده است، در حالی که سایر مجموعه داده‌ها شامل علائم بالینی نیز می‌باشد. یکی از مهمترین و معتبرترین پایگاههای داده در زمینه سیگنال الکتروکاردیوگرام پایگاه MIT-BIH [۱] است، که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است. در خصوص این مجموعه داده، روشهای مختلف تشخیص الگو پیاده شده است. لی [۲]

با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی سه نوع از آریتمی‌ها را با دقت ۹۹/۵۵٪، ۹۷/۷۵٪، ۵۷/۱٪ طبقه‌بندی نموده است. چی و همکاران [۳] با استفاده از سه شبکه عصبی آریتمی‌های بطنی را با دقت متوسط ۹۵/۱٪ دسته‌بندی کرده‌اند. کارلیک و همکاران [۴] با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ده نوع از آریتمی‌ها را با دقت متوسط ۹۵٪ دسته‌بندی نموده‌اند. همچنین در سال ۱۹۹۷، یو و همکاران [۵] با استفاده از دو شبکه عصبی مصنوعی خود سازمانده با دقت ۹۱/۳٪ و LVQ<sup>۲</sup> با دقت ۹۰/۳٪ ضربانات قلبی را طبقه‌بندی کرده‌اند. در سال ۲۰۰۱، حسینی و همکاران [۶] با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی چند مرحله‌ای شامل دو پرسپترون چند لایه<sup>۳</sup>، پنج نوع از آریتمی‌ها را با دقت ۸۱/۸٪ برای پرسپترون چند لایه مرحله اول و ۸۸/۳٪ برای پرسپترون چند لایه مرحله دوم طبقه‌بندی کرده‌اند.

مشکل موجود در تمامی مقالات فوق آن است که در آنها از تبدیل‌هایی نظیر موجک که در تحلیل و استخراج ویژگی از سیگنالهای غیر ایستای زیستی همچون الکتروکاردیوگرام کارایی بالایی دارند استفاده نشده است و این ایراد، سبب هزینه زمانی زیاد و دقت متوسط این روشهاست.

از اینرو تبدیل موجک در مقالات مختلف طبقه‌بندی آریتمی‌های قلبی کاربرد وسیعی یافته است؛ از جمله: در سال ۱۹۹۷، یانگ و همکاران [۷] تبدیل موجک دودویی<sup>۴</sup> را برای

2- Linear Vector Quantization: LVQ  
3- Multi Layer Perceptron: MLP  
4- Dyadic

1- Electrocardiogram: ECG

تفکیک هوشمند آریتمی قلبی با موجک

جالب این ابزار همچون محلی سازی، داشتن توابع پایه (مادر) متفاوت سبب دامنه وسیع کاربرد آن شده است.

## ۲-۲ شبکه موجک

شبکه های عصبی مصنوعی به خاطر این که می توانند بصورت غیر پارامتری و غیر خطی مدلی از داده های موجود ایجاد کنند و بر اساس آن به شناسایی الگوها در داده مورد نظر پردازند، همواره مورد توجه بوده و از دیدگاه یادگیری ماشینی ابزار قدرتمندی می باشند. این در حالی است که تلاش در مورد بهینه سازی ساختار و روشهای یادگیری آن همچنان ادامه دارد، در این راستا شبکه موجک با تلاشهای ژنگ و همکاران [۱۱] در سال ۱۹۹۲ تحقق یافت.

این شبکه همان طور که ذکر شد، شبکه عصبی پیشروی است که از موجکها به عنوان تابع فعال ساز استفاده می نماید، لذا این شبکه تلفیقی از قابلیت های بسیار خوب شبکه های عصبی در یادگیری، پیشرو بودن و قدرت در پیش بینی؛ همچنین دقت بالا و تجزیه و تحلیل چند دقتی در آنالیز موجک می باشد. البته نوع دیگری از این شبکه موجود است که جزء موجک از بلوک آموزش مجزا می باشد که در این تحقیق مورد نظر نمی باشد. از جمله خواص مهم این شبکه که در مقالات [۱۲ و ۱۳] به آن اشاره شده است، سه خاصیت ذیل قابل ذکر است:

استخراج ویژگی و شبکه عصبی خود سازمانده کوهانن را برای طبقه بندی بکار برده و به دقت ۹۷/۷۷٪ در تشخیص امراض قلبی دست یافته اند. در سال ۱۹۹۹، دکور و همکاران [۸] با استفاده از تبدیل موجک گسسته به طبقه بندی ده نوع از آریتمی های قلبی با دقت ۹۷٪ پرداخته اند، همچنین در سال ۲۰۰۰، چازال و همکاران [۹] با کاربرد ۱۵ مجموعه ویژگی حاصل از ۳ رتبه متفاوت موجک دابیز، بیماری های مختلف قلبی را طبقه بندی نموده و حداکثر دقت ۷۴/۲٪ را گزارش کرده اند، و سرانجام در سال ۲۰۰۱، دکور و همکاران [۱۰] با بهره گیری از تبدیل موجک و شبکه عصبی آموزش دیده با الگوریتم ژنتیک به طبقه بندی ده نوع از آریتمی های قلبی پرداخته و به دقت ۹۶٪ دست یافته اند. عمده مشکل مقالات فوق عدم ایجاد یک مدل مناسب از سیگنال الکتروکاردیوگرام و عدم بهینه سازی در فضای ویژگی ها (تعداد و نوع آنها) می باشد.

## ۲- مواد و روشها

در این مقاله از شبکه موجک به عنوان جایگزینی کارا برای شبکه عصبی مصنوعی در مسأله تفکیک آریتمی های قلبی استفاده شده است. این شبکه با ایجاد مدلی دقیق از سیگنال ورودی در طی فرایند آموزش، به طبقه بندی آریتمی هایی که در مرحله آزمون به آن وارد می شود پرداخته و با دقت بالایی آنها را تفکیک می نماید. در ساختار این شبکه از موجکی متناسب با خواص سری زمانی الکتروکاردیوگرام استفاده شده و روند مناسبی نیز برای آموزش آن بکار گرفته شده است.

## ۲-۱ تبدیل موجک

تبدیل موجک به عنوان یکی از ابزارهای کارآمد در تحلیل و بازنمایی زمان-فرکانس سیگنالها به شمار می رود. این تبدیل، بخصوص در پردازش و استخراج ویژگی از سیگنالهای زیستی همچون الکتروکاردیوگرام کاربرد فراوانی دارد. خواص

۱- خروجی هر گره در این شبکه بصورت ضرب داخلی سیگنال ورودی و تابع فعالیت گره خواهد بود (برای کسب اطلاعات بیشتر به [۱۱] ر.ک.)

که در این رابطه پارامترهای،  $w_i, D_i, R_i, t_i$  به ترتیب وزنه‌های شبکه، بردار قطری مقیاس، ماتریس دوران و بردار انتقال می‌باشند و همگی در حین آموزش بهینه می‌شوند. پارامتر بایاس  $\bar{g}$  برای جلوگیری از صفر شدن خروجی شبکه در نظر گرفته شده زیرا همان طور که ذکر شد تابع  $\psi$  میانگینی مساوی صفر دارد.

### ۲-۳ طبقه بندی کننده

در این مقاله جهت پیاده سازی شبکه موجک که به عنوان طبقه بندی کننده در مسأله تفکیک آریمتی‌های قلبی بکار گرفته شده نکات زیر مورد توجه قرار گرفته است:

انتخاب تابع کلاه مکزیکی<sup>۴</sup> (با توجه به شبهه گوسی بودن شکل قله‌های سیگنال قلبی<sup>۵</sup>) با رابطه  $e^{-\frac{x^2}{2}}$  به عنوان تابع فعالیت نرونهای لایه مخفی شبکه موجک، استفاده از معیار خطای پیش بینی نهایی<sup>۶</sup> جهت بهینه کردن تعداد موجک‌های مورد نیاز در لایه مخفی، این معیار تعداد موجک‌ها را بر اساس حداقل نمودن عبارت زیر پیدا می‌کند. در این مقاله طول داده ورودی ۲۰۰ نمونه است.

$$J_{FPE}(\hat{g}) = \frac{1+n_d/N}{1-n_d/N} \cdot \frac{1}{2N} \sum_{k=1}^N (\hat{g}_k - g_k)^2; \quad (3)$$

$$(n_d = m(d+2) + d + 1)$$

- دارا بودن خاصیت تقریب گری عمومی همانند شبکه‌های عصبی
- وجود ارتباطی صریح بین ضرایب شبکه و تبدیل موجک متناسب با آن
- دستیابی به دقتی مشابه با شبکه عصبی متناظر و با ابعادی کمتر از آن

خاصیت دوم شبکه موجک، در ایجاد سطوح تصمیم‌گیری مشخص و متمایز در مسائل بازشناسی الگو و نیز مقدار دهی اولیه مناسب در الگوریتم یادگیری، نقشی منحصر به فرد دارد. ویژگی نهایی نیز نوید بخش شبکه ای با ساختار کارا، تعداد پارامتر و هزینه زمانی کم است که از آزمون خسیسانه بودن مدل<sup>۱</sup> سربلند بیرون می‌آید. در ادامه معرفی کوتاهی از این شبکه خواهد آمد. تبدیل موجک بسط یک سیگنال را به مجموعه ای از توابع که با مقیاس<sup>۲</sup> و انتقال<sup>۳</sup> یک تابع موجک مادر  $\psi$  فراهم شده‌اند، به شکل مجموعه زیر فراهم می‌نماید:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right); (a, b, t \in \mathbb{R}, a > 0) \quad (1)$$

تابع موجک مادر، تابعی با میانگین صفر، سرعت نزولی و نوسانی می‌باشد. بر این اساس خروجی شبکه موجک [۱۱] بصورت زیر است:

$$g(t) = \sum_{i=1}^N w_i \psi[D_i R_i(t - t_i)] + \bar{g} \quad (2)$$

#### 4- Mexican Hat

۵- حتی پیک R سیگنال الکتروکاردیوگرام نیز با تمرکز و تجمع چند تابع گوسی نظیر تابع کلاه مکزیکی به خوبی تقریب زده می‌شود.

#### 6- Final Prediction Error

#### 1- Parsimony Model

#### 2- Dilation

#### 3- Translation

## تفکیک هوشمند آریتمی قلبی با موجک

پیس ریتم<sup>۵</sup> هستند، گروه های دوم تا پنجم را تشکیل می دهند. در جدول ۱ داده های بکار رفته در شبیه سازی به همراه مشخصه بیمارانی که داده های هر کلاس مربوط به آنها می باشد ارائه شده است. برای استفاده از این داده ها در شبکه موجک، پس از اینکه شبکه مدلی دقیق از سیگنال ورودی در طی فرایند آموزش ایجاد نمود، به طبقه بندی آریتمی هایی که در مرحله آزمون به آن وارد می شود پرداخته و با دقت بالایی آنها را تفکیک می نماید.

جدول ۱: مشخصات داده های مورد استفاده در شبیه سازی ها

توضیح	مشخصه بیمار در پایگاه داده	شماره کلاس
Normal Beat ریتم طبیعی قلب	۱۰۵ و ۱۰۱	۱
PVC انقباض زودرس بطنی	۲۱۳ و ۲۰۰	۲
LBBB بلوک شاخه ای چپ	۲۱۴ و ۲۰۷	۳
RBBB بلوک شاخه ای راست	۲۱۲ و ۱۱۸	۴
P پیس ریتم	۲۱۷ و ۱۰۷	۵

به این منظور داده ها به دو گروه آموزش و آزمون تقسیم شده اند و از هر دسته از آنها تقریباً به طور تصادفی حدود دو سوم برای آموزش و یک سوم باقیمانده برای آزمون انتخاب

در رابطه ۳ پارامترهای  $g_k, \hat{g}_k$  بترتیب خروجی های واقعی و بازسازی شده شبکه،  $N$  طول داده ورودی و  $n_d$  تعداد پارامترهای شبکه است. بخاطر اینکه پارامترهای مقیاس برای مقدار دهی اولیه شبکه بکار می روند، هر موجک دارای ۱ پارامتر مقیاس،  $d$  انتقال و ۱ پارامتر بایاس (در مجموع  $d + 2$  پارامتر) می باشد. به علاوه شبکه دارای  $d + 1$  ارتباط خطی مستقیم و  $m$  تا موجک است. برای آموزش شبکه مورد نظر از معیار میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> و حداکثر دفعات تکرار ۱۰۰ مرتبه استفاده شده و الگوریتم یادگیری آن شیب تصادفی<sup>۲</sup> است.

## ۲-۴ مجموعه داده ها

در این مقاله از نمونه هایی که دارای داده اشتقاقهای اندامی - دوقطبی MLI و سینه ای VI از پایگاه داده آریتمی MIT-BIH هستند، استفاده شده است. همچنین با توجه به قابلیت های فراوان نرم افزار MATLAB در مسأله شناسایی الگو، در این تحقیق از این نرم افزار استفاده شده است. این شبیه سازی ها برای تشخیص پنج دسته از آریتمی ها انجام شده است. گروه اول افرادی هستند که فعالیت قلب آنها طبیعی بوده و از ریتم سینوسی نرمال برخوردار هستند. افرادی که دچار انقباض زودرس بطنی<sup>۳</sup>، بلوک شاخه ای چپ و راست<sup>۴</sup> و

- 1- Mean Square Error: MSE
- 2- Stochastic Gradient
- 3- Premature Ventricular Contraction: PVC
- 4- Left & Right Bundle Branch Block: L&RBBB

5- Pace Rhythm: P

شده است. نتایج شبیه سازی‌ها حاکی از قدرت بالای شبکه در مسأله تفکیک آریتمی‌های قلبی می‌باشد.

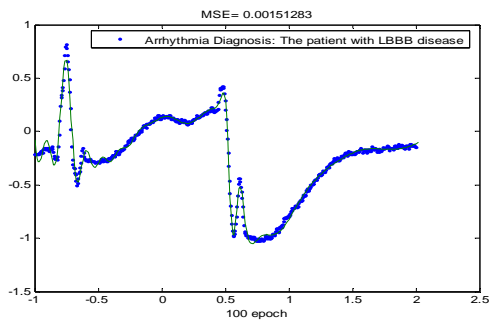
### ۳- نتایج

در این بخش گوشه ای از شبیه سازی‌های انجام شده با روش پیشنهادی به صورت مختصر ارائه می‌گردد. شبکه موجک در تفکیک پنج دسته آریتمی یاد شده دارای صحت ۱۰۰٪ در مرحله آموزش و بیش از ۹۸٪ در مرحله آزمون می‌باشد. این نتایج مبین بهبودی قابل ملاحظه در مقایسه با جدیدترین مقالات در این زمینه [۱۴ و ۱۵] می‌باشد.

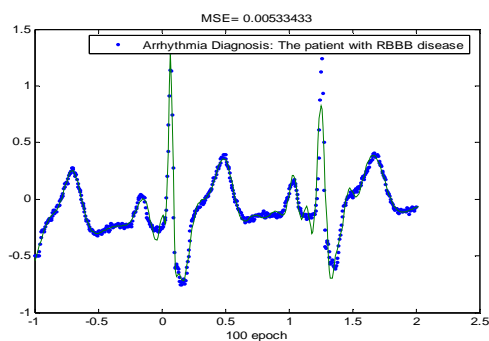
در شکل ۱ نتایج حاصله در مرحله آزمون روش پیشنهادی در مقاله مشاهده می‌شود. در تمامی این اشکال سیگنال ورودی آزمون با نماد "نقطه" و سیگنال خروجی شبکه با نماد "خط" مشخص شده است و تشخیص صحیح نوع آریتمی نیز قابل مشاهده است. گفتنی است جهت رعایت اختصار تنها این چهار شکل از اجرای شبکه آورده شده است و سایر نتایج نیز دارای دقتی مشابه می‌باشند. در جدول ۲ توزیع داده‌های بکار رفته در شبیه سازی و میزان صحت طبقه بندی مربوط به هر کدام از کلاس‌ها بر حسب تشخیص‌های صحیح در مرحله آزمون به کل ضربانات در آن کلاس آورده شده است.

جدول ۲: توزیع داده‌ها و نتایج تفکیک آنها به طور مجزا در پنج کلاس

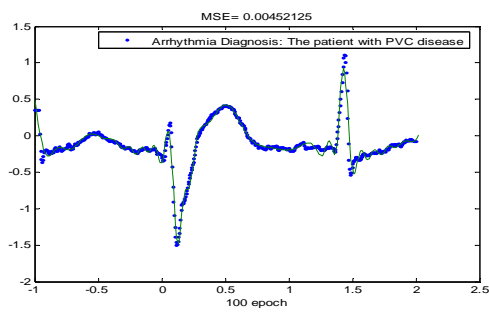
شماره کلاس	تعداد ضربان در مرحله آموزش	تعداد ضربان در مرحله آزمون	تعداد تشخیص‌های صحیح در مرحله آزمون	دقت تشخیص (درصد)
۱	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
۲	۱۰۰	۵۰	۴۸	۹۶
۳	۱۰۰	۵۰	۴۹	۹۸
۴	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
۵	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
کل	۵۰۰	۲۵۰	۲۴۷	۹۸/۸



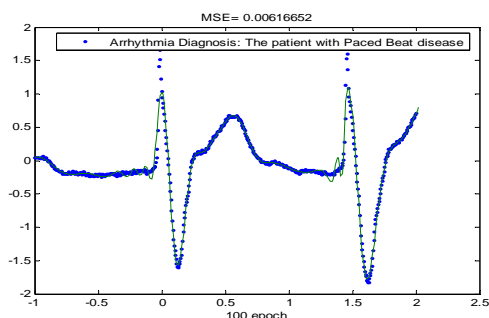
(الف)



(ب)



(ج)



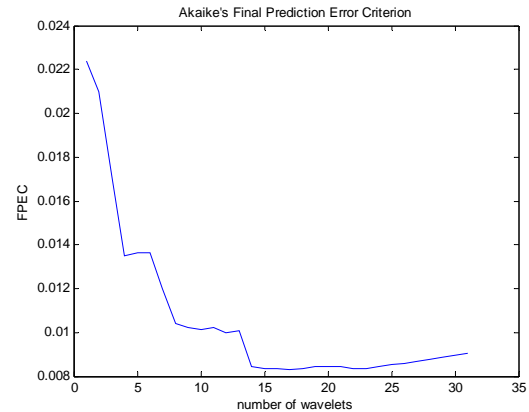
(د)

شکل ۱: نتایج حاصل از اجرای شبکه در مرحله آزمون برای بیمارانی با (الف) بلوک شاخه ای چپ، (ب) بلوک شاخه ای راست، (ج) انقباض زودرس بطنی و (د) پیس ریتم.

## تفکیک هوشمند آریتمی قلبی با موجک

به طبقه بندی آریتمی‌هایی که در مرحله آزمون به آن وارد می‌شود پرداخته و با دقت بالایی آنها را تفکیک می‌نماید. دقت شبکه در مرحله آزمون بیش از ۹۸/۸٪ می‌باشد، که مبین بهبودی قابل ملاحظه نسبت به کارهای اخیر در زمینه تفکیک آریتمی‌های قلبی است. توجه به این نکته ضروری است که اکثر مقالات یاد شده در بخش منابع بر روی همین آریتمی‌ها و حتی کمتر از این تعداد کار کرده‌اند. البته عده‌ای از مراجع مذکور نیز تعداد بیشتری از آریتمی‌های قلبی را مورد تحقیق قرار داده‌اند که با توجه به دقت‌های بسیار پایینشان، اساساً با نتایج این مقاله قابل مقایسه نیستند.

از جمله ویژگی‌های شبکه موجک کاهش تعداد پارامترهای مؤثر و دقت بالاتر نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد که ناشی از تلفیق قابلیت‌های شبکه‌های عصبی و آنالیز موجک می‌باشد. نکته‌ای که در استفاده از این ماشین تشخیص بایستی به آن توجه نمود نیاز آن به داده‌های بیشتر برای تعمیم تصمیمات سیستم است. از جمله کاربردهای روش پیشنهادی در این مقاله می‌توان به استفاده از آن در پزشکی از راه دور و سیستم‌های موبایل اشاره نمود که به راحتی می‌تواند در دسترس عموم مردم قرار گرفته و بدین صورت در جلوگیری از صدمات قلبی خطر آفرین مؤثر واقع شده و در تشخیص دقیق و صحیح این امراض به پزشک و حتی خود فرد کمک شایانی نماید.



شکل ۲: نمودار حاصل از اعمال معیار خطای پیش بینی نهایی، برای انتخاب بهینه تعداد موجک‌های لازم جهت استفاده در لایه مخفی شبکه موجک و برای حالت (الف) شکل ۱.

در شکل ۲ نیز نمودار حاصل از اعمال معیار خطای پیش بینی نهایی را برای حالت (الف) شکل ۱ می‌بینیم، که حداقل این نمودار برای عدد ۱۷ حاکی از انتخاب بهینه این تعداد موجک در لایه مخفی شبکه و به منظور برآورده کردن حداقل پارامترها جهت تحقق شبکه می‌باشد.

## ۴- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد برای نخستین بار با استفاده از ابزار نوین و کارآمد شبکه موجک به روشی قدرتمند در تشخیص آریتمی‌های قلبی دست یابیم. برای این تحقیق ۷۵۰ نمونه از داده‌های موجود در پایگاه داده آریتمی MIT-BIH که شامل پنج نوع آریتمی مختلف است، استفاده گردید. شبکه موجک با ایجاد مدلی دقیق از سیگنال ورودی در طی فرایند آموزش،

## منابع

1. MIT-BIH arrhythmia database directory [Online]. Available from: <http://physionet.fri.uni-lj.si/physiobank/database/mitdb/>.
2. Lee SC, Using A Translation-Invariant Neural Network to Diagnose Heart Arrhythmia, Proc. of 11<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Eng of Med & Biology Society, 1989; 11(6): 2025-2026.

3. Chi Z, Jaber M A, Identification of Supraventricular and Ventricular Arrhythmias Using a Combination of 3NNs, Proc. of Computers in Cardiology, 1991: 169-172.
4. Karlik B, Ozbey Y, A New Approach for Arrhythmia Classification, Proc. of 18<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Eng. of Med. & Biology Society, 1996; 18(4): 1646-1647.
5. Yu Hen Hu, Palreddy S, and Tompkins WJ, Customization of ECG Beat Classifiers Developed Using SOM&LVQ, Proc. of 19<sup>th</sup> Annual Inter. Conf. of the IEEE Eng. of Med. & Biol. Soc., 1997; 19(1): 813-814.
6. Hosseini H G, Reynolds KJ, Powers D, A Multi-Stage NN. Classifiers for ECG Events, Proc. of 23<sup>rd</sup> Annual Inter. Conference of the IEEE Eng. of Med. & Biology Society, 2001; 23(2), 1672-1675.
7. Yang M.-Yao, Hu W.-Chih and Shyu L.-Yu, ECG Events Detection and Classification Using Wavelet and Neural Nets., Proc. of 19<sup>th</sup> Inter. Conf. IEEE/EMBS, Oct. 30-Nov. 2, 1997; 19(1): 280-281.
8. Dokur Z, Olmez T. and Yazgan E, Comparison of discrete wavelet and Fourier transforms for ECG beat classification, IEEE Electronic Letters, September 1999; 35(18): 1502-1504.
9. Chazal P de, Celler BG, and Reilly RB, Using wavelet coefficients for the classification of the electrocardiogram, Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Annual EMBS International Conference, July 23-28, 2000; 22(1): 64-67.
10. Dokur Zumray, and Olmez Tamer, ECG beat classification by a novel hybrid neural network, ELSEVIER, Computer Methods and Programs in Biomedicine 2001; 23(66): 167-181.
11. Zhang Qinghua, and Benveniste Albert, Wavelet Networks, IEEE Transactions on Neural Networks, November 1992; 3(6): 889-898.
12. Dickhaus Hurtmut, and Heinrich Hurtmut, Classifying Biosignals with Wavelet Networks, IEEE Eng. in Med. and Biology Magazine, September/October 1996; 5(15): 103-111.
13. Zhang Qinghua, Using Wavelet Networks in Nonparametric Estimation, IEEE Transactions on Neural Networks, March 1997; 8(2): 227-236.
14. Shyu Liang-Yu, Wu Ying-Hsuan, and Hu Weichih, Using Wavelet Transform and Fuzzy Neural Network for VPC Detection From the Holter ECG, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, July 2004; 51(7): 1269-1273.

۱۵. سبزواری وحید رضا، قلی زاده حسین، خادمی مرتضی و عازمی اسد، تشخیص و طبقه بندی هوشمند آریتمی های قلبی با استفاده از تبدیل موجک و آنالیز ICA، مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۵.