



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

تعیین پارامترهای تعیین کننده جهت تشخیص بهتر و پیش بینی سگته قلبی با استفاده از سیگنال های الکترومکانیکی قلب

نگارنده:

حمید ابراهیمی اوریمی

اساتید راهنما:

پروفسور علی غفاری

استاد مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر محمدرضا همایی نژاد

استادیار مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

استاد مشاور:

دکتر علیرضا ایمانی

استادیار گروه فیزیولوژی دانشگاه علوم پزشکی تهران

تابستان ۱۳۹۱

تاییدیه هیئت داوران جلسه دفاع از پایان نامه

هیات داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان تعیین پارامترهای تعیین کننده جهت تشخیص بهتر و پیش بینی سکت قلبی با استفاده از سیگنال های الکترومکانیکی قلب توسط آقای حمید ابراهیمی اوریمی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی مورد تایید قرار می دهند.

۱- استاد راهنما: دکتر علی غفاری امضا:

۲-استاد راهنما: دکتر محمدرضا همایی نژاد امضا:

۳-استاد ممتحن: دکتر سید علی اکبر موسویان امضا:

۴-استاد ممتحن: دکتر سید حسین ساداتی امضا:

۵-نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر سید حسین ساداتی امضا:

۶-استاد مشاور: دکتر علیرضا ایمانی امضا:

تاییدیه صحت و اصالت نتایج

اینجانب حمید ابراهیمی اوریمی به شماره دانشجویی ۸۹۰۱۸۵۴ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تایید می‌نمایم که کلیه نتایج این پایان نامه حاصل کار اینجانب و بدون دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی و ...) با اینجانب رفتار خواهد شد. در ضمن، مسئولیت هر گونه پاسخ گویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذیصلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسندگان آن می‌باشد. بهره برداری از این پایان نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌گردد، بلامانع است:

- بهره برداری از این پایان نامه برای همگان و با ذکر منبع، بلامانع است.
- بهره برداری از این پایان نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما و با ذکر منبع، بلامانع است.
- بهره برداری از این پایان نامه تا تاریخ ممنوع است.

نام اساتید راهنما:

امضا و تاریخ:

قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از زحمات دلسوزانه و مساعدت‌های جناب آقای پرفسور علی غفاری و حمایت‌های بی‌دریغ ایشان تشکر و قدردانی نمایم. بی‌شک اگر راهنمایی‌های ارزنده ایشان نمی‌بود این پروژه به فرجام نمی‌رسید.

همچنین از آموزه‌های خالصانه دکتر علیرضا ایمانی و دکتر محمدرضا همایی نژاد و محققان گروه قلب و عروق دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین وظیفه خود می‌دانم از همراهی مهندس سید عباس اطمیابی و مهندس رسا جمشیدی در تمامی مراحل این پایان‌نامه تشکر و قدردانی نمایم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

چکیده

هدف اصلی این پایان نامه ارائه الگوریتمی برای پیش بینی سکته قلبی^۱ در موش آزمایشگاهی و انسان با تشخیص بیماری ایسکمی^۲ و همچنین شناسایی میزان آسیب ناشی از سکته قلبی از طریق دارودهی با دژهای متفاوت است. شرح الگوریتم‌های ایجاد شده برای مراحل فوق به قرار زیر است:

این تحقیق در گام اول به صورت یک مطالعه بالینی با ایجاد سکته مصنوعی با انسداد کامل یکی از عروق کرونری موسوم به (LAD) در ۱۰ موش آزمایشگاهی از نژاد Wistar و دریافت سیگنال الکتروکاردیوگرام^۳ از آن‌ها انجام شد. پس از آن برای ارائه روشی علمی و عملی مبتنی بر تکنیک‌های هوش مصنوعی جهت تشخیص هوشمند فازهای ایسکمی و نرمال و پیش بینی سکته قلبی، استخراج ویژگی از داده‌های جمع‌آوری شده، توسط تبدیل موجک بسته‌ای^۴ صورت گرفت. انرژی موجک بسته‌ای^۵ در تمامی باند‌های فرکانسی سیگنال‌های ۵ ثانیه‌ای از موش، به عنوان بردارهای ویژگی انتخاب شدند و با اعمال روش آنالیز مولفه‌های اصلی^۶، ابعاد فضای ویژگی کاهش یافته و مولفه‌های اصلی انرژی موجک سیگنال به عنوان ورودی به ۷ طبقه بند پایه از قبیل ۴ شبکه عصبی مصنوعی^۷ پرسپترون با ساختارهای مختلف، طبقه بند ماشین بردار پشتیبان^۸، شبکه فازی - عصبی تطبیقی^۹ و K نزدیک‌ترین همسایه^{۱۰} به کار گرفته شدند. آموزش هر کدام از این طبقه بند‌های پایه با داده‌های حاصل از ۵ موش شامل ۴۰۰۰۰ ضربان جمعا به مدت ۸۰۰۰ ثانیه صورت گرفت. پس از آموزش طبقه بند‌های پایه، از شبکه‌ای ترکیبی مبتنی بر اکثریت آراء، به منظور افزایش دقت طبقه بندی و مقاوم کردن الگوریتم به تفاوت‌های احتمالی موجود در تصمیم‌گیری هر یک از طبقه بندها استفاده شد. در نهایت با اعمال داده‌های ۵ موش مجزا به عنوان داده‌های آزمایش شامل ۴۰۰۰۰ ضربان جمعا به مدت ۸۰۰۰ ثانیه، تشخیص هوشمند الگوریتم، با حساسیت ۹۹٫۲۷٪ و ۸۸٫۲۳٪ و همچنین پیش بینی مثبت ۹۶٫۶۸٪ و ۹۷٫۲۰٪ به ترتیب برای فاز نرمال و فاز ایسکمی بدست آمد و در نهایت دقت متوسط ۹۶٫۷۷٪ حاصل شد.

در گام دوم برای ایجاد الگوریتم هوشمند پیش بینی سکته قلبی در انسان نیاز به تغییراتی نظیر: گرفتن انرژی موجک از سیگنال‌های ۳ ساعته به جای سیگنال‌های ۵ ثانیه‌ای، تغییر سطح موجک از ۸ به ۱۲ و تغییر باند فرکانسی مورد نظر از بازه ۱۹۵۳-۱۹۷٫۳ هرتز به بازه فرکانسی ۰٫۴۸۸-۰٫۷۳۲ هرتز، است. پس از اعمال تغییرات فوق، الگوریتم اصلاح شده بر داده‌های ثبت شده از بیمارانی که دارای گرفتگی عروق

¹ Myocardial infarction

² Heart ischemia

³ Electrocardiogram

⁴ Wavelet packet transform

⁵ Wavelet packet energy

⁶ Principal component analysis

⁷ Artificial neural network

⁸ Support vector machine

⁹ Adaptive neuro fuzzy inference system

¹⁰ K nearest neighbor

می‌باشند و دچار سکته قلبی نشده‌اند، اعمال شد. در نهایت با حساسیت ۹۶,۶۷٪ دو فاز ایسکمی و نرمال از همدیگر تفکیک شد.

در گام آخر برای تشخیص میزان آسیب ناشی از سکته قلبی، دارویی موسوم به واسوپرین^۱ با دُز ۰,۰۱۵، ۰,۰۳، ۰,۰۶ و ۰,۱۲ میکروگرم قبل از ایجاد سکته مصنوعی به موش‌ها داده شد و مشاهده گردید که قلب موش‌ها مقاومت‌های متفاوتی نسبت به سکته قلبی پیدا کردند. پس از برداشت تصاویر برش خورده قلب، با استفاده از روش خوشه بندی K-means و با استفاده از فضای L^*a*b^* ، رنگ‌های موجود در تصاویر حاصل از قلب موش‌ها تفکیک شدند و به این طریق میزان بافت آسیب دیده و سالم مشخص شدند. از طرف دیگر پس از ثبت سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام و فشار خون درون بطنی^۲، استخراج ویژگی از سیگنال‌ها، توسط تبدیل موجک بسته ای صورت گرفت. انتروپی موجک بسته ای^۳ در تمامی باند های فرکانسی سیگنال‌های از موش (در سطح ۵)، به عنوان بردار های ویژگی انتخاب شدند. سپس این بردار های ویژگی به عنوان ورودی به ۵ شبکه هوشمند پایه از قبیل ۴ شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون با ساختار های مختلف و ماشین بردار پشتیبان، اعمال شدند. آموزش هر کدام از این شبکه های هوشمند پایه با داده های حاصل از ۲۵ موش صورت گرفت. پس از آموزش شبکه های هوشمند پایه، از شبکه ای ترکیبی مبتنی بر میانگین گیری، به منظور افزایش دقت تخمین استفاده شد. در نهایت با اعمال داده های ۱۰ موش مجزا به عنوان داده های آزمایش، تشخیص هوشمند الگوریتم، میانگین خطا به ترتیب برای AVP 0.03، AVP 0.06، AVP 0.12، Control و ۱,۵۰، ۳,۱۶، ۰,۱۳، ۵,۴۸ و ۴,۲۷ در صد، و میانگین خطا کل برابر ۲,۹۱٪ حاصل شد.

واژه های کلیدی: فاز ایسکمی و فاز نرمال قلب - سکته قلبی - انرژی موجک بسته ای - انتروپی موجک بسته ای - طبقه بندی - خوشه بندی

¹ Vassoperin

² Atrial blood pressure

³ Wavelet packet entropy

فهرست مطالب

فهرست

- ۱- فصل اول: پیشینه و هدف تحقیق..... ۱
- ۱-۱ مقدمه:..... ۲
- ۱-۲ طرح موضوع:..... ۵
- ۱-۳ نحوه سامان دهی پایان نامه:..... ۶
- ۲- فصل دوم: داده برداری و ثبت سیگنال‌های حیاتی..... ۷
- ۱-۲ مقدمه:..... ۸
- ۲-۲ داده برداری از موش آزمایشگاهی:..... ۸
- ۱-۲-۲ جمعیت مورد مطالعه:..... ۸
- ۲-۲-۲ معیار ورود و حذف حیوانات در مطالعه:..... ۸
- ۲-۲-۲ روش جمع آوری داده‌ها:..... ۸
- ۲-۲-۴ روش اجرای کار:..... ۹
- ۳-۲ ملاحظات اخلاقی:..... ۱۴
- ۴-۲ داده برداری از انسان:..... ۱۴
- ۱-۴-۲ نحوه داده برداری:..... ۱۴
- ۳- فصل سوم: آشکارسازی فاز ایسکمی از طریق سیگنال الکتروکاردیوگرام در موش آزمایشگاهی..... ۱۶
- ۱-۳ مقدمه..... ۱۷
- ۲-۳ ساختار الگوریتم هوشمند تشخیص ایسکمی و پیش بینی سکنه قلبی..... ۱۷
- ۲-۲-۳ استخراج ویژگی‌های مناسب جهت طبقه بندی نظارت شده فاز ایسکمی از نرمال قلب..... ۱۸
- ۳-۲-۳ روش‌ها و الگوریتم‌های طبقه بندی فاز ایسکمی از نرمال در قلب با استفاده از تکنیک رای گیری (Majority Voting)..... ۲۷
- ۳-۳ اعمال الگوریتم بر روی داده‌ها و بررسی نتایج:..... ۳۱
- ۴- فصل چهارم: آشکارسازی فاز ایسکمی از طریق سیگنال الکتروکاردیوگرام در انسان..... ۳۹
- ۱-۴ مقدمه:..... ۴۰
- ۲-۴ چگونگی اعمال الگوریتم:..... ۴۰

۴۴	۲-۲-۴ فاز اول:.....
۴۶	۳-۲-۴ فاز دوم (فاز آزمون الگوریتم با داده های جدید اول اردیبهشت ماه ۱۳۹۱).....
۴۷	۴-۲-۴ فاز سوم (فاز آزمون نهایی با داده های جدید دهم اردیبهشت ماه ۱۳۹۱).....
۵۱	۵- فصل پنجم: تشخیص میزان بافت نا سالم و سالم.....
۵۲	۵-۱ مقدمه.....
۵۲	۵-۲ استخراج ویژگی از سیگنال های الکتروکاردیوگرام و فشار خون درون بطنی:.....
۵۴	۵-۲-۲ شرح مراحل استخراج ویژگی:.....
۵۶	۵-۳ استخراج ویژگی از تصاویر بطنی:.....
۵۶	۵-۳-۱ شرح مراحل استخراج ویژگی:.....
۶۱	۶- فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۶۲	۶-۱ نتیجه گیری.....
۶۳	۶-۲ پیشنهادات.....
۶۳	منابع و مراجع.....
۶۷	پیوست.....
۶۸	پیوست الف: آناتومی قلب.....
۶۸	قلب:.....
۶۹	بیماری ایسکمی:.....
۷۰	سکته قلبی:.....
۷۱	پیوست ب: تبدیلات فرکانسی.....
۷۱	آنالیز فوریه:.....
۷۷	رزولوشن در صفحه زمان فرکانس:.....
۸۴	انرژی تبدیل موجک بسته ای (Wavelet Packed Energy):.....
۸۴	انترپی تبدیل موجک بسته ای (Wavelet Packed Entropy):.....
۸۴	پیوست ج: شرح روش ها.....
۸۴	نمودار ROC:.....
۸۶	آنالیز مولفه های اصلی ((Principal Components Analysis.....
۸۸	الگوریتم طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machines).....
۸۹	روش طبقه بندی K همسایه نزدیکتر (K-Nearest Neighbors).....

- شبکه پرسپترون چند لایه (Multi Layer Perceptron) ۹۱
- شبکه های فازی - عصبی (ANFIS) ۹۲
- روش های مورد استفاده در خوشه بندی (Clustering) ۹۲
- خوشه بندی تفاضلی (Subtractive Clustering) ۹۳
- پردازش تصاویر: ۹۴
- تصاویر رقمی (دیجیتالی) ۹۴
- مقادیر پیکسل ها ۹۴
- دقت تصویر ۹۵
- عملیات اصلی در پردازش تصویر: ۹۵
- فضاهای رنگی: ۹۵

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲- داده های بیماران مبتلا به ایسکمی عروق کرونری از بیمارستان دی- به روزرسانی شده در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ۹۱..... ۱۵
- جدول ۱-۳- محدوده های فرکانسی متعلق به گره پایانه (Terminal node) های (8,0) تا (8,101)..... ۲۱
- جدول ۲-۳- (Confusion Matrix) حاصل از اعمال طبقه بند ترکیبی (ANFIS-KNN-SVM-ANN) روی داده های موش های آزمایش (a) موش شماره ۱ (b) موش شماره ۲..... ۳۷
- جدول ۳-۳- نتایج طبقه بندی در مورد هر یک از فاز های ایسکمی و نرمال با اعمال طبقه بند ترکیبی (-ANFIS-KNN SVM-ANN) روی داده های موش های آزمایش (a) موش شماره ۱ (b) موش شماره ۲ (c) متوسط دقت ها)..... ۳۸
- جدول ۱-۴- داده های بیماران مبتلا به ایسکمی عروق کرونری از بیمارستان دی- به روزرسانی شده در تاریخ اردیبهشت ۹۱..... ۴۱
- جدول ۲-۴- داده های افراد سالم از بیمارستان دی- به روزرسانی شده در تاریخ اردیبهشت ۹۱..... ۴۳
- جدول ۱-۵- جدول مربوط به میزان بافت سالم استخراج شده از تصاویر و میزان تخمین زده شده به همراه نمایش میزان خطا در دز های متفاوت از دارو واسوپرین..... ۶۰

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲) - تصویری از میز جراحی و دستگاه ثبت سیگنال الکتروکاردیوگرام و فشار خون شریانی (Power Lab)..... ۹
- شکل (۲-۲) - تراشیدن ناحیه گردن و قفسه سینه و قرار دادن بالشتک زیر گردن حیوان جهت راست کردن سر حیوان... ۱۰
- شکل (۳-۲) - برش در خط وسط ناحیه گردن توسط تیغ جراحی (a) و تصویر باز شده سینه و نمایش شریان کاروتید (b)..... ۱۱
- شکل (۴-۲) - تصویر باز شده سینه و نمایش نای (a) و کانولاسیون شریان کاروتید به وسیله آنژیوکت زرد رنگ و نای توسط تیوب مناسب (b)..... ۱۱
- شکل (۵-۲) - عبور دو انتهای نخ سیلک از تیوب (a) و اتصال آن به تنظیم کننده برای گرفته و آزاد کردن نخ سیلک (b)..... ۱۲
- شکل (۶-۲) - باز کردن سمت چپ قفسه سینه (a) و تصویر شماتیک عبور دادن نخ سیلک از زیر شریان کرونری LAD (b)..... ۱۲
- شکل (۷-۲) - تمایز دو ناحیه سالم آبی رنگ و ایسکمی قرمز رنگ در نمای خلفی (الف) و نمای قدامی (ب)..... ۱۳
- شکل (۸-۲) - برشهای دومیلی متری از بطن چپ (الف)، پس از جدا کردن ناحیه ایسکمی (در معرض خطر) از ناحیه سالم و رنگ آمیزی با تترازولیوم دو ناحیه ایسکمی (قرمز تیره) و انفارکته (زرد متمایل به سفید) قابل تمایز و شناسایی خواهند بود (ب)..... ۱۳
- شکل (۱-۳) - دیاگرام بلوکی کلی الگوریتم طبقه بندی و باز شناخت فاز ایسکمی از نرمال..... ۱۷
- شکل (۲-۳) - نمودار درختی سه مقیاس از تبدیل موجک گسسته (a) و پاسخهای فرکانسی آن (b) . نمودار درختی دودویی کامل در سه مقیاس برای تبدیل موجک بسته ای (c) و پاسخهای فرکانسی آن (d)..... ۱۹
- شکل (۳-۳) - نمودار درختی تبدیل موجک بسته ای در سطح ۰.۸ (مستطیل‌های آبی رنگ نمایانگر باند فرکانسی ۱،۹۵ تا ۲۰۰ هر تزهستند)..... ۲۳
- شکل (۴-۳) - نمودار میانگین مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی در دو فاز سالم و ایسکمی برای موش IR38..... ۲۴
- شکل (۵-۳) - نمودار واریانس مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی در دو فاز سالم و ایسکمی برای موش IR38..... ۲۴
- شکل (۶-۳) - نمودار مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی برای هر ۵۰۰۰ ثانیه در فاز سالم برای موش IR38..... ۲۴
- شکل (۷-۳) - نمودار مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی برای هر ۵۰۰۰ ثانیه در فاز ایسکمی برای موش IR38..... ۲۵
- شکل (۸-۳) - نمودار میانگین مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی در دو فاز سالم و ایسکمی برای موش IR49..... ۲۵
- شکل (۹-۳) - نمودار واریانس مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی در دو فاز سالم و ایسکمی برای موش IR49..... ۲۵
- شکل (۱۰-۳) - نمودار مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی برای هر ۵۰۰۰ ثانیه در فاز سالم برای موش IR49..... ۲۶
- شکل (۱۱-۳) - نمودار مربوط به بردار ویژگی های ۱۰۰ بعدی برای هر ۵۰۰۰ ثانیه در فاز ایسکمی برای موش IR38..... ۲۶
- شکل (۱۲-۳) - نمایش نمودار ROC برای بردارهای ویژگی ۱۰۰ بعدی..... ۲۶
- شکل (۱۳-۳) - نمایش نمودار ROC برای بردارهای ویژگی ۱۰ بعدی..... ۲۷

شکل (۳-۱۴) - شبکه‌ طبقه بند ترکیبی تشکیل شده از یک طبقه بند KNN، یک طبقه بند SVM یک طبقه بند ANFIS و چهار شبکه عصبی مصنوعی از نوع MLP-BP با پارامترها و توپولوژیهای متفاوت به منظور افزایش دقت کل..... ۲۹

شکل (۳-۱۵) - نمایش توابع عضویت مربوط به المان‌های بردار ویژگی برای تفکیک فاز ایسکمی از نرمال..... ۳۱

شکل (۳-۱۶) - نمایش تغییر شکل‌ها و ریتم‌های متفاوت در بازه های زمانی ۲۰ ثانیه قبل از شروع ایسکمی تا ۴۵۰ ثانیه پس از آن (A تا K)..... ۳۵

شکل (۳-۱۷) - میزان دقت تشخیص فاز ایسکمی از نرمال در مورد هر یک از طبقه بندها و مقایسه با عملکرد طبقه بند ترکیبی برای هر یک از دو موش مورد آزمایش..... ۳۶

شکل (۳-۱۸) - نمودار سمت چپ: میزان خطای هر یک از طبقه بندها را برای تشخیص داده های ۲ موش آزمایش را در فاز سالم نشان می دهد و نمودار سمت راست: بیان گر میزان خطای هر یک از طبقه بندها برای تشخیص داده های ۲ موش آزمایش در فاز ایسکمی است..... ۳۷

شکل (۴-۱) - بردار های ویژگی ۱۶ گانه از سیگنال‌های سالم..... ۴۵

شکل (۴-۲) - بردار های ویژگی ۱۶ گانه از سیگنال‌های بیماران ایسکمیک..... ۴۵

شکل (۴-۳) - بخشی از سیگنال ایسکمی شماره ۱۰..... ۴۷

شکل (۴-۴) - بخشی از سیگنال سالم شماره ۸..... ۴۸

شکل (۴-۵) - بردار های ویژگی ۱۶ گانه از سیگنال‌های سالم..... ۴۹

شکل (۴-۶) - بردار های ویژگی ۱۶ گانه از سیگنال‌های بیماران ایسکمیک..... ۴۹

شکل (۵-۱) - سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام و فشار خون درون بطنی برداشت شده از موش با دز AVP، 0.12..... ۵۲

شکل (۵-۲) - سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام و فشار خون درون بطنی برداشت شده از موش با دز AVP، 0.015..... ۵۳

شکل (۵-۳) - سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام و فشار خون درون بطنی برداشت شده از موش با دز AVP، 0.06..... ۵۳

شکل (۵-۴) - نمودار مربوط به ضرایب موجک در باند ۳۲ ام از لایه ۵ (موش با دز AVP 0.06)..... ۵۴

شکل (۵-۵) - نمودار مربوط به بردار ویژگی انتروپی استخراج شده از سیگنال الکتروکاردیوگرام موش با میزان آسیب متفاوت..... ۵۵

شکل (۵-۶) - نمودار مربوط به بردار ویژگی انتروپی استخراج شده از سیگنال فشار خون بطنی موش با میزان آسیب متفاوت..... ۵۵

شکل (۵-۷) - تصویر بافت بطن چپ قلب (بافت آسیب دیده و سالم) از موش با دز AVP-0.015..... ۵۶

شکل (۵-۸) - نمایش خوشه‌ها (۵ دسته) به صورت سیاه سفید از بطن چپ قلب موش با دز AVP-0.015..... ۵۶

شکل (۵-۹) - نمایش جداگانه دسته های مربوط به بطن قلب موش با دز AVP-0.015، خوشه دوم و سوم مربوط به بافت سالم و خوشه چهارم و پنجم مربوط به بافت ناسالم است..... ۵۷

- شکل (۵-۱۰) - شبکه طبقه بند ترکیبی تشکیل شده از یک طبقه بند SVM و چهار شبکه عصبی مصنوعی از نوع MLP- BP با پارامترها و توپولوژیهای متفاوت به منظور افزایش دقت کل..... ۵۹
- شکل الف ۱ نمایش عروق کرونری LAD و LCX و RCA بر روی دیواره قلب..... ۶۹
- شکل الف ۲ ایسکمی و اسکولار در انگشت پا با مشخصه سیانوز..... ۶۹
- شکل الف ۳ روند تصویر برداری در آنژیوگرافی..... ۷۱
- شکل ب ۱ دو نمونه سیگنال شامل مخلوطی از فرکانسهای ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز به این صورت که ۲ نمودار اول مربوط به مخلوط کسینوسی که شامل تمام فرکانسها در تمامی زمان است و ۲ نمودار دوم مربوط به مخلوط کسینوسی به نحوی که هر فرکانس فقط در یک بازه زمانی به خصوص حضور دارد..... ۷۳
- شکل ب ۲ نمایش گرافیکی نحوه پنجره کردن سیگنال غیرایستا به منظور محاسبه تبدیل فوریه زمان-کوتاه..... ۷۴
- شکل ب ۳ نمایش کانتور برای تبدیل زمان فرکانس سیگنال ایستای نشان داده شده در شکل ۷-۴ با استفاده از الف پنجره ۳۲ نقطه ای ب پنجره ۱۲۸ نقطه ای..... ۷۶
- شکل ب ۴ نمایش کانتور برای تبدیل زمان فرکانس سیگنال ایستای نشان داده شده در شکل ۷-۴ با استفاده از الف پنجره ۳۲ نقطه ای ب پنجره ۱۲۸ نقطه ای..... ۷۶
- شکل ب ۵ نمایش رزولوشن در صفحات مختلف الف صفحه زمان ب صفحه فرکانس پ صفحه زمان فرکانس در تبدیل فوریه زمان کوتاه ث صفحه زمان فرکانس در تبدیل ویولت..... ۷۷
- شکل ب ۶ محل ویولت ها به هنگام گسسته کردن بر روی درجه بندی دودویی..... ۸۰
- شکل ب ۷ نمایش نحوه محاسبه تبدیل ویولت گسسته 3 مرحله ای با استفاده از ایده بانک فیلتر برای یک سیگنال دلخواه..... ۸۲
- شکل ب ۸ نمودار درختی سه مقیاس از تبدیل موجک گسسته (a) و پاسخهای فرکانسی آن (b) . نمودار درختی دودویی کامل در سه مقیاس برای تبدیل موجک بسته ای (c) و پاسخهای فرکانسی آن (d)..... ۸۳
- شکل ج ۱ نمایش نمودار ROC به همراه خط تمایز $y=x$ ۸۶
- شکل ج ۲ . نحوه طبقه بندی شبکه KNN..... ۹۰
- شکل ج ۱ معماری یک شبکه عصبی با دو لایه پنهان ۷۴..... ۹۱
- شکل ج ۲ یک شبکه ANFIS با ۲۱ ورودی و ۷ قانون فازی..... ۹۲
- شکل ج ۵ نمایش تفکیک رنگها در فضای رنگ RGB..... ۹۶
- شکل ج ۶ نمایش تفکیک رنگها در فضای رنگ $L^*a^*b^*$ ۹۷

۱. فصل اول

پیشینه و هدف تحقیق

صدمات ناشی از ایسکمی^۱ در قلب مهم‌ترین علت مرگ و میر در جهان محسوب می‌شود. وظیفه اصلی قلب خون رسانی به تمامی قسمت‌های بدن می‌باشد و خون رسانی به قلب از طریق عروق کرونری^۲ صورت می‌پذیرد. بنابراین هرگونه انسداد در این عروق که موجب اختلال در خون رسانی شود، قلب را وارد فاز ایسکمی می‌کند. ایسکمی به معنای کاهش و محدود شدن خون‌رسانی به بافت می‌باشد که منجر به آسیب بافتی در اثر تغییرات بیوشیمیایی، متابولیکی، عملکردی و مورفولوژیکی می‌گردد [۱]. در ایسکمی، کاهش جریان خون و انتقال ناکافی اکسیژن به بافت، سبب اختلال در تنفس سلولی شده و در نهایت منجر به پاره شدن غشای سلولی و مرگ سلولی می‌گردد [۲]، و این آغاز سکتة قلبی است. اگر به هر طریقی، گرفتگی موجود در عروق کرونری در زمان مناسب از بین نرود، فاز ایسکمی ادامه خواهد یافت و در طی چند دقیقه، آسیبهای برگشت ناپذیری در بافتهای قلبی ایجاد می‌گردد. با تداوم ایسکمی در قلب، میوسیت‌های قلبی دچار نکروز (انفارکتوس - سکتة قلبی) می‌گردند. افزایش وسعت سکتة قلبی و از بین رفتن مجموعه زیادی از سلول‌های قلبی منجر به مرگ خواهد شد.

کارهای تحقیقاتی که تا به امروز انجام شده را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. دسته اول شامل تشخیص بیماری از طریق سیگنال الکتروکاردیوگرام^۳ و دیگر سیگنال‌های حیاتی است با ذکر این نکته که در این روش‌ها بیماری قلبی شروع به آسیب زدن می‌کند و پس از آن تشخیص بیماری صورت می‌گیرد. از جمله این تحقیقات و روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

یکی از روش‌هایی که برای طبقه بندی بیماری‌های قلبی بررسی تغییرات سیگنال‌ها در حوزه زمان و به همراه آشکارسازی رخدادها و استخراج ویژگی در حوزه زمان است [۳-۶]. در بعضی دیگر از تحقیقات نیز با استفاده از ویژگی‌های موجود در حوزه فرکانس با اعمال تبدیل موجک گسسته کار تشخیص بیماری صورت گرفت [۷-۸].

اما دسته دوم کارهایی است که بر اساس پیش بینی وقوع یک بیماری صورت می‌گیرد، سال‌های زیادی است که محققین در تلاش هستند که به تکنیک‌ها و روش‌های موثر در تشخیص فاز ایسکمی و پیش بینی سکتة قلبی دست یابند تا به واسطه آن‌ها بتوانند سبب پیشگیری و یا کاهش آسیبهای قلبی ناشی از ایسکمی و سکتة قلبی گردند. ولی روند رو به رشد این تحقیقات تا کنون روندی کند بوده و تعداد گروه‌های علمی که در این زمینه تحقیقاتی مشغول بوده‌اند نسبت به سایر حوزه‌های زیستی، پزشکی و مهندسی پزشکی کمتر است. از جمله این تحقیقات و روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

یکی از روش‌های شناسایی ایسکمی استفاده از مگنتوکاردیوگرافی^۴ و آموزش داده‌های حاصل از آن توسط طبقه بندی‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی است [۹]. در تحقیقات انجام شده تا کنون سیگنال

¹ Ischemia

² Coronary vessels

³ Electrocardiogram

⁴ Magnetocardiography

الکتروکاردیوگرام اصلی‌ترین داده مورد بررسی در تحقیقات به شمار می‌آید با این وجود یکی از تحقیقات صورت گرفته به این صورت است که علاوه بر سیگنال الکتروکاردیوگرام از دیاگرام پتانسیل سطحی بدن نیز استفاده شده و با استخراج ویژگی از آنها به کمک تبدیلات موجک فاز ایسکمی تشخیص داده می‌شود [۱۰] از طرفی تحقیقاتی نیز بر روی گروه‌های سالم و گروه‌هایی با رخداد سکته قلبی (MI شده) صورت گرفته که با استخراج ویژگی از لیدهای مختلف سیگنال الکتروکاردیوگرام و آموزش توسط طبقه‌بندهای خطی به تشخیص فاز سکته قلبی و سالم پرداخته‌اند [۱۹-۱۱]. مبحث تشخیص فاز ایسکمی و پیش‌بینی سکته قلبی، به طور کلی از دو قسمت تشکیل شده است:

- ✓ پیچیدگی‌های محاسباتی (Computational Complexity)
- ✓ پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری (Decision Making Complexity)

پیچیدگی‌های محاسباتی در شرایط عادی توسط رایانه انجام شده در حالی که پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری به عهده پزشکان و متخصصان می‌باشد. می‌توان با افزایش هوش مصنوعی و گسترش و هوشمندسازی پایگاه دانش، نقش رایانه را در تشخیص‌های دقیق‌تر پزشکی در وضعیت قلبی انسان بهبود بخشید.

به دلایلی که ذکر می‌شود آشکارسازی فاز ایسکمی و پیش‌بینی سکته قلبی از پیچیدگی‌هایی برخوردارند که موضوع اصلی بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در زمینه تشخیص بیماری‌های قلبی در سال‌های اخیر است.

- در بعضی از تحقیقات صورت گرفته نظیر مگنتوگرافی و آنژیوگرافی^۱ (شرح روش آنژیوگرافی در پیوست آمده است) بدون استفاده از سیگنال‌های حیاتی نظیر الکتروکاردیوگرام با دقت قابل قبولی می‌توان به تشخیص فاز ایسکمی و جلوگیری از سکته قلبی پرداخت. با این وجود به دلیل اینکه این نوع روش‌ها یا هزینه بر و یا روش‌های مخرب‌اند (نیاز به محرک داخلی دارند) بنابراین افراد بسیاری تا دچار عارضه قلبی نشوند قطعاً به دنبال این روش‌ها نمی‌روند.
- لازم به ذکر است داده‌های مورد استفاده در تحقیقات بر روی سیگنال الکتروکاردیوگرام، داده‌های بالینی و تجربی منحصر به خود بوده است. از طرفی، تحقیقات متفاوتی نیز بر روی پایگاه‌های داده جهانی نظیر پایگاه داده ST-T انجمن قلب اروپا صورت گرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به ارائه روش‌هایی مانند آشکارسازی کمپلکس QRS و تعیین نقاط S و T و J و همچنین مشخص کردن قطعه ST در سیگنال الکتروکاردیوگرام اشاره کرد. در این تحقیقات پس از پیش‌پردازش لازم و آشکار سازی کمپلکس‌ها و در نهایت آشکارسازی قطعه ST از سیگنال الکتروکاردیوگرام، با استخراج ویژگی به روش‌هایی مانند تبدیل موجک گسسته^۲، آنالیز مولفه‌های اصلی، آنالیز مولفه‌های اصلی غیر خطی^۳ و حتی استفاده از خود قطعه ST به عنوان بردارهای

¹ Angiography

² Discrete wavelet transform

³ Principal component analysis

ویژگی و با اعمال الگوریتم‌های طبقه بندی مانند شبکه های عصبی مصنوعی^۱ (MLP-BP , RBF) شبکه های تطبیقی فازی- عصبی^۲ (ANFIS) ماشین بردار پشتیبان^۳ (SVM) فاز ایسکمی و نرمال را در بانک داده های مذکور شناسایی کرده‌اند.

- همانطور که پیش از این اشاره شد به دلیل حساس بودن موضوع پیش بینی سکته و در دسترس نبودن بانک داده مناسب و مرتبط با فاز ایسکمی و سکته قلبی، تحقیقات علمی گسترده و بالینی به منظور دستیابی به الگوریتم‌های هوشمند پیش بینی سکته قلبی آنچنان صورت نگرفته است. از این رو تا کنون چنین تحقیقاتی به ناچار بر روی برخی داده های خاص و تا حدودی شبیه به فاز ایسکمی و سکته قلبی و در عین حال متفاوت با واقعیت (نظیر پایگاه داده ST-T انجمن قلب اروپا)، متمرکز بوده است. به این دلیل تحقیقات علمی انجام شده تا کنون نتوانسته است در عمل، منجر به راه حلی مناسب و قابل اعتماد برای تشخیص ایسکمی و پیش بینی سکته قلبی شود.

- قلب هر انسان دارای ویژگی‌های عملکردی خاص خود بوده، گاهی اوقات دارای ویژگی‌های منحصر به فرد می‌باشد. به عنوان مثال دو فرد نرمال یکی چاق و کوتاه قد و دیگری لاغر بلند قد، می‌توانند سیگنال‌های متفاوتی نسبت به یکدیگر داشته باشند. بنابراین تعریف الگوی مرجع (Reference Template) به عنوان مبدا سنجش که دارای تعمیم قابل قبولی باشد، بسیار بعید به نظر می‌رسد، چرا که در مورد یافتن مرجع نرمال نیز طرح چنین مساله ای قابل قبول نیست، زیرا ممکن است به راحتی یک سیگنال نرمال در کلاس غیر نرمال و یا یک سیگنال غیر نرمال به علت داشتن شباهت‌های لازم در طبقه سالم قرار گیرد.

- در تحقیق گذشته نیاز به پیش پردازش لازم به مفهوم حذف نویز و آرتیفکت های موجود در سیگنال از طریق اعمال فیلترها به سیگنال صورت می‌پذیرد، و این موجب می‌شود داده‌هایی از سیگنال از بین بروند.

- در الگوریتم‌های گذشته نیاز به جداسازی رخداد‌های سیگنال مانند کمپلکس QRS، موج‌های P و T و همچنین شناسایی پارامترهایی نظیر ST-elevation، ST-segment، RR-interval، PR-interval به منظور شناسایی فاز ایسکمی از نرمال و متعاقباً پیش بینی سکته قلبی می‌باشد اما این امکان وجود دارد که در تشخیص و آشکارسازی رخداد اصلی سیگنال دچار خطا شویم و یا تغییرات پارامترهایی نظیر ST-elevation، ST-segment، RR-interval، PR-interval قابل تشخیص نباشد.

¹ Artificial neural network

² Adaptive neuro fuzzy inference system

³ Support vector machine

با توجه به موارد مذکور، می‌توان گفت تقریباً هیچ روش کلاسیکی که بتواند پاسخگوی مشکلات بوده و توان تعمیم مناسبی را ارائه نماید، وجود ندارد. بنابراین این زمینه نیز احتیاج به انجام تحقیقات کاملاً وسیع و هدفمند داشته تا بتوان با حل مشکلات موجود به صورت تدریجی، گام‌های بلندتری را جهت تشخیص فاز ایسکمی و پیش بینی سکتة قلبی برداشت.

۱-۲) طرح موضوع:

در این پایان نامه برای اینکه بتوان الگوریتمی برای پیش بینی وقوع سکتة قلبی با تشخیص فاز ایسکمی ارائه داد باید داده‌هایی از فاز سالم، فاز ایسکمی و سکتة قلبی از یک جاندار به دست آورد. با توجه به آن که در انسان امکان دستیابی به داده‌هایی برای حالت گذر از فاز سالم به فاز ایسکمی و در نهایت سکتة قلبی وجود ندارد، ناچار بر آن شدیم تا در محیط آزمایشگاهی فاز ایسکمی و در نهایت سکتة قلبی را بر روی موش آزمایشگاهی به صورت مصنوعی ایجاد نماییم و داده‌های لازم جهت طراحی سیستم هوشمند پیش بینی سکتة قلبی با تشخیص فاز ایسکمی را گرد آوری نماییم.

با توجه به توضیحات فوق و از آنجا که دسترسی به چنین داده‌هایی از روی بدن انسان کاری نسبتاً سختی می‌باشد، در این پروژه می‌خواهیم با آزمایش بر روی نوعی موش آزمایشگاهی (Rat) ابتدا سیگنال الکتروکاردیوگرام آن‌ها را در دوره سلامت و سپس گذر از سلامت به سکتة قلبی و در نهایت از زمان سکتة قلبی داشته باشیم سپس با دسترسی به این بانک اطلاعاتی و با توجه به آنکه مدت زمان به طول انجامیدن فاز ایسکمی (بدون ایجاد نکروز) در حالت انسداد کامل عروق کرونری برای موش آزمایشگاهی حدود ۱۰ دقیقه و برای انسان این زمان حداکثر ۲۰ دقیقه است [۲۰]، اگر بتوان پس از انسداد کامل یکی از عروق کرونری، حداکثر طی این مدت زمان، خون رسانی مجدد^۱ با برطرف نمودن انسداد عروق صورت گیرد، هیچ آسیبی به سلول‌های قلبی وارد نشده و از ورود به فاز سکتة قلبی جلوگیری خواهد شد. بنابراین با توجه به الگوهای هوشمند در دسترس به تعیین موارد زیر می‌پردازیم:

- ۱- پیش بینی سکتة قلبی از طریق آشکارسازی فاز ایسکمی (با استفاده از سیگنال الکتروکاردیوگرام موش آزمایشگاهی)
- ۲- پیش بینی سکتة قلبی از طریق آشکارسازی فاز ایسکمی (با استفاده از سیگنال الکتروکاردیوگرام انسان)
- ۳- تشخیص میزان آسیب (میزان بافت ایسکمیک یا نکروز شده) ناشی از سکتة قلبی (با استفاده از تصاویر بافت قلب و سیگنال‌های فشار خون بطنی و الکتروکاردیوگرام موش آزمایشگاهی)
- ۴- اثر داروهای در میزان آسیب (میزان بافت ایسکمیک یا نکروز شده) ناشی از سکتة قلبی موش‌های آزمایشگاهی

¹ Reperfusion