

# بهبود تشخیص ناهنجاری‌های قلبی از طریق استخراج ویژگی از سیگنال صدای قلب با به کارگیری الگوریتم‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین

الهام صحرانی<sup>۱</sup>، مهدی تقی زاده<sup>۲</sup>، بابک غلامی<sup>۱</sup>، مهدی نوریان زواره<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی پزشکی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران، <sup>۲</sup>مهندسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ وصول: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

## چکیده

**زمینه و هدف:** استخراج اطلاعات از سیگنال صدای قلب و تشخیص سیگنال غیرطبیعی در مرحله اولیه می‌تواند نقش حیاتی در کاهش میزان مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی - عروقی داشته باشد. از این رو، تاکنون پژوهش‌های متعددی در حوزه پردازش این سیگنال‌ها انجام شده است. لذا هدف از این پژوهش تعیین و بررسی بهبود تشخیص ناهنجاری‌های قلبی از طریق استخراج ویژگی از سیگنال صدای قلب با به کارگیری الگوریتم‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین بود.

**روش بررسی:** این یک مطالعه توصیفی - تحلیلی می‌باشد که در سال ۱۴۰۲ در دانشگاه آزاد کازرون انجام شد، داده‌های پژوهش از دادگان چالش ۲۰۱۶ فیزیوت انتخاب شدند، پس از پیش پردازش و حذف نویز، ۶ ویژگی جدید و ۳۵ ویژگی مورد استفاده در پژوهش‌های پیشین در مجموع ۴۱ ویژگی از سیگنال‌های صدای قلب استخراج شد. ۶ ویژگی جدید عبارتند از: آشفتگی متوسط نسبی، ضریب اغتشاش دوره پنج نقطه ای، شیمر محلی (برحسب دسی بل)، ضریب اغتشاش دامنه سه نقطه‌ای، ضریب اغتشاش دامنه پنج نقطه ای و همبستگی مرکز جرم زمانی و مرکز جرم فرکانسی. ویژگی‌های استخراج شده به عنوان ورودی به چهار طبقه‌بند شامل: جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K نزدیکترین همسایه و تجزیه و تحلیل افتراق خطی اعمال شد. میزان صحت، حساسیت و اختصاصیت هر یک از طبقه‌بندها محاسبه گردید و به منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های جدید در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی، نتایج به دست آمده با پژوهش‌هایی که از دادگان و طبقه‌بندهای مشابهی استفاده کرده، ولی ویژگی‌های کمتری از داده‌ها استخراج کرده بودند مقایسه شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون‌های آماری تی و رگرسیون لجستیک تجزیه و تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** بیشترین مقدار صحت و حساسیت، با استفاده از طبقه‌بند تجزیه و تحلیل افتراق خطی به دست آمد که به ترتیب به میزان ۹۱/۵۲ و ۹۶/۱۹ می‌باشد. بیشترین مقدار اختصاصیت نیز در طبقه‌بند جنگل تصادفی به میزان ۸۸/۹۰ به دست آمد. طبق نتایج به دست آمده، با افزودن ویژگی‌های جدید، سه شاخص صحت، حساسیت و اختصاصیت در دو طبقه‌بند K نزدیک‌ترین همسایه و تجزیه و تحلیل افتراق خطی بهبود می‌یابد. استخراج این ویژگی‌ها همچنین باعث افزایش میزان اختصاصیت در طبقه‌بند جنگل تصادفی می‌گردد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد استخراج ویژگی‌های جدید باعث افزایش میزان صحت، حساسیت و اختصاصیت در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی در مقایسه با نتایج پژوهش‌های پیشین شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تشخیص ناهنجاری‌های قلبی، یادگیری ماشین، استخراج ویژگی، طبقه‌بندی، سیگنال صدای قلب

\*نویسنده مسئول: مهدی تقی زاده، کازرون، واحد کازرون، گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی

Email: M.taghizadeh@Kau.ac.ir

## مقدمه

اختلالات قلبی - عروقی<sup>(۱)</sup> علت اصلی افزایش مرگ و میر در سطح جهان است. سالانه افراد بیشتری در اثر بیماری‌های قلبی - عروقی (نسبت به هر علت دیگری) جان خود را از دست می‌دهند<sup>(۱)</sup>. با توجه به آمار منتشر شده به وسیله سازمان بهداشت جهانی<sup>(۲)</sup>، در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۷/۹ میلیون نفر بر اثر بیماری‌های قلبی - عروقی جان خود را از دست دادند که ۳۲ درصد از کل مرگ و میرهای جهانی را شامل می‌شود<sup>(۲)</sup>.

سیگنال صدای قلب حامل اطلاعات پاتولوژیک اولیه اختلالات قلبی - عروقی است و برای تشخیص زودهنگام بیماری‌های قلبی - عروقی هفته مؤثر است. سمع صدای قلب از روش‌های سنتی تشخیص اختلالات قلبی به شمار می‌رود. این روش، غیر تهاجمی و مقرون به صرفه است و به حداقل تجهیزات نیاز دارد. بنابراین برای معاینه قلبی، به ویژه در کلینیک‌های کوچک مراقبت‌های اولیه بهداشتی بسیار مناسب است. با این حال، در واقعیت، سمع صدای قلب به شدت به تجربه بالینی و مهارت‌های معاینه پزشکان بستگی دارد. میزان دقت سمع به وسیله متخصصان قلب حدود ۸۰ درصد است، در حالی که دقت به وسیله پزشکان مراقبت‌های اولیه حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد است. تلاش‌ها برای حل این معضل منجر به توسعه تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی خودکار صدای قلب مبتنی بر رایانه شد<sup>(۳)</sup>. استفاده از یادگیری ماشین یا هوش مصنوعی که در برنامه‌های گوشی پزشکی دیجیتال

گنجانده شده است، مرزهای روش‌های سمع قفسه سینه را تغییر داده و تجربه، کیفیت تشخیص و مراقبت را هم برای بیماران و هم برای متخصصان بهبود می‌بخشد<sup>(۴)</sup>. از این رو، پژوهش‌های متعددی جهت پردازش این سیگنال‌ها و استخراج ویژگی‌های مؤثر از آنها انجام شده است.<sup>۱</sup>

هومسی و همکاران از ویژگی‌های زمان فرکانس، ویولت و آماری برای استخراج ویژگی سیگنال‌های صدای قلب استفاده کردند و با طبقه‌بندی ویژگی‌ها به روش جنگل تصادفی و *LogitBoost* به نتایجی با دقت ۸۴/۴۸ درصد دست یافتند<sup>(۵)</sup>. پوتز و همکاران با استخراج ۱۲۴ ویژگی زمان فرکانس و به روش طبقه‌بندی *Adaboost* و *CNN* به دقت ۸۹ درصد دست یافتند<sup>(۶)</sup>. حسنی و همکاران از طریق روش‌های آماری و تبدیل ویولت گسسته و طبقه‌بندی به روش *MLP*، دقت ۹۶/۶ درصد را در نتایج خود به دست آوردند<sup>(۷)</sup>. غفاری و همکاران از طریق روش *STFT* و *MFCC* به استخراج ویژگی سیگنال‌های صدای قلب پرداخته و با روش *K* نزدیک‌ترین همسایه به دقت ۹۳/۲ درصد رسیدند<sup>(۸)</sup>. احمد و همکاران به وسیله روش‌های *MFCC* و انرژی شانون متوسط نرمالیزه شده با طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (*SVM*)<sup>(۳)</sup> به دقت ۹۲/۶ درصد دست یافتند<sup>(۹)</sup>. عزیز و همکاران با روش‌های *MFCC* و *LTP* به استخراج ویژگی پرداخته و

1-Cardiovascular Disease  
2-World Health Organization  
3-Support Vector Machine(SVM)

با طبقه‌بندی به روش SVM به نتایجی با دقت ۹۵/۶۳ درصد دست یافتند (۱۰).

از جمله چالش‌های حوزه پردازش سیگنال صدای قلب این است که به دلیل استفاده محققان مختلف از داده‌های متفاوت، نتایج پژوهش آنها با یکدیگر قابل مقایسه نیست (۱۱). برای غلبه بر این مشکل، در سال ۲۰۱۶، پایگاه داده فیزیونت با هدف توسعه الگوریتم‌هایی برای طبقه‌بندی سیگنال‌های صدای قلب جمع‌آوری شده از انواع محیط‌های بالینی یا غیر بالینی، اقدام به انتشار این سیگنال‌ها نمود (۱۲).

نوریان زواره و همکاران ضمن استفاده از داده‌های این پایگاه داده، برای اولین بار از ویژگی‌های مربوط به سیگنال گفتار (جیتر مطلق، جیتر نسبی، شیمیر مطلق و شیمیر نسبی) به عنوان پارامترهای مؤثر در استخراج ویژگی از سیگنال صدای قلب استفاده کردند (۱۳). آنان نشان دادند ویژگی‌های جیتر و شیمیر به واسطه ارتباطی که به ترتیب با میزان تغییرات فرکانس پایه و میزان تغییرات دامنه سیگنال‌های متناوب دارند، در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی مؤثر هستند. برقی و همکاران از مشخصه‌های جیتر و شیمیر مستخرج از سیگنال ECG جهت تشخیص فیبریلاسیون دهلیزی استفاده کردند، آنان ۴ مشخصه جیتر و ۴ مشخصه شیمیر را از سیگنال‌های ECG استخراج کردند (۱۴). لذا هدف از این مطالعه تعیین و بررسی بهبود تشخیص ناهنجاری‌های قلبی از طریق

استخراج ویژگی از سیگنال صدای قلب با به کارگیری الگوریتم‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین بود.

### روش بررسی

این یک مطالعه توصیفی - تحلیلی می‌باشد که در سال ۱۴۰۲ در دانشگاه آزاد کازرون انجام شد. در این پژوهش، از دادگان موجود در چالش ۲۰۱۶ فیزیونت استفاده شد. این پایگاه داده شامل مجموعه‌ای از صداهای قلب افراد سالم و بیماران پاتولوژیک می‌باشد که در مراکز مختلف سراسر جهان از افراد سالم و بیمار جمع‌آوری شده است. مجموعه دادگان این چالش شامل شش پایگاه داده (a) تا (f) است که در مجموع ۳۲۴۰ سیگنال صدای قلب را شامل می‌شود. تمام دادگان قلبی چالش ۲۰۱۶ فیزیونت، با برچسب ۱ و -۱ علامت گذاری شده‌اند. سیگنال‌هایی که مربوط به قلب سالم هستند برچسب ۱- و سیگنال‌های مربوط به قلب بیمار، برچسب ۱ دارند.

از آنجا که سیگنال‌ها، در شرایط و محیط‌های مختلف ثبت شده‌اند، کیفیت‌های مختلفی نیز دارند. به منظور افزایش دقت محاسبات، لازم است در اولین مرحله، داده‌های بی‌کیفیت را از مجموعه دادگان مورد بررسی حذف نماییم. این کار به روش Springer و با تعیین ۹ شاخص کیفیت معرفی شده و طبقه‌بندی به روش K نزدیکترین همسایه انجام شد (۱۵).

اصلی و پیک دامنه توصیف می‌کنند. این دو مشخصه، فقط برای صداهای تقریباً متناوب مناسب هستند (۲۱). بنابراین، همان طور که انتظار می‌رود با توجه به ماهیت متناوب سیگنال صدای قلب، می‌توانند به عنوان ویژگی‌های مؤثر شناخته شوند.<sup>۲</sup>

جیت‌ر، به اندازه‌گیری تغییرات کوتاه مدت (سیکل به سیکل) در فرکانس پایه سیگنال صوتی اشاره دارد. شیم‌ر نیز به اندازه‌گیری تغییرات کوتاه مدت (سیکل به سیکل) در پیک دامنه اشاره دارد (۲۱).

از آن جا که ناهنجاری‌های قلبی با تغییرات در ریتم صدای قلب مرتبط است، استخراج مؤلفه‌های جیت‌ر می‌تواند در شناسایی ناهنجاری‌های قلبی مؤثر باشد. علاوه بر جیت‌ر مطلق و جیت‌ر نسبی (۱۳)، دو مشخصه دیگر از جیت‌ر وجود دارد که در این مقاله به عنوان ویژگی سیگنال صدای قلب در نظر گرفته شدند (۲۲ و ۲۳)

الف - آشفته‌گی متوسط نسبی ( $rap$ )، این ویژگی، میانگین اختلاف فرمانت و میانگین بین فرمانت و دو همسایگی آن تقسیم بر میانگین فرمانت برحسب درصد است.  $rap$ ، میزان نوسان فرمانت را در سه سیکل متوالی بیان می‌کند.

$$rap = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T_i - (\frac{1}{2} \sum_{n=i-1}^{i+1} T_n)|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i} \times 100$$

ب - ضریب اغتشاش دوره پنج نقطه‌ای ( $ppq5$ )، میانگین اختلاف فرمانت و میانگین بین فرمانت و چهار همسایگی آن تقسیم بر میانگین فرمانت را برحسب

1-Maximum Absolute Amplitude(MAA)  
2-Hidden Semi-Markov Model(HSMM)

فرآیند استاندارد برای تجزیه و تحلیل صدای قلب مبتنی بر رایانه را می‌توان در مراحل زیر خلاصه کرد؛ پیش پردازش (حذف نویز و بخش‌بندی)، استخراج ویژگی و طراحی طبقه‌بندی کننده (۱۷ و ۱۶) جهت حذف نویزهای فرکانس پایین و بالای خارج از محدوده فرکانسی صدای قلب، از فیلتر میانگذر باترورث مرتبه ۴ با فرکانس قطع پایین ۲۵ هرتز و فرکانس قطع بالای ۴۰۰ هرتز استفاده شد (۱۸ و ۲). نویزهای اسپایک نیز به روش معرفی شده به صورت زیر حذف شدند، سیگنال به پنجره‌های ۵۰۰ میلی‌ثانیه تقسیم می‌شود، مقدار ماکزیم قدرمطلق دامنه ( $MAA$ )<sup>(۱)</sup> در هر پنجره تعیین می‌گردد و اگر حداقل یک  $MAA$  بیشتر از ۳ برابر میانگین  $MAA$  باشد، محل وقوع آن مشخص شده و مقدار سیگنال در آن نقطه با ۰ جایگزین می‌شود (۱۹).

به منظور تشخیص قسمت‌های  $S1$  و  $S2$  از یک چرخه صدای قلب و استخراج ویژگی، نیاز به قطعه‌بندی سیگنال داریم. این کار به روش  $HSMM$ <sup>(۲)</sup> که به وسیله اسپرینگر و همکاران معرفی شده است، انجام شد (۲۰).

همان گونه که در بخش مقدمه ذکر شد، نوریان زواره و همکاران (۱۳)، ویژگی‌های فرکانس پایه، جیت‌ر مطلق، جیت‌ر نسبی، شیم‌ر مطلق و شیم‌ر نسبی را از سیگنال صدای قلب استخراج کرده و تأثیر آن را در تشخیص ناهنجاری‌های قلبی نشان دادند.

جیت‌ر و شیم‌ر، ویژگی‌های فرکانسی و زمانی سیگنال صوتی را با اندازه‌گیری تغییرات فرکانس

درصد بیان می‌کند.  $ppq5$ ، میزان نوسان فرمانت را در پنج سیکل متوالی بیان می‌کند.

$$ppq5 = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T_i - (\frac{1}{5} \sum_{n=i-2}^{i+2} T_n)|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i} \times 100$$

ناهنجاری‌های قلبی، با تغییر در میزان نوسانات دامنه در سیگنال صدای قلب همراه است. بنابراین می‌توان از مؤلفه‌های شیمیر برای استخراج ویژگی این سیگنال‌ها استفاده کرد.

علاوه بر شیمیر مطلق و شیمیر نسبی، دو مشخصه دیگر از شیمیر وجود دارد که در این مقاله به عنوان ویژگی سیگنال صدای قلب در نظر گرفته شدند. همچنین می‌توان از شیمیر مطلق در مبنای لگاریتمی استفاده کرد؛

الف - شیمیر محلی (برحسب دسی بل)  $ShdB$ ، این مشخصه میانگین اختلاف سیگنال را در دو پنجره متوالی برحسب دسی بل نشان می‌دهد.

$$ShdB = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |20 \times \log(A_{i+1}/A_i)|$$

ب - ضریب اغتشاش دامنه سه نقطه‌ای ( $apq3$ )، میانگین اختلاف بین سیگنال و میانگین سیگنال و دو همسایگی آن تقسیم بر میانگین سیگنال برحسب درصد است.  $apq3$  میزان نوسانات دامنه را در سه سیکل متوالی نشان می‌دهد.

$$apq3 = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |A_i - (\frac{1}{2} \sum_{n=i-1}^{i+1} A_n)|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i} \times 100$$

ج - ضریب اغتشاش دامنه پنج نقطه‌ای ( $apq5$ )، میانگین اختلاف سیگنال و میانگین بین سیگنال و چهار همسایگی آن تقسیم بر میانگین سیگنال را برحسب

درصد بیان می‌کند.  $apq5$  میزان نوسانات دامنه را در پنج سیکل متوالی نشان می‌دهد.

$$apq5 = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^{N-2} |A_i - (\frac{1}{5} \sum_{n=i-2}^{i+2} A_n)|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i} \times 100$$

$A_i$  مجموع قدرمطلق دامنه سیگنال در پنجره  $i$ ،  $T_i$  فرمانت اول پنجره  $i$  و  $N$  تعداد نمونه‌های یک پنجره می‌باشد، مقدار  $N$ ، ۵۱۲ در نظر گرفته شد (۲۴).

نوریان زواره و همکاران با مقایسه توزیع مرکز جرم زمانی و مرکز جرم فرکانسی در بین سیگنال‌های طبیعی و غیرطبیعی، استفاده از همبستگی این دو پارامتر را جهت استخراج ویژگی در کارهای آینده پیشنهاد دادند (۱۳)، در این مقاله، این ویژگی نیز محاسبه شد.

برای ارزیابی میزان تأثیر ویژگی‌ها در تشخیص سیگنال‌های طبیعی و غیرطبیعی از ۴ روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان (SVM)،  $K$  نزدیکترین همسایه و تجزیه و تحلیل افتراق خطی (LDA) (۱) استفاده شد. (۳)

الگوریتم‌های مورد استفاده در این مقاله، به روش نظارت شده عمل می‌کنند. یادگیری تحت نظارت، فرآیندی است که در آن یک الگوریتم برای پیش‌بینی یک خروجی، آموزش داده می‌شود.

در یادگیری تحت نظارت نیاز به ارایه داده‌های برچسب‌گذاری شده است به گونه‌ای که سیستم قادر به یادگیری ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی مورد

1-Linear Discriminant Analysis(LDA)

اسپایک از تمام سیگنال‌ها حذف شدند. به عنوان نمونه، شکل ۲، بخشی از سیگنال مجموعه دادگان گروه a با نام a0010.wav را قبل و بعد از حذف نویز نشان می‌دهد.

پس از حذف نویز، تمام سیگنال‌ها قطعه‌بندی شدند. شکل ۳، قسمتی از یک سیگنال صدای قلب از دادگان گروه b با نام b0065.wav و نحوه قطعه‌بندی آن را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های جدید استفاده شده در این مقاله در قسمت «روش بررسی» شرح داده شد. ۳۵ ویژگی نیز با پژوهش‌های پیشین حوزه پردازش صدای قلب مشترک است. در مجموع، ۴۱ ویژگی از سیگنال صدای قلب استخراج گردید که به طور خلاصه در جدول ۱ ارایه شده است.

جهت ارزیابی از ۴ طبقه‌بند؛ جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، K نزدیک‌ترین همسایه و تجزیه و تحلیل افتراقی خطی استفاده کردیم. نتایج طبقه‌بندی انجام شده در جدول ۲ ارایه شده است، با توجه به خروجی جدول روش تجزیه تحلیل افتراق خطی (LDA) بیشترین صحت (۹۱/۵۲) و حساسیت (۹۶/۱۹) را در بین طبقه‌بندها دارد.

به منظور صحت سنجی بهبود سیستم در اثر افزودن ویژگی‌های جدید، میزان صحت، حساسیت و اختصاصیت به دست آمده با نتایج پژوهش‌های اخیر مقایسه شد (جدول ۳). پژوهش حاضر با استخراج ۴۱ ویژگی، در روش ماشین بردار پشتیبان بهتر عمل کرده است. همچنین در روش تجزیه تحلیل افتراقی

نظر باشد. مجموعه داده‌ها به یک مجموعه آموزشی (با برچسب‌های ارایه شده) برای یادگیری سیستم و یک مجموعه آزمایشی (بدون برچسب ارایه شده) تقسیم می‌شوند که امکان ارزیابی عملکرد الگوریتم بر روی داده‌های جدید را فراهم می‌کند. در این پژوهش، داده‌های آموزش و تست به روش اعتبار متقاطع K تایی تعیین شدند، مقدار K ۱۰ در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، نود درصد از داده‌ها جهت آموزش و ده درصد برای تست انتخاب شدند. این کار به مدت ۱۰ بار تکرار شد و میانگین صحت، حساسیت و اختصاصیت به عنوان خروجی نهایی هر طبقه‌بند محاسبه گردید.

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار متلب و آزمون آماری تی و رگرسیون لجستیک تجزیه و تحلیل شدند.

## یافته‌ها

در سیگنال‌های بی‌کیفیت، به علت غالب بودن نویز بر سیگنال، امکان تشخیص و تمایز بخش‌های مختلف صدای قلب وجود ندارد. از بین ۳۲۴۰ سیگنال موجود، در مجموع، ۶۳۸ سیگنال فاقد کیفیت لازم بودند که پس از حذف آن‌ها، ۲۶۰۲ سیگنال با کیفیت جهت انجام مراحل بعدی و استخراج ویژگی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱، ۴ نمونه سیگنال بی‌کیفیت و ۴ نمونه سیگنال با کیفیت را نشان می‌دهد.

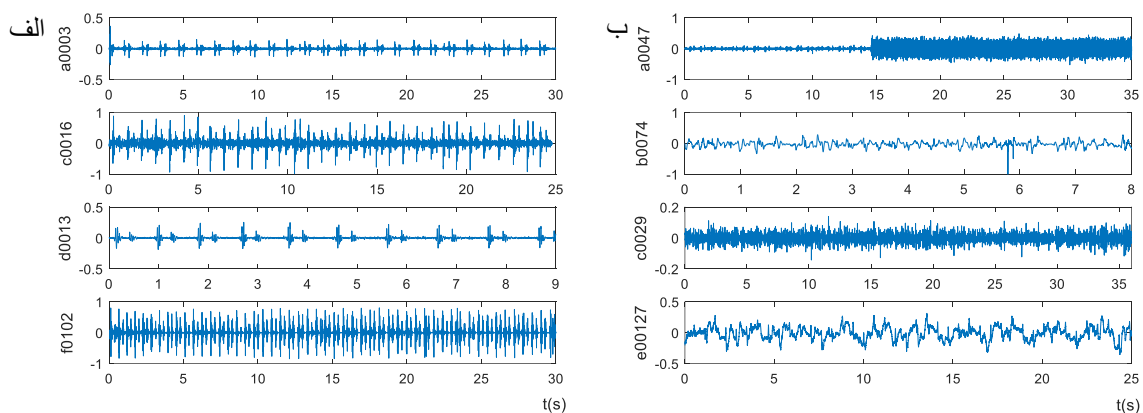
پس از استخراج ۲۶۰۲ سیگنال با کیفیت، نویزهای فرکانس پائین، فرکانس بالا و نویزهای

نتایج سه پژوهش برتر چالش ۲۰۱۶ فیزیونت در جدول ۴ ارائه شده است، با مقایسه نتایج پژوهش حاضر (جدول ۳) با جدول ۴ مشاهده می‌شود روش پیشنهادی در این مقاله در هر ۴ طبقه بند از نظر صحت و اختصاصیت، عملکرد بهتری داشته و از نظر حساسیت، در روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و تجزیه و تحلیل افتراقی خطی بهتر عمل کرده است.

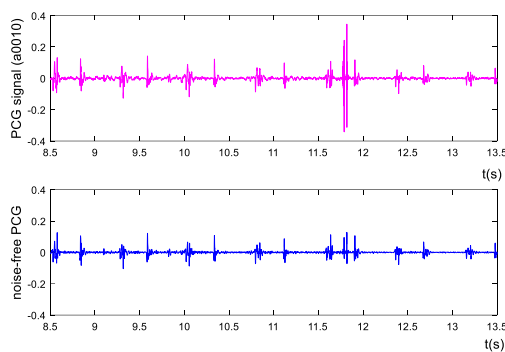
از سوی دیگر، به منظور اعتبارسنجی ۶ ویژگی معرفی شده در این مقاله، از آزمون تی استفاده شد. با توجه به نتایج، از بین ۴۱ ویژگی لحاظ شده،  $apq3$ ،  $apq5$  و  $ShdB$  به ترتیب در رتبه ۸، ۹ و ۱۳ از ۴۱ قرار داشتند. ویژگی‌های  $ppq5$ ،  $rap$  و همبستگی مرکز جرم زمانی و جرم فرکانسی نیز به ترتیب در رتبه‌های ۲۷، ۲۸ و ۲۹ از ۴۱ قرار گرفتند. بدین ترتیب، از ۶ ویژگی جدید معرفی شده، ویژگی‌های مربوط به تغییرات دامنه سیگنال ( $ShdB$  و  $apq5$ ،  $apq3$ ) تأثیر بیشتری در نتایج داشتند. بنابراین، میزان تغییرات دامنه سیگنال، بیشتر از تغییرات فرکانس پایه می‌باشد.

خطی، میزان صحت و حساسیت بیشتری به دست آمده است.

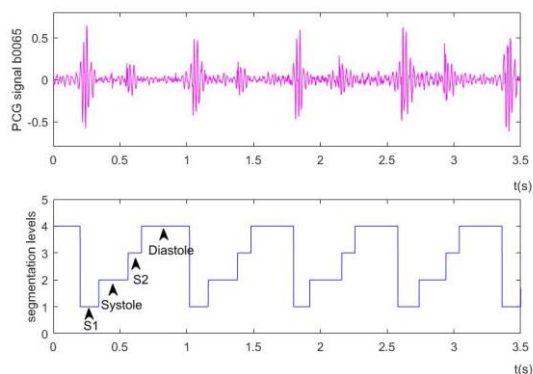
با استفاده از دادگان چالش ۲۰۱۶ فیزیونت، ۳۵ ویژگی از سیگنال صدای قلب استخراج کرده و با به کارگیری ۶ شبکه؛ جنگل تصادفی،  $K$  نزدیک‌ترین همسایه، درخت تصمیم‌گیری، تجزیه و تحلیل افتراقی خطی، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی عمیق به تشخیص ناهنجاری‌های قلبی پرداختند، در این مقاله، ۶ ویژگی جدید به ۳۵ ویژگی مورد استفاده اضافه شد. جهت ارزیابی نیز از ۴ طبقه بند؛ جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان،  $K$  نزدیک‌ترین همسایه و تجزیه و تحلیل افتراقی خطی استفاده کردیم. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، با افزودن ۶ ویژگی جدید، میزان صحت، حساسیت و اختصاصیت در طبقه بندهای  $K$  نزدیک‌ترین همسایه و تجزیه و تحلیل افتراقی خطی بهبود یافته و در روش جنگل تصادفی، میزان اختصاصیت بیشتری به دست آمده است.



شکل ۱: الف - نمونه ۴ سیگنال بی‌کیفیت که از مجموعه دادگان حذف شدند، ب - نمونه ۴ سیگنال دارای کیفیت مطلوب



شکل ۲: بخشی از سیگنال متعلق به مجموعه گروه a با نام a0010 قبل و بعد از حذف نویز



شکل ۳: بخشی از سیگنال متعلق به مجموعه گروه b با نام b0065 و قطعه‌بندی آن

جدول ۱: ویژگی‌های مورد استفاده جهت تشخیص ناهنجاری قلبی<sup>۴</sup>

ویژگی‌های جدید معرفی شده در این مقاله	ویژگی‌های در نظر گرفته شده در پژوهش‌های پیشین (۱۱، ۱۲، ۱۵ و ۲۵)		
	ویژگی‌های آماری	ویژگی‌های فرکانسی	ویژگی‌های زمانی
<i>ShdB</i>	میانگین	<i>MFCC</i> (۱۲ ضریب)	نرخ عبور از صفر
<i>rap</i>			طول دوره <i>S1</i>
<i>ppq5</i>	واریانس	مرکز جرم فرکانسی	طول دوره <i>S2</i>
<i>apq3</i>	کشیدگی	فرکانس پایه	طول یک سیکل قلبی
<i>apq5</i>	چولگی	عرض باند موثر سیگنال	توان
			انرژی شانون
			ریشه میانگین مربع ( <i>RMS</i> ) <sup>(۱)</sup>
همبستگی مرکز جرم زمانی و مرکز جرم فرکانسی		حداکثر فرکانس	نرخ ضربان قلب
			تغییرات ضربان قلب
			مرکز جرم زمانی
			حداکثر دامنه در هر تناوب
			جیت‌ر مطلق
			جیت‌ر نسبی
			شیم‌ر مطلق
			شیم‌ر نسبی

1- Root Mean Square(RMS)



جدول ۲: صحت، حساسیت و اختصاصیت محاسبه شده در روش های طبقه بندی مختلف

روش طبقه بندی	صحت	حساسیت	اختصاصیت
جنگل تصادفی	۸۷/۰۱	۸۵/۲۷	۸۸/۹۰
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	۹۱/۰۲	۹۴/۵۲	۸۷/۵۷
K نزدیکترین همسایه	۸۶/۶۹	۸۵/۷۲	۸۷/۸
تجزیه و تحلیل افتراقی خطی (LDA)	۹۱/۵۲	۹۶/۱۹	۸۶/۸۴

جدول ۳: مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج پژوهش های اخیر

نویسندگان	استخراج ویژگی	RF	SVM	KNN	LDA
پژوهش حاضر	۴۱ ویژگی زمانی، آماری، فرکانسی، زمان و فرکانس	صحت: ۸۷/۰۱	صحت: ۹۱/۰۳	صحت: ۸۶/۶۹	صحت: ۹۱/۵۲
محمدی و همکاران (۱۱)	۳۵ ویژگی زمانی، آماری، فرکانسی، زمان و فرکانس	صحت: ۸۹/۱	---	صحت: ۸۲/۱	صحت: ۹۰/۴
سینگ و ماجومدر (۲۶)	۲۷ ویژگی زمانی، آماری، فرکانسی، آنتروپی	---	صحت: ۸۶/۲۲	صحت: ۹۴/۰۳	صحت: ۸۸/۰۶
			صحت: ۹۳/۶۶	صحت: ۸۷/۶۴	صحت: ۷۳/۰۷
			اختصاصیت: ۸۳/۸۳	اختصاصیت: ۹۶/۰۷	اختصاصیت: ۹۲/۸۶

جدول ۴: نتایج سه پژوهش برتر چالش ۲۰۱۶ فیزیونت

رتبه	نویسندگان	روش	صحت	حساسیت	اختصاصیت
۱	پوتز و همکاران (۶)	AdaBoost & CNN	۸۶/۰۲	۹۴/۲۴	۷۷/۸۱
۲	ذبیحی و همکاران (۲۷)	Ensemble of SVMs	۸۵/۹۰	۸۶/۹۱	۸۴/۹۰
۳	کای و آگراوال (۲۸)	Regularized Neural Network	۸۵/۲۰	۸۷/۴۳	۸۲/۹۷

## بحث

قلب بیمار از سالم صورت گرفته است. هدف از این مطالعه تعیین و بررسی بهبود تشخیص ناهنجاری های قلبی از طریق استخراج ویژگی از سیگنال صدای قلب با به کارگیری الگوریتم های طبقه بندی یادگیری ماشین بود. طبق نتایج به دست آمده و با توجه به این که سیگنال صدای قلب، سیگنالی متناوب با نوسانات بسیار زیاد در میزان دامنه و فرکانس پایه است، می توان از

صدا های قلب سرنخ های اولیه مهمی را در ارزیابی بیماری ارایه می دهند، به عنوان راهنمایی برای معاینات تشخیصی بیشتر عمل می کنند و بنابراین نقش مهمی در تشخیص زود هنگام اختلالات قلبی - عروقی دارند (۱۲). از این رو، پژوهش های متعددی در راستای طبقه بندی سیگنال های صدای قلب، به منظور تشخیص

در مقایسه با نتایج پژوهش‌های برتر چالش ۲۰۱۶ فیزیونت (۲۸ و ۲۷، ۶)، پژوهش حاضر توانسته در هر چهار روش طبقه‌بندی با میزان صحت و اختصاصیت بیشتر و در روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و تجزیه تحلیل افتراق خطی با میزان حساسیت بیشتری طبقه‌بندی را انجام دهد. از بین روش‌های طبقه‌بندی اعمال شده در این پژوهش، روش تجزیه و تحلیل افتراق خطی با صحت ۹۱/۵۲ و حساسیت ۹۶/۱۹ بهترین عملکرد را از خود نشان داد.

به روش آزمون تی، ویژگی‌ها بر اساس میزان اهمیت و اثرگذاری، اولویت‌بندی شدند. طبق نتایج این آزمون، در مقایسه بین ویژگی‌های شایم و جیتر، ویژگی‌های مربوط به تغییرات دامنه سیگنال (شایم) نسبت به ویژگی‌های متأثر از فرکانس (جیتر) در رتبه بالاتری قرار داشتند. این امر نشان می‌دهد تغییرات دامنه سیگنال صدای قلب، بیشتر از تغییرات فرکانس پایه آن می‌باشد. تاکنون کارهای بسیاری در حوزه تشخیص ناهنجاری‌های قلبی از سیگنال صدای قلب به روش‌های هوشمند انجام شده است. هدف اصلی تمام این پژوهش‌ها، دستیابی به تشخیص با بیشترین مقدار صحت می‌باشد. این امر مستلزم استخراج ویژگی‌های زیاد از سیگنال‌ها است. از سوی دیگر، استخراج ویژگی‌های متعدد باعث پیچیدگی‌های محاسباتی می‌گردد. از این رو پیشنهاد می‌گردد روشی بهینه برای تشخیص ناهنجاری‌های قلبی با استفاده از ویژگی‌های کمتر و در عین حال دستیابی به صحت بیشتر معرفی گردد. هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد از روش‌های دیگر

ویژگی‌های شایم و جیتر برای بهبود تمییز صدای قلب سالم از قلب بیمار استفاده نمود. بدین منظور، علاوه بر سایر ویژگی‌های متداول، دو ویژگی جیتر (*rap* و *ppq5*)، سه ویژگی شایم (*ShdB*، *apq3* و *apq5*) و ویژگی همبستگی مرکز جرم زمانی و مرکز جرم فرکانسی از سیگنال صدای قلب استخراج شد. از طبقه‌بندهای جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان، *K* نزدیکترین همسایه و تجزیه و تحلیل افتراق خطی جهت ارزیابی روش پیشنهادی استفاده شد.

به منظور صحت‌سنجی، نتایج به دست آمده با پژوهش (۱۱) که از دادگان و روش‌های طبقه‌بندی مشابهی استفاده کرده بود و در ۳۵ ویژگی، با پژوهش حاضر مشترک بود مقایسه شد. نتایج نشان داد با افزودن ۶ ویژگی معرفی شده، اختصاصیت در روش جنگل تصادفی به اندازه ۱۰/۱ افزایش یافت. صحت، حساسیت و اختصاصیت در طبقه‌بند *K* نزدیکترین همسایه به ترتیب ۴/۵۹، ۶/۳۲ و ۲/۵ بهبود یافت و در روش تجزیه و تحلیل افتراق خطی میزان صحت، حساسیت و اختصاصیت به ترتیب ۱/۱۲، ۰/۷۹ و ۱/۴۴ افزایش یافت. در مقایسه با نتایج پژوهش (۲۶ و ۲۵) که ۲۷ ویژگی از سیگنال صدای قلب استخراج نموده، پژوهش حاضر در روش طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان میزان صحت، حساسیت و اختصاصیت را به ترتیب ۴/۸۱، ۰/۸۷ و ۳/۷۴ بهبود بخشید و در روش طبقه‌بندی تجزیه و تحلیل افتراق خطی میزان صحت و حساسیت را به ترتیب به اندازه ۳/۴۶ و ۲۳/۱۲ بهبود داد.

طبقه‌بندی مانند یادگیری عمیق یا ترکیب چند الگوریتم طبقه‌بندی برای بهبود بیشتر میزان تشخیص ناهنجاری‌های قلبی استفاده شود.

### **تقدیر و تشکر**

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی پزشکی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون با کد اخلاق IR.IAU.KAU.REC.1402.034 می باشد، که با حمایت مالی این دانشگاه انجام شد.

## REFERENCES:

1. Nabih-Ali M, El-Dahshan ELS A, Yahia AS. A review of intelligent systems for heart sound signal analysis. *Journal of Medical Engineering & Technology* 2017; 41(7):1-11.
2. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) 2021. [Available from: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))].
3. Deng M, Meng T, Cao J, Wang S, Zhang J, and Fan H. Heart sound classification based on improved MFCC features and convolutional recurrent neural networks. *Neural Networks* 2020; 130: 22-32.
4. Seah JJ, Zhao J, Wang DY, Lee HP. Review on the advancements of stethoscope types in chest auscultation. *Diagnostics* 2023; 13(9): 1545.
5. Homsy MN, Medina N, Hernandez M, Quintero N, Perpiñan G, Quintana A, Warrick P. Automatic heart sound recording classification using a nested set of ensemble algorithms, In Proceedings of the 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC). Vancouver, BC, Canada 2016; 817-820.
6. Potes C, Parvaneh S, Rahman A, Conroy B. Ensemble of feature-based and deep learning-based classifiers for detection of abnormal heart sounds, In Proceedings of the 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC), Vancouver, BC, Canada 2016; 621-624.
7. Hassani K, Jafarian K, Doyle DJ. Heart sounds features usage for classification of ventricular septal defect size in children, in proceedings of the 61th international conference on biomedical engineering. Springer: Singapore 2016; 28-31.
8. Ghaffari M, Ashourian M, Ince EA, Demirel H. Phonocardiography signal processing for automatic diagnosis of ventricular septal defect in newborns and children, In proceedings of the 2017 9th international conference on computational intelligence and communication networks(CICN). Girne Cyprus 2017; 62-66.
9. Ahmad MS, Mir J, Ullah MO, Shahid MLUR, Syed MA. An efficient heart murmur recognition and cardiovascular disorders classification system. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine* Springer 2019; 42: 733-43.
10. Aziz S, Khan M.U, Alhaisoni M, Akram T, and Altaf M. Phonocardiogram signal processing for automatic diagnosis of congenital heart disorders through fusion of temporal and cepstral features. *Sensors* 2020; 20(13): 3790.
11. Mohammadi E, Kermani S, Nourian-Zavareh M, Zare A, Aghapanah-Roudsari H, Samieinasab M, Sanei H. A new approach of phonocardiogram analysis for screening some of cardio-vascular diseases based on deep learning. *Journal of Isfahan Medical School* 2022; 40(661): 109-14.
12. Liu C, Springer D, Li Q, Moody B, Juan RA, Chorro FJ, et al. An open access database for the evaluation of heart sound algorithms. *Physiol Meas* 2016; 37(12): 2181-213.
13. Nourian-Zavareh M, Kermani S, Hashemi-Jazi SM, Samieinasab M. Estimation and evaluation of new features from phonocardiogram for detecting cardiovascular abnormalities. *Journal of Isfahan Medical School* 2019; 36(506): 1444-9.
14. Borghi PH, Borges RC, Teixeira JP. Atrial fibrillation classification based on MLP networks by extracting Jitter and Shimmer parameters. *Procedia Computer Science* 2021; 181: 1-939.
15. Springer DB, Brennan T, Ntusi N, Abdelrahman HY, Zühlke LJ, Mayosi BM, et al. Automated signal quality assessment of mobile phone-recorded heart sound signals. *Journal of Medical Engineering Technol* 2016; 40(7-8): 342-55.
16. Gupta CN, Palaniappan R, Swaminathan S, Krishnan SM. Neural network classification of homomorphic segmented heart sounds. *Applied Soft Computing* 2007; 7(1): 286-97.
17. Yang X, Yang F, Gobeawan L, Yeo SY, Leng S, Zhong L, et al. A multi-modal classifier for heart sound recordings. *Computing in Cardiology Conference(CinC)* 2016; 1165-8.
18. Gaikwad KM, Chavan MS. Removal of high frequency noise from ECG signal using digital IIR butterworth filter. *IEEE Global Conference on Wireless Computing & Networking(GCWCN)* 2014; 121-124.
19. Schmidt S.E, Holst-Hansen C, Graff C, Toft E, Struijk JJ. Segmentation of heart sound recordings by a duration-dependent hidden Markov model, *Physiol. Meas* 2010; 31(4): 513-29.
20. Springer DB, Tarassenko L, Clifford GD. Logistic regression-hsmm-based heart sound segmentation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 2016; 63(4): 822-32.
21. Zhang Y, Jiang JJ, Biazzo L, Jorgensen M. Perturbation and nonlinear dynamic analyses of voices from patients with unilateral laryngeal paralysis. *Journal of Voice* 2004; 19(4): 519-28.
22. Teixeira JP, Gonçalves A. Accuracy of jitter and shimmer measurements. *Procedia Technology* 2014; 16: 1190-1199.

23. Teixeira JP, Fernandes PO. Jitter, shimmer and HNR classification within gender, tones and vowels in healthy voices. *Procedia Technology* 2014; 16: 1228-37.
24. Teixeira JP, Goncalves A. Algorithm for jitter and shimmer measurement in pathologic voices. *Procedia Computer Science* 2016; 100: 271-9.
25. Randhawa SK, Singh M. Classification of heart sound signals using multi-modal features. *Procedia Computer Science* 2015; 58: 165-71.
26. Singh SA, Majumder S. Short unsegmented PCG classification based on ensemble classifier. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 2020; 28(2): 875-89.
27. Zabihi M, Rad AB, Kiranyaz S, Gabbouj M, Katsaggelos AK. Heart sound anomaly and quality detection using ensemble of neural networks without segmentation. *Computing in Cardiology Conference(CinC) IEEE* 2016; 43: 613-6.
28. Kay E, Agarwal A. Dropconnected neural network trained with diverse features for classifying heart sounds. *Computing in Cardiology Conference(CinC) IEEE* 2016; 617-20.

# Improving the Diagnosis of Cardiac Abnormalities Through Feature Extraction from the Heart Sound Signal Using Machine Learning Classification Algorithms

Sahraee E<sup>1</sup>, Taghizadeh M<sup>1\*</sup>, Gholami B<sup>1</sup>, Nourian-Zavareh M<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Medical Engineering, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran, <sup>2</sup>Medical Engineering, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Received: 06 Jan 2023 Accepted: 23 Dec 2023

## Abstract

**Background & aim:** Extracting information from the heart sound signal and detecting the abnormal signal in the early stage can play a vital role in reducing the death rate caused by cardiovascular diseases. Therefore, many researches have been done in processing these signals up to now. So, this study aimed to determine the improvement of heart abnormalities diagnosis by extracting features from the heart sound signal by applying machine learning classification algorithms.

**Methods:** The present descriptive–analytical study was conducted at Kazerun Azad University in 2023. The research data were selected from the 2016 Physionet Challenge database. After pre-processing and noise removal, 6 new features and 35 features (41 features) used in previous researches were extracted from the heart sound signals. The 6 new features are " Relative Average Perturbation", " five-point Period Perturbation Quotient", "local shimmer (in dB)", " three-point Amplitude Perturbation Quotient " and " five-point Amplitude Perturbation Quotient " and " correlation of time center of signal and frequency center of signal". The extracted features were applied as input to four classifiers of random forest, support vector machine, K nearest neighbor and linear discriminant analysis. Accuracy, sensitivity and specificity of each classification were calculated. In order to investigate the impact of new features in the diagnosis of cardiac abnormalities, the results obtained were compared with studies that used similar data and classifications but extracted fewer features from the data. The collected data were analyzed using t-tests and logistic regression.

**Results:** The highest accuracy and sensitivity were obtained in the Linear Discriminant Analysis classifier, which are 91.52 and 96.19, respectively. The highest specificity was obtained in the Random Forest classifier at the rate of 88.90. According to the obtained results, by adding new features, the three indices of accuracy, sensitivity and specificity are improved in the two classifiers of K-nearest neighbor and Linear Discriminant Analysis. Extraction of these features also increases the level of specificity in the Random Forest classification.

**Conclusion:** The results indicated that the extraction of new features led to increase in the accuracy, sensitivity and specificity in the diagnosis of cardiac abnormalities compared to the results of previous researches.

**Keywords:** Diagnosis of cardiovascular abnormalities, Machine learning, Feature extraction, Classification, Heart sound signal

---

\* **Corresponding author:** Taghizadeh M, Department of engineering (Biomedical engineering), Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran.

**Email:** M.taghizadeh@Kau.ac.ir

**Please cite this article as follows:** Sahraee E, Taghizadeh M, Gholami B, Nourian-Zavareh M. Improving the Diagnosis of Cardiac Abnormalities Through Feature Extraction from the Heart Sound Signal Using Machine Learning Classification Algorithms. Armaghane-danesh 2024; 29(1): 80-93.