

تشخیص سرطان پستان با استفاده از ترکیب روش‌های یادگیری ماشین و بینایی ماشین در تصاویر ترموگرافی

بهزاد لک^۱، استادیار گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات دانشگاه علوم انتظامی امین، پرستو نجفی^۲، کارشناس ارشد مهندسی نرم‌افزار

۱- دانشکده علوم و فنون منابع سازمانی - دانشگاه علوم انتظامی امین- تهران - ایران - b.lak@aletaha.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه آل طه - تهران - ایران - p.najafi93@gmail.com

چکیده: سرطان پستان در سال‌های اخیر در بین زنان افزایش یافته است و یکی از شایع‌ترین علل مرگ و میر در زنان می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که ترموگرافی، نسبت به سایر روش‌های تشخیصی، روشی سریع‌تر، ارزان‌تر، غیرفعال، بدون ریسک، بدون اشعه و درد است. روش‌های جدید در پردازش تصویر، بینایی و یادگیری ماشین سبب شده تا مطالعات موفقیت‌آمیزی به منظور ایجاد سیستم‌های تشخیصی سرطان پستان با بکارگیری تصاویر ترموگرافی ایجاد شود. در این مطالعه یک روش مناسب برای تشخیص ناهنجاری تصاویر ترموگرافی از نمای روبه‌رو ارائه شده است که با بکارگیری این روش تفکیک ناحیه سینه و همه نواحی مدنظر پزشک که برای تشخیص سرطان پستان ضروری می‌باشند، از ترموگرام‌ها جداسازی رنگی می‌شوند و نواحی پرحرارت، با استفاده از الگوریتم FCM از تصاویر استخراج شده و به کمک آنالیز فراکتالی، بعد فراکتال این نواحی با استفاده از سه روش متفاوت محاسبه می‌شوند. جنبه نوآوری این مطالعه بررسی نقش آنالیز فراکتالی در ردیابی توزیع حرارت متقارن در دو بافت سینه است. نتایج نشان می‌دهد که آنالیز فراکتالی به طور بالقوه می‌تواند قابلیت اطمینان ترموگرافی در تشخیص تومور را بهبود بخشد. همچنین آنالیز فراکتالی نقش مهمی در ردیابی توزیع حرارت متقارن، در دو بافت پستان جهت ردیابی ناهنجاری‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: بعد فراکتال، تحلیل توزیع متقارن دما، تفکیک رنگی ناحیه مدنظر، ترموگرافی.

Diagnosis of Breast Cancer by Integrating Machine Learning and Machine Vision Techniques in Thermography Images

Behzad Lak¹, Assistant Professor, Parastoo Najafi², Master of Software Engineering

1- Faculty of Science and Technology of Organizational Resources, Amin University, Tehran, Iran, Email: b.lak@aletaha.ac.ir

2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Al-Taha University, Tehran, Iran, Email: p.najafi93@gmail.com

Abstract: Breast cancer has increased among women in recent years and is one of the leading causes of death in women. Studies show that thermography is a faster, cheaper, passive, risk-free, radiation-free and pain-free method than other diagnostic methods. New methods of image processing, vision and machine learning have led to successful investigations into the invention of breast cancer detection systems by thermometric images. In the present study, a proper method of diagnosing abnormality through thermography images of the obverse view is presented. By this segregation method, the breast area and every other area targeted by the physician that is vital for breast cancer diagnosis are color-divided in the thermographs. Warmer regions known as vital centers are extracted by the FCM algorithm and the fractal dimension of these regions is calculated using three different methods. The Studies suggesting that fractal analysis may potentially improve the reliability of thermography in breast tumor detection. The innovative aspect of this paper is the study of the role of fractal analysis in tracking the symmetrical heat distribution in two breast tissues in thermographic images. The results show that fractal analysis plays an important role in tracking the symmetrical heat distribution in two breast tissues to investigate asymmetry in order to detect breast abnormalities.

Keywords: Fractal dimension, symmetrical temperature distribution analysis, segregation of targeted area, thermography.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱

نام نویسنده مسئول: بهزاد لک

نشانی نویسنده مسئول: تهران - دانشگاه علوم انتظامی امین - دانشکده علوم و فنون منابع سازمانی - گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۱- مقدمه

تفکیک نواحی پستان و نواحی ضروری به شکل دستی از ترموگرامها صورت گرفت.

سید و همکارانش [۱۸] از چهار الگوریتم ازدحام شامل بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)، بهینه ساز (Grey Wolf GWO)، بهینه سازی شعله (Moth MFO) و الگوریتم (Firefly FA) استفاده نمودند. این روشها می توانند با موفقیت برای مقابله با تقسیم بندی تصاویر سرطان پستان استفاده شوند. در این مطالعه تعداد ترموگرامها برابر با ۶۳ است و از روش تفکیک نیمه اتوماتیک استفاده نمودند. سپس برای طبقه بندی از تکنیک ماشین بردار پشتیبان (SVM) با هسته های مختلف استفاده شد. نتایج آزمایشات انجام شده نشان می دهد که بهترین هسته، هسته خطی با دقت ۹۶،۸۳٪ است. مزیت این روش وجود نواحی سینه و نواحی غدد لنفاوی و مشکل این روش مرز زیر سینه تفکیک نشده است.

استاتیش و همکارانش [۲۱] روش جدیدی را برای طبقه بندی خودکار تصاویر ترموگرام پستان با استفاده از ویژگی های انرژی محلی زیر باندهای موجک پیشنهاد کردند. سپس یک زیرمجموعه از ویژگی ها با انتخاب تصادفی ویژگی زیر مجموعه (RSFS) و الگوریتم ژنتیک انتخاب می شود. آن ها دقت ۹۱٪، حساسیت ۸۷،۲۳٪ و ویژگی ۹۴،۳۴٪ را با استفاده از طبقه بندی کننده گاوسی SVM بدست آورده اند.

خسروی و همکارانش [۱۵] یک روش کاملا اتوماتیک به منظور جداسازی ناحیه اصلی سینه از تصاویر حرارتی ارائه دادند. ابتدا تصاویر را به فرمت خاکستری تبدیل نمودند و برای استخراج خصوصیات از موجک های گابور و نیز ماتریس هم خداد و روش اختلاف سطح خاکستری پرداختند. استفاده از روش $gmm+lvq$ در این مطالعه بالاترین نرخ شناسایی بدست آمده که دقت آن برابر با ۱۰۰٪ می باشد را بیان می کند. هرچند در این مطالعه به جداسازی مرز زیر ناحیه سینه پرداخته نشده است.

کالدرو و همکارانش [۱۶] مدل جدیدی از سیستم تشخیص کمک رایانه ای (CAD) را از طریق ترموگرافی پستان پیشنهاد کردند، مدل پیشنهادی براساس طبقه بندی فازی با استفاده از ویژگی های آماری است که حساسیت آن ۸۲،۳۵ و به ویژگی ۹۲،۱۵٪ دست یافتند. در این مطالعه تعداد ترموگرام های مورد استفاده ۶۷ نمونه می باشد. نتایج تفکیک ناحیه پستانها، ارائه نشده است.

با توجه به اینکه تفکیک ناحیه پستان و نواحی غدد لنفاوی کاری چالش برانگیز است. وجود تفاوت در ترموگرامها سبب می شود تا سیستم های کاملا اتوماتیک در تمامی تصاویر قابلیت تفکیک را نداشته باشند، زیرا به دلیل محدودیت های ذاتی تصاویر حرارتی مانند عدم وجود لبه های واضح، کنتراست کم و نسبت سیگنال به نویز کم [۱۲] این کار سخت است. از آنجایی که وجود کلیه نواحی مدنظر پزشک که شامل ناحیه هر دو پستان و نواحی غدد لنفاوی ضروری است و نتایج این تفکیک بر تشخیص بیماری تاثیر می گذارد، بسیاری از نویسندگان ترجیح می دهند که استخراج از روش های نیمه اتوماتیک و با نظارت

سرطان پستان متداول ترین نوع سرطان است که جمعیت زنان را تحت تاثیر قرار می دهد [۱]. سرطان پستان یکی از شایع ترین بدخیمی ها در بین زنان شناخته شده است. در واقع سلول های نسج پستان که سازنده شیر برای تغذیه نوزادان است، دچار بدخیمی می شوند. از هر هشت زن یک نفر در زندگی خود مبتلا به سرطان پستان می شود [۱۹]. این نوع بیماری در زنان کمتر از ۳۰ سال نادر است و پس از ۴۰ سال شیوع آن بیشتر می شود [۲۵]. در ایران این سرطان یک دهه زودتر از کشورهای توسعه یافته در بین زنان بروز می کند. همچنین در ایران سرطان پستان شایع ترین سرطان بین زنان است. سالانه حدود هفت هزار زن در ایران به این سرطان مبتلا می شوند [۱۰]. در صورت تشخیص به موقع درمان این بیماری قطعی است [۲۰].

از راه های تشخیص این بیماری می توان به ماموگرافی، سونوگرافی، نمونه گیری از بافت پستان اشاره نمود که هر یک دارای معایبی هستند. به منظور تکمیل این روشها می توان از ترموگرافی مادون قرمز برای تشخیص ناهنجاری های پستان در تصاویر دمایی استفاده کرد. ترموگرافی علائم سرطان سینه را ۸ تا ۱۰ سال زودتر از سایر روشها آشکار می کند [۴]. ترموگرافی یک روش کم هزینه، بدون ریسک، بدون درد و سریع است [۱۱]. در سالهای گذشته گروه های تحقیقاتی مختلفی در حوزه ترموگرافی پستان کار کرده اند در ادامه به ارائه مقالات پرداخته می شود.

سانچز ریوز و همکارانش [۲۴] ابتدا تصاویر ترموگرافی را به تصاویر سطح خاکستری تبدیل کردند و روشی که برای تقسیم ROI بر اساس شدت رنگ و از روش آستانه گذاری Otsu برای تفکیک پس زمینه و استخراج ناحیه سینه ها استفاده نمودند. سپس یک کنتراست جمعی را به تصویر اعمال کردند و منطقه زیر پستان پس از تقسیم بندی خارج شد. مزیت این روش وجود نواحی سینه و نواحی غدد لنفاوی و استخراج مرز زیر ناحیه سینه است. سپس به استخراج خصوصیات میانگین، مینم، ماکزیمم، آنتروپی، کجی، کورتوز، انحراف معیار و انرژی و روابط بین همسایگی پیکسل ها از تصاویر سطح خاکستری پرداختند. در نهایت از یک یادگیرنده تحت نظارت ANN برای طبقه بندی ویژگی های استخراجی از تصاویر بهره گرفتند. محققان دقت این روش را ۹۰٪-۹۸٪ بیان کردند. از جمله معایب این روش می توان به عدم بکارگیری این روش برای تصاویری که سینه ماسکتومی (حذف عضو) شده و یا تصویر وضوح مناسبی جهت تفکیک مرز زیر ناحیه سینه ندارد، اشاره نمود.

لیسا و همکارانش [۱۷] سیستمی را پیشنهاد کردند که تصاویر ترموگرافی را در دو کلاس نرمال و غیرنرمال تقسیم بندی می کند. ابتدا تصاویر ترموگرافی را به تصاویر سطح خاکستری تبدیل کردند. سپس ۸ ویژگی آماری را تجزیه و تحلیل کردند. میانگین، واریانس، انحراف معیار، انحراف، کورتوز، آنتروپی، دامنه و میانگین برای طبقه بندی آنها از ANN استفاده نمودند. دقت این روش ۸۷٪ بیان شد. در این مطالعه

از آنجایی که تومورها در دو پستان به ندرت رشد متقارن دارند، بنابراین پزشکان معمولاً از تکنیک عدم تقارن استفاده می‌کنند [۱۳]. جنبه نوآوری این مطالعه بررسی نقش آنالیز فراکتالی در ردیابی توزیع حرارت متقارن به منظور شناسایی عدم تقارن در دو بافت سینه جهت تشخیص ناهنجاری‌های سینه است. نتایج نشان می‌دهد که آنالیز فراکتالی نقش مهمی در ردیابی توزیع حرارت متقارن در دو بافت سینه دارد [۱۵].

در این مطالعه برای قطعه‌بندی تصاویر پستان، از تصاویر شبه رنگی ترموگرافی که از نمای روبه‌رو تهیه شده است، استفاده می‌شود. قطعه‌بندی تصاویر باید به گونه‌ای باشد که تمامی نواحی مدنظر پزشک که برای تشخیص بیماری ضروری می‌باشند، به درستی تفکیک شوند. بدین منظور جهت تفکیک ناحیه پستان‌ها و نواحی ضروری تصویر به شکل شبه رنگی، از تکنیک‌های کاهش رنگ، عملگرهای آستانه‌دار، لبه‌یابی، کانتور فعال و اعمال ماسک استفاده شد و با استفاده از تصویر خروجی حاصل از مرحله اول به حذف مرز زیر سینه‌ها با استفاده از روش اعمال ماسک و همچنین تفکیک دو سینه با استفاده از روش هاف دایروی پرداخته می‌شود. استفاده از این روش برای تفکیک ناحیه پستان در ۱۴۰ ترموگرام پایگاه داده proeng منجر به تفکیک در ست و سبب رسیدن به نرخ ۱۰۰٪ شبه رنگی شده است.

سپس جهت استخراج ویژگی بعد فراکتال نواحی پرحرارت تصویر (کانون‌های بحرانی) به تفکیک رنگ‌های موجود در تصویر با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی FCM پرداخته می‌شود [۱۴] و کلاستر دارای بالاترین دما شناسایی می‌شود. سپس با استفاده از آنالیز فراکتالی به ردیابی ناهنجاری‌های موجود در ترموگرام‌ها پرداخته می‌شود. بدین منظور بعد فراکتال لبه‌های نواحی پرحرارت در ترموگرام‌ها با استفاده از سه روش متفاوت به همراه میزان موفقیت آن‌ها برای تشخیص ارائه خواهد شد. همچنین جنبه نوآوری این مطالعه، استفاده از آنالیز فراکتالی برای تحلیل توزیع حرارت نامتقارن در دو بافت سینه جهت ردیابی ناهنجاری‌های سینه است که با استفاده از تکنیک عدم تقارن انجام می‌شود.

استفاده از روش این مطالعه با بکارگیری ۷۴ ترموگرام پایگاه داده proeng که وضعیت نرمال و غیرنرمال در آن‌ها مشخص است، منجر به دستیابی با نرخ دقت ۹۳،۱٪ شده است که در بین مطالعات دارای نرخ مناسبی می‌باشد. این مطالعه از پنج بخش تشکیل شده است. در بخش ۲ به ارائه مطالب اصلی و روش پیشنهادی این مطالعه و برخی مفاهیم پرداخته می‌شود. در بخش ۳ نتایج حاصل از هر مرحله ارائه می‌شود و در بخش ۴ مقایسه مطالعه حاضر با سایر مطالعات و به ارائه بحث پرداخته می‌شود. در بخش ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

۲- مطالب اصلی

این بخش با هدف ارائه برخی از مفاهیم اولیه، طرح مساله و روش پیشنهادی این مطالعه، تنظیم شده است.

۲-۱- مفاهیم اولیه

جهت تفکیک ناحیه سینه‌ها استفاده کنند. بنابراین باتوجه به مزیت‌های روش ترموگرافی می‌توان از تصاویر ترموگرافی سینه و با بکارگیری انواع روش‌های بینایی ماشین و یادگیری ماشین که کمک فراوانی به صرفه جویی در هزینه‌های عملیاتی و بهبود سرعت عمل تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌کنند، به طراحی سیستم‌های تشخیصی جهت شناسایی ناهنجاری‌های پستان پرداخت.

در این مطالعه برای ردیابی ناهنجاری‌های موجود در بافت پستان از تصاویر شبه رنگی ترموگرافی استفاده می‌شود و پردازش‌های صورت گرفته بر روی تصاویر شبه رنگی ترموگرافی انجام می‌شود. تصاویر خاکستری بطور سنتی برای نمایش تصاویر پزشکی بکار برده می‌شود. در واقع در مقیاس خاکستری می‌توان فقط حدود ۲۴ سطح خاکستری مختلف را از یکدیگر تفکیک نمود. حال آنکه در تصاویر رنگی امکان تفکیک ۵۰۰ رنگ مختلف در یک ناحیه محدود وجود دارد. اگر چه تبدیل تصاویر خاکستری به شبه رنگی محتوای اطلاعات تصویر را افزایش نمی‌دهد، اما این واقعیت وجود دارد که تصاویر شبه رنگی که بطور دقیق طراحی شده باشند نه تنها در ردیابی موارد مشکوک همان قابلیت تصاویر خاکستری را دارند، بلکه در وظایفی مانند تشخیص و تفسیر تصاویر پزشکی توانایی بیشتری دارند [۹].

همچنین محدوده‌ی رنگی جداسازی شده از تصاویر ترموگرافی باید شامل ناحیه پستان راست و چپ، ناحیه پکتال (یک چهارم بالای سینه)، ناحیه زیربغل و تا حد ممکن غدد لنفاوی موجود در ناحیه پستان باشد. این قسمت‌ها نواحی ضروری برای تحقیق هستند. مطالعات انجام شده در زمینه تشخیص سرطان پستان نشان می‌دهند که سرطان‌های رایج پستان معمولاً در نواحی غدد تولید شیر، داکت‌ها و نیز ناحیه پکتال و زیربغل‌ها ایجاد می‌شود.

همچنین محدوده‌ی زیر سینه که عموماً به دلیل پوشش بانوان و قرار گرفتن بافت پستان بر روی بدن دارای حرارت می‌باشد و دوربین‌های مادون قرمز این ناحیه را نیز به عنوان ناحیه پرحرارت شناسایی می‌کنند و باعث تولید گرمای کاذب خواهد شد. گرچه وجود دما در این ناحیه از نظر پزشکان اهمیتی ندارد اما ممکن است که گرمای این ناحیه باعث شود تا سیستم تشخیصی به عدد غیر واقعی برسد. بنابراین این ناحیه باید از محدوده‌ی سینه حذف شود.

همچنین از آنالیز فراکتالی که بطور گسترده در زمینه‌های مختلف پزشکی استفاده می‌شود [۲۵] در تصاویر رنگی ترموگرافی جهت ردیابی ناهنجاری‌ها استفاده می‌شود. آنالیز فراکتالی نقش مهمی در تشخیص تصاویر نرمال از غیرنرمال دارد. سرطان غالباً به عنوان یک رشد آشوبناک و غیریکنواخت شناخته می‌شود [۲۴]. سلول‌های سرطانی، تومورها و شبکه‌ی عروقی آن‌ها اشکال نامنظمی دارند که نمی‌توان آن‌ها را با هندسه سنتی اقلیدسی براساس اشکال صاف مانند خط، صفحه، استوانه و کره توصیف کرد. هندسه فراکتال هنگامی مفید است که تمرکز روی بی‌نظمی رشد تومور باشد. هندسه فراکتال وسیله قدرتمندتری برای تعیین کمی پیچیدگی فضایی اشیاء واقعی است [۹].

الگوریتم ۱ روش پیشنهادی

- ورودی:** تصاویر پایگاه داده به فرمت RGB
- خروجی:** نرمال و غیرنرمال بودن ترموگرام
۱. img : برای هر تصویر موارد غیرضروری حذف شوند.
 ۲. $imgB$: کاهش ابعاد با k -means، اصلاح روشنایی با اصلاح گاما، لبه‌یابی با canny و اجرای کانتور فعال برای img (به منظور تفکیک نواحی از پس‌زمینه)
 ۳. $imgS$: اعمال ماسک انتخابی و تفکیک مرز زیر سینه، اجرای هاف دایروی (به منظور تفکیک دو سینه از هم) برای $imgB$
 ۴. $imgSeg$: تفکیک دو سینه از هم
- پایان بخش اول
۵. $Clustering$: خوشه بندی با FCM برای $imgSeg$
 ۶. $Cluster.H$: شناسایی کلاستر پر حرارت حاصل از مرحله $Clustering$
 ۷. $Fill.gaps$: پر کردن حفره های $Cluster.H$ با الگوریتم $Dilation$
 ۸. $Edge$: لبه یابی با فیلتر $sobel$ برای تصویر حاصل از مرحله $Fill.gaps$
- پایان بخش دوم
۹. FD_{all} : محاسبه بعدفراکتال $Edge$ کل ناحیه سینه با استفاده از $Box-counting$
 ۱۰. FD_R : محاسبه بعدفراکتال $Edge$ سینه راست با استفاده از $Box-counting$
 ۱۱. FD_L : محاسبه بعدفراکتال $Edge$ سینه چپ با استفاده از $Box-counting$
 ۱۲. $imgFV$: ایجاد FV حاصل از بعد فراکتال
 ۱۳. $Classification$: طبقه بندی $imgFV$ با استفاده از SVM
 ۱۴. نرمال و غیرنرمال بودن را برگردان.

رنگی است. وجود ناحیه پستان و نواحی مدنظر پزشک از آنجایی حائز اهمیت می‌باشد که تفکیک این نواحی، بر روی تشخیص صحیح بیماری تاثیر می‌گذارد. بنابراین با هدف تفکیک نواحی غیرضروری، خط ۱ در الگوریتم ۱ اجرا می‌شود. شکل ۲ مراحل اجرای روش پیشنهادی برای بخش پیش پردازش را نشان می‌دهد. ابتدا به حذف نواحی غیر ضروری تصویر شامل: دست‌های بیمار تا شروع محدوده‌ی زیربغل، حذف سر، گردن و شانه‌ها، ناحیه کمر بیمار تا زیر بافت سینه پرداخته می‌شود. (شکل ۲، مرحله ۱)

سپس با بکارگیری تکنیک کاهش تعداد رنگ، با استفاده از الگوریتم خوشه بندی k -means که یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین است [۱۴] به محدود کردن تعداد رنگ‌های موجود در تصویر به منظور جداسازی رنگی ناحیه مورد نظر از تصویر پرداخته می‌شود. (شکل ۲، مرحله ۲) سپس با هدف ایجاد پس زمینه یکنواخت برای تصویر خط ۲ در الگوریتم ۱ اجرا می‌شود. در ادامه از روش تصحیح گاما به منظور بهبود روشنایی ناحیه موردنظر در تصویر، و ایجاد آستانه‌گذاری به منظور استخراج پیکسل‌هایی با شدت رنگ خاص شکل ۲، مرحله ۳ اجرا می‌شود.

توزیع متقارن دما: رادیولوژیست‌ها به طور رایج تغییرات حرارتی در بافت چپ و راست سینه را با هم مقایسه می‌کنند. زمانی که توزیع حرارت سمت چپ و راست سینه نسبتاً متقارن باشد، بیانگر عدم بیماری و نیز کوچک‌ترین نامتقارنی در ناحیه‌ای از تصویر می‌تواند بیانگر علائم مشکوک باشد [۱۵].

کانون‌های بحرانی: دوربین‌های مادون قرمز حساس به گرما می‌باشند و هر قسمتی از بدن را با یک دمای به خصوص در ترموگرام‌ها ثبت می‌کنند. بالاترین درجه حرارت در ترموگرام‌ها تحت عنوان کانون‌های بحرانی با رنگ به خصوصی نمایان می‌شود. از آنجایی که سلول‌های سرطانی دارای دما هستند، کانون‌های بحرانی به عنوان ناهنجاری ثبت می‌شود [۴].

بعد فراکتالی: فراکتال‌ها اشکال هندسی پیچیده و غیریکنواختی هستند که اگر آن‌ها را به بخش‌های ریزتر تقسیم کنیم هر یک از بخش‌ها حداقل یک قسمت با مقیاس کوچک‌تر از کل است که دارای مشخصه اصلی خودتشابهی هستند [۲۵].

۲-۲- طرح مساله

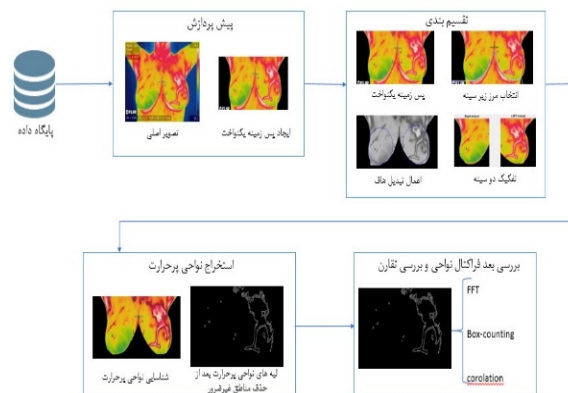
در واقع این تحقیق به دنبال پاسخ دادن به این سوال است که چگونه می‌توان با استفاده از تصاویر ترموگرافی و از طریق بکارگیری تکنیک‌های یادگیری ماشین و بینایی ماشین، سرطان پستان را تشخیص داد؟

۲-۳- روش پیشنهادی

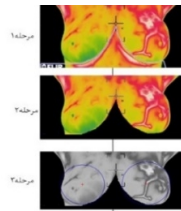
روش پیشنهادی این مطالعه برای تفکیک ناحیه پستان و بررسی ناهنجاری‌ها از تصاویر ترموگرافی پستان شامل چهار مرحله اصلی است که در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد. همچنین با هدف اجرای مراحل الگوریتم ۱ اجرا می‌شود.

۲-۳-۱- پیش پردازش

این بخش با هدف تفکیک ناحیه پستان‌ها و کلیه نواحی ضروری از تصویر شبه رنگی تنظیم شده است و خروجی تفکیک نیز به شکل شبه



شکل ۱. نمودار جریان کلی روش پیشنهادی



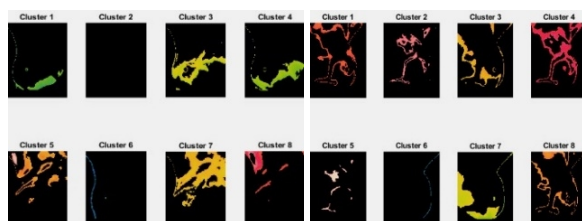
شکل ۳. مراحل اجرای روش پیشنهادی برای بخش تقسیم بندی

با استفاده از تبدیل هاف دایروی، دایره‌های موجود در تصویر تشخیص داده می‌شوند [۱۷]. (شکل ۳، مرحله ۳) و با مکانیابی دایره‌ها دو سینه از هم تفکیک می‌شود.

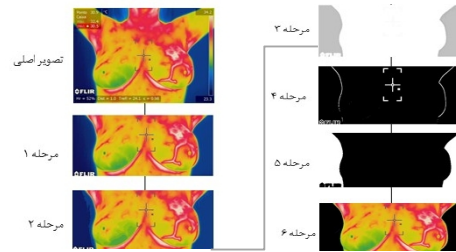
۲-۳-۳- استخراج نواحی پر حرارت

این بخش با هدف استخراج نواحی پرحرارت (کانون های بحرانی) تصویر به منظور محاسبه‌ی بعد فراکتالی این نواحی جهت ردیابی ناهنجاری‌های موجود در پستان تنظیم شده است. تصاویر ترموگرافی توسط دوربین‌های مادون قرمز که حساس به گرما می‌باشند، ثبت می‌شود. روش انجام تصویربرداری حرارتی یا همان ترموگرافی به این گونه است که هر قسمتی از بدن با دمای به خصوص و رنگ به خصوصی ثبت می‌شود. از آنجایی سلول‌های سرطانی و توده‌ها دارای دو مشخصه اصلی رگ‌سازی و گشاد شدن عروق هستند. این سلول‌ها به دلیل دریافت مواد مغزی و اکسیژن، سوخت و ساز بالایی دارند و ذاتا دارای دما می‌باشند. بنابراین این نواحی تحت عنوان نواحی پرحرارت در تصاویر ثبت می‌شوند. بالاترین درجه حرارت به عنوان کانون‌های بحرانی در تصاویر ترموگرافی شناسایی می‌شوند. بدین منظور جهت شناسایی ناهنجاری‌ها در تصاویر ترموگرافی باید به تشخیص نواحی پرحرارت در تصویر پرداخت.

بنابراین تصویر خروجی حاصل از مرحله‌ی تقسیم‌بندی را با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی FCM که یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌باشد، کلاستر بندی می‌شود. خط ۵ در الگوریتم ۱ اجرا می‌شود. شکل ۴ نمونه‌ای از خوشه‌بندی تصویر با بکارگیری الگوریتم FCM را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۴ پیداست استفاده از این الگوریتم سبب رسیدن به تفکیک رنگ مناسب در دسته‌های جداگانه و عدم وجود دسته‌های خالی در تقسیم بندی می‌باشد. این الگوریتم برای تفکیک رنگ در دسته‌های جداگانه در بین الگوریتم‌های خوشه‌بندی دیگر مانند K-means و mean-shift کارآمدتر است.



شکل ۴. خوشه بندی تصویر با بکارگیری الگوریتم FCM



شکل ۲. مراحل اجرای روش پیشنهادی برای بخش پیش پردازش

سپس عملیات لبه‌یابی نواحی دارای روشنایی با استفاده از لبه‌یاب canny انجام می‌شود [۱۴]. (شکل ۲، مرحله ۴) و محدوده‌ی سینه‌ها به عنوان ماسکی از تصویر با استفاده از آستانه‌گذاری شناسایی می‌شود سپس از روش کانتور فعال با تقسیم‌بندی محلی و سرا سری انتخابی (روشی براساس تابع سطوح هم‌تراز) [۸] جهت شناسایی ماسک از تصویر و تفریق ماسک از هر یک از کانال‌های رنگی تصویر RGB استفاده می‌شود. بدین منظور شکل ۲، مرحله ۵ اجرا می‌شود. در نهایت به ایجاد پس زمینه یکنواخت (سیاه رنگ) و استخراج ناحیه پستان‌ها همراه با کلیه نواحی مدنظر پزشک پرداخته می‌شود. (شکل ۲، مرحله ۶)

۲-۳-۲- تقسیم بندی

این بخش با هدف تقسیم مرز زیر پستان‌ها از تصویر حاصل از بخش پیش پردازش شکل ۲ و نیز تفکیک دو سینه از هم به صورت متقارن تنظیم شده است.

تصاویر ترموگرافی پستان در افراد مختلف طبیعتا تفاوت‌هایی را نسبت به هم دارا می‌باشند. وجود کلیه نواحی مدنظر پزشک، برای تشخیص بیماری ضروری است. این نواحی شامل ناحیه هر دو پستان و نواحی غدد لنفاوی می‌باشد. همچنین مرز زیر سینه‌ها باید از تصاویر ترموگرافی تفکیک شوند.

مرز زیر سینه‌ها به دلیل پوشش بانوان و قرارگیری بافت پستان در محدوده‌ی بالای شکم ذاتا دارای دما است و توسط سیستم‌ها تحت عنوان نواحی پرحرارت در تصاویر ثبت می‌شوند بنابراین لازم است تا مرز زیر سینه‌ها جهت تشخیص صحیح بیماری از تصاویر تفکیک شود. با توجه به اینکه تفکیک ناحیه پستان و نواحی غدد لنفاوی کاری چالش برانگیز است، بسیاری از نویسندگان ترجیح می‌دهند که استخراج این ناحیه را به صورت دستی یا نیمه اتوماتیک انجام دهند. بنابراین از روشی استفاده می‌شود تا کلیه تصاویر، خروجی مناسبی جهت بکارگیری داشته باشند.

شکل ۳ مراحل اجرای روش پیشنهادی برای بخش تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد. بدین منظور خط ۳ در الگوریتم ۱ اجرا می‌شود. ناحیه زیر سینه به شکل نیمه اتوماتیک انتخاب شده به عنوان ماسکی از تصویر خروجی حاصل از بخش پیش پردازش حذف می‌شود. (شکل ۳، مرحله ۲) برای تفکیک سینه راست و سینه چپ از هم، به شکل متقارن

که دارای دو مشخصه اصلی خودتشابهی (Self-similarity) و بُعد غیرصحیح (Non-integer Dimension) هستند. در واقع فرکتال‌ها اشکال هندسی پیچیده و غیریکنواختی هستند که اگر آنها را بخش‌های ریزتر تقسیم کنیم هر یک از بخش‌ها حداقل یک قسمت با مقیاس کوچک‌تر از کل است. در هندسه فراکتال، FD یک مقدار آماری است که نشان می‌دهد یک فراکتال چگونه در مقیاس‌های مختلف یا بزرگ‌نمایی فضای را کاملاً پر می‌کند. اگر تعداد قطعات خود تشابه را با $N(s)$ و ضریب کاهش را با $(1/s)$ نمایش می‌دهیم. آنگاه $N(s)$ با $1/s$ متناسب می‌باشد. در این صورت رابطه بین D ، $N(s)$ و s طبق روابط (۱ و ۲) است.

$$N(s) \propto \frac{1}{s^D} \quad (1)$$

$$D = \frac{\log(N(s))}{\log\left(\frac{1}{s}\right)} \quad (2)$$

را می‌توان با شیب تقریب خط مستقیم برای یک نمودار ورود به سیستم (a) در مقابل $\log(1/s)$ تخمین زد. چندین روش در تخمین FD ، مانند روش‌های تحلیلی و شمارش جعبه وجود دارد. با استفاده از یک قانون تحلیلی که بر اساس یک رابطه ریاضی بازگشتی است، می‌توان فراکتال تولید کرد. در این مطالعه جهت محاسبه‌ی بعد فراکتال نواحی پرحرارت در تصاویر ترموگرافی پستان از سه روش Correlation Dimension، Box-counting Dimension و FFT استفاده و روشی را که برای شناسایی ناهنجاری‌ها نتایج مناسب‌تری را ارائه داده، بیان می‌شود.

بعد همبستگی Correlation Dimension

در نظریه آشوب بعد همبستگی (که با V نشان داده می‌شود) یک معیار اندازه‌گیری ابعاد فضای اشغال شده توسط مجموعه‌ای از نقاط تصادفی است. این نقاط می‌تواند حاصل یک مکانیک هرج و مرج و آشوبگونه و یا یک مولد اعداد تصادفی و یا یک فرکتال باشد. به عنوان مثال بعد یک نقطه ۰ و یک خط ۱ و یک صفحه ۲ می‌باشد و این همان برداشت طبیعی ما از ابعاد است مزیت عمده این روش سرعت بالای آن می‌باشد. برای مجموعه N نقطه در فضای m بعدی رابطه (۳) تعریف شده است:

$$\vec{x}(i) = [x_1(i), x_2(i), \dots, x_m(i)], \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

همبستگی انتگرال به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود، که g تعداد زوج نقاطی است که فاصله آنها از مقدار ϵ کمتر است:

$$C(\epsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{g}{N^2} \quad (4)$$

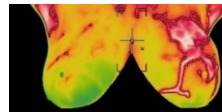
$$g = \left\{ \left\{ \vec{x}_1, \vec{x}_2 \in \vec{x}(i) \mid |\vec{x}_1 - \vec{x}_2| < \epsilon \right\} \right\}$$



شکل ۵. نواحی پرحرارت موجود در دو سینه



شکل ۶. خروجی به دست آمده و پوشش کلیه حفره‌های تصویر بعد از اعمال الگوریتم پر کردن حفره‌ها



شکل ۷ نتیجه حاصل از استخراج نواحی پرحرارت تصویر با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی FCM و نیز شناسایی لبه‌های گرم‌ترین نواحی تصویر با استفاده از فیلتر sobel

سپس خط ۶ در الگوریتم ۱ اجرا می‌شود و کلاستر دارای دما در دو پستان، به منظور شناسایی نواحی پرحرارت (کانون‌های بحرانی) تصویر شناسایی می‌شود. شکل ۵ نواحی پرحرارت موجود در دو سینه را نشان می‌دهد.

به دلیل وجود حفره‌هایی در تصویر خط ۷ در الگوریتم ۱ اجرا می‌شود. از الگوریتم تکراری مبتنی بر عملگر انبساط (Dilation)، مکمل‌گیری و اشتراک‌گیری، برای پر کردن حفره‌های تصویر، استفاده می‌شود تا در عملیات لبه‌یابی این حفره‌ها باعث پیچیدگی خطوط نباشند و سبب به دست آوردن عدد غیرواقعی در خروجی نشوند. شکل ۶ خروجی به دست آمده و پوشش کلیه حفره‌های تصویر بعد از اعمال الگوریتم پر کردن حفره‌ها را نشان می‌دهد.

سپس خط ۸ در الگوریتم ۱ به منظور لبه‌یابی با استفاده از عملگر sobel یا فیلتر sobel که در فیلد الگوریتم‌های تشخیص لبه در مقوله پردازش تصویر قرار دارد، لبه‌های نواحی پرحرارت تصویر شناسایی می‌شود. شکل ۷ نتیجه حاصل از استخراج نواحی پرحرارت تصویر با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی FCM و نیز شناسایی لبه‌های گرم‌ترین نواحی تصویر با استفاده از فیلتر sobel را نشان می‌دهد.

۲-۳-۴- محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت

رشد سرطان در اکثر موارد آشوبناک و غیریکنواخت می‌باشد. تومورها، سلول‌های سرطانی، و شبکه‌های عروقی مربوط به سرطان قاعده خاصی ندارند و مانند شکل‌ها، خط و استوانه و کره نمی‌باشند. بنابراین می‌توان جهت اندازه‌گیری پیچیدگی‌های تومورها و رشد غیریکنواخت همچنین آشوبناک آنها، از هندسه فرکتالی استفاده نمود. از آنالیز فرکتالی می‌توان در بخش‌های متفاوتی از پزشکی استفاده نمود. در واقع بحث فرکتال معمولاً در مورد اشیاء هندسی مطرح می‌شود

گرفته می‌شود. سپس نقاطی را جهت تقسیم بندی شعاع، به طور یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. مختصات نقطه ی مرکزی x و y را استخراج می‌شود. مرحله ی بعد در روش طیف توان، محاسبه تابع دو بعدی طیف توان فرکانسی است که بایستی برای ماتریس خروجی حاصل از تبدیل فوریه دوبعدی اعمال شود. برای محاسبه این تابع روش های مختلفی است که اکثر آن ها به جواب یکسانی منتهی می‌شود. در اینجا برای اطمینان از متدلوژی، از روش استاندارد و پایه محاسبه طیف توان فرکانسی استفاده گردید.

$$E(w_x, w_y) = F_r^2(w_x, w_y) + F_i^2(w_x, w_y) \quad (Y)$$

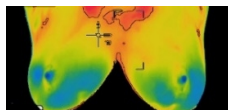
در رابطه (Y)، w_x و w_y برابر عدد موج برای محور x ها و y ها می‌باشد. F_r برابر قسمت حقیقی تبدیل فوریه و F_i برابر قسمت موهومی تبدیل فوریه می‌باشد. سپس مناطقی که برای هر جهت و شعاع بیشترین انباشتگی را دارند، استخراج می‌شوند و تعداد این نواحی شمارش می‌شود و بزرگترین انباشتگی برای همه ی جهت ها و همچنین اندازه ی این انباشتگی استخراج خواهد شد. نهایتاً مقدار شیب متوسط در تمام جهات و مقیاس ها استخراج می‌شود که این عدد بیانگر مقدار بعد فرکتالی تصویر می‌باشد. [۵]

۲-۳-۵- معیار ارزیابی بعد فرکتال نواحی پر حرارت

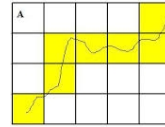
همانطور که اشاره شد، بعد فرکتال معیاری جهت سنجش و ارزیابی مرزهای تومور است. بسته به نوع بعد تصویر می‌توان گفت که تصویری که تومور را نشان می‌دهد ویژگی های بسیاری دارد. تصاویری که بعد فرکتال بالاتری داشته باشد قاعدتاً نشان دهنده ی این هستند که ویژگی های بهتری را جهت شناسایی دارا می‌باشند. هرچه مرزهای تومور پیچیدگی کمتری داشته باشند، سرعت عملیات بالاتر می‌رود و هرچه مرزها پیچیده تر باشند، از سرعت عملیات مقداری کاسته می‌شود. لبه های تومور هرچه غیریکنواخت تر باشند، نشان از وجود علائم مشکوک تر و نامتعارف تری می‌باشد.

در ادامه به سه نمونه از ترموگرامها که وضعیت نرمال و غیرنرمال بودن در آنها مشخص است، همراه کلیه مراحل و نیز محاسبه بعد فراکتالی نواحی پر حرارت مربوط به آنها پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا خط ۹ در الگوریتم ۱ اجرا می‌شود و مقدار بعد فراکتال کل تصویر محاسبه شده و در ادامه خط ۱۰ و ۱۱ الگوریتم ۱ اجرا شده و به ترتیب مقدار بعد فراکتال سینه راست و سینه چپ محاسبه می‌شوند. در ادامه مقادیر حاصل از آنالیز فراکتالی جهت ردیابی ناهنجاری ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نمونه اول:



شکل ۹ شناسایی نواحی پر حرارت تصویر (B1)



شکل ۸ روش شمارش جعبه (Box-counting)

در حالت حدی وقتی تعداد نقاط به بی نهایت میل کند همبستگی انتگرال به مقدار زیر نزدیک می‌شود طبق رابطه (۵):

$$C(\varepsilon) \sim \varepsilon^V \quad (۵)$$

اگر تعداد نقاط به اندازه کافی بزرگ باشد و نقاط به طور مساوی توزیع شوند، محاسبه ی $\log\text{-}\log$ از انتگرال همبستگی بر حسب ε ، یک تخمین از V را بدست می‌آورد. این تکنیک می‌تواند برای تمایز بین رفتار آشوبناک و رفتار تصادفی استفاده شود. [۳]

بعد مینکوفسکی Box-counting Dimension

روش شمارش مشبک یا بعد مینکوفسکی یکی از راه های تعیین بعد فرکتالی یک مجموعه نقاط در فضای اقلیدسی یا به طور کلی تر در یک فضای متریک است. برای محاسبه این بعد، مجموعه نقاط در یک شبکه توری شکل که به طور مساوی در تمام ابعاد تقسیم شده است قرار می‌گیرد و با شمارش تعداد خانه هایی که این مجموعه نقاط را پوشش می‌دهد محاسبه می‌شود مطابق شکل ۸. طبق رابطه (۶).

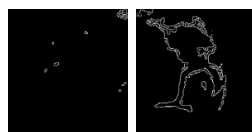
$$\dim_{box}(S) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \frac{1}{\varepsilon}} \quad (۶)$$

در این تابع $N(\varepsilon)$ تعداد مشبک هایی است که مجموعه نقاط S را پوشش می‌دهد در حالت حدی این تابع به مقداری میل می‌کند که همان بعد فرکتال نقاط می‌باشد. هر چه تعداد خانه های پوشش داده شده توسط نقاط بیشتر باشد بیان کننده این است که لبه های نواحی دارای پیچیدگی می‌باشد. [۹]

محاسبه ابعاد سطوح فراکتالی با استفاده از FFT (تبدیل فوریه)

یکی از روش های آنالیز فراکتالی، روش فراکتالی « طیف توان - مساحت » است که در این روش با انتقال داده ها از حوزه مکان به حوزه فرکانس با استفاده از تبدیلات دوبعدی فوریه، می‌توان به بعد فراکتالی تصویر مورد نظر دست یافت. بدین منظور با محاسبه طیف توان فرکانسی مربوط به تصویر بدست آمده و تحلیل رفتار فرکتالی آن می‌توان موارد نامتعارف از مقادیر زمینه را جدا کرد.

در این روش، داده ی ورودی (تصویر سطح) که در میدان فضا (مکان) می‌باشد با استفاده از تبدیلات فوریه دو بعدی به میدان فرکانس منتقل می‌شود. برای اجرای این بخش، داده های ورودی با استفاده از روش رگرسیون خطی به صورت نقشه استخراج می‌شود تا بتوان در دو بعد x و y بر روی آن تبدیل فوریه دو بعدی را بکار برد. بدین منظور جهاتی برای تقسیم یکنواخت فضای فرکانسی در نظر



شکل ۱۴ لبه های نواحی پرحرارت بعد از حذف نواحی آگزایلا و استرنال (M1) (الف) سینه چپ (ب) سینه راست

جدول ۶ بعد فراکتالی محاسبه شده برای سینه راست و سینه چپ در تصویر M1

M1	Correlation	Box-counting	FFT
سینه راست	۱.۲۰۵۷	۰.۹۲۸۷۷	۱.۵۷۷۷
سینه چپ	۱.۳۹۳۸	۱.۵۷۷۷	۱.۲۷۶۳

از آنجایی که از دیرباز تاکنون جهت تشخیص بیماری بین اعضای جفت در بدن انسان مقایسه و تکنیک عدم تقارن صورت می گرفت. از آنجایی که توزیع حرارت در تصاویر ترموگرافی در هر فردی با فرد دیگر متفاوت می باشد، بررسی توزیع حرارت متقارن در دو بافت پستان برای هر فرد تنها با خود آن فرد صورت می گیرد. بنابراین می توان با استفاده از ویژگی بعد فراکتالی نواحی پرحرارت سینه راست و سینه چپ، وجود توزیع حرارت نامتقارن بین دو بافت پستان پی به وجود ناهنجاری در بافت پستان برد. تصاویر ترموگرافی به سه حالت ترموگرام های نرمال بدون رگ سازی، ترموگرام های نرمال همراه با رگ سازی متقارن، و ترموگرام های غیرنرمال همراه با رگ سازی نامتقارن تقسیم می شوند.

محاسبه بعد فراکتال لبه های نواحی پرحرارت در ترموگرام هایی که فاقد رگ سازی هستند و توزیع دما در دو بافت پستان متقارن بوده (مانند تصویر B1) عموماً بعد فراکتال نزدیک به یک (بعد توپولوژی خط) دارند و بین بعد فراکتال دو بافت پستان نیز تقارن وجود دارد. این تقارن با استفاده از محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت برای ترموگرام B1 در جدول ۷ قابل مشاهده است.

همچنین در ترموگرام هایی که توزیع دما در آنها متقارن است اما دارای رگ سازی متقارن نیز می باشند (مانند تصویر B2). به دلیل وجود رگ سازی و وجود پیچیدگی در لبه های نواحی پرحرارت به دلیل وجود رگ ها، بعد فراکتالی بزرگی دارند که این به معنی وجود سرطان نمی باشد چون بین دو بافت پستان تقارن وجود دارد. و از آنجایی که ترموگرام هر شخص با خودش مقایسه می شود وجود رگ سازی و توزیع دما به شکل متقارن بیان کننده عدم بیماری است. این تقارن با استفاده از محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت برای ترموگرام B2 در جدول ۸ قابل مشاهده است.

ترموگرام هایی که در آنها تقارن در دو بافت سینه وجود ندارد (مانند تصویر M1) و بعد فراکتالی کلی تصویر عددی بزرگ است و

جدول ۷ از محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت برای ترموگرام B1

B1	کل تصویر	راست	چپ
Correlation	۱.۲۴۲۱	۱.۳۰۹۸	۱.۱۱۱۵
Box-counting	۱.۰۸۸	۱.۰۰۵	۰.۹۳۳۹
FFT	۱.۳۴۷۸	۱.۲۵۸۸	۱.۲۸۲

جدول ۱ بعد فراکتال محاسبه شده برای تصویر B1

تصویر	Correlation	Box-counting	FFT
B1	۱.۲۴۲۱	۱.۰۸۸۶	۱.۳۴۷۸

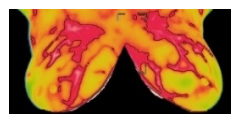


شکل ۱۰ لبه های نواحی پرحرارت بعد از حذف نواحی آگزایلا و استرنال (B1) (الف) سینه چپ (ب) سینه راست

جدول ۲ بعد فراکتالی محاسبه شده برای سینه راست و سینه چپ در تصویر B1

B1	Correlation	Box-Counting	FFT
سینه راست	۱.۳۰۹۸	۱.۰۰۱۵	۱.۲۵۸۸
سینه چپ	۱.۱۱۱۵	۰.۹۳۳۹۹	۱.۲۸۲

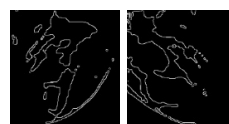
نمونه دوم:



شکل ۱۱ شناسایی نواحی پرحرارت تصویر (B2)

جدول ۳ بعد فراکتالی محاسبه شده برای تصویر B2

تصویر	Correlation	Box-counting	FFT
B2	۱.۲۳۰۳	۱.۳۴۸۳	۱.۱۷۸۹

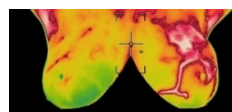


شکل ۱۲ لبه های نواحی پرحرارت بعد از حذف نواحی آگزایلا و استرنال (B2) (الف) سینه چپ (ب) سینه راست

جدول ۴ بعد فراکتالی محاسبه شده برای سینه راست و سینه چپ در تصویر B2

B2	Correlation	Box-counting	FFT
سینه راست	۱.۲۲۱۵	۱.۳۹۵۵	۱.۱۹۲۵
سینه چپ	۱.۲۴۰۵	۱.۳۲۳۹	۱.۱۴۹۳

نمونه سوم:



شکل ۱۳ شناسایی نواحی پرحرارت تصویر M1

جدول ۵ بعد فراکتالی محاسبه شده برای تصویر M1

تصویر	Correlation	Box-counting	FFT
M1	۱.۳۷۰۱	۱.۳۱۶	۱.۳۷۹

جدول ۸ محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت برای ترموگرام B2

B2	کل تصویر	راست	چپ
Correlation	۱.۲۳۰۳	۱.۲۲۱۵	۱.۲۴۰۵
Box-counting	۱.۳۴۸۳	۱.۳۹۵۵	۱.۳۹۳۲
FFT	۱.۱۷۸۹	۱.۱۹۲۵	۱.۱۴۹۳

جدول ۹ محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت برای ترموگرام M1

M1	کل تصویر	راست	چپ
Correlation	۱.۳۷۰۱	۱.۲۰۵۷	۱.۳۹۳
Box-counting	۱.۳۱۶	۰.۹۲۸۷۷	۱.۵۷۷۷
FFT	۱.۳۷۹	۱.۵۷۷۶	۱.۲۷۶۳

همچنین بعد فراکتالی سینه ها با هم تفاوت چشم گیری را دارا هستند و در آنها رگ سازی و توزیع دما نامتقارن می باشد. عدم تقارن با استفاده از محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت برای ترموگرام M1 در جدول ۹ قابل مشاهده می باشد.

نتایج حاصل از محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحرارت بافت اصلی سینه و بررسی تقارن در توزیع حرارت بین سینه ها برای ۷۴ تصویر پایگاه داده به طوری که وضعیت نرمال و غیرنرمال بودن در آنها مشخص است نشان می دهد که روش Box-counting نسبت به دو روش correlation و FFT برای تشخیص ناهنجاری ها نتایج قابل قبول تری را ارائه داده است. در این مطالعه، از نتایج حاصل از روش Box-counting برای دسته بندی در خروجی استفاده شده است. در نهایت خط ۱۲ در الگوریتم ۱ اجرا می شود و FV حاصل از آنالیز فراکتالی ایجاد می شود.

۲-۴- طبقه بندی

در این مرحله از ماشین بردار پشتیبان (SVM) که یک روش یادگیری ماشین است و عملکرد خوبی در مسائل شناسایی الگو از خود نشان داده است استفاده می شود. از ماشین بردار پشتیبان که به طور گسترده برای مسائل طبقه بندی مورد استفاده قرار می گیرد، برای طبقه بندی ترموگرامها در دو کلاس نرمال و غیرنرمال استفاده می شود.

به این منظور ابتدا داده های موجود باید متعادل سازی شوند تا حساسیت به صورت متقارن برای داده های نرمال و غیرنرمال وجود داشته باشد. مشکل مجموعه داده های نامتعادل زمانی ظاهر می شود که تعداد نمونه های یک کلاس، یعنی کلاس اکثریت (Smaj)، به طور قابل توجهی بیشتر از نمونه های یکی دیگر، یعنی کلاس اقلیت (Smin) باشد و توازن بین داده ها وجود نداشته باشد. این مشکل عملکرد طبقه بندی را کاهش می دهد. دلیل آن این است که یادگیری از کلاس اقلیت برای طبقه بندی کننده یا الگوریتم یادگیری دشوار است. از این رو، نمونه های کلاس اقلیت اغلب به اشتباه طبقه بندی می شوند. بنابراین جهت توازن داده ها، به دلیل سادگی و کارایی که روش های نمونه گیری دارند می توان از روش Sampling data استفاده نمود. دو روش نمونه گیری معروف وجود دارد: ROS و RUS که هر یک دارای معایبی هستند. به جای حذف نمونه ها

از کلاس اکثریت مانند روش ROS، یا تکرار مجموعه ای از نمونه ها از کلاس اقلیت مانند روش ROS، از روش نمونه برداری SMOTE استفاده می شود. این روش داده هایی را براساس شباهت های بین نمونه های اقلیت موجود ایجاد می کند. در روش SMOTE، نمونه های کلاس اقلیت با ایجاد نمونه های مصنوعی بیش از حد، نمونه برداری می شوند، تا توازن بین داده ها ایجاد شود [۲۱]. در ادامه داده ها نرمال سازی می شوند و جهت طبقه بندی داده ها، از ماشین بردار پشتیبان که روشی برای به دست آوردن مرز بهینه جداکننده دو کلاس است، استفاده می شود.

از جمله مزایای این روش می توان به کارا بودن در فضاهایی با ابعاد بالا و در مواردی که تعداد ابعاد بیشتر از تعداد نمونه ها باشد، اشاره نمود. ایده اصلی بسیار ساده است. مرز جداکننده در جایی قرار می گیرد که بیشترین فاصله را تا نزدیک ترین نمونه های هر کدام از کلاس ها داشته باشد. در واقع مرز به گونه ای محاسبه می شود که تمام نمونه های کلاس نرمال در یک طرف و تمام نمونه های کلاس غیرنرمال در یک طرف مرز واقع شوند و مرز تصمیم گیری باید به گونه ای باشد که فاصله نزدیک ترین نمونه های آموزشی هر دو کلاس از یکدیگر در راستای عمود بر مرز تصمیم گیری تا جایی که ممکن است حداکثر شود. همچنین تابع تخمین چگالی احتمال نمونه های آموزشی، در برخی از الگوریتم ها مهم ترین علت دشواری جهت طبقه بندی، به دلیل کم بودن تعداد نمونه های آموزشی نسبت به ابعاد فضای ویژگی است. ماشین بردار پشتیبان بدون نیاز به این تابع، مرز بهینه جداکننده را پیدا می کند. به همین دلیل برای طبقه بندی در روش پیشنهادی انتخاب شد.

اندازه ی ابعاد ویژگی برای هر کدام از تصاویر جزئیات مربوط به خروجی حاصل از آنالیز فراکتالی تصویر که شامل بعد فراکتال محاسبه شده برای نواحی پرحرارت کل تصویر، سینه راست و سینه چپ است که این مقادیر برای تمامی تصاویر در دیتاستی ذخیره می شوند. در نهایت بعد از فراخوانی دیتاست که ویژگی بعد فراکتال تصاویر در آن وجود دارد، جهت طبقه بندی تصاویر در دو کلاس نرمال و غیرنرمال از طبقه بند SVM با هسته RBF استفاده می شود. رابطه ۸ ماشین بردار پشتیبان با هسته RBF را نشان می دهد.

$$\text{RBF Kernel: } K(x_1, x_2, \sigma) = e^{-\frac{\|x_1 - x_2\|^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

همچنین پارامتر C که محدود کننده ی آلفای درون SVM است برابر با ۱ و مقدار Kernel Scale برابر با auto تنظیم شده است. Cach Size نیز دارای مقدار پیش فرض ۱۰۰۰ می باشد و با استفاده از عملیات شافلینگ (به صورت تصادفی) ۷۰ درصد داده ها برای آموزش و ۳۰ درصد داده ها برای تست در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج

۳-۱- شرح پایگاه داده

تصاویر مورد استفاده در این مطالعه، از پایگاه داده معروف به proeng که این پایگاه داده visual lab (آزمایشگاه بصری برزیل) نام دارد و واقع

۳-۳- نتایج حاصل از ویژگی بعد فراکتال

از آنجایی که از دیرباز تاکنون جهت تشخیص بیماری بین اعضای جفت در بدن انسان (چشم، دست، پا، سینه‌ها و ...) مقایسه صورت می‌گرفت، در صورت وجود توزیع حرارت نامتقارن در دو بافت پستان می‌توان پی به وجود ناهنجاری در بافت پستان برد.

نتایج حاصل از آنالیز فراکتالی برای تصاویر ترموگرافی نشان می‌دهد، ترموگرام‌هایی که در آنها رگ‌سازی وجود ندارد و توزیع دما در دو بافت پستان متقارن بوده (مانند تصویر B1) عموماً بعد فراکتال نزدیک به یک (بعد توپولوژی خط) دارند و بین بعد فراکتال دو بافت پستان نیز تقارن وجود دارد، نرمال می‌باشند.

همچنین در ترموگرام‌هایی که توزیع دما در آنها متقارن است اما دارای رگ‌سازی متقارن نیز می‌باشند (مانند تصویر B2) و به دلیل وجود رگ‌سازی و پیچیدگی در لبه‌های نواحی پرحرارت به دلیل وجود رگ‌ها، بعد فراکتالی بزرگی دارند که این به معنی وجود سرطان نمی‌باشد. چون بین دو بافت پستان تقارن وجود دارد و این نوع از تصاویر نیز نرمال هستند.

نمونه ترموگرام‌هایی که نواحی پرحرارت در آنها لبه‌های پیچیده‌ایی دارند و تقارن در دو بافت سینه نیز وجود ندارد (مانند تصویر M1) و بعد فراکتالی کلی تصویر عددی بزرگ و همچنین بعد فراکتالی سینه راست و سینه چپ با هم تفاوت چشم‌گیری را دارا هستند این نوع از تصاویر غیرنرمال می‌باشند.

از این ویژگی مهم جهت تشخیص ناهنجاری‌های موجود در ناحیه پستان و بافت شناسی ناحیه پستان می‌توان در کنار سایر روش‌های استخراج ویژگی، استفاده نمود. آنالیز فراکتالی به طور بالقوه می‌تواند قابلیت اطمینان ترموگرافی در تشخیص تومورها را بهبود بخشد. همچنین آنالیز فراکتالی نقش مهمی در ردیابی توزیع حرارت متقارن، در دو بافت پستان جهت ردیابی ناهنجاری‌ها دارد.

۳-۴- نتایج طبقه بندی

پس از نرمالیزه کردن ویژگی آنالیز فراکتالی تصاویر، آن‌ها به طبقه‌بندی کننده وارد می‌شوند. در این مطالعه از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) با هسته RBF برای تشخیص سرطان پستان استفاده شد. طبقه‌بند کننده SVM عملکرد عالی در تعداد زیادی از مسائل شناسایی الگو از خود نشان داده است. در ادامه نتایج بدست آمده از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان (SVM) که برای آموزش و تست در نظر گرفته شده است بیان می‌شود. پارامترهای این طبقه‌بند از طریق اعتبارسنجی متقابل k تایی (کراس ولیدیشن) که یک روش ارزیابی مدل است که در آن مجموعه‌ی داده‌ها به k زیر مجموعه با تعداد داده‌های یکسان تقسیم می‌شوند که در هر زمان یکی از k زیر مجموعه برای تست و $k-1$ زیر مجموعه برای آموزش استفاده می‌شود [۲]، به صورت زیر آمده است.

$$-t0 -v 5 -c 128 \quad (9)$$

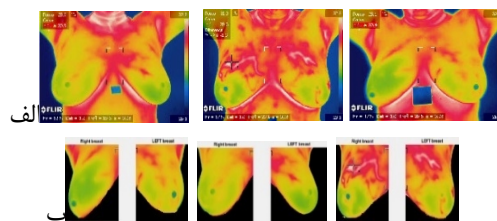
در این فرایند ابتدا طی تکرارهای متوالی مقادیر مختلف پارامترهای

در برزیل می‌باشد، جمع آوری شده است. از ۱۴۰ ترموگرام این پایگاه داده از نمای رو به‌رو استفاده شده است که ۱۰۷ مورد مربوط به ترموگرام‌های نرمال و ۳۳ مورد مربوط موارد غیرنرمال است. گزارش شده است که ترموگرام پستان با استفاده از دوربین مادون قرمز FLIR SC620 با حساسیت دما ۰/۰۴ درجه سانتیگراد و وضوح پیکسل ۶۴۰ × ۴۸۰ پیکسل گرفته شده است. ماتریس‌های دما دارای ابعاد ۶۸۰ × ۴۸۰ در ۴۸۰ ردیف از مقادیر واقعی هستند، جایی که هر مقدار نشان دهنده دمای اندازه‌گیری شده برای هر پیکسل در ترموگرام پستان است، به این معنی که پیکسل در موقعیت [۱۰،۱۰] دمای مشخص شده در دمای مربوطه را دارد.

۳-۲- نتایج تقسیم بندی

با توجه به اینکه تفکیک ناحیه پستان و نواحی غدد لنفاوی کاری چالش برانگیز می‌باشد و ثابت شده است که سیستم‌های کاملاً اتوماتیک در تمامی تصاویر قابلیت تفکیک را ندارند. از آنجایی که وجود کلیه نواحی مدنظر پزشک که شامل ناحیه هر دو پستان و نواحی غدد لنفاوی ضروری می‌باشد و نتایج این تفکیک بر تشخیص بیماری تاثیر می‌گذارد، بسیاری از نویسندگان ترجیح می‌دهند که استخراج این نواحی را به صورت دستی یا نیمه اتوماتیک انجام دهند.

بنابراین در این مطالعه از روشی استفاده شد تا کلیه تصاویر، خروجی مناسبی جهت بکارگیری داشته باشند. الگوریتم پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ و بر روی سیستمی با مشخصات Intel Core 5i با قدرت پردازش 2.6GH و با حافظه‌ی اصلی 8GB پیاده‌سازی و اجرا شد. از جمله مزیت‌های این روش پیشنهادی می‌توان به استخراج رنگی ناحیه مورد نظر، سرعت پردازش بالا، تفکیک متقارن دو سینه و وجود کلیه نواحی ضروری تحقیق، حذف مرز زیر ناحیه سینه که عموماً در مطالعات پیشین به آن پرداخته نشده است، اشاره نمود. استفاده از روش این مطالعه برای تقسیم بندی و تفکیک ناحیه پستان‌ها به شکل شبه رنگی، منجر به رسیدن به دقت ۱۰۰٪ در ۱۴۰ تصویر، به همراه کلیه نواحی ضروری که نتیجه تشخیص بیماری را تحت تاثیر قرار می‌دهند، شد. شکل ۱۵ نمونه‌هایی از تقسیم بندی و تفکیک ناحیه سینه و نواحی ضروری به شکل شبه رنگی با استفاده از بکارگیری روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



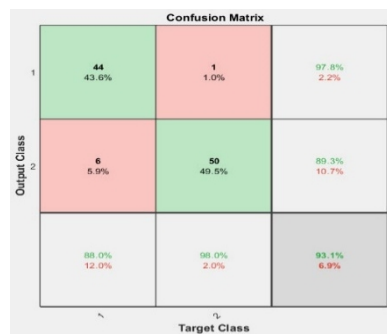
شکل ۱۵ نمونه‌هایی از تقسیم‌بندی و تفکیک ناحیه سینه با استفاده از بکارگیری روش پیشنهادی (الف) تصویر اصلی (ب) خروجی تفکیک پس از اعمال روش پیشنهادی

عدم تقارن می‌توان پی به وجود ناهنجاری‌های موجود در تصاویر ترموگرافی پستان برد. برخی از مطالعات به دلیل استخراج ویژگی‌های متعدد از تصاویر، که عموماً ویژگی‌های مشابه‌ایی را در برمی‌گیرند، نسبت به این مطالعه دارای نرخ دقت بهتری می‌باشند. همانطور که بیان شد هدف از این مطالعه بررسی نقش آنالیز فراکتالی در ردیابی توزیع حرارت در بافت پستان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که از این ویژگی مهم می‌توان در کنار سایر ویژگی‌های استخراج شده که در مطالعات پیشین به آنها پرداخته شده است، برای تشخیص بهتر سرطان پستان استفاده نمود و گامی جهت تکمیل خلاهای موجود در این حوزه برداشت.

علاوه بر این، می‌توان مشاهده کرد که بیشتر آثار مرتبط، آزمایشات انجام شده بر روی تعداد تصاویر کمتری نسبت به این مطالعه دارند. دقت متوسط روش پیشنهادی با دقت سایر نویسندگان در زمینه تفکیک نواحی ضروری مدنظر پزشک از تصاویر ترموگرافی و نیز تشخیص بیماری قابل رقابت است.

همانطور که ذکر شده است، همه نویسندگان از روش تقسیم اتوماتیک استفاده نکرده‌اند. با توجه به اینکه تفکیک ناحیه پستان و نواحی غدد لنفاوی کاری چالش برانگیز است، بسیاری از نویسندگان ترجیح می‌دهند که استخراج این ناحیه را به صورت دستی یا نیمه اتوماتیک انجام دهند. در مطالعاتی که از روش‌های کاملاً اتوماتیک جهت تفکیک نواحی ضروری استفاده شده است، عموماً تعداد تصاویر کمتری را شامل می‌شوند به دلیل اینکه در برخی از تصاویر، سینه حذف عضو شده است و امکان تشخیص مرز زیر سینه به درستی وجود ندارد و یا به دلیل کوچک بودن ساین سینه‌ها نمی‌توان از روش‌های کاملاً اتوماتیک استفاده نمود.

همچنین در برخی مطالعات که تفکیک اتوماتیک را انجام داده‌اند مرز زیر سینه، از تصاویر تفکیک نشده است. لذا استفاده از روش‌های بانظارت و نیمه اتوماتیک سبب می‌شود که تصاویر به درستی تفکیک شوند و تشخیص بیماری نیز به درستی انجام شود.



شکل ۱۶ ماتریس درهم‌ریختگی طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان انتخاب می‌شوند و توسط سیستم ارزیابی خواهند شد. در نهایت پارامترهای مرتبط با بهترین دقت به دست آمده به عنوان مدل بهینه برای محاسبه دقت سیستم در مرحله تست انتخاب می‌شوند. ماتریس درهم‌ریختگی حاصل از این طبقه‌بند در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

۴- بحث

در جدول ۱۰ مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی و کارهای مرتبط وجود دارد. در مطالعات پیشین از روش‌های مختلفی جهت استخراج ویژگی‌های تصاویر ترموگرافی پستان، جهت تشخیص ناهنجاری‌ها استفاده شده است. مطالعات پیشین نشان می‌دهند که آنالیز فراکتالی به طور بالقوه می‌تواند قابلیت اطمینان ترموگرافی در تشخیص تومور را بهبود بخشد و نقش مهمی در تشخیص تصاویر نرمال از غیرنرمال دارند. هدف این مطالعه، بررسی نقش آنالیز فراکتالی در ردیابی توزیع حرارت متقارن در ترموگرام‌های پستان است و تنها از ویژگی فراکتالی جهت تشخیص ناهنجاری‌های پستان و بررسی نرمال و غیرنرمال بودن تصاویر استفاده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که آنالیز فراکتالی نقش مهمی در ردیابی توزیع حرارت در تصاویر ترموگرافی دارا است و با استفاده از بکارگیری تکنیک

جدول ۱۰ مقایسه نتایج روش پیشنهادی مطالعه با مطالعات پیشین

مطالعه	تعداد تصاویر برای تفکیک-تشخیص	درجه اتوماسیون	نواحی ضروری-زیرسینه	پایگاه داده	دقت	Recall	F1
سانچز و همکارانش [۲۲]	۱۷۵-۶۰	اتوماتیک	۱-۱	Proeng	٪۹۸-۹۰	٪۹۶	٪۱۰۰
ساید و همکارانش [۱۷]	۶۳-۶۳	اتوماتیک	۱-۰	Proeng	٪۹۶.۸۳	٪۹۴	٪۱۰۰
لیسا و همکارانش [۱۶]	۹۸-۹۸	نیمه اتوماتیک	۱-۱	Proeng	٪۸۵	٪۸۷	٪۸۵
استاتیش و همکارانش [۲۰]	۱۰۰-۱۰۰	اتوماتیک	۱-۰	Proeng	٪۹۱	٪۸۷	٪۹۴.۳
خسروی و همکارانش [۱۳]	۱۲۰-۳۰	اتوماتیک	۱-۰	Proeng	٪۱۰۰	٪۹۳	٪۹۵
گوکی و همکارانش [۱۸]	۸۰-۸۰	نیمه اتوماتیک	۱-۱	Proeng	٪۸۷.۵	٪۹۵	٪۸۰
کالدر و همکارانش [۱۴]	۶۷-۶۷	نیمه اتوماتیک	۱-۰	Proeng	٪۸۶	٪۸۵	٪۸۳
مطالعه حاضر	۱۴۰-۷۴	نیمه اتوماتیک	۱-۱	Proeng	٪۹۳.۱	٪۹۲	٪۹۰

- [5] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [6] G. Schaefer, S. Y. Zhu, and B. Jones, "An image retrieval approach for thermal medical images," *Proceedings of 8th Medical Image Understanding and Analysis*, pp. 181-183, 2004.
- [7] Woods, R. C. G. a. R. E., *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2007.
- [8] Kaihua Zhang a, L. Z. a., Huihui Song b, Wengang Zhou. Active contours with selective local or global segmentation: A new formulation and level set method. *Image and Vision Computing*, 2008.
- [9] Mahnaz EtehadTavakol, C. L., Saeed Sadri, E.Y. K. Ng. Analysis of Breast Thermography Using Fractal Dimension to Establish Possible Difference between Malignant and Benign Patterns. *Healthcare Engineering*, 27-43, 2010.
- [10] Hossein Ghayoumizadeh. Distinguish breast cancer based on thermal features in infrared images. *researchgate*. 2011.
- [11] N. Selvarasu, A. N., and N. Nandhitha. Effective Representation of Non-Uniformity and Asymmetry in Breast Thermographs using Statistical Parameters on Histograms of Wavelet Coefficients for Cancer Detection. *European Journal of Scientific Research*, 80, 10-19, 2012.
- [12] B. B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, J. Philip, "Medical applications of infrared thermography: A review," *Infrared Physics & Technology*, vol. 55, no. 4, pp. 221-235, 2012.
- [13] T. B. Borchardt, A. Conci, R. C. F. Lima, R. Resmini, and A. Sanchez, "Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey," *Signal Processing*, vol. 93, no. 10, pp. 2785-2803, 2013.
- [14] T. Banerjee, "Day or night Activity Recognition From Video Using Fuzzy Clustering Technique," *IEEE Transaction on Fuzzy systems*, vol. 22, no. 3, pp. 483-493, 2014.
- [15] M. Fatemeh Khosravi-Farsani, D. H. E.-K. Fully automatic breast segmentation of thermal images in order to aid diagnosis automatic breast cancer detection., 2014.
- [16] Calder' on-Contreras J. D., Chac'on-Murgu'ia, M.I., Villalobos-Montiel, A.J., Ortega-M'aynez.. A fuzzy computer aided diagnosis system using breast thermography. *IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, 2015.
- [17] Gogoi, U.R., Majumdar, G., Bhowmik, M.K., Ghosh, A.K., Bhattacharjee, D. Breast abnormality detection through statistical feature analysis using infrared thermograms, in: *International Symposium on Advanced Computing and Communication (ISACC)*, IEEE. pp. 258-265, 2015.
- [18] Lessa, V., Marengoni, M., Applying artificial neural network for the classification of breast cancer using infrared thermographic images, in: *International Conference on Computer Vision and Graphics*, Springer. pp. 429-438., 2016.
- [19] Sayed, G. I., Soliman, M., & Hassanien, A. E. Bio-inspired Swarm Techniques for Thermogram Breast Cancer Detection. *springer International Publishing*, 2016.
- [20] Gogoi, U.R., Bhowmik, M.K., Ghosh, A.K., Bhattacharjee, D., Majumdar, G., 2017. Discriminative feature selection for breast abnormality detection and accurate classification of thermograms, in: *2017 International Conference on Innovations in Electronics, Signal Processing and Communication*.
- [21] Gehad Ismail Sayed, Alaa Tharwat, Aboul Ella Hassanien, 2018. Chaotic dragonfly algorithm: an improved metaheuristic algorithm for feature selection. *Springer Science+Business Media*.
- [22] Sathish, D., Kamath, S., Prasad, K., Kadavigere, R., 2019. Role of normalization of breast thermogram images and automatic classification of breast cancer. *The Visual Computer* 35, 57-70.
- [23] Singh, D., & Singh, A. K.. Role of image thermography in early breast cancer detection- Past, present and future. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 183, 105074, 2020.
- [24] Sánchez-Ruiz , D., Olmos-Pineda, Ivan, Olvera-López, J. Arturo. Automatic region of interest segmentation for breast thermogram image classification. *Pattern Recognition Letters*, 135, 72-81, 2020.
- [25] Roberto, G. F., Lumini, A., Neves, L. A., & do Nascimento, M. Z. (2021). Fractal Neural Network: A new ensemble of fractal geometry and convolutional neural networks for the classification of histology images. *Expert Systems with Applications*, 166, 114103.

بنابراین در این مطالعه تفکیک نواحی ضروری به شکل نیمه اتوماتیک انجام شده است. (ابتدا تمامی نواحی مدنظر پزشک با استفاده از روش پیشنهادی از پس زمینه تفکیک و مرز زیر سینه بانظارت و به شکل نیمه اتوماتیک تفکیک شده است).

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مطالعه روشی برای تقسیم بندی و طبقه بندی ناحیه پستان ها و نواحی مدنظر پزشک به شکل شبه رنگی در تصاویر ترموگرافی پستان پیشنهاد شد. روش پیشنهادی این مطالعه قادر است که تمامی نواحی ضروری را به طور خودکار از تصاویر مورد نظر تفکیک کرده و ویژگی هایی را از ترموگرام پستان استخراج کند. نتایج روش پیشنهادی با کارهای مربوطه قابل رقابت است. در این مطالعه نرخ دقت برابر با ۹۳،۱٪ است که از ویژگی بعد فراکتالی نواحی پرحررات استفاده می کند. و در نهایت آزمایشات روی تعداد تصاویر بیشتری را در مقایسه با برخی از کارهای مرتبط که تفکیک تصاویر و تشخیص بیماری را انجام داده اند، بکار برده است. به دست آوردن نتایج مناسب تر در زمینه تشخیص سرطان پستان سبب توسعه روش های تشخیصی جهت ردیابی ناهنجاری های پستان بر اساس تشخیص الگو می شود که در نتیجه آن می توان با استفاده از فناوری های کم هزینه تشخیص بهتری را به بیماران بدهد. به عنوان کارهای آینده، می توان به امکان بدست آوردن نتایج بهتر با بکارگیری روش های یادگیری عمیق اشاره نمود. همچنین بکارگیری الگوریتم های مندرج در این مطالعه جهت تشخیص سرطان پستان با استفاده از تصاویر سه بعدی، جهت شناسایی ناحیه کاندید برای تومور و در نتیجه تشخیص بیماری پرداخت. تحقیق در زمینه محاسبه بعد فراکتال نواحی پرحررات، با استفاده از سایر روش ها و مقایسه با مطالعات انجام شده و نیز استفاده از آنالیز فراکتالی در ردیابی خوش خیمی و بدخیمی تومورها اشاره نمود. همچنین می توان از روش پیشنهادی این تحقیق جهت تشخیص سرطان پستان در برخی حیوانات (پستانداران مشابه انسان) و نیز از تکنیک عدم تقارن بکار برده شده در این تحقیق، جهت ردیابی ناهنجاری ها بین اعضای جفت در بدن انسان استفاده نمود.

مراجع

- [۱] امیر ارجمند، سعید مشگینی، رضا افروزیان «آشکار سازی توده سرطانی پستان به کمک شبکه عصبی کانولوشنی در تصاویر ام.آر.آی» پردازش سیگنال پیشرفته، جلد ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۸.
- [۲] آذر محمدزاده، حامد آگاهی «بازشناسی ارقام دستنویس فارسی مبتنی بر ترکیب ماشین های بردار پشتیبان به روش فازی نوع دو بازه- ای» پردازش سیگنال پیشرفته، جلد ۴، شماره ۲، پائیز و زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۲۶۲-۲۵۱.
- [3] P. Grassberger and I. Procaccia, "Measuring the Strangeness of Strange Attractors," *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 9, no. 1, pp. 189-208, 1983.
- [4] S. B. Fox, K. C. Gatter, R. D. Leek, A. L. Harris, J. Bliss, J. L. Mansi, and B. Gusterson, "Association of tumor angiogenesis with bone marrow micrometastases in breast cancer patients," *Journal of the National Center Institute*, 1997.