

تشخیص سرطان سینه از روی ریزدانه‌های کلسیم در تصویر ماموگرافی به کمک خوشه‌بندی فازی و شبکه‌های عصبی

شیما ضرابی باب‌الدشت^۱، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، ندا بهزادفر^۲، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی - نجف‌آباد - ایران - shimazarrabi@gmail.com

۲- دانشکده مهندسی برق- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی - نجف‌آباد - ایران - n.behzadfar@pel.iaun.ac.ir

چکیده: تشخیص ریزدانه‌های کلسیم در تصاویر ماموگرافی سینه در تشخیص زودهنگام سرطان از اهمیت زیادی برخوردار است. شناسایی این ریزدانه‌ها به‌طور دستی و توسط افراد متخصص انجام می‌گیرد که با هزینه بالا و خطا همراه است. در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر الگوریتم خوشه‌بندی فازی برای شناسایی ریزدانه در تصاویر ماموگرافی پیشنهاد شده است که در آن کیفیت پایین تصاویر ماموگرافی به کمک پیش‌پردازش بهبود داده می‌شود. با تعریف یک تابع عضویت مناسب در خوشه‌بندی فازی، نواحی ریزدانه شناسایی شده‌اند. دقت و حساسیت ناحیه مطلوب دارای ریزدانه شناسایی شده با ناحیه‌ای که توسط پزشک استخراج شده مقایسه شده است. دقت شناسایی ناحیه مطلوب ۹۶/۷۹ درصد و حساسیت این شناسایی ۹۷/۲۰ درصد به‌دست آمده است که نسبت به روش قبلی دقت و حساسیت شناسایی ریزدانه بهبود پیدا کرده است (دقت شناسایی ناحیه مطلوب ۹۵ درصد و حساسیت ۹۰/۵۲ درصد). در ادامه به کمک شبکه عصبی انتشار به جلو با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا، به طبقه‌بندی نواحی استخراج شده به دو دسته خوش‌خیم و بدخیم پرداخته شده است. معیارهای دقت شناسایی، حساسیت، نرخ اخباری مثبت و منفی برای ارزیابی دقت تشخیص خوش‌خیم و بدخیم بودن ریزدانه به کار گرفته شد. دقت شناسایی ۹۷/۵۰ درصد، حساسیت ۹۸/۱۳ درصد، نرخ اخباری مثبت ۹۸/۳۰ درصد و منفی ۹۶/۳۲ درصد، بیان‌کننده نتایج مطلوب از روش پیشنهادی در این مقاله است. دلیل برتری روش پیشنهادی دقت بالا در استخراج ناحیه مورد نظر و همچنین ویژگی‌های متمایز استخراج شده از ناحیه مورد نظر است.

واژه‌های کلیدی: ریزدانه کلسیم، سرطان سینه، تصاویر ماموگرام، خوشه‌بندی فازی، طبقه‌بندی، استخراج ویژگی

Detection of Breast Cancer from Calcium Particles in Mammography Using Fuzzy Clustering and Neural Networks

Shima Zarrabi Baboldasht, MSc¹, Neda Behzadfar, Assistant Professor²

1- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, shimazarrabi@gmail.com

2- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, n.behzadfar@pel.iaun.ac.ir

Abstract: Detection of calcium particles in breast mammography images is important in the early detection of cancer. Identification of these particles is done manually by experts, which is associated with high cost and error. In this paper, a new method based on fuzzy clustering algorithm for fine-grained detection in mammographic images is proposed. In the proposed method, the low quality of mammographic images is improved with the help of preprocessing. By defining an appropriate membership function in fuzzy clustering, fine-grained regions are identified. Finally, the identified areas were classified into benign and malignant groups with the help of forward propagation neural network with error propagation training algorithm. The accuracy of identification of the desired area is 96.79% and the sensitivity of this identification is 97.20%. Compared to the previous method, the accuracy and sensitivity of fine-grained identification has been improved (95% of the desired area identification accuracy and 90.52% sensitivity). In the classification of areas with the help of neural network, the accuracy was 97.5%. Evaluation criteria showed the superiority of the proposed method in the extraction of calcium particles and classification. The reason for the superiority of the proposed method is the high accuracy in extracting the desired area as well as the distinctive features extracted from the desired area.

Keywords: Microcalcium, breast cancer, mammogram images, fuzzy clustering, classification, feature extraction.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

نام نویسنده مسئول: دکتر ندا بهزادفر

نشانی نویسنده مسئول: ایران - نجف‌آباد - بلوار دانشگاه - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد - دانشکده مهندسی برق - مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین.

۱- مقدمه

سرطان سینه بالاترین نوع سرطان در بین زنان است. که به تنهایی جان ۶۲۷۰۰۰ را گرفت. این میزان بالای مرگ و میر ناشی از سرطان سینه برای تشخیص زودهنگام نیاز به توجه دارد تا بتوان به موقع پیشگیری کرد [۱] بیش از ۲ میلیون مورد جدید در سال ۲۰۱۸ وجود داشت. ۲۵ کشور برتر با بالاترین میزان سرطان سینه در سال ۲۰۱۸ (بیشترین میزان در بلژیک ۱۱۳،۲، و کمترین میزان در ساموآ ۸۰،۱) داشته است [۲]. سرطان سینه یکی از شایع‌ترین سرطان‌ها است که بیشتر در زنان دیده می‌شود [۱،۲]. از هر بیست زن حدود یک نفر در طول زندگی خود به سرطان سینه مبتلا می‌شود، اگرچه این تعداد در کشورها به طور قابل توجهی متفاوت است [۵].

کلسیفیکاسیون سینه^۴ یا ریزدانه کلسیم^۵، رسوب کلسیم در دیده بافت سینه است که بصورت نقاط سفید در تصاویر ماموگرافی دیده می‌شود [۳،۴]. ریزدانه‌های کلسیم قبل از اینکه تومور در سینه تولید شود به وجود می‌آیند و از نشانه‌های هشدار دهنده اولیه سرطان سینه هستند [۵،۶]. ریزدانه‌ها معمولاً با افزایش سن در زنان بیشتر می‌شوند. این ریزدانه‌ها اکثراً خطری برای سلامتی فرد ایجاد نمی‌کنند. البته برخی از ریزدانه‌ها بدخیم هستند و می‌توانند الگوهای خطرناکی برای سلامتی فرد ایجاد کنند. ریزدانه‌های بدخیم با گذشت زمان مشکلات جدی برای فرد به همراه خواهند داشت. تومورهای سینه بصورت بدخیم معمولاً حاصل ریزدانه‌های بدخیم هستند. به عبارت دیگر ریزدانه‌های بدخیم با بزرگ شدن تبدیل به تومورهای سینه می‌شوند [۷]. شناسایی زودهنگام ریزدانه‌های کلسیم درون سینه در تشخیص زودرس سرطان سینه کمک بسزایی می‌کند. تشخیص ریزدانه‌های کلسیم در تصاویر ماموگرافی نیاز به دقت بالای رادیولوژیست دارد [۸]. در برخی مواقع ریزدانه‌های کلسیم موجود در تصاویر ماموگرافی با ذرات نویزی موجود در تصویر به اشتباه گرفته می‌شوند، همچنین تشخیص خوش‌خیم و بدخیم بودن این ریزدانه‌ها برای یک رادیولوژیست، چالش برانگیز است [۹].

براین اساس ارائه روشی جهت تجزیه و تحلیل خودکار تصاویر ماموگرافی جهت شناسایی ریزدانه‌های کلسیم و تشخیص خوش‌خیم بودن یا بدخیم بودن آنها، کمک به سزایی در درمان سرطان سینه می‌کند [۱۰]. تاکنون تحقیقات زیادی در راستای شناسایی سرطان سینه و تفکیک ریزدانه‌های کلسیم به خوش‌خیم و بدخیم در تصاویر ماموگرافی دیجیتال انجام شده است. تنوع موجود در شکل و مکان ریزدانه‌های کلسیم تشخیص و طبقه‌بندی آن‌ها را با مشکل مواجه کرده است.

شناسایی سرطان سینه در چهار بخش (پیش‌پردازش، بخش‌بندی، استخراج ویژگی و طبقه‌بندی) انجام می‌گیرد [۱۱]. به دلیل تغییرات اندک سطح خاکستری در بخش‌های مختلف

تصویر ماموگرافی، بخش‌بندی نواحی مختلف سینه شامل تومور و البته ریزدانه‌ها دشوار است. در بخش پیش‌پردازش، حذف نویز و اطلاعات اضافی و بهبود کیفیت تصویر صورت می‌گیرد [۱۲]. با انجام پیش‌پردازش مناسب، انجام بخش‌بندی و استخراج ناحیه مطلوب^۶ (ROI) با کیفیت بالاتری صورت می‌گیرد. در تصاویر ماموگرافی ۱۰ تا ۱۵ درصد تصویر را اجزایی با فرکانس بالا و سطوح مختلف نویز تشکیل می‌دهند. تاکنون روش‌های مختلفی جهت افزایش کیفیت تصویر ورودی استفاده شده است که می‌توان به روش ریخت‌شناسی [۱۳] تبدیل موجک گسسته^۷ [۱۴]، فیلتر میان‌دوبعدی^۸ [۱۵]، یکنواخت‌سازی هیستوگرام^۹ [۱۶] و فیلتر گابور^{۱۰} [۱۷] اشاره کرد.

در مرحله بخش‌بندی، تصویر به چندین ناحیه بدون همپوشانی تقسیم‌بندی می‌شود. این مرحله از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا در آن نواحی مشکوک که ممکن است حاوی توده باشند، از بافت اصلی جدا می‌شوند. نواحی مشکوک معمولاً دارای شدت روشنایی بیشتر از نواحی اطراف هستند. اگرچه مرز نواحی مشکوک کاملاً تصادفی هستند اما شکل منظم و تراکم یکنواخت آنها نسبت به سایر بافت‌ها قابل شناسایی است. فاز بخش‌بندی، دشوار و تغییرات سطح خاکستری در بخش‌های مختلف تصویر، کم است. این باعث می‌شود تا بخش‌بندی نواحی شامل تومورها و همچنین ریزدانه‌های کلسیم فقط از طریق سطح خاکستری دشوار باشد [۱۸]. در مرحله بخش‌بندی تصاویر از الگوریتم‌هایی همچون آستانه-گیری آتسو^{۱۱} و تشخیص لبه استفاده شده است. میزان تقارن موجود در تصاویر سفی، گریز از مرکز، میزان تحدب، جهت تصاویر، محیط و طول، محورهای تصویر نیز از ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر هستند [۱۹]. در مرحله انتخاب ویژگی نیز از الگوریتم‌های متعددی همچون الگوریتم ژنتیک [۲۰] و روش تحلیل اجزای اصلی [۲۱] استفاده شده است.

روش‌های طبقه‌بندی را می‌توان به روش‌های مبتنی بر الگو^{۱۱}، روش‌های مبتنی بر ظاهر^{۱۲} و روش‌های یادگیری^{۱۳} تقسیم‌بندی کرد [۲۲،۲۳]. جهت طبقه‌بندی از الگوریتم‌های مانند ماشین بردار پشتیبان^{۱۴} (SVM) [۲۴]، شبکه عصبی [۲۵]، میانگین^{۱۵} [۲۶،۲۷] استفاده شده است. جهت تشخیص نوع ریزدانه‌های کلسیم هم از روش‌هایی مانند شبکه عصبی کانولوشن^{۱۶} [۲۸،۲۹]، شبکه عصبی بیزی^{۱۷} [۳۰]، ماشین بردار پشتیبان [۳۱]، الگوریتم ازدحام توده ذرات^{۱۸} [۳۲]، درخت تصمیم J48 و درخت تصمیم جنگل های تصادفی [۳۳] استفاده شده است.

در مرجع [۳۴] از ترکیب روش‌های مؤثر قطعه‌بندی تصاویر پزشکی در شناسایی قطعات ریزدانه کلسیم در سینه استفاده شده است. این روش با توجه به خودکار بودن، از

کمک شبکه فازی در تصویر ماموگرافی و طبقه‌بندی آن به کمک شبکه عصبی است. بنابراین ابتدا باید کیفیت تصویر به کمک روش‌های پیش‌پردازش بهبود پیدا کند. پس از بهبود کیفیت تصویر، ROI‌ها استخراج شود، و در نهایت با استخراج ویژگی از ROI‌های استخراج‌شده، به طبقه‌بندی سرطان سینه پرداخته می‌شود. بلوک دیاگرام کلی روش پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۱- پایگاه داده استفاده شده

پایگاه داده بکار گرفته شده در این تحقیق، پایگاه تصاویر MIAS است [۴۱]. در این پایگاه داده ۳۲۲ تصویر از شش نوع بیماری سینه در زنان وجود دارد. در حالت کلی در این پایگاه داده، ۱۱۵ تصویر دارای بیماری و ۲۰۷ تصویر سالم وجود دارد. تصاویر دارای بیماری شامل ۶۵ تصویر خوش‌خیم و ۵۰ تصویر بدخیم هستند.

۲-۲- پیش‌پردازش

تصاویر ماموگرافی موجود متا دارای تمایز و کیفیت پایینی هستند که معمولاً از دستگاه‌های ماموگرافی ناشی می‌شود. همچنین تمایز میان بافت‌های موجود در تصاویر شامل بافت‌های چربی، بافت‌های شیردهی و غدد لنفاوی بسیار سخت است. همچنین ریزدانه‌های کلسیم در تصویر دانه‌های بسیار کوچکی هستند که در بخشی از بافت سینه پراکنده شده‌اند. لذا جهت تشخیص ریزدانه‌ها در مرحله اول باید کیفیت تصویر ارتقاء یابد.

پیکسل‌های تصویر را می‌توان به دو گروه پیکسل فرکانس پایین و بالا تقسیم کرد. پیکسل فرکانس پایین، پیکسلی است که اختلاف شدت روشنایی آن پیکسل با پیکسل‌های همسایه‌اش کم باشد. نقاط آرام تصویر را می‌توان پیکسل‌های فرکانس پایین لحاظ کرد. در مقابل پیکسل فرکانس بالا، پیکسلی است که اختلاف شدت روشنایی آن پیکسل با پیکسل‌های همسایه‌اش زیاد باشد مانند لبه‌ها و نوپرها.

با توجه به اینکه ریزدانه‌ها معمولاً با رنگ روشن‌تر از بافت سینه در تصویر دیده می‌شوند، در گروه پیکسل‌های فرکانس بالا قرار می‌گیرند. لذا بهبود پیکسل‌های فرکانس بالا سبب افزایش کیفیت تصویر جهت تشخیص می‌شود. در ابتدا با اعمال فیلتر میانگین بر روی پیکسل‌های تصویر، هموار شدن تصویر، لبه‌ها و نوپرها ایجاد می‌شوند. سپس برای بهبود لبه‌های اولیه تصویر فیلتر لاپلاسیس محلی روی تصویر اعمال می‌گردد. تصویر خروجی با لبه‌های برجسته‌تر و تمایز بالاتر، دارای کیفیت بهتری جهت مراحل تشخیص است.

پیدا کردن بالایی برخوردار است و دقت مناسبی ندارد. در مرجع [۳۵] از الگوریتم خوشه‌بندی فازی در شناسایی ریزدانه‌های کلسیم استفاده شده است. در مرجع [۳۶] ترکیب ویژگی‌های هندسی و ریخت‌شناسی برای شناسایی تومورهای سرطانی پیشنهاد شده است. در مرجع [۳۷] برای تشخیص سرطان در تصاویر ماموگرافی، جداسازی با استفاده از روش بردار تدریج پیشنهاد شده که روش پیشنهادی از الگوریتم ال-بی-جی (LBG) برای جداسازی تصاویر ماموگرافی استفاده می‌کند.

در مرجع [۳۸] از ویژگی‌های شبه زرنیک برای شناسایی سرطان سینه استفاده شده است. در مرجع [۳۹] از ترکیب ویژگی‌های آماری و ریخت‌شناسی با ویژگی‌های استخراج شده توسط شبکه عصبی کانولوشن عمیق جهت تشخیص کلیسیکاسون سینه استفاده شده و به دقت ۸۹/۳۲ درصد دست یافته است. در مرجع [۴۰] بخش‌بندی ریزدانه‌های کلسیم با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی ارائه شده و دقت ۸۳ درصد حاصل شده است.

علی‌رغم پژوهش‌های فراوان در زمینه شناسایی ریزدانه‌های کلسیم و تشخیص سرطان در سینه و بدست آمدن نتایج چشم‌گیر در شناسایی و تفکیک ریزدانه‌های کلسیم در سینه با تصاویر ماموگرافی، تا رسیدن به نقطه مطلوب فاصله طولانی در پیش است.

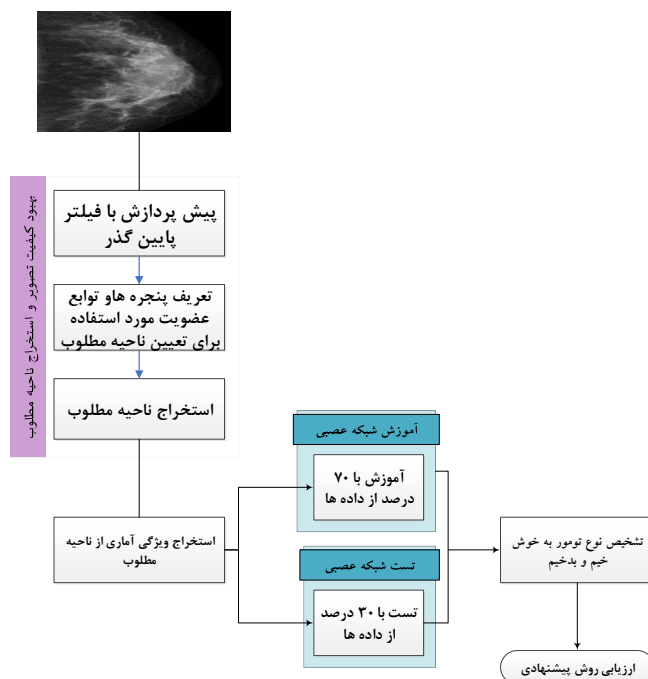
در بیشتر پژوهش‌ها، تمرکز بر روی ویژگی‌های هندسی و آماری تصاویر بوده ولی در این مقاله روش جدید مبتنی بر الگوریتم خوشه‌بندی فازی و استخراج ویژگی‌های آماری مناسب برای شناسایی ریزدانه‌های کلسیم در تصاویر ماموگرافی پیشنهاد شده است.

از نوآوری مقاله فوق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خودکار بودن روش
 - تشخیص دقیق ریزدانه‌ها با حساسیت بالا
 - تفکیک ریزدانه‌ها به خوش‌خیم و بدخیم
- ساختار مقاله به این شرح است. پس از بیان موضوع و مرور تحقیقات مختلف و بیان اهمیت تشخیص سرطان سینه از روی ریزدانه‌های کلسیم در تصویر ماموگرافی در قسمت مقدمه، در قسمت دوم روش پیشنهادی بر اساس خوشه‌بندی فازی و شبکه‌های عصبی ارائه شده است. در بخش سوم ارزیابی روش پیشنهادی به کمک معیارهای ارزیابی مختلف صورت گرفته است و در بخش چهارم نتیجه‌گیری نهایی ارائه شده است.

۲- روش پیشنهادی

فرآیند تشخیص سرطان سینه و همچنین شناسایی ریزدانه‌ها در تصاویر ماموگرافی از دسته فرایندهای پزشکی پر هزینه است. بنابراین ارائه یک روش ارزان و مناسب برای شناسایی آن و در نتیجه خروج آن لازم و ضروری است. هدف اصلی این تحقیق تشخیص سرطان سینه از روی ریزدانه‌های کلسیم به



شکل ۱: بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

۲-۳- استخراج ناحیه مطلوب

برای استخراج ناحیه مطلوب، با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر روش فازی نواحی مشکوک به عارضه ریزدانه‌های کلسیم تعیین می‌شوند. خوشه‌بندی فازی به‌عنوان یک روش تقسیم‌بندی نرم در نظر گرفته می‌شود. با توجه به روش خوشه‌بندی فازی، الگوریتم FCM یک روش معمول در خوشه‌بندی تصویر است زیرا خصوصیتی قوی برای نقاط مبهم دارد و می‌تواند اطلاعات بیشتری را نسبت به خوشه‌بندی سخت حفظ کند. الگوریتم FCM مرسوم روی تصاویر بدون نویز خوب عمل می‌کند. این روش در برابر نویز و تصاویر ساختگی بسیار حساس است برای بکارگیری روش فازی، باید بتوان تمایزی بین نواحی سالم و نواحی دارای ریزدانه کلسیم ایجاد کرد. تصاویر موجود در پایگاه داده MIAS دارای ابعاد $1024 * 1024$ هستند. میانگین شعاع قسمت‌های تعیین شده به‌عنوان ریزدانه در این پایگاه عددی نزدیک به ۱۷ است.

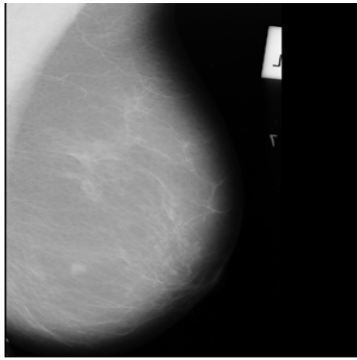
بر این اساس ابعاد پنجره مناسب برای تعیین نواحی ریزدانه با آستانه گذاری، $16 * 16$ در نظر گرفته شده است. نواحی دارای ریزدانه از شدت روشنایی بالاتری نسبت به سایر نواحی برخوردار هستند. با در نظر گرفتن یک پنجره $16 * 16$ و مقایسه میانگین شدت روشنایی هر پنجره با پنجره‌های مجاورش، می‌توان نواحی دارای ریزدانه را استخراج کرد. پنجره‌های دارای ریزدانه از میانگین شدت روشنایی بالایی برخوردار هستند و همچنین حداکثر شدت روشنایی در آن‌ها از آستانه در نظر گرفته شده باید بیشتر باشد لذا برای تعیین

وضعیت هر پیکسل به سه دسته مشکوک، سالم و ریزدانه، می‌توان به میانگین شدت روشنایی بلوک تعریف شده برای هر پیکسل توجه کرد. میانگین شدت روشنایی در یک بلوک و یا عبارت دیگر سطح روشنایی یک پیکسل $[Im(x,y)]$ مطابق رابطه (۱) در نظر گرفته می‌شود:

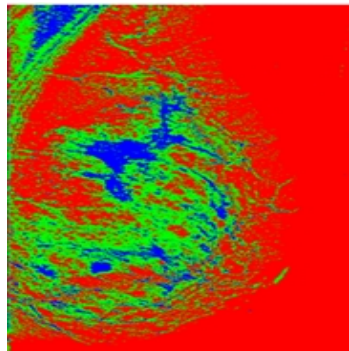
$$I(x,y) = \begin{cases} \text{normal} & Im(x,y) < 25 \\ \text{suspicious} & 25 < Im(x,y) < 32 \\ \text{microcalcification} & Im(x,y) > 32 \end{cases} \quad (1)$$

بر اساس رابطه فوق اگر میانگین شدت روشنایی در یک بلوک کمتر از ۲۵ باشد، وضعیت پیکسل طبیعی، در صورتی که در بازه ۲۵ الی ۳۲ باشد، به‌عنوان مشکوک و اگر بزرگ‌تر از ۳۲ باشد به‌عنوان ریزدانه در نظر گرفته خواهد شد (اعداد حاصل با آزمون و خطا بدست آمد در بهترین حالت ممکن). همچنین normal وضعیت سالم بودن آن پیکسل را نشان می‌دهد و suspicious نشان‌دهنده وضعیت مشکوک پیکسل مورد بررسی است. حالت microcalcification هم نشان‌دهنده ناحیه دارای ریزدانه است.

در اجرای عملی این روش این نتیجه بدست آمده که یک سری نواحی که بیشتر شبیه نویز هستند نیز به‌عنوان ریزدانه استخراج می‌شوند. همچنین آستانه انتخاب شده برای تفکیک ریزدانه از کل تصویر برای تمام تصاویر یکسان نیست. لذا روش بصورت خودکار قابلیت پیاده‌سازی ندارد و روش خوشه‌بندی فازی c-means (FCM) مورد استفاده قرار گرفته است. توابع عضویت فازی بکار گرفته شده در شکل (۲) نشان داده شده



(الف) تصویر اصلی



(ب) ناحیه مطلوب شناسایی شده [ناحیه آبی (ریزدانه)، سبز (مشکوک به ریزدانه)، قرمز (نرمال)]

شکل ۳: تصویر اصلی و ناحیه مطلوب شناسایی شده

۲-۴- فرآیندهای پس‌پردازشی

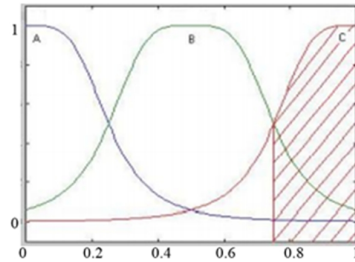
در ادامه پس از خوشه‌بندی فازی، به کمک عملگرهای ریخت شناسی به استخراج ناحیه مطلوب اشاره می‌شود.

فرآیند پس‌پردازش استفاده شده، عملگر سایش^{۱۹} [۴۵] در تصویر است. نواحی که مشکوک به ریزدانه نیستند، یا بر اساس مقادیر تجربی، شاید به اشتباه ریزدانه تشخیص داده شده‌اند، اکنون باید حذف شوند. این ریزدانه‌ها بر اساس ابعاد المان ساختاری، در فرآیند سایش حذف می‌شوند. این فرآیند مطابق رابطه (۶) انجام می‌شود، در این رابطه B المان ساختاری یا ماسک Img_{fuzzy} تصویر دو دویی شده بدست آمده ناشی از خوشه‌بندی فازی پیشنهاد شده و Img_{mic} تصویر سایش داده شده بمنظور استخراج ریزدانه‌های نهایی است و در نهایت علامت \ominus نشان دهنده، عملگر سایش در تصویر است.

(۶)

$$Img_{mic} = Img_{fuzzy} \ominus B$$

شکل (۴-الف) نشان دهنده ناحیه نهایی در استخراج ناحیه مطلوب است و شکل (۴-ب) ناحیه مطلوب استخراج شده بعد از پس‌پردازش را نشان می‌دهد.



شکل ۲: توابع عضویت فازی به کار گرفته شده برای خوشه‌بندی نهایی و استخراج ناحیه مطلوب

است. تابع فازی A نشان دهنده بافت نرمال، تابع فازی B نشان‌دهنده نواحی مشکوک و تابع فازی C نشان دهنده نواحی دارای ریزدانه است. اگر میزان تعلق هر بلوک به یک تابع عضویت بیشتر از ۵۰ درصد باشد، آن بلوک به آن تابع فازی تعلق می‌گیرد. اگر $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ مجموعه داده مورد بررسی باشد، در بخش‌بندی فازی مجموعه X به C زیرمجموعه فازی با احتمال $P = \{A_1, A_2, \dots, A_c\}$ به نحوی بخش‌بندی می‌شود که:

$$\sum_{i=1}^c A_i(x_k) = 1 \quad (2)$$

با در نظر گرفتن مجموعه داده X ، که x_k در حالت کلی یک بردار است و برای هر k ، مساله خوشه‌بندی فازی به انجام یک تقسیم‌بندی فازی متناسب با مراکز خوشه‌ها می‌پردازد. مراکز خوشه‌ها ساختار داده را به بهترین وجه ممکن نشان می‌دهند. برای حل مساله خوشه‌بندی فازی باید معیار عملکردی تعریف شود. معیار عملکرد بر اساس مرکز خوشه‌ها v_1, v_2, \dots, v_c در نظر گرفتن میزان عضویت آنها بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m x_k}{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m} \quad (3)$$

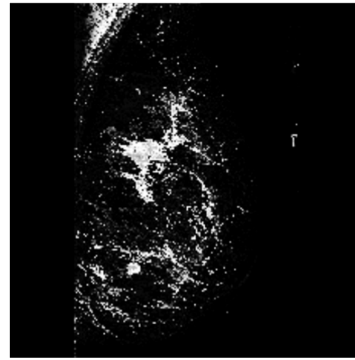
برای هر $i \in N_c$ ، m یک عدد حقیقی بزرگتر از ۱ است که تأثیر میزان عضویت را کنترل می‌کند. بردار v_i محاسبه شده در رابطه (۴) به عنوان مرکز خوشه کلاس فازی A_i در نظر گرفته می‌شود و در واقع میانگین وزنی داده‌ها در A_i است. معیار عملکرد بخش‌بندی فازی P ، $J_m(P)$ به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$J_m(P) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c [A_i(x_k)]^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (4)$$

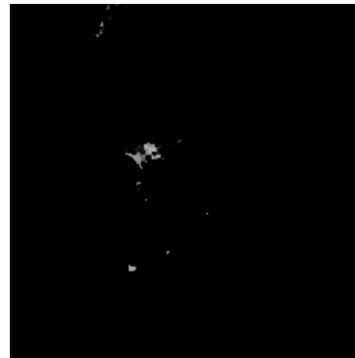
که $\|x_k - v_i\|^2$ نشان دهنده فاصله بین x_k و v_i است. مقادیر کمتر $J_m(P)$ نشان‌دهنده عملکرد بهتر بخش‌بندی فازی است. با بکارگیری خوشه‌بندی فازی نواحی مطلوب استخراج شده به شکل (۳) استخراج می‌شود. شکل (۳-الف) تصویر اصلی و شکل (۳-ب) تصویر خوشه‌بندی شده را نشان می‌دهد. نواحی تشخیص داده شده بعنوان ریزدانه به رنگ آبی نشان داده شده است.

۲-۶- طبقه‌بندی

برای طبقه‌بندی خوش خیم و بد خیم بودن ریزدانه، ویژگی‌های استخراج شده از شبکه عصبی استفاده شده است. شبکه عصبی از نوع تغذیه رو به جلو و با الگوریتم آموزشی پس انتشار است. شبکه عصبی بکار گرفته شده دارای یک لایه مخفی است. ۱۵ درصد از داده‌ها برای آزمون، ۱۵ درصد برای اعتبار سنجی و ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش در نظر گرفته خواهد شد. تعداد نرون های لایه مخفی در حالات مختلف در نظر گرفته شده است.



(الف) قبل از پس پردازش



(ب) ناحیه مطلوب استخراج شده بعد از پس پردازش
شکل ۴: ناحیه مطلوب قبل و بعد از پس پردازش

۳- نتایج

در روش پیشنهادی ابتدا ناحیه مطلوب به کمک روش فازی استخراج شده است. پس از استخراج ناحیه مورد نظر، تصاویر در اختیار یک پزشک متخصص سرطان سینه قرار داده شد و از وی خواسته شد تا نواحی مشکوک به ریزدانه را جدا کند. نواحی شناسایی شده توسط پزشک با نواحی استخراج شده در روش پیشنهادی، به کمک معیارهای ارزیابی دقت و حساسیت مورد ارزیابی قرار گرفت.

با توجه به تعریف پارامترهای اصلی مطابق جدول (۲)، دو معیار ارزیابی دقت (A) و حساسیت (S) را می‌توان بر اساس رابطه‌های (۷) و (۸) تعریف کرد:

$$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (7)$$

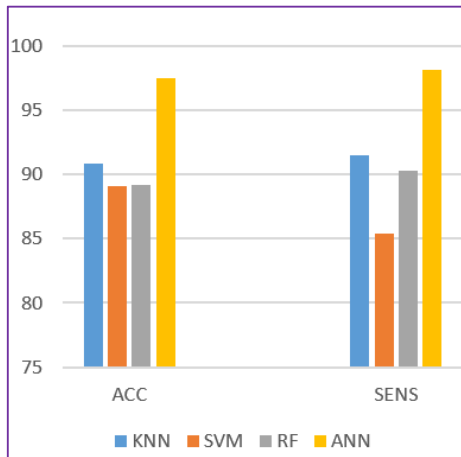
$$S = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

۲-۵- استخراج ویژگی

در این پژوهش از ویژگی‌های آماری مانند کشیدگی منحنی^{۲۰}، آنتروپی^{۲۱}، میانگین^{۲۲}، واریانس^{۲۳}، انحراف معیار^{۲۴}، چارک‌ها^{۲۵}، میانه^{۲۶}، گستره^{۲۷}، مد^{۲۸}، چولگی^{۲۹}، حداقل و حداکثر برای استخراج ویژگی از ناحیه مطلوب استفاده شده است. جدول (۱) ویژگی‌های مورد استفاده را بصورت کامل نشان داده است.

جدول ۱: ویژگی‌های آماری استفاده شده در تحقیق

ردیف	ویژگی آماری	توضیحات
۱	میانگین	میانگین سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۲	واریانس	واریانس سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۳	انحراف معیار	انحراف معیار سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۴	حداکثر	حداکثر سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۵	حداقل	حداقل سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۶	گستره	اختلاف حداکثر و حداقل
۷	چارک	چارک اول، دوم و سوم در سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۸	میانه	میانه سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۹	مد	بیشترین تکرار از سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۱۰	کشیدگی منحنی	درجه اوج در نمودار آماری سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۱۱	چولگی	چولگی در نمودار آماری سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب
۱۲	آنتروپی	آنتروپی سطوح روشنایی پیکسل‌های درون ناحیه مطلوب



شکل ۵: مقایسه طبقه‌بندی‌های مختلف در طبقه‌بندی ویژگی‌های آماری استخراج‌شده از ناحیه مطلوب (رنگ آبی K نزدیک‌ترین همسایگی، رنگ نارنجی ماشین بردار پشتیبان، رنگ طوسی جنگل تصادفی و رنگ زرد شبکه عصبی)

عصبی با ۲۰ نورون در لایه مخفی، بهترین نتیجه بدست آمده است. با توجه به مقایسه انجام شده و در شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد شبکه عصبی بهترین عملکرد را نسبت به روش k نزدیک‌ترین همسایگی و همچنین ماشین بردار داشته‌و روش پیشنهادی بیشترین میانگین دقت (۹۷/۱۵ درصد) نسبت به سایر روش‌ها بدست آورد

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید برای استخراج ریزدانه‌ها و تفکیک آن‌ها به دو دسته خوش‌خیم و بدخیم ارائه شد. در این روش پس از استخراج ناحیه مطلوب توسط روش فازی، با استخراج ویژگی‌های مناسب و به کمک طبقه‌بندی شبکه‌عصبی تغذیه رو به جلو والگوریتم آموزشی پس انتشار خطا، به طبقه‌بندی ریزدانه‌ها به دو نوع خوش‌خیم و بدخیم پرداخته شد. استخراج ناحیه مطلوب در روش فازی پیشنهادی با دقت ۹۶/۷۹ درصد و حساسیت ۹۷/۲۰ درصد حاصل شد. برای تفکیک ریزدانه‌ها به دو گروه خوش‌خیم و بدخیم، از طبقه‌بندی‌های KNN، SVM و RF استفاده شد. هر کدام از طبقه‌بندی‌ها ده مرتبه اجرا شده و نتیجه نهایی ثبت شده است. روش پیشنهادی با دقت ۹۷/۵۰ و حساسیت ۹۸/۱۳ در مقایسه با سایر طبقه‌بندی‌ها توانسته است، برتری خود را به اثبات برساند. جدول (۵) نیز به مقایسه نتایج روش پیشنهادی با دو مرجع [۴۲] و [۴۷] پرداخته است. همانگونه که از نتایج این جدول پیداست روش پیشنهادی دارای صحت بهتری نسبت به سایر روش‌ها است. پایگاه داده استفاده شده در همه این پژوهش‌ها MIAS است. روش پیشنهادی یک روش کاملاً خودکار در استخراج نواحی ریزدانه‌های کلسیم در تصاویر ماموگرافی است. ابتدا به شناسایی دقیق محل ریزدانه پرداخته شد و سپس استخراج ویژگی و طبقه بندی انجام شد از محل ریزدانه که دقت را بالا بردیم .

جدول ۲: تعریف پارامترهای ارزیابی

نماد پارامتر	تعریف پارامتر
TP	ریزدانه است و ریزدانه تشخیص داده شده است
FN	ریزدانه است و ریزدانه تشخیص داده نشده است
FP	ریزدانه نیست و ریزدانه تشخیص داده شده است
TN	ریزدانه نیست و ریزدانه تشخیص داده نشده است

جدول ۳: دقت و حساسیت شناسایی ریزدانه‌ها در روش پیشنهادی

نوع روش	دقت	حساسیت
روش پیشنهادی	۹۶/۷۹ درصد	۹۷/۲۰ درصد
مرجع [۴۶]	۹۵ درصد	۹۰/۵۲ درصد

که در آن به ترتیب TP، FN، FP و TN بیان کننده مثبت حقیقی و منفی حقیقی، مثبت کاذب، منفی کاذب هستند. جدول (۳) نتایج حاصل از این ارزیابی را نشان می‌دهد. همانگونه که در جدول دیده می‌شود، دقت شناسایی نواحی ریزدانه در روش پیشنهادی ۹۷/۵۰ درصد و حساسیت آن ۹۸/۱۳ درصد است؛ که در مقایسه با مرجع [۴۲] از مقبولیت بالایی برخوردار است.

در ادامه پس از استخراج ناحیه مطلوب، به طبقه‌بندی به دو گروه خوش‌خیم و بدخیم پرداخته شد. در این بخش جهت آموزش و تست از روش k fold با ده بار تکرار استفاده شد. ۱۵ درصد از داده‌ها برای آزمون، ۱۵ درصد برای اعتبار سنجی و ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش در نظر گرفته خواهد شد. در این تقسیم‌بندی، انتخاب بصورتگاملاً تصادفی صورت گرفته است.

تعداد نورون‌های لایه مخفی در حالت‌های مختلف در نظر گرفته شده است. جدول (۴) نشان دهنده ماتریس درهم‌ریختگی برای ۱۰ نورون در یک شبکه با یک لایه مخفی است. در این شکل دقت طبقه‌بندی ۸۷ درصد برای داده‌های آزمون بدست آمده است. درحالی‌که با افزایش تعداد نورون‌های لایه مخفی به ۲۰ نورون این مقدار به ۹۵ درصد افزایش یافته است.

جهت ارزیابی بهتر روش، به‌جای طبقه‌بندی به کمک شبکه عصبی از طبقه‌بندی‌های k نزدیک‌ترین همسایگی (KNN)، جنگل تصادفی (RF) و SVM نیز استفاده شد. در این بخش نیز جهت آموزش و تست از روش k fold با ده بار تکرار استفاده شده است. شکل (۵) نتایج بدست آمده از طبقه‌بندی‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در استفاده شبکه

جدول ۴: دقت به‌دست‌آمده از طبقه بندی خوش و بد خیم بودن

ریزدانه با توجه به تعداد نورون‌ها

تعداد نورون‌ها	لایه مخفی	دقت
۱۰ نورون	یک‌لایه	۸۷٪
۲۰ نورون	یک‌لایه	۹۵٪

- [15] R. Ramani, N. S. Vanitha, and S. Valarmathy, "The pre-processing techniques for breast cancer detection in mammography images", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, vol. 5, no. 5, p. 47, 2013.
- [16] S. Naresh and S. V. Kumari, "Breast cancer detection using local binary patterns", *International Journal of Computer Applications*, vol. 123, no. 16, 2015.
- [17] Y. Rejani and S. T. Selvi, "Early detection of breast cancer using SVM classifier technique", *arXiv Preprint arXiv:0912.2314*, 2009.
- [18] H. Mohamed, M. S. Mabrouk, and A. Sharawy, "Computer aided detection system for micro calcifications in digital mammograms", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 116, no. 3, pp. 226-235, 2014.
- [19] R. Biswas, A. Nath, and S. Roy, "Mammogram classification using gray-level co-occurrence matrix for diagnosis of breast cancer", *Proceeding of the IEEE/ICMETE*, pp. 161-166, 2016.
- [20] S. J. S. Antony and S. Ravi, "A new approach to determine the classification of mammographic image using K-means clustering algorithm", *International Journal of Advancements in Research and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 40-44, Feb. 2015.
- [21] V. Raman, P. Sumari, H. Then, and S. A. K. Al-Omari, "Review on Mammogram Mass Detection by Machine Learning Techniques", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 6, p. 873, 2011.
- [22] B. Hiremath and S. Prasannakumar, "Automated evaluation of breast cancer detection using svm classifier", *International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research*, vol. 5, no. 1, pp. 11-20, 2015.
- [23] E. Aličković and A. Subasi, "Breast cancer diagnosis using GA feature selection and rotation forest", *Neural Computing and Applications*, vol. 28, no. 4, pp. 753-763, 2017.
- [24] E. Olfati, H. Zarabadipour, and M. A. Shoorehdeli, "Feature subset selection and parameters optimization for support vector machine in breast cancer diagnosis", *Proceeding of the IEEE/ICIS*, pp. 1-6, 2014.
- [25] M. Moghbel, C. Y. Ooi, N. Ismail, Y. W. Hau, and N. Memari, "A review of breast boundary and pectoral muscle segmentation methods in computer-aided detection/diagnosis of breast mammography", *Artificial Intelligence Review*, pp. 1-46, 2019.
- [26] M. Ciecholewski, "Microcalcification segmentation from mammograms: A morphological approach", *Journal of Digital Imaging*, vol. 30, no. 2, pp. 172-184, 2017.
- [27] P. Kaur, G. Singh, P. Kaur, "Intellectual detection and validation of automated mammogram breast cancer images by multi-class SVM using deep learning classification", *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 16, Article Number: 100239, 2019.
- [28] A. Kalteh, P. Zarbakhsh, M. Jirabadi, and J. Addeh, "A research about breast cancer detection using different neural networks and K-MICA algorithm", *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, vol. 9, no. 3, p. 456, 2013.
- [29] S. Chen, X. Yang and Y. Tian, "Discriminative hierarchical K-means tree for large-scale image classification", *IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 26, no. 9, pp. 2200-2205, Sept. 2015.
- [۳۰] جوادى حمیدرضا، پورقاسم حسین، "طبقه‌بندی ضایعه‌های پوستی از روی تصاویر درموسکپی با استفاده از ویژگی‌های رنگ و شکل"، *روش‌های هوشمند در صنعت برق*، ص: ۲۹، ۳۳-۴۰، ۱۳۹۶.
- [31] G. Valvano et al., "Evaluation of a deep convolutional neural network method for the segmentation of breast microcalcifications in mammography imaging", *Proceeding of the EMBEC*, pp. 438-441, 2017.
- [۳۲] ارجمند امیر، مشگینی سعید، افروزیان رضا، "آشکارسازی توده سرطانی پستان به کمک شبکه عصبی کانولوشنی در تصاویر ام.آر.آی"، *پردازش سیگنال پیشرفته*، سال: ۳، ش: ۲، ص: ۱۰۹-۱۱۷، ۱۳۹۸.
- [33] M. Velikova, I. Dutra, and E. S. Burnside, "Automated diagnosis of breast cancer on medical images", *Foundations of Biomedical Knowledge Representation*, vol. 9521, pp. 47-67, 2015.
- [34] H.-L. Chen, B. Yang, G. Wang, S.-J. Wang, J. Liu, and D.-Y. Liu, "Support vector machine based diagnostic system for breast cancer using swarm intelligence", *Journal of Medical Systems*, vol. 36, no. 4, pp. 2505-2519, 2012.

جدول (۵): مقایسه دقت تشخیص ناحیه ریزدانه روش پیشنهادی با

سایر مقالات

مدل ارائه شده	پژوهش	میانگین دقت
2 D-CNN	[۴۲]	۹۴/۱۰ درصد
RNN	[۴۷]	۹۵/۹۱ درصد
Neural network	پیشنهادی	۹۷/۱۵ درصد

مراجع

- [۱] جهان‌دیده رستم‌علی، بهنام حمید، احمدی‌نژاد نسرين، "طبقه‌بندی توده‌های سرطانی سینه با استفاده از ویژگی‌های ریخت‌شناسی توده و ویژگی‌های بافتی تصاویر سونوگرافی در ناحیه دارای توده و نواحی اطراف آن"، *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، سال: ۶، ش: ۳، ص: ۲۴۷، ۲۵۳، پاییز ۱۳۸۷.
- [۲] خدادادی‌الناز، حسینی رحیل، مزینانی مهدی، "ارائه مدل‌های محاسبات نرم مبتنی بر فازی، تکاملی و هوش جمعی در تحلیل تصاویر ماموگرافی جهت تشخیص تومورهای سینه"، *پردازش علائم و داده‌ها*، سال: ۱۶، ش: ۲، ص: ۱۴۷-۱۶۵، ۱۳۹۸.
- [3] M. Hemmasian Etefagh M.H. Nadimi Shahraki, "Comparison and evaluation of synthesis of risk factors in breast cancer and provide a model for determine the likelihood of developing breast cancer using by EM algorithm in data mining techniques", *Iranian Journal of Breast Diseases*, vol. 9, no. 1, pp. 21-30, 2016.
- [4] B. Gayathri, C. Sumathi, and T. Santhanam, "Breast cancer diagnosis using machine learning algorithms a survey", *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, vol. 4, no. 3, p. 105, 2013.
- [5] M. S. Croock, S. D. Khuder, A. E. Korial, and S. S. Mahmmod, "Early detection of breast cancer using mammography images and software engineering process", *TELKOMNIKA*, vol. 18, no. 4, pp. 1784-1794, 2020.
- [6] C. Songsaeng, P. Woodtichartpreecha, S. Chaichulee, "Multi-scale convolutional neural networks for classification of digital mammograms with breast calcifications", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 114741-114753, 2021.
- [7] K. Loizidou, G. Skouroumouni, C. Nikolaou, C. Pitris, "An automated breast micro-calcification detection and classification technique using temporal subtraction of mammograms", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 52785-52795, 2020.
- [8] R. Touami, K. Karima, and N. Benamrane, "Detection of microcalcifications on mammograms", *International Journal of Software Science and Computational Intelligence*, vol. 12, no. 1, pp. 68-79, 2020.
- [9] B. Dehghan, A. Salimi, "Automatic prostate segmentation in ultrasound images using GVF active contour", *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 19-26, 2013.
- [10] T. Basile et al., "Microcalcification detection in full-field digital mammograms: A fully automated computer-aided system", *Physica Medica*, vol. 64, pp. 1-9, 2019.
- [11] S. J. S. Gardezi, A. Elazab, B. Lei, and T. Wang, "Breast cancer detection and diagnosis using mammographic data: systematic review", *Journal of Medical Internet Research*, vol. 21, no. 7, Article Number: e14464, 2019.
- [12] P. L. A. Hernández, T. T. Estrada, A. L. Pizarro, M. L. D. Cisternas, and C. S. Tapia, "Breast calcifications: Description and classification according to BI-RADS 5th Edition", *Revista Chilena de Radiología*, vol. 22, no. 2, pp. 80-91, 2016.
- [13] B. Priyanka and D. Kulkarni, "Digital mammography: A review on detection of breast cancer", *Int J Adv Res Comp Commun Eng*, vol. 5, pp. 386-390, 2016.
- [14] D. Wang, L. Shi, and P. A. Heng, "Automatic detection of breast cancers in mammograms using structured support vector machines", *Neurocomputing*, vol. 72, no. 13-15, pp. 3296-3302, 2009.

- [41] S. Urooj, S. P. Singh, and A. Ansari, "Computer-aided detection of breast cancer using pseudo zernike moment as texture descriptors", *Sensors and Image Processing*: Springer, pp. 85-92, 2018.
- [42] H. Cai et al., "Breast microcalcification diagnosis using deep convolutional neural network from digital mammograms", *Computational and mathematical methods in medicine*, vol. 2019, Article ID: 2717454, pp. 1-10, 2019.
- [43] G. Valvano et al., "Evaluation of a Deep Convolutional Neural Network method for the segmentation of breast microcalcifications in Mammography Imaging ", in *EMBECC & NBC 2017*: Springer, 2017, pp. 438-441.
- [44] M. Bhattacharya and A. Das, "Fuzzy logic based segmentation of microcalcification in breast using digital mammograms considering multiresolution," in *International Machine Vision and Image Processing Conference (IMVIP 2007)*, 2007, pp. 98-105: IEEE.
- [45] M. Lagzouli and y. Elkettani, "A New Morphology Algorithm for Microcalcifications Detection in Fuzzy Mammograms Images", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* Vol. 3 Issue 1, January – 2014.
- [46] A. Rampun, H. Wang, B. Scotney, P. Morrow, and R. Zwiggelear, "Classification of mammographic microcalcification clusters with machine learning confidence levels", *Proceeding of the IWBI*, vol. 10718, Article Number: 107181B, July 2018.
- [47] Y. Zheng, C. Yang, H. Wang, "Enhancing breast cancer detection with recurrent neural network", *Proceeding of the Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications*, vol. 11399, Article Number 113990C, April 2020.
- [۳۵] موسوی‌راد سیدجلال‌الدین، ابراهیم‌پور کومله حسین، "آستانه‌گذاری بهینه چندسطحی تصویر با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر یادگیری و تدریس"، *مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر*، سال: ۲، ش: ۲، ص: ۵۱-۶۲، ۱۳۹۴.
- [36] A. F. Ootom, E. E. Abdallah, and M. Hammad, "Breast Cancer Classification: Comparative Performance Analysis of Image Shape-Based Features and Microarray Gene Expression Data," *International Journal of Bio-Science & Bio-Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 37-46, 2015.
- [37] R. Sangeetha and K. S. Murthy, "A novel approach for detection of breast cancer at an early stage by identification of breast asymmetry and microcalcification cancer cells using digital image processing techniques", *Proceeding of the IEEE/I2CT*, pp. 593-596, 2017.
- [38] Z. Chen, A. Oliver, E. Denton, C. Boggis, and R. Zwiggelear, "Classification of microcalcification clusters using topological structure features", *Medical image understanding and analysis*, pp. 37-42, 2012.
- [39] S. Gc, R. Kasaudhan, T. K. Heo, and H. D. Choi, "Variability measurement for breast cancer classification of mammographic masses", *Proceedings of the ACM*, pp. 177-182, 2015.
- [40] H. Kekre, T. K. Sarode, and S. M. Gharge, "Tumor detection in mammography images using vector quantization technique", *International Journal of Intelligent Information Technology Application*, vol. 2, no. 5, pp. 237-242, 2009.

15. Support vector machine
16. k-means
17. Convulsive neural network
18. Bayesian neural network
19. Particle swarm algorithm
20. Erosion
21. Curve elongation
22. Entropy
23. Mean
24. Variance
25. Standard deviation
26. Quarters
27. Medium
28. Range
29. Mood
30. Skewness
31. k-nearest neighbor
32. Random forest

زیر نویس ها

1. Cancer
2. Benign
3. Malignant
4. Breast calcification
5. Calcium granules
6. Region of interest
7. Discrete wavelet transform
8. Two-dimensional middle filter
9. Histogram uniformity
10. Gabor filter
11. Otsu threshold
12. Template matching algorithms
13. Appearance based methods
14. Machine learning methods