

## Research Paper

# Assessing the Efficiency of Deep Learning Methods in Estimating the Malignancy of Bi-Rads 4 Breast Lesions Using Contrast-enhanced Spectral Mammography Images



Ali Achak<sup>1,2</sup> , \*Mohammadreza Hedyehzadeh<sup>1</sup>

1. Department of Biomedical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.  
2. Young Researchers and Elite Club, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.



**Citation** Achak A, Hedyehzadeh M. [Assessing the Efficiency of Deep Learning Methods in Estimating the Malignancy of Bi-Rads 4 Breast Lesions Using Contrast-enhanced Spectral Mammography Images (Persian)]. *Qom Univ Med Sci J.* 2023; 17:E2756.1. <https://doi.org/10.32598/qums.17.2756.1>

<https://doi.org/10.32598/qums.17.2756.1>



Received: 04 Nov 2022

Accepted: 29 Jan 2023

Available Online: 06 Nov 2023

### Keywords:

Mammography,  
Deep learning,  
Breast cancer, Image  
processing

## ABSTRACT

**Background and Objectives** According to the Breast Imaging-Reporting and Data System (BI-RADS), category 4 breast lesions have a 2-95% probability of malignancy. Such estimation can cause challenges in planning for the treatment of women with breast cancer. Contrast-enhanced spectral mammography (CESM) is one of the best imaging modalities in breast cancer detection. In this study, we aim to assess the efficiency of deep learning methods in determining the malignancy degree of BI-RADS 4 breast lesions using CESM images.

**Methods** In this study, 1408 CESM images of BI-RADS 4 breast lesions were used. The image pre-processing step was first done to remove noises and improve image quality. Then, segmentation was done for the region of interest extraction. Feature extraction was done using three different conventional classifiers. Finally, the classification of images was done using deep learning methods.

**Results** Among the applied methods, the Densenet-201 network used for feature extraction and K-nearest neighbor (KNN) used for Classification showed the best results with accuracy, sensitivity, specificity, and area under the curve of 98.57%, 99.20%, 97.50% and 0.987 respectively.

**Conclusion** The proposed method (Densenet-201 and KNN) using CESM images is effective in estimating the malignancy of BI-RADS 4 breast lesions and thus in timely treatment of breast cancer.

### \* Corresponding Author:

Mohammadreza Hedyehzadeh, PhD.

Address: Department of Biomedical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

Tel: +98 (918) 1604867

E-Mail: [mrhedyehzadeh@iaud.ac.ir](mailto:mrhedyehzadeh@iaud.ac.ir)



Copyright © 2023 Qom University of Medical Sciences.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).  
Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

## Extended Abstract

### Introduction

**B**reast cancer is one of the most common types of cancer and the most serious threat to women's health. The use of an accurate screening method can play a significant role in the early diagnosis of this cancer and, thus, reducing the mortality caused by it. Contrast-enhanced spectral mammography (CESM) is an imaging technique by which the diagnostic capability is significantly increased by injecting a contrast agent into the patient and increasing the contrast in suspicious areas of the breast. Breast Imaging-Reporting and Data System (BI-RADS) is a risk assessment tool for breast lesions in which radiologists divide the lesions into seven categories according to the evidence in mammography, ultrasound, or magnetic resonance images. In the fifth edition of this scoring system, which was updated in 2013, category 4 breast lesions have a 2-95% probability of malignancy. Reporting such vast degree of malignancy can cause challenges in planning for the treatment of these patients. Therefore, it is very important to determine the degree of malignancy of BI-RADS 4 lesions by a non-invasive method using medical images. In this study, we aim to assess the efficiency of deep learning techniques to determine the malignancy degree of BI-RADS 4 breast lesions using CESM images.

### Methods

In this study, CESM images of women with breast cancer available in the CDD-CESM database of the TCIA portal were used. In the pre-processing step, for removing noise from the images, a median filter with a window size of  $3 \times 3$  was applied. In the next step, to improve resolution and increase the brightness of images, contrast stretching was done. In the final step, due to the fact that the borders and edges of the images are considered disturbing factors in the calculations, erosion with disk size of 2 was applied. Manual segmentation was also done by expert radiologists and using convolutional neural network (CNN)-based feature extraction and classification by three different conventional classifiers: k-nearest neighbor (KNN), support vector machine (SVM) and feed forward neural network (FNN). The CNN has a unique efficiency in automatic extraction of features from images. The number of features extracted from the Densenet-201, Resnet-101, and Inception-v3 networks were 1920, 2048, and 2048 respectively, for each image. To evaluate the performance of the proposed models, their accuracy, sensitivity, specificity, and the area under

the curve (AUC) were evaluated. The proposed models and the obtained results were validated using a 10-fold cross-validation method. All related processes were done in MATLAB 2021 software in a laptop with 4GB GPU, Intel Core i7 11th Gen 11800H (2.30 GHz), NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti. Statistical calculations were performed in GraphPad Prism 9.4.1 software.

### Results

Among the applied models, the Densenet-201 network and KNN showed the best results in feature extraction and classification with accuracy, sensitivity, specificity and AUC of 98.57%, 99.20%, 97.50%, and 0.987, respectively.

### Conclusion

In this study, the performance of different machine learning methods was compared to estimate the degree of malignancy for BI-RADS4 breast lesions in 1408 CESM images. The results showed the valuable ability of the proposed model compared to other related methods. The goal of this study was to reduce unnecessary biopsies and timely diagnosis and treatment of patients with breast cancer by doctors. The proposed model can be used as an auxiliary tool in timely and reliable treatment of breast cancer; by this method, doctors can classify breast lesions in a non-invasive manner without clinical information, just by the image of a suspected person with BI-RADS 4 category breast cancer. This process can increase the survival of affected people and reduce the unnecessary treatment of people suspected of this cancer.

### Ethical Considerations

#### Compliance with ethical guidelines

In this study, since no experiments on human or animal models were conducted, there was no need for ethical considerations.

#### Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors

#### Authors contributions

The authors contributed equally to the preparation of this article.

### Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Acknowledgements

We are grateful to all colleagues who helped us in this research.

## مقاله پژوهشی

## ارزیابی عملکرد یادگیری عمیق در تشخیص سرطان پستان با استفاده از تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست

علی آچاک<sup>۱،\*</sup>، محمد رضا هدیه‌زاده<sup>۱</sup>

۱. گروه مهندسی پزشکی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

۲. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Achak A, Hedyehzadeh M. [Assessing the Efficiency of Deep Learning Methods in Estimating the Malignancy of Bi-Rads 4 Breast Lesions Using Contrast-enhanced Spectral Mammography Images (Persian)]. Qom Univ Med Sci J. 2023; 17:E2756.1. <https://doi.org/10.32598/qums.17.2756.1>doi <https://doi.org/10.32598/qums.17.2756.1>

## چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳ آبان ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۰۹ بهمن ۱۴۰۱

تاریخ انتشار: ۱۵ آبان ۱۴۰۲

**زمینه و هدف:** در دسته چهارم از سیستم طبقه‌بندی BI-RADS یا به عبارت دیگر دسته BI-RADS 4 احتمال میزان بدخیمی ضایعات بافت پستان بین ۲ تا ۹۵ درصد است که این امر تشخیص و در نتیجه درمان مورد نیاز برای بیمار را با چالش روبه‌رو خواهد ساخت. تصویربرداری ماموگرافی طیفی با کنتراست یکی از روش‌های کارآمد در تشخیص سرطان پستان است؛ بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی عملکرد تشخیصی تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست در تعیین دقیق میزان بدخیمی دسته BI-RADS 4 در مراحل اولیه درمان سرطان پستان به مقایسه کارایی روش‌های یادگیری عمیق در این رابطه پرداخته است.

**روش بررسی:** در این مطالعه از ۱۴۰۸ تصویر ماموگرافی طیفی با کنتراست شامل ضایعات مشکوک خوش‌خیم و بدخیم سرطان پستان دسته BI-RADS 4 استفاده شده است. ابتدا مرحله پیش‌پردازش با هدف حذف موارد نامطلوب و بهبود کیفیت تصویر و پس از آن ناحیه‌بندی با هدف تمایز ناحیه تومور از بقیه تصویر اعمال شد. مرحله بعد در مطالعه حاضر، استخراج ویژگی از ناحیه تومور با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن و در نهایت طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین است.

**یافته‌ها:** با توجه به روش کار پیشنهادی عملکرد شبکه Densenet-201 در استخراج ویژگی و روش نزدیک‌ترین همسایه (KNN) در طبقه‌بندی با مقادیر حساسیت ۹۹/۲ درصد، اختصاصیت ۹۷/۵ درصد، صحت ۹۸/۵۷ درصد و AUC ۰/۹۸۷ بهتر از سایر مدل‌های پیشنهادی گزارش شد.

**نتیجه‌گیری:** مدل پیشنهادی یادگیری عمیق با استفاده از تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست، کارایی قابل توجهی در تشخیص میزان بدخیمی BI-RADS 4 در تشخیص زودهنگام و درمان به موقع سرطان پستان دارد.

## کلیدواژه‌ها:

تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست، سیستم‌های کمکی، شبکه‌های عصبی کانولوشن

## \* نویسنده مسئول:

دکتر محمد رضا هدیه‌زاده

نشانی: دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پزشکی.

تلفن: +۹۸ (۹۱۸) ۱۶۰۴۸۶۷

رایانامه: [mrhedyehzadeh@iaud.ac.ir](mailto:mrhedyehzadeh@iaud.ac.ir)

Copyright © 2023 Qom University of Medical Sciences.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

## مقدمه

با توجه به همه موارد ذکرشده، تعیین دقیق میزان بدخیمی ضایعات دسته 4 BI-RADS توسط یک روش غیرتهاجمی و ترجیحاً تنها با استفاده از تصاویر پزشکی از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه به‌کارگیری روش‌های هوش مصنوعی و به‌ویژه روش‌های یادگیری ماشین کمک شایانی در استخراج پارامترهایی مانند درجه بدخیمی‌ها از تصاویر پزشکی کرده است. یکی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین بسیار پرکاربرد در پردازش تصاویر پزشکی، شبکه‌های عصبی عمیق و به‌ویژه شبکه‌های عصبی کانولوشنال<sup>۲</sup> است [۱۶-۱۹].

شبکه‌های عصبی کانولوشن دسته‌ای از شبکه‌های عصبی عمیق هستند که می‌توانند تصاویر پزشکی را به‌عنوان ورودی دریافت کرده، ناحیه موردنظر (ناحیه تومور) را از سایر نواحی تصویر جدا کرده، از تصویر ویژگی استخراج کنند و از این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی تصاویر به دسته‌های موردنظر (مثلاً خوش‌خیم یا بدخیم) استفاده کنند [۲۰، ۲۱]. این شبکه‌ها ابزار بسیار کارآمدی برای هدف این مطالعه و تعیین میزان بدخیمی تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست دسته 4 BI-RADS هستند [۲۲-۲۵]. هدف از این مطالعه، به‌کارگیری شبکه‌های عصبی کانولوشن، اعمال آن‌ها به تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست بیماران دچار سرطان پستان دسته 4 BI-RADS و تعیین میزان بدخیمی آن‌هاست [۲۶، ۲۷].

## مواد و روش‌ها

### دادگان

در این مطالعه از تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست افراد مبتلا به سرطان پستان موجود در پایگاه داده CDD-CESM در پورتال TCIA که به‌صورت رایگان در دسترس عموم قرار دارد، استفاده شده است [۲۸، ۲۹]. در این مجموعه، تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست شامل ۲ نوع تصویر کم‌انرژی و ترکیبی ۳۲۶ بیمار زن مبتلا به سرطان پستان موجود است. با توجه به هدف مطالعه تصاویر موجود در دسته 4 BI-RADS نیاز است که تعداد ۲۹۸ تصویر در این دسته قرار گیرند. از این تعداد ۶۸ ضایعه خوش‌خیم و ۲۳۰ ضایعه بدخیم از نمای کرانیوکودال<sup>۳</sup> و مایل میانی جانبی<sup>۴</sup> وجود دارد. به‌علت نبود تعادل بین تعداد تصاویر موجود در ۲ کلاس (بدخیم و خوش‌خیم) و با هدف ایجاد توازن و تولید دسته‌های متعادل، بیش از نیمی از ضایعات بدخیم به‌صورت تصادفی از مطالعه خارج شد. در نهایت، مطالعه با استفاده از مجموع ۱۰۸ ضایعه بدخیم و ۶۸ ضایعه خوش‌خیم دسته BI-RADS 4 که شامل هر دو نمای کرانیوکودال و مایل میانی جانبی تصاویر کم‌انرژی و ترکیبی با سایز تصاویر ۱۳۱۵\*۲۳۵۵ است،

سرطان پستان یکی از شایع‌ترین انواع سرطان و مهم‌ترین تهدید جدی برای سلامت زنان محسوب می‌شود [۱، ۲]. این عارضه موجب ابتلای بیش از ۲۸۱۵۵۰ نفر و مرگ‌ومیر بیش از ۴۳۶۰۰ نفر از زنان ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۲۰ شده است [۳]. تشخیص زودهنگام این بیماری تأثیر بسزایی بر بقا و کیفیت زندگی فرد داشته، به‌طوری که تشخیص و درمان به‌موقع موجب افزایش ۸۰ تا ۹۰ درصدی بقای فرد در ۵ سال خواهد شد. به‌کارگیری یک روش غربالگری دقیق می‌تواند در تشخیص زودهنگام این سرطان و در نتیجه کاهش مرگ‌ومیر ناشی از آن نقش بسزایی داشته باشد [۴].

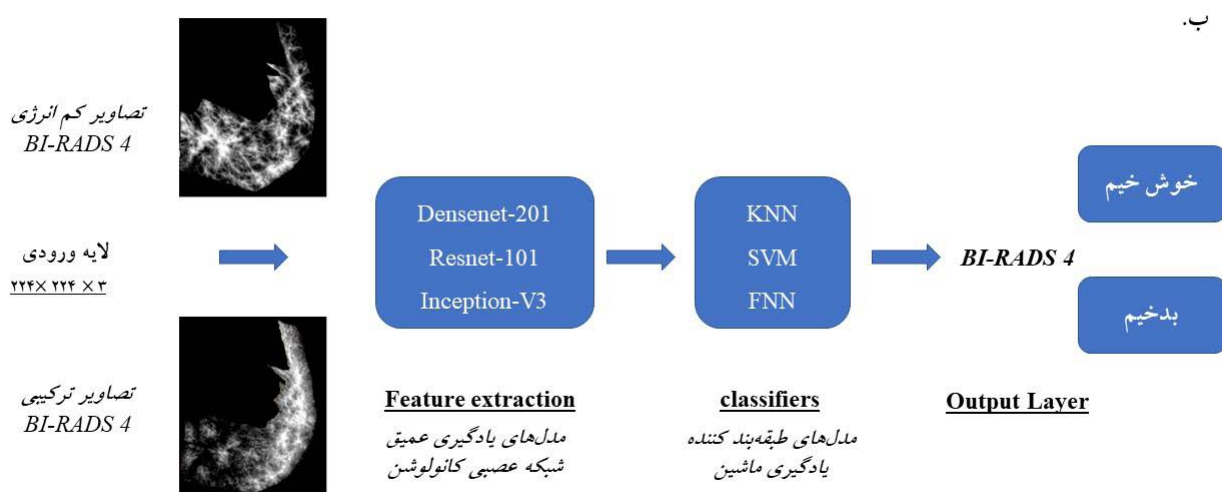
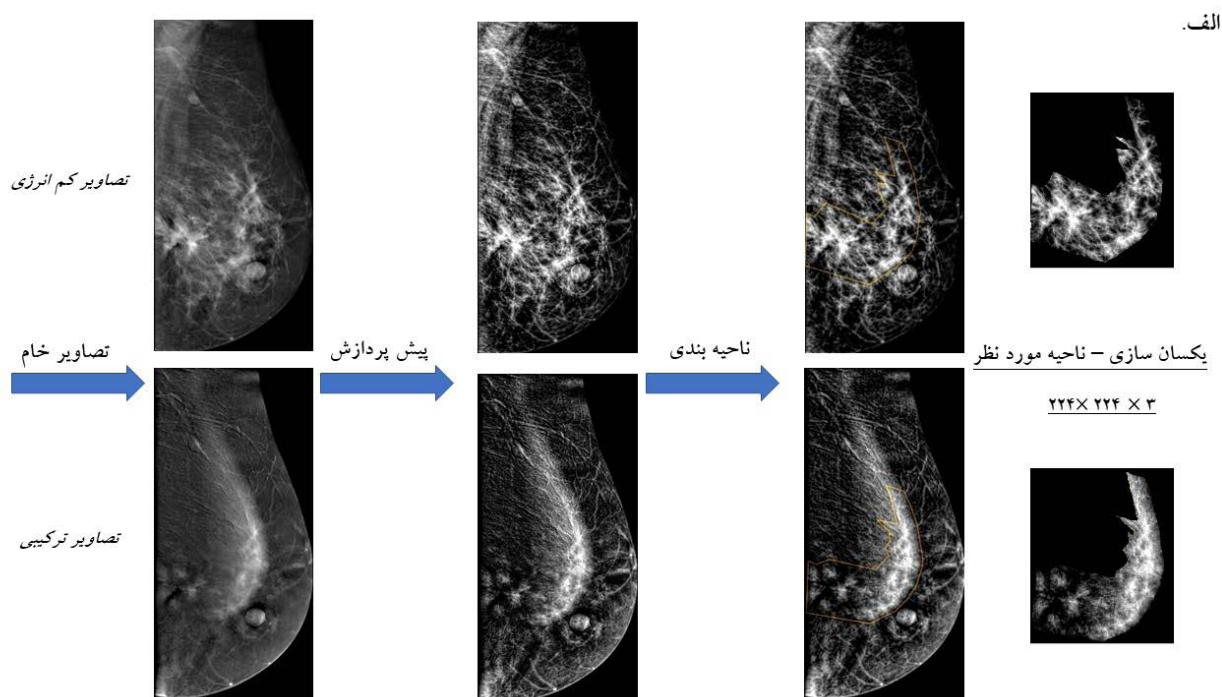
ماموگرافی طیفی با کنتراست<sup>۱</sup> یک تکنیک تصویربرداری است که در آن با استفاده از تزریق ماده حاجب به بیمار و افزایش کنتراست در نواحی مشکوک ناحیه سینه قابلیت تشخیصی به طرز قابل توجهی افزایش می‌یابد [۵]. در این تکنیک دو تصویربرداری جداگانه انجام می‌شود و یک تصویر کم‌انرژی مشابه تصاویر ماموگرافی دیجیتال معمولی و یک تصویر پرانرژی به دست می‌آید. در ادامه با استفاده از یک الگوریتم بازسازی مخصوص و به کمک تفریق دو تصویر، یک تصویر ترکیبی حاصل می‌شود [۶، ۷].

ماموگرافی طیفی با کنتراست در تشخیص اولیه سرطان پستان در بافت‌های متراکم قابلیت قابل توجهی به نسبت ماموگرافی معمولی و ام‌آر‌آی (حساس‌ترین روش) داشته است که نشان‌دهنده توانایی بالا در غربالگری سرطان پستان است [۸]. BI-RADS یک سیستم ارزیابی ریسک مخصوص توده‌های ناحیه سینه است که در آن رادیولوژیست‌ها با توجه به شواهد موجود در تصاویر ماموگرافی، اولتراسوند و یا تشدید مغناطیسی ضایعات را به ۷ دسته تقسیم می‌کنند. در پنجمین ویرایش از این سیستم امتیازبندی که در سال ۲۰۱۳ به‌روزرسانی شد، ضایعات دسته 4 BI-RADS دارای احتمال ۲ تا ۹۵ درصدی از بدخیمی هستند [۱۰].

به عبارت دیگر، چنانچه بیماری طبق این سیستم امتیازبندی در دسته چهارم قرار بگیرد، احتمال بدخیم بودن توده سرطانی موجود در بدن فرد از ۲ تا ۹۵ درصد متغیر بوده و بیان چنین گستره وسیعی از درصد احتمال بدخیمی باعث سردرگمی انکولوژیست و ابهام او در بدخیم یا خوش‌خیم بودن ضایعه می‌شود؛ بنابراین در این حالت، انجام آزمایشات تشخیصی تکمیلی مانند اسکن ثانویه، بیوپسی و غیره اجتناب‌ناپذیر بوده و این امر به احتمال بسیار زیاد موجب افزایش دُز جذبی، انجام فرایند تهاجمی مانند جراحی جهت بیوپسی و تحمیل هزینه بیشتر برای بیمار خواهد شد [۱۱-۱۵].

### 1. Contrast-Enhanced Spectral Mammography (CESM)

2. Convolutional Neural Networks (CNN)
3. Cranio cauda (CC)
4. Mediolateral oblique (MLO)



تصویر ۱. فلوجارت مراحل روش کار. الف) مراحل پیش‌پردازش دادگان و ب) استخراج ویژگی و طبقه‌بندی

انجام شده است. فیلتر میانه با اندازه  $3 \times 3 \times 3$  با هدف حذف نویز از تصاویر اعمال شده است. در گام بعد با هدف بهبود تفکیک‌پذیری و افزایش دامنه شدت روشنایی تصاویر کنتراست انجام شد. در گام نهایی با توجه به اینکه حاشیه و لبه تصاویر در محاسبات مزاحم تلقی می‌شوند، با فیلتر مورفولوژیک سایش با اندازه دیسک ۲ اعمال شده است.

### ناحیه‌بندی

در این مطالعه، پردازش و تصمیم‌گیری متمرکز بر ناحیه توده

انجام شده است.

### پیش‌پردازش

دادگان موردنظر تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست با استفاده از تجهیزات استاندارد ماموگرافی دیجیتال ثبت شده‌اند که این تصاویر به صورت ذاتی نویز دارند. بدین منظور برای افزایش کیفیت و بهبود تصاویر در راستای افزایش عملکرد شبکه پیشنهادی و طبقه‌بندی مناسب، ضایعات بافت پستان دادگان در این مرحله پیش‌پردازش می‌شوند. در عملیات پیش‌پردازش ابتدا

پیشخور<sup>۷</sup> مطابق تصویر شماره ۱ انجام می‌شود.

### ارزیابی عملکرد

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های پیشنهادی در این مطالعه از پارامترهای صحت، حساسیت، اختصاصیت و ناحیه زیرمنحنی ROC که تعریف هر یک در فرمول شماره ۱ قابل مشاهده است، استفاده شده است.

$$\text{صحت} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

$$\text{حساسیت} = \frac{TP}{FN+TP}$$

$$\text{اختصاصیت} = \frac{TN}{FP+TN}$$

در استفاده از این تعاریف ذکر این نکته اهمیت دارد که کیس مثبت، نشانگر بدخیم بودن و کیس منفی، نشانگر خوش‌خیم بودن آن است. از این رو، TP، FP، FN و TP به ترتیب نشان‌دهنده تعداد ضایعات بدخیم درست، خوش‌خیم درست، بدخیم نادرست و ضایعات خوش‌خیم نادرست هستند. همچنین برای اعتبارسنجی به مدل پیشنهادی و نتایج به‌دست‌آمده دادگان به‌صورت تصادفی در ۳ گروه آموزش، اعتبارسنجی و آزمایش در ۱۰۰ مرتبه اجرا تجزیه و تحلیل شدند. همه پردازش‌های مربوطه در نرم‌افزار متلب 2021a با 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H@ 2.30GHz 2.30 GH و NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti Laptop GPU 4GB انجام شده است. محاسبات آماری در نرم‌افزار GraphPad Prism 9.4.1 انجام شده است.

### یافته‌ها

در این مطالعه، عملکرد روش‌های مختلف یادگیری ماشین برای تخمین میزان بدخیمی توده‌های سرطان پستان BI-RADS 4 در ۱۴۰۸ تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست مقایسه شد. بعد از انجام فرایند پیش‌پردازش و آماده‌سازی دادگان، مراحل مختلفی مانند ناحیه‌بندی برای استخراج منطقه تومور از کل تصویر و پس از آن استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق Densenet-201، Resnet-101 و Inception-v3 انجام شد.

این فرایند با هدف استخراج ویژگی از تصاویر توسط شبکه‌های از پیش آموزش دیده فوق‌الذکر انجام شد که در نهایت، به ترتیب

7. Feedforward neural network (FNN)

سرطانی است. محدوده ناحیه توده سرطانی توسط متخصصین رادیولوژیست به همراه تصاویر اصلی در منابع پایگاه داده درج شده بود [۲۹، ۲۸]. بدین ترتیب، ناحیه موردنظر و دلخواه که شامل ناحیه توده می‌شود، به‌صورت دستی با توجه به اطلاعات موجود از سایر بافت جداسازی می‌شود. سایر نواحی غیرضروری در راستای افزایش سرعت پردازش و عدم تأثیر در تصمیم‌گیری حذف می‌شوند و در ناحیه‌بندی صرفاً ناحیه توده مشکوک به دست آمده است. همچنین تصاویر ناحیه‌بندی شده مجدداً توسط یک متخصص رادیولوژیست با سابقه ۸ ساله بررسی شده‌اند که تأیید نهایی صحت ناحیه‌بندی ناحیه توده مشکوک انجام شده است.

### مدل شبکه پیشنهادی

در این مطالعه، شبکه عصبی کانولوشن بر دادگان موردنظر اعمال شده است. شبکه عصبی کانولوشن کارایی منحصر به فرد در خصوص استخراج ویژگی از تصاویر به‌صورت خودکار دارد [۱۶، ۳۰]. در این مرحله، ابتدا برای همسان‌سازی دادگان و افزایش سرعت پردازش اندازه تصاویر به  $3 \times 224 \times 224$  تبدیل می‌شوند (تصویر شماره ۱).

همچنین با توجه به ماهیت شبکه‌های یادگیری عمیق و نیاز به تعداد بالای تصاویر برای آموزش و طبقه‌بندی با دقت بالا، افزایش تعداد داده با استفاده از روش چرخش تصاویر در زاویه‌های مختلف همچون ۴۵، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰ و ۲۲۵ انجام شد. با این تفاسیر، مجموعاً ۱۴۰۸ تصویر شامل ۵۴۴ ضایعه خوش‌خیم و ۸۴۶ ضایعه بدخیم از تصاویر کم‌انرژی و ترکیبی ماموگرافی طیفی با کنتراست به دست آمده است.

این تصاویر پس از مراحل پیش‌پردازش، جداسازی ناحیه توده، افزایش داده و همسان‌سازی اندازه تصاویر به‌عنوان ورودی شبکه پیشنهادی اعمال می‌شوند. مدل پیشنهادی مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشن است و در این مطالعه از مجموع کل تصاویر ۷۰ درصد آن‌ها به دادگان آموزش، ۱۵ درصد اعتبارسنجی و ۱۵ درصد باقی‌مانده به‌عنوان دادگان آزمایش اختصاص می‌یابد. پس از آن با استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق از پیش آموزش دیده Resnet-101، Densenet-201 و Inception-v3 استخراج ویژگی به‌صورت پیکسل به پیکسل از هر تصویر انجام می‌شود.

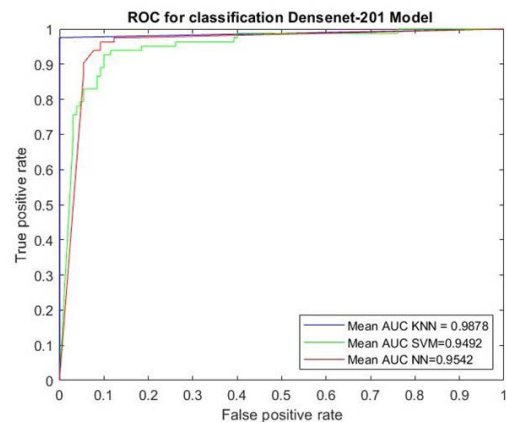
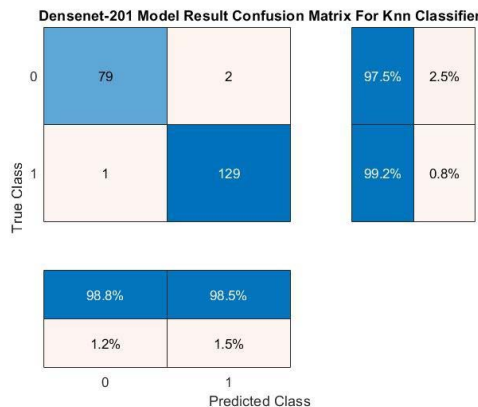
ویژگی‌های مذکور در این شبکه‌ها از آخرین لایه کانولوشن قابل استخراج است که در شبکه Resnet-101، Densenet-201 و Inception-v3 به ترتیب ۱۹۲۰، ۲۰۴۸ و ۲۰۴۸ ویژگی مختلف از هر تصویر استخراج می‌شود. پس از آن مرحله نهایی و طبقه‌بندی توسط ویژگی‌های مستخرج توسط ۳ طبقه‌بند نزدیک‌ترین همسایه<sup>۵</sup> ماشین‌بردار پشتیبان<sup>۶</sup> و شبکه عصبی

5. K-Nearest Neighbors (KNN)

6. Support vector machine (SVM)

الف

ب



مجله  
دانشگاه علوم پزشکی قم

تصویر ۲. نتایج ارزیابی عملکرد مطلوب‌ترین شبکه پیشنهادی. الف) مساحت زیرمنحنی (ROC) برای ۳ طبقه‌بند پیشنهادی و ب) ماتریس درهم‌ریختگی برای بهترین طبقه‌بند

راستای اعتبارسنجی نتایج و توانایی عملکرد مدل پیشنهادی. نتایج این مطالعه با آخرین پژوهش‌های مرتبط مقایسه شده است. این مقایسه نشان‌دهنده قابلیت ارزشمند مدل پیشنهادی در برابر سایر روش‌های مرتبط است که توانسته است با استفاده از تصاویر کم‌انرژی و ترکیبی در ۲ نمای کرانیوکودال و مایل میانی جانبی مجزا نسبت به آن برتری قابل توجهی داشته باشد.

### بحث

در این مطالعه، شبکه پیشنهادی توانست با استفاده از تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست میزان بدخیمی بیماران سرطان

۱۹۲۰، ۲۰۴۸ و ۲۰۴۸ ویژگی از هر تصویر استخراج شد. پس از آن با استفاده از طبقه‌بندهای نزدیک‌ترین همسایه، ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی پیشخور داده‌ها به طبقات خوش‌خیم و بدخیم تقسیم شدند که نتایج حاصل از طبقه‌بندی مذکور در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است.

در این ارزیابی، مدل ترکیبی Densenet-201 با طبقه‌بند نزدیک‌ترین همسایه نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشته است. این مدل پیشنهادی توانسته است مقدار حساسیت ۹۹/۲ درصد، اختصاصیت ۹۷/۵ درصد، صحت ۹۸/۵۷ درصد و مساحت زیرمنحنی ۰/۹۸۷ داشته باشد (تصویر شماره ۲). همچنین در

جدول ۱. جزئیات نتایج عملکرد مدل شبکه عصبی کانولوشن و طبقه‌بندکننده‌های یادگیری ماشین

طبقه‌بند	AUC (95% CI)	درصد			مدل شبکه پیشنهادی
		حساسیت	اختصاصیت	صحت	
KNN	۰/۹۸۷(۰/۹۷۹، ۰/۹۹۵)	۱/۰۵(۹۹/۲۰)	۱/۲۹(۹۷/۵۰)	۰/۷۳(۹۸/۵۷)	Densenet-201
SVM	۰/۹۴۹(۰/۹۲۹، ۰/۹۶۹)	۱/۹۷(۸۹/۲۰)	۱/۲۰(۹۱/۳۹)	۱/۷۲(۹۰/۰۵)	
FNN	۰/۹۵۴(۰/۹۴۲، ۰/۹۶۶)	۱/۵۵(۹۳/۸۰)	۲/۰۱(۹۰/۱۱)	۱/۸۸(۹۲/۴۱)	
KNN	۰/۹۶۴(۰/۹۶۳، ۰/۹۶۷)	۱/۳۳(۹۶/۹۲)	۱/۷۱(۹۵/۰۱)	۱/۶۷(۹۶/۲۷)	Resnet-101
SVM	۰/۹۶۲(۰/۹۵۳، ۰/۹۷۲)	۲/۳۳(۹۰/۰۶)	۱/۹۸(۸۷/۹۹)	۲/۲۰(۹۰/۰۲)	
FNN	۰/۹۶۷(۰/۹۵۴، ۰/۹۸۰)	۱/۳۲(۹۱/۵۰)	۱/۹۶(۹۱/۴۰)	۱/۵۸(۹۱/۴۶)	
KNN	۰/۹۴۵(۰/۹۳۳، ۰/۹۵۷)	۱/۶۶(۹۱/۴۴)	۱/۰۹(۹۶/۹۷)	۱/۳۱(۹۴/۸۷)	Inception-V3
SVM	۰/۹۴۰(۰/۹۱۳، ۰/۹۶۹)	۲/۳۴(۹۰/۸۸)	۲/۶۸(۸۱/۵۲)	۲/۶۶(۸۷/۲۴)	
FNN	۰/۹۱۸(۰/۹۰۰، ۰/۹۳۶)	۱/۸۷(۹۰/۸۳)	۱/۶۱(۸۷/۷۹)	۱/۷۶(۸۹/۵۷)	

مجله  
دانشگاه علوم پزشکی قم



جدول ۲. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی مطالعه کنونی با برترین مطالعات پیشین مرتبط

مدل شبکه	صحت (درصد)	اختصاصیت (درصد)	حساسیت (درصد)	AUC
پاتل و همکاران [۲۴]	۰۰/۹۰	۰۰/۹۲	۰۰/۸۸	۹۵۰/۰
گائو و همکاران [۲۷]	۰۰/۹۰	۰۰/۹۴	۰۰/۸۳	۹۲۰/۰
پرک و همکاران [۳۰]	-	۰۰/۶۶	۱۰۰	۸۹۰/۰
دانالا و همکاران [۱۲]	۴/۷۸	-	-	۸۴۸/۰
فنیزی و همکاران [۲۵]	۵/۸۷	۷/۹۱	۵/۸۷	۹۳۱/۰
سونگ و همکاران [۲۳]	۶/۹۶	۴/۹۶	۴/۹۶	۹۶۶/۰
Densenet-201-KNN (مطالعه کنونی)	۵۷/۹۸	۵۰/۹۷	۲۰/۹۹	۹۸۷/۰

پردازش تصویر و الگوریتم‌های یادگیری عمیق موجب رشد چشمگیری در تشخیص غیرتهاجمی، در زمان کوتاه، بدون تجربه خیلی قابل توجه در موقعیت‌ها و مکان‌های مختلف شده است که تاکنون در این زمینه نتایج امیدوارکننده‌ای رقم خورده است [۹، ۳۰].

بدین ترتیب در این مطالعه با استفاده از تکنیک‌های پیش‌پردازش و اعمال الگوریتم‌های یادگیری عمیق توانسته‌ایم در تشخیص و طبقه‌بندی میزان بدخیم دسته 4 BI-RADS تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست در نماهای مختلف کم‌انرژی و ترکیبی عملکرد بسیار مناسبی داشته باشیم. این ابزار نویدبخش تشخیص‌های غیرتهاجمی و ایمن را با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌دهد که در سلامت، پیش‌بینی نتایج درمان، کاهش هزینه و وقت بیماران و پزشکان و بار روانی تأثیر بسزایی می‌تواند ایفا کند. مطالعه دسته 4 BI-RADS تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست برای اولین است که بر دادگان در دسترس عموم که دارای تصاویر در ۲ نمای مختلف کم‌انرژی و ترکیبی است، به دست می‌آید.

مطالعات قبلی همگی بر دادگان محدود جمع‌آوری شده از یک مرکز پزشکی تمرکز داشته، در حالی که در این مطالعه دادگان با دسترسی آزاد جمع‌آوری شده از چند مرکز پزشکی استفاده شده است. در مطالعات قبلی تصاویر گرفته‌شده از یک نما استفاده شده، در حالی که در این مطالعه تصاویر نماهای مختلف که به احتمال بسیار زیاد هریک حاوی اطلاعات متفاوتی از ضایعه است، به کار رفته است.

از مزایای دیگر این مطالعه، تعداد تصاویر زیاد به کار رفته، تمرکز بر ناحیه تومور (نه کل تصویر پستان) در همه پردازش‌ها، استفاده از تصاویر ماموگرافی طیفی با کنتراست به جای تصاویر ماموگرافی معمولی اشاره کرد. در آینده پیشنهاد می‌شود

پستان دسته 4 BI-RADS را به‌صورت غیرتهاجمی با عملکرد بسیار مناسب نسبت به سایر مطالعات پیشین مطابق جدول شماره ۲ تعیین کند. این پژوهش در راستای کاهش بیوپسی‌های غیرضروری و تشخیص و درمان به‌موقع بیماران توسط پزشکان حاصل پذیرفته است. این مدل پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کمکی در درمان به‌موقع و مطمئن نقش مهمی داشته باشد تا پزشکان به‌صورت غیرتهاجمی بدون اطلاعات بالینی صرفاً با استفاده از یک تصویر فرد مشکوک به دسته 4 BI-RADS سرطان پستان طبقه‌بندی مناسبی را انجام دهند. در نهایت، این فرایند سبب افزایش بقای افراد مبتلا و کاهش درمان غیرضروری افراد مشکوک به این عارضه می‌شود.

امروزه هوش مصنوعی جایگاه ویژه‌ای در حوزه سلامت در خصوص تشخیص بیماری‌های مختلف دارد [۱۷]. از این میان، می‌توان به بیماری‌های بافت پستان اشاره کرد که در حال حاضر پیشرفت‌های چشمگیری در این زمینه توانسته است با استفاده از ویژگی‌های برگرفته از تصاویر افراد مشکوک به این عارضه با یک روش غیرتهاجمی در کوتاه‌ترین زمان مناسب‌ترین تشخیص را پیدا کند [۱۸].

در مطالعات این حوزه سعی شده است با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن تشخیص سرطان پستان با صحت بالا انجام شود [۲۶]. بدین ترتیب کاربرد روش‌های یادگیری ماشین و به‌ویژه یادگیری عمیق در ناحیه‌بندی و طبقه‌بندی توانسته میزان بدخیمی تصاویر ماموگرافی معمولی را بیان کند [۸، ۱۰]. این تلاش‌ها منجر به انجام آزمایشات مختلف یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، به‌ویژه شبکه‌های عصبی کانولوشن در تشخیص بدخیمی ضایعات مشکوک به سرطان تهاجمی و بدخیمی بوده است که نتایج قابل‌قبولی به همراه داشته است [۲۲]. اما پس از ظهور ماموگرافی طیفی با کنتراست که ارزش تشخیصی مشابه [م‌آر‌آی] را در تشخیص سرطان پستان دارد، اعمال تکنیک‌های

که روش‌های سنتی یادگیری ماشین برای استخراج ویژگی، الگوریتم‌های ناحیه‌بندی خودکار و طبقه‌بندهای یادگیری عمیق استفاده شود تا با این کار یک سیستم خودکار با جامعه آماری قابل توجه و روش‌های مختلف یادگیری ماشین را پوشش دهد.

### نتیجه‌گیری

پیشرفت‌های اخیر در حوزه هوش مصنوعی سبب شده تا بسیاری از مشکلات حوزه سلامت برطرف شود. این توانایی الگوریتم‌های هوش مصنوعی موجب تشخیص زودهنگام و درمان به‌موقع افراد مبتلا به عارضه شده است. همچنین مدل‌های رادیومیک تصویربرداری قابلیت تشخیص‌های بصری را برای متخصصین فراهم آورده است.

ترکیب مدل‌های رادیومیک و الگوریتم‌های هوش مصنوعی توانسته است بسیاری از مشکلات تشخیصی را برطرف کند و این امر سبب شده است که روش درمانی و تشخیص مناسبی از فرد مشکوک به عارضه انجام شود و در نتیجه موجب افزایش بقای فرد، کاهش هزینه‌های درمان و جلوگیری از مراحل درمان غیرضروری می‌شود. امروزه این مدل ترکیبی به‌عنوان ابزار مطمئن و با کارایی بالا توانسته است در تشخیص و درمان بیماری مفید و مؤثر واقع شود.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این مطالعه تمام اصول و ملاحظات اخلاقی مرتبط با چارچوب اخلاق پژوهشی و ضوابط مجله رعایت شده است.

#### حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است و با هزینه شخصی انجام شده است.

#### مشارکت‌نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در تهیه این مقاله مشارکت داشتند.

#### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

## References

- [1] Mann L, Ranjan Nayak S. Recent advances on mammogram imaging for breast cancer analysis: A technological review. In: Das AK, Nayak J, Naik B, Dutta S, Pelusi D, editors. *Computational Intelligence in Pattern Recognition*. Berlin: Springer; 2022. [DOI:10.1007/978-981-16-2543-5\_46]
- [2] Altameem A, Mahanty C, Poonia RC, Saudagar AKJ, Kumar R. Breast cancer detection in mammography images using deep convolutional neural networks and fuzzy ensemble modeling techniques. *Diagnostics*. 2022; 12(8):1812. [DOI:10.3390/diagnostics12081812] [PMID] [PMCID]
- [3] National Cancer Institute. Cancer statistics [Internet]. 2021 [Updated 2021 December 15]. Available from: [Link]
- [4] Hawkes N. Cancer survival data emphasise importance of early diagnosis. *BMJ*. 2019; 364:l408. [DOI:10.1136/bmj.l408]
- [5] Tagliafico AS, Bignotti B, Rossi F, Signori A, Sormani MP, Valdora F, et al. Diagnostic performance of contrast-enhanced spectral mammography: Systematic review and meta-analysis. *Breast*. 2016; 28:13-9. [DOI:10.1016/j.breast.2016.04.008] [PMID]
- [6] Daniaux M, De Zordo T, Santner W, Amort B, Koppelstätter F, Jaschke W, et al. Dual-energy contrast-enhanced spectral mammography (CESM). *Arch Gynecol Obstet*. 2015; 292(4):739-47. [DOI:10.1007/s00404-015-3693-2] [PMID]
- [7] Heck L, Dierolf M, Jud C, Eggel E, Sellerer T, Mechlem K, et al. Contrast-enhanced spectral mammography with a compact synchrotron source. *Plos One*. 2019; 14(10):e0222816. [DOI:10.1371/journal.pone.0222816] [PMID] [PMCID]
- [8] Cheung YC, Lin YC, Wan YL, Yeow KM, Huang PC, Lo YF, et al. Diagnostic performance of dual-energy contrast-enhanced subtracted mammography in dense breasts compared to mammography alone: Interobserver blind-reading analysis. *Eur Radiol*. 2014; 24(10):2394-403. [DOI:10.1007/s00330-014-3271-1] [PMID]
- [9] Fallenberg EM, Schmitzberger FF, Amer H, Ingold-Heppner B, Balleyguier C, Diekmann F, et al. Contrast-enhanced spectral mammography vs. mammography and MRI - clinical performance in a multi-reader evaluation. *Eur Radiol*. 2017; 27(7):2752-64. [DOI:10.1007/s00330-016-4650-6] [PMID]
- [10] Mercado CL. BI-RADS update. *Radiol Clin North Am*. 2014; 52(3):481-7. [DOI:10.1016/j.rcl.2014.02.008] [PMID]
- [11] Zhang R, Wei W, Li R, Li J, Zhou Z, Ma M, et al. An MRI-based radiomics model for predicting the benignity and malignancy of BI-RADS 4 breast lesions. *Front Oncol*. 2022; 11:733260. [DOI:10.3389/fonc.2021.733260] [PMID] [PMCID]
- [12] Danala G, Patel B, Aghaei F, Heidari M, Li J, Wu T, et al. Classification of breast masses using a computer-aided diagnosis scheme of contrast enhanced digital mammograms. *Ann Biomed Eng*. 2018; 46(9):1419-31. [DOI:10.1007/s10439-018-2044-4] [PMID] [PMCID]
- [13] Lopez-Almazan H, Javier Pérez-Benito F, Larroza A, Perez-Cortes JC, Pollan M, Perez-Gomez B, et al. A deep learning framework to classify breast density with noisy labels regularization. *Comput Methods Programs Biomed*. 2022; 221:106885. [DOI:10.1016/j.cmpb.2022.106885] [PMID]
- [14] Elezaby M, Li G, Bhargavan-Chatfield M, Burnside ES, DeMartini WB. ACR BI-RADS assessment category 4 subdivisions in diagnostic mammography: Utilization and outcomes in the national mammography database. *Radiology*. 2018; 287(2):416-22. [DOI:10.1148/radiol.2017170770] [PMID] [PMCID]
- [15] Kuhl CK. Abbreviated magnetic resonance imaging (MRI) for breast cancer screening: Rationale, concept, and transfer to clinical practice. *Annu Rev Med*. 2019; 70:501-19. [DOI:10.1146/annurev-med-121417-100403] [PMID]
- [16] Hamidinekoo A, Denton E, Rampun A, Honnor K, Zwiggelaar R. Deep learning in mammography and breast histology, an overview and future trends. *Med Image Anal*. 2018; 47:45-67. [DOI:10.1016/j.media.2018.03.006] [PMID]
- [17] Zheng X, Yao Z, Huang Y, Yu Y, Wang Y, Liu Y, et al. Deep learning radiomics can predict axillary lymph node status in early-stage breast cancer. *Nat Commun*. 2020; 11(1):1236. [DOI:10.1038/s41467-020-15027-z] [PMID] [PMCID]
- [18] Hinton GE, Srivastava N, Krizhevsky A, Sutskever I, Salakhutdinov RR. Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. *arXiv*. 2012. [Unpublished]. [DOI:10.48550/arXiv.1207.0580]
- [19] Simonyan K, Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv*. 2014. [Unpublished]. [DOI:10.48550/arXiv.1409.1556]
- [20] Ehteshami Bejnordi B, Mullooly M, Pfeiffer RM, Fan S, Vacek PM, Weaver DL, et al. Using deep convolutional neural networks to identify and classify tumor-associated stroma in diagnostic breast biopsies. *Mod Pathol*. 2018; 31(10):1502-12. [DOI:10.1038/s41379-018-0073-z] [PMID] [PMCID]
- [21] Liu H, Chen Y, Zhang Y, Wang L, Luo R, Wu H, et al. A deep learning model integrating mammography and clinical factors facilitates the malignancy prediction of BI-RADS 4 microcalcifications in breast cancer screening. *Eur Radiol*. 2021; 31(8):5902-12. [DOI:10.1007/s00330-020-07659-y] [PMID]
- [22] Long R, Cao K, Cao M, Li XT, Gao F, Zhang FD, et al. Improving the diagnostic accuracy of breast bi-rads 4 microcalcification-only lesions using contrast-enhanced mammography. *Clin Breast Cancer*. 2021; 21(3):256-62. [DOI:10.1016/j.clbc.2020.10.011] [PMID]
- [23] Song J, Zheng Y, Zakir Ullah M, Wang J, Jiang Y, Xu C, et al. Multiview multimodal network for breast cancer diagnosis in contrast-enhanced spectral mammography images. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2021; 16(6):979-88. [DOI:10.1007/s11548-021-02391-4] [PMID]
- [24] Patel BK, Ranjbar S, Wu T, Pockaj BA, Li J, Zhang N, et al. Computer-aided diagnosis of contrast-enhanced spectral mammography: A feasibility study. *Eur J Radiol*. 2018; 98:207-13. [DOI:10.1016/j.ejrad.2017.11.024] [PMID]
- [25] Fanizzi A, Losurdo L, Basile TMA, Bellotti R, Bottigli U, Delogu P, et al. Fully automated support system for diagnosis of breast cancer in contrast-enhanced spectral mammography images. *J Clin Med*. 2019; 8(6):891. [DOI:10.3390/jcm8060891] [PMID] [PMCID]
- [26] Dominique C, Callonnec F, Berghian A, Defta D, Vera P, Modzelewski R, et al. Deep learning analysis of contrast-enhanced

- spectral mammography to determine histoprognostic factors of malignant breast tumours. *Eur Radiol.* 2022; 32(7):4834-44. [DOI:10.1007/s00330-022-08538-4] [PMID] [PMCID]
- [27] Gao F, Wu T, Li J, Zheng B, Ruan L, Shang D, et al. SD-CNN: A shallow-deep CNN for improved breast cancer diagnosis. *Comput Med Imaging Graph.* 2018; 70:53-62. [DOI:10.1016/j.compmedimag.2018.09.004] [PMID]
- [28] Khaled R, Helal M, Alfarghaly O, Mokhtar O, Elkorany A, El Kassas H, et al. Categorized contrast enhanced mammography dataset for diagnostic and artificial intelligence research. *Sci Data.* 2022; 9(1):122. [DOI:10.1038/s41597-022-01238-0] [PMID] [PMCID]
- [29] Khaled R, Helal M, Alfarghaly O, Mokhtar O, Elkorany A, El Kassas H, et al. Categorized digital database for low energy and subtracted contrast enhanced spectral mammography images (CDD-CESM). *Cancer Imaging Arch.* 2021. [DOI:10.7937/29kw-ae92]
- [30] Perek S, Kiryati N, Zimmerman-Moreno G, Sklair-Levy M, Konen E, Mayer A. Classification of contrast-enhanced spectral mammography (CESM) images. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2019; 14(2):249-57. [DOI:10.1007/s11548-018-1876-6] [PMID]