

Prediction of Received Heart and Lung Radiation Dose in Breast Cancer Patients Undergoing Radiation Therapy Using Supervised Machine Learning

Pooria Afsharifard¹, Mohammad Bagher Dowlatshahi², Mahshid Abbasi³, Abbas Rezaeian⁴, Morteza Amraei^{1*}

¹Department of Health Information Technology, School of Allied Medical Sciences, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

²Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

³Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

⁴Department of Radiology Technology, School of Allied Medical Sciences, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

Received: 2024/05/13
Accepted: 2024/09/26

*Corresponding Author:
morteza.amraei@yahoo.com

Ethics Approval:
IR.LUMS.REC.1402.174

Abstract

Introduction: The heart and lungs are among the organs at risk of receiving additional radiation during radiation therapy of breast cancer patients. In recent years, artificial intelligence and machine learning have brought about significant advancements in the field of medicine. This study aimed to predict the radiation dose received by the heart and lungs in breast cancer patients undergoing radiotherapy, taking into account the anatomical characteristics of these organs through the application of machine learning techniques.

Methods: This applied study was conducted by reviewing medical records in 2023 and extracting anatomical features present in chest computed tomography scans of 210 female patients with left breast cancer who had undergone lumpectomy surgery. Patient data were extracted from the Picture Archiving and Communication System, and multi-label classification algorithms were employed to predict the radiation dose received by the heart and lungs. The performance of the algorithms was further evaluated using metrics such as accuracy, precision, recall, F1-Score, and Hamming loss.

Results: Based on the performance evaluation results of 7 multi-label classification algorithms and considering 16 anatomical variables influencing the amount of radiation received by the heart and lungs, the Random Forest (RF) algorithm achieved the best performance among other algorithms with an accuracy of 41.9%, precision of 73.3%, recall of 70.6%, F1 score of 73.1%, and Hamming loss of 27.4%.

Conclusion: The use of machine learning algorithms and considering anatomical features make it possible to identify suitable patients for 3D wedge pair radiotherapy. More advanced techniques, such as Intensity-Modulated Radiation Therapy or Deep Inspiration Breath Hold, can be recommended for other patients at risk of receiving high doses of radiation to the heart and lungs.

Keywords

Breast Neoplasm, Heart, Lung, Machine learning, Radiation Dose



Introduction

Today, all types of cancers are among the leading causes of death worldwide, with breast cancer being the primary cause of death in women (1). There are various treatment methods for controlling and treating this disease, such as surgery, chemotherapy, radiation therapy, hormone therapy, and targeted therapy. Radiation therapy plays an important role in the treatment process of cancer patients, including those with breast cancer, and is widely performed after lumpectomy surgery to prevent recurrence and increase the patient's lifespan. In our country, one of the common methods of radiation therapy is the 3D technique, specifically using tangent fields along with a 3D wedge pair (2, 3). In general, the goal of radiation therapy for patients with breast cancer is to achieve local control of the existing tumor in the breast with minimal side effects; for this reason, radiation therapy requires careful and systematic planning (4). The organs at risk during the radiotherapy of breast cancer patients involve the heart and lungs. The exposure of these two vital organs, which are located in the chest area, to excessive and abnormal radiation can lead to various complications, such as pneumonitis, pulmonary fibrosis, myocardial fibrosis, cardiac conduction disorders, and congestive heart failure (2, 4). Even after many years, the existing knowledge regarding the amount of radiation received by various organs of the body during radiotherapy remains inaccurate. In the 3D method, efforts are made to maximize the radiation received by the target organ while minimizing the radiation reaching other organs; however, reports still indicate complications arising from the exposure of additional radiation to other organs during radiotherapy (4). Given the lack of a prediction system based on machine learning and the uncertainty regarding the anatomical features affecting the radiation dose received by the heart and lungs of breast cancer patients during 3D radiotherapy, this study aims to introduce the

anatomical variables influencing the radiation dose received by the heart and lungs. Additionally, the study seeks to predict the radiation dose received by the heart and lungs of patients undergoing radiotherapy for breast cancer using supervised machine learning and multi-label classification algorithms before the radiotherapy treatment planning process.

Materials and Methods

This applied research study reviewed all medical records from the Gregorian calendar year 2023 (1402 in the Iranian/Persian calendar), examining anatomical features identified in thoracic computed tomography scans of 210 women diagnosed with left-sided breast carcinoma who had undergone breast-conserving surgery (lumpectomy). Samples from patients referred to the radiation therapy center entered the study with data privacy and confidentiality. The study's predictive features (16 features) were measured using the assessment tools integrated into the Picture Archiving and Communication System (Table 1).

Four features affecting the amount of radiation received by the heart and lungs of patients undergoing radiation therapy were predicted by the 16 mentioned features.

The target features (4 features) were converted from quantitative to binary states in alignment with scientific standards and permissible radiation thresholds for the heart and lung organs during radiotherapy.

Seven common machine learning algorithms, including decision trees, support vector machines, artificial neural networks, random forests, logistic regression, K-nearest neighbors, and XGBoost, were employed to predict the radiation dose received by the heart and lungs in breast cancer patients undergoing radiotherapy, using the specified dataset. Multi-label classification metrics, including accuracy, precision, recall, F1-score, and hamming loss, were applied to assess the performance and efficiency of these algorithms.

Table 1: Attributes Description of the Dataset

-	Attribute	Data Type
1	Age	Decimal
2	Body Mass Index	Decimal
3	Tumor Site	Nominal
4	Breast Width (BW)	Decimal
5	Breast Thickness (BTh)	Decimal
6	Breast Length (BL)	Decimal
7	Midplane Lung Width (MLW)	Decimal
8	Midplane Lung Distance (MLD)	Decimal
9	Central Lung Distance (CLD)	Decimal
10	Central Lung Length (CLL)	Decimal
11	Contralateral Lung Distance (CoLD)	Decimal
12	Contralateral Lung Maximum Distance (CoLM)	Decimal
13	Minimum Breast Distance (MBD)	Decimal
14	Breast-to-Breast Distance (BBD)	Decimal
15	Maximum Heart Distance (MHD)	Decimal
16	Maximum Heart Length (MHL)	Decimal
17	Target 1 = V_{20} (Lung)	Nominal
18	Target 2 = D_{mean} (Lung)	Nominal
19	Target 3 = V_{30} (Heart)	Nominal
20	Target 4 = D_{mean} (Heart)	Nominal

Results

The mean age of 210 patients with breast cancer after surgery used for this study was 47.90 ± 10.11 years. The results of implementing

the seven algorithms, after performing cross-validation using the K-Fold method ($K=10$), are shown in Table 2, based on the performance evaluation criteria for classification issues.

Table 2: Best Evaluation Results of Each Algorithm (10-Fold Cross-validation)

-	Algorithm	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Hamming Loss
1	Decision Tree (DT)	39.1%	72.7%	72.7%	69.7%	28.8%
2	Logistic Regression (LR)	33.3%	72.6%	69.2%	70.3%	28.3%
3	Random Forest (RF)	41.9%	73.3%	70.6%	71.3%	27.4%
4	Artificial Neural Network (ANN)	34.4%	69.3%	68.3%	67.7%	31.3%
5	Support Vector Machine (SVM)	19.3%	64%	63.5%	61.1%	37.4%
6	Extreme Gradient Boosting (XGB)	39.5%	71.1%	69.8%	69.9%	29%
7	K-Nearest Neighbor (KNN)	33.6%	67.2%	72.2%	69%	31.4%

Discussion

Kamizaki et al. compared the performance of 4 algorithms for predicting the radiation dose received by the heart during radiotherapy using data from 577 breast cancer patients. They concluded that the side of the affected breast (left or right) had a high correlation with the amount of radiation received by the heart. The DNN algorithm also had the best performance among the other three algorithms (5). Likewise, Al-Hammad et al. compared the results of implementing 11 algorithms to predict the average radiation dose reaching the heart of patients with left breast cancer using 207 female patients with left breast cancer. In this study, the DNN algorithm had the best performance

among other algorithms. The body mass index of the patients had a moderate correlation with the mean heart dose (6). In the present study, using more comprehensive anatomical features, lung radiation was predicted with a multi-label classification approach in addition to predicting heart radiation. The best performance was related to the RF algorithm, with an accuracy of 41.9%, precision of 73.3%, recall of 70.6%, F1 score of 71.3%, and Hamming loss of 27.4%. Saadatmand et al. also conducted a study using 52 patients with breast cancer to predict skin toxicity in breast cancer patients after radiotherapy using 7 machine learning algorithms. The Extra Trees algorithm achieved the best performance with an accuracy of 70%,

precision of 74%, and recall of 72% (7). In the present study, considering the anatomical variables, the focus was on predicting the radiation received by the heart and lungs of patients with breast cancer. The RF algorithm achieved the best performance with an accuracy of 41.9%, a precision of 73.3%, and a recall of 70.6%.

Mette et al. also emphasized in their study that the heart and lungs were two vital organs during radiation therapy for breast cancer patients. They concluded that it is essential to provide a treatment plan specific to each patient, taking into account the characteristics of the patient's needs (8). In the present study, the algorithm of machine learning could identify appropriate patients to perform the 3D wedge pair radiation therapy before the treatment planning by physicians and medical physics staff.

References

1. Mahdavi N, Pakzad R, Ghoncheh M, Pakzad I, Moudi A, Salehiniya H. Spatial analysis of breast cancer incidence in Iran. *Asian Pacific J Cancer Prev*. 2016;17:59–64.
2. Yazdani S, Yarahmadi M. Evaluation of dose distributions in PTV and organs at risk in left-sided breast cancer, treated by tangential wedged technique in Tohid radiotherapy center in Sanandaj. *Sci J Kurdistan Univ Med Sci*. 2018;22(6):1–10.
3. Yu H, Chen F, Lam KO, Yang L, Wang Y, Jin JY, et al. Potential Determinants for Radiation-Induced Lymphopenia in Patients With Breast Cancer Using Interpretable Machine Learning Approach. *Front Immunol*. 2022;13(June):1–13.
4. Emami B, Lyman J, Brown A, Coia L, Goitein M, Munzenrider J, et al. Tolerance of normal tissue to irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1991;21(1):109–22.
5. Kamizaki R, Kuroda M, Al-Hammad W, Tekiki N, Ishizaka H, Kuroda K, et al. Evaluation of the accuracy of heart dose prediction by machine learning for selecting patients not requiring deep inspiration breath-hold radiotherapy after breast cancer surgery. *Exp Ther Med*. 2023;26(5):1–8.
6. Al-Hammad WE, Kuroda M, Kamizaki R, Tekiki N, Ishizaka H, Kuroda K, et al. Mean Heart Dose Prediction Using Parameters of Single-Slice Computed Tomography and Body Mass Index: Machine Learning Approach for Radiotherapy of Left-Sided Breast Cancer of Asian Patients. *Curr Oncol*. 2023;30(8):7412–24.
7. Saadatmand P, Mahdavi SR, Nikoofar A, Jazaeri SZ, Ramandi FL, Esmaili G, et al. A dosimetrics model for prediction of radiation-induced acute skin toxicity in breast cancer patients: machine learning-based study for a closed bore linac. *Eur J Med Res [Internet]*. 2024;29(1):282. Available from: <https://doi.org/10.1186/s40001-024-01855-y>
8. Nielsen MH, Berg M, Pedersen AN, Andersen K, Glavicic V, Jakobsen EH, et al. Delineation of target volumes and organs at risk in adjuvant radiotherapy of early breast cancer: National guidelines and contouring atlas by the Danish Breast Cancer Cooperative Group. *Acta Oncol (Madr)*. 2013;52(4):703–10.

Conclusion

Our study showed that anatomical variables could be used to predict the amount of radiation received by the heart and lungs of breast cancer patients undergoing radiation therapy. The results indicated that the proposed algorithms could perform satisfactorily in predicting the radiation received by the heart and lungs in patients with breast cancer. By utilizing machine learning algorithms, it is possible to select patients who may not require more advanced techniques, such as Intensity-Modulated Radiation Therapy and Deep Inspiration Breath Hold, before spending time on treatment planning. This leads to savings in cost, energy, and time, especially in countries with limited advanced radiotherapy facilities.

پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه در بیماران سرطان پستان تحت پرتودرمانی با استفاده از یادگیری ماشین نظارت شده

پوریا افشاری فرد^۱، محمدباقر دولتشاهی^۲، مهشید عباسی^۳، عباس رضائیان^۴، مرتضی امرائی^{۵*}

^۱گروه فناوری اطلاعات سلامت، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

^۲گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

^۳گروه رادیوانکولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

^۴گروه تکنولوژی پرتوشناسی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

چکیده

مقدمه: قلب و ریه از جمله ارگان‌های در معرض خطر دریافت اشعه اضافی در طول پرتودرمانی بیماران مبتلا به سرطان پستان هستند. در سال‌های اخیر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در علم پزشکی تحولات زیادی به وجود آورده است؛ هدف از این مطالعه پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه با در نظر گرفتن ویژگی‌های آناتومیکی برای بیماران سرطان پستان تحت پرتودرمانی با استفاده از یادگیری ماشین است.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵

* نویسنده مسئول:

morteza.amraei@yahoo.com

روش بررسی: این مطالعه کاربردی از طریق بررسی پرونده‌های پزشکی در سال ۱۴۰۲ و با استخراج ویژگی‌های آناتومیکی موجود در CT-Scan قفسه سینه ۲۱۰ بیمار زن مبتلا به سرطان پستان چپ بعد از عمل جراحی لامپکتومی انجام شد. اطلاعات بیماران از سیستم ذخیره و انتقال تصاویر (PACS) استخراج شد و برای پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه از الگوریتم‌های دسته‌بندی چند برچسبه استفاده شد. همچنین برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها از Accuracy, Hamming loss, F1-Score, Precision, Recall استفاده شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج ارزیابی عملکرد ۷ الگوریتم دسته‌بندی چند برچسبه و با در نظر گرفتن ۱۶ متغیر آناتومیکی تاثیرگذار بر میزان اشعه دریافتی قلب و ریه، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با صحت ۰/۴۱/۹، دقت ۰/۷۳/۳، پوشش ۰/۷۰/۶، امتیاز F1 ۰/۷۱/۳ و زیان همینگ ۰/۲۷/۴ بهترین عملکرد را بین سایر الگوریتم‌ها داشته است.

نتیجه‌گیری: با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و با در نظر گرفتن ویژگی‌های آناتومیکی می‌توان بیماران مناسب برای پرتودرمانی 3D wedge pair را شناسایی کرده و برای سایر بیماران که در خطر دریافت دوز بالای اشعه قلب و ریه هستند تکنیک‌های پیشرفته‌تر مانند IMRT (پرتودرمانی با شدت مدوله شده) یا DIBH (پرتودرمانی با تکنیک کنترل تنفس) و... را پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: پرتودرمانی، ریه، سرطان پستان، قلب، یادگیری ماشین

مقدمه

سرطان پستان اولین بار در حدود ۱۶۰۰ سال قبل از میلاد در اطراف مصر کشف شد (۱). بیماری سرطان با رشد و گسترش سلول‌های غیرطبیعی در بافت‌های مختلف بدن ایجاد می‌شود (۲). سرطان پستان دومین عامل مرگ و میر در سطح جهان است که ۲۷٪ از کل موارد ابتلا سرطان‌ها را شامل می‌شود (۳). بر اساس آمار مرکز تحقیقات سرطان ایران سن ابتلا به سرطان در زنان ایرانی حدود ۱۰ سال کمتر از متوسط جهانی است (۴-۶). از جمله عوامل خطر ابتلا به سرطان پستان می‌توان به وراثت، سن، چاقی، مصرف الکل و تغییرات استروژن اشاره کرد. از این میان عوامل ژنتیکی و وراثت قوی‌ترین عوامل خطر برای ابتلا به سرطان پستان هستند (۴). روش‌های درمانی مختلفی برای کنترل و درمان این بیماری از قبیل عمل جراحی، شیمی درمانی، پرتودرمانی، هورمون درمانی و درمان هدفمند وجود دارد. پرتودرمانی در فرآیند درمان بیماران سرطانی از جمله بیماران مبتلا به سرطان پستان نقش مهمی دارد و به طور گسترده بعد از عمل جراحی لامپکتومی^۱ به منظور پیشگیری از عود مجدد و افزایش طول عمر بیمار انجام می‌شود. تکنیک‌های مختلفی برای انجام پرتودرمانی بیماران مبتلا به سرطان پستان وجود دارد که می‌توان به تکنیک دوبعدی^۲ (2D)، سه‌بعدی^۳ (3D) (شامل: 3D field، in field, 3D Wedge Pair)، پرتودرمانی با شدت مدوله شده^۴ (IMRT) و حبس تنفس عمیق^۵ (DIBH) اشاره کرد؛ در کشور ما یکی از روش‌های معمول پرتودرمانی، تکنیک سه‌بعدی (3D) و به صورت فیلد تانژانت همراه با وج (3D Wedge Pair) است (۵،۶). به طور کلی هدف از انجام پرتودرمانی برای بیماران مبتلا به سرطان پستان کنترل موضعی تومور موجود در پستان با حداقل عارضه است؛ به همین منظور انجام پرتودرمانی مستلزم برنامه‌ریزی دقیق و منظم است (۷،۸). انجام پرتودرمانی در مدیریت بیماری سرطان پستان، افزایش طول عمر بیماران و همچنین جلوگیری از عود مجدد بیماری بسیار مؤثر است (۹-۱۴). از اندام‌های متأثر از اشعه در هنگام پرتودرمانی بیماران مبتلا به سرطان پستان می‌توان به قلب و ریه اشاره کرد. رسیدن اشعه اضافی و بیش از حد معمول به دو ارگان مهم و حیاتی

بدن یعنی قلب و ریه که در ناحیه قفسه سینه قرار دارند، می‌تواند عوارضی مانند پنومونیت، فیبروز ریوی، فیبروز میوکارد، اختلالات هدایتی قلب و نارسایی احتقانی قلب ایجاد کند (۵،۷). میزان اشعه دریافتی قلب و ریه در هنگام پرتودرمانی بیماران سرطان پستان عامل مؤثر در بروز عوارض قلبی و ریوی بعد از انجام پرتودرمانی است که می‌توان با استفاده از تکنیک‌های پرتودرمانی جدیدتر مانند IMRT میزان اشعه کنترل شده‌تری را به قلب و ریه به‌عنوان ارگان‌های سالم در معرض اشعه رساند (۱۵،۱۴). همچنین برای کاهش اشعه دریافتی قلب بیماران در طول پرتودرمانی سرطان پستان می‌توان از تکنیک حبس تنفس عمیق (DIBH) استفاده کرد. در این روش از بیمار دو سی-تی اسکن طراحی درمان گرفته می‌شود (حالت تنفس عادی و حالت تنفس عمیق) و اطلاعات سی تی اسکن به سیستم طراحی درمان انتقال داده می‌شود. همچنین از بیمار خواسته می‌شود که در هنگام پرتودرمانی نفس عمیق کشیده و نفس خود را حبس کند که این کار باعث حداکثر شدن فاصله قلب با ناحیه تحت درمان می‌شود که این امر باعث کاهش دریافت اشعه توسط قلب می‌شود که این کار مستلزم آموزش بیمار است و نیازمند ابزاری است که تنفس بیمار را در حین درمان پایش کند (۱۶،۱۷).

در برخی مطالعات اشاره شده است که ظرفیت‌های ریوی بیماران تحت پرتودرمانی پستان به طور معناداری نسبت به قبل از پرتودرمانی کاهش یافته است (۱۸). در مطالعه دیگری نیز اشاره شده است خطر حوادث قلبی و عروقی در بیماران مبتلا به سرطان پستان چپ می‌تواند ۲/۲ برابر بیشتر از بیماران مبتلا به سرطان پستان راست باشد (۱۹). همچنین در مطالعه‌ای دیگر نتیجه‌گیری شد که انجام پرتودرمانی با روش‌های جدیدتر مثل IMRT باعث توزیع دوز بهتر و در نتیجه کاهش عوارض جانبی بعدی بر ارگان‌های قلب و ریه می‌شود (۲۰).

متأسفانه بعد از گذشت سالیان دانش موجود در زمینه میزان اشعه دریافتی ارگان‌های مختلف بدن در حین پرتودرمانی دقیق نیست. در روش 3D سعی می‌شود اشعه دریافتی ارگان هدف پرتودرمانی حداکثر و همچنین اشعه

۴. Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)

۵. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH)

۱. Lumpectomy

۲. Two Dimensional (2D)

۳. Three Dimensional (3D)

دسته‌بندی چند برچسبه^۴ قبل از پروسه طراحی درمانی پرتودرمانی می‌باشد. درنهایت نیز با مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مختلف بهترین و دقیق‌ترین الگوریتم برای این پیش‌بینی معرفی می‌شود.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از نوع کاربردی و از طریق بررسی پرونده‌های پزشکی در سال ۱۴۰۲ (۲۰۲۳-۲۰۲۴ میلادی) انجام شد. داده‌های این مطالعه از مرکز پرتودرمانی باران شهرستان خرم‌آباد جمع‌آوری شد. مجموعه داده استفاده شده در پژوهش حاضر، شامل ۲۱۰ بیمار زن مبتلا به سرطان پستان سمت چپ بعد از عمل جراحی لامپکتومی^۵ است که اطلاعات آن‌ها از سیستم PACS^۶ موجود در مرکز پرتودرمانی بدست آمد. بیماران در این مرکز پرتودرمانی به روش Whole breast radiation therapy + 3D wedge pair technique با ۵۰ گری اشعه + ۱۰ گری اشعه اضافی به عنوان بوست^۷ تحت پرتودرمانی قرار می‌گیرند که در این مطالعه میزان اشعه بوست در نظر گرفته نشده است. از کلیه بیماران توسط دستگاه سی‌تی سیمولاتور سی‌تی اسکن در پوزیشن درمانی و با برش‌های ۳ میلی‌متری انجام می‌گیرد و اطلاعات به سیستم طراحی درمان (TiGRT version 1.0.8.545 Lina Tech, Sunnyvale, CA, USA) منتقل می‌شود. سپس توسط پزشک متخصص رادیولوژیست و براساس گایدلاین RTOG و مطابق با (Breast Cancer Atlas for Radiationtherapy Planing) ارگان‌های هدف که شامل پستان، قفسه سینه و گره‌های لنفاوی ناحیه‌ای است با دقت کانتور شده و همچنین ارگان‌های در معرض خطر (قلب و ریه) نیز مطابق با (Delineating Organs at Risk in Radiation Therapy) به دقت کانتور می‌شوند (در جدول ۱ نحوه کانتورینگ نشان داده شده است). سپس دو فرد متخصص فیزیک پزشکی کار طراحی درمان با تکنیک تانژانت روبروی هم که برای خارج کردن قلب و ریه زاویه داده شده است و به روش 3D conformal wedge pair (که وج‌های دستگاه داخلی و داینامیک بوده و قابلیت تنظیم از ۰ تا ۶۰ درجه را دارد) و پاشنه وج‌ها به سمت خارج و راس آن‌ها به سمت داخل می‌باشد، جهت پوشش کامل قسمت

رسیده به سایر ارگان‌ها حداقل باشد؛ ولی همچنان گزارش-ها حاکی از عوارض ناشی از رسیدن اشعه اضافی به سایر ارگان‌ها طی پرتودرمانی است (۷).

تکنیک‌های یادگیری ماشین^۱ به‌عنوان یکی از فناوری‌های جدید، در دو دهه گذشته پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند. یادگیری ماشین شاخه‌ای از هوش مصنوعی^۲ است که می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر برای توسعه نرم‌افزارها و همچنین مدیریت بیماری‌ها استفاده شود (۲۱). یادگیری ماشین به گونه‌ای است که به ماشین‌ها (سیستم) قابلیت یادگیری می‌دهد بدون اینکه لازم باشد به‌طور صریح برنامه نویسی شوند و برای کشف قوانین و الگوهای پنهان موجود در مجموعه‌های مختلف داده‌ای کاربرد دارد (۱). Al-Hammad و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده از الگوریتم-های یادگیری ماشین میانگین اشعه دریافتی قلب را با در نظر گرفتن برخی ویژگی‌های آناتومیکی پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم شبکه عصبی عمیق^۳ با میزان صحت ۷۱ درصد و (AUC=81.8) بهترین عملکرد را در بین سایر الگوریتم‌ها برای پیش‌بینی میانگین اشعه دریافتی قلب را داشت (۲۲). همچنین KAMIZAKI و همکاران در مطالعه دیگری میانگین اشعه دریافتی قلب بیماران مبتلا به سرطان پستان را بعد از جراحی با در نظر گرفتن متغیرهایی از قبیل قد، وزن، BMI، سن و غیره با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم‌های DNN و Extreme gradient Boosting به ترتیب با میزان صحت ۸۸٪ و ۸۱٪ بهترین عملکرد را در بین سایر الگوریتم‌های به کار برده شده برای پیش‌بینی میانگین اشعه دریافتی قلب داشتند (۲۳).

با توجه به نبود سیستم پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری ماشین و همچنین نامشخص بودن ویژگی‌های آناتومیکی مؤثر بر میزان اشعه دریافتی قلب و ریه بیماران مبتلا به سرطان پستان در طول پرتودرمانی به روش 3D، هدف از این مطالعه ضمن معرفی متغیرهای آناتومیکی تأثیرگذار بر میزان اشعه دریافتی قلب و ریه، پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه بیماران تحت پرتودرمانی سرطان پستان با استفاده از یادگیری ماشین نظارت شده و الگوریتم‌های

^۵ . Lumpectomy

^۶ . Picture Archiving and Communication System

^۷ . Boost

^۱ . Machine Learning

^۲ . Artificial Intelligence

^۳ . Deep Neural Network (DNN)

^۴ . Multi-Label Classification

سرطان پستان با استفاده از مرور جامع متون علمی و نظر پزشک متخصص رادیوانکولوژی در نظر گرفته شد. متغیرهای نهایی که حاصل تجمیع نظر پزشک متخصص رادیوانکولوژی و مقالات مرتبط (۲۲-۲۶) هستند در جدول ۲ نشان داده شده است. متغیرهای هدف در ادامه توضیح داده شده‌اند: V20 به حجمی از ریه گفته می‌شود که حداقل ۲۰ گری (Gy) اشعه دریافت می‌کند. V30 به حجمی از قلب گفته می‌شود که حداقل ۳۰ گری (Gy) اشعه دریافت می‌کند. D_{mean} میانگین اشعه رسیده به هر ارگان بدن را می‌گویند (۲۶،۲۵).

عریض‌تر پستان انجام می‌دهند و سپس پلن نهایی پس از روئیت کلیه کات‌های درمانی و پوشش دوز کافی به ارگان‌های هدف و حداقل دوز به ارگان‌های در معرض خطر و با بررسی الگوریتم DVH^۱ و با در نظر گرفتن محدودیت دوز اشعه ارگان‌های سالم^۲ و براساس معیارهای EORTC توسط پزشک رادیوانکولوژیست تأیید می‌گردد. سپس پلن درمانی نهایی به دستگاه پرتودرمانی ELEKTA COMPACT با انرژی 6MV منتقل شده و درمان انجام می‌گیرد. در این مطالعه برای هر بیمار ۱۶ مشخصه (ویژگی) اثرگذار برای پیش‌بینی میزان اشعه دریافتی قلب و ریه بیماران مبتلا به

جدول ۱: نحوه کانتورینگ ارگان‌های مختلف

ارگان	فوقانی	تحتانی	قدامی	خلفی	خارجی	داخلی
پستان	اطلاعات بالینی + ابتدای دنده دوم	اطلاعات بالینی + محلی که سی‌تی‌اسکن پستان تمام می‌شود	پوست	خارج کردن عضله پکتورالیس ^۱ و عضله قفسه سینه و دنده‌ها	اطلاعات بالینی + خط مید اگزیلاری و عضله لاتیسیمس دورسی ^۱	محل اتصال جناغ و دنده‌ها
پستان و دیواره قفسه سینه	اطلاعات بالینی + ابتدای دنده دوم	اطلاعات بالینی + محلی که در سی‌تی‌اسکن پستان تمام می‌شود	پوست	شامل شدن عضله سینه-ای و عضله قفسه سینه و دنده‌ها	اطلاعات بالینی + خط مید اگزیلاری و عضله لاتیسیمس دورسی	محل اتصال جناغ و دنده‌ها
دیواره قفسه سینه	سطح تحتانی سر استخوان ترقوه ^۱	اطلاعات بالینی + محلی که در سی‌تی‌اسکن پستان مقابل تمام می‌شود	پوست	تقاطع دنده و پلور ^۱ و شامل شدن عضله سینه‌ای و عضله قفسه سینه و دنده‌ها	اطلاعات بالینی + خط مید اگزیلاری و خارج کردن عضله لاتیسیمس دورسی	محل اتصال دنده و جناغ
قلب و پریکاردیوم	خط عبوری از قسمت تحتانی تنه ریه چپ	خط عبوری از قسمت فوقانی لوب کبدی چپ	بافت چربی مدیاستن قدامی	مری و آنورت نزولی	پلور مدیاستن و پارانشیم ریه	-
ریه	خط عبوری از قوس خلفی اولین دنده	دیافراگم	قفسه سینه	دیواره دنده‌ای-مهره‌ای	قفسه سینه	عروق بزرگ مدیاستن و حفره-های قلبی

آمد. شکل ۱ نیز طریقه اندازه‌گیری و جایگاه هر متغیر در تصویر سی‌تی‌اسکن قفسه سینه بیماران را نشان می‌دهد. متغیرهای هدف با در نظر گرفتن معیارهای علمی و همچنین میزان اشعه مجاز برای ارگان‌های قلب و با ریه در حین پرتودرمانی از حالت کمی به باینری (دودویی) تبدیل شدند؛ به این صورت بیمارانی که میزان اشعه قلب و ریه آن‌ها از مقدار مشخصی (حد آستانه) بیشتر باشد،

ویژگی‌های پیش‌بینی‌کننده پژوهش حاضر با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری تعبیه شده در سیستم PACS اندازه‌گیری شدند؛ به این صورت که تصویر سی‌تی‌اسکن^۴ قفسه سینه فرد بیمار که دارای کات‌های مختلفی (عکس در اندازه و زاویه‌های مختلف) است توسط پژوهشگران بررسی شد و هر ویژگی پیش‌بینی‌کننده در کات مربوطه استفاده از ابزار مربوطه با تعیین فاصله بین دو نقطه بدست

^۱ . Dose Volume Histogram

^۲ . Dose-Volume- Constraints for organ at risk

^۳ . Gray

^۴ . CT-Scan

آن دسته از بیمارانی که اطلاعات آن‌ها در سیستم PACS ناکامل بود یا برای شرکت در این پژوهش تمایل نداشتند، از مطالعه خارج شدند. همچنین لازم به ذکر است تمام داده‌های استخراج شده از سیستم PACS و یا پرونده کاغذی بیماران به‌طور محرمانه و بدون ذکر اطلاعات هویتی در این مطالعه استفاده شد.

برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های دسته‌بندی چند برچسبه از محیط برنامه‌نویسی Anaconda Navigator و نرم‌افزار Jupyter Notebook استفاده شده است. همچنین برای برنامه‌نویسی الگوریتم‌ها از زبان برنامه‌نویسی پایتون نسخه ۳ بهره گرفته شد.

برای تحلیل داده‌ها، ابتدا پاک‌سازی و یکپارچه‌سازی داده‌ها برای مدیریت مقادیر از دست رفته و داده‌های پرت انجام شد و سپس ۷۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش^۱ و اعتبارسنجی^۲ و همچنین ۳۰ درصد جهت آزمایش^۳ الگوریتم‌ها مورد استفاده قرار گرفت. ۷ الگوریتم پرکاربرد یادگیری ماشین از قبیل درخت تصمیم^۴، ماشین بردار پشتیبان^۵، شبکه عصبی مصنوعی^۶، جنگل تصادفی^۷، رگرسیون لجستیک^۸، K نزدیک‌ترین همسایه^۹ و XGB، برای پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه بیماران سرطان پستان تحت پرتودرمانی، با استفاده از مجموعه داده‌ای ذکر شده، به کار گرفته شد.

در انتها برای ارزیابی عملکرد و کارایی الگوریتم‌ها از معیارهای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های دسته‌بندی چند برچسبه مثل صحت^{۱۰}، دقت^{۱۱}، بازخوانی (پوشش)^{۱۲}، امتیاز F1^{۱۳} و زیان همینگ^{۱۴} استفاده شد. معیار Accuracy نشان‌دهنده نسبت تعداد برچسب‌های پیش‌بینی شده درست به کل برچسب‌های پیش‌بینی شده است. معیار Hamming loss بررسی می‌کند که چند بار یک زوج برچسب نمونه، به اشتباه دسته‌بندی شده است. به این صورت که در مسائل دسته‌بندی چند برچسبه هرچقدر که برچسب‌های پیش‌بینی شده برای هر نمونه برچسب واقعی خود نزدیک‌تر باشد، مقدار این معیار پایین‌تر (کمتر) است. برخلاف دیگر معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های دسته‌بندی

میزان اشعه دریافتی قلب یا ریه آن‌ها در محدوده مجاز نیست و اگر میزان اشعه دریافتی قلب و ریه بیمار از عدد مشخصی (حد آستانه) کمتر باشد اشعه دریافتی قلب و ریه در محدوده مجاز است. آستانه مجاز برای متغیر V20 زیر ۳۰٪ و برای میانگین اشعه رسیده به ریه (D_{Mean}) زیر ۲۰ گری است (۲۷،۷). همچنین آستانه مجاز برای متغیر V30 زیر ۴۶٪ و برای میانگین اشعه رسیده به قلب (D_{Mean}) زیر ۲۶ گری است (۲۸). بر همین اساس در مجموعه داده متغیرهای هدف از حالت عددی و کمی به حالت اسمی و باینری تبدیل شدند. برای بیمارانی که معیار مربوط به قلب و ریه آن‌ها در محدوده مجاز است عدد ۱ استفاده شد و برای بیمارانی که معیار مربوط به قلب و ریه آن‌ها در محدوده مجاز نیست عدد صفر در نظر گرفته شد. از ۲۱۰ نمونه در این مطالعه برای بافت ریه ۷۲ مورد از بیماران متغیر V20 ریه و ۱۱۳ مورد از بیماران متغیر (D_{Mean}) ریه آن‌ها در محدوده مجاز بود (عدد ۱). همچنین برای بافت قلب ۱۱۷ مورد از بیماران ویژگی V30 قلب و ۱۱۵ نفر ویژگی (D_{Mean}) قلب آن‌ها در محدوده مجاز بود (عدد ۱). روش محاسبه مقدار اشعه رسیده به قلب و ریه (متغیرهای هدف) با استفاده از سیستم طراحی درمان و قبل از شروع پرتودرمانی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این تصویر که نمودار توزیع دوز نامیده می‌شود، میزان اشعه دریافتی هر ارگان با توجه به پلن درمانی توسط دستگاه شبیه‌ساز تخمین زده می‌شود. نمودار مربوط به اشعه (دوز) قلب و ریه با رنگ‌های متفاوتی نشان داده می‌شود. (میزان هر کدام از متغیرهای هدف با قراردادن نشانگر ماوس روی نمودار و با تلاقی محور افقی و عمودی نمایش داده می‌شود). هرگاه میزان اشعه قلب و ریه از محدوده مجاز ذکر شده بیشتر باشد؛ بیمار گزینه مناسبی برای استفاده از تکنیک 3D wedge pair برای پرتودرمانی سرطان پستان نیست؛ یا در صورتی که به ناچار از روش 3D wedge pair استفاده می‌شود بایستی بعد از پایان پرتودرمانی، پیگیری‌های قلبی و ریوی انجام شود.

⁹ . K -Nearest Neighbor (KNN)

¹⁰ . Accuracy

¹¹ . Precision

¹² . Recall

¹³ . F1-Score

¹⁴ . Hamming loss

¹ . Train

² . Validation

³ . Test

⁴ . Decision Tree (DT)

⁵ . Support Vector Machine (SVM)

⁶ . Artificial Neural Network (ANN)

⁷ . Random Forest (RF)

⁸ . Logistic Regression (LR)

$$\text{Precision. } P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i \cap Z_i|}{|Z_i|} \quad (2)$$

$$\text{Recall. } R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i \cap Z_i|}{|Y_i|} \quad (3)$$

$$\text{F1. Score. } F1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2|Y_i \cap Z_i|}{|Y_i| + |Z_i|} \quad (4)$$

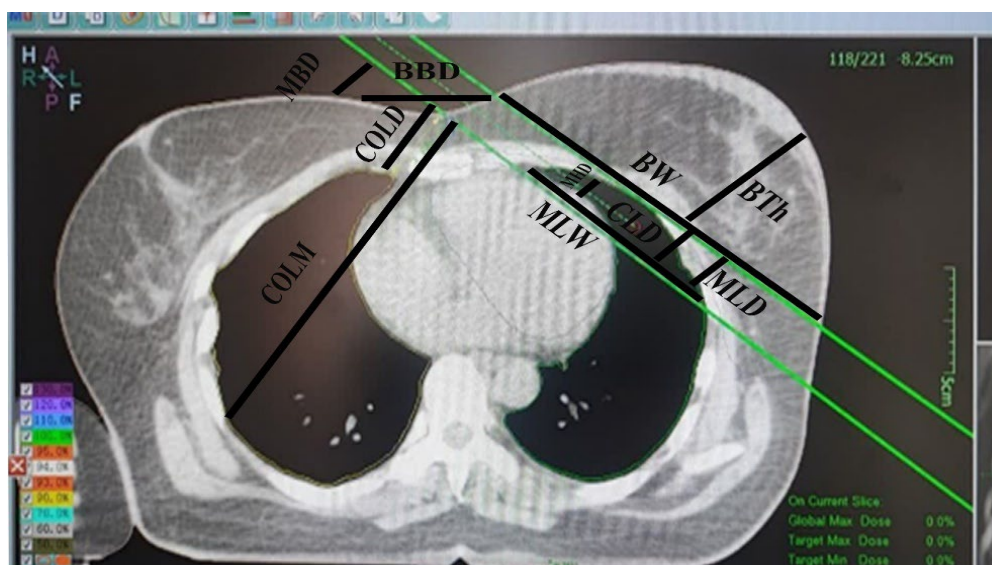
$$\text{Hamming loss} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Y_i \Delta Z_i|}{|L|} \quad (5)$$

این معیار هر چقدر نزدیک به صفر باشد بهتر است و نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل پیاده‌سازی شده است. فرمول محاسبه هریک از معیارهای ارزیابی به شرح زیر است:

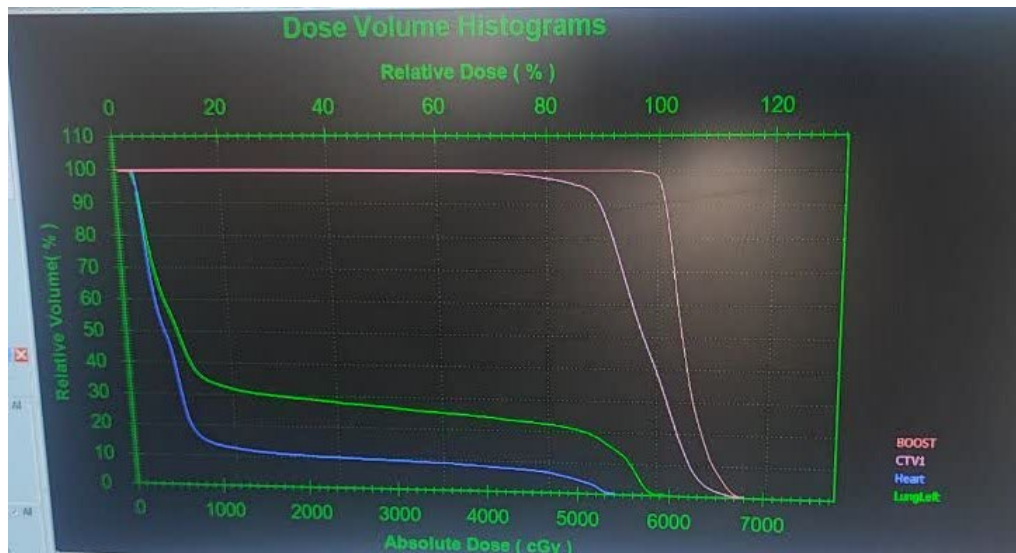
$$\text{Accuracy. } A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i \cap Z_i|}{|Y_i \cup Z_i|} \quad (1)$$

جدول ۲: متغیرهای استفاده شده در مطالعه

ردیف	متغیر	نوع متغیر
۱	سن (Age)	عددی (اعشاری)
۲	شاخص توده بدنی (BMI)	عددی (اعشاری)
۳	محل تومور (Tumor Site)	کیفی (اسمی)
۴	عرض سینه (Breast Width)	عددی (اعشاری)
۵	ضخامت سینه (Breast Thickness)	عددی (اعشاری)
۶	طول سینه (Breast Length)	عددی (اعشاری)
۷	عرض میانی ریه (Midplane Lung Width)	عددی (اعشاری)
۸	فاصله میانی ریه (Midplane Lung Distance)	عددی (اعشاری)
۹	فاصله عمودی تا دیواره قفسه سینه (Central Lung Distance)	عددی (اعشاری)
۱۰	طول مرکزی ریه (Central Lung Length)	عددی (اعشاری)
۱۱	فاصله ریه طرف مقابل (Contralateral Lung Distance)	عددی (اعشاری)
۱۲	حداکثر فاصله ریه طرف مقابل (Contralateral Lung Maximum Distance)	عددی (اعشاری)
۱۳	حداقل فاصله پستان (Minimum Breast Distance)	عددی (اعشاری)
۱۴	فاصله دو پستان از هم (Breast-To-Breast Distance)	عددی (اعشاری)
۱۵	حداکثر فاصله قلب (Maximum Heart Distance)	عددی (اعشاری)
۱۶	حداکثر طول قلب (Maximum Heart Length)	عددی (اعشاری)
۱۷	متغیر هدف ۱: V20 برای ریه	کیفی (دودویی)
۱۸	متغیر هدف ۲: DMean برای ریه	کیفی (دودویی)
۱۹	متغیر هدف ۳: V30 برای قلب	کیفی (دودویی)
۲۰	متغیر هدف ۲: DMean برای قلب	کیفی (دودویی)



شکل ۱: متغیرهای پیش‌بینی کننده و جایگاه آن‌ها در تصویر سی تی اسکن. منبع: نویسندگان



شکل ۲: نمودار توزیع دوز (میزان اشعه) در اندام‌های مختلف. منبع: نویسندگان

یافته‌ها

یادگیری ماشین استفاده شد که نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های ۷ گانه بعد از انجام اعتبارسنجی متقاطع^۱ به روش K-Fold (K=10) و با توجه به معیارهای ارزیابی عملکرد مسائل دسته‌بندی در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین فرآیندهای^۲ استفاده شده برای پیاده‌سازی هر الگوریتم نیز در جدول ۵ نشان داده شده است.

میانگین سن بیماران استفاده شده در این مطالعه ۱۰/۱۱± بوده است، همچنین نتایج مربوط به متغیرهای هدف در جدول ۳ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر برای پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه در بیماران مبتلا به سرطان پستان از ۷ الگوریتم دسته‌بندی چند برچسبه

جدول ۳: نتایج مربوط به متغیرهای هدف

متغیرهای هدف	میانگین و انحراف معیار	میانه	مد
V20	۳۱/۴۱±۵/۸۸	۳۱/۵۰	۲۸/۴۴
V30	۳۷/۰۷±۱۲/۶۲	۴۰/۰۵	۴۷/۰۰
D _{mean} Lung	۱۹/۳۸±۳/۶۲	۱۹/۸۰	۲۱/۰۰
D _{mean} Heart	۲۳/۱۴±۶/۳۱	۲۴/۲۹	۲۸/۰۰

جدول ۴: نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌ها بر اساس معیارهای ارزیابی پس از اعتبارسنجی به روش (10-Fold)

-	الگوریتم	صحت (%)	دقت (%)	پوشش (%)	امتیاز F1 (%)	زمان همینگ (%)
۱	Decision Tree	۳۹/۱	۷۲/۷	۷۲/۷	۶۹/۷	۲۸/۸
۲	Logestic Regression	۳۳/۳	۷۲/۶	۶۹/۲	۷۰/۳	۲۸/۳
۳	Random Forest	۴۱/۹	۷۳/۳	۷۰/۶	۷۱/۳	۲۷/۴
۴	Artificial Neural Network	۳۴/۴	۶۹/۳	۶۸/۳	۶۷/۷	۳۱/۳
۵	Support Vector Machine	۱۹/۳	۶۴	۶۳/۵	۶۱/۱	۳۷/۴
۶	XGB	۳۹/۵	۷۱/۱	۶۹/۸	۶۹/۹	۲۹
۷	K-Nearest Neighbors	۳۳/۶	۶۷/۲	۷۲/۲	۶۹	۳۱/۴

^۱ . Cross Validation

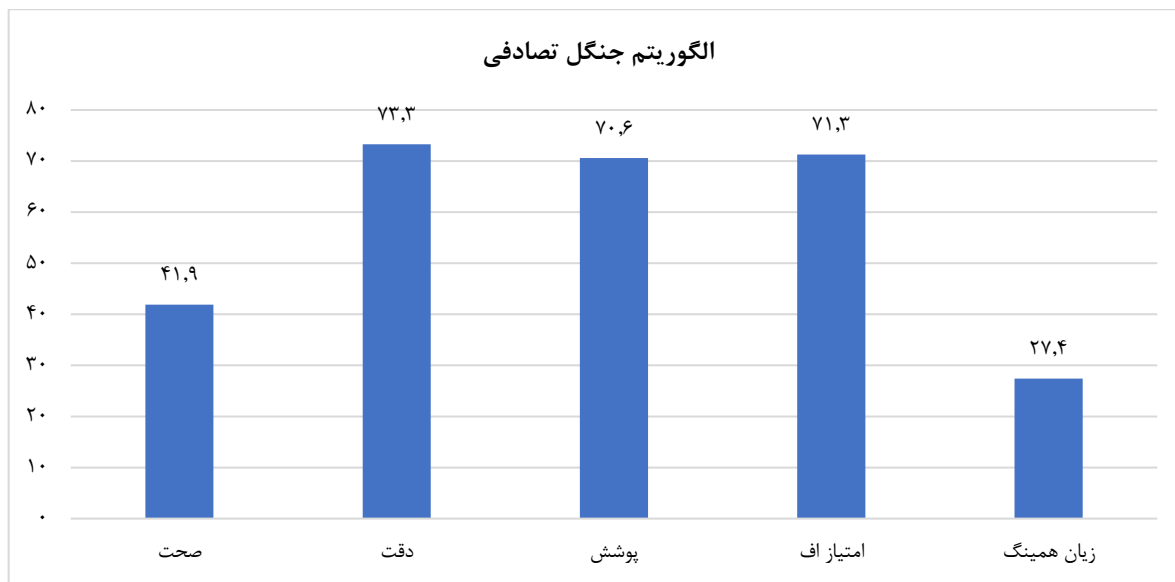
^۲ . Hyperparameters

جدول ۵: فرآپارامترهای استفاده شده در پیاده‌سازی الگوریتم‌ها

ردیف	الگوریتم یادگیری ماشین	فرآپارامتر	مناسب‌ترین مقدار
۱	Decision Tree	Criterion Max_Depth Random_State	'Entropy' 1 0
۲	Logestic Regression	C solver	0.01 "liblinear"
۳	Random Forest	Bootstrap max_depth max_features random_state	True 5 'sqrt' 0
۴	Artificial Neural Network	Number of hidden layers Activation function in the hidden layers Activation function in the output layer Optimizer Epochs Loss	5 "Relu" "Sigmoid" 'adam' 100 'binary_crossentropy'
۵	Support Vector Machine	n_jobs random_state	-5 150
۶	XGB	Objective	'binary:logistic'
۷	KNN	n_neighbors weights metric	15 "uniform" "euclidean"

درصد، پوشش ۷۰/۶، امتیاز F1 ۷۱/۳ درصد و زیان همینگ ۲۷/۴ درصد بهترین عملکرد داشته است (نمودار ۱).

با توجه به نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌ها و براساس معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های دسته‌بندی چند برجسته، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با صحت ۴۱/۹ درصد، دقت ۷۳/۳



نمودار ۱: نتایج هر کدام از معیارهای ارزیابی (بر حسب درصد) الگوریتم جنگل تصادفی به عنوان بهترین الگوریتم

بیماری‌های مختلف از جمله سرطان داشته و جایگاه خود را در علوم پزشکی باز کرده است (۳۱،۹). در همین راستا KAMIZAKI و همکاران با استفاده از ۵۷۷ بیمار مبتلا به سرطان پستان با میانگین سنی ۵۵ سال و انحراف معیار ۱۱، عملکرد ۴ الگوریتم را برای پیش‌بینی

بحث

در سال‌های اخیر، یادگیری ماشین تأثیر زیادی در علوم مختلف داشته است. در عصر حاضر یادگیری ماشین پیشرفت چشمگیری در زمینه پیشگیری، تشخیص و درمان

اشعه دریافتی قلب در طول پرتودرمانی باهم مقایسه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سمت درگیر پستان (پستان چپ یا راست) با میزان اشعه دریافتی قلب همبستگی بالایی دارد. همچنین الگوریتم DNN بهترین عملکرد را در بین سه الگوریتم دیگر داشت (۲۳). همین طور Al-Hammad و همکاران با استفاده از ۲۰۷ بیمار زن مبتلا به سرطان پستان سمت چپ با میانگین $55/3 \pm 1$ نتایج پیاده‌سازی ۱۱ الگوریتم را برای پیش‌بینی میانگین اشعه رسیده به قلب بیماران مبتلا به سرطان پستان چپ مقایسه کردند. در این مطالعه الگوریتم‌های گفته شده نتایج تقریباً قابل قبولی برای پیش‌بینی میانگین اشعه قلب در پی داشتند؛ ولی الگوریتم DNN بهترین عملکرد را در بین سایر الگوریتم‌ها داشت. همچنین در این مطالعه BMI بیماران با میانگین اشعه قلب همبستگی متوسطی داشت (۲۲). اما در مطالعه حاضر، با استفاده از ویژگی‌های آناتومیک جامع‌تر، علاوه بر پیش‌بینی اشعه قلب، اشعه رسیده ریه نیز با رویکرد طبقه‌بندی چند برچسب پیش‌بینی شد که بهترین عملکرد مربوط به الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با صحت ۴۱/۹ درصد، دقت ۷۳/۳ درصد، پوشش ۷۰/۶، امتیاز ۷۱/۳ F1 درصد و زیان همینگ ۲۷/۴ درصد می‌باشد.

سعادت‌مند و همکاران نیز در مطالعه‌ای با استفاده از ۵۲ بیمار مبتلا به سرطان پستان به پیش‌بینی مسمومیت پوستی بیماران مبتلا به سرطان پستان بعد از پرتودرمانی با استفاده از ۷ الگوریتم یادگیری ماشین پرداختند که الگوریتم درختان بی‌نهایت (Extra Tree) با میزان صحت ۷۰ درصد، دقت ۷۴ درصد و پوشش ۷۲ درصد بهترین عملکرد را داشت (۳۲). در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن متغیرهای آناتومیک بیشتر به پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه بیماران مبتلا به سرطان پستان پرداخته شد، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با صحت ۴۱/۹ درصد، دقت ۷۳/۳ درصد، پوشش ۷۰/۶ درصد بهترین عملکرد را داشت. و همین‌طور Cristina و همکاران با استفاده از ۱۷۲ زن و مرد بالای ۱۸ سال با میانگین سن ۵۴ سال نتیجه گرفتند که ارگان‌های قلب و ریه در معرض خطر اشعه بالا و خطرناک در هنگام پرتودرمانی بیماران مبتلا به سرطان پستان هستند. در نتیجه می‌توان گفت که قلب و ریه از ارگان‌های در معرض خطر برای بیماران سرطان پستان هستند و در هنگام پرتودرمانی باید در جهت کاهش اشعه دریافتی این دو ارگان اقدامات لازم را انجام داد (۳۳). همین

طور Yoshihiro ueda و همکاران با استفاده از ۱۴۷ بیمار مبتلا به سرطان پستان سمت چپ مطالعه‌ای انجام دادند. در این مطالعه از یک مدل ریاضی استفاده شد که توانست میزان اشعه قلب را در حین پرتودرمانی با ± 3 درصد تفاوت نسبت به روش عادی تخمین بزند. همچنین نتایج نشان داد که بیماران مبتلا به سرطان پستان سمت چپ در معرض خطرات قلبی و عروقی بعد از اتمام پرتودرمانی هستند؛ لذا بایستی برای این بیماران بعد از انجام پرتودرمانی فالوآپ بیماری‌های قلبی انجام شود. لازم به ذکر است یافتن روشی که بتوان با استفاده از آن میزان اشعه دریافتی قلب را در حین پرتودرمانی کاهش یابد، بسیار مهم است (۳۴). در مطالعه حاضر برای کاهش عوارض قلبی و ریوی بیماران مبتلا به سرطان پستان بعد از پرتودرمانی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (دسته‌بندی چند برچسب) استفاده شد. با استفاده از این الگوریتم‌ها می‌توان بیماران دارای شرایط خاص که میزان اشعه غیرمجازی به دو ارگان قلب و ریه آن‌ها می‌رسد، شناسایی کرد و در برنامه‌ریزی پرتودرمانی از روش‌های پیشرفته‌تر درمانی استفاده شود (۳۵).

و همین‌طور Mette و همکاران نیز در مطالعه خود ضمن تأکید بر اینکه قلب و ریه دو ارگان بسیار حیاتی در حین پرتودرمانی برای بیماران مبتلا به سرطان پستان هستند، به این نتیجه رسیدند که ارائه برنامه درمانی مختص هر بیمار با در نظر گرفتن به ویژگی‌های بیمار امری ضروری است، لذا برای بیماران مبتلا به سرطان پستان باید همواره در جهتی عمل کرد که اشعه رسیده به این دو ارگان کاهش یابد (۳۶). در مطالعه حاضر با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توان بیماران مناسب را برای انجام روش پرتودرمانی 3D wedge pair قبل از انجام برنامه‌ریزی درمانی توسط پزشکان و کارکنان فیزیکی پزشکی شناسایی کرد و به بیمارانی که برای استفاده از این روش مناسب نیستند استفاده روش‌های جدیدتر مثل IMRT و DIBH را پیشنهاد داد؛ زیرا روش‌های جدیدتر انجام پرتودرمانی مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد برای سیستم درمان و بیمار می‌باشد و در کشورهای دارای محدودیت دستگاه‌های مدرن پرتودرمانی مانند کشور ایران بهتر است بیماران دارای ویژگی‌های خاص برای استفاده از این روش‌ها انتخاب شوند (۱۷).

در نهایت باید گفت در مطالعه حاضر الگوریتم‌های متعددی برای پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه بیماران مبتلا به

از صرف زمان برای انجام طراحی درمان انتخاب کرده و به طور آگاهانه جهت انتخاب نوع درمان مناسب برای بیمار و براساس امکانات مراکز درمانی مشاوره نمود که این امر منجر به صرفه‌جویی در هزینه، انرژی و زمان به خصوص در کشورهای دارای محدودیت امکانات پیشرفته پرتودرمانی می‌شود.

پیشنهادهای برای مطالعات آینده

پیشنهاد می‌شود برای پژوهش‌های آتی از ظرفیت مراکز پرتودرمانی دارای روش‌های مختلف پرتودرمانی با تعداد بیماران و نمونه‌های بیشتر جهت رسیدن به عملکرد بهتر الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شود.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی با یکدیگر ندارند.

سپاس‌گزاری

این مطالعه بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فناوری اطلاعات سلامت دانشگاه علوم پزشکی لرستان با کد اخلاق IR.LUMS.REC.1402.174 می‌باشد. بدین وسیله از کلیه کارکنان دانشگاه علوم پزشکی لرستان و مرکز پرتودرمانی باران شهرستان خرم‌آباد که در انجام این مطالعه با نویسندگان مقاله همکاری داشتند، کمال تشکر را داریم.

سرطان پستان پیاده‌سازی شد. نوآوری مطالعه حاضر نسبت به مطالعات ذکر شده قبلی (۲۲،۲۳،۳۳،۳۴،۳۶) در این است که در مطالعه حاضر، ۲ معیار برای ریه‌ها (V_{20} ، D_{Mean}) و ۲ معیار برای قلب (V_{30} ، D_{Mean}) به‌عنوان متغیرهای هدف در نظر گرفته شده است که این مورد در مطالعات قبلی انجام نشده بود. به‌طور واضح در مطالعه حاضر از دسته‌بندی چند برجسته برای پیش‌بینی اشعه قلب و ریه به طور همزمان استفاده شده است که قبلاً انجام نشده است. با توجه به جدول ۳ و بررسی مقادیر هر یک از معیارهای ارزیابی الگوریتم‌ها، به این نتیجه رسیدیم که الگوریتم جنگل تصادفی بهترین عملکرد را در بین سایر الگوریتم‌ها دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های پیشنهادی می‌توانند برای پیش‌بینی اشعه دریافتی قلب و ریه در بیماران مبتلا به سرطان پستان عملکرد قابل قبولی داشته باشند. با توجه به اینکه امروزه تکنیک‌های جدیدتر مانند IMRT و DIBH مستلزم صرف زمان و هزینه بیشتر و همچنین آموزش بیماران هستند و از آن جایی که ضرورت استفاده از این تکنیک‌ها با توجه به تفاوت‌های بالینی و آناتومیک در همه بیماران وجود ندارد، می‌توان با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین بیمارانی را که ممکن است نیازمند تکنیک‌های پیشرفته‌تر مثل IMRT و DIBH نباشند را قبل

References

1. Monirujjaman Khan M, Islam S, Sarkar S, Ayaz FI, Ananda MK, Tazin T, et al. Machine Learning Based Comparative Analysis for Breast Cancer Prediction. J Health Eng. 2022;2022.
2. Zahedi A, Rafiemanesh H, Enayatradd M, Ghoncheh M, Salehiniya H. Incidence, trends and epidemiology of cancers in North West of Iran. Asian Pacific J Cancer Prev. 2015;16(16):7189–93.
3. Mahdavi N, Pakzad R, Ghoncheh M, Pakzad I, Moudi A, Salehiniya H. Spatial analysis of breast cancer incidence in Iran. Asian Pacific J Cancer Prev. 2016;17:59–64.
4. Mohammadpour A, Jahangirian E, Moharrami T, Goljah Rad G, Javanparast Sheikhan L, Taghizadeh S. Breast Cancer, Genetic Factors and Methods of Diagnosis. Sarem J Reprod Med. 2020;4(4):198–207.
5. Yazdani S, Yarahmadi M. Evaluation of dose distributions in PTV and organs at risk in left-sided breast cancer, treated by tangential wedged technique in Tohid radiotherapy center in Sanandaj. Sci J Kurdistan Univ Med Sci. 2018;22(6):1–10.
6. Yu H, Chen F, Lam KO, Yang L, Wang Y, Jin JY, et al. Potential Determinants for Radiation-Induced Lymphopenia in Patients With Breast Cancer Using Interpretable Machine Learning Approach. Front Immunol. 2022;13(June):1–13.

7. Dr Emami B. Tolerance of Normal tissue to Therapeutic radiation. Reports Radiother Oncol. 2013;1(1):35–48.
8. Brodin NP, Schulte L, Velten C, Martin W, Shen S, Shen J, et al. Organ-at-risk dose prediction using a machine learning algorithm: Clinical validation and treatment planning benefit for lung SBRT. J Appl Clin Med Phys. 2022;23(6).
9. Ahn SH, Kim ES, Kim C, Cheon W, Kim M, Lee SB, et al. Deep learning method for prediction of patient-specific dose distribution in breast cancer. Radiat Oncol [Internet]. 2021;16(1):1–13.
10. Yamauchi R, Mizuno N, Itazawa T, Saitoh H, Kawamori J. Dosimetric evaluation of deep inspiration breath hold for left-sided breast cancer: Analysis of patient-specific parameters related to heart dose reduction. J Radiat Res. 2020;61(3):447–56.
11. Ferini G, Valenti V, Viola A, Umana GE, Martorana E. A Critical Overview of Predictors of Heart Sparing by Deep-Inspiration-Breath-Hold Irradiation in Left-Sided Breast Cancer Patients. Cancers (Basel). 2022;14(14):1–13.
12. Chung SY, Oh J, Chang JS, Shin J, Kim KH, Chun KH, et al. Risk of Cardiac Disease in Patients With Breast Cancer: Impact of Patient-Specific Factors and Individual Heart Dose From Three-Dimensional Radiation Therapy Planning. Int J Radiat Oncol Biol Phys [Internet]. 2021;110(2):473–81.
13. Feng CH, Gerry E, Chmura SJ, Hasan Y, Al-Hallaq HA. An image-guided study of setup reproducibility of postmastectomy breast cancer patients treated with inverse-planned intensity modulated radiation therapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys [Internet]. 2015;91(1):58–64.
14. Hong JC, Rahimy E, Gross CP, Shafman T, Hu X, Yu JB, et al. Radiation dose and cardiac risk in breast cancer treatment: An analysis of modern radiation therapy including community settings. Pract Radiat Oncol [Internet]. 2018;8(3):e79–86.
15. Selvaraj RN, Beriwal S, Pourarian RJ, Lalonde RJ, Chen A, Mehta K, et al. Clinical Implementation of Tangential Field Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) Using Sliding Window Technique and Dosimetric Comparison with 3D Conformal Therapy (3DCRT) in Breast Cancer. Med Dosim. 2007;32(4):299–304.
16. Hardenbergh PH, Munley MT, Bentel GC, Kedem R, Borges-Neto S, Hollis D, et al. Cardiac perfusion changes in patients treated for breast cancer with radiation therapy and doxorubicin: Preliminary results. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2001;49(4):1023–8.
17. Nankali S, Zirak A, Poulsen PR. Investigation of the accuracy of deep inspiration breath hold left-sided breast cancer radiotherapy using a surface guiding system. J Nucl Sci Technol. 2020;92(2):166–77.
18. Blom Goldman U, Anderson M, Wennberg B, Lind P. Radiation pneumonitis and pulmonary function with lung dose-volume constraints in breast cancer irradiation. J Radiother Pract. 2014;13(2):211–7.
19. Adams MJ, Hardenbergh PH, Constine LS, Lipshultz E. Radiation-associated cardiovascular disease. Crit Rev Oncol Hematol. 2003;45:55–75.
20. Chen CH, Hsieh CC, Chang CS, Chen MF. A retrospective analysis of dose distribution and toxicity in patients with left breast cancer treated with adjuvant intensity-modulated radiotherapy: Comparison with three-dimensional conformal radiotherapy. Cancer Manag Res. 2020;12:9173–82.
21. M. I. Jordan, T. M. Mitchell. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science. 2015;349(6245):255–60.
22. Al-Hammad WE, Kuroda M, Kamizaki R, Tekiki N, Ishizaka H, Kuroda K, et al. Mean Heart Dose Prediction Using Parameters of Single-Slice Computed Tomography and Body Mass Index: Machine Learning Approach for Radiotherapy of Left-Sided Breast Cancer of Asian Patients. Curr Oncol. 2023;30(8): 7412–24.
23. Kamizaki R, Kuroda M, Al-Hammad W, Tekiki N, Ishizaka H, Kuroda K, et al. Evaluation of the accuracy of heart dose prediction by machine learning for selecting patients not requiring deep inspiration breath-hold radiotherapy after breast cancer surgery. Exp Ther Med. 2023;26(5):1–8.
24. Kundrát P, Rennau H, Remmele J, Sebb S, Simonetto C, Kaiser JC, et al. Anatomy-dependent lung doses from 3D-conformal breast-cancer radiotherapy. Sci Rep [Internet]. 2022;12(1):1–9.

25. Karlsen J, Tandstad T, Sowa P, Salvesen Ø, Stenehjem JS, Lundgren S, et al. Pneumonitis and fibrosis after breast cancer radiotherapy: occurrence and treatment-related predictors. *Acta Oncol (Madr)* [Internet]. 2021;60(12):1651–8.
26. Goldman UB, Wennberg B, Svane G, Bylund H, Lind P. Reduction of radiation pneumonitis by V20-constraints in breast cancer. *Radiat Oncol*. 2010;5(1):1–6.
27. Jacob S, Pathak A, Franck D, Latorzeff I, Jimenez G, Fondard O, et al. Early detection and prediction of cardiotoxicity after radiation therapy for breast cancer: The BACCARAT prospective cohort study. *Radiat Oncol* [Internet]. 2016;11(1):1–10.
28. Muttath G, Erakkotan GK, Jayaraj A, Cheruliyil Ayyappan S, Kumar. E.S A, Narayanan V, et al. Volumetric Estimation of Lung Dose and Its Association with Pneumonitis Following Radiotherapy in Breast Cancer Patients. *Asian Pacific J Cancer Care*. 2022;7(2):207–11.
29. Sorower M. A literature survey on algorithms for multi-label learning. *Oregon State Univ Corvallis* [Internet]. 2010; (October):1–25.
30. Jungjit S, Michaelis M, Freitas AA, Cinatl J. Extending multi-label feature selection with KEGG pathway information for microarray data analysis. 2014 IEEE Conf Comput Intell Bioinforma Comput Biol CIBCB 2014. 2014;
31. Valdes G, Solberg TD, Heskell M. Using machine learning to predict radiation pneumonitis in patients with stage I non-small cell lung cancer treated with stereotactic body radiation therapy. *Phys Med Biol* [Internet]. 2016;61:6105–20.
32. Saadatmand P, Mahdavi SR, Nikoofar A, Jazaeri SZ, Ramandi FL, Esmaili G, et al. A dosimetrics model for prediction of radiation-induced acute skin toxicity in breast cancer patients: machine learning-based study for a closed bore linac. *Eur J Med Res* [Internet]. 2024;29(1):282.
33. DeCesaris CM, Pollock A, Zhang B, Poirier Y, Kowalski E, Paulosky K, et al. Assessing the Need for Adjusted Organ-at-Risk Planning Goals for Patients Undergoing Adjuvant Radiation Therapy for Locally Advanced Breast Cancer with Proton Radiation. *Pract Radiat Oncol*. 2021;11(2):108–18.
34. Ueda Y, Gerber NK, Das IJ. Model-based cardiac dose estimation in radiation treatment of left breast cancer. *Br J Radiol*. 2018;91(1090).
35. Teimouri K, Khoshgard K. Investigating the Radiation Dose Received by the Heart and Its Electrocardiographic Changes after Three-dimensional Conformal Radiation Therapy in Patients with Left Breast Cancer. *Avicenna J Clin Med*. 2023;30(2): 72–80.
36. Nielsen MH, Berg M, Pedersen AN, Andersen K, Glavicic V, Jakobsen EH, et al. Delineation of target volumes and organs at risk in adjuvant radiotherapy of early breast cancer: National guidelines and contouring atlas by the Danish Breast Cancer Cooperative Group. *Acta Oncol (Madr)*. 2013;52(4):703–10.