journal homepage: www.sjfm.ir

Iranian Journal of Forensic Medicine

Iran J Forensic Med. 2021 Dec;27(3):191-201 Volume 27, Issue 3, Autumn 2021 Research Article

Security, Confidentiality, and Privacy of Information in the Field of Health With Data EPR Embedding in Medical MRI Images Based on HVS Model

Jalil Zabihi[1*], **Hadi Grailo**[1]

[1] Faculty of Electrical and Robotics Engineering, Shahroud University of Technology, Semnan, Iran

***Correspondence to:** Jalil Zabihi, Email: j_zabihi@shahroodut.ac

ARTICLE INFO

Article history:
Received: September 18, 2021
Accepted: November 24, 2021
Online Published: December 6, 2021

Keywords:
Data security
Evaluation
Data embedding
Electronic patient record
MS-SSIM
Human visual system model

HIGHLIGHTS

1. The PSNR and BER criteria compared to other methods indicate the high level of security of the latent medical image and the proper performance of the method compared to other methods.
2. The proposed method improves the level of security, confidentiality of patient information and integrated storage of patient information and images.

ABSTRACT

Introduction: data security has become a serious concern. One of the methods against these risks is the utilization of data embedding. The patient's electronic record is embedded into the medical image without changing the shape and size of the image.

Methods: The EPR data embedding is based on SSIM and HVS criteria employing MRI image segmentation. The idea behind two-dimensional wavelet-cosine conversion based on EPR data latency is that the final image will provide more resilience and stability against malicious attacks.

Results: The present study aimed to study the effect of the proposed method, including innovations in the HVS block based on SSIM criteria for transparency and flexibility. The latency coefficient K is considered to be comparatively proportional to the N-ROI uniformity. The selection of $\alpha_{f,k}$ coefficients includes the frequency and spatial sensitivity optimization function in an adaptive way to match the visual perception of vision.

Conclusion: Security in health information systems has its own weak points, planning to secure access to patients and risk management is crucial , and necessary. Research improve the level of security, confidentiality, and integrated storage of patient information and image. The simulation results, considering the parameters of robustness and transparency in comparison with other methods, were carried out with the evaluation criteria, including MSE, NC, SSIM, and BER measurements.

How to cite: Zabihi J, Grailo H. Security, confidentiality, and privacy of information in the field of health with data EPR embedding in medical MRI images based on HVS model. Iran J Forensic Med. 2021;27(3):191-201.

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

Copyright © 2021 The Author(s); Published by Legal Medicine Research Center. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

www.sjfm.ir

مجله پزشکی قانونی ایران

مرکز تحقیقات پزشکی قانونی

دوره ۲۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صفحات ۱۹۱ تا ۲۰۱

مقاله پژوهشی

امنیت، محرمانگی و حریم خصوصی اطلاعات در حوزه سلامت با نهفته‌سازی داده HVS مبتنی بر مدل MRI در تصاویر پزشکی EPR

جلیل ذبیحی[1*]، هادی گرایلو[1]

[1] دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران

***نویسنده مسئول:** جلیل ذبیحی، پست الکترونیک: j_zabihi@shahroodut.ac

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

انتشار برخط: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

واژگان کلیدی:

امنیت

ارزیابی

نهفته‌سازی‌داده

پرونده الکترونیکی بیمار

معیار SSIM

مدل بینایی انسان

نکات ویژه

۱. معیار PSNR و BER نسبت به سایر روش‌ها نشان‌دهنده سطح بالای امنیت تصویر پزشکی نهفته‌سازی شده و عملکرد مناسب روش نسبت به سایر روش‌هاست.

۲. روش پیشنهادی موجب بهبود سطح امنیت، محرمانگی اطلاعات بیمار و ذخیره یکپارچه اطلاعات بیمار و تصویر می‌شود.

چکیده

مقدمه: داده بیمار به یک نگرانی جدی تبدیل شده است. یکی از روش‌های مقابله با این خطرات، استفاده از نهفته‌سازی داده است. پرونده الکترونیکی بیمار به کمک نهفته‌سازی، درون تصویر پزشکی قرار داده می‌شود، بدون آنکه قالب و اندازه تصویر تغییر کند.

روش بررسی: هدف اصلی این تحقیق ارائه روش نهفته‌سازی داده EPR مبتنی بر معیار SSIM و HVS به کمک قطعه‌بندی تصاویر MRI است. ایده تبدیل دوبعدی موجک-کسینوسی مبتنی بر نهفته‌سازی داده EPR این است که تبدیل مشترک، معایب هر تبدیل به‌تنهایی را از بین برده و پس از نهفته‌سازی داده EPR، تصویر نهایی تاب‌آوری و استحکام بیشتری در برابر حملات مخرب ایجاد خواهد کرد.

یافته‌ها: پژوهش حاضر با هدف مطالعه تاثیر روش پیشنهادی، شامل نوآوری‌ها در بلوک HVS مبتنی بر معیار SSIM به‌منظور شفافیت و تاب‌آوری است. ضریب نهفته‌سازی K به میزان یکنواختی N-ROI به‌صورت تطبیقی در نظر گرفته می‌شود. انتخاب ضرایب α_{ik} شامل تابع بهینه‌سازی حساسیت فرکانسی و مکانی به شکل تطبیقی انجام شده تا با ادراک بصری بینایی مطابقت داشته باشد.

نتیجه‌گیری: امنیت در سامانه‌های PACS حوزه انفورماتیک سلامت دارای نقاط ضعفی است و به همین دلیل برنامه‌ریزی برای امنیت دسترسی به داده‌های بیماران و مدیریت خطر، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش شامل مواردی همچون بهبود سطح امنیت، محرمانگی و ذخیره یکپارچه اطلاعات بیمار و تصویر است. نتایج شبیه‌سازی، باتوجه‌به پارامترهای تاب‌آوری و شفافیت در مقایسه با سایر روش‌ها، به کمک معیارهای ارزیابی شامل MSE PSNR, NCC , SSIM و BER انجام شده است.

مقدمه

امروزه با پیشرفت فناوری اطلاعات در علوم پزشکی و شبکه‌های کامپیوتری، سیستم ارتباط تصویری یا PACS، امکان انتقال، ذخیره، بازیابی و نمایش تصاویر پزشکی در نقاط مختلف را ایجاد کرده است. امنیت یکی از مهم‌ترین مباحث و مسائل در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات در انفورماتیک پزشکی است که در سال‌های اخیر باتوجه به رشد روزافزون استفاده از شبکه جهانی وب، گریبانگیر کاربران شده و سبب از کار افتادن پایگاه‌های اطلاعات پزشکی شده است [۱].

خدمات فناوری تصویربرداری پزشکی در سال‌های اخیر یک انقلاب کامل را پشت سر گذاشته و استفاده از سامانه‌های تصاویر پزشکی، تصاویر رادیوبیولوژی و انتقال از محلی به محل دیگر

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

توسعه کاربردی و هدفمند رخ داده است. سامانه‌های مراقبت بهداشتی، برای بهبود کیفیت خدمات از پردازش تصاویر پزشکی استفاده قابل توجهی می‌کنند. کاربرد و اهمیت موضوع استفاده از سامانه‌های تصویربرداری پزشکی دیجیتال در تجهیزاتی مانند سامانه‌های تله‌رادیولوژی، تله‌ارتوپدی و آنکولوژی در بهبود نتایج بیمار، راه‌حل‌های نوینی را ارائه کرده تا متخصصان پزشکی در مراحل بهبود بیماران قرار گیرند. همچنین تصویربرداری پزشکی دیجیتال و دسترسی به آخرین فناوری‌ها و خدمات تصویربرداری از بیماران، فرصتی نو برای توسعه بخش‌های درمانی و سلامت فراهم کرده است. نهفته‌سازی تصویر پزشکی در زمینه توانمندسازی پزشکان در دسترسی و انتقال ایمن پرونده پزشکی بیماران، نقش مهمی در بهبود عملکرد سامانه‌های پزشکی ایفا می‌کند [۲].

پزشکی قانونی یکی از مهم‌ترین بخش‌های علوم جنایی و قضایی امروزی به شمار می‌رود که هدف اصلی آن در بیشتر کشورها تعیین علت مرگ انسان‌هایی است که به دلایل مختلف جان خود را از دست داده‌اند. پزشکان قانونی برای تعیین دلایل مرگ از مجموعه ابزار، وسایل و فنونی برخوردارند که رایج‌ترین آنها کالبدشکافی است. پیشرفت فنّاوری و دانش در سراسر جهان در افزایش دقت تشخیص پزشکان و آسیب‌شناسان پزشکی قانونی بسیار تأثیرگذار بوده است [۳].

سازمان پزشکی قانونی هرروزه با مراجعه‌کنندگان و معاینات سرپایی مثل مراجعان تصادفات، نزاع و همچنین همسرآزاری روبه‌رو است. پزشکان و کارمندان سازمان هم به‌عنوان یکی از بازوهای قدرتمند دستگاه قضایی، پرونده‌های مهمی را در کمیسیون‌های پزشکی، آزمایشگاهی و روان‌پزشکی دنبال می‌کنند تا بتوانند برای احقاق حق مردم قدم بردارند [۳].

اگر در بیمارستان‌ها جدال بر سر حفظ حیات و ادامه زندگی است، در مراکز تخصصی تالارهای تشریح و کالبدشکافی جدال بر سرزنده کردن حقیقت است. پزشکان و تکنیسین‌هایی که در سالن تشریح و کالبدشکافی فعالیت می‌کنند، باهدف احیای حق کار می‌کنند زیرا اجساد زبان گویا ندارند و این پزشکان و کادر تخصصی پزشکی قانونی هستند که می‌توانند حقی را زنده و دل‌هایی را آرام کنند [۴].

معاینات پزشکی قانونی شامل بازبینی سابقه پزشکی قربانی، معاینات خارجی، اسکن بدن، معاینات داخلی و کالبدشکافی است تا دلیل مرگ با جزئیات کامل و دقیق مشخص شود. طی این معاینات، پزشک و آسیب‌شناس قانونی به همکاری متخصصانی مانند سم‌شناسان، هیستوپاتولوژیست‌ها، میکروبیولوژیست‌ها و همچنین متخصصان ژنتیک نیازمند خواهند بود. موضوع کلیدی و محوری سازمان پزشکی قانونی اعتبارسنجی، مستندسازی، نظارت و ارزیابی کنترل کمی و کیفی داده‌های پرونده پزشکی با هدف تأمین ارائه خدمات و بهبود حفظ اطلاعات و محرمانه بودن اطلاعات ثبت شده در پرونده پزشکی است[۴].

در سامانه‌های پزشکی دیجیتال، توزیع و نگهداری سوابق پزشکی یک فرآیند اساسی است. به‌عنوان مثال، طی انتقال تصاویر پزشکی برای ثبت داده‌های بیماران COVID-19 در یک عمل جراحی، ممکن است نیاز به ارسال جزئیات بیماری و تصاویر پزشکی به یک آسیب‌شناس و یا رادیولوژیست باشد. برای حفظ حریم خصوصی بیمار باید از این اطلاعات محافظت شود. در مطالعه پژوهش‌های پیشین [۵-۱] در واقع افشای اطلاعات بیمار بدون مجوز مخالف قوانین وزارت بهداشت، درمان و خدمات پزشکی است. در تعدادی از مطالعات [۱۰-۶] به نیازمندی‌های مهمی ازجمله برخی از الزامات اساسی روش نهفته‌سازی داده شامل جلوگیری از نفوذ[1]، ظرفیت پیام[2]، تاب‌آوری[3] و امنیت[4] اشاره شده است. بنابراین یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و مشکلات موجود در سامانه پرونده الکترونیکی سلامت، جابه‌جایی اطلاعات محرمانه پزشکی بدون تحریف[5] است.

در سامانه نهفته‌سازی پزشکی با مخفی کردن محرمانه پرونده الکترونیکی بیمار (EPR)[6] درون تصویر پزشکی، یک ارتباط نامرئی بین فرستنده و گیرندهٔ داده برقرار می‌شود. همچنین قطعه‌بندی تصویر پزشکی یک فرآیند مهم در تجزیه و تحلیل تصویر در کاربردهای بالینی محسوب شده که هدف

1. imperceptibility
2. capacity
3. robustness
4. security
5. distorting
6. Electronic Patient Record

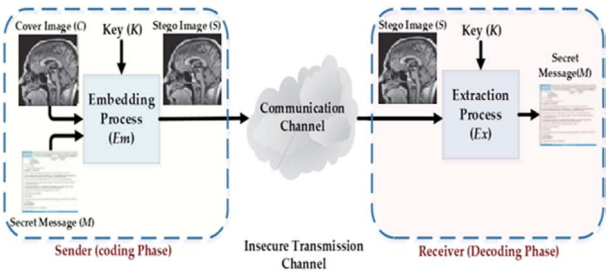
[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

آن تقسیم تصویر به مناطق غیرهمپوشان[7] است [۶].

تحقیقات اخیر فناوری اطلاعات در حوزه‌های کاربردی نهفته‌سازی تصاویر دیجیتال پزشکی [۱۳-۶] معدود بوده و نیازمند توجه و توسعه بیشتری است. نهفته‌سازی داده‌ها در پرونده‌های پزشکی و ارتباط از طریق دورپزشکی به طور گسترده‌ای باعث سهولت در ارتباط می‌شود. در شکل ۱ نحوه مراقبت الکترونیک از پرونده‌های پزشکی بیماران نشان داده می‌شود. با ورود فناوری‌های نوین در علم پزشکی و به خدمت گرفتن مهندسی در پزشکی، ارتقای قابل توجهی در سطح خدمات حوزه پزشکی، داده‌ورزی پزشکی، دورپزشکی، سازمان پزشکی قانونی و مراقبت الکترونیک صورت گرفته است. پرونده‌های پزشکی بیماران دربردارنده اطلاعات بسیار حساسی است که نباید افراد غیرمجاز به آنها دسترسی داشته باشند و علاوه بر حفظ حریم شخصی، مانع تهدید و تهاجم به داده‌های پزشکی بیماران می‌شود [۷،۱۴].

روش بررسی

باتوجه‌به کارآیی مدل ریاضی سامانه بینایی انسان در روش‌های نهفته‌سازی داده، می‌توان از این مدل در طراحی و شبیه‌سازی سامانه‌های نهفته-سازی تصاویر پزشکی دیجیتال به‌صورت ضمنی برای برآورده شدن شرط نامرئی بودن اطلاعات پرونده الکترونیکی بیمار در تصاویر پزشکی استفاده کرد. اکثر الگوریتم‌های نهفته‌سازی داده، حداقل تغییرات جزئی در تصاویر پزشکی را در نظر نمی‌گیرند. از آنجا که درمان بیماران به تصویر پزشکی دقیق بستگی دارد، نمی‌توان این اعوجاج را نادیده گرفت [۱۰].



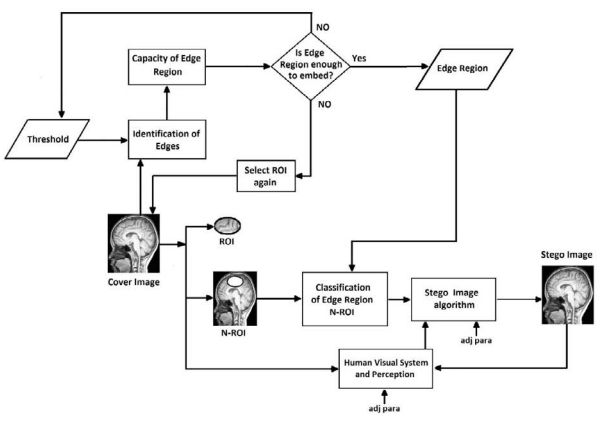
▲شکل۱. مراقبت الکترونیکی از پرونده‌های پزشکی بیماران [۷]

بلوک دیاگرام کلی روش نهفته‌سازی تصاویر پزشکی MRI با استفاده از سامانه تحلیل ادراکی بینایی انسان در شکل ۲ نشان داده شده است. برای برآورده ساختن شرط شفافیت بعد از نهفته‌سازی پرونده الکترونیکی بیمار EPR در تصویر پزشکی MRI از بلوک HVS استفاده شده است. محل قرارگیری این بلوک به نحوی است که بتواند با تحلیل تصویر نهایی و تغییر پارامترهای الگوریتم، شرط شفافیت روش پیشنهادی را فراهم کند. در ادامه مراحل اجرای بلوک دیاگرام به‌صورت کامل توضیح داده می‌شود.

مرحله اول

روش نهفته‌سازی با تقسیم تصویر پوشش به دو منطقه ROI و N-ROI شروع می‌شود. برای شناسایی منطقه مناسب که دارای سطوح یکنواخت نباشد، از الگوریتم تشخیص لبه استفاده می‌کنیم. سپس بر اساس سایز پرونده EPR بیمار و تعداد پیکسل‌های موردنیاز انتخاب شده از تصویر پوشش، مقدار آستانه اصلاح شده و اگر منطقه مناسب برای نهفته‌سازی پیام نباشد، منطقه ROI با مختصات جدید دوباره انتخاب می‌شود. انتخاب منطقه ROI می‌تواند به‌صورت دستی توسط پزشک متخصص و یا به‌صورت خودکار به کمک قطعه‌بندی تصویر انجام شود [۱۱،۱۵].

تصویر پزشکی معمولاً حاوی منطقه خاصی از اطلاعات بیماری بوده که به‌عنوان منطقه ROI اشاره می‌شود. محافظت



▲شکل۲. بلوک دیاگرام کلی روش پیشنهادی نهفته‌سازی داده‌ی EPR در تصاویر MRI مغزی

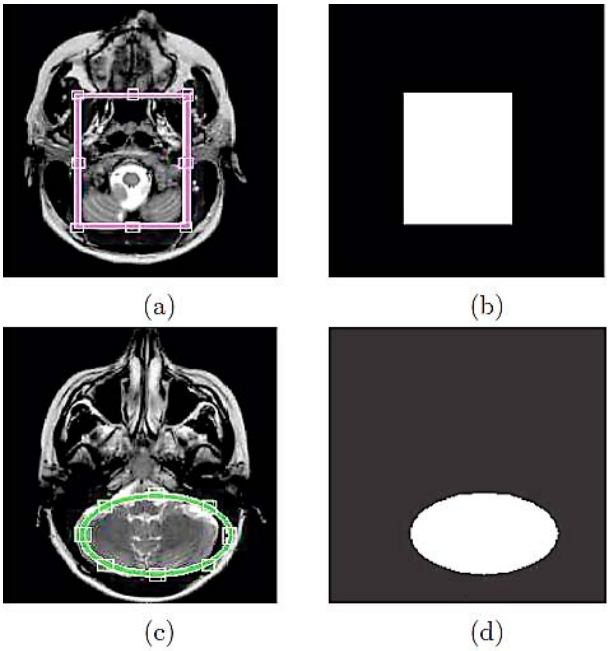
7. non-overlapping regions

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

از این منطقه در برابر هرگونه تغییر به‌منظور تشخیص صحیح بیماری بسیار مهم است. یک منطقه ROI مستطیلی یا بیضوی توسط پزشک متخصص یا اتوماتیک، با استفاده از برداری که مشخص‌کننده مختصات و اندازه اولیه آن است، مشخص می‌شود. بعد از شناسایی ROI مناسب، تصویر پزشکی به یک تصویر باینری تبدیل می‌شود. پیکسل‌هایی که مقدار ۱ دارند متعلق به منطقه ROI و آنهایی که مقدار ۰ دارند متعلق به منطقه N-ROI هستند، همان‌طور که در شکل ۳ نشان‌داده شده، داده‌های پرونده الکترونیکی بیمار فقط در بلوک‌های منطقه N-ROI نهفته‌سازی شده و از ایجاد تغییرات در منطقه ROIاجتناب می‌شود. هنگام فرآیند استخراج برای شناسایی منطقه نهفته‌سازی نیاز به مختصات ROI است. بنابراین مختصات ROI با پیام مخفی به‌منظور استخراج داده‌هایی که نهفته‌سازی خواهند شد، جمع شده و مختصات ROI در بلوک اولیه تصویر پوشش نهفته‌سازی می‌شوند [۱۱،۲۶،۲۷].

مرحله دوم

ظرفیت نهفته‌سازی و کیفیت تصویر، دو عامل مهمی هستند که هنگام اجرای روش نهفته‌سازی باید در نظر گرفته



▲شکل ۳. (a) و (c)منطقه ROI تصاویر MRI پوشش و (b) و (d) دودویی مربوط به تصویر ROI[۱۱]

شوند. با این حال، برخی از این عوامل متناقض هم هستند. ظرفیت نهفته‌سازی یک اندازه‌گیری اساسی برای ارزیابی عملکرد روش نهفته‌سازی است که به مقدار بیت‌هایی که می‌توان در تصویر پوشش نهفته کرد، اشاره دارد. ظرفیت نهفته‌سازی بالا یک ویژگی جذاب است که بیشتر روش‌های نهفته‌سازی برای دستیابی به آن تلاش کرده‌اند. ظرفیت نهفته‌سازی پیام با معادله (۱) نشان‌داده شده است [۱۲،۱۶].

$$K=\frac{L}{MN}\ (bpp) \qquad (۱)$$

جایی که L حداکثر تعداد بیت‌های پیام که می‌توان در تصویر پوشش نهفته کرد. M و N به ترتیب عرض و ارتفاع تصویر پوشش است. ابتدا نمادها و پارامترهای استفاده شده در الگوریتم نهفته‌سازی تصاویر پزشکی بیان می‌شود. تصویر پزشکی پوشش I دارای ابعادN×M و متشکل از G سطح خاکستری انتخاب شده و داده EPR مخفیW که یک تصویر باینری است به ابعاد P×Q در نظر گرفته خواهد شد. x_{nm}تعداد سطوح خاکستری تصویر MRI و W_{nm} مقادیر سطوح داده EPR است [۱۲،۱۷].

$$I=\{x_m\ ,n\in\{0,1,...,N-1\}\ \ m\in\{0,1,...,M-1\}\} \qquad (۲)$$

$$W=\{W_m\ ,n\in\{0,1,...,P-1\}\ \ m\in\{0,1,...,Q-1\}\} \qquad (۳)$$

$$x_m\ \in\{0,1,...,G-1\} \qquad (۴)$$

$$W_m\in\{0,1\}\ W_0W_1 \qquad (۵)$$

در معادله(۵) مقادیر w_0 و w_1 به ترتیب تعداد صفرها و یک‌های داده EPR دیجیتال هستند. عمل نهفته‌سازی در تصویر توسط روابط زیر بیان می‌شود.

$$I_w=I\oplus W \qquad (۶)$$

در معادله (۶) علامت نشان‌دهندهٔ عملگر نهفته‌سازی داده EPR مخفیW در تصویر پوشش‌I است. در معادله (۷) I_w تصویر پزشکی پوشش حامل اطلاعات EPR بیمار است. برای تضمین شرط شفافیت، پدیده پوشش مشتمل بر پوشش فضایی و پوشش فرکانسی، از مدل ریاضی سامانه بینایی انسان در الگوریتم نهفته‌سازی استفاده می‌شود که V(I) میزان بینایی شخص ناظر باقدرت دید طبیعی در هنگام مشاهده تصویر I را نشان می‌دهد [۱۳،۱۸].

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

$$V(I_W)=V(I) \quad (۷)$$

ارزیابی کیفیت تصویر نهایی با معیار شباهت ساختاری چند مقیاسی SSIM[8] انجام می‌شود؛ براساس این فرض که ادراک بصری انسان برای استخراج اطلاعات ساختاری بسیار مناسب عمل می‌کند. این معیار نسبت به PSNR و MSE که به دلیل بی‌توجهی به سامانه بینایی انسان مورد انتقاد قرارگرفته، در بسیاری از موارد عملکرد بهتری دارد. معیار SSIM قابل‌درک بودن جزئیات تصویر به تراکم نمونه‌برداری از سیگنال تصویر، فاصله صفحه تصویر به بیننده و توانایی ادراکی سامانه بینایی ناظر بستگی دارد [۱۹,۲۰].

روش SSIM قابل‌درک بودن جزئیات تصویر به تراکم نمونه‌برداری از سیگنال تصویر و فاصله صفحه تصویر به بیننده و توانایی ادراکی سامانه بینایی ناظر بستگی دارد. در عمل، ارزیابی ذهنی یک تصویر خاص وقتی تغییر می‌کند که این فاکتورها تغییر کنند. روش چندمقیاسی یک روش مناسب برای ترکیب جزئیات تصویر در رزولوشن‌های مختلف است. در یک روش SSIM چندمقیاسی برای ارزیابی کیفیت تصویر پیشنهاد شده که نمودار آن در شکل۴ نشان داده شده است [۲۱].

با در نظر گرفتن سیگنال‌های تصویر مرجع و تحریف شده به‌عنوان ورودی، سامانه به‌طور تکراری فیلتر پایین گذر را اعمال کرده و تصویر فیلتر شده را با یک فاکتور 2↓ نمونه‌برداری می‌کند. تصویر اصلی را به‌عنوان مقیاس واحد و بالاترین مقیاس را با M فهرست می‌کنیم که پس از تکرارهای M-1 به دست می‌آید. در مقیاس j-th، مقایسه کنتراست $C_j(x,y)$ و مقایسه ساختار $S_j(x,y)$ محاسبه می‌شوند. مقایسه درخشندگی $l_M(x,y)$ فقط در مقیاس M محاسبه می‌شود و ارزیابی کلی SSIM با ترکیب اندازه‌گیری در مقیاس‌های مختلف با معادله (۸) به دست می‌آید.

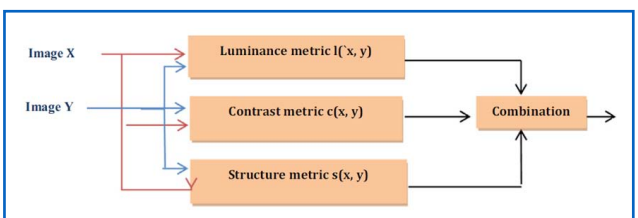
$$MS\text{-}SSIM(x,y)=[l_M(x,y)]^{\alpha_M}\prod_{j=1}^{M}C_j(x,y)^{\beta_j}.[S_j(x,y)]^{\gamma_j} \quad (۸)$$

نماهای α_M، β_j و γ_j برای تنظیم اهمیت نسبی مؤلفه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. M برابر با کمترین رزولوشن تصویر است در حالی که j=1 متناظر با وضوح تصویر اصلی است [۲۱].

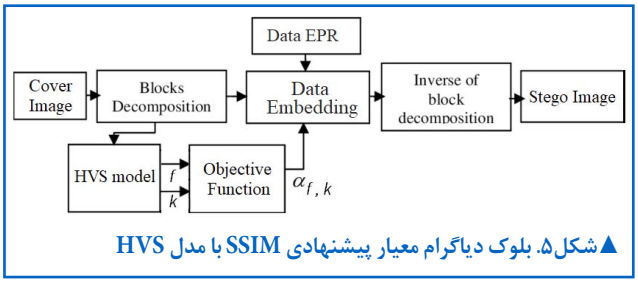
سامانه بینایی چشم انسان به مؤلفه‌های مختلف فرکانس و مناطق متفاوت در یک تصویر توجه می‌کند. مطابق با این ویژگی، ما شباهت ساختاری چند مقیاسی مبتنی بر HVS را پیشنهاد می‌دهیم، همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است.

اجزای فرکانس f تصویر می‌توانند به‌طور مؤثر ویژگی‌های بافت تصویر را منعکس کنند. باتوجه به مطالعه ویژگی سامانه بینایی انسان، توجه چشم انسان به اجزای فرکانس f متفاوت است. مطابق با HVS می‌توانیم وزن‌های مختلفی را به اجزای فرکانس مختلف اختصاص دهیم. بنابراین نتیجه داوری عینی می‌تواند با قضاوت ذهنی سازگاری بیشتر داشته باشد.

وقتی چشم انسان تصویری را می‌بیند، قسمت مرکزی تصویر، توجه اولیه انسان را به خود جلب می‌کند. پس از آن، منطقه تمرکز به‌تدریج از مرکز به مناطق دوردست گسترش پیدا خواهد کرد. این بدان معناست که اهمیت قسمت‌های مختلف در یک تصویر معمولاً از مرکز تا لبه کاهش می‌یابد. درواقع این ویژگی مثل عادات چشم انسان است که معمولاً هدف اصلی را در مرکز منظره‌یاب قرار می‌دهیم. نحوه تحریک در شبکیه چشم در شکل ۶ نشان داده شده است. با درنظر گرفتن حساسیت فضایی k، به هر بلوک یک وزن تأثیرگذار فضایی اختصاص داده می‌شود [۲۲].



▲شکل۴. سامانه اندازه‌گیری شباهت ساختار چند مقیاسی[۲۱]



▲شکل۵. بلوک دیاگرام معیار پیشنهادی SSIM با مدل HVS

8. Multi Scale Structural Similarity

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

سلول‌های حساس به نور بیشتر در ناحیه ماکولا لوتئا در شبکیه قرار دارند. به همین دلیل رزولوشن در مرکز ماکولا لوتئا[9] بالاتر است در حالی که در بخش‌های دور شبکیه چشم پایین‌تر است. درنتیجه چشم انسان فقط می‌تواند به‌شدت نسبت به یک ناحیه محدود حساس باشد در حالی که بسیاری از جزئیات را در مناطق دیگر نادیده می‌گیرد [۲۳].

با در نظر گرفتن حساسیت کانونی فضایی، به هر بلوک تصویر پوشش یک وزن تأثیرگذار فضایی اختصاص داده می‌شود. وزن‌های مؤثر فضایی را می‌توان به‌صورت معادله (۹) زیر محاسبه کرد. برای یک بلوک که مرکز آن (x,y) است.

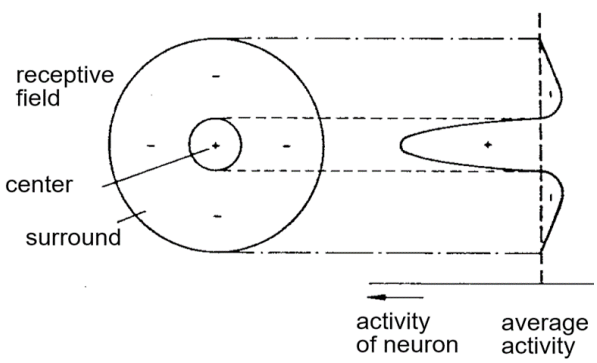
$$k_{spatial}(x,y)=1-C\times\frac{\sqrt{(x-x_c)^2+(y-y_c)^2}}{d_{max}} \quad (۹)$$

که در آن x_c ,y_c مرکز تصویر را نشان می‌دهد d_{max} بیشترین فاصله پیکسل به مرکز است. پارامتر C در محدوده 0 ~ 1 بوده و تأثیر ناشی از حساسیت کانونی فضایی را تعیین می‌کند. وزن مؤثر فضایی با معادله (۱۰) به هر بلوک اختصاص داده می‌شود:

$$h(x,y)=k_{spatial}(x,y).freq(x,y) \quad (۱۰)$$

در اینجا h(x,y) تابع معیار شباهت ساختاری چندمقیاسی مبتنی بر HVS است.

هدف از بلوک تابع بهینه‌سازی یافتن یک جواب قابل قبول، باتوجه به محدودیت و نیاز مسئله است. به‌هرحال، انتخاب تابع هدف مناسب یکی از مهم‌ترین گام‌های بهینه‌سازی است. در بهینه‌سازی فوق f ,k به‌طور همزمان در بر گیرنده چند تابع هدف مختلف هستند. در این‌گونه مسائل، تشکیل تابع هدف جدید به‌صورت ترکیب خطی توابع هدف اصلی بوده که در این ترکیب میزان اثرگذاری هر تابع با وزن اختصاص یافته به آن مشخص می‌شود [۲۳].



▲شکل۶. مقایسه منحنی تحریک در شبکیه چشم انسان[۲۲]

در معادلات (۱۱) و (۱۲) $S_w(I_w)$ فرآیند آشکارسازی داده EPR نهفته‌سازی شده W در تصویر I را نشان می‌دهد. مقدار TL حد آستانه بوده که متناسب با سطح قطعیت موردنظر انتخاب می‌شود و نشان‌دهنده فرآیند استخراج وجود اطلاعات پرونده پزشکی بیمار در تصویر پوشش است.

$$S_w(I_w)\geq T_L \quad (۱۱)$$

$$S_w(I_{w*})< T_L \quad (۱۲)$$

در معادله (۱۳) شرط تاب‌آوری روش نهفته‌سازی در برابر پس‌پردازش‌ها را بیان می‌کند و مقدار ε میزان تغییرات انجام‌یافته در اثر پس‌پردازش‌ها بر روی تصویر پوشش را نشان می‌دهد.

$$S_w(I_w+\varepsilon)\geq T_L \quad (۱۳)$$

$$I_W=\{y_m,\ n\in\{0,1,\ldots,N-1\},\ m\in\{0,1,\ldots,M-1\}\} \quad (۱۴)$$

$$y_m\in\{0,1,\ldots,G-1\} \quad (۱۵)$$

در روش‌هایی که در آنها از تابع تبدیل کسینوسی گسسته و تبدیل ویولت به‌عنوان تابع انتقال از حوزه فضایی به حوزه فرکانس استفاده شده، میزان متوسط مجذور خطای کمتری را به‌ازای نرخ‌های نهفته‌سازی برابر نسبت به سایر روش‌ها ایجاد کرده است.

یافته‌ها

با کمک نهفته‌سازی تصاویر دیجیتال پزشکی می‌توان اهدافی همچون بهبود سطح امنیت، محرمانگی اطلاعات خصوصی بیمار و ذخیره یکپارچهٔ فایل تصویری با فایل داده EPR را به دست آورد. نتایج آزمایش بر روی تصاویر پایگاه داده، بیانگر کارآیی روش درمورد تصاویر پزشکی نمونه است.

برای ارزیابی عملکرد پاسخ نهایی سامانه طراحی شده برای درج داده EPR در تصویر پوشش از معیار (۱۶) استفاده

9. macula lutea

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

می‌شـود که نشان‌دهنده میزان تغییرات انجام شده در تصویر پوشش بوده و سطح قطعیت آشکارسازی و بازیابی داده EPR را ایجاد می‌کند.

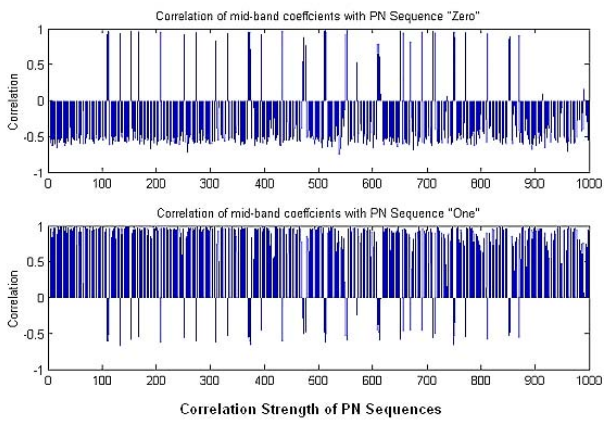
$$S = \frac{|I(x,y) - I_w(x,y)| - Mean}{Max - Min} \times 255 \qquad (۱۶)$$

تصویر پوشـش اصلی I(x,y) و تصویر نهفته‌سـازی شـده $I_W(x,y)$ اسـت. Mean مقدار میانگین سـطوح خاکسـتری تصویر پوشش اسـت. Max ماکزیمم سطح خاکستری تصویر پوشش و Min مینیمم سطح خاکستری تصویر پوشش است. تصویر پوشش پس از نهفته‌سازی داده EPR در هنگام انتقال در شـبکه‌های مخابراتی و کانال‌هـای اینترنتی اثرات نویزی اضافه خواهد شد. این شبیه‌سازی به کمک شبه نویز اتفاقی به مقدار ۵درصد به تصویر پوشـش طبق رابطه (۱۷) نشان داده شده است.

$$I_w(x,y) = I(x,y) + k * W(x,y) \qquad (۱۷)$$

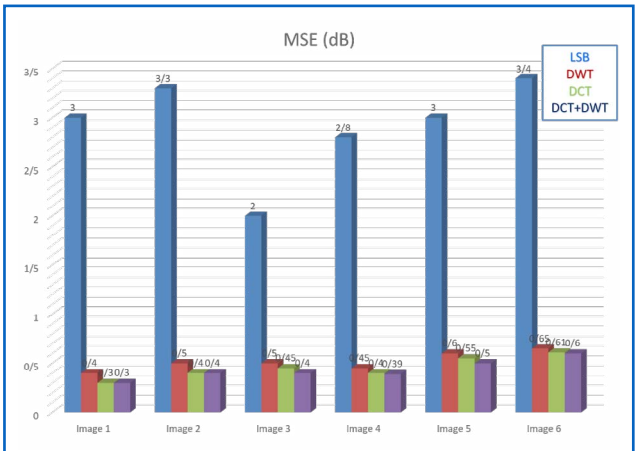
در شـکل ۷ اثر افزودن شـبه نویز کانال انتقال به تصویر پوشش و سپس محاسبه ضرایب همبستگی بلوک‌های تصویر نشان داده شده است.

به تصویر پوشـش پس از نهفته‌سـازی داده EPR، شبه نویز کانال انتقال به میزان ۵درصد افزوده شده است. کیفیت و شفافیت تصویر نهایی پس از افزودن نویز، نشان‌دهنده مقاومت روش طراحی شده در برابر نویز با سطح قطعیت آشکارسازی داده EPR ۹۹/۴۱درصد است.

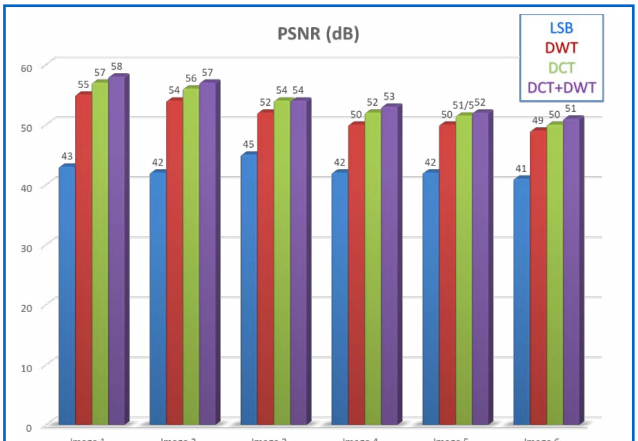


▲شکل۷. ضرایب همبستگی بلوک‌های تصویر نهایی با داده EPR

روش فوق در برابر برخـی دیگر از پردازش‌ها مانند فیلتر میانه، فیلتر گوسـی، افزایش شـدت روشـنایی، افزودن نویز گوسـی و نویز یکنواخت نیز دارای مقاومت خوبی اسـت. در روش‌هایـی که در آنها از توابع ترکیبی کسینوسـی و موجک به‌عنوان تابع انتقـال تصویر از حوزه فضایی به حوزه فرکانس استفاده شـده، میزان متوسط مجذور خطای کمتری، به‌ازای نرخ نهفته‌سـازی برابر نسـبت به سـایر روش‌ها ایجاد کرده اسـت. نتایج شبیه‌سـازی به کمک تحلیـل MSE در حوزه مـکان بـا روش LSB و حوزه تبدیل بـا روش DCT , DWT و DCT +DWT بر روی بانک اطلاعاتی تصویر MRI اجرا شده است. دو مجموعهٔ داده که یکی با ۲۰ و دیگری با ۱۸ موضوع تشکیل شده که مجموعه تصاویر دادهٔ اول IBSR20 و دادهٔ دوم



▲نمودار۱. مقایسه MSE روش‌های DCT، LSB DWT، با روش DCT+DWT



▲نمودار۲. مقایسه PSNR روش‌های DCT، LSB DWT، و روش DCT +DWT

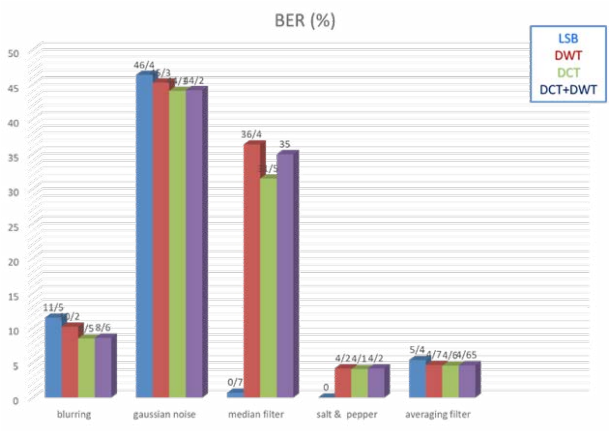
[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

IBSR18 شـناخته می‌شوند. در نمودار ۱ کاهش میزان MSE درروش فوق با سایر روش‌ها نشان داده شده است.

نتایج شبیه‌سازی به کمک تحلیل نسبت سیگنال به نویز در حوزه مکان با روش LSB و حوزه تبدیل با روش‌های DWT DCT و روش ترکیبـی DCT+DWT اجرا شـده اسـت. بانک اطلاعاتـی تصویر MRI یکی با ۲۰ و دیگـری با ۱۸ موضوع، مجموعه تصاویر داده اول IBSR20 و داده دوم IBSR18 است. نتایج روش ترکیبی DCT+DWT بر روی تصاویر پایگاه دادگان اجرا شده در نمودار ۲ نشان‌دهنده کیفیت بالاتر PSNR نسبت به سایر روش‌ها و سطح بالای امنیت تصاویر دیجیتال پزشکی MRI است.

یکی از پارامترهای اصلی در تخمین خطای نهفته‌سـازی داده EPR در تصویر پوشـش BER[10] یا نرخ خطای بیت است که با معادله (۱۸) بیان می‌شود.

$$BER=\frac{\sum_{i=1}^{n}|w_i-w_i'|}{n} \qquad (۱۸)$$



▲نمودار۳. نتایج حاصل از مقایسه نرخ خطای بیت روش‌های DCT, DWT, LSB و DCT+DWT

▼جدول۱. مقایسه عملکرد مدل‌های ارزیابی کیفیت تصویر در تصاویر mri مغزی

	NCC	MAE	RMS
PSNR	0.8089	7.3181	9.4847
SIMM	0.9171	5.0173	6.4296
HVS-SSIM	0.9312	4.5217	5.8812

در این معادله w* داده‌ی EPR اسـتخراج شده بیمار و w میزان داده EPR نهفته‌سازی شده و n تعداد کل بیت‌های داده EPR است. بنابراین مطالعه پارامتر BER برای ارزیابی عملکرد تاب‌آوری روش نهفته‌سازی به‌کار می‌رود.

نتایـج حاصـل در نمودار ۳ بـرای ارزیابـی و کارآیی روش نهفته‌سـازی از معیار نرخ خطای بیت برای مقایسـه روش‌های DCT, LSB وDWT و DCT+DWT نشـان داده شده است. نتایج حاصل، امنیت و کارآیی روش‌های حوزه تبدیل نشان داده شده است.

بحث

امروزه فناوری تجهیزات و سامانه‌های سخت‌افزاری به‌عنوان ابزاری مطمئـن و به‌صرفه بـرای یکپارچه‌سـازی نرم‌افزارهای مختلف کاربردی در محیط‌های بهداشـتی - درمانی شـناخته شده است. در کشورهایی که کمبود امکانات پزشکی در مناطق روسـتایی وجود دارد، دورپزشـکی می‌تواند یـک مزیت بزرگ برای مردم عادی باشـد اما با داشتن پتانسیل عظیم دورپزشکی خطرات متعددی آن را تهدید می‌کند [۸].

تعهدات اخلاقی پزشکان در تعهد به افشا نکردن اطلاعات و آگاهی در تصمیم‌گیری پیرامون عملیات پزشـکی، آگاهی کافی نسبت به پرونده پزشکی، نوع بیماری، عوارض و شیوه‌های درمان بیمار اسـت. بنابراین برای اطمینان از صحت داده‌های پزشکی، باید روش‌هایی برای ایمن‌سـازی تصاویر پزشکی هنگام انتقال فراهم کنیم [۹].

اسـتفاده از فنـاوری Telemedicine به‌منظـور انتقـال اطلاعات و آگاهی دادن به‌منظور تشـخیص پزشکی، درمان و مراقبت بیمار و آموزش‌های از راه دور، از نیازهای اساسـی حوزه سـلامت است. با پیشـرفت فناوری اطلاعات در حوزه انفورماتیک پزشـکی، اسـتفاده از سـامانه ارتباط و بایگانی تصویـری یا PACS امکان انتقال، ذخیـره، بازیابی و نمایش تصاویر پزشکی در نقاط مختلف را فراهم کرده است. وضعیت امنیت در سیستم‌های PACS و سـامانه‌های ارتباطی حوزه سلامت دارای نقاط ضعفی است. برنامه‌ریزی به‌منظور تدوین قوانین لازم پیرامون امنیت دسترسـی به داده‌های بیماران

10. Bit Error Rate

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

و رعایت آن و کنترل دسترسی به این داده‌ها و مدیریت خطر، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. برای برطرف‌کردن نیازمندی‌های امنیتی شبکه سلامت الکترونیک، موضوع حریم خصوصی، محرمانگی و یکپارچگی داده‌ها و نیز در نظر گرفتن کاربران مختلف در شبکه و احراز هویت دوطرفه مهم است. در نتیجه مدل پیشنهادی، دارای توانایی اجرا در شبکه‌های مختلف سلامت الکترونیک هست.

نتیجه‌گیری

روش پیشنهادی موجبات بهبود سطح امنیت، محرمانگی اطلاعات بیمار و ذخیره یکپارچه اطلاعات بیمار و تصویر را ایجاد می‌کند. بررسی نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی، باتوجه به پارامترهای تاب‌آوری و شفافیت در مقایسه با سایر روش‌ها، به کمک معیارهای ارزیابی شامل MSE, PSNR, NC و BER انجام شده است. نتایج حاصل، میزان خطای MSE کمتری به ازای نرخ نهفته‌سازی یکسان نسبت به سایر روش‌ها ایجاد کرده است. همچنین معیار PSNR و BER نسبت به سایر روش‌ها نشان‌دهنده سطح بالای امنیت تصویر پزشکی نهفته‌سازی شده و عملکرد مناسب روش نسبت به سایر روش‌هاست.

تشکر و قدردانی: از تمامی مسئولان فناوری اطلاعات دانشگاه علوم پزشکی و پارک علم و فناوری سلامت مشهد که در انجام مطالعه حاضر همکاری کردند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.
تأییدیه اخلاقی: پژوهش حاضر توسط دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی برق و رباتیک در قالب رساله دکتری مورد تأیید قرار گرفت.
تعارض منافع: این پژوهش با حمایت‌های معنوی گروه الکترونیک و مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود در قالب یک پروژه پژوهشی در راستای رساله دکتری انجام شد و هیچگونه تعارض منافعی در آن وجود ندارد.
منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

References

1. Sreekutty MS, Baiju PS. Security enhancement in image steganography for medical integrity verification system. In2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT) 2017 Apr 20 (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074197.
2. Abdel-Nabi H, Al-Haj A. Efficient joint encryption and data hiding algorithm for medical images security. In2017 8th international conference on information and communication systems (ICICS) 2017 Apr 4 (pp. 147-152). IEEE. doi: 10.1109/IACS.2017.7921962.
3. Collie J. Digital forensic evidence—Flaws in the criminal justice system. Forensic Sci Int. 2018;289:154-5. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.05.014.
4. Casey E, Ribaux O, Roux C. Digital transformations and the viability of forensic science laboratories: Crisis-opportunity through decentralisation. Forensic Sci Int. 2018;289:e24-5. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.04.055.
5. Mohsin AH, Zaidan AA, Zaidan BB, Mohammed KI, Albahri OS, Albahri AS, Alsalem MA. PSO–Blockchain-based image steganography: towards a new method to secure updating and sharing COVID-19 data in decentralised hospitals intelligence architecture. Multimed Tools Appl. 2021;80(9):14137-61. doi: 10.1007/s11042-020-10284-y.
6. Loan NA, Parah SA, Sheikh JA, Akhoon JA, Bhat GM. Hiding electronic patient record (epr) in medical images: A high capacity and computationally efficient technique for e-healthcare applications. J Biomed Inform. 2017;73:125-36. doi: 10.1016/j.jbi.2017.08.002.
7. Geetha R, Geetha S. Efficient high capacity technique to embed EPR information and to detect tampering in medical images. J Med Eng Technol. 2020;44(2):55-68. doi: 10.1080/03091902.2020.1718223.
8. Sharifara A, Ghaderi A. Medical Image Watermarking using 2D-DWT with Enhanced security and capacity. arXiv preprint arXiv:1703.05778. 2017 Mar 16.
9. Nagaraju C, ParthaSarathy SS. Embedding ECG and patient information in medical image. InInternational Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014) 2014 May 9 (pp. 1-6). IEEE. doi: 10.1109/ICRAIE.2014.6909299.
10. Mazumdar H, Anand P, Soni SJ, Joshi M, Rajeev K, Rajak M. Human visual system models in digital watermarking. In2015 International Conference and Workshop on Computing and Communication (IEMCON) 2015 Oct 15 (pp. 1-7). IEEE. doi: 10.1109/IEMCON.2015.7344459.
11. Kishore VV, Kalpana V. ROI Segmentation and Detection of Neoplasm Based on Morphology Using Segmentation Operators. InEmerging Trends in Electrical, Communications, and Information Technologies 2020 (pp. 501-509). Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-13-8942-9_41.
12. Rubin C. Picture archiving and communication systems (PACS) and guidelines on diagnostic display devices. UK: The Royal College of Radiologists, 3rd Edition, February 2019.
13. Geetha R, Geetha S. Efficient high capacity technique to embed EPR information and to detect tampering in medical images. J Med Eng Technol. 2020;44(2):55-68. doi: 10.1080/03091902.2020.1718223.
14. Yahya A. Steganography Techniques for Digital Images. USA: The registered company Springer International Publishing AG part of Springer Nature, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]

78597-4_2.
15. Angulakshmi M, Lakshmi Priya GG. Automated brain tumour segmentation techniques—a review. International Int J Imaging Syst Technol. 2017;27(1):66-77. doi: 10.1002/ima.22211.
16. Habbouli O, Megherbi DB. A secure, self-recovery, and high capacity blind digital image information hiding and authentication scheme using DCT moments. In2017 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST) 2017 Apr 25 (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.1109/THS.2017.7943459.
17. Shaik A, Thanikaiselvan V, Amitharajan R. Data security through data hiding in images: a review. J Artif Intell. 2017;10(1):1-21. doi: 10.3923/jai.2017.1.21.
18. Deepika R, Arasi EE, Geethanjali M. Secure Text Sharing using Medical Image Steganography. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2019;7(3):37-43. doi: 10.17762/ijritcc.v7i3.5259.
19. Temel D, AlRegib G. Perceptual image quality assessment through spectral analysis of error representations. Signal Process Image Commun. 2019;70:37-46. doi: 10.1016/j.image.2018.09.005.
20. Wang Z, Simoncelli EP, Bovik AC. Multiscale structural similarity for image quality assessment. InThe Thrity-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers, 2003 2003 Nov 9 (Vol. 2, pp. 1398-1402). IEEE.
21. Nasr MA, AlRahmawy MF, Tolba AS. Multi-scale structural similarity index for motion detection. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences. 2017;29(3):399-409. doi: 10.1016/j.jksuci.2016.02.004.
22. Xiu-ying M, Jia-jun L. HVS-based imperceptibility evaluation for steganography. InInternational Conference on Scalable Information Systems 2009 Jun 10 (pp. 152-161). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-10485-5_11.
23. Rashmi N, Jyothi K. An improved method for reversible data hiding steganography combined with cryptography. In2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC) 2018 Jan 19 (pp. 81-84). IEEE. doi: 10.1109/ICISC.2018.8398946.

[Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-06]