



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 Grailo¹

¹ Faculty of Electrical and Robotics Engineering, Shahrood 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 α_{tk} 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.



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

جلیل ذبیحی^{۱*}، هادی گرایلو^۱^۱ دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران

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

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

۱۴۰۰/۰۶/۲۷

دریافت:

۱۴۰۰/۰۹/۰۳

پذیرش:

۱۴۰۰/۰۹/۱۵

انتشار بر خط:

واژگان کلیدی:

امنیت

ارزیابی

نهفته‌سازی داده

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 به تنهایی 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 به منظور شفافیت و تاب‌آوری است. ضریب نهفته‌سازی K به میزان یکنواختی N-ROI به صورت تطبیقی در نظر گرفته می‌شود. انتخاب ضرایب α_{fk} 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، باتوجه به پارامترهای تاب‌آوری و شفافیت در مقایسه با سایر روش‌ها، به کمک معیارهای ارزیابی شامل SSIM، NCC، MSE PSNR و BER انجام شده است.

مقدمه

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

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

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 از جمله برخی از الزامات اساسی روش نهفته‌سازی داده شامل جلوگیری از نفوذ^۱، ظرفیت پیام^۲، تاب‌آوری^۳ و امنیت^۴ اشاره شده است. بنابراین یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و مشکلات موجود در سامانه پرونده الکترونیکی سلامت، جابه‌جایی اطلاعات محرمانه پزشکی بدون تحریف^۵ است.

در سامانه نهفته‌سازی پزشکی با مخفی کردن محرمانه پرونده الکترونیکی بیمار (EPR)^۶ درون تصویر پزشکی، یک ارتباط نامرئی بین فرستنده و گیرنده داده برقرار می‌شود. همچنین قطعه‌بندی تصویر پزشکی یک فرآیند مهم در تجزیه و تحلیل تصویر در کاربردهای بالینی محسوب شده که هدف

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 تجهیزات 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 فناوری برخوردارند که رایج‌ترین آنها کالبدشکافی است. پیشرفت فناوری 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 سر زنده 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

1. imperceptibility
2. capacity
3. robustness

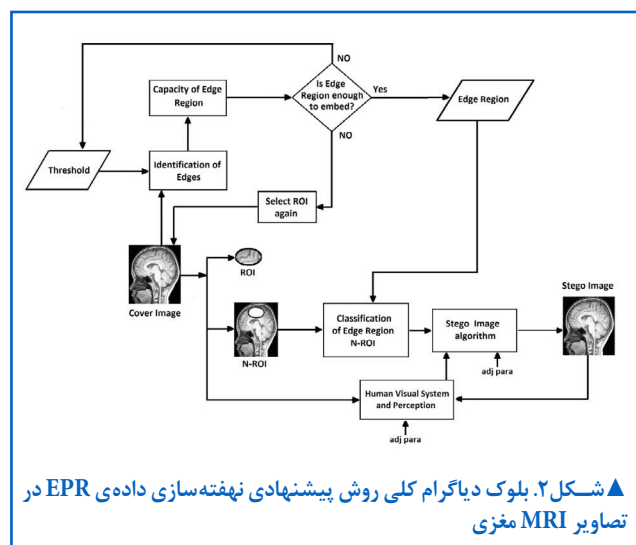
4. security
5. distorting
6. Electronic Patient Record

بلوک دیاگرام کلی روش نهفته سازی 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 نهفته سازی 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 به صورت کامل توضیح داده می شود.

مرحله اول

روش نهفته سازی با تقسیم تصویر پوشش به دو منطقه ROI و N-ROI شروع می شود. برای شناسایی منطقه مناسب که دارای سطوح یکنواخت نباشد، از الگوریتم تشخیص لبه استفاده می کنیم. سپس بر اساس سائز پرونده EPR بیمار و تعداد پیکسل های مورد نیاز انتخاب شده از تصویر پوشش، مقدار آستانه اصلاح شده و اگر منطقه مناسب برای نهفته سازی پیام نباشد، منطقه ROI با مختصات جدید دوباره انتخاب می شود. انتخاب منطقه ROI می تواند به صورت دستی توسط پزشک متخصص و یا به صورت خودکار به کمک قطعه بندی تصویر انجام شود [۱۱، ۱۵].

تصویر پزشکی معمولاً حاوی منطقه خاصی از اطلاعات بیماری بوده که به عنوان منطقه ROI اشاره می شود. محافظت

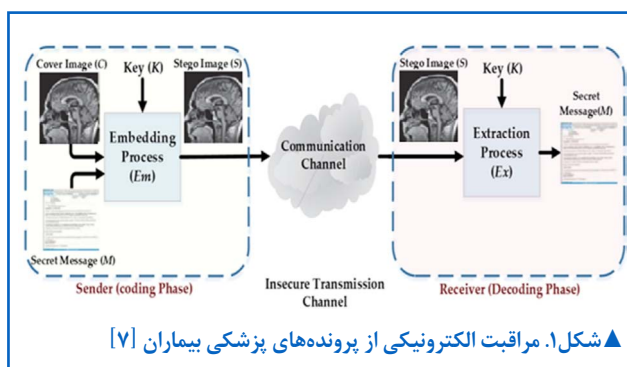


7. non-overlapping regions

آن تقسیم تصویر به مناطق غیرهمپوشان^۷ است [۶]. تحقیقات اخیر فناوری اطلاعات در حوزه های کاربردی نهفته سازی تصاویر دیجیتال پزشکی [۱۳-۶] محدود بوده و نیازمند توجه و توسعه بیشتری است. نهفته سازی داده ها در پرونده های پزشکی و ارتباط از طریق دورپزشکی به طور گسترده ای باعث سهولت در ارتباط می شود. در شکل ۱ نحوه مراقبت الکترونیک از پرونده های پزشکی بیماران نشان داده می شود. با ورود فناوری های نوین در علم پزشکی و به خدمت گرفتن مهندسی در پزشکی، ارتقای قابل توجهی در سطح خدمات حوزه پزشکی، داده ورزی پزشکی، دورپزشکی، سازمان پزشکی قانونی و مراقبت الکترونیک صورت گرفته است. پرونده های 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 داده های پزشکی بیماران می شود [۷، ۱۴].

روش بررسی

باتوجه به کارایی مدل ریاضی سامانه بینایی انسان در روش های نهفته سازی داده، می توان از این مدل در طراحی و شبیه سازی سامانه های نهفته سازی تصاویر پزشکی دیجیتال به صورت ضمنی برای برآورده شدن شرط نامرئی بودن اطلاعات پرونده الکترونیکی بیمار در تصاویر پزشکی استفاده کرد. اکثر الگوریتم های نهفته سازی داده، حداقل تغییرات جزئی در تصاویر پزشکی را در نظر نمی گیرند. از آنجا که درمان بیماران به تصویر پزشکی دقیق بستگی دارد، نمی توان این اعوجاج را نادیده گرفت [۱۰].



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) نشان داده شده است [۱۲،۱۶].

$$K = \frac{L}{MN} \text{ (bpp)} \quad (1)$$

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 ابعاد $N \times M$ و متشکل از G سطح خاکستری انتخاب شده و داده EPR مخفی W که یک تصویر باینری است به ابعاد $P \times Q$ در نظر گرفته خواهد شد. x_{nm} تعداد سطوح خاکستری تصویر MRI و W_{nm} مقادیر سطوح داده EPR است [۱۲،۱۷].

$$I = \{x_m, n \in \{0, 1, \dots, N-1\} \quad m \in \{0, 1, \dots, M-1\} \quad (2)$$

$$W = \{W_m, n \in \{0, 1, \dots, P-1\} \quad m \in \{0, 1, \dots, Q-1\} \quad (3)$$

$$x_m \in \{0, 1, \dots, G-1\} \quad (4)$$

$$W_m \in \{0, 1\} \quad W_0 W_1 \quad (5)$$

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.

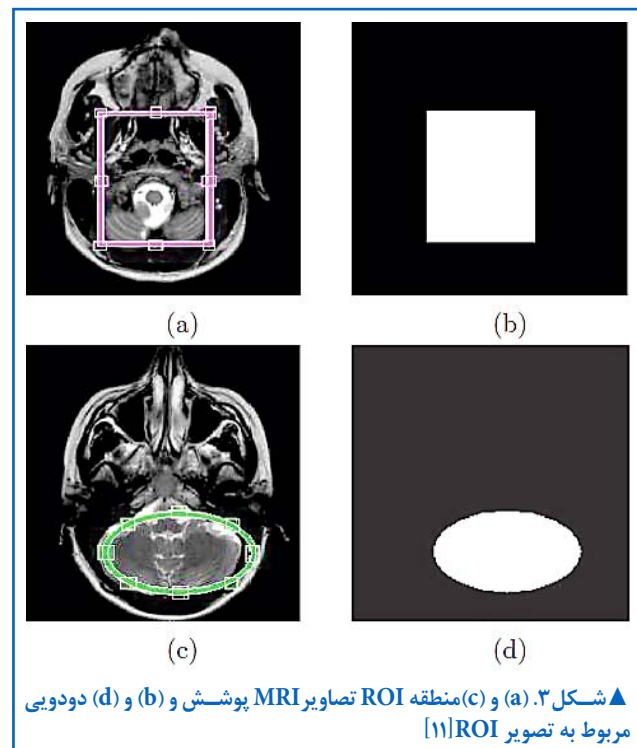
$$I_w = I \oplus W \quad (6)$$

در معادله (۶) علامت نشان‌دهنده عملگر نهفته‌سازی داده EPR مخفی W در تصویر پوشش I است. در معادله (۷) 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 با قدرت دید طبیعی در هنگام مشاهده تصویر I را نشان می‌دهد [۱۳،۱۸].

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 نشان داده شده، داده‌های پرونده الکترونیکی بیمار فقط در بلوک‌های منطقه N-ROI نهفته‌سازی شده و از ایجاد تغییرات در منطقه ROI اجتناب 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



(۸) به دست می‌آید.

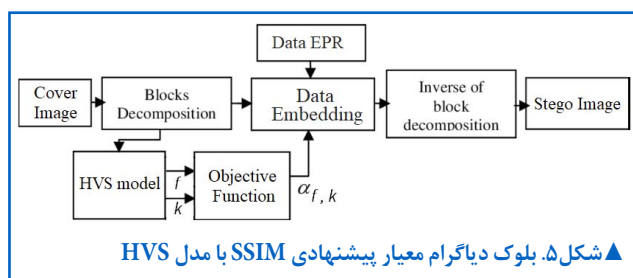
$$MS-SSIM(x,y)=[I_M(x,y)]^{\alpha_M} \prod_{j=1}^M C_j(x,y)^{\beta_j} \cdot [S_j(x,y)]^{\gamma_j} \quad (8)$$

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. با توجه 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 به تدریج از مرکز به مناطق دور دست گسترش پیدا خواهد کرد. این بدان معناست که اهمیت قسمت‌های مختلف در یک تصویر معمولاً از مرکز تا لبه کاهش می‌یابد. در واقع این ویژگی مثل عادات چشم انسان است که معمولاً هدف اصلی را در مرکز منظره‌یاب قرار می‌دهیم. نحوه تحریک در شبکه چشم در شکل ۶ نشان داده شده است. با در نظر گرفتن حساسیت فضایی k ، به هر بلوک یک وزن تأثیرگذار فضایی اختصاص داده می‌شود [۲۲].

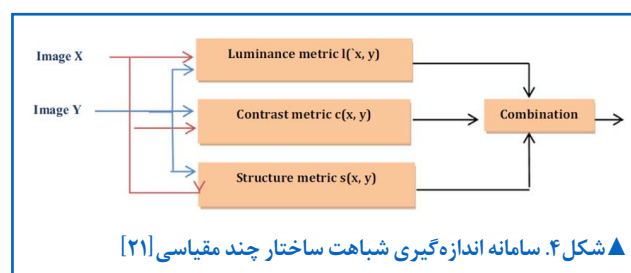


$$V(I_W)=V(I) \quad (7)$$

ارزیابی کیفیت تصویر نهایی با معیار شباهت ساختاری چند مقیاسی SSIM^۸ 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 قرار گرفته، 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 شکل ۴ 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^j 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 $I_M(x,y)$ فقط در مقیاس M محاسبه می‌شود و ارزیابی کلی SSIM با ترکیب اندازه‌گیری در مقیاس‌های مختلف با معادله



هدف مختلف هستند. در این گونه مسائل، تشکیل تابع هدف جدید به صورت ترکیب خطی توابع هدف اصلی بوده که در این ترکیب میزان اثرگذاری هر تابع با وزن اختصاص یافته به آن مشخص می‌شود [۲۳].

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.

$$S_w(I_w) \geq T_L \quad (11)$$

$$S_w(I_w) < T_L \quad (12)$$

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.

$$S_w(I_w + \varepsilon) \geq T_L \quad (13)$$

$$I_w = \{y_m, n \in \{0, 1, \dots, N-1\} \mid m \in \{0, 1, \dots, M-1\}\} \quad (14)$$

$$y_m \in \{0, 1, \dots, G-1\} \quad (15)$$

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 یکپارچه فایل تصویری با فایل داده EPR را به دست آورد. نتایج آزمایش بر روی تصاویر پایگاه داده، بیانگر کارایی 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

سلول‌های حساس به نور بیشتر در ناحیه ماکولا لوتئا در شبکه‌ی قرار دارند. به همین دلیل رزولوشن در مرکز ماکولا لوتئا^۹ بالاتر است در حالی که در بخش‌های دور شبکه‌ی چشم پایین‌تر است. در نتیجه 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 به صورت معادله (۹) زیر محاسبه کرد. برای یک بلوک که مرکز آن (x, y) است.

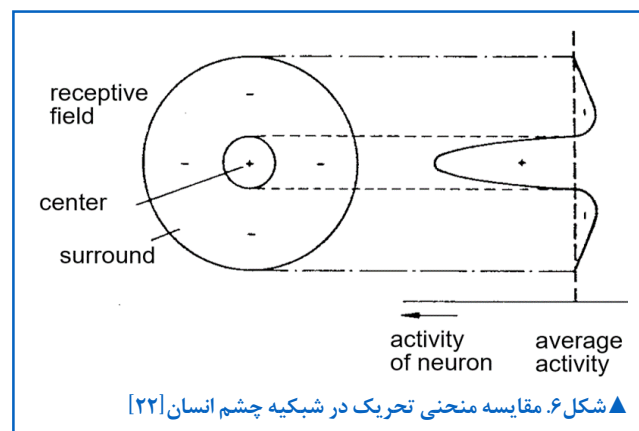
$$k_{\text{spatial}}(x, y) = 1 - C \times \frac{\sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}}{d_{\text{max}}} \quad (9)$$

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

$$h(x, y) = k_{\text{spatial}}(x, y) \cdot \text{freq}(x, y) \quad (10)$$

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

هدف از بلوک تابع بهینه‌سازی یافتن یک جواب قابل قبول، با توجه به محدودیت و نیاز مسئله است. به هر حال، انتخاب تابع هدف مناسب یکی از مهم‌ترین گام‌های بهینه‌سازی است. در بهینه‌سازی فوق f, k به‌طور همزمان در بر گیرنده چند تابع



9. macula lutea

روش فوق در برابر برخی دیگر از پردازش‌ها مانند فیلتر میانه، فیلتر گوسی، افزایش شدت روشنایی، افزودن نویز گوسی و نویز یکنواخت نیز دارای مقاومت خوبی است. در روش‌هایی که در آنها از توابع ترکیبی کسینوسی و موجک به عنوان تابع انتقال تصویر از حوزه فضایی به حوزه فرکانس استفاده شده، میزان متوسط مجذور خطای کمتری، به ازای نرخ نهفته‌سازی برابر نسبت به سایر روش‌ها ایجاد کرده است. نتایج شبیه‌سازی به کمک تحلیل MSE در حوزه مکان با روش LSB و حوزه تبدیل با روش DWT، DCT و DCT+DWT بر روی بانک اطلاعاتی تصویر MRI اجرا شده است. دو مجموعه داده که یکی با ۲۰ و دیگری با ۱۸ موضوع تشکیل شده که مجموعه تصاویر داده اول IBSR20 و داده دوم

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

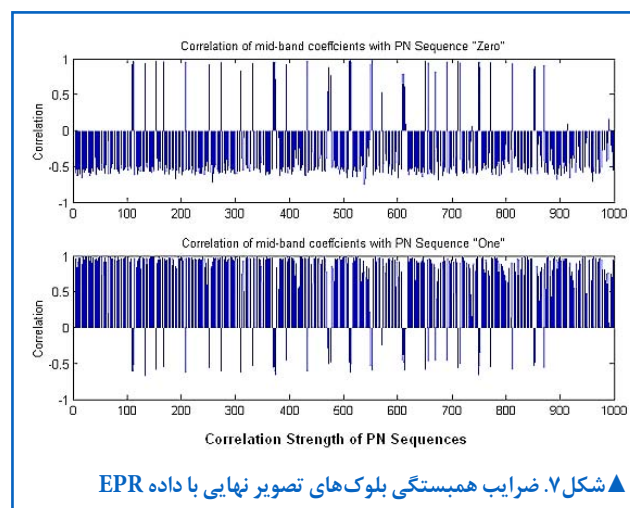
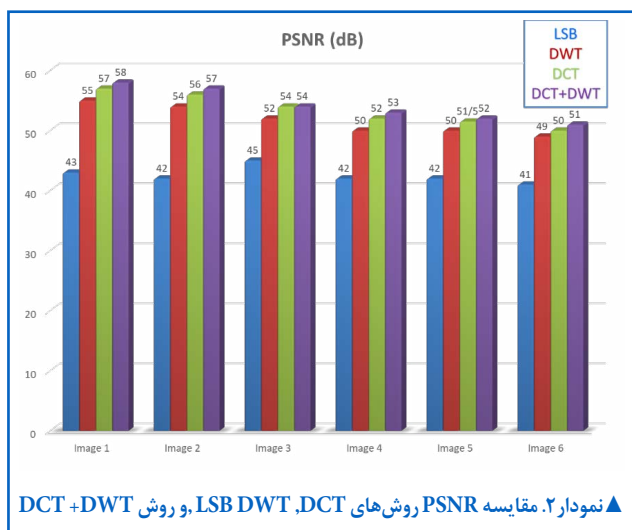
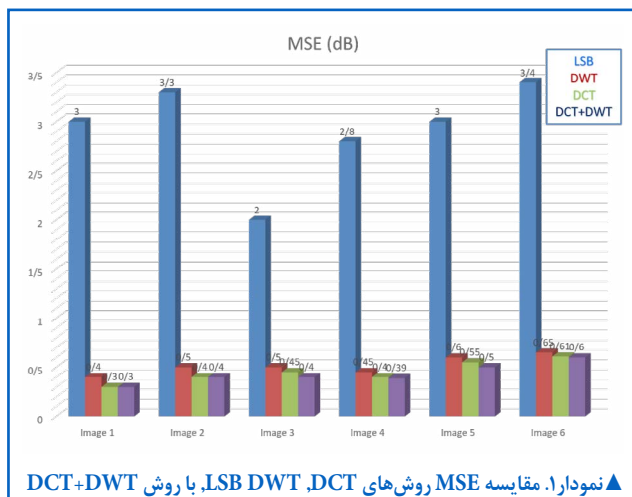
$$S = \frac{|I(x,y) - I_w(x,y) - \text{Mean}| - \text{Mean}}{\text{Max} - \text{Min}} \times 255 \quad (16)$$

تصویر پوشش اصلی $I(x,y)$ و تصویر نهفته‌سازی شده $I_w(x,y)$ است. Mean مقدار میانگین سطوح خاکستری تصویر پوشش است. 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 شبکه‌های مخابراتی و کانال‌های اینترنتی اثرات نویزی اضافه خواهد شد. این شبیه‌سازی به کمک شبه نویز اتفاقی به مقدار ۵ درصد به تصویر پوشش طبق رابطه (۱۷) نشان داده شده است.

$$I_w(x,y) = I(x,y) + k * W(x,y) \quad (17)$$

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

به تصویر پوشش پس از نهفته‌سازی داده EPR، شبه نویز کانال انتقال به میزان ۵ درصد 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 ۹۹/۴۱ درصد است.



در این معادله w^* داده‌ی EPR استخراج 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 به کار می‌رود. نتایج حاصل در نمودار ۳ برای ارزیابی و کارایی روش نهفته‌سازی از معیار نرخ خطای بیت برای مقایسه روش‌های DCT, LSB و DWT و DCT+DWT نشان داده شده است. نتایج حاصل، امنیت و کارایی روش‌های حوزه تبدیل نشان داده شده است.

بحث

امروزه فناوری تجهیزات و سامانه‌های سخت‌افزاری به‌عنوان ابزاری مطمئن و به‌صرفه برای یکپارچه‌سازی نرم‌افزارهای مختلف کاربردی در محیط‌های بهداشتی - درمانی شناخته شده است. در کشورهایی که کمبود امکانات پزشکی در مناطق روستایی وجود دارد، دورپزشکی می‌تواند یک مزیت بزرگ برای مردم عادی باشد اما با داشتن پتانسیل عظیم دورپزشکی خطرات متعددی آن را تهدید می‌کند [۸].

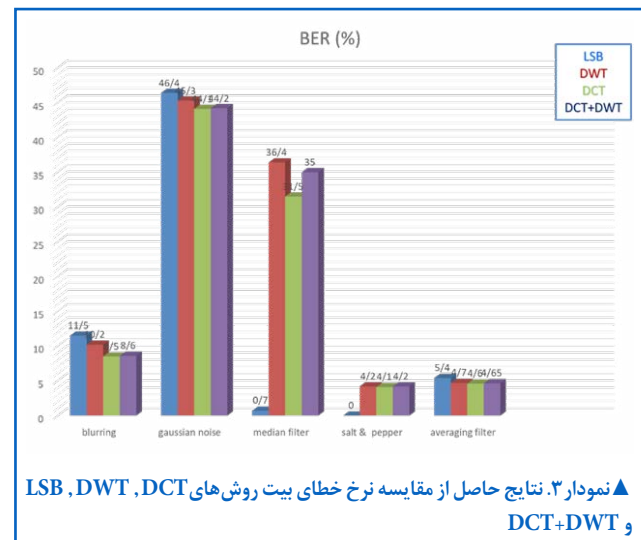
تعهدات اخلاقی پزشکان در تعهد به افشا نکردن اطلاعات و آگاهی در تصمیم‌گیری پیرامون عملیات پزشکی، آگاهی کافی نسبت به پرونده پزشکی، نوع بیماری، عوارض و شیوه‌های درمان بیمار است. بنابراین برای اطمینان از صحت داده‌های پزشکی، باید روش‌هایی برای ایمن‌سازی تصاویر پزشکی هنگام انتقال فراهم کنیم [۹].

استفاده از فناوری Telemedicine به‌منظور انتقال اطلاعات و آگاهی دادن به‌منظور تشخیص پزشکی، درمان و مراقبت بیمار و آموزش‌های از راه دور، از نیازهای اساسی حوزه سلامت است. با پیشرفت فناوری اطلاعات در حوزه انفورماتیک پزشکی، استفاده از سامانه ارتباط و بایگانی تصویری یا PACS امکان انتقال، ذخیره، بازیابی و نمایش تصاویر پزشکی در نقاط مختلف را فراهم کرده است. وضعیت امنیت در سیستم‌های PACS و سامانه‌های ارتباطی حوزه سلامت دارای نقاط ضعفی است. برنامه‌ریزی به‌منظور تدوین قوانین لازم پیرامون امنیت دسترسی به داده‌های بیماران

IBSR18 شناخته می‌شوند. در نمودار ۱ کاهش میزان MSE در روش 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 و DCT و روش ترکیبی DCT+DWT اجرا شده است. بانک اطلاعاتی تصویر MRI یکی با ۲۰ و دیگری با ۱۸ موضوع، مجموعه تصاویر داده اول IBSR20 و داده دوم IBSR18 است. نتایج روش ترکیبی DCT+DWT بر روی تصاویر پایگاه داده‌گان 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 نهفته‌سازی داده EPR در تصویر پوشش BER^{۱۰} یا نرخ خطای بیت است که با معادله (۱۸) بیان می‌شود.

$$BER = \frac{\sum_{i=1}^n |w_i - w_i'|}{n} \quad (18)$$



▲ نمودار ۳. نتایج حاصل از مقایسه نرخ خطای بیت روش‌های DCT, DWT, LSB و DCT+DWT

▼ جدول ۱. 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

2. Abdel-Nabi H, Al-Haj A. Efficient joint encryption and data hiding algorithm for medical images security. In 2017 8th international conference on information and communication systems (ICICS) 2017 Apr 4 (pp. 147-152). IEEE. doi: [10.1109/ICICS.2017.7921962](https://doi.org/10.1109/ICICS.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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1007/s11042-020-10284-y).
6. Loan NA, Parah SA, Sheikh JA, Akhoun 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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. In *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)* 2014 May 9 (pp. 1-6). IEEE. doi: [10.1109/ICRAIE.2014.6909299](https://doi.org/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. In *2015 International Conference and Workshop on Computing and Communication (IEMCON)* 2015 Oct 15 (pp. 1-7). IEEE. doi: [10.1109/IEMCON.2015.7344459](https://doi.org/10.1109/IEMCON.2015.7344459).
11. Kishore VV, Kalpana V. ROI Segmentation and Detection of Neoplasm Based on Morphology Using Segmentation Operators. In *Emerging Trends in Electrical, Communications, and Information Technologies 2020* (pp. 501-509). Springer, Singapore. doi: [10.1007/978-981-13-8942-9_41](https://doi.org/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](https://doi.org/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-](https://doi.org/10.1007/978-3-319-)

و رعایت آن و کنترل دسترسی به این داده‌ها و مدیریت خطر، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. برای برطرف کردن 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، با توجه 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. In *2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)* 2017 Apr 20 (pp. 1-5). IEEE. doi: [10.1109/ICCPCT.2017.8074197](https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074197).

- through spectral analysis of error representations. *Signal Process Image Commun.* 2019;70:37-46. doi: [10.1016/j.image.2018.09.005](https://doi.org/10.1016/j.image.2018.09.005).
20. Wang Z, Simoncelli EP, Bovik AC. Multiscale structural similarity for image quality assessment. In: *The Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers*, 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](https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.02.004).
 22. Xiu-ying M, Jia-jun L. HVS-based imperceptibility evaluation for steganography. In: *International Conference on Scalable Information Systems* 2009 Jun 10 (pp. 152-161). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: [10.1007/978-3-642-10485-5_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-10485-5_11).
 23. Rashmi N, Jyothi K. An improved method for reversible data hiding steganography combined with cryptography. In: *2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)* 2018 Jan 19 (pp. 81-84). IEEE. doi: [10.1109/ICISC.2018.8398946](https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8398946).
 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](https://doi.org/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. In: *2017 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)* 2017 Apr 25 (pp. 1-5). IEEE. doi: [10.1109/THS.2017.7943459](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.17762/ijritcc.v7i3.5259).
 19. Temel D, AlRegib G. Perceptual image quality assessment