



فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))
دوره ۲، شماره ۳، آذر ۱۴۰۲

عنوان مقالات

مقاله پژوهشی

بهبود کنتراست تصاویر با محدوده روشنایی متنوع با استفاده از

تبدیل موجک

مجید زارعی^۱، علی جاهد سراوانی^۱، فرهاد صادقی آلمالو^۲، جواد رنجبر^۱

۱. استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص)، تهران، ایران

۲. دانشکده مهندسی برق، دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص)، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

چکیده

در این مقاله، یک الگوریتم بهبود کنتراست با استفاده از تبدیل موجک، جهت ایجاد ارتقا طبیعی در تصاویر با محدوده روشنایی متنوع پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، ابتدا توسط تبدیل موجک گسسته تصویر ورودی به ۴ زیر باند تجزیه می‌شود. سپس در تصویر زیرباند LL، به وسیله سطح آستانه قطع برابر با میانگین شدت‌ها، فرآیند قطع هیستوگرام انجام می‌شود. در ادامه هیستوگرام قطع شده براساس آنتروپی به سه بخش با تعداد پیکسل تقریباً برابر تقسیم می‌شود و قبل از انجام فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند. در نهایت از تبدیل موجک گسسته معکوس برای ایجاد تصویر بهبود یافته استفاده می‌کنیم. روش پیشنهادی با کنترل نسبت ارتقا، تصویری با حفظ حداکثر جزئیات و ارتقا طبیعی در تصویر خروجی تولید می‌کند. ارزیابی مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های ارائه شده قبلی، از نظر آنتروپی و همچنین کیفیت بصری براساس میانگین نمره نظر، نشان از برتری الگوریتم پیشنهادی دارد.

کلمات کلیدی:

آنتروپی، بهبود کنتراست، تبدیل موجک، تعدیل هیستوگرام.



نویسنده مسئول:

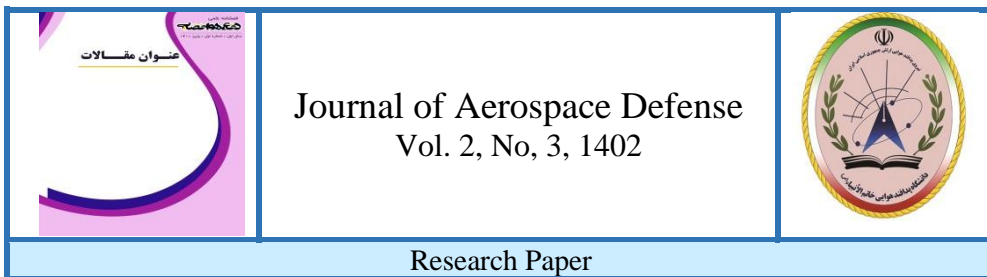
مجید زارعی

ایمیل:

majidzarie@yahoo.com

استناد به مقاله: مجید زارعی، علی جاهد سراوانی، فرهاد صادقی آلمالو، جواد رنجبر، بهبود کنتراست تصاویر با

محدوده روشنایی متنوع با استفاده از تبدیل موجک، مجله علمی پژوهشی دفاع هوافضایی دوره ۲، شماره ۳، آذر ۱۴۰۲.



Research Paper

Improving the contrast of images with various brightness ranges Using wavelet transform

Majid Zarie¹, Ali Jahed Saravani¹, Farhad Sadeghi Almaloo², Javad Ranjbar¹

¹ Assistant Professor, Electrical Engineering Department, khatam al-anbia (pbuh) University, Tehran, Iran

² Electrical Engineering Department, khatam al-anbia (pbuh) University, Tehran, Iran

Article Information

Accepted: 1402/10/15

Received: 1402/06/06

Keywords:

Entropy, Contrast Enhancement, Wavelet Transform, Histogram Equalization.

Abstract

In this article, a contrast enhancement algorithm using wavelet transform is proposed to create natural enhancement in images with various brightness ranges. In the proposed method, the input image is first decomposed into 4 sub-bands by discrete wavelet transformation. Then, in the LL sub band image, the histogram cutting process is performed by the cutting threshold level equal to the average intensities. Next, the cut histogram based on entropy is divided into three parts with approximately equal number of pixels, and before equalization process, each sub-histogram is mapped to the new dynamic range. Finally, we use the inverse discrete wavelet transform to create an improved image. By controlling the enhancement ratio, the proposed method produces an image with maximum details and natural enhancement in the output image. Comparing the performance of the proposed method with previously presented methods, in terms of entropy as well as visual quality based on the mean opinion score, shows the superiority of the proposed algorithm.



Corresponding author:

Majid Zarie

Email:

majidzarie@yahoo.com

HOW TO CITE: M. Zarie, A. Jahed Saravani, F. Sadeghi Almaloo, J. Ranjbar, Improving the contrast of images with various brightness ranges Using wavelet transform, Journal of Aerospace Defense, Vol. 2, No 3, 1402.

۱- مقدمه

با توجه به شرایط تصویربرداری ممکن است تصویر گرفته شده از کیفیت بالایی برخوردار نباشد و نیاز باشد کیفیت تصویر بهبود یابد. یکی از فاکتورهای کیفی مهم در پردازش تصاویر مختلف، کنتراست می‌باشد. تعدیل هیستوگرام عمومی^۱ متداول‌ترین روش برای ارتقا کنتراست است. در این روش، براساس گسترش یکنواخت تابع چگالی احتمال^۲، سطوح خاکستری تصویر ورودی دوباره نگاشت پیدا می‌کند [۱]. روش GHE، به دلیل ارتقا بیش از حد، منجر به ایجاد مشکل اشباع شدت و ایجاد آثار مصنوعی در تصویر خروجی می‌شود [۲]. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، روشی به نام تعدیل هیستوگرام دوتایی با حفظ روشنایی^۳ ارائه شد [۳]. در این روش، هیستوگرام ورودی بر پایه میانگین مقادیر شدت به دو زیرهیستوگرام تقسیم می‌شود. سپس در هر دو زیرهیستوگرام به طور جداگانه فرآیند تعدیل انجام می‌پذیرد. این روش نیز دارای مشکل اشباع شدت می‌باشد. در ادامه روش تعدیل هیستوگرام زیرتصویر دوگانه^۴ ارائه شد [۴]. در روش DSIHE، هیستوگرام ورودی بر پایه میانه مقادیر شدت، به دو زیرهیستوگرام با تعداد پیکسل برابر تقسیم می‌شود.

در ادامه روش تعدیل هیستوگرام با جداسازی میانگین بازگشتی^۵ ارائه شد [۵]. در روش RMSHE شبیه به BBHE، هیستوگرام ورودی به دو بخش تقسیم می‌شود. سپس این زیرهیستوگرام‌ها دوباره به دو بخش بر پایه میانگین مقادیرشان تقسیم می‌شوند. این فرآیند به تعداد مطلوب و به طور بازگشتی تکرار می‌شود. در نهایت به طور جداگانه فرآیند تعدیل در هر زیرهیستوگرام انجام می‌گیرد. در روش‌هایی فوق، هر بخش بیش از محدوده پویای مشخص شده، گسترش پیدا نمی‌کند. برای غلبه بر این مشکل، روش تعدیل هیستوگرام پویا^۶ ارائه شد [۶]. در روش DHE ابتدا هیستوگرام ورودی با استفاده از یک فیلتر هموارساز صاف می‌کنند سپس بر اساس نقاط کمینه تقسیم‌بندی می‌شود. در نهایت قبل از انجام فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند. در ادامه تعدیل هیستوگرام پویا با حفظ روشنایی^۷ ارائه شد [۷]. در روش BPDHE پس از اعمال فیلتر هموارساز از نقاط بیشینه به عنوان نقاط تقسیم استفاده می‌شود. قبل از فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند. برای حفظ میانگین روشنایی تصویر، نرمالیزه کردن روشنایی در مرحله پایانی انجام می‌گیرد.

در ادامه روشی به عنوان تعدیل هیستوگرام دوتایی با فلات محدود^۸ مطرح شد [۸]. در روش BHEPL شبیه به BBHE، هیستوگرام ورودی به دو زیرهیستوگرام تقسیم می‌شود سپس نسبت ارتقا با تنظیم فلات محدود به عنوان میانگین تعداد وقوع شدت در هر زیر هیستوگرام، کنترل

¹ General Histogram Equalization (GHE)

² Probability Density Function (PDF)

³ Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE)

⁴ Dualistic Sub-Image Histogram Equalization (DSIHE)

⁵ Recursive Mean-Separate Histogram Equalization (RMSHE)

⁶ Dynamic Histogram Equalization (DHE)

⁷ Brightness Preserving Dynamic Histogram Equalization (BPDHE)

⁸ Bi-Histogram Equalization with a Plateau Limit (BHEPL)

می‌شود. در نهایت فرآیند تعدیل به طور جداگانه در هر دو زیرهیستوگرام قطع شده انجام می‌شود. در ادامه روشی به نام تعدیل هیستوگرام پویا چهارگانه با فلات محدود^۱ ارائه شد [۹]. در روش DQHEPL هیستوگرام تصویر ورودی به چهار زیرهیستوگرام بر اساس میانه مقادیر شدت تقسیم می‌شود. سپس فرآیند قطع در هر زیرهیستوگرام بر طبق میانگین وقوع شدت آن انجام می‌گیرد. در نهایت قبل از انجام فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند در حالی که نقطه جداسازی دوم به عنوان حفظ میانگین روشنایی حفظ می‌شود.

در ادامه روش تعدیل هیستوگرام قطع شده زیر تصویر بر پایه میانه و میانگین^۲ ارائه شد [۱۰]. در روش MMSICHE، در ابتدا بر اساس میانه مقادیر شدت هیستوگرام اصلی، به دو بخش تقسیم می‌شود سپس بر پایه میانگین مقادیر شدت در هر دو زیرهیستوگرام آن را به چهار قسمت تقسیم می‌کند. سپس فرآیند قطع هیستوگرام بر طبق میانه وقوع شدت آن انجام می‌گیرد و در نهایت هر قسمت به طور جداگانه فرآیند تعدیل انجام می‌شود. در ادامه روش تعدیل زیرهیستوگرام پویا بر اساس آنتروپی^۳ ارائه شده است [۱۱]. در روش EDSHE، ابتدا هیستوگرام اصلی به دو زیرهیستوگرام با آنتروپی برابر تقسیم می‌شود. سپس این زیرهیستوگرام‌ها دوباره بر اساس آنتروپی به دو بخش تقسیم می‌شوند. این فرآیند به تعداد مطلوب به طور بازگشتی تکرار می‌شود. در نهایت قبل از انجام فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند.

همچنین روش ارتقا کنتراست با استفاده از تبدیل موجک گسسته و تجزیه مقادیر منفرد^۴ ارائه شد [۱۲]. در روش DWT-SVD با استفاده از تبدیل موجک گسسته اطلاعات مربوط به کلیات تصویر که در زیر باند LL می‌باشد را جدا کرده و سپس مقادیر منفرد آن که به طور مستقیم در روشنایی تصویر موثر است را بهینه کرده و در نهایت با بکار بردن معکوس تبدیل موجک گسسته تصویر خروجی ایجاد می‌شود. این روش برای تصاویر با تغییرات متنوع در روشنایی مناسب نیست و تنها برای تصاویری با هیستوگرام متمرکز شده در محدوده پایین دارای ارتقا مناسبی می‌باشد.

روش‌هایی که بتوانند در تصاویر با محدوده روشنایی متنوع قابل استفاده باشد کمتر پیشنهاد شده است [۱۳-۱۵]. در این مقاله، یک الگوریتم بهبود کنتراست با استفاده از تبدیل موجک، جهت ایجاد ارتقا طبیعی در تصاویر با محدوده روشنایی متنوع پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، ابتدا توسط تبدیل موجک گسسته تصویر ورودی به ۴ زیر باند تجزیه می‌شود. سپس در تصویر زیرباند LL، به وسیله سطح آستانه قطع برابر با میانگین شدت‌ها، فرآیند قطع هیستوگرام انجام می‌شود. در ادامه هیستوگرام قطع شده بر اساس آنتروپی به سه بخش با تعداد پیکسل برابر تقسیم می‌شود و قبل از انجام فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند. در نهایت از تبدیل موجک گسسته معکوس برای ایجاد تصویر بهبود یافته استفاده می‌کنیم.

¹ Dynamic Quadrants Histogram Equalization Plateau Limit (DQHEPL)

² Median-Mean based Sub-Image-Clipped Histogram Equalization (MMSICHE)

³ Entropy-based Dynamic Sub-Histogram Equalizations (EDSHE)

⁴ Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition (DWT-SVD)

۲- بهبود کنتراست تصاویر با استفاده از تبدیل موجک

روش پیشنهادی از شش بخش اصلی (۱) تجزیه تصویر ورودی با استفاده از تبدیل موجک گسسته (۲) قطع هیستوگرام تصویر زیرباند LL (۳) تقسیم‌بندی سه‌تایی هیستوگرام قطع شده براساس آنتروپی (۴) نگاشت هر زیرهیستوگرام به محدوده پویای جدید (۵) تعدیل هر قسمت به طور جداگانه (۶) ایجاد تصویر بهبود یافته با استفاده از تبدیل موجک گسسته معکوس، تشکیل شده است. که در ادامه به شرح و تفصیل آن‌ها با جزئیات کامل می‌پردازیم.

۲-۱- تجزیه تصویر ورودی با استفاده از تبدیل موجک گسسته

تبدیل موجک دو بعدی یک تصویر با به کار بردن تبدیل موجک یک بعدی در طول سطرها در ابتدا و سپس نتایج در طول ستون‌ها ایجاد می‌شود. نتیجه این عملیات تصویر را به چهار زیر باند LL، LH، HL و HH تجزیه می‌کند. کلیات تصویر از جمله روشنایی در زیر باند LL و اطلاعات مربوط به جزئیات از جمله لبه‌ها در زیر باندهای LH، HL و HH متمرکز شده‌اند. بنابراین جهت ارتقا کنتراست تصویر می‌توان از زیر باند LL تصویر استفاده کرد درحالی که جزئیات تصویر در سایر زیرباندها به طور کامل حفظ کرد [۱۶]. در شکل ۱ تصویر دروازه قرآن شیراز که به چهار زیر باند تجزیه شده، نشان داده شده است. که تصویر چپ بالا زیر باند LL، راست بالا زیر باند LH، چپ پایین HL و راست پایین HH می‌باشد.



شکل (۱): چهار زیر باند تجزیه شده تصویر دروازه قرآن شیراز با استفاده از DWT

۲-۲- قطع هیستوگرام تصویر زیرباند LL

دلیل اصلی انجام قطع هیستوگرام تصویر زیرباند LL، این است که بتوان نسبت ارتقا در فرآیند تعدیل هیستوگرام را کنترل کرد. به نحوی که از ایجاد اشباع شدت و ارتقا بیش از حد در تصویر ارتقا یافته جلوگیری به عمل آورد. در هیستوگرام قطع شده، شکل هیستوگرام ورودی بر اساس یک سطح آستانه مشخص شده، قبل از انجام فرآیند تعدیل تغییر می‌کند. میله‌هایی از هیستوگرام که دارای سطحی بلندتر از سطح آستانه هستند به وسیله سطح آستانه محدود می‌شوند. در روش‌های دارای فرآیند قطع [۱۷-۱۹]، این مرحله با استفاده از سطح آستانه‌ای بر طبق میانه یا میانگین تعداد شدت در هیستوگرام اصلی و یا زیرهیستوگرام‌ها، انجام می‌گیرد. البته در بعضی موارد

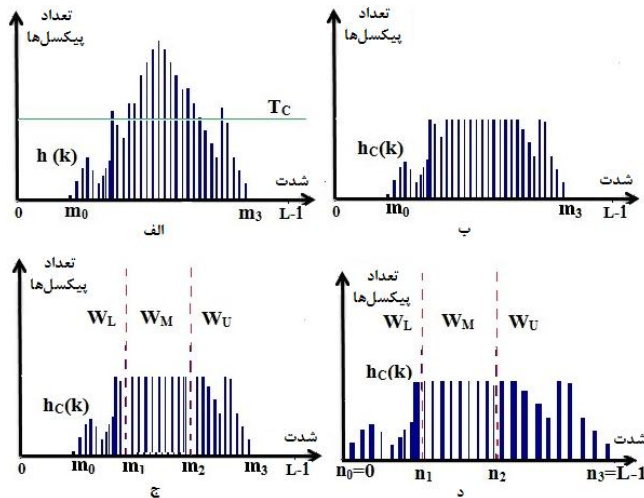
مشاهده شده که انتخاب سطح آستانه‌ای بر طبق میانه تعداد شدت، منجر به نتیجه خوبی نمی‌شود. بنابراین برای ایجاد کنترل نسبت ارتقا مناسب و مستقل از نوع تقسیم‌بندی و تعداد زیرهیستوگرام-ها، فرآیند قطع در مرحله دوم روش پیشنهادی انجام می‌شود. در این مرحله میانگین شدت‌ها در هیستوگرام تصویر زیرباند LL، به عنوان سطح آستانه قطع در نظر گرفته می‌شود. سطح آستانه قطع در هیستوگرام تصویر زیرباند LL، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$T_c = \frac{1}{m_3 - m_0 + 1} * \sum_{k=m_0}^{m_3} h(k) \quad (1)$$

در رابطه فوق $h(k)$ تابع هیستوگرام تصویر زیرباند LL، m_0 و m_3 برابر کم‌ترین و بیشترین مقادیر شدت در تصویر و T_c سطح آستانه قطع محاسبه شده برای هیستوگرام تصویر زیرباند LL می‌باشند. در شکل ۲ الف سطح آستانه قطع محاسبه شده برای هیستوگرام را مشاهده می‌کنید. در ادامه میله‌هایی از هیستوگرام که از سطح آستانه مشخص شده بلندتر می‌باشند به وسیله آن سطح آستانه، محدود می‌شوند. که هیستوگرام قطع شده با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$h_c(k) = \begin{cases} h(k) & h(k) < T_c \\ T_c & h(k) \geq T_c \end{cases} \quad m_0 \leq k \leq m_3 \quad (2)$$

در رابطه بالا $h_c(k)$ نشانگر هیستوگرام قطع شده است. بنابراین روش قطع هیستوگرام استفاده شده در روش پیشنهادی باعث می‌شود در سراسر هیستوگرام نسبت ارتقا به خوبی کنترل شود. در شکل ۲ ب هیستوگرام قطع شده نشان داده شده است.



شکل (۲): یک نمونه از روش پیشنهادی الف) محاسبه سطح آستانه قطع ب) هیستوگرام قطع شده ج) تقسیم‌بندی سه‌تایی د) فرآیند نگاشت به محدوده پویای جدید

۳-۲- تقسیم‌بندی هیستوگرام تصویر زیر باند LL

در روش‌هایی که تقسیم بندی براساس نقاط بیشینه و کمینه انجام می‌شود، دره یا قله‌های قابل توجهی در هیستوگرام تصویر ورودی بایستی وجود داشته باشد. از طرفی در صورت استفاده از میانگین و میانه برای تقسیم هیستوگرام به دو بخش، ممکن است ارتقا غیر طبیعی در بعضی نواحی مانند روش تعدیل هیستوگرام عمومی ایجاد شود. در ضمن استفاده از میانگین، میانه و آنتروپی به طور بازگشتی که هیستوگرام را به ۴ و یا بیش از آن تقسیم می‌کنند ممکن است ارتقا مناسبی در بعضی قسمت‌ها ایجاد نشود. همچنین پیدا کردن مقدار بهینه سطح بازگشتی یک مشکل اصلی در این روش‌ها است. برای غلبه بر موارد فوق، روش پیشنهادی با استفاده از تقسیم بندی بر اساس آنتروپی، هیستوگرام قطع شده را به سه قسمت تقسیم می‌کند. به نحوی که تعداد پیکسل‌ها در هر سه زیر هیستوگرام تقریباً برابر می‌باشند. این نوع تقسیم‌بندی منجر به ارتقا طبیعی و بیشینه محتوای اطلاعات متوسط در تصویر خروجی می‌شود. در مرحله اول، PDF و آنتروپی مربوط به هیستوگرام قطع شده را با استفاده از روابط زیر بدست می‌آوریم [۲۲-۲۰].

$$PDF(i) = \frac{h_c(k)}{N} \quad 0 \leq i \leq L-1 \quad (3)$$

$$E(i) = - \sum_{i=0}^{L-1} PDF(i) * \log_2 PDF(i) \quad (4)$$

در روابط فوق، PDF(i) تابع چگالی احتمال، N تعداد کل پیکسل‌ها در هیستوگرام قطع شده و L-1 بالاترین مقدار شدت پیکسل در تصویر n بیتی ($2^n = L-1$) می‌باشند. در مرحله دوم، نقاط جداسازی m_1 و m_2 ، را برابر با سطح شدت‌هایی قرار می‌دهیم که مقدار آنتروپی در آن سطح شدت‌ها تقریباً به ترتیب، برابر با ۰.۳۳ و ۰.۶۶ مقدار آنتروپی در سطح شدت L-1 می‌باشند.

$$m_1 = i \text{ where } E(i) \cong \frac{1}{3} E(L-1) \quad (5)$$

$$m_2 = i \text{ where } E(i) \cong \frac{2}{3} E(L-1) \quad (6)$$

اگر هیستوگرام قطع شده قبل از این فرآیند دارای محدوده شدت $[m_0 : m_3]$ باشد که در آن m_0 و m_3 برابر پایین‌ترین و بالاترین مقادیر شدت در تصویر زیر باند LL می‌باشند. در این روش، هیستوگرام قطع شده به سه زیر هیستوگرام بنام‌های W_L ، W_M و W_U تقسیم می‌شود. شکل ۲ ج محدوده هر کدام به ترتیب برابر با $[m_0 : m_1-1]$ ، $[m_1 : m_2-1]$ و $[m_2 : m_3]$ را نشان می‌دهد.

۴-۲- نگاشت هر زیر هیستوگرام به محدوده پویای جدید

هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها نمی‌توانند بیشتر از محدوده مشخص شده برای آن‌ها، فرآیند تعدیل و گسترش هیستوگرام را انجام دهند. به منظور ایجاد تعادل در فرآیند تعدیل، روش پیشنهادی با ایده گرفتن از روش DHE، فرآیند نگاشت را بر اساس محدود پویای سطح خاکستری استفاده شده در

هر زیرهیستوگرام انجام می‌دهد و برای هر زیرهیستوگرام یک محدوده پویای جدید اختصاص می‌دهد. فرآیند نگاشت در روش پیشنهادی با استفاده از روابط ۷ و ۸ انجام می‌شود.

$$n_1 = (L - 1) \frac{m_1 - m_0}{m_3 - m_0 + 1} \quad (7)$$

$$n_2 = (L - 1) \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_0 + 1} + n_1 \quad (8)$$

همچنین در تصویر n بیتی، پایین‌ترین و بالاترین مقدار شدت پیکسل در تصویر خروجی به ترتیب برابر با $n_0=0$ و $n_3=L-1$ در نظر گرفته می‌شود. فرآیند نگاشت به محدوده پویای جدید در شکل ۲ د نشان داده شده است.

۵-۲- تعدیل هر قسمت به طور جداگانه

در این مرحله باید هر قسمت به طور مستقل تعدیل شود. در مرحله اول، PDF مربوط به هر زیرهیستوگرام با توجه به روابط زیر تعیین می‌شود.

$$PDF_L(k) = \frac{h_c(k)}{N_L} \quad m_0 \leq k < m_1 \quad (9)$$

$$PDF_M(k) = \frac{h_c(k)}{N_M} \quad m_1 \leq k < m_2 \quad (10)$$

$$PDF_U(k) = \frac{h_c(k)}{N_U} \quad m_2 \leq k \leq m_3 \quad (11)$$

در روابط فوق N_M ، N_L و N_U تعداد کل پیکسل‌ها در هر زیرهیستوگرام قطع شده می‌باشند. در مرحله دوم تابع چگالی تجمعی^۱ هر زیرهیستوگرام با استفاده از PDF مربوطه، با روابط زیر تعریف می‌شود.

$$CDF_L(k) = \sum_{k=m_0}^{m_1-1} PDF_L(k) \quad (12)$$

$$CDF_M(k) = \sum_{k=m_1}^{m_2-1} PDF_M(k) \quad (13)$$

$$CDF_U(k) = \sum_{k=m_2}^{m_3} PDF_U(k) \quad (14)$$

در مرحله سوم تابع انتقال هر زیر هیستوگرام با استفاده از CDF مربوطه با توجه به روابط زیر تعیین می‌شود. با استفاده از توابع انتقال به دست آمده، هر قسمت به طور مستقل تعدیل می‌شود.

$$F_L = (n_1 - 1) * CDF_L \quad (15)$$

$$F_M = n_1 + (n_2 - 1 - n_1) * CDF_M \quad (16)$$

$$F_U = n_2 + (n_3 - n_2) * CDF_U \quad (17)$$

مرحله چهارم، شامل یکپارچه‌سازی هر سه زیر تصویر برای ایجاد یک تصویر کامل می‌باشد. بنابراین تصویر خروجی روش پیشنهادی با ترکیب هر سه تابع انتقال تولید می‌شود.

¹Cumulative Density Function (CDF)

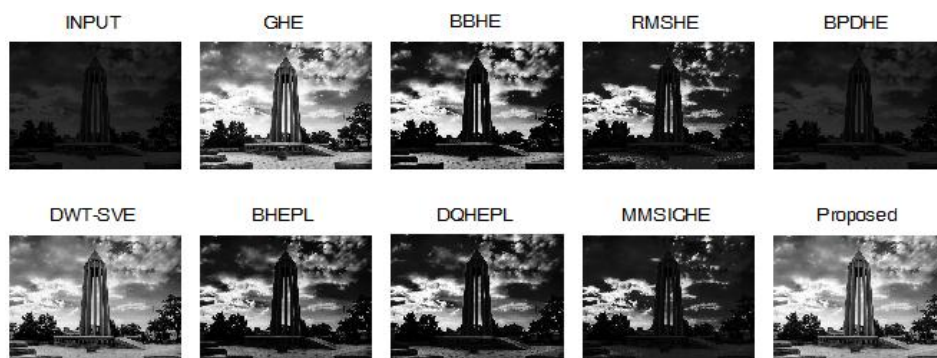
۲-۶- ایجاد تصویر بهبود یافته با استفاده از IDWT

در نهایت برای ایجاد تصویر ارتقا یافته خروجی تبدیل معکوس موجک گسسته را با استفاده از تصویر ارتقا یافته زیر باند LL و سایر زیرباندهای فرکانس بالا تصویر به کار می‌بریم. در رابطه زیر LL'، ارتقا یافته زیر باند LL و A' تصویر ارتقا یافته خروجی می‌باشد.

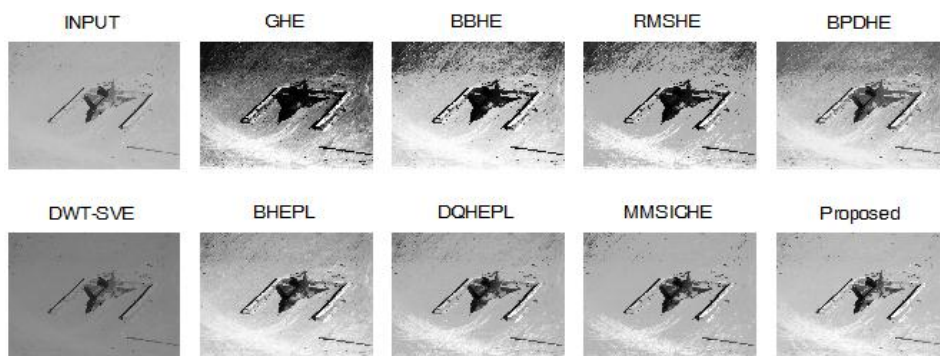
$$A' = IDWT(LL', LH, HL, HH) \quad (18)$$

۳- نتایج آزمایشات و بحث

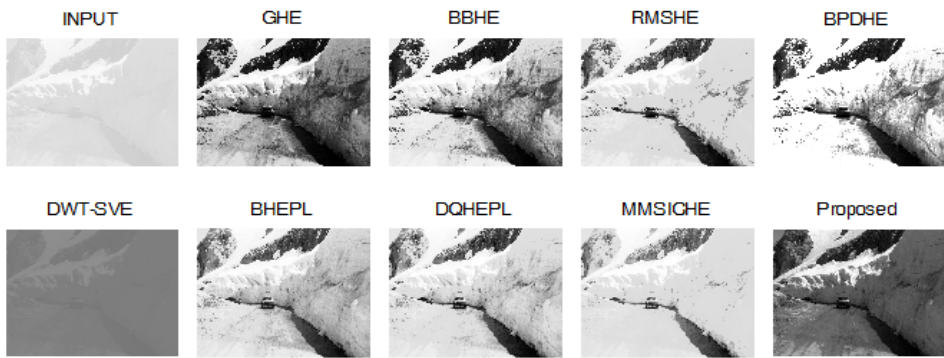
در این بخش نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی با روش‌های ارائه شده بر پایه تعدیل هیستوگرام [1] GHE، [3] BBHE، [5] RMSHE، [7] BPDHE، [12] DWT-SVD، [8] BHEPL، [9] DQHEPL و [10] MMSICHE مقایسه شده است. به منظور ارزیابی و مقایسه روش‌های موجود، سه تصویر آرامگاه بوعلی سینا، هواپیما و جاده برفی با هیستوگرام متمرکز شده به ترتیب در محدوده تاریک، میانه و روشن به عنوان تصاویر تست انتخاب شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی و سایر روش‌ها در شکل‌های ۳-۵ نشان داده شده است. همچنین به منظور تجسم قابلیت حفظ جزئیات و نشان دادن اثر واضح روش‌های مختلف ارتقا کنتراست بر روی محو یا گسترش سطوح مختلف شدت، در شکل ۶ نتایج هیستوگرام هر سه تصویر نشان داده شده است.



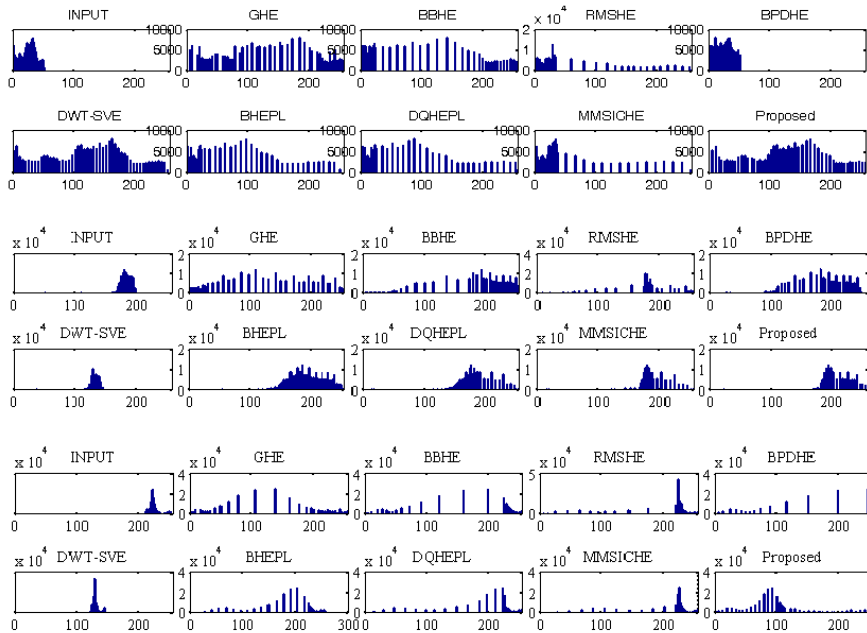
شکل (۳): تصویر آرامگاه بوعلی سینا با هیستوگرام متمرکز شده در محدوده تاریک



شکل (۴): تصویر هواپیما با هیستوگرام متمرکز شده در محدوده میانه



شکل (۵): تصویر جاده برفی با هیستوگرام متمرکز شده در محدوده روشن



شکل (۶): هیستوگرام تصاویر الف) آرامگاه بوعلی سینا، ب) هواپیما، ج) جاده برفی

۱-۳- ارزیابی عملکرد بر اساس محتوای اطلاعات متوسط

از میان روش‌های ارتقا کنتراست روشی مناسب است که ضمن ارتقا کنتراست بتواند همه اطلاعات تصویر را نشان دهد. بنابراین برای نشان دادن قابلیت روش پیشنهادی در استخراج اطلاعات از تصویر می‌توان از محتوای اطلاعات متوسط (آنتروپی) به عنوان یک ارزیابی کمی استفاده کرد. آنتروپی میزان غنای جزئیات تصویر را اندازه‌گیری می‌کند و معمولاً در واحد بیت اندازه‌گیری می‌شود. مقدار آنتروپی بزرگ‌تر نشان‌دهنده این است که اطلاعات بیشتر از تصویر در دسترس می‌باشد. آنتروپی توسط رابطه زیر تعریف می‌شود [۲۰-۲۲].

$$E(PDF) = - \sum_{k=0}^{L-1} PDF(k) * \log_2 PDF(k) \quad (19)$$

بنابراین در یک تصویر با مقدار آنتروپی بالا می‌توان ویژگی‌های بیشتر از تصویر استخراج کرد. در حالی که برای درک بصری بهتر از تصویر علاوه بر اطلاعات واقعی (آنتروپی)، نیاز به اطلاعات افزونه نیز می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی با تغییر در نوع و حجم اطلاعات افزونه، باعث بهبود در کیفیت بصری می‌شود. در جدول ۱ نتایج آنتروپی با استفاده از روش‌های مختلف برای هر سه تصویر برای مقایسه جدول‌بندی شده است. با توجه به جدول زیر، روش پیشنهادی، بالاترین آنتروپی را برای همه تصاویر در مقایسه با سایر روش‌ها تولید می‌کند. بنابراین روش پیشنهادی، بهترین روش برای استخراج محتوای اطلاعات در تصویر می‌باشد. همچنین ایجاد ارتقا طبیعی در تصویر خروجی را تضمین می‌کند.

جدول (۱): نتایج آنتروپی در روش‌های مختلف

| | شکل ۳ | شکل ۴ | شکل ۵ | میانگین |
|----------|-------|-------|-------|---------|
| INPUT | ۵/۵۶۷ | ۵/۴۰۳ | ۴/۷۵۴ | ۵/۲۴۱ |
| GHE | ۵/۴۴۴ | ۵/۰۱۶ | ۴/۵۸۳ | ۵/۰۱۴ |
| BBHE | ۵/۴۷۹ | ۵/۲۷۱ | ۴/۶۸۲ | ۵/۱۴۴ |
| RMSHE | ۵/۳۹۶ | ۵/۰۵۷ | ۴/۴۵۶ | ۴/۹۷۰ |
| BPDHE | ۵/۳۵۲ | ۵/۲۸۷ | ۲/۹۶۴ | ۴/۵۳۴ |
| DWT-SVD | ۵/۵۵۷ | ۴/۸۶۹ | ۳/۸۸۷ | ۴/۷۷۱ |
| BHEPL | ۵/۵۳۹ | ۵/۳۷۶ | ۴/۷۲۳ | ۵/۲۱۳ |
| DQHEPL | ۵/۵۱۰ | ۵/۳۸۳ | ۴/۶۴۲ | ۵/۱۷۹ |
| MMSICHE | ۵/۵۵۷ | ۵/۳۸۱ | ۴/۷۴۲ | ۵/۲۲۷ |
| Proposed | ۵/۵۶۳ | ۵/۳۹۲ | ۴/۷۵۲ | ۵/۲۳۶ |

۲-۳- ارزیابی عملکرد بر اساس کیفیت بصری

هدف از ارزیابی کیفی این است که ارتقا بیش از حد و ظاهر طبیعی در تصاویر ارتقا یافته مورد بحث و داوری قرار گیرد. یکی از روش‌های ارزیابی کیفیت تصویر به صورت ذهنی به نام ارزیابی میانگین نمره نظر^۱ انجام شده است. برای انجام ارزیابی MOS از یک گروه متشکل از ۸۰ دانشجو رشته برق خواسته شده تا درباره کیفیت تصاویر شکل‌های ۳ تا ۵، نظر دهند. معیار ارزیابی بر اساس مقیاس نمره ۱ (کیفیت خیلی ضعیف)، نمره ۲ (کیفیت ضعیف)، نمره ۳ (کیفیت خوب)، نمره ۴ (کیفیت خیلی خوب) و نمره ۵ (کیفیت عالی) در نظر گرفته شده است. سپس میانگین ۸۰ نمره وارد شده برای هر تصویر به طور جداگانه محاسبه شده است. در جدول ۲ نتایج حاصل از ارزیابی MOS برای تصاویر ورودی و تصاویر خروجی روش‌های مختلف مقایسه شده است.

¹ Mean Opinion Score (MOS)

جدول (۲): نتایج ارزیابی MOS در روش‌های مختلف

| | شکل ۳ | شکل ۴ | شکل ۵ | میانگین |
|----------|--------|--------|--------|---------|
| INPUT | ۱/۱۷۵ | ۲/۸۵ | ۱/۲۸۷۵ | ۱/۷۷۰۸ |
| GHE | ۳/۸۷۵ | ۱/۶۲۵ | ۲/۴۳۷۵ | ۲/۶۴۵۸ |
| BBHE | ۳/۰۲۵ | ۲/۰۶۲۵ | ۲/۳۱۲۵ | ۲/۴۶۶۷ |
| RMSHE | ۲/۴۷۵ | ۲/۲۲۵ | ۲/۴۵ | ۲/۳۸۳۳ |
| BPDHE | ۱/۴ | ۲/۷۶۲۵ | ۲/۱۷۵ | ۲/۱۱۲۵ |
| DWT-SVD | ۳/۹۸۷۵ | ۲/۴۶۲۵ | ۱/۶۵ | ۲/۷ |
| BHEPL | ۲/۶۵ | ۳/۲۳۷۵ | ۲/۹۸۷۵ | ۲/۹۵۸۳ |
| DQHEPL | ۳/۰۱۲۵ | ۳/۳۵ | ۲/۷۵ | ۳/۰۳۷۵ |
| MMSICHE | ۲/۶۲۵ | ۲/۹۳۷۵ | ۳/۳۱۲۵ | ۲/۹۵۸۳ |
| Proposed | ۴/۰۲۵ | ۳/۶۵ | ۴/۵۳۷۵ | ۴/۰۷۰۸ |

با توجه به جدول فوق روش پیشنهادی، در هر سه تصویر، بالاترین نمره ارزیابی MOS را در مقایسه با سایر روش‌ها دارند. بنابراین بر اساس نظر بینندگان روش پیشنهادی توانسته با ایجاد ارتقا طبیعی در تصویر خروجی، کیفیت تصویر را در حد خیلی خوب و نزدیک به عالی ارتقا دهد. تجزیه و تحلیل مشاهدات بصری با استفاده از شکل‌های ۵-۳ نشان می‌دهد که روش GHE به دلیل تغییر ناگهانی در مقادیر شدت، تمایل زیادی به ایجاد اشباع شدت در تصویر خروجی دارد. همچنین به دلیل وجود نداشتن کنترل مناسب در ارتقا، اثرات تخریبی دیداری غیر ضروری در تصاویر این روش، مشاهده می‌شود. در روش‌های BBHE و RMSHE کنتراست تصویر تا حدی بهبود یافته است. ولی عدم ارتقا قابل توجه در بعضی نواحی باعث از دست رفتن جزئیات در تصاویر می‌شود. از دلایل عمده آن، عدم انجام فرآیند نگاشت در زیرهیستوگرام‌ها است. در روش BPDHE نسبت نرمالیزه کردن روشنایی، نقش مهمی در تصویر خروجی دارد. در شکل ۳ نسبت کم، باعث ایجاد ارتقا کنتراست ناچیز و در شکل ۵ نسبت ارتقا بزرگ‌تر از یک، باعث اشباع شدت در بعضی قسمت‌ها شده است.

در روش DWT-SVD در شکل ۳ ارتقا مناسبی مشاهده می‌شود ولی در تصاویر ۴ و ۵ در تمام قسمت‌ها ارتقا قابل توجهی صورت نمی‌پذیرد. این روش برای تصاویر باتغییرات متنوع در روشنایی مناسب نیست و تنها برای تصاویری با هیستوگرام متمرکز شده در محدوده پایین دارای ارتقا مناسبی می‌باشد. در روش‌های BHEPL، DQHEPL و MMSICHE با وجود دارا بودن میانگین آنتروپی نسبتاً بالا، در شکل‌های ۳ و ۵ به وضوح پدیده اشباع شدت و افزایش غیر طبیعی قابل مشاهده است. چون در بعضی قسمت‌ها ارتقا قابل توجهی صورت نمی‌پذیرد و باعث از دست رفتن جزئیات و یا اشباع شدت می‌شود. از دلایل آن می‌توان به عدم انجام فرآیند نگاشت در زیرهیستوگرام‌ها در روش‌های BHEPL و MMSICHE و حفظ نقطه جداسازی دوم در روش DQHEPL اشاره کرد.

با مشاهده شکل‌های ۵-۳ در می‌یابیم که روش پیشنهادی، بهترین عملکرد را در مقایسه با روش‌های دیگر دارد. در همه تصاویر با حفظ روشنایی معقول و ایجاد ارتقا طبیعی، کنتراست تصویر به طور موفقیت‌آمیزی افزایش پیدا کرده است. همچنین در پس‌زمینه شکل‌ها اثری از اشباع شدت و افزایش غیر طبیعی مشاهده نمی‌شود.

در شکل ۶، روش GHE هیستوگرام تصاویر بدون توجه به محدوده هیستوگرام ورودی، در سراسر محدوده سطوح شدت به طور یکنواخت گسترش می‌یابد. به طوری که تمرکز در قسمت‌های بالا و پایین هیستوگرام و وجود فاصله‌هایی بین سطوح مختلف شدت، باعث از بین رفتن جزئیات تصویر می‌شود. در روش‌های RMSHE و BBHE هیستوگرام تصاویر هر دو روش در تصویر تاریک، بیشتر در سمت چپ، تصویر روشن، بیشتر در سمت راست و در تصاویر میانه، فاصله‌های زیادی بین سطوح مختلف شدت مشاهده می‌شود. در روش BPDHE نسبت نرمالیزه، باعث عدم گسترش کامل هیستوگرام شده و در تصویر محدوده تاریک، به طور کامل در سمت چپ، و تصویر محدوده روشن، به طور کامل در سمت راست قرار گرفته است. در روش DWT-SVE به جز تصویر محدوده تاریک، در سایر شکل‌ها ارتقا کنتراست قابل قبول نمی‌باشد. هیستوگرام به طور موفقیت‌آمیز در سراسر محدوده سطوح شدت گسترش پیدا نکرده است و بیشتر شکل کلی هیستوگرام ورودی حفظ شود. در روش‌های BHEPL، DQHEPL و MMSICHE، هیستوگرام هر سه روش با وجود گسترش در سراسر محدوده سطوح شدت، در تصویر تاریک، تمایل به سمت چپ و در تصویر روشن تمایل به سمت راست هنوز مشاهده می‌شود. در روش پیشنهادی، هیستوگرام تصاویر با توجه به محدوده هیستوگرام ورودی، در سراسر محدوده سطوح شدت گسترش پیدا کرده است و فاصله‌ای بین سطوح مختلف شدت در این روش مشاهده نمی‌شود. بنابراین کنترل نسبت ارتقا و حفظ جزئیات در همه سطوح قابل مشاهده است.

۴- نتیجه‌گیری

اگر کنتراست یک تصویر به شدت در محدوده تاریک، روشن یا در رنج خاصی متمرکز شود اطلاعات ممکن است در مناطقی که بیش از حد و به طور یکنواخت متمرکز شده از بین برود. در روش پیشنهادی با استفاده DWT، تصویر ورودی به ۴ به چهار زیر باندها LL، LH، HL و HH تجزیه می‌شود. فرآیند تعدیل هیستوگرام بر روی زیر باندها LL تصویر انجام می‌شود که شامل کلیات تصویر از جمله روشنایی می‌باشد. در حالی که جزئیات تصویر در سایر زیرباندها به طور کامل حفظ می‌شود. برای کنترل نسبت ارتقا از فرآیند قطع هیستوگرام استفاده شده است. در ادامه، تقسیم هیستوگرام به سه قسمت با تعداد پیکسل تقریباً برابر، نقش مهمی در بیشینه آنتروپی و حفظ روشنایی معقول ایفا می‌کند. همچنین انجام فرآیند نگاشت، منجر به حفظ روشنایی معقول و حفظ جزئیات در تمام سطوح می‌شود. در نهایت از تبدیل موجک گسسته معکوس برای ایجاد تصویر ارتقا یافته استفاده می‌کنیم.

یکی از نقاط قوت این مقاله، استفاده از تصاویر با تغییرات متنوع در روشنایی می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی بر روی تصاویر متنوع نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، با توجه به آنتروپی بالا، بهترین روش برای استخراج محتوای اطلاعات در تصویر می‌باشد. همچنین نتایج ارزیابی کیفیت بصری بر اساس MOS، نشان از برتری قابل ملاحظه روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های پیشین ارائه شده بر پایه تعدیل هیستوگرام دارد. همچنین در همه تصاویر ضمن گسترش هیستوگرام در سراسر محدوده سطوح شدت، منجر به ارتقا کنتراست تصاویر به طور موفقیت‌آمیز می‌شوند. به طوری که تصاویر واضح با حفظ حداکثر جزئیات و ارتقا طبیعی در تصویر خروجی ایجاد می‌کنند.

۵- قدرتدانی

از تمامی دانشجویان دانشکده مهندسی برق، دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیا(ص) که در ارزیابی تصاویر بر اساس کیفیت بصری شرکت کردند. تشکر و قدرتدانی می‌گردد.

مراجع:

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, (2008), Digital Image Processing, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [2] L. Zeng, B. Yan, W. Wang, (2016), Contrast Enhancement Method Based on Gray and Its Distance Double-Weighting Histogram Equalization for 3D CT Images of PCBs, Mathematical Problems in Engineering, 1-13.
- [3] Y. T. Kim, (1997), Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization, IEEE Trans. Consum. Electron. , 43 (1) (1997) 1-8.
- [4] Y. Wan, Q. Chen and B. M. Zhang, (1999), Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method, IEEE Trans. Consum. Electron. , 45 (1) 68-75.
- [5] S. D. Chen and A. R. Ramli, (2003), Contrast enhancement using recursive mean separate histogram equalization for scalable brightness preservation, IEEE Trans. Consum. Electron. , 49 (4) 1301-1309.
- [6] M. A. A. Wadud, M. H. Kabir, M. A. A. Dewan, and O. Chae, (2007), A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement, IEEE Trans. Consum. Electron. , 53 (2) 593-600.
- [7] H. Ibrahim and N. S. P. Kong, (2007), Brightness preserving dynamic histogram equalization for image contrast enhancement, IEEE Trans. Consum. Electron. , 53 (4) 1752-1758.
- [8] C. H. Ooi, N. S. P. Kong, and H. Ibrahim, (2009), Bi-histogram with a plateau limit for digital image enhancement, IEEE Trans. Consum. Electron. , 55 (4) 2072-2080.
- [9] C.H. Ooi and N.A.M. Isa, (2010), Adaptive contrast enhancement methods with brightness preserving, IEEE Trans. Consum. Electron. , 56 (4) 2543-2551.

- [10] K. Singh and R. Kapoor, (2014), Image enhancement via median-mean based sub-image-clipped histogram equalization, Elsevier Optik, 125 4646–4651.
- [11] A.S. Parihar, and O. P. Verma, Contrast enhancement using entropy-based dynamic sub-histogram equalization, IET Image Processing 10 (11) (2016) 799 – 808.
- [12] H. Demirel, C. Ozcinar and G. Anbarjafari, (2010), Satellite image contrast enhancement using discrete wavelet transform and singular value decomposition, IEEE. Geoscience and Remote Sensing Letter, 7 (2) 333-337 .
- [13] M. Zarie, H. Hajghassem, and A. E. Majd, (2018), Contrast enhancement using triple dynamic clipped histogram equalization based on mean or median, Elsevier Optik, 175 126–137.
- [14] M. Zarie, A.Pourmohammad, and H. Hajghassem, (2019), Image contrast enhancement using triple clipped dynamic histogram equalization based on standard deviation, IET Image Processing, 13 (7) 1081– 1089.
- [15] M. Zarie, J. Khalilpour, F.Sadeghi, (2020), Implementation of the electronic sector of the satellite camera and image contrast enhancement, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 20 (2) 690-703.
- [16] H. Demirel, G.Anbarjafari, (2011), Discrete Wavelet Transform-Based Satellite Image Resolution Enhancement, IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing, 49 (6) 1997-2004.
- [17] C.H. Ooi and N.A.M. Isa, (2010), Quadrants dynamic histogram equalization for contrast enhancement, IEEE Trans. Consum. Electron. , 56 (4) 2552–2559.
- [18] K. Singh and R. Kapoor,, Image enhancement using exposure based sub image histogram equalization, Elsevier Pattern Recognition Letters, 36 (2014) 10-14.
- [19] K. Singh, R. Kapoor, S.K. Sinha, (2015), Enhancement of low exposure images via recursive histogram equalization algorithms, Elsevier Optik, 126 2619–2625.
- [20] A. Rizal, R. Hidayat, and H. Adi Nugroho, (2018), Comparison of Multi scale Entropy Techniques for Lung Sound Classification , Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 12 (3) 948-994.
- [21] M. Sudhakara and M. Janaki Meena, (2020), An edge detection mechanism using L^*A^*B color-based contrast enhancement for underwater images, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 18 (1) 41-48.
- [22] G. Zhang, and W.Wang, (2017), Hierarchic Entropy: An Information Theoretic Measure of Evolutionary Robotic Behavioral Diversity, Int. J. Patt. Recogn. Artif. Intell. , 31 (4) 1-13.