

## مروری بر بیست سال روش‌های متعادل‌سازی هیستوگرام

سعید صدیقی/ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز / s.sedighi@iaushiraz.ac.ir

محمدامین شایگان/ گروه مهندسی کامپیوتر/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز/ shayegan@iaushiraz.ac.ir

علی حسینی/ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز/ a.hosseini@iaushiraz.ac.ir

### چکیده

بهبود کنتراست تصویر یکی از مهم‌ترین عملیاتی است که در کاربردهای پردازش تصویر و بینایی ماشین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میان، متعادل‌سازی هیستوگرام یکی از مهم‌ترین و قدرتمندترین روش‌های افزایش کنتراست و بهبود کیفیت تصاویر دیجیتال می‌باشد. از این رو این روش، به‌طور معمول باعث افزایش بیش از اندازه کنتراست و از بین رفتن قسمتی از جزئیات تصویر می‌شود. به منظور رفع مشکلات گوناگون متعادل‌سازی هیستوگرام، روش‌های بسیاری در طول دو دهه گذشته بیان شده است. در این مقاله به بررسی، دسته‌بندی و مقایسه بیست ساله روش‌های ارائه شده در زمینه متعادل‌سازی هیستوگرام پرداخته شده است.

**کلمات کلیدی:** بررسی روش‌ها، متعادل‌سازی هیستوگرام، برش هیستوگرام، افزایش کنتراست

## A review of twenty years histogram equalization methods

Saeed Sedighi/ Young Researchers Club/ Shiraz Branch/ Islamic Azad University/ Sedighi.saeed@gmail.com

Mohammad Amin Shayegan/ Department of Computer/ Faculty of Engineering/ Azad University/ Shiraz Branch/ Shayegan@iaushiraz.ac.ir

Ali Hosseini/ Young Researchers Club/ Shiraz Branch/ Islamic Azad University/ A.hosseini@iaushiraz.ac.ir

### Abstract:

Improved image contrast is one of the most important operations used in image processing and visual processing applications. Histogram equalization is one of the most powerful ways to increase the contrast and improve the quality of digital images. However, this method usually causes an excessive increase in contrast and a loss of part of the image details. Many problems have been resolved in the past two decades in order to overcome the many problems of histogram equalization. In this paper, we have reviewed, categorized and compared the methods proposed in the field of histogram equalization for twenty years.

**Keywords:** review of methods, Histogram equalization, Histogram clipping, Contrast enhancement

پردازش تصویر به معنی پردازش هرگونه داده دو بعدی توسط یک کامپیوتر دیجیتال است [۱]. نخستین کاربردهای پردازش تصویر با معرفی نخستین کامپیوترهای قدرتمند در زمینه عکس برداری از ماه معرفی شد. هم‌زمان با کاربردهای فضایی، در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ از تکنیک‌های پردازش تصویر در حوزه‌هایی مثل عکس برداری پزشکی، عکس برداری از منابع و سطح زمین و همچنین کاربردهایی در نجوم استفاده شد [۲].

از سال ۱۹۶۰ تا به امروز، حوزه پردازش تصویر به شدت رشد داشته است. علاوه بر کاربردهای این حوزه در زمینه پزشکی و فضایی، امروزه کاربردهای بسیار گسترده‌تری از جمله استفاده از تصویر پردازش در علم نجوم، صنایع نظامی، جغرافیا و ... را شاهد هستیم [۲]. در این راستا، فرآیند بهبود تصویر یکی از اصلی‌ترین و پایه‌ای‌ترین کاربردهای پردازش تصویر می‌باشد.

هدف از بهبود تصویر، افزایش کیفیت تصویر یعنی بهبود وضوح لبه‌ها و تاکید بر روی دسته‌ای از ویژگی‌ها است که در درک یک تصویر توسط سیستم بینایی انسان تاثیر زیادی دارد [۳]. تکنیک‌های بهبود تصویر در واقع باعث بهتر کردن درک بینایی انسان شده و در پردازش‌های اتوماتیک، شانس کاربر را برای رسیدن به هدف بیشتر می‌کنند [۴]. تکنیک‌های بهبود تصویر، ماهیت اطلاعات تصویر را تغییر نمی‌دهند، این تکنیک‌ها در واقع بر یک سری از ویژگی‌های تصویر، مثل روشنایی تاکید بیشتری می‌کنند که این ویژگی‌ها باعث افزایش وضوح تصویر می‌شود [۵].

متعادلسازی هیستوگرام یکی از الگوریتم‌های بهبود تصویر است که روشی قدرتمند برای بالا بردن کنتراست تصاویر با وضوح کم می‌باشد [۶].

به‌طور کلی روش‌های بهبود کنتراست تصویر به دو گروه اصلی روش‌های مستقیم [۷، ۸] و روش‌های غیرمستقیم [۹، ۱۰، ۱۱] تقسیم می‌گردند. در روش‌های مستقیم، تمرکز بر بالا بردن کنتراست تصویر از طریق بالا بردن یک معیار بهبود است. در روش‌های غیرمستقیم، گستره‌ی دینامیکی سطوح خاکستری تصویر برای بهبود کنتراست افزایش داده می‌شود که این روش بیشتر مورد استقبال پژوهشگران بوده است [۱۲]. روش‌های غیرمستقیم خود به چهار گروه روش‌های تغییر مولفه‌های فرکانسی بالا و پایین [۱۳]، روش‌های مبتنی بر تبدیل [۱۴، ۱۵]، روش‌های مبتنی بر اصلاح هیستوگرام [۱۶، ۱۷، ۱۸] و روش‌های مبتنی بر محاسبات نرم [۱۹] تقسیم می‌گردند.

## ۲- متعادلسازی هیستوگرام

متعادلسازی هیستوگرام یکی از روش‌های معمول، ساده و موثر برای بهبود کنتراست در تصاویر دیجیتال است. این روش از دسته روش‌های غیرمستقیم بهبود کنتراست تصویر می‌باشد. در ادامه فرمول کلی متعادلسازی هیستوگرام تشریح شده است [۲۰].

برای تصویر دریافتی  $(X)$ ، هیستوگرام شدت روشنایی تصویر  $h(x)$  در معادله (۱) تعریف شده است.

$$h(x) = n_x \quad \text{for } x = 0, \dots, L - 1 \quad (1)$$

که در آن  $n_x$  تعداد فراوانی یا تعداد دفعات مشاهده شدت روشنایی  $x$  در تصویر ورودی  $(X)$  و  $L$  آخرین مقدار شدت روشنایی می‌باشد. تابع احتمال چگالی  $p(x)$  برابر معادله (۲) بوده که در آن  $N$  برابر با

تعداد کل پیکسل‌های موجود در تصویر می‌باشد.

$$p(x) = \frac{h(x)}{N} \quad \text{for } x = 0, \dots, L - 1 \quad (2)$$

با توجه به  $p(x)$ ، تابع چگالی احتمال تجمعی  $c(x)$  توسط معادله (۳) تعریف می‌گردد:

$$c(x) = \sum_{k=0}^x p(k) \quad \text{for } x = 0, \dots, L - 1 \quad (3)$$

تابع انتقال  $f(x)$ ، برای متعادلسازی هیستوگرام به‌صورت استاندارد، تصویر ورودی را به کل محدوده پویا  $[X_0, X_{L-1}]$  با استفاده از  $c(x)$  نگاشت می‌کند. فرمول تابع انتقال  $f(x)$  در معادله (۴) برای بدست آمدن شدت روشنایی خروجی در بازه محدوده پویا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$f(x) = x_0 + (x_{L-1} - x_0) \cdot c(x) \quad (4)$$

فرمول نهایی برای بدست آوردن تصویر خروجی حاصل از متعادلسازی هیستوگرام، به صورت معادله (۵) می‌باشد که در آن  $(i, j)$  اشاره به موقعیت مکانی پیکسل در تصویر ورودی دارد.

$$Y = \{Y(i, j)\} = \{f(X(i, j)) | \forall X(i, j) \in X\} \quad (5)$$

مثالی از بهبود کنتراست تصویر با استفاده از روش متعادلسازی هیستوگرام در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: الف) عکس اصلی ب) تصویر بهبود یافته با روش HE

روش متعادلسازی هیستوگرام به‌طور معمول باعث مشکلاتی همچون افزایش کنتراست بیش از اندازه، عدم حفظ میانگین روشنایی، حذف جزئیات ریز تصویر و غیرطبیعی کردن تصویر خروجی می‌شود [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸]. بنابراین روش‌های دیگری بر اساس روش متعادلسازی هیستوگرام، برای متعادلسازی هیستوگرام، با هدف حفظ میانگین روشنایی تصویر ارائه شده است که به دو دسته کلی «شکستن هیستوگرام» و «شکستن هیستوگرام به همراه برش فراوانی هیستوگرام» تقسیم می‌گردند.

### ۲-۱- روش‌های مبتنی بر شکستن هیستوگرام

متعادلسازی هیستوگرام روشی برای تغییر و اصلاح شدت روشنایی و کنتراست تصویر با استفاده از هیستوگرام تصویر است. متعادلسازی هیستوگرام در تصاویری که زمینه و نواحی آن، روشن و یا کم نور باشند مفید است. علی‌رغم آن‌که این تکنیک ساده است، ولی نوبت زمینه را تقویت می‌کند و منجر به کاهش سیگنال‌های مفید تصویر می‌شود. بنابراین، اثرات تصنی فراوانی در تصاویر خروجی ایجاد می‌شود [۲۲، ۲۳، ۲۴]. در جهت رفع مشکلات فوق، شیوه‌های گوناگونی برای شکستن هیستوگرام پیشنهاد گردید که ایده اصلی آنها، گروه‌بندی‌های شدت روشنایی پیکسل‌های هم دسته با هم می‌باشد.

البته این روش‌ها در نقطه شکستن و تعداد شکستن هیستوگرام با هم تفاوت دارند.

نخستین تلاشی که برای رفع مشکلات متعادل‌سازی هیستوگرام ارایه شد، روش حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی بود که هدف آن افزایش کنتراست با حفظ میانگین روشنایی تصویر می‌باشد [۲۵]. در این روش، هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس آستانه‌ای برابر با میانگین شدت روشنایی کل تصویر، به دو زیر هیستوگرام شکسته و سپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام به طور مجزا متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست می‌باشد، ولی میانگین روشنایی تصویر به شکل مطلوبی حفظ نمی‌گردد و سطح خاکستری زمینه، نسبت به تصویر اصلی تفاوت به نسبت زیادی دارد. پیشنهاددهندگان روش حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی ادعا کرده‌اند که با جداسازی هیستوگرام بر اساس نقطه میانگین، هیستوگرام تصویر به دو زیر هیستوگرام با مساحت یکسان شکسته می‌شود که این ادعا، توسط وانگ و همکاران رد گردید [۲۶]. این محققان برای رفع مشکل حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه را پیشنهاد کردند. در روش آنها، هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس آستانه‌ای که در آن تابع چگالی احتمال تجمعی، با استفاده از مفهوم آنتروپی برابر ۰.۵ شود، به دو زیر هیستوگرام با مساحت‌های یکسان شکسته می‌شود و بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به صورت مجزا، روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این الگوریتم نه تنها اطلاعات تصویر را به طور موثر بهبود می‌بخشد بلکه روشنایی تصویر اصلی را به اندازه کافی محفوظ نگه می‌دارد تا بتواند در سیستم‌های ویدیویی به طور مستقیم استفاده شود. حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام چند بخشی به صورت بازگشتی برای بهبود روش حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی با هدف افزایش کنتراست و حفظ روشنایی، به منظور جلوگیری از اثرات آزاردهنده و بهبود غیرطبیعی ناشی از افزایش بیش از حد کنتراست ارایه گردید [۲۷]. در این روش، جداسازی هیستوگرام به صورت بازگشتی بوده و نقطه جداسازی آن مانند حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی بر اساس آستانه‌ای برابر میانگین کل شدت روشنایی تصویر می‌باشد. در پایان بر روی تمام زیر هیستوگرام‌ها به صورت مستقل متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ روشنایی تصویر می‌باشد.

روش دیگری به نام متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه (RSIHE) به صورت بازگشتی برای بهبود روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه با هدف افزایش کنتراست و حفظ میانگین روشنایی تصویر، ارایه شده است [۲۸]. در این روش، جداسازی هیستوگرام به صورت بازگشتی بوده و نقطه جداسازی همانند روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه بر اساس آستانه‌ای که در آن تابع چگالی احتمال تجمعی با استفاده از مفهوم آنتروپی برابر ۰.۵ شود، به چند زیر هیستوگرام با مساحت‌های یکسان شکسته می‌شود. در پایان بر روی تمام زیر هیستوگرام‌ها به صورت مستقل متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ میانگین روشنایی بهتر، نسبت به روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر دوگانه می‌باشد.

در تلاشی دیگر با هدف بهبود کنتراست و به کمینه رساندن اختلاف روشنایی میان تصویر ورودی و بهبود یافته، یک روش جدید به نام متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از هیستوگرام دو بخشی با کمترین اختلاف شدت روشنایی ارایه شده است. در این روش ابتدا تمامی نقاط به‌طور مجزا به‌عنوان آستانه جداسازی هیستوگرام انتخاب و هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به صورت محلی و جداگانه با روش متعادل‌سازی هیستوگرام متعادل‌سازی می‌شوند، سپس با استفاده از معیار کمترین قدرمطلق اختلاف شدت روشنایی اختلاف شدت روشنایی محاسبه و برای آن آستانه ذخیره می‌شود. در آخر سطح آستانه‌ای برای جداسازی هیستوگرام انتخاب می‌گردد که کمترین مقدار را در معیار کمترین قدرمطلق اختلاف شدت روشنایی نشان می‌دهد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این روش برای تصاویری که در آنها حفظ روشنایی اهمیت دارد نتایج خوبی را بدست می‌آورد، ولی بهبود کنتراست در تصویر خروجی به اندازه کافی نمی‌باشد.

روش دیگری به نام متعادل‌سازی هیستوگرام پویا (DHE) با هدف بهبود کنتراست با حفظ میانگین روشنایی، پیشنهاد شده است [۲۹]. در این متد، همانند روش‌های قبل، هیستوگرام تصویر ورودی به تعدادی زیر هیستوگرام تقسیم می‌شود تا اطمینان حاصل شود که هیچ بخش سلطه‌ای در زیر هیستوگرام‌ها وجود ندارد. سپس یک سطح خاکستری دینامیک به هر زیر هیستوگرام تخصیص داده می‌شود که هر سطح خاکستری می‌تواند به وسیله متعادل‌سازی هیستوگرام نگاشت شود. نتایج بدست آمده بهبود کنتراست به همراه حفظ میانگین روشنایی تصویر را نشان می‌دهد.

در تلاشی دیگر برای جلوگیری از غیرطبیعی شدن تصویر و تحریف رنگ، روشی به نام متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از محدوده جدا شده معرفی گردید [۳۰]. در این روش از میانگین وزنی قدر مطلق تفاضل رنگ به منظور تاکید بر لبه‌های تصویر اصلی و متعادل کردن هیستوگرام استفاده شده است. این روش با استفاده از متد Adaptive End-In Search، موقعیت ابتدایی و پایانی منطقه پویا را مشخص کرده و سپس این محدوده را به K قسمت تقسیم می‌کند و محدوده هر زیر هیستوگرام را بر اساس نسبت مساحت، تغییر اندازه می‌دهد. در این متد از فاکتور مقیاس تطبیق خطی، برای گسترش محدوده دینامیکی مقیاس‌پذیر و کاهش تغییرات بیش از حد روشنایی، استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ میانگین روشنایی می‌باشد.

در روش متعادل‌سازی هیستوگرام چهار بخشی، محققان تلاش کرده‌اند با استفاده از تفکیک نمودن مقیاس خاکستری به چهار زیر هیستوگرام، میانگین روشنایی تصویر را طی عملیات متعادل‌سازی حفظ کنند [۳۱]. به کمک این روش، که در واقع تکنیک متعادل‌سازی هیستوگرام چهارگانه می‌باشد، تصویر به چهار زیر هیستوگرام تقسیم و بر روی هر کدام متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج تجربی توسط این روش نشان داده است که الگوریتم پیشنهادی بهتر از تکنیک‌های متعادل‌سازی هیستوگرام و حفظ روشنایی با استفاده از متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی عمل می‌کند.

محققان در روشی دیگر به نام فناوری اصلاح نشده غیر پارامتری از الگوریتم اتسو برای بدست آوردن آستانه جداسازی هیستوگرام استفاده کرده‌اند [۳۲]. در این روش، هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس آستانه اتسو به دو زیر هیستوگرام تقسیم شده است. سپس از تکنیک اصلاح هیستوگرام برای کنترل بهبود و پیدا کردن بالاترین آنتروپی استفاده شده و در مرحله آخر بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به صورت جداگانه عملیات متعادل‌سازی هیستوگرام

انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ جزئیات تصویر می‌باشد.

روش‌های دیگری با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری سعی بر بدست آوردن بهینه‌ترین نقطه آستانه برای جداسازی هیستوگرام کرده‌اند [۳۵، ۳۴، ۳۳]. در یکی از روش‌ها، تلاش شده است که با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌ترین نقطه با استفاده از معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز بدست آورده شود [۳۶]. در این روش در هر نسل تولید شده توسط الگوریتم ژنتیک، هیستوگرام تصویر ورودی وارد بلاک ژنتیک شده و برای هر کروموزوم تولید شده، هیستوگرام با استفاده از دو مقدار آستانه ای  $T_1$  و  $T_2$ ، به سه زیر هیستوگرام  $U_1$ ،  $U_2$  و  $U_3$  تقسیم می‌گردد. سپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به صورت جداگانه متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال و تصویر خروجی با معیار نسبت سیگنال به نویز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این کار تا جایی ادامه پیدامی‌کند که بهترین مقدار آستانه‌ای با بالاترین مقدار نسبت سیگنال به نویز در تصویر خروجی انتخاب شوند. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده بهبود کنتراست تصویر با حفظ میانگین روشنایی تصویر می‌باشد.

روش دیگری با هدف بهبود کنتراست و برطرف کردن مشکلات موجود در روش متعادل‌سازی هیستوگرام توسط شاکری و همکاران ارائه شده است [۳۷]. در روش پیشنهادی، در مرحله نخست هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس میانگین و انحراف معیار و با هدف کنترل نسبت سیگنال به نویز به چند زیر هیستوگرام تقسیم می‌شود. سپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام به صورت جداگانه روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. در آخر تمامی زیر هیستوگرام‌ها با هم ترکیب و تصویر بهبود یافته بدست می‌آید. نتایج تجربی نشان‌دهنده حفظ اطلاعاتی موجود در تصویر و افزایش کنتراست بوده است.

## ۲-۲- روش‌های مبتنی بر شکستن و برش هیستوگرام

فرآیند متعادل‌سازی هیستوگرام در نواحی بالای هیستوگرام، کنتراست را منبسط و در نواحی پایین هیستوگرام کنتراست را متراکم می‌کند. در اثر این حالت، اگر شی در تصویر بخش کوچکی را اشغال کرده باشد، به طور مطلوب بهبود نمی‌یابد. علاوه بر این، متعادل‌سازی هیستوگرام شدت روشنایی را به سمت راست یا چپ هیستوگرام انتقال می‌دهد که باعث مشکلاتی همچون اثر سطح اشباع می‌شود [۳۸]. متدهای برش هیستوگرام، با محدود کردن نرخ تعدیل، سعی در غلبه بر مشکلات بالا را دارند. در این روش‌ها علاوه بر شکستن هیستوگرام، برش سطح هیستوگرام بر روی فراوانی نیز انجام می‌گردد.

یکی از نخستین روش‌های استفاده از شکستن هیستوگرام به همراه برش، روش متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام (BHEP) می‌باشد [۳۸]. در این روش ابتدا هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس میانه سطوح شدت روشنایی، به دو زیر هیستوگرام مستقل تقسیم و هر زیر هیستوگرام بر اساس میانگین فراوانی هیستوگرام در آن ناحیه، برش داده می‌شود و در پایان بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌شود. نتایج روش پیشنهادی نشان‌دهنده حفظ جزئیات تصویر می‌باشد.

در تلاشی دیگر برای کنترل کردن افزایش بیش از اندازه کنتراست، روش متعادل‌سازی هیستوگرام پویا چهار بخشی ارائه گردید [۳۹]. الگوریتم پیشنهادی، بر اساس میانه تصویر ورودی هیستوگرام را به چهار زیر هیستوگرام تقسیم می‌کند. سپس، به منظور مقابله با

مشکل اشباع تصویر، زیر هیستوگرام‌ها را بر اساس میانگین فراوانی شدت روشنایی هیستوگرام، برش می‌دهد و در نتیجه محدوده پویای جدیدی به هر زیر هیستوگرام اختصاص می‌یابد. در نهایت، بر روی هر یک از زیر هیستوگرام‌ها روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده افزایش کنتراست با حفظ جزئیات تصویر می‌باشد.

در روش متعادل‌سازی هیستوگرام زیر تصویر بر اساس آستانه نوردهی (EBSIHE)، هدف بهبود کنتراست و محدود کردن هیستوگرام برای کنترل نرخ افزایش کنتراست و حفظ روشنایی تصویر می‌باشد [۴۰]. در این روش، با استفاده از پارامتر آستانه نوردهی، مقدار نور تصویر مشخص و با استفاده از آستانه، هیستوگرام ورودی به صورت عمودی به دو زیر تصویر تقسیم می‌شود. همچنین هیستوگرام با استفاده از روش پیشنهادی به صورت افقی برش داده شده تا نرخ افزایش کنتراست کنترل شود. بنابراین، هیستوگرام هم به صورت عمودی و هم به صورت افقی، با هدف بهبود کنتراست، برش می‌یابد. سپس بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به صورت جداگانه روش متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال می‌گردد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این روش برای تصاویر با وضوح کم بسیار موثر است، به طوری که هم آنتروپی را به خوبی حفظ می‌کند و هم نرخ افزایش کنتراست را می‌تواند کنترل نماید.

در تلاشی دیگر به نام متعادل‌سازی هیستوگرام چند بخشی با برش دادن هیستوگرام، هدف بهبود کیفیت با حفظ میانگین روشنایی تصویر بوده است [۴۱]. در این روش در مرحله نخست هیستوگرام تصویر ورودی بر اساس میانه، به دو زیر هیستوگرام تقسیم می‌گردد. سپس در مرحله دوم، میانگین هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها محاسبه و بر اساس آن هر زیر هیستوگرام به دو زیر هیستوگرام دیگر تقسیم می‌شود. در مرحله سوم هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها بر اساس میانگین فراوانی شدت روشنایی برش داده شده و در مرحله آخر بر روی هر کدام از زیر هیستوگرام‌ها به طور جداگانه متد متعادل‌سازی هیستوگرام اعمال شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش از سایر روش‌های معمول بهبود کنتراست بهتر عمل کرده است.

## ۳- ارزیابی روش‌های متعادل‌سازی هیستوگرام

به منظور ارزیابی دو گروه «شکستن هیستوگرام» و «شکستن به همراه برش هیستوگرام» از چهار روش متعادل‌سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر به صورت بازگشتی به صورت بازگشتی [۲۸] و متعادل‌سازی هیستوگرام چهار بخشی [۳۱] به عنوان نماینده روش‌های شکستن هیستوگرام و روش متعادل‌سازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام [۳۸] و متعادل‌سازی هیستوگرام زیر تصویر بر اساس آستانه نوردهی [۴۰] به عنوان نماینده دسته‌بندی شکستن و برش هیستوگرام استفاده شد. همچنین برای بررسی عملکرد روش‌های مورد مقایسه، از چهار تصویر استاندارد [۴۲] استفاده گردید. شکل (۲) دیتاست مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی روش‌های مورد مقایسه، از سه معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز [۴۳]، ارزیابی شباهت ساختار [۴۴] و معیار ارزیابی بهبود [۴۴] استفاده شده است.

معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز، نسبت سیگنال به نویز بوده که مقدار بالاتر آن، معرف اثرگذاری کمتر نویز در تصاویر است. نتایج حاصل از روش‌های مورد مقایسه، با استفاده از معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز، در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱: نتایج روش های مورد مقایسه با استفاده از معیار نسبت سیگنال به نویز

	RSIHE	QHE	BHEP	EBSIHE
Moon	22.1401	21.9281	22.6974	22.5571
House	26.2890	22.5856	23.4059	26.4111
Bridge	27.3695	31.5368	41.0345	37.5704
Boat	22.5633	20.8578	21.5789	22.7651

جدول ۳: مقایسه روش ها با استفاده از معیار ارزیابی بهبود

	RSIHE	QHE	BHEP	EBSIHE
Moon	0.9558	0.9929	0.9613	0.9589
House	0.7709	0.6275	0.6706	0.7680
Bridge	0.7511	0.7059	0.6972	0.6882
Boat	0.6105	0.6283	0.6080	0.6029

با توجه به جدول (۱) می توان دریافت که روش های متعادل سازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام و متعادل سازی هیستوگرام زیر تصویر بر اساس آستانه نوردهی در این ارزیابی، بهتر عمل کرده اند.



Moon



House



Bridge



Boat

شکل ۲: دیتاست پیشنهادی [۴۲]

در معیار ارزیابی شباهت ساختار، شباهت ساختاری تصویر مورد ارزیابی قرار می گیرد و هر چه مقدار این معیار به یک نزدیک تر باشد، تصویر بهبود یافته شباهت بیشتری به تصویر اصلی دارد. نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه با استفاده از معیار ارزیابی شباهت ساختار در جدول (۲) نشان داده شده اند.

جدول ۲: نتایج روش های مورد مقایسه با استفاده از معیار ارزیابی شباهت ساختار

	RSIHE	QHE	BHEP	EBSIHE
Moon	0.8961	0.9489	0.9044	0.8940
House	0.9450	0.9087	0.9732	0.9669
Bridge	0.9627	0.9837	0.9968	0.9954
Boat	0.8761	0.9095	0.9262	0.8938

با توجه به جدول (۲) می توان دریافت که روش متعادل سازی هیستوگرام دو بخشی با استفاده از کلیپ هیستوگرام با توجه به معیار ارزیابی ارزیابی شباهت ساختار بهتر از سایر روش ها عمل کرده است. در معیار ارزیابی بهبود، میزان کنتراست تصویر اندازه گیری می شود و هر چه میزان این مقدار بیشتر باشد، نشان دهنده افزایش کنتراست بیشتر در تصویر است.

باتوجه به جدول (۳) می توان دریافت که روش های متعادل سازی هیستوگرام با استفاده از زیر تصویر به صورت بازگشتی و متعادل سازی هیستوگرام پویا بخشی با توجه به معیار ارزیابی معیار ارزیابی بهبود بهتر عمل کرده اند. در نتیجه با توجه به جدول (۱) و (۲) می توان دریافت که روش های تقسیم هیستوگرام به همراه برش، بیشتر در مواردی که هدف، حذف نویز و نزدیک بودن به شباهت ساختاری تصویر اصلی است، کارا تر هستند، چرا که با سطح برشی که روی فراوانی هیستوگرام انجام می گیرد از افزایش بیش از اندازه کنتراست جلوگیری می کنند. همچنین با توجه به جدول (۳) می توان دریافت که روش های تقسیم هیستوگرام، بیشتر برای مواردی مناسب تر است که هدف، افزایش کنتراست باشد. البته هر چه تعداد تقسیم هیستوگرام بیشتر شود این افزایش، کنترل شده تر خواهد بود. نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه بر روی دیتاست پیشنهادی در شکل (۳) نشان داده شده است.

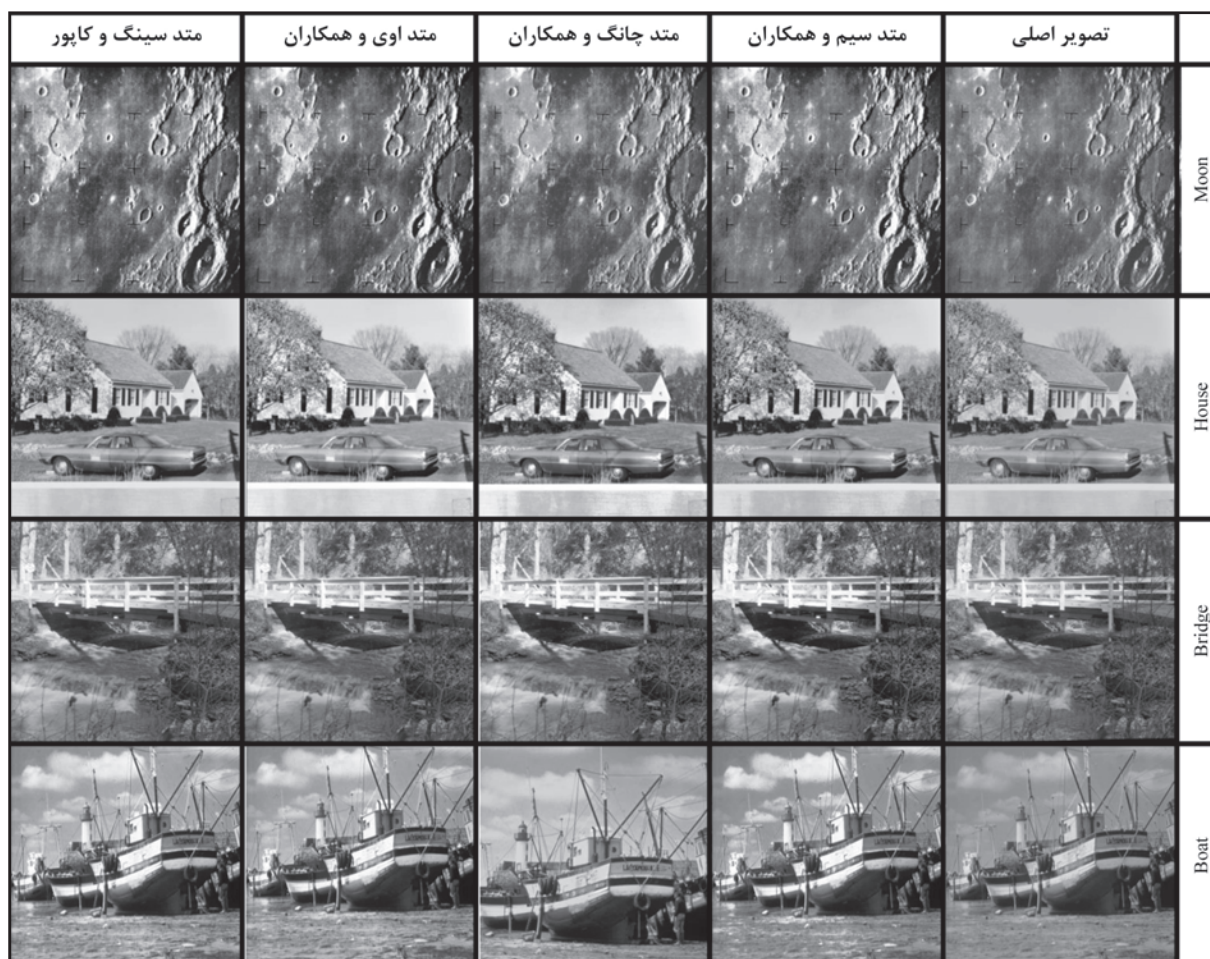
#### ۴- نتیجه گیری

متعادل سازی هیستوگرام یک روش برای تغییر و اصلاح شدت روشنایی و کنتراست تصویر با استفاده از هیستوگرام تصویر است. ولی این تکنیک به طور معمول باعث کنتراست بیش از حد تصویر شده و همچنین نویز زمینه را نیز تقویت می کند.

در این مقاله به بررسی روش های متعادل سازی هیستوگرام در طی بیست سال گذشته پرداخته شده است و در نتیجه با توجه به ادبیات تحقیق، کل روش های متعادل سازی به دو دسته «شکستن هیستوگرام» و «شکستن هیستوگرام همراه با برش» تقسیم بندی گردید. نتایج بدست آمده با توجه به معیارهای ارزیابی نشان می دهد که روش های تقسیم هیستوگرام به همراه برش بیشتر در مواردی که هدف حذف نویز و نزدیک بودن به شباهت ساختاری تصویر اصلی است کارا تر بوده و روش های تقسیم هیستوگرام بیشتر برای موردی بهتر است که هدف، افزایش کنتراست باشد.

#### مراجع

- [1] Annadurai, S. (2007). Fundamentals of digital image processing. Pearson Education India
- [2] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital image processing. Prentice Hall.
- [3] Preston, K. (1976). Computer processing of biomedical images. Computer, 9(5), 54-68.
- [4] Wang, D. C., Vagnucci, A. H & Li, C. C. (1983). Digital image enhancement: a survey. Computer vision, graphics, and image processing. 363-381, (3)24,
- [5] Khan, M. F., Khan, E & Abbasi, Z. A. (2014). Segment selective dynamic histogram equalization for brightness preserving contrast enhancement of images. Optik-International Journal for Light and Electron Optics. 1385-1389, (3)125,
- [6] Singh, K., Kapoor, R & Sinha, S. K. (2015). Enhancement of low exposure images via recursive histogram equalization algorithms. Optik-International Journal for Light and Electron



شکل ۳: نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه

- histogram equalization based contrast enhancement techniques. Digital Signal Processing, 413-428, (5)14,
- [17] Dhal, K. G., Sen, S., Sarkar, K &, Das, S. (2016). Entropy based range optimized brightness preserved histogram-equalization for image contrast enhancement. International Journal of Computer Vision and Image Processing (IJCVIP), 59-72, (1)6, (
- [18] Qadar, M. A., Zhaowen, Y., Rehman, A., & Alvi, M. A. (2015). Recursive weighted multi-plateau histogram equalization for image enhancement. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 126(24), 5890-5898.
- [19] Hashemi, S., Kiani, S., Noroozi, N., & Moghaddam, M. E. (2010). An image contrast enhancement method based on genetic algorithm. Pattern Recognition Letters, 31(13), 1816-1824.
- [20] Lee, J. W. &, Hong, S. H. (2014). Bi-Histogram Equalization based on Differential Compression Method for Preserving the Trend of Natural Mean Brightness. Journal of Broadcast Engineering, 453-467, (4)19,
- [21] Wu, P. C., Cheng, F. C &, Chen, Y. K. (2010). Novel histogram equalization for image contrast enhancement with mean brightness preservation.
- [22] Senthamarai, G &, Santhi, K. (2015). February. (Dynamic multi-histogram equalisation for image contrast enhancement with improved brightness preservation. In Electronics and Communication Systems) ICECS2 2015, (nd International Conference on) pp. (1205-1209. IEEE.
- [23] RUI, T. J &, ISA, N. A. M. Intensity exposure-based bi-histogram equalization for image enhancement. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 3564-3585, (5)24,
- [24] Sengee, N., Sengee, A &, Choi, H. K. (2010). Image contrast enhancement using bi-histogram equalization with neighborhood metrics. IEEE Transactions on Consumer Electronics, (4)56,
- [25] Kim, Y. T. (1997). Contrast enhancement using brightness Optics, 2619-2625, (20)126,
- [7] Rad, P., Agaian, S., Roopaei, M &, Sedighi, S. (2016). November. (Image Enhancement via Cloud Cascade Control Based Sub-Image-Clipped Histogram Equalization. In Smart Cloud) SmartCloud, (IEEE International Conference on) pp69-72. IEEE.
- [8] Cheng, H. D., & Xu, H. (2000). A novel fuzzy logic approach to contrast enhancement. Pattern Recognition, 33(5), 809-819.
- [9] Polese, A., Ramponi, G &, Mathews, V. J. (2000). Image enhancement via adaptive unsharp masking. IEEE transactions on image processing, 505-510, (3)9,
- [10] Kansal, S., Purwar, S &, Tripathi, R. K. (2017). September. (Trade-off between mean brightness and contrast in histogram equalization technique for image enhancement. In Signal and Image Processing Applications) ICSIPA 2017, (IEEE International Conference on) pp. (195-198. IEEE.
- [11] Ting, C. C., Wu, B. F., Chung, M. L., Chiu, C. C &, Wu, Y. C. (2015). Visual contrast enhancement algorithm based on histogram equalization. Sensors, 16981-16999, (7)15,
- [12] سحر ابروانی؛ مهدی ازوجی «بهبود وقتی کنتراست با استفاده از متعادل سازی بهینه هیستوگرام دوبعدی.» مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۲۴-۱۵.
- [13] Ahmed, I. T &, Der, C. S. (2017). October. (Enhancement of no-reference image quality assessment for contrast-distorted images using natural scene statistics features in Curvelet domain. In System Engineering and Technology) ICSET7 2017, (th IEEE International Conference on) pp. (128-133. IEEE.
- [14] Bae, T. W., Ahn, S. H., & Altunbasak, Y. (2017). Automatic Contrast Enhancement by Transfer Function Modification. ETRI Journal, 39(1), 76-86.
- [15] Tang, J., Peli, E &, Acton, S. (2003). Image enhancement using a contrast measure in the compressed domain. IEEE Signal Processing Letters, 289-292, (10)10,
- [16] Chen, S. D &, Ramli, A. R. (2004). Preserving brightness in

می‌شود که در اصطلاح به آنها مدارات پیشانی<sup>۳۰</sup> آنالوگ گفته می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1 Nervous System
- 2 Central Nervous System (CNS)
- 3 Peripheral Nervous System (PNS)
- 4 Neuron
- 5 Afferent
- 6 Sensory
- 7 Efferent
- 8 Motory
- 9 Neural Interfaces
- 10 Action potential
- 11 Excitable Cell
- 12 Intracellular
- 13 Extracellular Recording
- 14 Neural Action potential
- 15 Local Action Potential
- 16 Selectivity
- 17 Silicon-Polyimide
- 18 Signal-to-Noise Ratio
- 19 Intra-fascicular
- 20 Extra-Neural Electrode
- 21 Longitudinal intra-fascicular Electrode
- 22 Functional Electrical Stimulation
- 23 In-vivo
- 24 Feedback-Controlled Neuro-prosthesis
- 25 Penetrating Electrodes
- 26 Microelectrode Array (MEA)
- 27 Passive
- 28 Selective
- 29 Neuroscience
- 30 Analog Front-end Circuits

مراجع

- [1] "NF2, Informations and Services," 16 Nov. 2018. [Online]. Available: [https://www.nf2is.org/peripheral\\_nerve\\_damage.php](https://www.nf2is.org/peripheral_nerve_damage.php).
- [2] Miller-Keane, Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, 7th Ed., Saunders, an imprint of Elsevier, 2000.
- [3] B. Gosselin, "Recent Advances in Neural Recording Microsystems," Sensors, vol. 11, pp. 4572-4597, 2011.
- [4] W. RL., "The future of peripheral nerve neuro-stimulation," Neurol. Res., vol. 22, p. 299-304, 2000.
- [5] J. R. Vallbo AB, "Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation," Hum. Neurobiol., vol. 3, pp. 3-14, 1984.
- [6] H. M. I. A. H. M. N. K. Sinkjaer T, "Biopotentials as command and feedback signals in functional electrical stimulation systems," Med. Eng. Phys., vol. 25, pp. 29-40, 2003.
- [7] H.-G. R. D. R. K. a. M. P. F. Jongwoo Lee, "A 64 Channel Programmable Closed-Loop Neurostimulator With 8 Channel Neural Amplifier and Logarithmic ADC," IEEE Journal Of Solid-State Circuits, vol. 45, no. 9, pp. 1935 - 1945, 2010.
- [8] P. T. W. R. J. K. R. O. L. D. J. B. B. G. a. F. S. R. R. Harrison, "A low-power integrated circuit for a wireless 100-electrode neural recording system," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 42, no. 1, p. 123-133, 2007.
- [9] J. M. P. e. Marco Ballini, "A 1024-Channel CMOS Microelectrode Array with 26,400 Electrodes for Recording and Stimulation of Electrogenic Cells in Vitro," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 49, no. 11, 2014.
- [10] T. D. a. P. W. T. Jochum, "Integrated circuit amplifiers for multi-electrode intracortical recording," J. Neural Eng., vol. 6, no. 1, 2009.
- [11] T. B. K. N. L. S. M. T. S. P. D. Xavier Navarro, "A critical review of interfaces with the peripheral nervous system for the control of neuro-prostheses and hybrid bionic systems," Journal of the Peripheral Nervous System, , vol. 10, pp. 229-258, 2005.
- [12] D. G. H. K. Lawrence SM, "Fabrication and characteristics of an implantable, polymer-based, intra-fascicular electrode," J Neurosci Methods. , vol. 131, no. 1, pp. 9-26, 2003.
- [13] A. S. al., "Biological application of microelectrode arrays in drug discovery and basic Research," Anal. Bioanal. Chem., vol. 377, no. 3, pp. 486-494, 2003.

\*\*\*

- preserving bi-histogram equalization. Consumer Electronics, IEEE Transactions on.1-8 ,(1)43 ,
- [26] Wang ,Y ,Chen ,Q & ,Zhang ,B .(1999) .Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method .Consumer Electronics ,IEEE Transactions on68- ,(1)45 , 75
  - [27] Chen ,S .D & ,Ramli ,A .R .(2003) .Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation .IEEE Transactions on consumer Electronics.1301-1309 ,(4)49 ,
  - [28] Sim ,K .S ,Tso ,C .P & ,Tan ,Y .Y .(2007) .Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images. Pattern Recognition Letters.1209-1221 ,(10)28 ,
  - [29] Abdullah-Al-Wadud ,M ,Kabir ,M .H ,Dewan ,M .A .A& ,Chae ,O .(2007) .A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement .IEEE Transactions on Consumer Electronics.(2)53 ,
  - [30] Park ,G .H ,Cho ,H .H & ,Choi ,M .R .(2008) .A contrast enhancement method using dynamic range separate histogram equalization .IEEE Transactions on Consumer Electronics.(4)54 ,
  - [31] Chang ,Y .T ,Wang ,J .T ,Yang ,W .H & ,Chen ,X .W.(2014) . June .(Contrast enhancement in palm bone image using quad-histogram equalization .In Computer ,Consumer and Control )IS3C 2014 ,(International Symposium on) pp .(1091-1094 .IEEE.
  - [32] Yao ,Z ,Zhou ,Q ,Lai ,Z ,Ren ,Z & ,Liu ,L ,(2016) .December.( Image Enhancement Based on Bi-Histogram Equalization with Non-Parametric Modified Technology .In Parallel and Distributed Systems) ICPADS 2016 ,(IEEE22 nd International Conference on) pp .(1211-1215 .IEEE.
  - [33] Hoseini ,P & ,Shayesteh ,M .G .(2013) .Efficient contrast enhancement of images using hybrid ant colony optimisation, genetic algorithm ,and simulated annealing .Digital Signal Processing.879-893 ,(3)23 ,
  - [34] Gupta ,A ,Verma ,O .P ,Amla ,S & ,Varshney ,S .A.(2017) . November .(Brightness Preserving Satellite Image Contrast Enhancement using Bacterial Foraging Algorithm .In Proceedings of the9 th International Conference on Signal Processing Systems) pp .(79-83 .ACM.
  - [35] Tuba ,M ,Jordanski ,M & ,Arsic ,A .(2017) .Improved weighted thresholded histogram equalization algorithm for digital image contrast enhancement using the bat algorithm .In Bio-Inspired Computation and Applications in Image Processing) pp.(61-86 .
  - [36] Sedighi ,S ,Roopaei ,M & ,Agaian ,S-citeneG .(6120) . egaml noitazilauqE margotsiH itluM rof sdlohserH desaB nrettaP ni gniniM ataD dna gninraeL enihcaM nl .tnemecnahNE .mahC ,regnrpS .(094-384 .pp) noitingoceR
  - [37] Shakeri ,M., Dezfoulian, M. H., & Khotanlou, H. (2017). Density-Based Histogram Partitioning and Local Equalization for Contrast Enhancement of Images. Journal of AI and Data Mining.ISO 690.
  - [38] Ooi, C. H., Kong, N. S. P., & Ibrahim, H. (2009). Bi-histogram equalization with a plateau limit for digital image enhancement. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 55(4), 2072-2080.
  - [39] Ooi, C. H., & Isa, N. A. M. (2010). Quadrants dynamic histogram equalization for contrast enhancement. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 56(4).
  - [40] Singh, K., & Kapoor, R. (2014). Image enhancement using exposure based sub image histogram equalization. Pattern Recognition Letters, 36, 10-14.
  - [41] Yao, Z., Zhou, Q., Yang, X., Yang, C., & Lai, Z. (2016, October). Quadrants Histogram Equalization with a Clipping Limit for image enhancement. In Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2016 8th International Conference on (pp. 1-5). IEEE
  - [42] Miscellaneous gray level images.<http://decsai.ugr.es/cvg/dbimages/g512.php>
  - [43] Hore, A., & Ziou, D. (2010, August). Image quality metrics: PSNR vs. SSIM. In Pattern recognition (icpr), 2010 20th international conference on (pp. 2366-2369). IEEE.
  - [44] Agaian, S. S., Panetta, K., & Grigoryan, A. M. (2000, September). A new measure of image enhancement. In IASTED International Conference on Signal Processing & Communication (pp. 19-22).

\*\*\*