

ارتقای کنتراست تصاویر با استفاده از تعدیل هیستوگرام قطع شده پویای سه تایی

مجید زارعی^۱، دانشجوی دکتری؛ حسن حاجقاسم^۲، دانشیار؛ عبدالله اسلامی مجد^۳، استادیار

۱- مجتمع برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی مالک اشتر - تهران - ایران - majidzarie@yahoo.com

۲- دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران - تهران - ایران - hajghassem@ut.ac.ir

۳- مجتمع برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی مالک اشتر - تهران - ایران - a_eslamimajd@mut-es.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک الگوریتم ارتقای کنتراست قدرتمند بر پایه روش تعدیل هیستوگرام، بنام تعدیل هیستوگرام قطع شده پویای سه تایی (TDCHE) پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی از چهار فرآیند اصلی تقسیم بندی، قطع، نگاشت و تعدیل تشکیل شده است. در ابتدا هیستوگرام تصویر ورودی به سه قسمت با تعداد پیکسل برابر تقسیم می شود. سپس فرآیند قطع هیستوگرام به وسیله سطح آستانه قطع برابر با میانگین شدت های رخ داده شده در هر زیر هیستوگرام انجام می شود. در ادامه هر زیر هیستوگرام با محاسبات ساده به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می کند و در نهایت فرآیند تعدیل هر زیر هیستوگرام به طور مستقل انجام می شود. روش پیشنهادی TDCHE برای رسیدن به اهداف چندگانه بیشینه محتوای اطلاعات متوسط (آنروپی)، کنترل نسبت ارتقا و حفظ روشنایی معقول ارائه شده است. همچنین این روش با تولید تصاویر واضح، با حفظ حداکثر جزئیات و به دور از پدیده هایی غیرطبیعی مانند اشباع شدت و تقویت نویز، منجر به ایجاد ارتقای طبیعی در تصویر خروجی می شود. ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی TDCHE از نظر حفظ محتوای اطلاعات و همچنین کیفیت بصری نشان از برتری قابل ملاحظه الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش های پیشین ارائه شده بر پایه تعدیل هیستوگرام دارد.

واژه های کلیدی: ارتقای کنتراست، تعدیل هیستوگرام، قطع هیستوگرام، کنترل نسبت ارتقا، آنروپی.

Image Contrast Enhancement Using Triple Dynamic Clipped Histogram Equalization

M. Zarie¹, PhD Student; H. Hajghassem², Associate Professor; A. Eslami Majd³, Assistant Professor

1- Electrical and Computer Complex, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran, Email: majidzarie@yahoo.com

2- Faculty of New Sciences & Technology, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: hajghassem@ut.ac.ir

3- Electrical and Computer Complex, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran, Email: a_eslamimajd@mut-es.ac.ir

Abstract: In this paper, a powerful contrast enhancement algorithm based on the histogram equalization, called triple dynamic clipped histogram equalization (TDCHE) is introduced. The proposed method consists of four main processes including partitioning, clipping, mapping and equalization. At first, the input image histogram is partitioned into three portions with a same number of pixels. Next, the histogram clipping process is performed by comparing the clipped threshold level with the average intensities occurred on each sub-histogram. Then, each sub-histogram is mapped to a new dynamic range using simple calculations and finally, equalization process of each histogram is independently accomplished. The proposed TDCHE technique is presented to achieve multiple objectives of maximum average information content (entropy), enhancement ratio control and maintaining the reasonable brightness. In addition, this method leads to a natural enhancement in the output image by providing sharp images, while preserving maximum details far from unnatural phenomena such as intensity saturation and noise enhancement. Evaluation of the proposed TDCHE method performance in terms of information content as well as visual quality shows perceived superiority of the proposed algorithm in comparison to the previously presented methods based on histogram equalization.

Keywords: Contrast enhancement, histogram equalization, histogram clipping, enhancement ratio control, entropy.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۰

نام نویسنده مسئول: حسن حاجقاسم

نشانی نویسنده مسئول: تهران - خیابان کارگر شمالی - دانشگاه تهران - دانشکده علوم و فنون نوین.

۱- مقدمه

ارتقا تصویر فرآیندی است که تغییرات در شدت پیکسل تصویر ورودی را شامل می‌شود به طوری که تصویر خروجی از لحاظ شهودی و ادراکی بهتر به نظر برسد. بنابراین هدف از ارتقا تصویر، بهبود تفسیر یا ادراک اطلاعات موجود در آن، برای بینندگان یا ارائه بهتر برای ورودی سیستم‌های پردازش خودکار می‌باشد [۱]. یکی از فاکتورهای کیفی مهم در پردازش تصاویر مختلف، کنتراست می‌باشد. اگر کنتراست یک تصویر به شدت در محدوده تاریک، خیلی روشن یا در محدوده خاصی متمرکز شود اطلاعات تصویر در مناطقی که بیش از حد و به طور یکنواخت متمرکز شده از بین می‌رود. بنابراین بایستی کنتراست تصویر را ارتقا داد تا همه اطلاعات تصویر ورودی را نشان دهد [۲].

تعدیل هیستوگرام عمومی^۱ متداول‌ترین روش برای ارتقا کنتراست است که به دلیل سادگی و عملکرد نسبتاً خوب، تقریباً در انواع تصاویر به کار می‌رود. ایده اصلی GHE، نگاشت دوباره سطوح خاکستری تصویر ورودی بر اساس گسترش یکنواخت تابع چگالی احتمال^۲ آن می‌باشد. GHE، دامنه پویای هیستوگرام تصویر را مسطح می‌کند و باعث می‌شود که کنتراست تصویر ورودی تا حد ممکن افزایش یابد [۱]. به دلیل تغییر میانگین روشنایی تصویر برای پیاده‌سازی در لوازم الکترونیکی از جمله تلویزیون مناسب نیست. این روش به دلیل ارتقا بیش از حد، تمایل به تولید مشکل اشباع شدت، ایجاد آثار مصنوعی آزاردهنده و تقویت نویز در تصویر خروجی دارد [۳، ۴].

برای غلبه بر این محدودیت‌ها، روش‌های مختلفی ارائه شد. یکی از اولین پیشنهادها روشی بنام تعدیل هیستوگرام دوتایی با حفظ روشنایی^۳ بود [۴]. در این روش، هیستوگرام اصلی به دو زیر هیستوگرام بر پایه میانگین مقادیر شدت تقسیم می‌شود. سپس در هر دو زیر هیستوگرام به طور جداگانه فرآیند تعدیل انجام می‌پذیرد. در مقایسه با روش GHE، میانگین روشنایی تصویر ورودی بیش تر حفظ می‌شود ولی در برخی موارد دارای مشکل اشباع شدت می‌باشد. در ادامه روش تعدیل هیستوگرام زیر تصویر دوگانه^۴ ارائه شد [۵]. در این روش هیستوگرام اصلی به دو زیر هیستوگرام با تعداد پیکسل برابر تقسیم می‌شود که میانه مقادیر شدت به عنوان نقطه جداکننده استفاده می‌شود. نویسنده ادعا می‌کند که از نظر حفظ میانگین روشنایی و حفظ اطلاعات (آنترپی) نسبت به روش قبلی بهتر عمل می‌کند.

بهبود یافته BBHE بنام روش تعدیل هیستوگرام دوتایی با حداقل خطای میانگین روشنایی ارائه شد [۶]. که، نقطه جداکننده از بین سطوح شدت 0 تا 1-L طوری انتخاب می‌شود که کمترین خطای مطلق میانگین روشنایی بین تصویر ورودی و خروجی ایجاد شود. با وجود حفظ میانگین روشنایی در بیش تر مواقع ارتقا مناسبی در تصویر ایجاد نمی‌شود.

در برخی موارد روش‌های BBHE و DSIHE کنتراست را به خوبی ارتقا نمی‌دهند و یا به درجه بالاتری از حفظ میانگین روشنایی نیاز دارند. به این منظور روش تعدیل هیستوگرام با جداسازی میانگین بازگشتی^۵ ارائه شد [۷]. شبیه به BBHE، هیستوگرام اصلی به دو بخش تقسیم می‌شود. در مرحله بعد این زیر هیستوگرام‌ها دوباره به دو بخش بر پایه

میانگین مقادیرشان تقسیم می‌شوند. این فرآیند به طور بازگشتی برای رسیدن به تعداد مطلوب زیر هیستوگرام، تکرار می‌شود. سپس هر دو زیر هیستوگرام به طور جداگانه فرآیند تعدیل انجام می‌گیرد.

یک روش دیگر شبیه به RMSHE بنام تعدیل هیستوگرام زیر تصویر بازگشتی^۶ ارائه شده است [۸]. در این روش، هیستوگرام بر پایه میانه مقادیر شدت به جای میانگین به طور بازگشتی تقسیم بندی می‌شود. در ادامه، روش تعدیل هیستوگرام وزن دار با جداسازی بازگشتی^۷ شبیه دو روش اخیر ارائه شد [۹]. که بر اساس میانگین یا میانه به طور بازگشتی، هیستوگرام اصلی به چند زیر هیستوگرام تقسیم می‌شود. سپس تابع وزن دهی بر روی زیر هیستوگرام به کار برده می‌شود تا از تسلط سطوح خاکستری با احتمال بالا بر سطوح خاکستری با احتمال پایین جلوگیری به عمل آید. در نهایت در هر زیر هیستوگرام وزن دهی شده به طور مستقل فرآیند تعدیل انجام می‌پذیرد.

در روش‌های تقسیم بندی چند تایی هیستوگرام، در صورت زیاد بودن تعداد زیر هیستوگرام‌ها، ارتقا قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. همچنین در این روش‌ها پیدا کردن مقدار بهینه عامل تکرار، یک چالش بزرگ است. برای غلبه بر این موارد، می‌توان تقسیم بندی را بر اساس شکل خود هیستوگرام مانند روش تعدیل هیستوگرام چند قله‌ای با حفظ روشنایی^۸ انجام داد [۱۰]. در این روش، هیستوگرام اصلی در ابتدا با استفاده از یک فیلتر هموار ساز یک بعدی هموار می‌شود سپس بر اساس بیشینه محلی به چند بخش تقسیم می‌شود. در نهایت هر زیر هیستوگرام به طور مستقل تعدیل می‌شود.

روش‌هایی مبتنی بر تقسیم بندی هیستوگرام، هر چند متوسط روشنایی را به خوبی حفظ می‌کنند ولی در زیر هیستوگرام با محدوده باریک، ارتقا ناچیز باعث از دست رفتن جزئیات تصویر و در زیر هیستوگرام با محدوده عریض، ارتقا بیش از حد باعث ایجاد مصنوعات ناخواسته در تصویر می‌شود. چون هر زیر هیستوگرام بیش از محدوده پویای مشخص شده، گسترش پیدا نمی‌کند.

برای غلبه بر این مشکل، روش تعدیل هیستوگرام پویا^۹ ارائه شد [۱۱]. در روش DHE ابتدا هیستوگرام ورودی با استفاده از یک فیلتر هموار ساز صاف می‌کنند. سپس بر اساس نقاط کمینه محلی تقسیم بندی می‌شود. قبل از انجام فرآیند تعدیل، هر زیر هیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند. فرآیند نگاشت تابعی از محدوده پویای زیر هیستوگرام و تعداد پیکسل‌های تشکیل دهنده هر قسمت می‌باشد.

گسترش یافته دو روش اخیر با عنوان تعدیل هیستوگرام پویا با حفظ روشنایی^{۱۰} ارائه شد [۱۲]. که پس از به کار بردن فیلتر هموار ساز گوسی از نقاط بیشینه محلی به عنوان نقاط جداسازی استفاده می‌شود و مدعی است نقاط بیشینه نسبت به نقاط کمینه بهتر میانگین روشنایی رو حفظ می‌کند. قبل از فرآیند تعدیل، هر زیر هیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند. برای حفظ میانگین روشنایی تصویر، نرمالیزه کردن روشنایی در مرحله آخر انجام می‌گیرد. اصلاح شده BPDHE تحت عنوان تعدیل هیستوگرام فازی پویا با حفظ روشنایی ارائه شد [۱۳]. که از هیستوگرام فازی برای عملیات صاف کردن هیستوگرام استفاده می‌کند

می‌کند. سپس قبل از انجام فرآیند تعدیل، فرآیند قطع هیستوگرام اصلی بر طبق میانگین تعداد وقوع شدت انجام می‌گیرد. گسترش یافته از روش قبلی، بنام‌های تعدیل هیستوگرام زیر تصویر بر پایه نوردهی بازگشتی^{۱۷} و تعدیل هیستوگرام زیر تصویر بر پایه جداسازی نوردهی بازگشتی^{۱۸} ارائه شد [۱۹]. در روش R-ESIHE به‌طور مکرر روش ESIHE در تصویر ورودی انجام می‌شود تا زمانی که تفاوت سطح آستانه نوردهی بین دو تکرار متوالی کم‌تر از یک مقدار آستانه باشد. در روش RS-ESIHE هیستوگرام اصلی به‌طور بازگشتی به چند زیرهیستوگرام بر اساس سطح آستانه نوردهی تقسیم می‌شود. سپس قبل از انجام فرآیند تعدیل، فرآیند قطع هیستوگرام اصلی به‌طور کلی بر طبق میانگین تعداد وقوع شدت انجام می‌گیرد.

هر یک از روش‌های فوق برای حل یک مشکل ویژه در زمینه ارتقا کنتراست مطرح شده‌اند. اما روش‌هایی که بتوانند چندین هدف را به‌طور مشترک دنبال کنند کم‌تر پیشنهاد شده است. در این مقاله روش تعدیل هیستوگرام قطع شده پویای سه‌تایی^{۱۹} پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی TDCHE بین کنترل نسبت ارتقا، حفظ میانگین روشنایی و حفظ محتوای اطلاعات متوسط یک رابطه معقول و متعادل ایجاد می‌کند. به‌طوری‌که تصویری واضح در خروجی با حداکثر جزئیات، به دور از مصنوعات ناخواسته مانند اشباع شدت و با ارتقا طبیعی ایجاد می‌کند. در این روش در ابتدا هیستوگرام تصویر ورودی به سه قسمت با تعداد پیکسل برابر تقسیم می‌شود. سپس برای کنترل نسبت ارتقا، فرآیند قطع هیستوگرام، با سطح آستانه برابر با میانگین شدت‌های رخ داده شده در هر زیرهیستوگرام به کار برده می‌شود. در ادامه هر زیرهیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند و در نهایت فرآیند تعدیل به‌طور مستقل در هر زیرهیستوگرام انجام می‌شود. سایر قسمت‌های مقاله به این شرح سازمان‌دهی می‌شود.

در بخش دوم به شرح و تفصیل روش پیشنهادی، با جزئیات کامل می‌پردازیم. در بخش سوم نتایج آزمایش‌ها بر اساس کیفیت بصری و محتوای اطلاعات متوسط مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش چهارم نتیجه‌گیری آورده شده است.

۲- تعدیل هیستوگرام قطع شده پویای سه‌تایی

روش پیشنهادی TDCHE از چهار قسمت زیر تشکیل شده است. در این بخش به شرح و تفصیل آن‌ها با جزئیات کامل می‌پردازیم.

- تقسیم‌بندی سه‌تایی هیستوگرام
- قطع هیستوگرام
- نگاشت هر قسمت به محدوده پویای جدید
- تعدیل هر قسمت به‌طور مستقل

۲-۱- تقسیم‌بندی سه‌تایی هیستوگرام

همان‌طور که در بخش مقدمه ذکر شد در روش‌های قبلی، هیستوگرام تصویر ورودی با استفاده از میانگین، میانه، نقاط بیشینه، نقاط کمینه و سطح نوردهی به چندین زیرهیستوگرام تقسیم می‌شود. در تصاویر

و بقیه مراحل مانند روش قبلی می‌باشد. در دو روش اخیر، نسبت نرمالیزه کردن روشنایی نقش مهمی در تصویر خروجی دارد. زیرا نسبت کوچک باعث ارتقا کنتراست ناچیز و نسبت بزرگ‌تر از یک باعث تجاوز شدت پیکسل‌هایی از حداکثر شدت محدوده پویا خروجی شده و مشکل اشباع شدت ایجاد می‌کند.

تمام روش‌های مرور شده فوق، کنترلی بر روی نسبت ارتقا ندارند. بنابراین روشی بر پایه قطع هیستوگرام به‌عنوان تعدیل هیستوگرام دوتایی با فلات محدود^{۱۱} مطرح شد [۱۴]. در این روش، شبیه به BBHE، هیستوگرام اصلی به دو زیرهیستوگرام تقسیم می‌شود سپس کنترل نسبت ارتقا با تنظیم فلات محدود به‌عنوان میانگین تعداد وقوع شدت در هر زیرهیستوگرام انجام می‌شود. میله‌هایی از هیستوگرام در هر سطح شدت که بیش از فلات محدود هستند، به وسیله فلات محدود جایگزین می‌شود در غیر این صورت همان میله‌های هیستوگرام اصلی باقی می‌ماند. در نهایت فرآیند تعدیل به‌طور مستقل در هر دو زیرهیستوگرام قطع شده انجام می‌شود. در ادامه تعدیل هیستوگرام پویا چهارگانه^{۱۲} ارائه شد [۱۵] که هیستوگرام اصلی به چهار زیرهیستوگرام بر اساس میانه مقادیر شدت در تصویر ورودی تقسیم می‌شود. سپس فرآیند قطع هیستوگرام اصلی بر طبق میانگین تعداد وقوع شدت انجام می‌گیرد. قبل از فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند.

روش ارتقا کنتراست تطبیقی با حفظ روشنایی، شامل دو روش ارتقایافته از BHEPL بنام‌های، تعدیل هیستوگرام پویا چهارگانه با فلات محدود^{۱۳} و تعدیل هیستوگرام دوتایی با فلات محدود میانه^{۱۴} ارائه شده است [۱۶]. در روش DQHEPL هیستوگرام اصلی به چهار زیرهیستوگرام بر اساس میانه مقادیر شدت تقسیم می‌شود. سپس فرآیند قطع در هر زیرهیستوگرام بر طبق میانگین تعداد وقوع شدت آن انجام می‌گیرد. سپس قبل از انجام فرآیند تعدیل، هر زیرهیستوگرام به یک محدوده پویای جدید نگاشت پیدا می‌کند درحالی‌که نقطه جداسازی دوم به‌عنوان حفظ میانگین روشنایی حفظ می‌شود. محدودیت در نظر گرفته شده برای حفظ روشنایی باعث می‌شود در تصاویری که میله‌های هیستوگرام متمرکز شده در قسمت بالا یا پایین، ارتقا خوبی ایجاد نشود. مراحل روش BHEPL-D شبیه به روش BHEPL می‌باشد با این تفاوت که برای قطع هیستوگرام از میانه تعداد وقوع شدت استفاده می‌کند.

پیرو روش‌های فوق، روش تعدیل هیستوگرام قطع شده زیر تصویر بر پایه میانه و میانگین^{۱۵} ارائه شد [۱۷]. در این روش، 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 اصلی بر طبق میانه تعداد وقوع شدت آن انجام می‌گیرد و در نهایت هر قسمت به‌طور جداگانه فرآیند تعدیل انجام می‌شود.

در ادامه روش تعدیل هیستوگرام زیر تصویر بر پایه نوردهی^{۱۶} برای ارتقا تصاویری که در معرض نور کم قرار گرفته‌اند ارائه شد [۱۸]. از سطح آستانه نوردهی برای تقسیم هیستوگرام اصلی به دو بخش استفاده

نویزدار، حتی به کار بردن فیلتر هموارساز در هیستوگرام ورودی قبل از فرآیند تقسیم‌بندی، کمکی به انتخاب مناسب نقاط بیشینه و کمینه نخواهد کرد و این نقاط اشتباه تشخیص داده می‌شوند. همچنین در این روش‌ها بایستی دره یا قله‌های قابل توجهی در هیستوگرام تصویر ورودی وجود داشته باشد. از طرفی در صورت استفاده یک بار از میانگین، میانه و سطح نوردهی برای تقسیم هیستوگرام به دو بخش، ممکن است ارتقا غیرطبیعی در بعضی نواحی مانند روش تعدیل هیستوگرام عمومی ایجاد شود. در ضمن استفاده از میانگین، میانه و سطح نوردهی به‌طور بازگشتی که هیستوگرام را به ۴ و یا بیش از آن تقسیم می‌کنند ممکن است ارتقا قابل توجهی در بعضی قسمت‌ها ایجاد نشود. همچنین پیدا کردن مقدار بهینه سطح بازگشتی یک چالش اصلی در این روش‌ها است.

بنابراین روش پیشنهادی TDCHE با ایده گرفتن از تقسیم‌بندی بر اساس میانه، هیستوگرام تصویر ورودی را به سه قسمت تقسیم می‌کند به نحوی که تعداد پیکسل‌ها در هر سه زیرهیستوگرام برابر باشند. این نوع تقسیم‌بندی منجر به ارتقا طبیعی، بیشینه محتوای اطلاعات متوسط و حفظ روشنایی معقول در تصویر خروجی می‌شود. از این رو نقاط جداسازی با استفاده از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آید.

$$T_1 = \frac{1}{m_1 - m_0 + 1} * \sum_{k=m_0}^{m_1} h(k) \quad (۳)$$

$$T_2 = \frac{1}{m_2 - m_1} * \sum_{k=m_1+1}^{m_2} h(k) \quad (۴)$$

$$T_3 = \frac{1}{m_3 - m_2} * \sum_{k=m_2+1}^{m_3} h(k) \quad (۵)$$

در روابط فوق $h(k)$ هیستوگرام تصویر ورودی و T_1 ، T_2 و T_3 سطوح آستانه قطع محاسبه شده برای هر سه زیرهیستوگرام می‌باشند.

در شکل ۱- ب سطوح آستانه قطع محاسبه شده برای هر سه زیرهیستوگرام را مشاهده می‌کنید. میله‌هایی از هر زیرهیستوگرام که سطحی بزرگ‌تر از سطح آستانه مشخص شده برای آن زیرهیستوگرام دارند به وسیله آن سطح آستانه، محدود می‌شوند. هیستوگرام قطع شده با استفاده از روابط (۸) - (۶) به دست می‌آید.

$$h_c(k) = \begin{cases} h(k) & h(k) < T_1 \\ T_1 & h(k) \geq T_1 \end{cases} \quad m_0 \leq k \leq m_1 \quad (۶)$$

$$h_c(k) = \begin{cases} h(k) & h(k) < T_2 \\ T_2 & h(k) \geq T_2 \end{cases} \quad m_1 < k \leq m_2 \quad (۷)$$

$$h_c(k) = \begin{cases} h(k) & h(k) < T_3 \\ T_3 & h(k) \geq T_3 \end{cases} \quad m_2 < k \leq m_3 \quad (۸)$$

در روابط بالا $h_c(k)$ نشانگر هیستوگرام قطع شده است.

بنابراین روش قطع هیستوگرام استفاده شده در TDCHE باعث می‌شود در سراسر هیستوگرام نسبت ارتقا به خوبی کنترل شود. همچنین تصویر خروجی با ظاهری طبیعی و به دور از پدیده‌هایی غیرطبیعی مانند اشباع شدت و تقویت نویز ایجاد می‌شود. در شکل ۱- ج هیستوگرام قطع شده نشان داده شده است.

بنابراین روش پیشنهادی TDCHE با ایده گرفتن از تقسیم‌بندی بر اساس میانه، هیستوگرام تصویر ورودی را به سه قسمت تقسیم می‌کند به نحوی که تعداد پیکسل‌ها در هر سه زیرهیستوگرام برابر باشند. این نوع تقسیم‌بندی منجر به ارتقا طبیعی، بیشینه محتوای اطلاعات متوسط و حفظ روشنایی معقول در تصویر خروجی می‌شود. از این رو نقاط جداسازی با استفاده از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آید.

$$I' = \text{sort}\{I(\text{width} * \text{height})\} \quad (۱)$$

$$\begin{cases} m_1 = I'(0.33 * \text{width} * \text{height}) \\ m_2 = I'(0.66 * \text{width} * \text{height}) \end{cases} \quad (۲)$$

در روابط فوق، I' ماتریس یک بعدی است که از مرتب کردن تعداد کل پیکسل‌ها در تصویر ورودی I از کم‌ترین تا بیش‌ترین مقدار شدت به دست می‌آید. m_1 و m_2 برابر با شدت قرار گرفته به ترتیب در ۰/۳۳ و ۰/۶۶ از تعداد کل پیکسل‌های ماتریس مرتب شده I' تعریف می‌شود. همچنین $width$ و $height$ به ترتیب نشان‌دهنده عرض و ارتفاع تصویر ورودی می‌باشند.

به این ترتیب اگر هیستوگرام تصویر ورودی قبل از فرآیند تقسیم بندی دارای محدوده شدت $[m_0 : m_3]$ باشد که در آن m_0 و m_3 برابر کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر شدت در تصویر ورودی می‌باشند. در این روش هیستوگرام تصویر ورودی W به سه زیرهیستوگرام با تعداد پیکسل برابر بنام‌های WU ، WM و WL تقسیم می‌شود. محدوده شدت هر زیرهیستوگرام به ترتیب برابر با $[m_0 : m_1]$ ، $[m_1+1 : m_2]$ و $[m_2+1 : m_3]$ به دست می‌آید. شکل ۱- الف یک نمونه از تقسیم بندی سه‌تایی را نشان می‌دهد.

۲-۲- قطع هیستوگرام

ایده اصلی در قطع هیستوگرام این است که نسبت ارتقا در فرآیند تعدیل هیستوگرام را کنترل می‌کند. به نحوی که از ایجاد اشباع شدت و ارتقا بیش از حد در تصویر ارتقایافته جلوگیری به عمل می‌آورد و در نهایت منجر به ایجاد ظاهر طبیعی در تصویر ارتقایافته می‌شود. برای انجام فرآیند قطع هیستوگرام احتیاج است که مشتق اول هیستوگرام یا خود

۲-۳- نگاشت هر قسمت به محدوده پویای جدید

همان‌طور که در قسمت تقسیم‌بندی بیان شد هر زیرهیستوگرام دارای یک محدوده شدت مشخصی است. در صورت انجام فرآیند تعدیل هر قسمت به‌طور مستقل، هرکدام از زیرهیستوگرام‌ها نمی‌توانند بیش‌تر از محدوده مشخص‌شده برای آن‌ها، فرآیند تعدیل و گسترش هیستوگرام را انجام دهند. در بیش‌تر مواقع زیرهیستوگرام با محدوده کم به دلیل عدم وجود فضای کافی برای ارتقا، به‌طور قابل‌توجهی ارتقا نمی‌یابند. از طرفی دیگر، در زیرهیستوگرام با محدوده زیاد، مشکل ارتقا بیش از حد ایجاد می‌شود. این دلایل باعث از دست رفتن جزئیات تصویر و اشباع شدت در تصویر خروجی می‌شود.

به‌منظور ایجاد تعادل در فرآیند تعدیل و غلبه بر مشکلات فوق، روش TDCHE با ایده گرفتن از روش تعدیل هیستوگرام پویا، فرآیند نگاشت را بر اساس محدود پویای سطح خاکستری استفاده‌شده در هر زیرهیستوگرام انجام می‌دهد و برای هر زیرهیستوگرام یک محدوده پویای جدید اختصاص می‌دهد. ولی برخلاف روش تعدیل هیستوگرام پویا، که با اعمال تعداد پیکسل‌های موجود در هر زیرهیستوگرام، باعث پیچیدگی محاسبات می‌شود. در روش TDCHE چون تعداد پیکسل‌ها در زیرهیستوگرام‌ها تقریباً برابر است و اثر قابل‌توجهی در محاسبات محدود پویای جدید ندارند. برای ساده‌تر کردن مراحل نگاشت می‌توان از تعداد پیکسل‌ها در محاسبات صرف‌نظر کرد. فرآیند نگاشت هم‌زمان با حفظ روشنایی معقول و حفظ جزئیات در تمام سطوح، منجر به ایجاد ارتقا طبیعی در تصویر خروجی می‌شود. فرآیند نگاشت در روش TDCHE با استفاده از روابط (۹) - (۱۱) انجام می‌شود.

$$n_0 = 0 \quad n_1 = (L-1) \frac{m_1 - m_0 + 1}{m_3 - m_0 + 1} \quad (9)$$

$$n_2 = (L-1) \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_0 + 1} + n_1 \quad (10)$$

$$n_3 = (L-1) \quad (11)$$

در روابط فوق از (0) پایین‌ترین و (L-1) بالاترین مقدار شدت پیکسل در تصویر خروجی می‌باشند. پس از انجام فرآیند نگاشت، محدوده پویای جدید اولین زیرهیستوگرام به $[n_0 : n_1]$ ، محدوده دومین زیرهیستوگرام به $[n_1+1 : n_2]$ و محدوده سومین زیرهیستوگرام به $[n_2+1 : n_3]$ تغییر پیدا می‌کند.

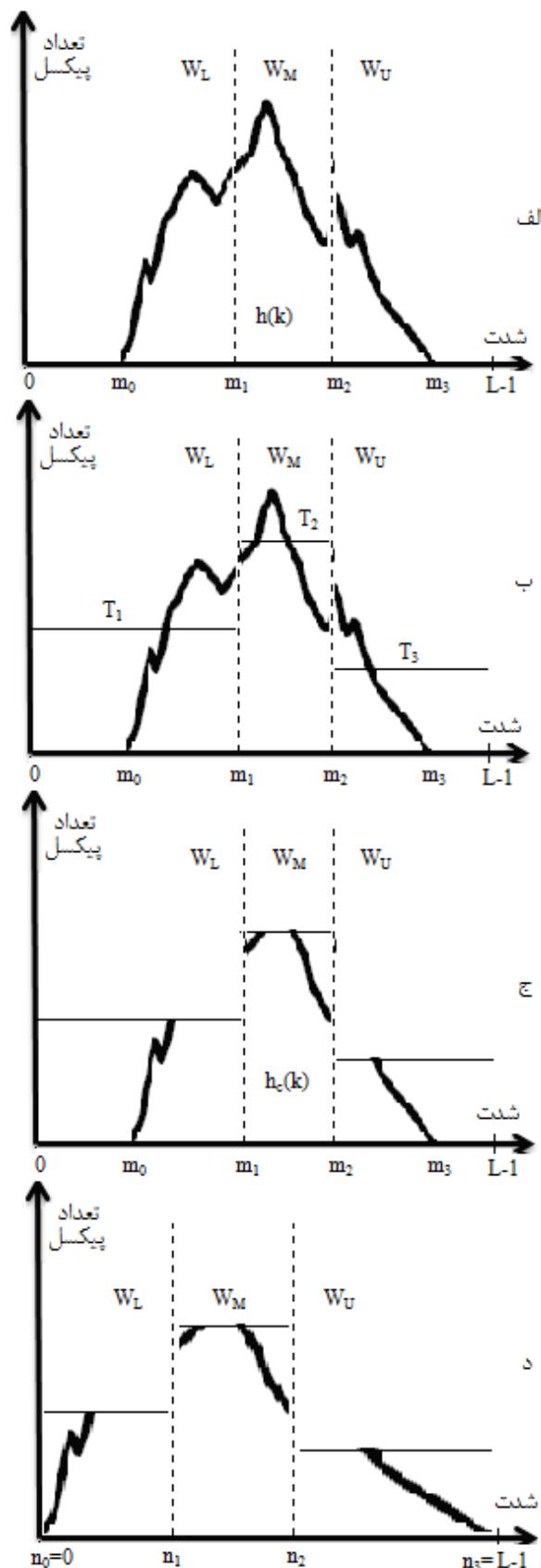
۲-۴- تعدیل هر قسمت به‌طور مستقل

پس از مشخص کردن محدوده پویای جدید برای هر زیرهیستوگرام، در مرحله نهایی روش TDCHE باید هر قسمت به‌طور مستقل تعدیل شود. فرآیند تعدیل هر زیرهیستوگرام خود از چهار مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول، PDF مربوط به هر زیرهیستوگرام با توجه به روابط (۱۴) - (۱۲) تعیین می‌شود [۱].

$$PDF_L(k) = \frac{h_c(k)}{N_L} \quad m_0 \leq k \leq m_1 \quad (12)$$

$$PDF_M(k) = \frac{h_c(k)}{N_M} \quad m_1 < k \leq m_2 \quad (13)$$

$$PDF_U(k) = \frac{h_c(k)}{N_U} \quad m_2 < k \leq m_3 \quad (14)$$



شکل ۱: یک مثال از روش TDCHE (الف) تقسیم‌بندی سه تایی (ب) محاسبه سطوح آستانه قطع (ج) هیستوگرام قطع شده (د) فرآیند نگاشت و تعدیل

۳-۱- ارزیابی عملکرد بر اساس محتوای اطلاعات متوسط

اگر کنتراست یک تصویر به شدت در محدوده تاریک، روشن یا در محدوده خاصی متمرکز شود اطلاعات ممکن است در مناطقی که بیش از حد و به طور یکنواخت متمرکز شده از بین برود. از میان روش‌های ارتقا کنتراست روشی مناسب است که ضمن ارتقا کنتراست طبیعی بتواند همه اطلاعات تصویر ورودی را نشان دهد. بنابراین برای نشان دادن قابلیت روش پیشنهادی TDCHE در استخراج اطلاعات از تصویر می‌توان از محتوای اطلاعات متوسط (آنتروپی) به عنوان یک ارزیابی کمی استفاده کرد. محتوای اطلاعات متوسط (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].

$$E(PDF) = - \sum_{i=0}^{L-1} PDF(i) * \log_2 PDF(i) \quad (24)$$

در رابطه فوق PDF(i) تابع چگالی احتمال از یک تصویر در سطح شدت i و $L-1$ بالاترین مقدار شدت پیکسل در تصویر می‌باشند. بنابراین در یک تصویر با مقدار آنتروپی بالا می‌توان ویژگی‌های بیش‌تر از تصویر استخراج کرد. درحالی‌که 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. برای داشتن عملکرد بهینه، آنتروپی باید نزدیک به تصویر اصلی باشد تا اطلاعات واقعی تصویر نیز حفظ شود. در جدول ۱ نتایج آنتروپی با استفاده از روش‌های مختلف برای هر چهار تصویر برای مقایسه جدول‌بندی شده است.

جدول ۱: نتایج آنتروپی در روش‌های مختلف

میانگین	شکل ۵	شکل ۴	شکل ۳	شکل ۲	
۴/۸۶۷	۵/۳۱۱	۵/۴۹۶	۴/۰۰۴	۴/۶۵۵	INPUT
۴/۶۰۹	۵/۲۰۶	۴/۹۶۶	۳/۷۴۷	۴/۵۱۷	GHE [1]
۴/۷۵۷	۵/۲۱۱	۵/۴۳۲	۳/۹۲۴	۴/۴۵۹	BBHE [4]
۴/۷۷۸	۵/۱۷۱	۵/۴۷۱	۳/۹۶۵	۴/۵۰۴	RMSHE [7]
۴/۷۶۶	۵/۱۴۶	۵/۴۴۹	۳/۹۴۷	۴/۵۲۲	RSIHE [8]
۴/۲۲۴	۳/۵۴۴	۵/۴۱۴	۲/۹۳۸	۴/۰۰۰	BPDHE [12]
۴/۸۱۵	۵/۲۸۰	۵/۴۷۷	۳/۹۹۴	۴/۵۰۷	BHEPL [14]
۴/۸۲۲	۵/۲۳۸	۵/۴۷۶	۳/۹۹۴	۴/۵۸۰	DQHEPL [16]
۴/۸۴۱	۵/۲۴۴	۵/۴۷۶	۳/۹۹۱	۴/۶۵۳	[17] MMSICHE
۴/۸۵۹	۵/۳۰۹	۵/۴۷۹	۳/۹۹۴	۴/۶۵۳	TDCHE

با توجه به جدول فوق، روش پیشنهادی، بالاترین آنتروپی را برای همه تصاویر در مقایسه با سایر روش‌ها تولید می‌کند. به طوری‌که در آنتروپی تولیدی بسیار نزدیک به تصویر اصلی به دست می‌آید. میانگین آنتروپی تولیدشده به وسیله روش پیشنهادی برابر ۴/۸۵۹، که بسیار نزدیک به ۴/۸۶۷ که میانگین آنتروپی تصاویر اصلی است. بنابراین روش پیشنهادی، بهترین روش برای استخراج محتوای اطلاعات در تصویر همراه با ایجاد ارتقا طبیعی در تصویر خروجی می‌باشد.

در روابط فوق N_L ، N_M و N_M تعداد کل پیکسل‌ها در هر زیرهیستوگرام قطع شده می‌باشند که توسط روابط (۱۷) - (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$N_L = \sum_{k=m_0}^{m_1} h_c(k) \quad (15)$$

$$N_M = \sum_{k=m_1+1}^{m_2} h_c(k) \quad (16)$$

$$N_U = \sum_{k=m_2+1}^{m_3} h_c(k) \quad (17)$$

در مرحله دوم تابع چگالی تجمعی F_c هر زیرهیستوگرام با استفاده از PDF مربوطه، با روابط (۲۰) - (۱۸) تعریف می‌شود [۱].

$$CDF_L(k) = \sum_{k=m_0}^{m_1} PDF_L(k) \quad (18)$$

$$CDF_M(k) = \sum_{k=m_1+1}^{m_2} PDF_M(k) \quad (19)$$

$$CDF_U(k) = \sum_{k=m_2+1}^{m_3} PDF_U(k) \quad (20)$$

در مرحله سوم تابع انتقال هر زیرهیستوگرام با استفاده از CDF مربوطه، با توجه به روابط (۲۳) - (۲۱) تعیین می‌شود.

$$F_L = n_1 * CDF_L \quad (21)$$

$$F_M = (n_1 + 1) + (n_2 - (n_1 + 1)) * CDF_M \quad (22)$$

$$F_U = (n_2 + 1) + (n_3 - (n_2 + 1)) * CDF_U \quad (23)$$

با استفاده از توابع انتقال به دست آمده هر قسمت به طور مستقل تعدیل می‌شود. مرحله چهارم، شامل یکپارچه‌سازی هر سه زیرتصویر برای ایجاد یک تصویر کامل می‌باشد. بنابراین تصویر خروجی روش TDCHE با ترکیب هر سه تابع انتقال تولید می‌شود. ترکیب فرآیند نگاشت به محدوده پویای جدید و تعدیل هر قسمت در شکل ۱- د نشان داده شده است.

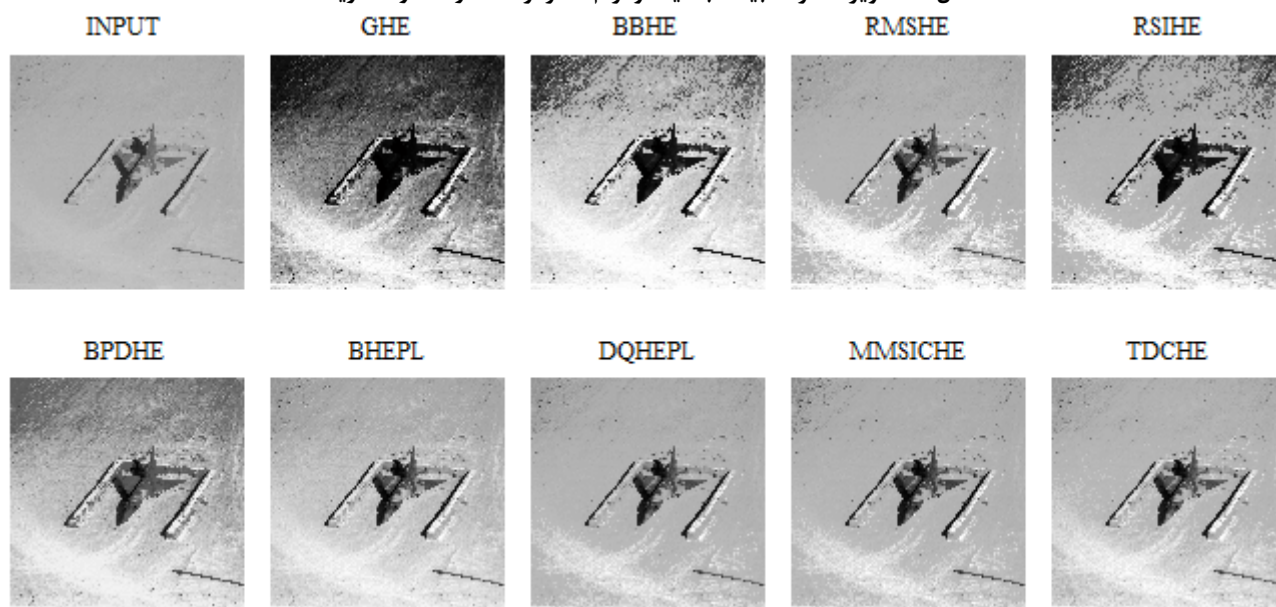
۳- نتایج آزمایش‌ها و بحث

در این بخش نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی TDCHE با روش‌های ارائه شده بر پایه تعدیل هیستوگرام مانند GHE[1]، BBHE[4]، RMSHE[7]، RSIHE[8]، BPDHE[12]، BHEPL[14]، DQHEPL[16] و MMSICHE[17] مقایسه شده است. به منظور ارزیابی و مقایسه روش‌های موجود، چهار تصویر منظره طبیعت، هواپیما، تانک و جاده با هیستوگرام متمرکز شده به ترتیب در محدوده تاریک، عرض باریک و وسیع در میانه و محدوده روشن به عنوان تصاویر آزمایش انتخاب شده‌اند.

نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی TDCHE و سایر روش‌ها در شکل‌های ۵-۲ 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 تصویر منظره طبیعت نشان داده شده است. لازم به ذکر است که به منظور مقایسه عادلانه‌تر در روش‌های بازگشتی RMSHE و RSIHE هیستوگرام اصلی به چهار زیرهیستوگرام تقسیم شده است.



شکل ۲: تصویر منظره طبیعت با هیستوگرام متمرکز شده در محدوده تاریک



شکل ۳: تصویر هواپیما با هیستوگرام متمرکز شده در میانه با عرض باریک

۲-۲- ارزیابی عملکرد بر اساس کیفیت بصری

تشخیص می‌باشد. در شکل ۶، هیستوگرام تصویر تا حد زیادی به سمت راست متمرکز شده که نشان از اشباع شدت در تصویر منظره طبیعت است. همچنین در سمت چپ هیستوگرام نیز فاصله‌های زیادی بین سطوح مختلف شدت ایجاد شده است که باعث از بین رفتن جزئیات تصویر می‌شود.

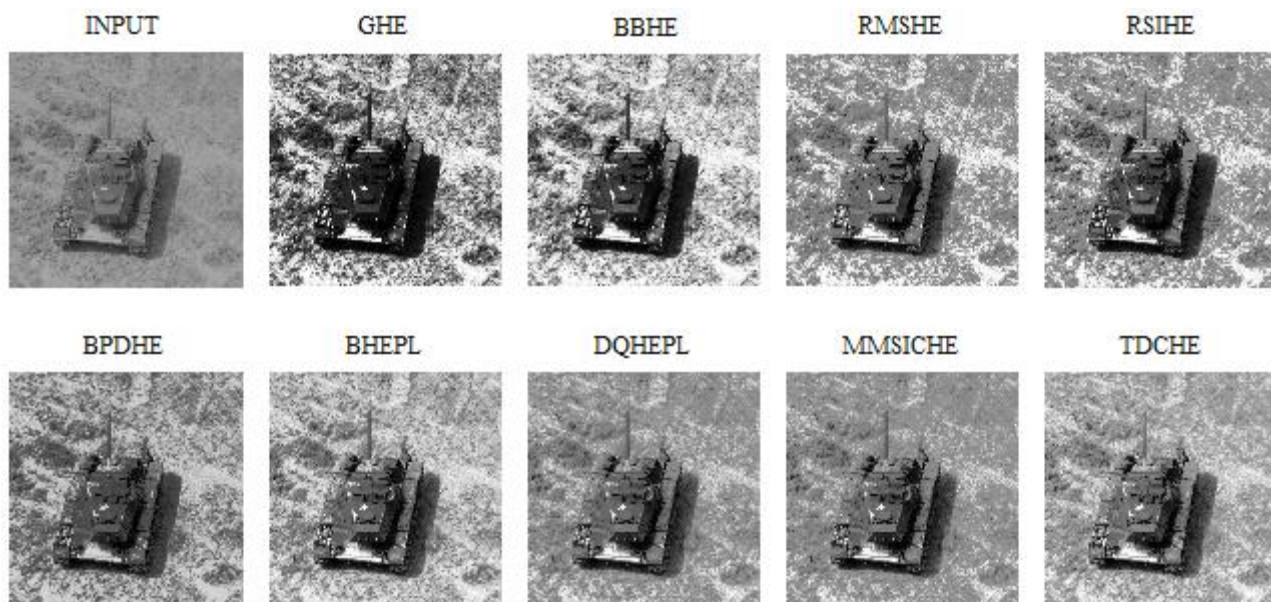
در روش‌های BBHE، RMSHE و RSIHE کنتراست تصویر تا حدی بهبود یافته است. ولی عدم ارتقا قابل توجه در بعضی نواحی باعث از دست رفتن جزئیات در تصاویر می‌شود. به طوری که بسیاری از اشیاء مانند بدنه هواپیما در روش‌های BBHE و RSIHE و کوه‌ها در تصویر جاده در هر سه روش به وضوح قابل مشاهده نیست. در مقابل در برخی قسمت‌ها به دلیل ارتقا بیش از حد مانند، پس زمینه تصاویر منظره طبیعت، تانک و

علاوه بر ارزیابی کمی با استفاده از محتوای اطلاعات متوسط، ارزیابی کیفی از ارتقا کنتراست یک بخش ضروری است. هدف از ارزیابی کیفی این است که اثرات مصنوعات آزردهنده، ارتقا بیش از حد و ظاهر طبیعی در تصاویر ارتقایافته مورد بحث و داوری قرار گیرد. بنابراین با استفاده از نتایج ارزیابی بصری، عملکرد روش‌های مختلف ارتقا کنتراست بر اساس معیارهای کیفی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل مشاهدات بصری با استفاده از شکل‌های ۶-۲ نشان می‌دهد که روش GHE با وجود موفقیت نسبی در زمینه ارتقا کنتراست به دلیل تغییر ناگهانی در مقادیر شدت، تمایل زیادی به ایجاد اشباع شدت و تقویت نویز در تصویر خروجی دارد. به طوری که شی اصلی در تصاویر ۳ و ۴ که تصاویر هواپیما و تانک است به صورت تیره و غیر قابل

دارد و به طور موفقیت آمیز در سراسر محدوده سطوح شدت گسترش پیدا نکرده است. از دلایل عمده آن، عدم انجام فرآیند نگاشت در زیرهیستوگرامها است که باعث می شود هر زیرهیستوگرام بیش تر از محدوده مشخص شده برای آن، فرآیند تعدیل و گسترش هیستوگرام را انجام ندهد.

جاده به وضوح پدیده اشباع شدت و افزایش غیرطبیعی قابل مشاهده است. از نتایج تجربی به دست آمده برای این روشها می توان به این نکته اشاره کرد که تنها حفظ میانگین روشنایی بدون در نظر گرفتن تاکید بر حفظ جزئیات به طور قابل توجهی در این روشها در نظر گرفته شده است. در شکل ۶، هیستوگرام هر سه روش بیش تر در سمت چپ قرار



شکل ۴: تصویر تانک با هیستوگرام متمرکز شده در میانه با عرض وسیع

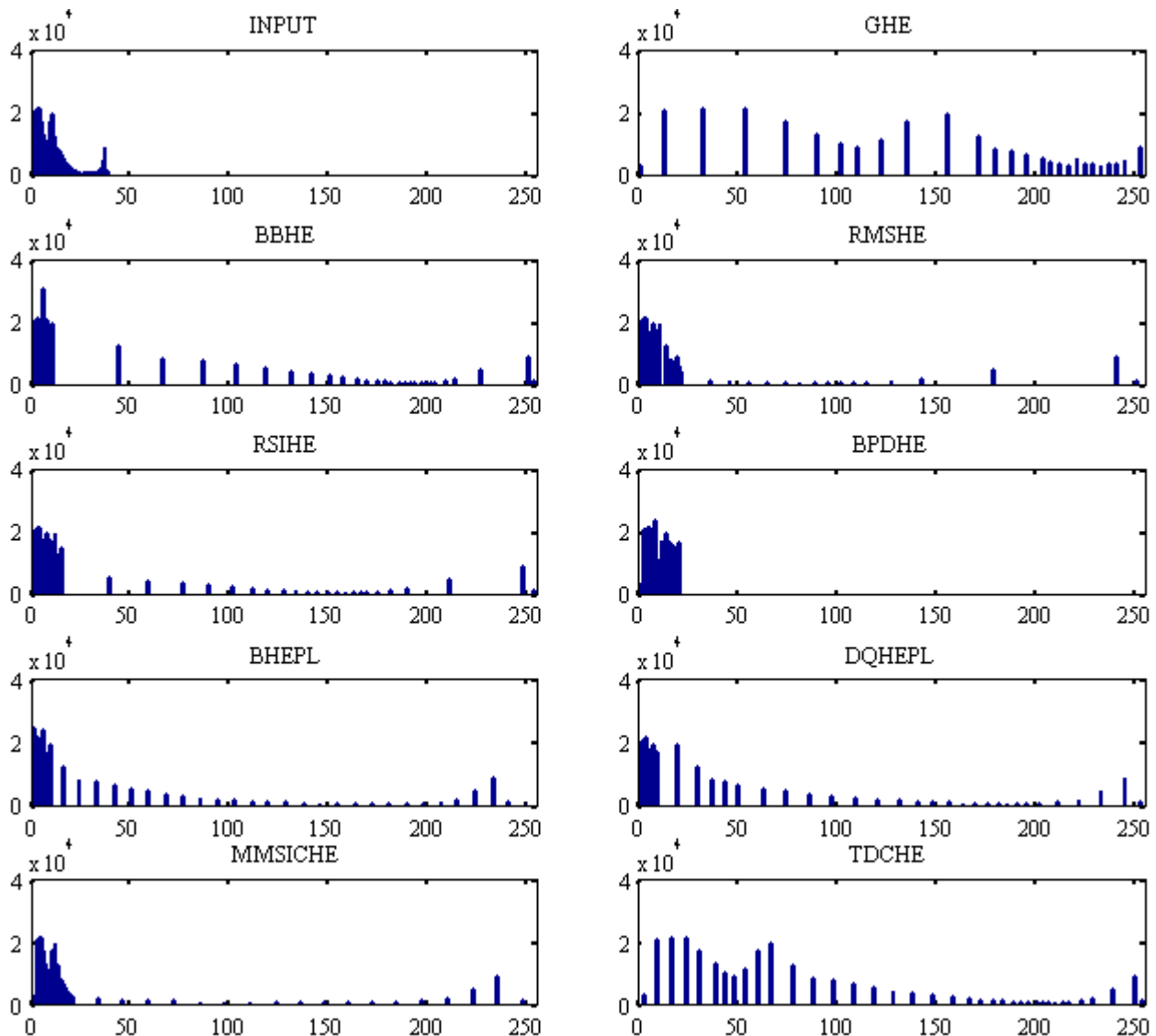


شکل ۵: تصویر جاده با هیستوگرام متمرکز شده در محدوده روشن

نرمالیزه کم باعث عدم گسترش کامل هیستوگرام شده و به‌طور کامل در سمت چپ قرار گرفته است.

در روش‌های BHEPL، DQHEPL و MMSICHE با وجود دارا بودن میانگین آنتروپی نسبتاً بالا، در پس زمینه تصاویر منظره طبیعت و جاده به وضوح پدیده اشباع شدت و افزایش غیرطبیعی قابل مشاهده است. چون در بعضی قسمت‌ها ارتقا قابل توجهی صورت نمی‌پذیرد و باعث از دست رفتن جزئیات و یا اشباع شدت می‌شود.

همان‌طور که قبلاً گفته شد در روش BPDHE نسبت نرمالیزه کردن روشنایی، نقش مهمی در تصویر خروجی دارد. در شکل ۲، نسبت کم باعث ایجاد ارتقا کنتراست ناچیز و در شکل ۵ نیز نسبت ارتقا بزرگ‌تر از یک، باعث تجاوز شدت پیکسل‌هایی از حداکثر شدت محدوده پویا خروجی شده و مشکل اشباع شدت ایجاد کرده است. در شکل‌های ۳ و ۴ نیز، عدم کنترل نسبت ارتقا، باعث از بین رفتن جزئیات پس‌زمینه تصویر تانک و تصویر بدنه هواپیما شده است. در شکل ۶ نیز، نسبت



شکل ۶: هیستوگرام تصویر منظره طبیعت

با مشاهده شکل‌های ۵-۲ در می‌یابیم که روش پیشنهادی TDCHE بهترین عملکرد را در مقایسه با روش‌های دیگر دارد. در همه تصاویر با حفظ روشنایی معقول و ایجاد ارتقا طبیعی، کنتراست تصویر به‌طور موفقیت‌آمیزی افزایش پیدا کرده است. در شکل‌های ۳ و ۴، تصاویر هواپیما و تانک با حفظ جزئیات به‌طور واضح قابل مشاهده است. همچنین در پس‌زمینه تصاویر منظره طبیعت، تانک و جاده اثری از

از دلایل آن می‌توان به عدم انجام فرآیند نگاهت در روش‌های BHEPL و MMSICHE و حفظ نقطه جداسازی دوم در روش DQHEPL اشاره کرد. در شکل‌های ۳ و ۴ این روش‌ها ارتقا کنتراست خوبی مشاهده می‌شود و شی اصلی واضح است. در شکل ۶، هیستوگرام هر سه روش با وجود گسترش در سراسر محدوده سطوح شدت ولی بیش‌تر تمایل به سمت چپ دارد.

مراجع

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2008.
- [2] H. Demirel, C. Ozcinar and G. Anbarjafari, "Satellite image contrast enhancement using discrete wavelet transform and singular value decomposition," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letter*, vol. 7, no. 2, pp. 333-337, 2010.
- [3] T. Kim and J. Paik, "Adaptive contrast enhancement using gain-controllable clipped histogram equalization," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 54, no. 4, pp. 1803-1810, 2008.
- [4] Y. T. Kim, "Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 43, no. 1, pp. 1-8, 1997.
- [5] Y. Wan, Q. Chen and B.M. Zhang, "Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 45, no. 1, pp. 68-75, 1999.
- [6] S.D. Chen and R.A. Ramli, "Minimum mean brightness error Bi-histogram equalization in contrast enhancement," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 1310-1319, 2003.
- [7] S.D. Chen and A.R. Ramli, "Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 1301-1309, 2003.
- [8] K. S. Sim, C. P. Tso and Y. Y. Tan, "Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images," *Elsevier Pattern Recognition Letters*, vol. 28, no. 10, pp. 1209-1221, 2007.
- [9] M. Kim and M.G. Chung, "Recursively separated and weighted histogram equalization for brightness preservation and contrast enhancement," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 54, no. 3, pp. 1389-1397, 2008.
- [10] K. Wongsritong, K. Kittayarasirawat, F. Cheevasuvit, K. Dejhan and A. Somboonkaew, "Contrast enhancement using multi-peak histogram equalization with brightness preserving," *IEEE Asia-Pacific Conference on Circuit and Systems*, pp. 455-458, 1998.
- [11] M.A. Al-Wadud, Md.H. Kabir, M.A.A. Dewan and O. Chae, "A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 53, no. 2, pp. 593-600, 2007.
- [12] H. Ibrahim and N.S.P. Kong, "Brightness preserving dynamic histogram equalization for image contrast enhancement," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 53, no. 4, pp. 1752-1758, 2007.
- [13] D. Sheet, H. Garud, A. Suveer, M. Mahadevappa and J. Chatterjee, "Brightness pre-serving dynamic fuzzy histogram equalization," *IEEE Transactions. Consumer Electronics*, vol. 56, no. 4, pp. 2475-2480, 2010.
- [14] C.H. Ooi, N.S.P. Kong and H. Ibrahim, "Bi-histogram with a plateau limit for digital image enhancement," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 55, no. 4, pp. 2072-2080, 2009.
- [15] C.H. Ooi and N.A.M. Isa, "Quadrants dynamic histogram equalization for contrast enhancement," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 56, no. 4, pp. 2552-2559, 2010.
- [16] C.H. Ooi and N.A.M. Isa, "Adaptive contrast enhancement methods with brightness preserving," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 56, no. 4, pp. 2543-2551, 2010.
- [17] K. Singh and R. Kapoor, "Image enhancement via median-mean based sub-image-clipped histogram equalization," *Elsevier Optik*, vol. 125, pp. 4646-4651, 2014.
- [18] K. Singh and R. Kapoor, "Image enhancement using exposure based sub image histogram equalization," *Elsevier Pattern Recognition Letters*, vol. 36, pp. 10-14, 2014.
- [19] K. Singh, R. Kapoor and S.K. Sinha, "Enhancement of low exposure images via recursive histogram equalization algorithms," *Elsevier Optik*, vol. 126, pp. 2619-2625, 2015.
- [20] C. Wang and Z. Ye, "Brightness preserving histogram equalization with maximum entropy: A variational perspective," *IEEE Transactions Consumer Electronics*, vol. 51, no. 4, pp. 1326-1334, 2005.

اشباع شدت و افزایش غیرطبیعی مشاهده نمی‌شود. در شکل ۶ نیز هیستوگرام به‌طور موفقیت‌آمیز در سراسر محدوده سطوح شدت گسترش پیدا کرده است. بنابراین کنترل نسبت ارتقا و حفظ جزئیات در همه سطوح قابل مشاهده است.

۳-۳- خلاصه‌ای از ارزیابی و بحث

در طی مراحل پیاده‌سازی روش پیشنهادی TDCHE هر قسمت برای رسیدن به اهداف چندگانه نقش مهمی را ایفا می‌کند. (۱) تقسیم هیستوگرام تصویر ورودی به سه قسمت با تعداد پیکسل برابر نقش مهمی در بیشینه آنتروپی، حفظ روشنایی معقول و ارتقا طبیعی ایجاد می‌کند. (۲) قطع هر زیرهیستوگرام با استفاده از میانگین شدت‌های رخ داده‌شده از اشباع شدت و ارتقا بیش از حد در تصویر جلوگیری می‌کند و باعث کنترل نسبت ارتقا می‌شود. (۳) انجام فرآیند نگاشت در هر زیرهیستوگرام، هم‌زمان با حفظ روشنایی معقول و حفظ جزئیات در تمام سطوح، منجر به ایجاد ارتقا طبیعی در تصویر خروجی می‌شود. بنابراین ترکیبی از هر سه فرآیند در نهایت منجر می‌شود روش پیشنهادی TDCHE با توجه به داشتن بالاترین آنتروپی، بهترین روش برای استخراج محتوای اطلاعات در تصویر می‌باشد. همچنین با تولید تصاویر ارتقایافته واضح با حفظ حداکثر جزئیات و به دور از پدیده‌هایی غیرطبیعی مانند اشباع شدت و تقویت نویز منجر به ارتقا طبیعی در تصویر خروجی می‌شود.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش قدرتمند بنام تعدیل هیستوگرام قطع‌شده پویای سه‌تایی برای رسیدن به اهداف چندگانه پیشنهاد شد. تقسیم هیستوگرام به سه قسمت با تعداد پیکسل برابر نقش مهمی در بیشینه آنتروپی و حفظ روشنایی معقول ایفا می‌کند. برای کنترل نسبت ارتقا از فرآیند قطع در هر زیرهیستوگرام استفاده شده است. همچنین انجام فرآیند نگاشت با وجود تعداد پیکسل تقریباً برابر، منجر به حفظ روشنایی معقول و حفظ جزئیات در تمام سطوح می‌شود.

در اکثر مقالات منتشرشده مشابه، از تصاویر با تعدد روشنایی کمتر استفاده می‌شود. اما 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 TDCHE، با توجه به آنتروپی بالا، بهترین روش برای استخراج محتوای اطلاعات در تصویر می‌باشد. همچنین نتایج ارزیابی کیفیت بصری، نشان از برتری قابل‌ملاحظه روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های پیشین ارائه‌شده بر پایه تعدیل هیستوگرام دارد. در همه تصاویر ضمن گسترش هیستوگرام در سراسر محدوده سطوح شدت، منجر به ارتقا کنتراست تصویر به‌طور موفقیت‌آمیز می‌شود. به‌طوری‌که تصویری واضح با حفظ حداکثر جزئیات و ارتقا طبیعی در تصویر خروجی ایجاد می‌کند که از آثار مصنوعی آزاردهنده مانند اشباع شدت و تقویت نویز به دور است.

استراتژی یادگیری ممتیک، «مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۵، شماره ۴، صفحه ۶۷-۵۱، ۱۳۹۴.

[21] S.D. Chen, "A new image quality measure for assessment of histogram equalization-based contrast enhancement," *Elsevier Digital Signal Processing*, vol. 22, pp. 640-647, 2012.

[۲۲] مرتضی به نام و حسین پورقاسم، «شناسایی صرع بر اساس بهینه‌سازی ویژگی‌های ادغامی تبدیل هارتلی با مدل ترکیبی GA و MLP همراه با

زیر نویس‌ها

¹³ Dynamic Quadrants Histogram Equalization Plateau Limit (DQHEPL)

¹⁴ Bi-Histogram Equalization Median Plateau Limit (BHEPL-D)

¹⁵ Median-Mean based Sub-Image-Clipped Histogram Equalization (MMSICHE)

¹⁶ Exposure based Sub Image Histogram Equalization (ESIHE)

¹⁷ Recursive Exposure based Sub Image Histogram Equalization (R-ESIHE)

¹⁸ Recursively Separated Exposure based Sub Image Histogram Equalization (RS-ESIHE)

¹⁹ Triple Dynamic Clipped Histogram Equalization (TDCHE)

²⁰ Cumulative Density Function (CDF)

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 Recursive Sub-Image Histogram Equalization (RSIHE)

⁷ Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization (RSWHE)

⁸ Multi-Peak Histogram Equalization with Brightness Preserving (MPHEBP)

⁹ Dynamic Histogram Equalization (DHE)

¹⁰ Brightness Preserving Dynamic Histogram Equalization (BPDHE)

¹¹ Bi-Histogram Equalization with a Plateau Limit (BHEPL)

¹² Quadrants Dynamic Histogram Equalization (QDHE)