

کاهش مات‌شدگی تصاویر دیجیتال با استفاده از نسخه بهبودیافته فیلتر هدایت‌شده مبتنی بر تغییرات کلی

اسما رحیمی^۱ و محمدمین شایگان^{۲*}

چکیده

امروزه حجم زیادی از تصاویر، توسط دوربین‌های دیجیتال تولید می‌شوند. لیکن عواملی همچون ضعف در طراحی لنز دوربین‌ها، منجر به ایجاد نویز در تصاویر می‌شود. روش‌های بهبود تصویر، ویژگی‌هایی از تصویر مانند لبه‌ها و مرزها را تیز می‌نمایند. لیکن تیزسازی لبه‌ها، خود منجر به افزایش نویز و ایجاد آثار تصنعی در تصاویر می‌شود. لذا استفاده از تکنیک‌های تیزسازی باید به صورت کنترل‌شده بوده و تا حدی انجام گیرد که جزئیات تصویر حفظ و نویز موجود در تصویر زیاد تقویت نشود.

در این مقاله، روشی جدید جهت کاهش مات‌شدگی تصاویر دیجیتال ارائه شده است. روش پیشنهادی ترکیبی از فیلتر تغییرات کلی نسبی و فیلتر هدایت‌نورد در فضای رنگی HSV است. در روش پیشنهادی، نخست توسط فیلتر تغییرات کلی نسبی، ساختار تصویر استخراج و سپس توسط فیلتر هدایت‌نورد، بازیابی لبه‌ها انجام می‌شود. سپس با تفریق تصویر کانال روشنایی از تصویر حاصل از اعمال فیلتر هدایت‌نورد، جزئیات و لبه‌های اصلی تصویر استخراج می‌شوند. در یک روند تکرارپذیر و براساس میزان وضوح تصویر، جزئیات استخراج شده به کانال روشنایی افزوده می‌شود. در این روش، شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر به یک نسبت تغییر نمی‌کنند که این امر از ایجاد تحریف‌های رنگی و افزایش نویز جلوگیری می‌کند. روش پیشنهادی بر روی تصاویر حاوی تحریف‌های رنگی و تاری آزمایش شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که این روش جهت کاهش تاری ۴۷٪، جهت کنترل نویز ۸۵٪ و جهت حفظ طبیعی بودن تصاویر ۸۳٪ موثرتر از دیگر روش‌های مورد مقایسه عمل کرده است.

کلیدواژه‌ها

بهبود تصویر، تیز نمودن تصویر، مات‌شدگی تصاویر، فیلتر هدایت‌شده.

هوایی، میکروسکوپی و حتی تصاویر معمولی، دارای تفاوت‌هایی در نور و روشنایی، شدت رنگ و همچنین نویزهایی هستند که تشخیص تصاویر را با مشکلاتی روبرو می‌کند [۱] و [۲]. روشهای بهبود تصویر از لحاظ عملیاتی به دو دسته روشهای حوزه مکان و روشهای حوزه فرکانس دسته‌بندی می‌شوند.

اصطلاح حوزه مکان به صفحه تصویر اشاره دارد و روش‌های بهبود تصویر این حوزه، مستقیماً با پیکسل‌های تصویر سروکار دارند. تبدیل‌های شدت روشنایی و فیلترگذاری مکانی در دسته اصلی پردازش‌های مکانی قرار دارند. تبدیل‌های شدت روشنایی بر روی پیکسل‌های تکی تصویر عمل می‌کنند و معمولاً کاربرد آنها کنترل کنتراست و آستانه‌گذاری تصویر است. سه نوع تابع مرسوم

۱ مقدمه

بهبود تصویر، یکی از موضوع‌های محوری پردازش تصاویر دیجیتال می‌باشد. تصاویر مختلف همچون تصاویر ماهواره‌ای، پزشکی،

این مقاله در اسفندماه ۱۳۹۶ دریافت، در دی‌ماه ۱۳۹۷ بازنگری و در اسفندماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

رایانامه: edu.asma.rahimi@gmail.com

^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

رایانامه: shayegan@iaushiraz.ac.ir

حد افزایش می‌دهند که مصنوعی شدن تصاویر را به دنبال خواهد داشت.

برخی الگوریتم‌های بهبود تصاویر همانند ماسک تیزسازی^۱ (USM) و فیلتر هدایت‌شده^۲ (GF)، مقادیر شدت روشنایی اکثر پیکسل‌های تصویر را تغییر داده و منجر به ایجاد آثار نامطلوب و تصنعی در تصویر می‌شوند [۹] و [۱۰]. همچنین، افزایش کنتراست به صورت سراسری همانند الگوریتم متعادل‌سازی هیستوگرام^۳ (HE)، باعث از بین رفتن برخی اطلاعات تصویر از جمله رنگ و جزئیات تصویر شده [۱۱] و افزایش کنتراست به صورت محلی همچون متعادل‌سازی هیستوگرام توسط کنتراست تطبیقی محدود شده^۴ (CLAHE) و متعادل‌سازی هیستوگرام جداگانه در محدوده پویا^۵ (DRSHE) نیز پیچیدگی محاسباتی را کاهش می‌دهد [۱۲] و [۱۳]. از طرف دیگر، تکرار زیاد عمل تیز نمودن تصویر، زمان اجرای الگوریتم را افزایش و نویزهای موجود در تصاویر را نیز تقویت می‌کند. بنابراین، نیاز به افزایش کیفیت تصاویر تا حدی که جزئیات و طبیعی بودن تصاویر حفظ شود و در عین حال نویز در تصاویر زیاد تقویت نشود، ضروری می‌باشد. با توجه به آنکه هدف نهایی سیستم‌های بهبود تصاویر، افزایش وضوح و تیزی، همزمان با جلوگیری از افزایش بیش از حد نویز در تصاویر می‌باشد [۱۴] لذا در این مقاله، روش جدیدی به منظور نیل به این اهداف پیشنهاد می‌گردد.

بخش‌های جدید این مقاله عبارت است از: ۱- عدم بهبود پیکسل‌های تصویر به یک نسبت که منجر به نمایش بهتر جزئیات تصویر و جلوگیری از تحریف‌های رنگی و افزایش نویز می‌شود. ۲- همزمان با کنترل نویز موجود در تصاویر، وضوح و طبیعی بودن تصاویر دیجیتال نیز حفظ می‌شود.

بخش‌های آتی این مقاله به شرح زیر می‌باشند. بخش دوم، به بیان مبانی نظری و سوابق تحقیق در این حوزه پرداخته و تعدادی از روش‌های موثر به کار گرفته شده برای کاهش مات‌شدگی تصاویر دیجیتال را بیان می‌نماید. بخش سوم، روش پیشنهادی، مواد و مراحل اجرای آن را معرفی می‌کند. در بخش چهارم آزمایش‌ها و نتایج حاصل معرفی شده و نهایتاً بخش پنجم نتایج بدست آمده را با سایر روش‌های کاهش مات‌شدگی تصاویر مقایسه می‌کند.

جهت بهسازی تصویر عبارتند از: تبدیل‌های منفی، تبدیل‌های لگاریتمی، تبدیل‌های قانون توان [۲].

تبدیل‌های منفی، معکوس سازی سطوح روشنایی را به همراه دارد و جهت بهبود جزئیات خاکستری در نواحی تاریک تصویر مناسب است. در تبدیل‌های لگاریتمی، مقادیر پیکسل‌های تاریک تصویر گسترش یافته و به طور همزمان مقادیر پیکسل‌های روشن، فشرده می‌شوند. تبدیل‌های قانون توان نیز عملیاتی غیرخطی می‌باشد که جهت بهبود تصویر، روشنایی، درخشندگی و کنتراست را کنترل می‌کنند. زمانی که توان افزایش یابد، بسیاری از مقادیر پیکسل‌ها به نواحی تیره نگاشت شده و زمانی که کاهش یابد، مقادیر بیشتری از پیکسل‌ها به نواحی روشن نگاشت می‌شوند و تصویر روشنتر می‌شود. یکی از مزایای این تبدیل این است که نقاط سیاه و سفید مطلق تغییری نمی‌کند. فیلترگذاری مکانی با انجام اعمالی همچون تیزسازی تصویر از طریق اعمال شدن فیلتر بر منطقه همسایگی هر پیکسل تصویر سر و کار دارد.

در حوزه فرکانس، تصویر به صورت انرژی در نظر گرفته شده و عملیات بر روی طیف سیگنال اعمال می‌گردد. در این حوزه نیز فیلترها به دو دسته فیلترهای هموارساز و فیلترهای تیزساز تقسیم می‌شوند. هموارسازی با استفاده از فیلتر پایین‌گذر و حذف و تضعیف پیکسل‌های فرکانس بالا و تیزسازی با استفاده از فیلتر بالاگذر و حذف پیکسل‌های فرکانس پایین تصویر، موجب استخراج جزئیات بیشتری در تصویر می‌شود. بنابراین فیلترهای بالاگذر، تصاویر را تیز نموده و کیفیت بصری آن‌ها را افزایش می‌دهند.

برای بهبود تصاویر دیجیتالی، تکنیک‌های بسیاری به منظور تیزسازی و حذف نویز معرفی شده‌اند. هدف از تیزسازی، بهبود شیب و دامنه لبه‌ها، بدون ایجاد آثار تصنعی بوده و هدف حذف نویز، کاهش نویز همزمان با حفظ لبه‌ها می‌باشد [۳]. بسیاری از تکنیک‌های معرفی شده برای دستیابی به هر کدام از دو هدف فوق، به صورت مستقل توسعه یافته‌اند. با این حال، دستیابی به هر دو هدف به صورت همزمان، هنوز به عنوان یک چالش مهم در این حوزه شناخته می‌شود [۴].

یکی دیگر از اهداف مهم بهبود تصاویر، افزایش میزان تیزی تصاویر تا حدی که جزئیات حفظ شده و به طور همزمان نویز در تصویر زیاد تقویت نشود، است [۵] و [۶]. لنزها و سنسورهای دوربین‌های دیجیتال نیز، برای از بین بردن نویز ایجاد شده در تصاویر، فیلترهای تارکننده را روی تصاویر اعمال می‌کنند. در نتیجه باید از روش‌های تیز نمودن، جهت افزایش جزئیات تصاویر استفاده شود [۷]. فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر دو روش اساسی برای بهبود کیفیت تصاویر هستند [۸]. مزیت فیلترهای پایین‌گذر، تضعیف نویز است. لیکن تار شدن تصویر یکی از مشکلات این فیلترها می‌باشد. مزیت فیلترهای بالاگذر، تیز نمودن مرزهای بین مناطق یکنواخت است، اما این فیلترهای خطی، سیستم‌ها را نسبت به نویز حساس کرده و معمولاً کنتراست تصویر را بیش از

¹Unsharp mask (USM)

² Guided Filter (GF)

³Histogram Equalization

⁴ Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

⁵ Dynamic Range Separate Histogram Equalization (DRSHE)

۲ پیش زمینه

۲-۱ مبانی نظری

۲-۱-۱ وضوح و تیزی تصویر

تیز نمودن تصویر، عاملی قدرتمند جهت افزایش تمرکز ناظر بر جزئیات تصویر می باشد. اگر تیزی تصویر کم شود، تصویر محو شده و برخی جزئیات آن از بین می رود و اگر تیزی یک تصویر بیش از حد زیاد شود در کنار لبه های تصویر، روشنایی غیر عادی دیده می شود [۱۵]. به عنوان مثال، ضعف در طراحی لنزهای دوربین های عکسبرداری، منجر به ایجاد تصاویر دارای نویز می شود. برای رفع نویز ایجاد شده، دوربین ها تا حد زیادی تصویر دریافتی را تار و بدین ترتیب موجب کاهش جزئیات تصویر می شوند [۱۶].

گاهی اوقات فرآیند تیز سازی، ظاهر یک تصویر را بیش از حد بهبود می دهد. ادراک انسان به لبه ها و جزئیات یک تصویر بسیار حساس است. از آنجا که لبه های موجود در تصاویر عموماً متناظر با فرکانس های بالای تصویر هستند، لذا با تخریب و یا حذف این فرکانس ها، کیفیت بصری تصویر نیز کاهش می یابد. در مقابل، بهبود مولفه های فرکانس بالای یک تصویر، منجر به بهبود کیفیت بصری آن تصویر و همچنین افزایش نویز موجود در تصویر نیز می شود [۷].

۲-۱-۲ فیلتر دو طرفه^۱

فیلتر دو طرفه، یک فیلتر غیرخطی در حوزه مکان است که برای حفظ لبه های تصویر استفاده می شود. این فیلتر علاوه بر هموارسازی مناطق هموار، لبه های تیز تصویر را نیز حفظ می کند [۱۷]. مقدار هر پیکسل تصویر خروجی، به صورت میانگین وزنی از همسایه های آن پیکسل در دو حالت فاصله مکانی و شباهت فتومتریک محاسبه می شود. این فیلتر با اختصاص دادن وزن بزرگتر به پیکسل هایی که از نظر مکانی به هم نزدیک و از نظر شدت روشنایی به هم شبیه هستند، مانع از تار شدن همه لبه های تصویر می شود. اگر چه این فیلتر لبه ها را در موارد زیادی حفظ می کند و مانع از تقویت نویز در تصاویر می شود، لیکن می تواند گرادیانت شدت روشنایی نزدیک لبه های تیز را معکوس کند. به عبارت دیگر زمانی که یک پیکسل تنها چند پیکسل مشابه در همسایگی خود داشته باشد، میانگین وزنی ناپایدار خواهد شد و در نتیجه رنگ های نزدیک لبه تخریب خواهند شد.

۲-۱-۳ فیلتر هدایت شده

فیلتر کردن یک تصویر ممکن است با استفاده از محتویات تصویر دومی با نام تصویر هدایت شده، انجام شود. تصویر هدایت شده می تواند تصویر ورودی، نسخه ای از تصویر ورودی یا یک تصویر

کاملاً متفاوت با تصویر ورودی باشد. فیلتر هدایت شده در هنگام محاسبه مقدار پیکسل خروجی، آمار متناظر یک منطقه از همسایگی آن پیکسل در تصویر هدایت شده را محاسبه می کند. به عبارت دیگر، با توجه به محتوای تصویر هدایت شده، تصویر بهبود یافته خروجی، تولید می شود [۱۸]. فیلتر هدایت شده، همانند فیلتر دو طرفه، هموارسازی مناطق هموار را همزمان با حفظ لبه ها انجام می دهد. اما این فیلتر عملکرد بهتری در نزدیکی لبه ها داشته و مصنوعات گرادیانت معکوس ایجاد نمی کند.

فرضیه اصلی فیلتر هدایت شده این است که یک مدل خطی محلی بین تصویر هدایت شده G و تصویر فیلتر شده \hat{I} ایجاد شود. تصویر \hat{I} یک تبدیل خطی در یک پنجره W_k به مرکزیت پیکسل k از تصویر G است و به صورت رابطه ۱ تعریف می شود.

$$\hat{I}_p = a_k G_p + b_k \quad \forall p \in W_k \quad (1)$$

\hat{I}_p : پیکسل P تصویر خروجی

G_p : پیکسل P تصویر هدایت شده

W_k : پنجره ای از پیکسل ها به مرکزیت پیکسل K

a_k, b_k : ضرایب خطی ثابت در پنجره W_k

ضرایب (a_k, b_k) به گونه ای تعیین می شوند که تابع هزینه در W_k به حداقل می رسد. مقادیر این ضرایب، با استفاده از رگرسیون خطی به صورت رابطه ۲ محاسبه می شوند.

$$a_k = \frac{1}{|W|} \frac{\sum_{p \in W_k} G_p I_p - \bar{G}_k \bar{I}_k}{\sigma_k^2 + \epsilon} \quad (2)$$

$$b_k = \bar{I}_k - a_k \bar{G}_k$$

I_p : پیکسل p تصویر ورودی

\bar{G}_k : میانگین پیکسل های تصویر هدایت شده (G) در پنجره W_k

\bar{I}_k : میانگین پیکسل های تصویر اصلی (I) در پنجره W_k

$|W|$: تعداد پیکسل ها در پنجره W_k

σ_k^2 : واریانس تصویر G در پنجره W_k

ϵ : پارامتر هموارسازی

در رابطه ۲، پارامتر هموارسازی ϵ قابل تنظیم است و از زیاد بزرگ شدن a_k جلوگیری می کند.

این مدل خطی برای همه پنجره های محلی در کل تصویر اعمال می شود. اگر چه پیکسل p در همه پنجره های W_k که شامل p است درگیر می شود، ولی مقدار \hat{I}_p در پنجره های مختلف، یکسان نخواهد بود. در این صورت با محاسبه میانگین همه مقادیر \hat{I}_p ، مقدار نهایی \hat{I}_p مشخص می شود. بنابراین، بعد از محاسبه (a_k, b_k) برای همه پنجره های W_k در تصویر، خروجی فیلتر شده به صورت معادله ۳ محاسبه می شود.

¹ Bilateral Filter (BF)

۲-۱-۵ روش تغییرات کلی نسبی^۳

RTV، سیستمی جهت جداسازی بافت و ساختار یک تصویر از یکدیگر است. در این روش، پنجره ای به مرکزیت پیکسل P روی تصویر تعریف و در راستای محور x و y، تغییرات کلی (TotalVariation) پیکسل ها، مطابق رابطه ۵، اندازه گیری می شوند [۲۰].

$$D_x(p) = \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot |(\partial_x S)_q|, \quad (5)$$

$$D_y(p) = \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot |(\partial_y S)_q|.$$

q : پیکسلی متعلق به پنجره R(p)
S : تصویر ساختار
R(p) : پنجره ای به مرکزیت پیکسل p
 ∂_x, ∂_y : مشتقات جزئی در جهت x و y

$g_{p,q}$ نیز یک تابع وزنی است که براساس وابستگی مکانی (ماسک فاصله) به صورت رابطه ۶ بیان می شود.

$$g_{p,q} \propto \exp\left(-\frac{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

σ : مقیاس مکانی پنجره را کنترل می کند

نتایج ارزیابی ها نشان می دهد که پیکسل های ساختار و جزئیات در یک تصویر با بافت های برجسته، مقدار D بزرگی دارند و نشان دهنده این امر هستند که تغییرات کلی (TV) در پنجره ها نسبت به برجستگی های ظاهری تصویر (مانند لبه ها) حساس هستند. جهت تشخیص ساختارهای بزرگ تصویر، متد RTV علاوه بر المان بافت تصویر، که مبتنی بر D می باشد، از تغییرات ذاتی در پنجره ی مد نظر استفاده می کند (رابطه ۷):

$$L_x(p) = \left| \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot (\partial_x S)_q \right| \quad (7)$$

$$L_y(p) = \left| \sum_{q \in R(p)} g_{p,q} \cdot (\partial_y S)_q \right|.$$

L : تغییرات مکانی کلی

در معادله ۷، مجموع ∂S به یکسان بودن جهت شیب ها در یک بلاک، بستگی دارد. زیرا ∂S برای یک پیکسل می تواند مثبت یا منفی باشد. نکته مهم در معادله ۷ این است که نتیجه L در یک پنجره، که فقط شامل بافت است، معمولاً از مقدار L پنجره ای که شامل ساختار لبه است، کوچکتر است.

$$\hat{I}_p = \frac{1}{|W|} \sum_{k: p \in W_k} (a_k G_p + b_k) = \bar{a}_p G_p + \bar{b}_p \quad (3)$$

$$\bar{a}_p = \frac{1}{|W|} \sum_{k \in W_p} a_k$$

$$\bar{b}_p = \frac{1}{|W|} \sum_{k \in W_p} b_k$$

میانگین مقادیر a_k, b_k برای همه پنجره های W_k : \bar{a}_p, \bar{b}_p

از آنجاکه (\bar{a}_p, \bar{b}_p) خروجی یک فیلتر میانگین هستند، گرادینت های آنها باید خیلی کوچکتر از لبه های موجود در G باشد. این بدین معنی است که تغییرات ناگهانی شدت روشنایی در تصویر G می تواند در تصویر I بیشتر حفظ شود. به طور کلی، فیلتر هدایت شده یکی از سریع ترین فیلتر های حفظ لبه، افزایش وضوح و بهبود جزئیات تصویر است. با این حال، این فیلتر نسبت به نویز حساس بوده و قادر به کنترل نویز تصویر نمی باشد.

۲-۱-۴ فیلتر هدایت نورد^۴

فیلتر هدایت نورد، یک فیلتر تکرار پذیر با استفاده از فیلتر دوطرفه مشترک^۱ (JBF) جهت بازیابی لبه های اصلی تصویر است [۱۹]. این فیلتر علاوه بر هموارسازی و حذف جزئیات کوچک، لبه های بزرگ تصویر را نیز حفظ می کند. در فیلتر RGF، مرحله حذف ساختارهای کوچک و بازیابی لبه، از یک تصویر با مقادیر شدت روشنایی ثابت شروع می شود. در این فیلتر، تصویر G^{t+1} حاصل t امین تکرار از فیلتر JBF بوده و از تصویر G^t مرحله قبلی، به عنوان تصویر هدایت شده استفاده می شود. رابطه ۴ فرمول عمومی فیلتر RGF را بیان می کند.

$$G_p^{t+1} = \frac{1}{K_p} \sum_{q \in \Omega} I_q \cdot f(\|p - q\|) \cdot g(\|G_p^t - G_q^t\|) \quad (4)$$

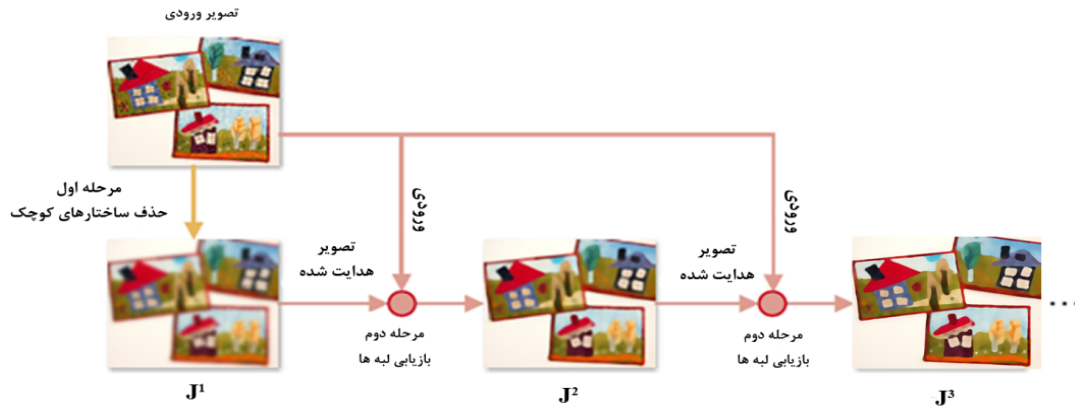
p, q : مختصات پیکسل شاخص تصویر
 G_p^{t+1} : مقدار پیکسل p، حاصل از t امین تکرار فیلتر JBF

در فیلتر RGF، ابتدا جزئیات کوچکتر، توسط فیلتر دوطرفه با کرنل گوسین حذف می شود. در حالیکه لبه های باقی مانده، توسط عملیات تکرارپذیر به روزرسانی تصویر هدایت شده، بازیابی می شوند. در ابتدای روند تکرار، مقدار $\|G_p^t - G_q^t\|$ تقریباً صفر است. بنابراین فیلتر دوطرفه مشترک، در ابتدا مانند یک فیلتر گاوسی عمل می کند و جزئیات حذف شده در این فیلتر، در طول روند روش بازیابی نمی شود. پس از هر مرحله تکرار، به تدریج تاثیر شباهت شدت روشنایی پیکسل ها، با توجه به افزایش وزن ها، افزایش می یابد. از این رو با هدایت تصویر ورودی I، طرح RGF به تدریج لبه های باقی مانده از فیلتر گاوسی اولیه را بازیابی می کند. تصویر ۱ روند کلی فیلتر RGF را نشان می دهد.

¹ Rolling Guidance Filter (RGF)

² Joint Bilateral Filter (JBF)

³ Relative Total Variation (RTV)



شکل ۱ روند کلی فیلتر [۱۹RGF].

معیارهای ارزیابی کیفیت مبتنی بر تصویر را با توجه به در دسترس بودن تصویر اصلی، می توان به سه دسته تقسیم کرد [۲۱] و [۲۲]: ۱- بررسی کیفیت تصاویر با داشتن تصویر مرجع^۴ (FR)؛ ۲- بررسی کیفیت تصاویر بدون داشتن تصویر مرجع^۵ (NR)؛ ۳- بررسی کیفیت تصویر با استفاده از یکسری ویژگی های تصویر مرجع^۶ (RR). برخی از معیارهای مهم و متداول ارزیابی کیفیت تصاویر عبارتند از:

الف) معیار ارزیابی نسبت سیگنال به نویز^۷

معیار PSNR، بیانگر نسبت انرژی سیگنال اصلی در برابر انرژی نویز موجود در سیگنال است و به صورت رابطه ۹ تعریف می شود [۲۳].

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{\sigma_{denoised}^2}{\sigma_{original}^2} \right) \quad (9)$$

$\sigma_{denoised}^2$: انحراف استاندارد سیگنال حذف نویز شده
 $\sigma_{original}^2$: انحراف استاندارد سیگنال اصلی

واضح است که هر چه این معیار بزرگتر باشد، نشان دهنده کمتر بودن نویز موجود در سیگنال نسبت به سیگنال اصلی می باشد.

ب) معیار شباهت ساختاری^۸

معیار SSIM کیفیت یک تصویر تحریف شده را با استفاده از مقایسه همبستگی آن با یک تصویر مرجع، در شدت روشنایی، کنتراست و ساختار، به صورت محلی و سپس میانگین گیری این مقادیر روی کل تصویر محاسبه می کند. در این روش، شدت

در روش RTV، مولفه های D و L برای تشکیل یک سیستم تنظیم کننده موثر بین ساختار و بافت تصویر، ترکیب می شوند (رابطه ۸). علاوه براین، در این روش، کنتراست بین بافت و ساختار تصویر، مخصوصاً در مناطق برجسته افزایش می یابد.

$$\arg \min_S \sum_p (S_p - I_p)^2 + \lambda \left(\frac{D_x(p)}{L_x(p) + \epsilon} + \frac{D_y(p)}{L_y(p) + \epsilon} \right) \quad (8)$$

$$: (S_p - I_p)^2$$

ساختارهای استخراج شده مشابه ساختارهای تصویر ورودی

وزن λ :

عدد مثبت کوچک و مانع از تقسیم کسر بر صفر: ϵ

ساختارهای بزرگ تصویر در جهت x و y : $L_x(p)$ ، $L_y(p)$

بافت تصویر در جهت x و y : $D_x(p)$ ، $D_y(p)$

$$(S_p - I_p)^2 \text{ ورودی را ایجاد می کند و اثر حذف بافت از یک}$$

تصویر، توسط تنظیم کننده جدید $\frac{D_x(p)}{L_x(p) + \epsilon} + \frac{D_y(p)}{L_y(p) + \epsilon}$ معرفی می شود که تغییرات کلی نسبی (RTV) نامیده می شود.

۲-۱-۶ ارزیابی کیفیت تصویر^۱

ارزیابی کیفیت تصاویر، معیاری برای مقایسه دو تصویر جهت بررسی میزان شباهت یا تفاوت و سنجش میزان بهینه بودن الگوریتم های پردازش تصویر می باشد. به طور کلی دو نوع ارزیابی مورد استفاده قرار می گیرند [۲۱]: ۱- ارزیابی مبتنی بر فرد^۲؛ ۲- ارزیابی مبتنی بر تصویر^۳. در ارزیابی مبتنی بر فرد، تصاویر توسط عامل انسانی مشاهده و ارزیابی از طریق ارزیابی ذهنی صورت می گیرد. در ارزیابی مبتنی بر تصویر، شاخص ها به گونه ای توسعه داده شده اند که کیفیت تصویر، به صورت خودکار درک و تشخیص داده شود.

⁴ Full Reference (FR)

⁵ No Reference (NR)

⁶ Reduced Reference (RR)

⁷ Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

⁸ Structural Similarity Index Measure (SSIM)

¹ Image Quality Assessment (IQM)

² Objective evaluation

³ Subjective evaluation

$$W_{JNB} = \begin{cases} 5. & \text{if } C \leq 50 \\ 3. & \text{if } C \geq 51 \end{cases} \quad (12)$$

W_{JNB} : پهنای تاری

سپس احتمال بازیابی لبه برای هر پیکسل لبه e_i با توجه به رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود.

$$P_{BLUR}(e_i) = 1 - \exp\left(-\left|\frac{w(e_i)}{w_{JNB}(e_i)}\right|^\beta\right) \quad (13)$$

e_i : پیکسل لبه

$w(e_i)$: پهنای لبه

$w_{JNB}(e_i)$: پهنای تاری پیکسل لبه

β پارامتری است که مقدارش با استفاده از حداقل مربع‌های اتصالات ارزش‌گذاری می‌شود. در نهایت، احتمال تجمعی تشخیص تاری توسط تابع چگالی احتمال P_{BLUR} به صورت رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود.

$$CPBD = P(P_{BLUR} \leq P_{JNB}) = \sum_{P_{BLUR}=0}^{P_{BLUR}=P_{JNB}} P(P_{BLUR}) \quad (14)$$

P_{BLUR} : تابع چگالی احتمال

مقدار CPBD در محدوده [۰، ۱] است و هر چه تاری تصویر کمتر باشد، مقدار CPBD افزایش می‌یابد. در این مقاله، برای درک بهتر مفهوم CPBD، نتیجه این معیار از عدد ۱ تفریق شده و برای بالا بردن مقیاس بندی در عدد ۱۰۰ نیز ضرب شده است. در نتیجه، هر چه وضوح تصویر بیشتر باشد (به عبارت دیگر تاری کمتر باشد)، معیار وضوح بیشتر خواهد بود. در این مقاله، معیار وضوح با حرف اختصار B (مخفف Blur) نامگذاری شده است که هر چه B به عدد ۱۰۰ نزدیک تر باشد، تصویر واضح تر خواهد بود. در نهایت میزان وضوح تصاویر در این مقاله با استفاده از معیار تاری CPBD به صورت رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود.

$$B = (1 - CPBD) \times 100 \quad (15)$$

۲-۲ مرور کارهای گذشته

یکی از متداول‌ترین روش‌های خطی جهت افزایش وضوح تصاویر، استفاده از ماسک تیزسازی (USM) می‌باشد. در روش تیزسازی USM، در مرحله اول یک نسخه محو شده از تصویر اصلی تولید و سپس با تفریق نسخه محو شده از تصویر اصلی، لبه‌های تصویر استخراج شده و در نهایت ماسک USM تولید می‌شود. در مرحله دوم با استفاده از ماسک USM، کنتراست تصویر در امتداد لبه‌ها افزایش می‌یابد [۹]. از آنجا که این متد جهت افزایش کیفیت تصاویر چندین بار تکرار می‌شود، باعث ایجاد مصنوعات و نویز در تصاویر می‌گردد. همچنین، ماسک USM، یک فیلتر بالاگذر خطی است، بنابراین جزئیات را به خوبی تیز نمی‌کند و نسبت به نویز حساس است. در برخی از روش‌ها به

روشنایی از طریق میانگین‌گیری روی بلوکی از پیکسل‌ها، کنتراست از طریق محاسبه ی واریانس و ساختار از طریق همبستگی بین بلوک‌هایی از تصویر مرجع و تصویر تحریف شده محاسبه می‌شود (رابطه ۱۰).

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (10)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}$$

$l(x, y)$: میزان شباهت شدت روشنایی دو تصویر

$c(x, y)$: مقایسه کنتراست دو تصویر

$s(x, y)$: همبستگی ساختاری دو تصویر

μ_x, μ_y : میانگین تصاویر x و y

σ_x^2, σ_y^2 : واریانس تصاویر x و y

σ_{xy} : کواریانس بین تصاویر x و y

$\alpha, \beta, \gamma > 0$: پارامترهای تنظیم نسبی مولفه‌ها

C_1, C_2, C_3 : مقادیر ثابت

مقادیر ثابت C_1, C_2, C_3 جهت پایدارسازی روش، در هنگام کوچک بودن مقادیر میانگین و واریانس، استفاده می‌شوند. فرم ساده شده و رایج معیار SSIM به صورت معادله ۱۱ می‌باشد.

$$\alpha = \beta = \gamma = 1, C_3 = C_2/2 \quad (11)$$

$$SSIM(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \cdot \frac{2\sigma_{xy} + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$

هر چه مقدار SSIM به عدد یک نزدیکتر باشد، شباهت دو تصویر به هم بیشتر خواهد بود [۲۴].

ج) معیار احتمال تجمعی تشخیص تاری^۱

CPBD یک معیار تخمین تاری تصویر، بدون در اختیار داشتن تصویر مرجع است که براساس درک و آگاهی انسان از تاری تصاویر برای مقادیر مختلف کنتراست استفاده می‌شود [۲۵]. معیار CPBD، ابتدا لبه‌های افقی تصویر را استخراج و سپس تصویر را به بلاک‌های 64×64 تقسیم می‌کند. بلاک‌ها براساس اطلاعات لبه، به دو دسته بلاک لبه و بلاک غیرلبه تقسیم می‌شوند. معیار دسته بندی بلاک‌های لبه به این صورت است که تعداد لبه‌های تشخیص داده شده در بلاک باید حداقل ۲٪ درصد از تعداد کل پیکسل‌ها در بلاک باشد. در بلاک لبه، برای هر پیکسل لبه e_i ، پهنای لبه محاسبه می‌شود. سپس $w_{JNB}(e_i)$ که شامل پهنای تاری‌های برجسته است توسط رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود. $w_{JNB}(e_i)$ به کنتراست محلی C در همسایگی لبه e_i بستگی دارد.

^۱ Cumulative Probability of Blur Detection (CPBD)

مشکل ذکر شده و افزایش کنتراست محلی تصویر، الگوریتم DRSHE را به صورت تطبیقی استفاده می کنند [۳۰]. در این روش تصویر به چندین بلاک تقسیم و روش DRSHE روی هر بلاک به صورت جداگانه اعمال می گردد. این متد در زمان محاسباتی کوتاهتری اجرا و از بهبود بیش از حد تصویر و ایجاد اثرات مصنوعی جلوگیری می کند.

متعادلسازی هیستوگرام زیر نواحی (SRHE) یکی دیگر از روش های مطرح شده جهت تیزسازی تصویر و جلوگیری از غیرطبیعی بودن ظاهر تصویر می باشد. در این روش، تصویر ورودی براساس سطوح روشنایی به چندین زیرتصویر تقسیم و هیستوگرام هر یک از زیر نواحی براساس یک تابع انتقال، متعادل می شود [۳۱]. این روش علاوه بر کاهش زمان پردازش، کنتراست و جزئیات محلی تصویر را بهبود می دهد. با این حال، این متد برای تصاویری که کنتراست خیلی بالا و یا خیلی پایینی دارند، مناسب نمی باشد. جهت رفع این مشکل از روش متعادل سازی هیستوگرام چهار بخشی^۳ (QDHE) استفاده شده است. در این روش، ابتدا بر اساس میانه تصویر ورودی، هیستوگرام به چهار زیرهیستوگرام تقسیم می شود. به منظور مقابله با مشکل شدت اشباع، زیرهیستوگرام ها بر اساس میانگین شدت روشنایی تصویر، کلیپ شده و محدوده پویای جدیدی به هر زیرهیستوگرام اختصاص داده می شود. در پایان، هر یک از زیرهیستوگرام ها به طور جداگانه متعادل می شوند. این روش کنتراست تصاویر را بدون افزایش شدت اشباع و تقویت نویز افزایش می دهد [۳۲].

از دیگر تلاش ها در این حوزه می توان به روش حداقل روشنایی متوسط خطای هیستوگرام پویا^۴ (MMBEDHE) با هدف جلوگیری از تسلط برخی سطوح روشنایی با فرکانس بالا بر روی سطوح روشنایی با فرکانس پایین اشاره نمود. این الگوریتم، روشنایی، کیفیت بصری و طبیعی بودن تصویر را به خوبی حفظ می کند [۳۳]. جهت رسیدن به این اهداف، ابتدا هیستوگرام تصویر ورودی، توسط فیلتر گاوسی یک بعدی، هموار می شود. سپس، کمینه های محلی در هیستوگرام هموار شده، تعیین و براساس این مقادیر، هیستوگرام تصویر تقسیم بندی می شود. در هر زیرهیستوگرام، آستانه ای با استفاده از میانگین مطلق خطای روشنایی^۵ (AMBE) تعیین و براساس این مقادیر، تقسیم بندی جدید صورت می گیرد و محدوده دینامیکی برای هر یک از بخش ها در نظر گرفته می شود. در نهایت، متعادلسازی هیستوگرام در هر زیرهیستوگرام به طور جداگانه اعمال می شود. الگوریتم MMBEDHE بسیار کارا بوده و در مقایسه با روش های دیگر بار محاسباتی بسیار کمتری دارد.

جهت انجام عملیات تیزسازی و حذف نویز به صورت همزمان، روش های متعددی براساس مدل های فازی [۳۴] و

منظور تقویت نشدن نویزهای تصویر و داشتن عملکرد موثر، ماسک USM براساس آزمون نظریه آماری به صورت تطبیقی استفاده می کنند [۲۶]. همچنین در برخی موارد جهت جلوگیری از ایجاد آثار مصنوعی در تکرارهای متوالی، الگوریتم USM را به صورت چند مرحله ای استفاده می کنند. بدین صورت که ابتدا تصویر توسط فیلتر گاوسی تار شده و از تصویر اصلی تفریق می شود. سپس مولفه های فرکانس بالای (HF) استخراج شده از تصویر توسط تابع تصحیح گاما تقویت و به تصویر تار اضافه می گردد. در صورت مشاهده بهبود، HF به تصویر اصلی اضافه می شود. این روند تا زمانی که تصاویر تار به صورت پیوسته بهبود داشته باشند، ادامه می یابد [۲۷]. همچنین زمانی که تصویر ورودی، کنتراست و روشنایی پایینی داشته باشد از فیلتر بالاگذر باترورت و متعادلسازی هیستوگرام همراه با ماسک تیزسازی USM استفاده می شود [۲۸].

فیلتر هدایت شده GF، نوع دیگری از فیلترهای خطی تیزسازی می باشد که افزایش وضوح، بهبود جزئیات و حفظ لبه را همزمان با هموارسازی مناطق هموار انجام می دهد. این روش با توجه به محتوای تصویر هدایت شده، تصویر بهبود یافته را ایجاد می کند [۱۰]. ایجاد آثار مصنوعی در تصاویر، یکی از مشکلات این الگوریتم بوده که به منظور رفع آن، فیلتر هدایت شده به صورت تطبیقی (AGF) استفاده می شود [۱۸].

متعادلسازی هیستوگرام، یکی از پرکاربردترین روش های بهبود تصویر است. در این روش، توزیع یکنواختی از سطوح شدت روشنایی در تصویر ایجاد و بدین صورت کنتراست تصویر افزایش می یابد [۱۱]. لیکن از معایب این روش ایجاد آثار مصنوعی و ظاهر غیرطبیعی تصویر است. در راستای کاهش آثار مصنوعی در تصاویر، الگوریتم هوشمند متعادل سازی هیستوگرام پویا^۱ (DHE) معرفی شده است. در این روش، ابتدا هیستوگرام تصویر با استفاده از فیلتر یک بعدی گاوسی، هموار و براساس نقاط کمینه محلی به زیر هیستوگرام هایی تقسیم می شود. به هر زیر هیستوگرام محدوده پویایی اختصاص داده شده و در نهایت، عمل متعادلسازی هیستوگرام در هر زیر هیستوگرام اعمال می گردد [۲۹] و [۳۰].

جهت جلوگیری از تحریف رنگ و غیرطبیعی شدن تصاویر، روش های متعددی معرفی شده اند. روش متعادلسازی هیستوگرام جداگانه در محدوده پویا (DRSHE) یکی از این روش ها است که در آن تغییرات ناخواسته در روشنایی تصویر، با استفاده از فاکتور مقیاس تطبیقی از بین می رود. همچنین این متداز میانگین وزنی قدرمطلق تفاضل رنگ^۲ (WAAD) به منظور برجسته تر نمودن لبه های تصویر اصلی و متعادل کردن هیستوگرام استفاده می کند [۱۳]. این امر موجب حفظ ظاهر طبیعی تصویر و کاهش تغییرات بیش از حد روشنایی می شود. یکی از معایب روش DRSHE، بالا بودن زمان اجرای الگوریتم می باشد. به منظور رفع

³ Quadrant Dynamic Histogram Equalization (QDHE)

⁴ Minimum Mean Brightness Error Dynamic Histogram Equalization (MMBEDHE)

⁵ Absolute Mean Brightness Error (AMBE)

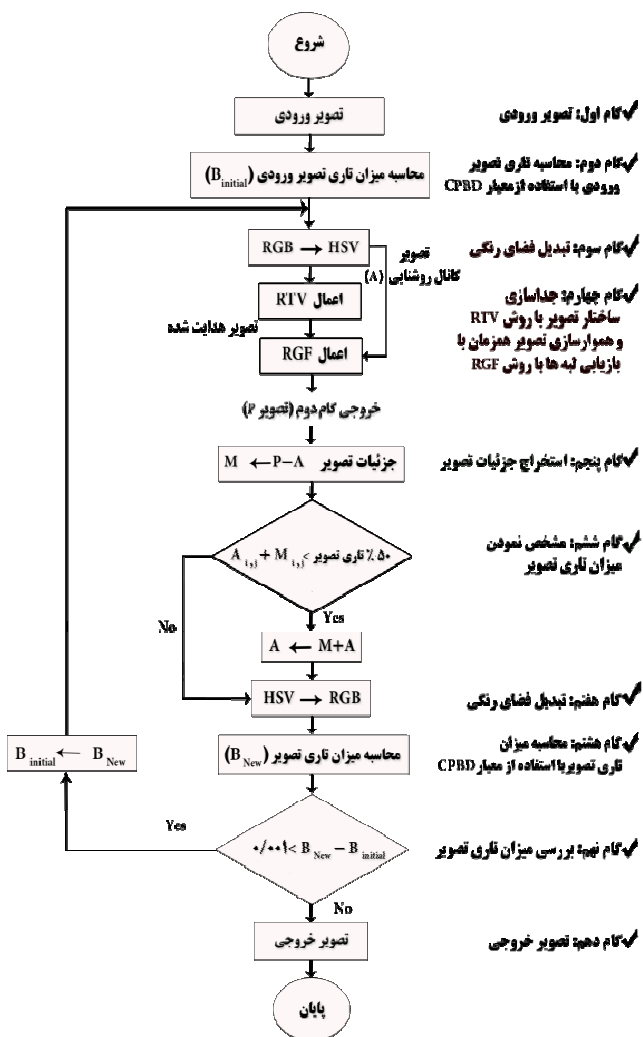
¹ Dynamic Histogram Equalization (DHE)

² Weighted Average of Absolute color Difference (WAAD)

ها صورت می گیرد. در نهایت، کانال روشنایی با دو کانال دیگر ترکیب و تبدیل مدل رنگ از HSV به RGB انجام می شود.

۳ روش پیشنهادی

روش پیشنهادی در این مقاله، سه هدف مهم "کاهش مات شدگی تصاویر دیجیتال با بهره گیری از تکنیک های تیزسازی"، "حفظ طبیعی ماندن رنگ و وضعیت کلی تصویر" و "تیز سازی تا حدی که جزئیات حفظ شده و نویز در تصویر زیاد تقویت نشود" را مد نظر قرار داده است. شکل ۳ فرآیند کلی این روش را نشان می دهد. به منظور دستیابی به اهداف معرفی شده، یک کنترل کننده پیشنهاد شده است، به طوری که اگر مجموع شدت روشنایی پیکسل های تصویر لبه و تصویر ورودی از درصدی از شدت روشنایی پیکسل های تصویر ورودی کمتر باشد، شدت روشنایی پیکسل های لبه با تصویر ورودی جمع می گردد. در غیر این صورت شدت روشنایی پیکسل های تصویر ورودی تغییری نخواهد داشت. لذا عملیات زیر به عنوان روش کار تعریف می شوند.



شکل ۳ مدل روش پیشنهادی کاهش تاری تصاویر دیجیتال

[۳۵]، الگوریتم های ژنتیک و تکنیک های زومینگ [۳۶] و تبدیلات فرکانس ارائه شده است. از جمله این تبدیلات می توان به تبدیل موجک و فیلترهای بالاگذر اشاره نمود که از آنها جهت تیز سازی تصاویر خاکستری استفاده می شود [۳۷]. در این روش، با استفاده از ضرائب موجک، که شامل اطلاعات لبه تصویر اصلی است، یک تصویر جدید ایجاد می شود و در آن ضرائب مربوط به نویز، صفر و دیگر ضرائب مولفه های فرکانس بالا، حفظ می گردد. نهایتاً تصویر بدست آمده با تصویر اصلی ترکیب و تصویری با کیفیت بالاتر تولید می کند.

تبدیل موجک گسسته یکی دیگر از تبدیلات فرکانسی است که جهت افزایش کنتراست تصاویر سنجش از راه دور با بکارگیری تبدیلات تطبیقی شدت روشنایی و سطوح غالب شدت روشنایی استفاده می شود [۳۸]. در این روش، پس از اعمال تبدیل موجک گسسته روی تصاویر ورودی، میانگین درخشندگی شدت روشنایی زیر باندهای مختلف تصویر مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و بر اساس هر یک از لایه های غالب سطوح روشنایی، ارزیابی تابع انتقال شدت روشنایی با استفاده از تنظیم گاما انجام می شود. نهایتاً با استفاده از تبدیل موجک گسسته معکوس، نتیجه بهبود یافته به دست می آید.

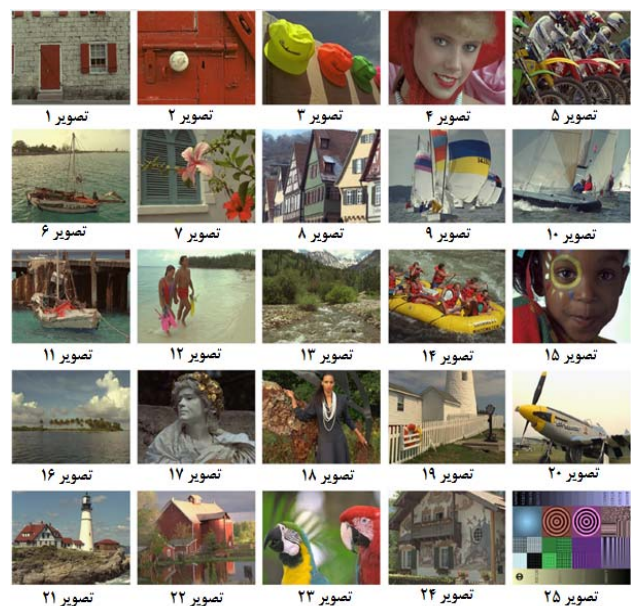
رگرسیون یکی دیگر از روش هایی است که قادر است، وضوح محلی هر یک از پیکسل های کانال روشنایی را بر اساس ساختار محلی کانال روشنایی تخمین بزند. جهت عملیات تیز سازی در کانال روشنایی، از ماسک هایی مبتنی بر تاری محلی استفاده می شود و به منظور جلوگیری از تقویت نویز، فیلتر تیزسازی تطبیقی در مناطقی که اثر تاری وجود ندارد، اعمال می گردد [۳۹]. فیلتر تطبیقی با پارامترهای موثر بر اساس ویژگی های طیفی هموارساز و ماتریس های لاپلاسی جهت تیز نمودن تصاویر تار و حاوی نویز طراحی شده است. رابطه بین این روش تیزسازی و فیلتر تفاضل گاوسی با استفاده از یک چارچوب، تجزیه و تحلیل می شود. این چارچوب روی پارامترهای فیلتر تطبیقی تمرکز داشته و توسط فیلتر تفاضل گاوسی، یک نسخه قوی جهت کاهش ماتی تصویر و مقابله با نویز معرفی می کند [۱۴].

به منظور برآورد سه هدف کلی "تیز نمودن تصاویر رنگی"، "حفظ اطلاعات و جزئیات تصویر" و "کاهش نویز موجود در تصاویر"، الگوریتم تطبیقی موثری توسط کائو و لی [۳] معرفی شده است. در این روش، تصویر ورودی از مدل رنگ RGB به مدل رنگ HSV انتقال می یابد. سپس، پیکسل های مرز در کانال روشنایی، توسط الگوریتم تشخیص لبه و فیلتر پایین گذر مشخص و عمل تیز سازی روی پیکسل های شناسایی شده، پیاده سازی می شود. به عبارت دیگر، کنتراست بین پیکسل های روشن و تیره افزایش یافته ولی کنتراست پیکسل های غیر لبه، بدون تغییر باقی می ماند. افزایش/کاهش مقدار روشنایی جهت تیز نمودن تصویر (به صورت تطبیقی) بر اساس اطلاعات محلی و سراسری پیکسل

۳-۱ گام اول: تصویر ورودی

در گام اول، تصویر ورودی به سیستم وارد می شود. در این مقاله از تصاویر پایگاه داده ۲۰۱۳ TID استفاده شده است [۴۰]. به دلیل وجود همزمان تصاویر اصلی و تحریف شده، می توان معیارهای ارزیابی کیفیت بصری را با تصاویر مراجع کامل ارزیابی نمود.

این پایگاه داده شامل ۳۰۰۰ تصویر آزمایشی از ۲۵ تصویر مرجع در فضای رنگ RGB است. هر تصویر مرجع، ۲۴ نوع تحریف مختلف و هر تحریف دارای ۵ نوع سطح و میزان متفاوت است. در این پایگاه داده، تصاویر ۱ تا ۱۲۰ مربوط به انحرافات و درجات متفاوت اولین تصویر مرجع پایگاه داده، تصاویر ۱۲۱ تا ۲۴۰ مربوط به انحرافات تصویر دوم پایگاه داده و ... می باشند. دلیل اصلی استفاده از این پایگاه داده، انحرافات بیشتری است که تصاویر این پایگاه داده نسبت به سایر پایگاه های داده تصویری دارند. از جمله این تحریفات می توان، تاری تصاویر همراه با انحرافات رنگی، نویز ضربه ای، نویز گوسین، اشباع رنگ و ... را نام برد. ۹ گروه از این ۲۴ نوع تحریف، حاصل از معایب فرآیند عکسبرداری تصاویر می باشند. این ۹ گروه حدود ۳۷/۵٪ از کل پایگاه داده ۲۰۱۳ TID را تشکیل داده اند و شامل ۱۱۲۵ تصویر تحریف شده می باشند. باقی تحریفات این پایگاه داده حاصل از فشرده سازی تصویر، تصحیح گاما، نهان نگاری^۱ و ... هستند. از آنجا که هدف این مقاله، کاهش تاری، کنترل نویز و حفظ طبیعی بودن تصاویر دیجیتال حاصل از عکسبرداری می باشد، روش پیشنهادی و سایر روش های رایج فقط بر روی ۳۷/۵٪ معرفی شده در بالا از پایگاه داده، اعمال شده است. شکل ۲ چند نمونه از تصاویر مرجع پایگاه داده ۲۰۱۳ TID را نشان می دهند.



شکل ۲ تصاویر مرجع پایگاه داده ۲۰۱۳ [TID ۴۰].

۳-۲ گام دوم: محاسبه میزان تاری تصویر

در گام دوم میزان وضوح تصویر اولیه با استفاده از معیار CPBD و رابطه ۱۵ محاسبه می گردد. معادله CPBD در رابطه ۱۴ بیان شده است.

۳-۳ گام سوم: تبدیل فضای رنگی

به منظور دستیابی به اهداف اول و دوم و استخراج بهتر ویژگی ها، تصویر موردنظر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی HSV انتقال می یابد. ابعاد تشکیل دهنده این فضای رنگ شامل رنگ، اشباع و روشنایی است [۴۱]. برای تبدیل فضای رنگی، مقادیر R، G و B در بازه [۰، ۱] نرمال می شوند. کانال های فضای HSV از هم جدا و عملیات کاهش ماتی بر روی کانال V که حاوی بیشترین میزان تاری می باشد، اعمال می شود.

۳-۴ گام چهارم: جداسازی ساختار تصویر با روش تغییرات نسبی در کل تصویر (RTV) و هموارسازی تصویر (RGF)

RTV یک سیستم بهینه کارآمد است که برای جداسازی بافت و ساختار تصویر از یکدیگر استفاده می شود. روش RTV با توجه به توانایی که در حذف بسیاری از جزئیات تصویر دارد، در هر تکرار می تواند لبه های اصلی تصویر را برجسته تر کند. خو و همکاران [۲۰] به صورت تجربی دریافته اند که ۳ تا ۵ بار تکرار این الگوریتم، بافت ها را از بین برده و ساختار تصویر را به خوبی استخراج می کند. روش هموارسازی همزمان با حفظ لبه (RGF) با استفاده از فیلتر دو طرفه مشترک (JBF) در یک چارچوب تکرار پذیر، جهت بازیابی بهتر لبه های تصویر، تصویر کانال درخشندگی V را به عنوان تصویر ورودی و ساختار استخراج شده توسط RTV را به عنوان تصویر هدایت شده در نظر می گیرد. فیلتر RGF علاوه بر هموارسازی و حذف جزئیات کوچک، لبه های بزرگ را نیز حفظ می کند.

۳-۵ گام پنجم: استخراج جزئیات تصویر

در این مرحله تصویر هموار شده حاصل از گام چهارم که حاوی لبه های برجسته تصویر می باشند، از تصویر کانال روشنایی تفریق می شود تا جزئیات تصویر ورودی مشخص شود.

۳-۶ گام ششم: مشخص نمودن میزان تاری تصویر

بعد از انجام عملیات هموارسازی، اگر شدت روشنایی پیکسل های تصویر حاصل از گام قبل را در هر مرحله، با شدت روشنایی پیکسل های تصویر اصلی جمع کنیم، جزئیات تصویر و نویز همزمان افزایش می یابند. علاوه بر این، رنگ تصویر خروجی نیز از حالت طبیعی خارج می شود. به طور کلی، عملیات تیزسازی چندین بار تکرار می شود. هر چه تعداد تکرارها بیشتر باشد،

^۱watermarking







۳-۸ گام هشتم: محاسبه میزان تاری تصویر

جهت بررسی میزان بهبود وضوح تصویر، میزان وضوح خروجی در مرحله ۸ با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه می شود.

۳-۹ گام نهم: بررسی میزان تاری تصویر

اگر اختلاف وضوح محاسبه شده در مرحله ۸ (Bnew) و مرحله ۲ (Binitial) از یک مقدار آستانه ای کوچک (۰/۰۰۱)، کمتر باشد، بدین معنی است که وضوح تصویر به اندازه کافی ارتقا یافته است و لذا تصویر به گام ۱۰، یعنی بخش تصویر خروجی منتقل می شود. در غیر این صورت چرخه عملیات جهت افزایش بیشتر وضوح تصویر به مرحله ۳ باز گردانده شده و این روند تا بهبود مناسب وضوح تصویر تکرار می شود.

گامهای سوم تا پنجم جهت تحقق اهداف اول و دوم و گامهای ششم و هفتم برای تحقق اهداف دوم و سوم طراحی شده اند. شکل ۴ نمونه ای از نتایج حاصل از روش پیشنهادی را نشان می دهد.

نام تصاویر	تصاویر اصلی	تصاویر بهبود یافته
تصویر ۱۱۳ (i01_23_3)		
تصویر ۷۱۳ (i06_23_3)		
تصویر ۹۵۳ (i08_23_3)		

شکل ۴ نمونه ای از تصاویر بهبود یافته با روش پیشنهادی کاهش مات.

۴ مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی با

ادبیات تحقیق

روش پیشنهادی کاهش مات تصاویر دیجیتال، بر روی پایگاه داده TID۲۰۱۳ اعمال گردید. این روش علاوه بر کاهش مات تصاویر، سعی در کنترل نویز و حفظ طبیعی بودن رنگ تصاویر نیز دارد. جدول (۱) نتایج ارزیابی متد پیشنهادی برای منحصر ۲۵ تصویر از پایگاه داده TID۲۰۱۳ که دارای تحریف تاری با انحرافات رنگی می باشند را نشان می دهد. این نوع تحریف، یکی از رایجترین تحریفات حاصل از عکسبرداری می باشد که با

تصویر خروجی تیزتر خواهد بود. اما اگر در مراحل تکرار عمل تیزسازی، شدت روشنایی پیکسل های تصویر ورودی به حداکثر خود (مثلا در یک تصویر ۸ بیتی به عدد ۲۵۵) برسد، آن پیکسل از تصویر خروجی سفید خواهد شد. روش پیشنهادی، برای جلوگیری از این تحریفات، از یک کنترل کننده شدت روشنایی استفاده می کند که تغییرات مقادیر شدت روشنایی پیکسل های تصویر خروجی را کنترل کند.

با بررسی تمامی ۳۰۰۰ تصویر پایگاه داده مرجع و با استفاده از رابطه ۱۴، مشخص شد که میزان تاری تصاویر موجود از ۳٪ الی ۹۸٪ هستند. لیکن در حدود ۸۰٪ از این تصاویر، دارای میزان تاری از ۱۱٪ الی ۴۰٪ می باشند. لذا با در نظر گرفتن این نکته که هر گونه تغییری در کاهش میزان تاری، می تواند به طور عمومی منجر به تغییر مثبت (بهبود) سایر پارامترهای کیفی تصویر نیز گردد و با در نظر گرفتن این نکته مهم که هدف اصلی روش پیشنهادی در این مقاله، کاهش تاری تصاویر دیجیتال تا آنجایی که سایر پارامترهای کیفی تصویر نیز به صورت منفی تحت الشعاع قرار نگیرند، است، لذا نیازی به حذف مقدار تاری اولیه به طور کامل نیست. بنابراین به ازای هر تصویر، فقط مقدار ۵۰٪ میزان تاری اولیه، معیار پارامتر کنترل کننده و گام ششم الگوریتم پیشنهادی انتخاب شده است. بدین معنی که در هر بار تکرار الگوریتم، اگر اضافه کردن جزئیات تصویر (M) به تصویر کانال روشنایی (A)، باعث شود که تاری اولیه شدت روشنایی پیکسل مربوطه تا سقف ۵۰٪ کاهش یابد، این افزودن انجام شود، در غیر این صورت، جزئیات استخراج شده به پیکسل تصویر افزوده نشود و شدت روشنایی آن پیکسل تغییری نکند.

این کنترل کننده، مجموع شدت روشنایی هر پیکسل تصویر ورودی به علاوه جزئیات را بررسی می کند. اگر تغییرات شدت روشنایی از نصف میزان تاری اولیه تصویر ورودی کمتر باشد، شدت روشنایی جزئیات بدست آمده در گام چهارم با تصویر اصلی جمع می شوند. در غیر این صورت، شدت روشنایی آن پیکسل تصویر ورودی تغییری نمی کند. نتیجه مثبت این عملیات آن است که با استفاده از کنترل کننده، همه پیکسل های تصویر ورودی به یک اندازه تیز نمی شوند. ممکن است بعضی از پیکسل های تصویر با تعداد تکرار کمتر و برخی از آنها با تعداد تکرار بیشتری به وضعیت مطلوب برسند.

۳-۷ گام هفتم: تبدیل فضای رنگی

برای بازگشت از فضای رنگی HSV به RGB، H در بازه [۰, ۳۶۰) و S و V در بازه [۰, ۱] قرار می گیرند. همچنین مقادیر R، G و B بدست آمده در بازه [۰, ۱] بوده و باید به مقادیر ۸ بیتی تبدیل شوند [۴۱].

SSIM، روش پیشنهادی در ۸۴٪ موارد، روش فیلتر هدایت شده متناوب در ۱۶٪ موارد، بهترین جواب ها را داشته و فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادیانت و الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی هیچ کدام جواب مطلوبی نداشتند. شکل ۶ مقایسه سه پارامتر ارزیابی فوق را در این چهار روش نمایش می دهد.

جدول ۱ نتایج ارزیابی روش پیشنهادی.

PSNR	SSIM	CPBD	تصویر مورد بررسی
۲۴/۶۶	۰/۸۱۲۶	۳۳/۴۱	تصویر ۱۱۳ (i01_23_3)
۲۴/۶۸	۰/۹۴۲۶	۳۳/۷۸	تصویر ۲۳۳ (i02_23_3)
۲۴/۸۵	۰/۹۰۹۳	۵۸/۸۲	تصویر ۳۵۳ (i03_23_3)
۲۴/۷۳	۰/۸۵۶۸	۵۹/۴۳	تصویر ۴۷۳ (i04_23_3)
۲۴/۷۵	۰/۸۹۱۵	۳۶/۶۵	تصویر ۵۹۳ (i05_23_3)
۲۴/۹۲	۰/۸۷۷۳	۴۷/۵۸	تصویر ۷۱۳ (i06_23_3)
۲۴/۴۵	۰/۸۶۷۴	۵۲/۱۵	تصویر ۸۳۳ (i07_23_3)
۲۴/۵۷	۰/۸۳۸۵	۳۸/۲۸	تصویر ۹۵۳ (i08_23_3)
۲۴/۳۳	۰/۸۲۷۵	۳۵/۲۵	تصویر ۱۰۷۳ (i09_23_3)
۲۴/۳۷	۰/۷۶۱۴	۳۰/۴۲	تصویر ۱۱۹۳ (i010_23_3)
۲۴/۹۸	۰/۸۶۹۲	۳۹/۱۹	تصویر ۱۳۱۳ (i011_23_3)
۲۴/۷۹	۰/۸۸۲۱	۴۷/۲۲	تصویر ۱۴۳۳ (i012_23_3)
۲۴/۸۶	۰/۸۸۶۱	۲۸/۶۶	تصویر ۱۵۵۳ (i013_23_3)
۲۴/۵۸	۰/۸۷۰۳	۴۸/۰۰	تصویر ۱۶۷۳ (i014_23_3)
۲۴/۷۰	۰/۸۶۵۷	۶۲/۴۲	تصویر ۱۷۹۳ (i015_23_3)
۲۴/۴۱	۰/۶۹۴۱	۲۶/۶۴	تصویر ۱۹۱۳ (i016_23_3)
۲۴/۴۷	۰/۷۵۰۹	۶۳/۸۱	تصویر ۲۰۳۳ (i017_23_3)
۲۵/۰۶	۰/۸۸۲۶	۴۳/۴۲	تصویر ۲۱۵۳ (i018_23_3)
۲۴/۷۱	۰/۹۰۴۱	۳۰/۳۹	تصویر ۲۲۷۳ (i019_23_3)
۲۴/۸۲	۰/۸۹۳۵	۴۹/۷۷	تصویر ۲۳۹۳ (i020_23_3)
۲۴/۸۷	۰/۸۶۷۵	۴۵/۸۱	تصویر ۲۵۱۳ (i021_23_3)
۲۴/۶۵	۰/۸۴۸۸	۴۲/۱۷	تصویر ۲۶۳۳ (i022_23_3)
۲۴/۶۹	۰/۸۹۱۱	۵۴/۲۵	تصویر ۲۷۵۳ (i023_23_3)
۲۴/۹۰	۰/۷۹۹۸	۴۷/۷۷	تصویر ۲۸۷۳ (i024_23_3)
۲۴/۸۸	۰/۹۷۵۷	۳۲/۳۱	تصویر ۲۹۹۳ (i025_23_3)

عنوان "انحرافات رنگی" معرفی شده است. اگر تصویر حاصل از عکسبرداری، اعوجاج زیادی داشته باشد، منجر به تار ی تصویر شده و مقادیر شدت روشنایی مولفه های R، G و B به صورت متقابل با یکدیگر جابه جا می شوند و تحریفات رنگی رخ می دهد.

نتایج حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، بر روی ۲۵ نمونه از تصاویری که حاوی تحریفات تار ی و انحرافات رنگی می باشند، با نتایج شبیه سازی الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی [۴۲]، فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادیانت^۱ [۴۳(GDGF)] و فیلتر هدایت شده متناوب^۲ [۴۴(AGF)] مقایسه شد. با توجه به تجزیه و تحلیل کیفی و کمی، روش پیشنهادی از نظر کاهش تار ی، کنترل نویز و حفظ طبیعی بودن تصویر در مقایسه با دیگر روشهای رایج، عملکرد موثرتری دارد. زیرا در روش پیشنهادی شدت روشنایی پیکسل های تصاویر مختلف جهت نمایش بهتر جزئیات، بدون تقویت نویز، به یک نسبت تغییر نمی کنند. در این فرآیند تکرارپذیر ممکن است برخی پیکسل های تصویر تغییرات کم و برخی دیگر جهت رسیدن به حالت مطلوب، تغییرات بیشتری داشته باشند.

شکل ۵ مقایسه نتایج حاصل از اعمال روش پیشنهادی را بر روی ۳ تصویر نمونه از پایگاه داده، با سایر روش های بیان شده در بالا نشان می دهد. همچنین جدول (۲) مقایسه روش پیشنهادی کاهش ماتی تصاویر دیجیتال با سایر روش های رقیب را با استفاده از معیارهای ارزیابی PSNR، SSIM، CPBD نشان می دهد. خانه های زرد در هر جدول بیانگر بهترین مقدار بدست آمده برای پارامتر مربوطه هستند. در الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی، لبه های تیز تصویر بهتر حفظ شده و انحرافات رنگی اطراف لبه ها کاهش می یابند. فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادیانت نسبت به دیگر فیلتر های بهبود، عملکرد بهتری دارد.

این فیلتر با استفاده از واریانس محلی در همسایگی پیکسل ها، وزنی را معرفی می کند که قادر است لبه ها را با دقت بالاتری تشخیص دهد. فیلتر هدایت شده متناوب جهت افزایش وضوح تصاویر با استفاده از هموارسازی و حفظ لبه های تصویر پیشنهاد شده است.

همانطور که جدول (۲) نشان می دهد، به ازای ۲۵ تصویر نمونه ای جدول (۱)، برای پارامتر CPBD، روش پیشنهادی در ۷۶٪ موارد، روش فیلتر هدایت شده متناوب در ۱۲٪ موارد، فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادیانت در ۸٪ موارد و الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی در ۴٪ موارد بهترین نتایج را تولید کرده اند. برای پارامتر PSNR، روش پیشنهادی در ۹۶٪ موارد، روش فیلتر هدایت شده متناوب در ۴٪ موارد بهترین جواب ها را تولید کردند. در حالی که فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادیانت و الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی در هیچ موردی جواب مطلوبی بدست نیاوردند. در نهایت برای پارامتر

¹ Gradient Domain Guided Image Filtering (GDGF)

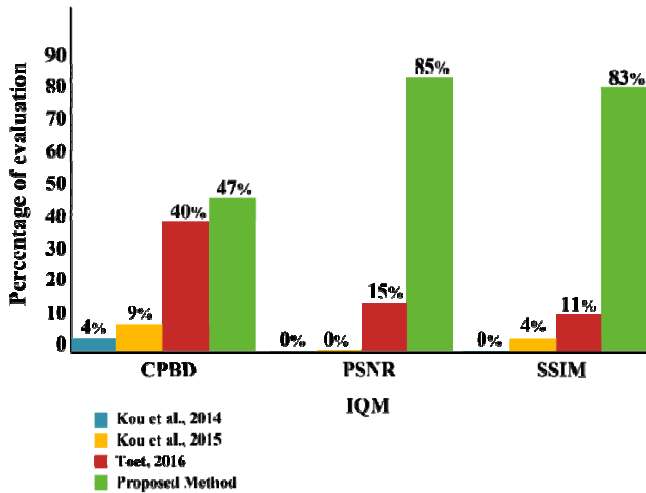
² Alternating Guided image Filtering (AGF)



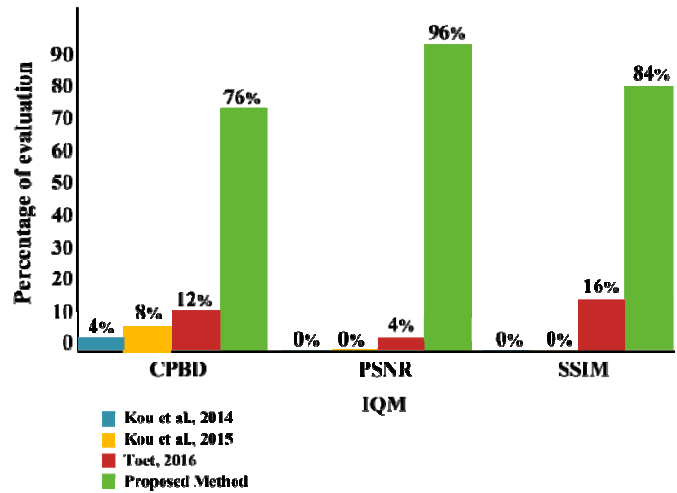
شکل ۵ مقایسه نتیجه روش پیشنهادی با روش های رقیب کاهش ماتی تصاویر.

جدول ۲ مقایسه مقادیر پارامترهای CPBD، PSNR و SSIM برای ارزیابی معیار تاری، نویز و شباهت نسبت به تصویر مرجع.

	CPBD				PSNR				SSIM			
	Kou et al., 2014	Kou et al., 2015	Toet, 2016	روش پیشنهادی	Kou et al., 2014	Kou et al., 2015	Toet, 2016	روش پیشنهادی	Kou et al., 2014	Kou et al., 2015	Toet, 2016	روش پیشنهادی
تصویر ۱۱۳	۳۷/۵۰	۳۷/۳۳	۳۴/۱۲	۳۳/۴۱	۲۰/۰۸	۲۰/۶۴	۲۲/۰۹	۲۴/۶۶	۰/۶۹۰۶	۰/۷۰۲۸	۰/۷۵۵۵	۰/۸۱۲۶
تصویر ۲۳۳	۵۴/۰۴	۵۷/۰۱	۴۷/۷۸	۳۳/۷۸	۲۳/۱۱	۲۱/۹۲	۲۴/۶۰	۲۴/۶۸	۰/۹۰۹۹	۰/۸۹۷۳	۰/۹۴۰۲	۰/۹۴۲۶
تصویر ۳۵۳	۸۶/۰۸	۸۳/۸۱	۸۵/۲۵	۵۸/۸۲	۲۲/۰۱	۲۳/۹۳	۲۴/۸۳	۲۴/۸۵	۰/۸۲۰۶	۰/۸۶۴۶	۰/۹۰۹۴	۰/۹۰۹۳
تصویر ۴۷۳	۸۸/۰۵	۷۹/۴۹	۸۴/۵۶	۵۹/۴۳	۲۱/۸۳	۲۲/۹۲	۲۴/۷۳	۲۴/۷۳	۰/۷۶۹۲	۰/۷۸۲۶	۰/۸۵۴۸	۰/۸۵۶۸
تصویر ۵۹۳	۴۳/۲۲	۴۵/۲۹	۴۰/۷۳	۳۶/۶۵	۲۰/۵۲	۲۱/۷۸	۲۲/۶۹	۲۴/۷۵	۰/۷۷۳۰	۰/۸۰۱۰	۰/۸۶۲۷	۰/۸۹۱۵
تصویر ۷۱۳	۵۴/۱۴	۵۳/۴۶	۵۱/۲۳	۴۷/۵۸	۲۱/۴۶	۲۳/۰۳	۲۲/۴۴	۲۴/۹۲	۰/۷۹۷۷	۰/۸۱۶۶	۰/۸۳۵۱	۰/۸۷۷۳
تصویر ۸۳۳	۸۳/۵۰	۸۱/۹۸	۸۱/۶۹	۵۲/۱۵	۲۰/۶۲	۲۱/۸۵	۲۳/۹۱	۲۴/۴۵	۰/۷۷۷۲	۰/۷۹۹۹	۰/۸۶۰۰	۰/۸۶۲۴
تصویر ۹۵۳	۳۰/۷۶	۳۱/۰۹	۲۹/۱۱	۳۸/۲۸	۱۹/۹۰	۲۳/۵۷	۲۲/۹۴	۲۴/۵۷	۰/۷۹۷۹	۰/۸۶۵۷	۰/۸۸۳۵	۰/۸۳۸۵
تصویر ۱۰۷۳	۵۵/۸۵	۴۹/۳۱	۵۴/۴۴	۳۵/۲۵	۲۰/۲۷	۲۲/۳۷	۲۳/۸۰	۲۴/۳۳	۰/۶۸۴۹	۰/۷۱۹۸	۰/۸۱۷۲	۰/۸۲۷۵
تصویر ۱۱۹۳	۵۴/۴۷	۴۹/۷۵	۴۹/۹۴	۳۰/۴۲	۲۰/۵۵	۲۱/۷۳	۲۳/۹۹	۲۴/۳۷	۰/۶۶۳۵	۰/۶۲۸۵	۰/۷۵۲۴	۰/۷۶۱۴
تصویر ۱۳۱۳	۴۲/۲۶	۴۲/۴۵	۳۸/۴۷	۳۹/۱۹	۲۰/۹۰	۲۰/۷۸	۲۲/۶۲	۲۴/۹۸	۰/۷۰۵۲	۰/۶۸۸۳	۰/۸۲۱۸	۰/۸۶۹۲
تصویر ۱۴۳۳	۸۱/۷۲	۸۲/۷۸	۸۰/۱۸	۴۷/۲۲	۲۱/۲۹	۲۲/۱۱	۲۴/۴۸	۲۴/۷۹	۰/۷۹۳۷	۰/۷۵۷۱	۰/۸۶۸۸	۰/۸۸۲۱
تصویر ۱۵۵۳	۲۹/۷۴	۳۲/۱۷	۲۸/۳۲	۲۸/۶۶	۲۱/۰۴	۲۱/۵۴	۲۲/۰۲	۲۴/۸۶	۰/۷۸۰۴	۰/۷۶۰۲	۰/۸۳۹۹	۰/۸۸۶۱
تصویر ۱۶۷۳	۵۲/۸۰	۵۴/۲۲	۵۰/۱۸	۴۸/۰۰	۲۰/۰۲	۱۸/۹۴	۲۲/۷۳	۲۴/۵۸	۰/۷۳۱۱	۰/۶۹۰۵	۰/۸۲۶۹	۰/۸۷۰۳
تصویر ۱۷۹۳	۷۴/۳۰	۷۴/۲۴	۷۲/۶۱	۶۲/۴۲	۲۰/۴۹	۲۲/۹۲	۲۴/۳۰	۲۴/۷۰	۰/۷۱۵۲	۰/۷۶۸۳	۰/۸۵۳۲	۰/۸۶۵۷
تصویر ۱۹۱۳	۹۰/۰۹	۸۱/۴۶	۸۸/۸۷	۲۶/۶۴	۲۱/۲۵	۲۳/۳۵	۲۴/۶۳	۲۴/۴۱	۰/۶۵۹۸	۰/۶۲۰۲	۰/۷۰۶۴	۰/۶۹۴۱
تصویر ۲۰۳۳	۷۸/۸۱	۷۶/۹۵	۷۷/۰۹	۶۳/۸۱	۲۱/۰۱	۲۱/۶۶	۲۳/۷۹	۲۴/۴۷	۰/۵۴۲۳	۰/۵۵۶۹	۰/۷۲۳۷	۰/۷۵۰۹
تصویر ۲۱۵۳	۴۴/۴۰	۴۲/۸۶	۴۲/۹۵	۴۳/۴۲	۲۱/۳۹	۲۰/۷۵	۲۳/۰۱	۲۵/۰۶	۰/۷۲۹۸	۰/۶۸۶۷	۰/۸۳۶۶	۰/۸۸۲۶
تصویر ۲۲۷۳	۳۱/۹۱	۳۰/۶۴	۳۰/۴۲	۳۰/۳۹	۲۰/۰۷	۲۱/۷۴	۲۲/۸۳	۲۴/۷۱	۰/۷۹۳۱	۰/۷۸۴۵	۰/۸۹۰۸	۰/۹۰۴۱
تصویر ۲۳۹۳	۵۲/۹۵	۵۰/۵۶	۵۲/۸۵	۴۹/۷۷	۲۲/۰۲	۲۳/۸۵	۲۴/۰۱	۲۴/۸۲	۰/۷۸۶۹	۰/۸۱۷۵	۰/۸۷۶۰	۰/۸۹۳۵
تصویر ۲۵۱۳	۵۲/۶۳	۴۵/۹۱	۵۱/۱۳	۴۵/۸۱	۲۱/۲۹	۲۳/۲۶	۲۲/۸۹	۲۴/۸۷	۰/۷۷۸۸	۰/۷۹۳۳	۰/۸۴۲۹	۰/۸۶۷۵
تصویر ۲۶۳۳	۴۵/۰۹	۳۹/۲۲	۴۳/۴۸	۴۲/۱۷	۲۰/۸۶	۲۱/۱۹	۲۳/۱۴	۲۴/۶۵	۰/۷۴۵۲	۰/۷۱۶۵	۰/۸۲۹۵	۰/۸۴۸۸
تصویر ۲۷۵۳	۸۳/۵۲	۷۴/۵۱	۸۳/۹۷	۵۴/۲۵	۲۰/۰۰	۲۳/۰۳	۲۴/۲۷	۲۴/۶۹	۰/۷۳۶۱	۰/۸۳۳۸	۰/۸۹۱۹	۰/۸۹۱۱
تصویر ۲۸۷۳	۵۴/۸۴	۵۵/۱۱	۴۹/۳۵	۴۷/۷۷	۲۰/۱۶	۲۱/۰۲	۲۳/۳۶	۲۴/۹۰	۰/۶۶۲۹	۰/۶۵۸۷	۰/۷۶۲۱	۰/۷۹۹۸
تصویر ۲۹۹۳	۳۱/۳۴	۳۲/۴۴	۳۴/۵۸	۳۲/۳۱	۲۰/۲۳	۲۲/۲۶	۲۲/۵۰	۲۴/۸۸	۰/۸۹۰۴	۰/۹۳۶۴	۰/۹۶۶۳	۰/۹۷۵۷



شکل ۷ مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش های رایج بر روی ۳۷/۵٪ (۱۱۲۵ تصویر) از کل پایگاه داده TID ۲۰۱۳.



شکل ۶ مقایسه پارامترهای ارزیابی برای روش پیشنهادی و سایر روش ها برای ۲۵ تصویر جدول ۱.

۵-۱ آنالیز خطا

با بررسی تصاویری که روشهای رقیب، نتایج بهتری در بعضی از پارامترهای سه گانه مورد مقایسه در این مقاله، نسبت به روش پیشنهادی ایجاد کرده اند، موارد زیر یافته شدند:

روش توئت، یک روش افزایش وضوح تصویر بوده که درصدد حفظ لبه های بزرگ تصویر همزمان با حذف جزئیات کوچک است. علاوه براین، یکی از اهداف اصلی روش توئت، حفظ کنتراست تصویر به صورت محلی است. از آنجا که معیار ارزیابی شباهت ساختاری (SSIM)، کیفیت یک تصویر را از لحاظ شدت روشنایی، کنتراست و ساختار دو تصویر تحریف شده و مرجع ارزیابی می کند، در نتیجه، روش توئت توانسته در بعضی از تصاویر (همانند تصویر ۳۵۳) تنها مقدار SSIM بیشتری داشته باشد، در صورتی که میزان تاری و نویز در این تصویر مطلوب نمی باشد. همچنین روش توئت در بعضی از تصاویر (مثل تصویر ۱۳۱۳) تنها میزان تاری را کاهش داده و میزان نویز و شباهت ساختاری تصاویر مناسب نیستند. از طرف دیگر، روش توئت توانسته در تصاویری، برتری خود را از نظر معیار SSIM و میزان تاری CPBD نمایش دهد. لیکن قادر به کنترل میزان نویز موجود در تصویر نمی باشد (تصویر ۹۵۳). همچنین این روش برای تصاویری توانسته نتایج خوبی در معیارهای SSIM و PSNR کسب کند ولی میزان تاری تصویر همچنان از درجه بالایی برخوردار است (تصویر ۱۹۱۳). در مجموع روش توئت، تنها توانسته است حداکثر دو هدف از سه هدف مورد بررسی در این مقاله را به صورت همزمان برآورده سازد که نتایج ارزیابی تصاویر ذکر شده حاکی از اثبات این موضوع می باشد.

دو الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی و فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادینت که به ترتیب در سالهای ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ ارائه شده اند، تنها در صدد افزایش وضوح و کیفیت تصاویر می

۵-۲ تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج با ادبیات تحقیق

روش پیشنهادی و سایر روش های رایج، بر روی ۱۱۲۵ تصویر تحریف شده که حدود ۳۷/۵٪ از کل پایگاه داده TID ۲۰۱۳ را شامل می شود، اعمال شده است و نتایج حاصل از این بررسی به شرح ذیل می باشد:

- برای پارامتر CPBD، که معرف میزان تاری تصاویر است، روش پیشنهادی ۴۷٪، روش فیلتر هدایت شده متناوب ۴۰٪، فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادینت ۹٪ و الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی تنها ۴٪ منجر به بهبود تصاویر شده اند.
 - برای پارامتر PSNR، که معرف میزان نویز موجود در تصاویر می باشد، روش پیشنهادی ۸۵٪، روش فیلتر هدایت شده متناوب ۱۵٪ و دو روش فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادینت و الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی هر کدام ۰٪ منجر به بهبود تصاویر شده اند.
 - برای پارامتر SSIM، که معرف شباهت ساختاری به تصویر مرجع می باشد، روش پیشنهادی بیشترین میزان یعنی ۸۳٪، فیلتر هدایت شده متناوب ۱۱٪ و روش فیلتر هدایت شده مبتنی بر گرادینت ۴٪ شباهت ساختاری داشته اند و الگوریتم بهبود جزئیات هیچ شباهت ساختاری به تصویر مرجع ندارد.
- شکل ۷ مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش های رایج را روی ۳۷/۵٪ مورد استفاده از کل پایگاه داده نشان می دهد.

- [2] Gonzalez, R. C., & Eddins, S. L. (2017). Digital image processing using MATLAB.
- [3] Kau, L. J., & Lee, T. L. (2013, October). An HSV model-based approach for the sharpening of color images. In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference on (pp. 150-155). IEEE.
- [4] Wang, Z. Y., Luo, J., Qin, K. Y., Li, H. B., & Li, G. (2017). Model Based Edge-Preserving and Guided Filter for Real-World Hazy Scenes Visibility Restoration. *Cognitive Computation*, 1-14.
- [5] Lim, J., Heo, M., Lee, C., & Kim, C. S. (2017). Contrast enhancement of noisy low-light images based on structure-texture-noise decomposition. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 45, 107-121.
- [6] Ehman, E. C., Yu, L., Manduca, A., Hara, A. K., Shiung, M. M., Jondal, D., ...& McCollough, C. H. (2014). Methods for clinical evaluation of noise reduction techniques in abdominopelvic CT. *Radiographics*, 34(4), 849-862.
- [7] Vankawala, F., Ganatra, A., & Patel, A. (2015). A Survey on different Image Deblurring Techniques. *International Journal of Computer Applications*, 116(13)
- [8] Agrawal, P., Chourasia, V., Kapoor, R., & Agrawal, S. (2014). A Comprehensive Study of the Image Enhancement Techniques. *International Journal of Advance Foundation and Research in Computer (IJAFRC)*, 1, 85-89
- [9] Zaafouri, A., Sayadi, M., & Fnaiech, F. (2011, March). A developed unsharp masking method for images contrast enhancement. In Systems, Signals and Devices (SSD), 2011 8th International Multi-Conference on (pp. 1-6). IEEE.
- [10] He, K., Sun, J., & Tang, X. (2013). Guided image filtering. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(6), 1397-1409.
- [11] Mahajan, S., & Dogra, R. (2015). A review on image enhancement techniques. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 4(11), 108-113
- [12] Yadav, G., Maheshwari, S., & Agarwal, A. (2014, September). Contrast limited adaptive histogram equalization based enhancement for real time video system. In *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2014 International Conference on (pp. 2392-2397). IEEE.

باشند. روش فیلتر هدایت‌شده مبتنی بر گرادایانت، میزان تاری تصاویری همچون ۲۱۵۳ را کاهش داده است. با این حال، همزمان، میزان نویز افزایش یافته و درجه شباهت ساختاری از کمترین میزان ممکن برخوردار است. به همین ترتیب، بعضی از تصاویر (همانند ۲۹۹۳) در الگوریتم بهبود جزئیات به صورت تطبیقی، کمترین میزان تاری را دارند، ولی بیشترین میزان نویز و کمترین میزان شباهت به تصویر مرجع را نسبت به دو روش دیگر و روش پیشنهادی مطرح شده دارا می‌باشند. با این حال که تنها هدف این دو الگوریتم کاهش تاری تصویر می‌باشد، باز هم در اکثر تصاویر، روش پیشنهادی این مقاله علاوه بر کاهش مات‌ی تصاویر، به مقادیر قابل قبولی برای معیارهای شباهت ساختاری و نسبت سیگنال به نویز دست یافته است.

۶ جمع بندی و مرور

در این مقاله، روش جدیدی برای کاهش مات‌ی تصاویر دیجیتال به منظور افزایش وضوح تصاویر پیشنهاد شده است. نتایج حاصل، نشان از موفقیت این روش در کاهش مات‌ی تصاویر دارد. بخش جدید این روش، عدم بهبود پیکسل‌های تصویر به یک نسبت می‌باشد. زیرا ممکن است در یک فرآیند تکرار پذیر، برخی پیکسل‌ها نیاز به تغییرات کمی جهت رسیدن به حالت مطلوب داشته باشند، در حالی که برخی دیگر نیاز به تغییرات بیشتری داشته باشند. این امر منجر به نمایش بهتر جزئیات تصویر شده و از ایجاد تحریف‌ات رنگی و افزایش نویز جلوگیری می‌کند. نتایج حاصل از روش پیشنهادی، شامل کاهش مات‌شدگی تصاویر دیجیتال با بهره‌گیری از تکنیک‌های تیز نمودن، تیز نمودن تصویر با حفظ طبیعی بودن تصویر (در خصوص رنگ تصاویر) و تیزسازی تصاویر تا حدی که جزئیات حفظ شده و نویز در تصویر زیاد تقویت نشود، می‌باشد. پایگاه داده مورد استفاده در این مقاله، TID۲۰۱۳ بوده که شامل ۲۵ تصویر مرجع است. این پایگاه داده، برای هر تصویر، ۲۴ نوع تحریف در ۵ سطح مختلف را دارا می‌باشد که در میان آنها تصاویری نیز وجود دارد که حاوی چندین تحریف هستند. روش پیشنهادی برای ۱۱۲۵ تصویر از کل ۳۰۰۰ تصویر این پایگاه داده که دارای انحرافات متناظر با اهداف این تحقیق هستند، منجر به کاهش مات‌ی تصاویر، کنترل نویز و حفظ طبیعی بودن تصویر شده که با توجه به تجزیه و تحلیل کیفی و کمی، روش پیشنهادی برای کاهش تاری در ۴۷٪ موارد، برای کنترل نویز در ۸۵٪ موارد و برای حفظ طبیعی بودن تصویر در ۸۳٪ موارد در مقایسه با دیگر روش‌های رایج بهتر عمل کرده است.

مراجع

- [1] Sharma, G. (2017). Performance Analysis of Image Processing Algorithms using Matlab for Biomedical Applications. *IJEM-International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 7(3), 8.

- blur detection (CPBD). *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(9), 2678–2683.
- [26] Yin, C., Zhou, Y., Agaian, S., & Chen, C. P. (2014, February). Parametric rational unsharp masking for image enhancement. In *Image Processing: Algorithms and Systems XII* (Vol. 9019, p. 90190W). International Society for Optics and Photonics.
- [27] Alsam, A., Farup, I., & Rivertz, H. J. (2015, August). Iterative sharpening for image contrast enhancement. In *Color and Visual Computing Symposium (CVCS)*, 2015 (pp. 1–4). IEEE.
- [28] Liu, G., Bai, B., & Jeon, G. (2016). Power Efficient Edge Sharpening. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 11(4), 303–312.
- [29] Singh, K., & Kapoor, R. (2014). Image enhancement using exposure based sub image histogram equalization. *Pattern Recognition Letters*, 36, 10–14.
- [30] Iwanami, T., Goto, T., Hirano, S., & Sakurai, M. (2012, January). An adaptive contrast enhancement using regional dynamic histogram equalization. In *Consumer Electronics (ICCE)*, 2012 IEEE International Conference on (pp. 719–722). IEEE.
- [31] Ibrahim, H., & Kong, N. S. P. (2009). Image sharpening using sub-regions histogram equalization. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2(55), 891–895.
- [32] Ooi, C. H., & Isa, N. A. M. (2010). Quadrants dynamic histogram equalization for contrast enhancement. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(4), 2552–2559.
- [33] Hossain, M. F., Alsharif, M. R., & Yamashita, K. (2011). An approach to color image enhancement using minimum mean brightness error dynamic histogram equalization. *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, 7(2), 827–840.
- [34] Schuster, T., & Sussner, P. (2017). An adaptive image filter based on the fuzzy transform for impulse noise reduction. *Soft Computing*, 21(13), 3659–3672.
- [35] Raju, G., & Nair, M. S. (2014). A fast and efficient color image enhancement method based on fuzzy-logic and histogram. *AEU-International Journal of electronics and communications*, 68(3), 237–243.
- [36] Yasmin, S., & Sangwine, S. J. (2016, September). Quaternion linear color edge-sharpening filter using genetic algorithm. In *Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)*, 2016 8th (pp. 124–129). IEEE.
- [37] Zafeiridis, P., Papamarkos, N., Goumas, S., & Seimenis, I. (2016). A New Sharpening Technique for Medical
- [13] 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*, 54(4)
- [14] Kheradmand, A., & Milanfar, P. (2015). Non-linear structure-aware image sharpening with difference of smoothing operators. *Frontiers in ICT*, 2, 22.
- [15] Chen, X., & Lv, L. (2013, November). A Composite Contrast Enhancement Algorithm of IR Image. In *Information Technology and Applications (ITA)*, 2013 International Conference on (pp. 58–62). IEEE.
- [16] Mahalakshmi, A., & Shanthini, B. (2016, January). A survey on image deblurring. In *Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, 2016 International Conference on (pp. 1–5). IEEE.
- [17] Riji, R., Rajan, J., Sijbers, J., & Nair, M. S. (2015). Iterative bilateral filter for Rician noise reduction in MR images. *Signal, Image and Video Processing*, 9(7), 1543–1548.
- [18] Pham, C. C., & Jeon, J. W. (2014). Efficient image sharpening and denoising using adaptive guided image filtering. *IET Image Processing*, 9(1), 71–79.
- [19] Zhang, Q., Shen, X., Xu, L., & Jia, J. (2014, September). Rolling guidance filter. In *European conference on computer vision* (pp. 815–830). Springer, Cham.
- [20] Xu, Li., Yan, Q., Xia, Y., & Jia, J. (2012). Structure extraction from texture via relative total variation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 31(6), 139.
- [21] Li, Q., Lin, W., & Fang, Y. (2016). No-reference quality assessment for multiply-distorted images in gradient domain. *IEEE Signal Processing Letters*, 23(4), 541–545.
- [22] Chen, Z., Jiang, T., & Tian, Y. (2014). Quality assessment for comparing image enhancement algorithms. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3003–3010).
- [23] Liu, N., & Zhai, G. (2017). Free Energy Adjusted Peak Signal to Noise Ratio (FEA-PSNR) for Image Quality Assessment. *Sensing and Imaging*, 18(1), 11.
- [24] 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.
- [25] Narvekar, N. D., & Karam, L. J. (2011). A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of



اسما رحیمی در سال ۱۳۹۶ مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز اخذ نمود. نامبرده در حال حاضر به عنوان عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی به فعالیت پژوهشی خود ادامه می‌دهد. زمینه‌های

تحقیقاتی مورد علاقه ایشان، پردازش تصویر و بینایی ماشین است و تا به حال موفق به چاپ چهار مقاله در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی شده است.



محمدامین شایگان استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، در سال ۱۳۹۴ دکترای مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه UM کشور مالزی دریافت نموده است. وی از سال ۱۳۷۴ تا به حال به عنوان عضو هیئت علمی گروه مهندسی کامپیوتر، مشغول به فعالیت‌های آموزشی و

پژوهشی بوده و در حال حاضر ریاست دانشکده فنی و مهندسی این واحد دانشگاهی را بر عهده دارد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی، هوش مصنوعی، بازشناسی الگو، پردازش تصویر و بینایی ماشین است.

Images using Wavelets and Image Fusion. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 9(3).

- [38] Lee, E., Kim, S., Kang, W., Seo, D., & Paik, J. (2013). Contrast enhancement using dominant brightness level analysis and adaptive intensity transformation for remote sensing images. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 10(1), 62-66.
- [39] Zhu, X., & Milanfar, P (2011, January). Restoration for weakly blurred and strongly noisy images. In *Applications of Computer Vision (WACV), 2011 IEEE Workshop on* (pp. 103-109). IEEE.
- [40] Ponomarenko, N., Jin, L., Ieremeiev, O., Lukin, V., Egiazarian, K., Astola, J., ...& Kuo, C. C. J. (2015). Image database TID2013: Peculiarities, results and perspectives. *Signal Processing: Image Communication*, 30, 57-77.
- [41] Umbaugh, S. E. (2016). *Digital image processing and analysis: human and computer vision applications with CVPtools*. CRC press.
- [42] Kou, F., Chen, W., Li, Z., & Wen, C. (2014). Content adaptive image detail enhancement. *IEEE Signal Processing Letters*, 22(2), 211-215.
- [43] Kou, F., Chen, W., Wen, C., & Li, Z. (2015). Gradient domain guided image filtering. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(11), 4528-4539.
- [44] Toet, A. (2016). Alternating guided image filtering. *Peer J Computer Science*, 2, e72.