

# وفقی سازی پارامترهای فیلتر دوطرفه برای نگاشت تون تصاویر دارای گستره پویایی زیاد

اسما رحیمی<sup>۱</sup> محی‌الدین مرادی<sup>۲</sup>

۱- دانشکده فنی مهندسی رسانه- دانشگاه صداوسیما- تهران- ایران  
[rahimi.asma15@gmail.com](mailto:rahimi.asma15@gmail.com)

۲- دانشکده فنی مهندسی رسانه - دانشگاه صداوسیما- تهران- ایران  
[m\\_moradi@iribu.ac.ir](mailto:m_moradi@iribu.ac.ir)

**چکیده:** این پژوهش یک روش نگاشت تون<sup>۱</sup> مناسب را برای به دست آوردن تصاویر با گستره پویایی کم<sup>۲</sup> یا LDR از روی تصاویر با گستره پویایی زیاد<sup>۳</sup> یا HDR، پیشنهاد می‌کند. روش پیشنهادی از نوعی فیلتر دوطرفه وفقی<sup>۴</sup> استفاده می‌کند که در آن از طریق نقشه گرادیان<sup>۵</sup> پارامترهای شباهت فضایی<sup>۶</sup> و محدوده‌ای<sup>۷</sup> فیلتر برای تمامی پیکسل‌ها به‌طور جداگانه تعیین می‌شوند. با اختصاص پارامترهای شباهت بزرگ‌تر به پیکسل‌های مناطق مسطح در مقایسه با پیکسل‌های نواحی غیر مسطح و لبه، فیلتر پیشنهادی قادر است با تغییرات شدید پیکسل‌های تصاویر HDR تطابق دقیق‌تری داشته باشد تا اثر پیکسل‌های روشن تصاویر HDR بر نواحی تاریک مجاور کاهش یابد و از ایجاد هاله در تصاویر LDR خروجی جلوگیری شود. همچنین برای جلوگیری از اعوجاج احتمالی مؤلفه‌های رنگی در پردازش نگاشت تون، از کانال V فضای رنگ HSV<sup>۸</sup> استفاده شده است. برای سرعت بخشی به عملیات نگاشت تون، از نمونه تسریع یافته فیلتر دوطرفه وفقی پیشنهادی استفاده شده است. نتایج این تحقیق مؤید اثربخشی الگوریتم پیشنهادی را در تولید تصاویر LDR باکیفیت و نیز زمان اجرای قابل قبول در مقایسه با الگوریتم‌های مشابه است.

**واژه‌های کلیدی:** تصاویر با محدوده دینامیکی زیاد، نگاشت تون، فیلتر دوطرفه وفقی، گرادیان، فضای رنگ HSV

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.20.3.35

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۶

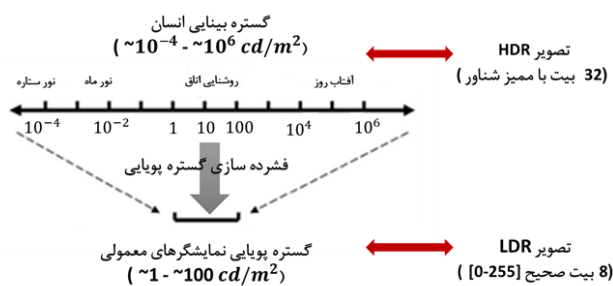
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر محی‌الدین مرادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - تهران - خیابان ولی‌عصر (عج) - دانشگاه صداوسیما جمهوری اسلامی

## ۱- مقدمه

گستره پویایی<sup>۱</sup> به نسبت میان حداکثر و حداقل روشنایی<sup>۱۱</sup> موجود در یک تصویر اطلاق می‌شود. در یک تصویر دارای گستره پویایی زیاد قابلیت نمایش هم‌زمان صحنه‌های روشن و تاریک در کنار هم وجود دارد. این‌گونه تصاویر می‌توانند طیف وسیعی از رنگ و روشنایی را ارائه دهند تا تصاویر واقعی و جذاب‌تر باشد. در شکل (۱) گستره پویایی چشم انسان و نمایشگرهای معمولی با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود توانایی چشم انسان در مشاهده گستره پویایی بسیار فراتر از نمایشگرهای متداول است. در حال حاضر اغلب نمایشگرهای موجود از نوع LDR هستند و نمی‌توانند تصاویر HDR را به‌درستی نمایش دهند؛ بنابراین کاهش گستره پویایی با استفاده از یک نگاشت تون مناسب برای تصاویر HDR ضروری است تا بتوان این تصاویر را در نمایشگرهای با گستره پویایی کم به‌درستی نمایش داد. یک نگاشت تون، ضمن کاهش گستره پویایی، ظاهر تصویر اصلی را از نظر رنگ و روشنایی نیز حفظ می‌کند.



شکل (۱): مقایسه گستره پویایی تصاویر HDR و LDR

مقالات زیادی در حوزه تحقیقات نگاشت تون منتشر شده است که روش‌های متعددی را برای انتخاب در اختیار محققین قرار می‌دهند. روش‌های نگاشت تون مبتنی بر یادگیری عمیق همانند [۱]، [۲]، [۳]، [۴] و [۵] از جمله روش‌های مطرح هستند. این روش‌ها نیازمند مجموعه پایگاه داده عظیم از تصاویر HDR و LDR واقعی است که به دلیل عدم امکان ایجاد تصاویر HDR و LDR با یک زاویه دید یکسان از یک صحنه واحد توسط دو سیستم تصویربرداری متفاوت و نیز اختلاف در عملکرد سیستم‌های تصویربرداری گوناگون، تهیه پایگاه داده مناسب موضوع چالش‌برانگیزی است.

دسته‌ای دیگر از تحقیقات همانند [۶]، [۷] و [۸] بر تجزیه تصاویر HDR تمرکز دارند که ایده اصلی در اغلب آن‌ها تجزیه تصویر به دو مؤلفه پایه و جزئیات است. پردازش‌های مختلفی بر روی هر دو مؤلفه استخراج شده صورت می‌گیرد و با ترکیب آن‌ها با یکدیگر، تصویر LDR خروجی به دست خواهد آمد. به‌طور کلی می‌توان روش‌های تجزیه تصاویر را در دودسته قرار داد: روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی سراسری<sup>۱۱</sup> و روش‌های مبتنی بر فیلترهای محلی<sup>۱۲</sup>. روش‌های مبتنی

بر بهینه‌سازی سراسری همانند [۶] و [۹] از حل مسئله بهینه‌سازی که از دو جزء منظم‌سازی<sup>۱۳</sup> و داده تشکیل شده است به دست می‌آیند. باوجوداینکه روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی سراسری معمولاً دارای کیفیت قابل قبولی هستند، با این حال دارای بار محاسباتی و زمان بر می‌باشند. دسته دیگر شامل فیلترهای محلی همانند فیلتر هدایت‌شده تصاویر<sup>۱۴</sup> [۱۰]، فیلتر وزن‌دار هدایت‌شده تصاویر<sup>۱۵</sup> [۱۱]، فیلتر هدایت‌شده تصاویر در حوزه گرادیان<sup>۱۶</sup> [۱۲]، فیلتر دوطرفه<sup>۱۷</sup> [۱۳] و انواع تسریع یافته آن می‌باشند [۱۴]، [۱۵] و [۱۶]. باوجوداینکه روش‌های مبتنی بر فیلترهای هدایت‌شده دارای بار محاسباتی کمتری هستند، با این حال فیلترهای غیرخطی مورد استفاده در آن‌ها در برابر گوشه‌های موجود در محتوای تصویر و کنتراست زیاد تصاویر HDR به میزان کافی وفقی و انعطاف‌پذیر نیستند و همین امر باعث ایجاد هاله و رنگ‌های غیرطبیعی در گوشه‌های تصاویر LDR نگاشت شده نهایی می‌شود.

استفاده از روش‌های مبتنی بر فیلتر دوطرفه به علت توانایی تجزیه تصاویر به مقیاس‌های مختلف، در کاربردهای گوناگون از قبیل حذف نویز، حذف بلوک‌های ایجادشده در اثر فشرده‌سازی، افزایش تیزی و نگاشت تون مورد توجه است.

وفقی‌سازی پارامترهای فیلتر دوطرفه برای کاربردهایی نظیر بهبود جزئیات در [۱۷]، حذف نویز در [۱۸]، حذف بلوک‌های تصاویر فشرده‌شده در [۱۹] و فیلتر کردن نوشته‌های متنی در [۲۰] مورد مطالعه قرار گرفته است. در مرجع [۱۷] نوعی روش بهبود جزئیات با استفاده از فیلتر دوطرفه وفقی پیشنهاد شده است که پارامترهای آن برای هر پیکسل از روی نقشه برجستگی<sup>۱۸</sup> تعیین می‌شوند. در مرجع [۱۹]، نوعی نقشه ناپیوستگی مرزی بلوکی<sup>۱۹</sup> برای وفقی‌سازی پارامترهای فیلتر دوطرفه برای حذف بلوک‌های ایجادشده در اثر فشرده‌سازی استفاده شده است که کاملاً با کاربرد مورد نظر این تحقیق متفاوت است. در مرجع [۱۸] برای مشخص کردن مقادیر وفقی پارامتر شباهت محدوده‌ای فیلتر دوطرفه برای کاربرد حذف نویز از فیلتر لاپلاسیس گوسی<sup>۲۰</sup> به همراه تصویرسازی مقادیر مطلق خروجی استفاده شده است. تابع لاپلاسیس گوسی نوعی عملگر ایزوتروپیک<sup>۲۱</sup> است که قبل از اعمال عملگر لاپلاسیس تصویر را با فیلتر گوسی برای کاهش نویز فیلتر می‌کند. عبور از صفر<sup>۲۲</sup> تابع لاپلاسیس گوسی هنگامی که تصویر حاوی گوشه‌های بسیار تیز نباشد معمولاً محلی سازی بهتری را ارائه می‌دهد و لذا برای کاربرد حذف نویز ایده آل است. با این حال هنگامی که تصویر مورد نظر همانند تصاویر HDR حاوی تغییرات شدید مقادیر شدت روشنایی و نویز کم باشد، استفاده از این عملگر ممکن است انتخاب مناسبی نباشد. آنچه مورد توجه قرار گرفته وفقی‌سازی این پارامترها برای کاربرد نگاشت تون تصاویر HDR است که کمی با کاربردهای دیگر آن فرق دارد که در حقیقت موضوع این پژوهش معطوف به این امر خواهد بود.

در روابط فوق مقادیر پارامترهای شباهت دامنه‌ای  $\sigma_r$  و فضای  $\sigma_s$  نشان‌دهنده‌ی عرض کرنل‌های محدوده‌ای  $\Phi$  و فضای  $\psi$  می‌باشند. با این حال استفاده از فیلتر دوطرفه کلاسیک ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل هاله در اطراف برخی گوشه‌ها و یا ایجاد برخی مصنوعات ناخواسته در برخی نقاط تصویر شود. دلیل این امر استفاده از پارامترهای شباهت فضایی و دامنه‌ای یکسان برای تمامی پیکسل‌های تصویر است. پیدا کردن روش مناسب برای وفقی سازی پارامترهای فیلتر دوطرفه متناسب با محتوای تصویر و کاربرد مورد نظر می‌تواند عملکرد فیلتر دوطرفه را بهبود ببخشد.

جهت درک بهتر موضوع، تفکیک لایه بازتاب و نگاشت تون با استفاده از فیلتر دوطرفه غیر وفقی در شکل (۲) نشان داده شده است. تصویر HDR ورودی در شکل (۲-الف) نشان داده شده است. تصاویر LDR (۲-پ) و (۲-ث) با تبدیل تصویر HDR ورودی از طریق یک فیلتر دوطرفه با انتخاب مقادیر ثابت برای پارامترهای فیلتر حاصل شده است. تصویر خروجی LDR شکل (۲-پ) و جزئیات استخراج شده در تصویر (۲-ت) مربوطه بیانگر آن است که انتخاب مقادیر ثابت بزرگ برای پارامترهای فیلتر دوطرفه برای تمامی پیکسل‌ها، باعث استخراج و حفظ جزئیات تصویر نهایی شده ولی در عین حال باعث به وجود آمدن اثر هاله‌ای در لبه پنجره شده است. در حقیقت از مجاورت دو ناحیه با اختلاف زیاد مقادیر شدت روشنایی، اثرات هاله‌ای ایجاد می‌شود. برای مثال در مجاورت پنجره روشن با نواحی تاریک مجاور آن، پیکسل‌های روشن می‌توانند بر روی پیکسل‌های تاریک تأثیر داشته باشند و موجب به وجود آمدن هاله در اطراف نواحی روشن‌تر شوند. همچنین اگر پارامترهای فیلتر دوطرفه برای تمامی پیکسل‌ها مقادیر کوچکی انتخاب شوند، همان‌طور که از نتایج تصویر LDR شکل (۲-ث) و تصویر جزئیات استخراج شده شکل (۲-ج) مشخص است، جزئیات تمامی نواحی تصویر آن‌طور که باید استخراج نمی‌شوند و گوشه‌های تصویر LDR نهایی ممکن است تار شوند.

این مشاهدات ما را به این نتیجه می‌رساند که با توجه به محتوای تصاویر HDR، مقادیر شباهت دامنه‌ای یا  $\sigma_r$  برای هر پیکسل به گونه وفقی انتخاب شود تا بروز از این‌گونه اشکالات در تصویر LDR خروجی جلوگیری شود. از طرف دیگر مایلیم مقادیر شباهت فضایی یا  $\sigma_s$  نیز به نحوی تعیین شوند تا از هموارسازی بیش از حد در برخی نواحی جلوگیری شود. برای نواحی مسطح، مقادیر  $\sigma_s$  می‌توانند بزرگ انتخاب شوند؛ در غیر این صورت باید کوچک انتخاب شوند.

به علت هزینه بالای محاسباتی فیلتر دوطرفه که برای نوع وفقی آن نیز صادق است، استفاده از روش‌های سریع این فیلتر مورد نیاز است. با وجود این که روش‌های زیادی برای پیاده‌سازی سریع فیلتر دوطرفه معرفی شده‌اند، بیشتر این روش‌ها فقط برای کرنل‌های ثابت کاربرد دارند. در مرجع [۱۴] روش سریعی برای پیاده‌سازی فیلتر دوطرفه پیشنهاد شده است که برای کرنل‌های وفقی نیز کاربرد دارد. در این مقاله روشی مناسب برای نگاشت تون تصاویر ارائه شده است که نتایج حاصل از آن تأیید کننده عملکرد مطلوب آن در سایر تصاویر است. در ادامه در بخش دوم به معرفی و پیاده‌سازی روش پیشنهادی پرداخته خواهد شد. در بخش سوم به ارزیابی و مقایسه نتایج به دست آمده با استفاده از روش پیشنهادی و سایر روش‌ها پرداخته خواهد شد. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی پژوهش نیز در بخش چهار ارائه خواهد شد.

## ۲- معرفی روش پیشنهادی

در این مقاله، روشی مبتنی بر تجزیه برای به دست آوردن تصاویر LDR از تصاویر HDR پیشنهاد شده است که از نوعی فیلتر دوطرفه وفقی استفاده می‌کند. هدف وفقی سازی پارامترهای فیلتر دوطرفه برای نگاشت تون تصاویر دارای گستره پویایی زیاد است. در حقیقت خروجی فیلتر دوطرفه را می‌توان به عنوان مؤلفه روشنایی و یا لایه پایه تصویر ورودی به حساب آورد. بعد از استخراج لایه پایه، لایه بازتاب تصویر ورودی نیز با روش مناسب تعیین و برای ساخت تصویر LDR خروجی، این دو مؤلفه با یکدیگر ترکیب خواهند شد. اگر ورودی فیلتر دوطرفه را با  $g$  و خروجی آن را با  $f$  نشان دهیم، خواهیم داشت [۱۳]:

$$f(i) = \eta(i)^{-1} \sum_{j \in \Omega} \psi(j) \phi(g(i-j) - g(i)) g(i-j) \quad (1)$$

که در آن  $z$  نشان‌دهنده پیکسل‌های پنجره  $\Omega$ ،  $i$  پیکسل مرکزی پنجره  $\Omega$  و  $\eta(i)$  فاکتور نرمال سازی است که به طریق زیر قابل محاسبه است:

$$\eta(i) = \sum_{j \in \Omega} \psi(j) \phi(g(i-j) - g(i)) \quad (2)$$

در این رابطه  $\Phi$  کرنل محدوده‌ای<sup>۲۳</sup> گوسی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi(z) = \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

و  $\psi$  کرنل فضایی<sup>۲۴</sup> گوسی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\psi(j) = \exp\left(-\frac{j^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (4)$$

استخراج شده با تصویر مورد پردازش، از این اطلاعات برای مشخص کردن مقادیر وقتی پارامترهای فیلتر دوطرفه استفاده خواهد شد. لذا در این پژوهش، با وقتی سازی هر دو پارامتر شباهت محدوده‌ای و فضایی از طریق مقادیر گرادیان، فیلتر وقتی شده نسبت به سایر فیلترها منعطف‌تر عمل می‌کند و همین امر باعث می‌شود گوشه‌ها به‌طور مطلوب حفظ و از اثر هاله‌ای جلوگیری شود.

## ۱-۲- تعیین پارامترهای فیلتر دوطرفه وقتی

### پیشنهادی

در این بخش به معرفی تعمیمی از فیلتر دوطرفه خواهیم پرداخت که مقادیر شباهت دامنه‌ای و فضایی آن به ازای هر پیکسل متناسب با محتوای تصویر انتخاب می‌شوند. اگر ورودی فیلتر دوطرفه وقتی را با  $g$  و خروجی آن را با  $f$  نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$f(i) = \eta(i)^{-1} \sum_{j \in \Omega} \psi_i(j) \phi_i(g(i-j) - g(i)) g(i-j), \quad (5)$$

که در آن  $\eta(i)$  فاکتور نرمال‌سازی است و به طریق زیر قابل محاسبه است:

$$\eta(i) = \sum_{j \in \Omega} \psi_i(j) \phi_i(g(i-j) - g(i)). \quad (6)$$

$\Phi_i$  کرنل محدوده‌ای گوسی وقتی برای پیکسل مرکزی پنجره  $\Omega$  است و مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\phi_i(z) = \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_s(i)^2}\right). \quad (7)$$

$\psi_i$  کرنل فضایی گوسی وقتی برای پیکسل مرکزی پنجره  $\Omega$  است و مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\psi_i(j) = \exp\left(-\frac{j^2}{2\sigma_r(i)^2}\right). \quad (8)$$

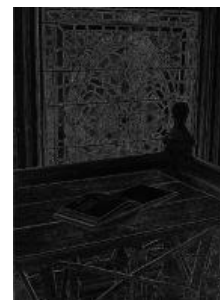
روابط (۵) تا (۸) مشابه روابط فیلتر دوطرفه کلاسیک (۱) تا (۴) می‌باشند، با این تفاوت که در فیلتر دوطرفه وقتی مقادیر پارامترهای شباهت دامنه‌ای  $\sigma_r(i)$  و فضایی  $\sigma_s(i)$  می‌توانند پیکسل به پیکسل تغییر کنند. برای این منظور، اطلاعات گرادیان تصویر ورودی به‌عنوان شاخص نمایانگر گوشه‌ها استخراج می‌شوند تا بتوان با استفاده از آن مقادیر وقتی پارامترهای  $\sigma_r(i)$  و  $\sigma_s(i)$  را به ازای هر پیکسل تعیین کرد. اختلاف میان مقادیر پیکسل‌ها در جهات افقی و عمودی می‌تواند به‌عنوان تقریبی از گرادیان در نظر گرفته شود [۲۵]. لذا مقادیر نقشه گرادیان برای هر پیکسل  $i$  از روی دامنه مقادیر گرادیان در جهات افقی و عمودی به شیوه زیر قابل محاسبه است:

$$G_M(i) = \sqrt{G_h(i)^2 + G_v(i)^2} \quad (9)$$

که در آن  $G_M$  نقشه گرادیان استخراج شده برای تصویر ورودی و  $G_h$  و  $G_v$  به ترتیب گرادیان‌های استخراج شده در جهات افقی و عمودی می‌باشند. در شکل (۲-ب) نقشه گرادیان استخراج شده برای تصویر HDR شکل (۲-الف) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(پ)



(ت)



(ث)



(ج)

شکل (۲): (الف) و (ب) تصویر HDR و نقشه گرادیان، (پ) و (ت) تصویر LDR برای مقادیر بزرگ پارامترهای فیلتر و جزئیات مربوطه، (ث) و (ج) تصویر LDR برای مقادیر کوچک پارامترهای فیلتر و جزئیات مربوطه

عملگر گرادیان عملکرد نسبتاً خوبی را در استخراج اطلاعات مربوط به گوشه‌های تصاویر از خود نشان می‌دهد. به همین دلیل در این پژوهش از اطلاعات گرادیان برای به دست آوردن پارامترهای وقتی فیلتر دوطرفه استفاده می‌شود. ایده اصلی اغلب الگوریتم‌های بر پایه گرادیان همچون [۲۱] و [۲۲]، تغییر مقادیر گرادیان استخراج شده از تصویر به‌عنوان لایه جزئیات و سپس ترکیب آن‌ها برای به دست آوردن تصویر خروجی است. ترکیب مستقیم مقادیر گرادیان استخراج شده با تصویر مورد پردازش برای کاربردهایی نظیر افزایش جزئیات<sup>۲۵</sup>، ترمیم تصاویر [۲۳]، و افزایش تفکیک پذیری [۲۴] نتایج نسبتاً قابل‌قبولی را به همراه دارد اما سبب به وجود آمدن برخی مصنوعات بصری و جزئیات بیش‌ازحد اغراق شده می‌شود که در خروجی تصاویر نگاشت شده مطلوب نیست. در این تحقیق به‌جای ترکیب مستقیم مقادیر گرادیان

$$\sigma_s(i) = \left( \frac{\sigma_{s \min} - \sigma_{s \max}}{\max(G_M)} \right) G_M(i) + \sigma_{s \max} \quad (14)$$

استفاده از توابع تصویرساز خطی روابط (۱۳) و (۱۴) این امکان را می‌دهند که مقادیر شباهت دامنه‌ای  $\sigma_r(i)$  و شباهت فضایی  $\sigma_s(i)$  به صورت معکوس متناسب با مقادیر  $G_M(i)$  در بازه‌های  $(\sigma_{r \min}, \sigma_{r \max})$  و  $(\sigma_{s \min}, \sigma_{s \max})$  انتخاب شوند.

## ۲-۲- پیاده‌سازی سریع فیلتر دوطرفه و فقی

### پیشنهادی با استفاده از تخمین هیستوگرام

هزینه محاسباتی زیاد یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های فیلتر دوطرفه و نوع و فقی آن است. فیلتر دوطرفه کلاسیک می‌تواند به صورت مجموع وزن دار شدت پیکسل‌های محلی تعریف شود [۲۶]. همچنین استفاده از ایده‌های مشابه با مرجع [۱۴] باعث به وجود آمدن الگوریتم سریع و کارآمدی برای انجام محاسبات فیلتر دوطرفه خواهد شد که کرنل محدوده‌ای آن و فقی است. با توجه به راندمان مطلوب این روش، در این پژوهش از روش پیشنهادی در این مرجع استفاده شده است. ویژگی جالب این روش در این است که برخلاف روش‌های دیگر مبتنی بر هیستوگرام، این روش شامل هیچ‌گونه اثر تخمین کرنل نیست و تخمین فقط برای هیستوگرام محلی است. فرآیند تخمین فقط شامل یک کانولوشن با کرنل فضایی است که شامل هیچ‌کدام از پارامترهای کرنل محدوده‌ای نیست؛ بنابراین حتی اگر پارامترها به صورت و فقی انتخاب شوند ساختار رسمی الگوریتم بدون تغییر خواهد ماند. در مرجع [۱۴]، کانولوشن گوسی با کرنل فضایی ثابت با استفاده از فیلتر گوسی تکرار شونده با پیچیدگی محاسباتی از مرتبه یک محاسبه شده است. برای پیاده‌سازی کانولوشن گوسی با کرنل فضایی و فقی فیلتر پیشنهادی، مجبور به استفاده از روش غیر سریع شده‌ایم که زمان اجرای آن متناسب با  $\sigma_s$  است. در حقیقت زمان مربوط به انجام کانولوشن‌های گوسی کل زمان اجرای الگوریتم را تحت الشعاع قرار می‌دهد. ولی باین حال تأثیر چندانی در افزایش زمان اجرای کل الگوریتم ندارد و زمان کل اجرای الگوریتم چندین مرتبه سریع‌تر از پیاده‌سازی فیلتر دوطرفه به روش غیر سریع است.

## ۲-۳- تعریف نگاشت تون تصاویر HDR با

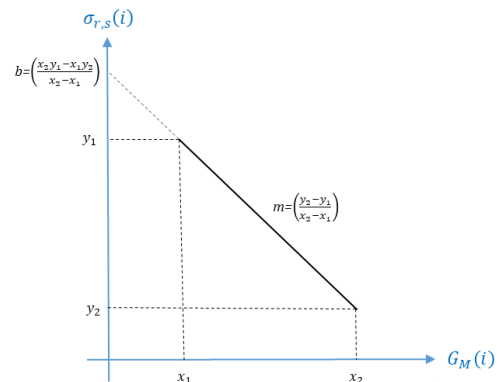
### استفاده از فیلتر دوطرفه و فقی پیشنهادی

در این بخش فیلتر پیشنهادی برای طراحی نگاشت تبدیل تصاویر HDR به تصاویر LDR مورد استفاده قرار گرفته است. در اغلب روش‌های نگاشت تون کلاسیک، فشرده‌سازی گستره پویایی بر روی مؤلفه روشنایی استخراج شده صورت می‌گیرد و پردازش مؤلفه‌های رنگی  $R$  و  $G$  و  $B$  در عملیات پس پردازش صورت می‌گیرد. این روش در اکثر موارد دارای نتایج نسبتاً قابل قبولی است، ولی به علت عملیات پس پردازش می‌تواند باعث به وجود آمدن رنگ‌های غیرطبیعی در

برای تعیین و فقی پارامترهای فیلتر، مقادیر شباهت دامنه‌ای  $\sigma_r(i)$  و شباهت فضایی  $\sigma_s(i)$  می‌توانند به صورت معکوس متناسب با مقادیر  $G_M(i)$  انتخاب شوند. به بیان دیگر برای هر پیکسل مقادیر بزرگ  $\sigma_r(i)$  و  $\sigma_s(i)$  زمانی انتخاب می‌شوند که پیکسل در ناحیه مسطح تصویر قرار بگیرد و مقادیر کوچک نیز برای نواحی گوشه در نظر گرفته می‌شوند. پیکسل‌های نقاط گوشه معمولاً حاوی اطلاعات مهم‌تری نسبت به پیکسل‌های مناطق مسطح می‌باشند و با نسبت دادن مقادیر کوچک‌تر پارامترهای شباهت دامنه‌ای و فضایی به این پیکسل‌ها که به معنای وزن بیشتر برای پیکسل‌های مورد نظر است، پارامترهای و فقی فیلتر مورد نظر تطابق بیشتر و دقیق‌تری با ساختار سیستم بینایی انسان خواهد داشت. یکی از راه‌های محاسبه مقادیر و فقی این پارامترها استفاده از نوعی تابع تصویرساز است که بتواند مقادیر کوچک نقشه گرادین را به مقادیر بزرگ این پارامترها و برعکس تصویر کند. تابع تصویرساز استفاده شده به صورت زیر قابل تعریف است:

$$\sigma_{r,s}(i) = \left( \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) G_M(i) + \left( \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1} \right), \quad (10)$$

نحوه تصویرسازی مقادیر  $G_M(i)$  به مقادیر  $\sigma_r(i)$  و  $\sigma_s(i)$  با استفاده از تابع رابطه (۱۰) در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل (۳): تابع تصویرساز خطی رابطه (۱۰)

مقادیر  $x_1, x_2, y_1, y_2$  تابع تصویرساز به صورت‌های زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$$(x_1, x_2) = (0, \max(G_M)), \quad (11)$$

$$(y_1, y_2) = (\sigma_{r,s \max}, \sigma_{r,s \min}), \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) مقادیر  $\sigma_{r,s \max}$  و  $\sigma_{r,s \min}$  به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر مجاز برای پارامترهای شباهت دامنه‌ای  $\sigma_r(i)$  و شباهت فضایی  $\sigma_s(i)$  را مشخص می‌کنند. با جایگذاری مقادیر  $x_1, x_2, y_1, y_2$  از روابط (۱۱) و (۱۲) در رابطه (۱۰) مقادیر شباهت دامنه‌ای  $\sigma_r(i)$  و شباهت فضایی  $\sigma_s(i)$  مطابق روابط زیر حاصل خواهند شد:

$$\sigma_r(i) = \left( \frac{\sigma_{r \min} - \sigma_{r \max}}{\max(G_M)} \right) G_M(i) + \sigma_{r \max} \quad (13)$$

و

$$B(i) = \eta(i)^{-1} \sum_{j \in \Omega} \psi_i(j) \phi_i(V_s(i-j) - V_s(i)) V_s(i-j) \quad (17)$$

که در آن  $B(i)$  مؤلفه لایه پایه تصویر ورودی می‌باشند. بعد از استخراج لایه پایه، می‌توان مؤلفه بازتاب یا همان  $R(i)$  را در حوزه لگاریتمی به صورت زیر از مدل محاسباتی ذکر شده بر پایه رتینکس محاسبه کرد [۲۸]:

$$R(i) = V_s(i) - B(i) \quad (18)$$

بعد از استخراج مؤلفه‌های پایه و بازتاب، مقادیر لایه پایه استخراج شده باید به بازه  $[0, 255]$  تصویر شوند. در اینجا به منظور تسریع بخشی به فرآیند نگاشت تون از تابع "tonemap" موجود در نرم‌افزار متلب برای تصویرسازی استفاده شده است. در نهایت مقادیر اصلاح‌شده  $V$  به ازای هر پیکسل از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۸]:

$$V_M(i) = B_M(i) + R(i) \quad (19)$$

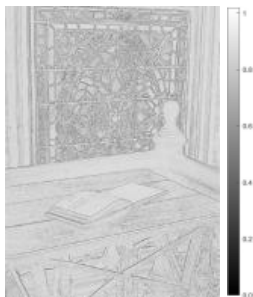
که در آن  $B_M(i)$  مقادیر تصویر شده لایه پایه به بازه  $[0, 255]$ ،  $R(i)$  مؤلفه بازتاب به دست آمده از رابطه (۱۸) و  $V_M(i)$  نیز مقادیر اصلاح‌شده کانال  $V$  تصویر LDR خروجی است. بعد از به دست آمده آوردن مؤلفه  $V$  اصلاح‌شده و ترکیب آن با مؤلفه‌های  $S$  و  $H$  تصویر HDR ورودی، نیاز به تبدیل فضای رنگ HSV به RGB وجود دارد تا بتوان تصویر LDR خروجی را نمایش داد. جزئیات استخراج‌شده و تصویر LDR نهایی شکل‌های (۴-ب) و (۴-الف) با استفاده از اعمال الگوریتم فوق بر روی تصویر HDR ورودی شکل (۲-الف) با استفاده از اعمال مقادیر مشخص شده  $\sigma_r(i)$  و  $\sigma_s(i)$ ، به دست آمده آمده‌اند.



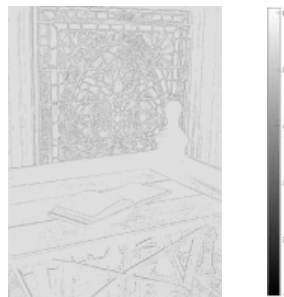
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل (۴): (الف) و (ب) تصویر LDR برای مقادیر وقتی پارامترهای فیلتر و جزئیات مربوطه، (پ) و (ت) تصویر پارامترهای  $\sigma_r(i)$  و  $\sigma_s(i)$

مؤلفه‌های رنگی شود. یکی از راه‌حل‌های موجود می‌تواند تغییر فضای رنگی موجود برای جلوگیری از انجام پس پردازش جداگانه بر روی مؤلفه‌های رنگی باشد. هدف ما به دست آوردن روش محاسباتی کارآمدی برای جلوگیری از هرگونه اعوجاج در فضای رنگ است که در اثر پردازش جداگانه کانال‌های رنگی در فضای RGB به وجود می‌آید. لذا در این پژوهش، تمامی محاسبات مربوط به فرآیند نگاشت تون از فضای رنگ RGB به فضای HSV منتقل می‌شوند. در فضای رنگ HSV ارتباط میان رنگ‌ها به شیوه دقیق‌تر و بهتری نسبت به RGB توصیف شده است. اگر تصویر موردنظر در فضای RGB را با  $O$  نمایش دهیم، نحوه استخراج مؤلفه  $V$  به صورت زیر است:

$$V(i) = \max_{c \in \{R, G, B\}} (O^c(i)). \quad (15)$$

که در آن  $i$  نشان دهنده مکان هر پیکسل و  $c$  برچسب هر کدام از کانال‌های رنگی است. بعد از استخراج مؤلفه  $V$  تصویر ورودی، نوعی فشرده‌سازی سراسری بر روی گستره پویایی اولیه صورت می‌گیرد. می‌توان این عملیات را همانند مرحله اول پردازش در سیستم بینایی انسان دانست که در آن نوعی وقتی سازی کلی صورت می‌گیرد [۲۷]. برای هر پیکسل، مقادیر مقیاس شده  $V$  یا  $V_s$  را می‌توان از نسبت میان لگاریتم مقادیر  $V$  و ماکزیمم اندازه موجود در صحنه یا  $V_{max}$  به دست آورد. تابع لگاریتمی را می‌توان تخمینی از رفتار سیستم بینایی انسان دانست. باین حال استفاده از تابع لگاریتمی بدون اشکال نیست زیرا این تابع مقادیر بین  $[0, 1]$  را به بازه  $(-\infty, 0)$  تصویر می‌کند. همین امر باعث می‌شود نواحی تیره تصاویر HDR که پیکسل‌های آن دارای مقادیر کوچک هستند به مقادیر منفی نگاشت شوند که مطلوب نیست. لذا ثابت کوچکی که در اینجا یک در نظر گرفته شده است به مقادیر ورودی تابع لگاریتمی اضافه شده است تا جلوی این تصویرسازی نامطلوب گرفته شود. لذا برای به دست آوردن مؤلفه  $V$  مقیاس شده خواهیم داشت:

$$V_s(i) = \frac{\log(V(i) + 1)}{\log(V_{max} + 1)} \quad (16)$$

این نوع تصویرسازی این تضمین را می‌دهد گستره پویایی تصویر ورودی هر چقدر باشد، حداکثر به عدد یک نگاشت می‌شود و مقادیر دیگر نیز با شیب ملایم به مقادیر میانی بازه بین  $[0, 1]$  نگاشت شوند. در ادامه برای تفکیک لایه پایه از لایه جزئیات، لازم است از یک فیلتر حفظ‌کننده لبه استفاده شود. برای این منظور از فیلتر وقتی پیشنهادی با توابع فضایی و محدوددهای وقتی استفاده خواهد شد. مقادیر به دست آمده برای پارامترهای  $\sigma_r(i)$  و  $\sigma_s(i)$  از روی روابط (۱۳) و (۱۴) به ترتیب در شکل‌های (۴-ب) و (۴-ت) نشان داده شده‌اند.

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، خروجی فیلتر دوطرفه را می‌توان به عنوان مؤلفه روشنایی و یا لایه پایه تصویر ورودی به حساب آورد. به عبارت دیگر اگر ورودی فیلتر دوطرفه وقتی را  $V_s$  در نظر بگیریم، با استفاده از رابطه (۵) خواهیم داشت:

### ۳- نتایج آزمایش‌ها و بحث‌ها

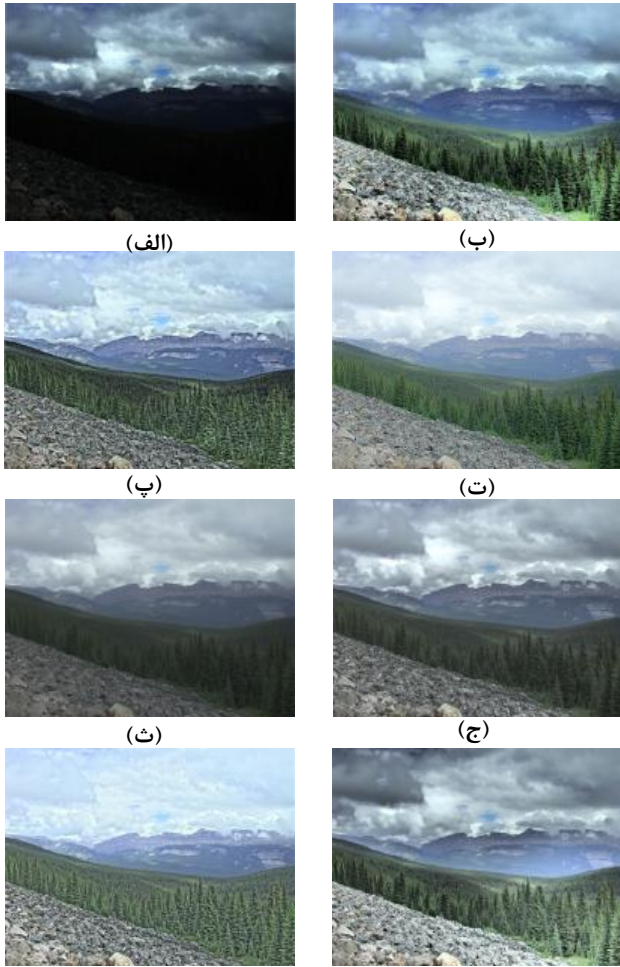
تصویر همانند درختان در شکل (۵-ج) اشاره کرد. از مشکلات اصلی روش گو و همکاران در [۷] می‌توان به عدم نمایش صحیح رنگ‌ها در برخی نقاط تصاویر باوجود حفظ دقیق جزئیات اشاره کرد. برای مثال رنگ مربوط به ابرهای آسمان در شکل (۵-ج) کاملاً غیرطبیعی به نظر می‌رسد. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از روش ینگ و همکاران در [۳۱] عملکرد خوبی در نمایش جزئیات مربوط به تصاویر از خود نشان می‌دهد. باین حال سبب از دست رفتن اشباع رنگ‌ها می‌شود. این اثر در نتایج شکل‌های (۵-ح) و (۶-ح) به خوبی قابل مشاهده است.

در این بخش عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها بر روی مجموعه‌ای از تصاویر HDR به‌طور کامل مورد ارزیابی قرار گرفته است. مجموعه تصاویر HDR مورد استفاده شامل صحنه‌هایی از محیط‌های خارجی، داخلی، شب، روز، انسان، طبیعت، ساختمان و... است. تصاویر HDR ذکر شده از پایگاه‌های داده مختلفی<sup>۲۸۲۲۲۶</sup> جمع‌آوری شده‌اند. در این تحقیق از محیط برنامه‌نویسی Matlab ورژن R2018b بر روی سیستم مجهز به پردازنده i7-6700HQ، 2.6 GHz و با حافظه 16G استفاده شده است. برای ارزیابی کیفیت تصاویر نگاشت شده، در بخش‌های (۳-۱) و (۳-۲) به انجام دو مقایسه کیفی و کمی میان نتایج الگوریتم پیشنهادی و تعدادی از روش‌های نگاشت تون اخیر پرداخته شده است. بررسی انجام شده شامل مقایسه با شش روش نگاشت تون شبیاتا و همکاران در [۲۱]، لی و همکاران در [۲۹]، دوراند و همکاران در [۸]، پاریس و همکاران در [۳۰]، گو و همکاران در [۷] و ینگ و همکاران در [۳۱] است. در پایان در بخش (۳-۳) زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی با سایر الگوریتم‌ها مقایسه و نتایج در قالب جدول ارائه شده‌اند.

#### ۳-۱- ارزیابی بصری<sup>۲۹</sup> تصاویر نگاشت تون شده

در این بخش به مقایسه بصری یا کیفی میان نتایج نگاشت تون حاصل از روش‌های ذکر شده خواهیم پرداخت. شکل‌های (۵) و (۶) نشان‌دهنده نتایج به‌دست‌آمده به ترتیب برای صحنه‌های «طبیعت» و «کلیسا» می‌باشند.

نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از روش شبیاتا و همکاران در [۲۱] دارای کنتراست محلی نسبتاً قابل قبولی است ولی در عین حال مصنوعات بصری زیادی را نیز به وجود آورده است. برای مثال جزئیات درختان در شکل (۵-پ) و طرح و جزئیات دیوارها و سقف در شکل (۶-پ) همگی بیش از حد اغراق شده و غیرطبیعی به نظر می‌رسند. باوجود این-که روش لی و همکاران در [۲۹] تا حدودی قادر به حفظ جزئیات است، این روش اعوجاج زیادی در نمایش رنگ‌ها از خود نشان می‌دهد. برای مثال رنگ آسمان و سنگ‌ها در شکل (۵-ت) و رنگ دیوارها و زمین در شکل (۶-ت) در مقایسه با تصویر ورودی کاملاً غیرطبیعی<sup>۳۰</sup> و رنگ‌پریده<sup>۳۱</sup> به نظر می‌رسند. روش فیلتر دوطرفه سریع برای نمایش تصاویر HDR توسط دوراند و همکاران در [۸] دارای کمبود کنتراست به‌ویژه در نواحی تاریک تصاویر است. برای مثال جزئیات مربوط به نواحی تاریک شکل (۵-ث) و شکل (۶-ث) همگی از عدم وجود کنتراست محلی رنج می‌برند. همچنین اثر هاله‌ای نیز در نتایج به‌دست‌آمده از این روش قابل مشاهده است. باوجود اینکه نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از روش مبتنی بر هرم لاپلاسیسین پاریس و همکاران در [۳۰] نتایج قابل قبولی از جهت حفظ رنگ‌ها و جزئیات تصویر ارائه می‌کند، از مشکلات این روش نیز همانند روش دوراند و همکاران می‌توان به فقدان کنتراست کافی به‌ویژه در نقاط تاریک



شکل (۵): نتایج نگاشت تون برای تصویر HDR ورودی «طبیعت». (الف) تصویر HDR ورودی (ب) تصویر نگاشت شده با روش پیشنهادی (پ) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۲۱] (ت) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۲۹] (ث) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۸] (ج) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۳۰] (چ) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۳۱]

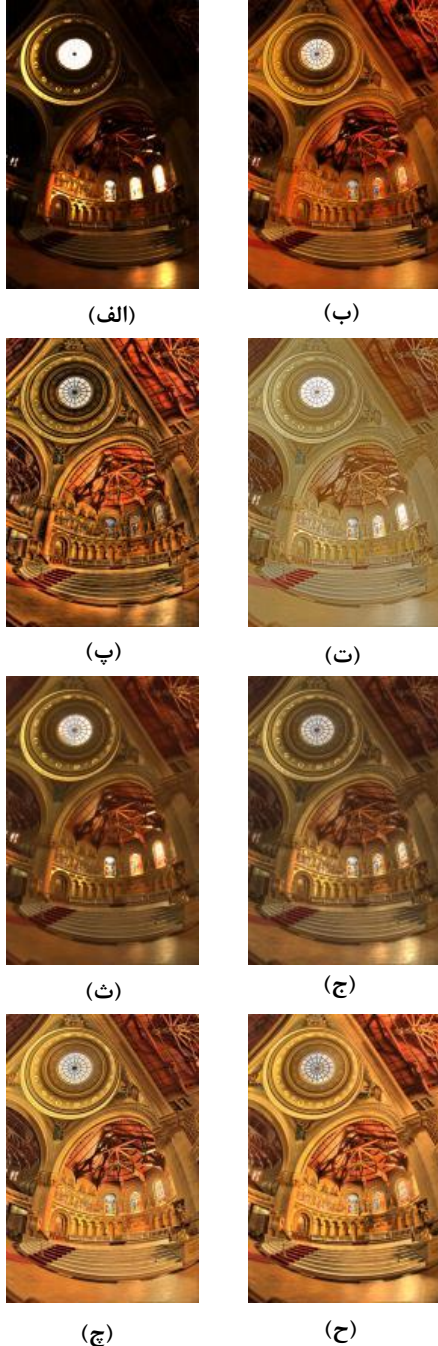
در مقایسه با سایر روش‌ها، به دلیل پردازش وفقی مناسب پیکسل‌های ورودی، روش پیشنهادی نتایج بصری قابل قبول تری از جهت حفظ و نمایش رنگ‌ها و حفظ ساختار محلی تصویر ارائه می‌دهد. همچنین به علت استفاده از نوع وفقی فیلتر دوطرفه هیچ‌گونه هاله‌ای در نتایج

به‌هرحال طراحی معیاری قابل‌اعتماد برای ارزیابی کیفیت تصاویر نگاشت شده مسئله چالش‌برانگیزی است. بر این باور هستیم که ارزیابی بصری نتایج که در بخش (۳-۱) ارائه شد، روش بهتر و مؤثرتری برای مقایسه و ارزیابی میان کیفیت تصاویر نگاشت شده است.

روش پیشنهادی مشاهده نمی‌شود. نسبت به سایر روش‌ها، در روش پیشنهادی رنگ مربوط به ابرها، سنگ‌ها و درختان در شکل (۵-ب) و دیوارها و سقف‌ها در شکل (۶-ب) طبیعی‌تر به نظر می‌رسند. در حقیقت در روش پیشنهادی فشرده‌سازی گستره پویایی فقط بر روی مؤلفه V تصویر ورودی اعمال می‌شود که سبب نتایج بهتر و قابل‌قبول‌تری از جهت حفظ رنگ‌ها خواهد شد.

### ۲-۲-۳- ارزیابی کمی<sup>۲۲</sup> تصاویر نگاشت تون شده

باوجوداینکه ارزیابی بصری کیفیت تصاویر نگاشت تون دارای نتایج معقول و مناسبی است، ولی باین‌حال دارای پروسه زمان‌بری نسبت به روش‌های ارزیابی کمی است. در مقابل، ارزیابی کمی کیفیت تصاویر نگاشت شده امکان انتخاب و تنظیم خودکار پارامترهای عملگرهای نگاشت تون را در برخی کاربردها همانند شبکه‌های عصبی مهیا می‌سازد. ارزیابی کمی کیفیت تصاویر نگاشت شده که نتایج آن متناسب با ارزیابی کیفی تصاویر باشد، در سال‌های اخیر بسیار موردتوجه قرار گرفته است [۳۲]، [۳۳]، [۳۴]، [۳۵] و [۳۶]. در [۳۴] نوعی شاخص شباهت ویژگی برای تصاویر نگاشت تون شده<sup>۲۳</sup> بنام FSITM پیشنهاد شده است که بر اساس اطلاعات فاز تصاویر است. این شاخص با این فرض ارائه شده است که فاز تصاویر نسبت به دامنه پیکسل‌ها از اطلاعات بیشتری برخوردارند. در [۳۵] یک شاخص عینی به نام شاخص کیفیت نگاشت تون<sup>۲۴</sup> یا TMQI برای ارزیابی عینی کیفیت تصاویر LDR تولید شده، پیشنهاد شده است. این شاخص مبتنی بر ترکیب معیار وفاداری ساختاری<sup>۲۵</sup> با مقدار شاخص شباهت ساختاری<sup>۲۶</sup> و طبیعی بودن آماری<sup>۲۷</sup> است. در این تحقیق از معیارهای FSITM و TMQI که به ترتیب در مراجع [۳۴] و [۳۵] معرفی شده‌اند برای ارزیابی کمی مجموعه‌ای شامل ۱۰۰ تصویر HDR استفاده کرده‌ایم. مقادیر میانگین و انحراف معیار هر کدام از روش‌ها در نمودارهای شکل-های (۷) و (۸) نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج نمودارها قابل مشاهده است، روش پیشنهادی دارای بیشترین میانگین TMQI بعد از روش ینگ و همکاران از [۳۱] و دارای بیشترین میانگین FSITM بعد از روش دوراند و همکاران از [۸] است. لازم به ذکر است که معیارهای موجود ارزیابی کمی کیفیت تصاویر نگاشت شده آن‌طور که باید متناسب با کیفیت دریافتی از تصاویر نیستند. این معیارها اغلب از معیارهای معمول ارزیابی کیفیت تصاویر به‌دست آمده‌اند و دارای دقت بالایی نمی‌باشند. برای مثال باوجود این‌که روش دوراند و همکاران از [۸] به‌شدت دارای کمبود کنتراست و جزئیات محلی است، باین‌حال دارای بیشترین میانگین FSITM است. همچنین روش بر پایه هیستوگرام ینگ و همکاران از [۳۱] نیز دارای بیشترین میانگین TMQI میان سایر روش‌ها است. این در حالی است که با مقایسه نتایج به‌دست آمده در بخش مقایسه بصری مشاهده می‌کنیم که روش پیشنهادی دارای نتایج بصری قابل‌قبول‌تری نسبت به روش ینگ است.



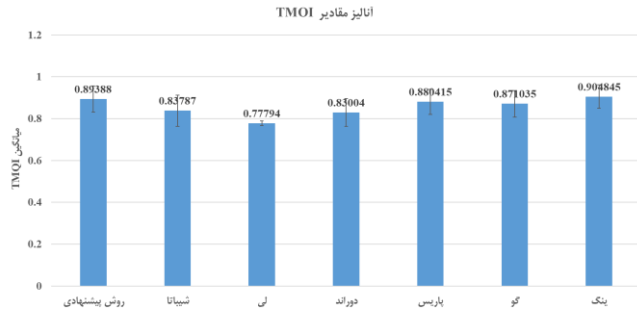
شکل (۶): نتایج نگاشت تون برای تصویر HDR ورودی «کلیسا».  
 (الف) تصویر HDR ورودی (ب) تصویر نگاشت شده با روش پیشنهادی  
 (پ) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۲۱] (ت) تصویر نگاشت شده  
 با روش مرجع [۲۹] (ث) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۸] (ج)  
 تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۳۰] (چ) تصویر نگاشت شده با  
 روش مرجع [۷] (ح) تصویر نگاشت شده با روش مرجع [۳۱]



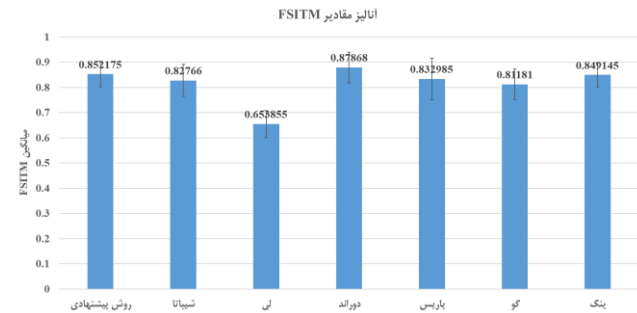
لبه تصویر ورودى را دنبال کند و در نتیجه از به وجود آمدن هاله تا حد زیادى جلوگیری شود. فیلتر وفقى پیشنهادى فقط بر روى مؤلفه  $V$  فضای رنگى HSV اعمال مى‌شود تا از اعوجاج مؤلفه‌هاى رنگى ناشى از پردازش جداگانه کانال‌هاى رنگى جلوگیری شود. همچنین حجم محاسبات مربوط به فیلتر دو طرفه پیشنهادى با استفاده از روش تسريع یافته آن کاهش یافته است. نتایج به دست آمده کارابى الگوریتم پیشنهادى را در تولید تصاویر LDR با کیفیت بصرى عالى، کنتراست محلى بالا، نمایش خوب رنگ‌ها و خروجى‌هاى تقریباً بدون هاله نشان مى‌دهد. همچنین زمان اجرا الگوریتم پیشنهادى نتایج قابل قبولى را در مقایسه با سایر الگوریتم‌هاى نگاشت تون نشان مى‌دهد.

جدول (۱): زمان اجرای الگوریتم‌هاى مختلف براى تصویر یک مگا

نام روش	زمان اجرا (ثانیه)
روش پیشنهادى تسريع یافته	۰/۸
روش پیشنهادى غیر تسريع	۹/۷
روش شیباتا و همکاران از [۲۱]	۲۵/۲
روش لی و همکاران از [۲۹]	۹
روش دوراند و همکاران از [۸]	۱۸/۳
روش پاریس و همکاران از [۳۰]	۸۰۲
روش گو و همکاران از [۷]	۱/۲
روش بنگ و همکاران در [۳۱]	۱



شکل (۷): آنالیز مقادیر TMQI



شکل (۸): آنالیز مقادیر FSITM

### ۳-۳- بررسی و مقایسه زمان اجرای الگوریتم‌هاى مختلف

زمان اجرای یک الگوریتم ویژگی مهمى براى پیاده‌سازى در کاربردهاى مختلف است. در این بخش زمان اجرای الگوریتم پیشنهادى با سایر روش‌هاى ذکر شده در بخش قبل مقایسه شده است. نتایج مربوط به تحلیل زمان الگوریتم‌هاى مختلف براى پردازش تصویر یک مگا پیکسلى در جدول (۱) آورده شده است. همچنین نتایج زمان اجرای پیاده‌سازى غیر تسريع الگوریتم پیشنهادى نیز در جدول آورده شده است. همان‌طور که از نتایج جدول مشخص هست، روش پیشنهادى دارای زمان اجرای قابل قبولى در مقایسه با اکثر روش‌ها است.

### ۴- نتیجه‌گیرى

استخراج تصاویر LDR از تصاویر HDR به‌طور گسترده در مطالعات متعدد مورد بحث قرار گرفته است. اگرچه روش‌هاى موجود کیفیت تصاویر خروجى را بهبود مى‌بخشند، اما همچنان از مشکلاتى مانند اشکالات هاله‌اى و نمایش نادرست رنگ‌ها رنج مى‌برند. در این مقاله، روشى مبتنى بر تجزیه براى به دست آوردن تصاویر LDR از داده‌هاى HDR پیشنهاد شده است که از نوعى فیلتر دو طرفه وفقى استفاده مى‌کند. کرنل‌هاى محدوده‌اى و فضایى فیلتر پیشنهادى با استفاده از گرادین‌هاى استخراج شده از تصویر ورودى به ازای هر پیکسل به‌صورت وفقى تعیین مى‌شوند. تعیین وفقى پارامترهاى فیلتر دو طرفه از اطلاعات حوزه گرادین باعث مى‌شود که فیلتر پیشنهادى دقیقاً ساختار

### مراجعه

- [1] Y. Vinker, I. Huberman-Spiegelglas, and R. Fattal, "Unpaired learning for high dynamic range image tone mapping," in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2021, pp. 14657-14666.
- [2] K. Panetta, L. Kezebou, V. Oludare, S. Aгаian, and Z. Xia, "TMO-Net: A Parameter-Free Tone Mapping Operator Using Generative Adversarial Network, and Performance Benchmarking on Large Scale HDR Dataset," IEEE Access, vol. 9, pp. 39500-39517, 2021.
- [3] N. Zhang, C. Wang, Y. Zhao, and R. Wang, "Deep tone mapping network in HSV color space," in 2019 IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2019: IEEE, pp. 1-4.
- [4] A. Rana, P. Singh, G. Valenzise, F. Dufaux, N. Komodakis, and A. Smolic, "Deep tone mapping operator for high dynamic range images," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 29, pp. 1285-1298, 2019.

- International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2019: IEEE, pp. 1-2.
- [23] R. Kamran, H. Nezamabadipour, and S. Saryazdi, "A Large Scale Image inpainting Method Based on Image Decomposition to Texture and Structure Sub-Images," (in eng), Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Research vol. 8, no. 2, pp. 13-24, 2011.
- [24] s. kalantari, m. j. Abdollahifard, and s. ahmadi, "Image Super-Resolution Using Analytical Edge Model," (in eng), Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Research vol. 15, no. 2, pp. 45-54, 2018.
- [25] R. C. Gonzalez, Digital image processing. Pearson education india, 2009.
- [26] M. G. Mozerov and J. Van De Weijer, "Global color sparseness and a local statistics prior for fast bilateral filtering," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no. 12, pp. 5842-5853, 2015.
- [27] M. H. Kim, T. Weyrich, and J. Kautz, "Modeling human color perception under extended luminance levels," in ACM SIGGRAPH 2009 papers, 2009, pp. 1-9.
- [28] R. Mantiuk, G. Krawczyk, D. Zdrojewska, R. Mantiuk, K. Myszkowski, and H.-P. Seidel, High dynamic range imaging. na, 2015.
- [29] H. Li, X. Jia, and L. Zhang, "Clustering based content and color adaptive tone mapping," Computer Vision and Image Understanding, vol. 168, pp. 37-49, 2018.
- [30] S. Paris, S. W. Hasinoff, and J. Kautz, "Local Laplacian filters: edge-aware image processing with a Laplacian pyramid," Communications of the ACM, vol. 58, no. 3, pp. 81-91, 2015.
- [31] J. Yang, Z. Liu, U. Shahnovich, and O. Yadid-Pecht, "Tone Mapping Based on Multi-scale Histogram Synthesis," arXiv preprint arXiv:2102.00408, 2021.
- [32] K. Gu et al., "Blind quality assessment of tone-mapped images via analysis of information, naturalness, and structure," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 18, no. 3, pp. 432-443, 2016.
- [33] D. Kundu, D. Ghadiyaram, A. C. Bovik, and B. L. Evans, "No-reference quality assessment of tone-mapped HDR pictures," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 26, no. 6, pp. 2957-2971, 2017.
- [34] H. Z. Nafchi, A. Shahkolaei, R. F. Moghaddam, and M. Cheriet, "FSITM: A feature similarity index for tone-mapped images," IEEE Signal Processing Letters, vol. 22, no. 8, pp. 1026-1029, 2014.
- [35] H. Yeganeh and Z. Wang, "Objective quality assessment of tone-mapped images," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 22, no. 2, pp. 657-667, 2012.
- [36] Y. Song, G. Jiang, M. Yu, Y. Zhang, F. Shao, and Z. Peng, "Naturalness index for a tone-mapped high dynamic range image," Applied optics, vol. 55, no. 35, pp. 10084-10091, 2016.
- [5] X. Cao, K. Lai, S. N. Yanushkevich, and M. R. Smith, "Adversarial and adaptive tone mapping operator for high dynamic range images," in 2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 2020: IEEE, pp. 1814-1821.
- [6] Z. Liang, J. Xu, D. Zhang, Z. Cao, and L. Zhang, "A hybrid 11-10 layer decomposition model for tone mapping," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2018, pp. 4758-4766.
- [7] B. Gu, W. Li, M. Zhu, and M. Wang, "Local edge-preserving multiscale decomposition for high dynamic range image tone mapping," IEEE Transactions on image Processing, vol. 22, no. 1, pp. 70-79, 2012.
- [8] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images," in Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 2002, pp. 257-266.
- [9] Z. Farbman, R. Fattal, D. Lischinski, and R. Szeliski, "Edge-preserving decompositions for multi-scale tone and detail manipulation," ACM Trans. Graph., vol. 27, 08/01 2008, doi: 10.1145/1360612.1360666.
- [10] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Guided image filtering," IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, 2012.
- [11] Z. Li, J. Zheng, Z. Zhu, W. Yao, and S. Wu, "Weighted guided image filtering," IEEE Transactions on Image processing, vol. 24, no. 1, pp. 120-129, 2014.
- [12] F. Kou, W. Chen, C. Wen, and Z. Li, "Gradient domain guided image filtering," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no. 11, pp. 4528-4539, 2015.
- [13] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in Sixth international conference on computer vision (IEEE Cat. No. 98CH36271), 1998: IEEE, pp. 839-846.
- [14] R. G. Gavaskar and K. N. Chaudhury, "Fast adaptive bilateral filtering," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 28, no. 2, pp. 779-790, 2018.
- [15] J. T. Barron and B. Poole, "The fast bilateral solver," in European conference on computer vision, 2016: Springer, pp. 617-632.
- [16] J. Baek and D. E. Jacobs, "Accelerating spatially varying Gaussian filters," ACM Transactions on Graphics (TOG), vol. 29, no. 6, pp. 1-10, 2010.
- [17] S. Ghosh, R. G. Gavaskar, and K. N. Chaudhury, "Saliency guided image detail enhancement," in 2019 National Conference on Communications (NCC), 2019: IEEE, pp. 1-6.
- [18] B. Zhang and J. P. Allebach, "Adaptive bilateral filter for sharpness enhancement and noise removal," IEEE transactions on Image Processing, vol. 17, no. 5, pp. 664-678, 2008.
- [19] M. Zhang and B. K. Gunturk, "Compression artifact reduction with adaptive bilateral filtering," in Visual Communications and Image Processing 2009, 2009, vol. 7257: International Society for Optics and Photonics, p. 72571A.
- [20] P. Xu and W. Wang, "Improved bilateral texture filtering with edge-aware measurement," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 27, no. 7, pp. 3621-3630, 2018.
- [21] T. Shibata, M. Tanaka, and M. Okutomi, "Gradient-domain image reconstruction framework with intensity-range and base-structure constraints," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp. 2745-2753.
- [22] M. Tanaka, T. Shibata, and M. Okutomi, "Gradient-based low-light image enhancement," in 2019 IEEE

## زیر نویس ها

<sup>1</sup> Tone mapping

<sup>2</sup> Low Dynamic Range (LDR)

<sup>3</sup> High Dynamic Range (HDR)

<sup>4</sup> Adaptive bilateral filter

<sup>5</sup> Gradient map

<sup>6</sup> Spatial similarity



- 
- <sup>7</sup> Range similarity
  - <sup>8</sup> Hue Saturation Value
  - <sup>9</sup> Dynamic range
  - <sup>10</sup> Luminance
  - <sup>11</sup> Global optimization
  - <sup>12</sup> Local filtering
  - <sup>13</sup> Regularization term
  - <sup>14</sup> Guided Image Filter (GIF)
  - <sup>15</sup> Weighted Guided Image Filter (WGIF)
  - <sup>16</sup> Gradient Domain Guided Image Filter
  - <sup>17</sup> Bilateral filter
  - <sup>18</sup> Saliency map
  - <sup>19</sup> Block boundary discontinuity map
  - <sup>20</sup> Laplacian of Gaussian filter
  - <sup>21</sup> Isotropic operator
  - <sup>22</sup> Zero-crossing
  - <sup>23</sup> Range kernel
  - <sup>24</sup> Spatial kernel
  - <sup>25</sup> Detail enhancement
  - <sup>26</sup> <http://www.anywhere.com/gward/hdrenc/pages/originals.html>
  - <sup>27</sup> <https://github.com/jieyang1987/Tone-Mapping-Based-on-Multi-scale-Histogram-Synthesis>
  - <sup>28</sup> <https://people.csail.mit.edu/sparis/publi/2011/siggraph/>
  - <sup>29</sup> Subjective quality assessment
  - <sup>30</sup> Unnatural
  - <sup>31</sup> Washed out
  - <sup>32</sup> Objective quality assessment
  - <sup>33</sup> Feature Similarity Index for Tone Mapped images (FSITM)
  - <sup>34</sup> Tone Mapping Quality Index (TMQI)
  - <sup>35</sup> Structural Fidelity
  - <sup>36</sup> Structural Similarity Index Measure (SSIM)
  - <sup>37</sup> Statistical naturalness