

ارزیابی مقایسه‌ای روش‌های بهبود روشنایی در تصاویر هوایی

حسین زاور^۱، رضا شاه حسینی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴

چکیده

امروزه تصویربرداری هوایی یکی از روش‌های رایج به‌منظور تهیه محصولات مرتبط با علوم مکانی مانند تصاویر اورتو و مدل دیجیتالی سطح زمین می‌باشد؛ اما وجود شرایط نوری غیر ایده آل در تصویربرداری هوایی به یک پیشامد معمول تبدیل شده است. تکنیک‌های مختلفی به‌منظور بهبود کیفیت تصاویر از نظر شرایط نوری در یک دهه اخیر ارائه شده‌اند، اما تاکنون بررسی میزان تأثیر آن‌ها در بهبود روشنایی تصاویر هوایی و محصولات تولید شده از آن‌ها مورد ارزیابی قرار نگرفته است. این تحقیق در نظر دارد تا تأثیر تعدادی از روش‌های بهبود روشنایی بر روی تصاویر هوایی را مورد ارزیابی قرار دهد چرا که به دلیل شرایط نامناسب در زمان اخذ این نوع تصاویر میزان روشنایی در آن‌ها از کیفیت مطلوبی برخوردار نبوده و باعث از دست دادن یک سری از اطلاعات طیفی می‌شود. بدین منظور ۱۱ روش بهبود روشنایی برای تصاویر با شرایط نوری متفاوت، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه میزان تأثیر این روش‌ها در تصاویر بهبود یافته با استفاده از ۱۱ شاخص روشنایی ارزیابی می‌شوند. بر اساس ارزیابی شاخص‌های روشنایی، روش بهبود جزییات چند مقیاسی برای منطقه مورد مطالعه اول و روش ترکیب تصاویر با روشنایی متفاوت بر اساس وزن‌های تطبیقی برای منطقه مورد مطالعه دوم انتخاب شدند. با انتخاب بهترین روش برای هر کدام از تصاویر مربوط به مناطق مختلف، میزان تأثیر بهبود محصولات فتوگرامتری از پردازش تصاویر بهبود یافته نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. بهبود عوارض پنهان شده در مناطق سایه و همچنین عوارضی که به دلیل میزان نور بیش از اندازه به دلیل انعکاس بالا با چشم به راحتی قابل تشخیص نمی‌باشند، از نتایج بهبود روشنایی تصاویر هوایی است. همچنین در بخش تولید ابر نقطه و مدل دیجیتالی سطح زمین نیز اطلاعاتی از سطح زمین که قبل از بهبود تصاویر از دست رفته بودند، به مقدار قابل توجهی بازیابی شدند. نتیجه به دست آمده بر اساس شاخص شباهت ساختاری برای تصاویر بهبود یافته منطقه مورد مطالعه اول و منطقه مورد مطالعه دوم به ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۰/۹۹ بدست آمدند که نشان‌دهنده حفظ جزییات موجود در تصویر اولیه در کنار بهبود روشنایی آن می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: فتوگرامتری، ادغام، بهبود روشنایی، اورتوفتو، ابر نقطه.

* نویسنده مکاتبه کننده: گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین اهداف تصویربرداری هوایی تولید محصولات مرتبط در حوزه علوم مکانی همچون تولید نقشه، تصویر اورتو و مدل دیجیتالی سطح زمین می‌باشد. تولید این محصولات نیازمند تهیه تصاویر هوایی بوده که به خوبی شرایط موجود را ثبت کنند اما گاهی به دلیل شرایط نامناسب جوی، خطای انسانی در تنظیم دوربین و محدود بودن میزان تنظیمات سنسور، تصاویر اخذشده دارای کیفیت بصری مناسبی نیستند. تکنیک ادغام تصویر چند نوردهی (MEF)^۱ می‌تواند به حل این مشکل با ادغام اطلاعات از تصاویر با روشنایی مختلف در یک تصویر کمک کند. به طور خاص، MEF فرآیند ادغام چندین تصویر برای تولید یک تصویر ترکیبی از تصاویر با نوردهی مختلف بوده که به دنبال آن افزایش کیفیت بصری را به همراه دارد [۱].

با توسعه تکنیک‌های عکاسی، کیفیت تصویر هم در وضوح و هم در تفکیک بیشتر رنگ‌ها (محدوده دینامیکی دوربین) بسیار بهبود یافته است. با این حال، تصاویر گرفته‌شده توسط دستگاه‌های تصویربرداری اغلب به دلیل وجود شرایط غیر ایده آل همچون، دید کم در محیط‌های دارای نور غیریکنواخت دارای ابهام و کاهش اطلاعات در قسمت‌هایی از تصاویر هستند. این تصاویر ممکن است اطلاعات خود را در مناطق کم‌نور از دست بدهند و محتوای تصویر را برای چشم انسان نامرئی کنند. از آنجایی که محدوده دینامیکی دوربین محدود است، اگر نوردهی دوربین افزایش یابد تا اطلاعات مناطق کم نوردهی نشان داده شوند، مناطق با نوردهی خوب به مناطقی با نوردهی بیش از حد و یا حتی اشباع شده تبدیل می‌شوند [۲]. عملیات تصویربرداری هوایی یکی از روش‌های تصویربرداری

بوده که اغلب شرایط محیطی مناسب برای تصویر برداری نبوده و در نتیجه آن ممکن است یکسری از عوارض موجود در منطقه عکس‌برداری به خوبی تصویربرداری نشده باشند. عکس‌های موجود می‌توانند از دو منظر اشباع نور و یا عدم نور کافی در زمان اخذ تصویر مورد بررسی قرار گیرند. MEF به دلیل اثربخشی در تولید تصاویر با کیفیت بالا توجه زیادی را به خود جلب کرده است و الگوریتم‌های MEF مختلفی ارائه شده است. به طور کلی، الگوریتم‌های MEF متداول را می‌توان به حوزه‌های مبتنی بر مکان و الگوریتم‌های مبتنی بر انتقال تقسیم کرد [۳ و ۴]. روش‌های مبتنی بر دامنه مکانی مستقیماً در حوزه مکانی عمل می‌کنند و روش‌های مبتنی بر انتقال، ابتدا تصاویر را به فضای دیگری انتقال داده و سپس ادغام در آن فضای تبدیل شده انجام می‌شود. سپس تصویر ادغام‌شده از طریق تبدیل معکوس به دست می‌آیند. تاکنون ارزیابی جامع از بررسی روش‌های مختلف انجام‌شده به کمک تکنیک MEF ارائه نشده است. اخیراً ژانگ (۲۰۲۰) تعدادی از تکنیک‌های MEF موجود را مورد بررسی قرار داده است اما ارزیابی تکنیک‌های موجود MEF برای تصاویر هوایی صورت نگرفته است [۱]. به همین دلیل در این تحقیق سعی می‌شود تا تعدادی از روش‌های موجود برای بهبود روشنایی تصاویر هوایی، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرند. از آنجایی که در تصاویر هوایی اشباع نور و یا نبود نور کافی در محیط مانند سایه وجود دارد، بهبود روشنایی این گونه از تصاویر به منظور استفاده در تولید محصولات متنوع نقشه‌برداری یک امر ضروری است. به دلیل نبود یک بررسی جامع از روش‌های موجود در بهبود روشنایی تصاویر در حوزه تصویربرداری هوایی، سعی شده تا در این تحقیق میزان تأثیر تکنیک‌های رایج بر روی بهبود روشنایی در تصاویر هوایی با استفاده از چندین شاخص کیفیت روشنایی، مورد ارزیابی قرار بگیرد تا با مقایسه آن تکنیک‌ها، کارایی هر روش در این گونه تصاویر ارزیابی شود. علاوه بر آن با انتخاب بهترین روش

^۱Multi-exposure image fusion^۲Bit Depth

نتایج بهتری دست یافت. ابراهیم و همکاران (۲۰۰۷) استراتژی پنجره کشویی را برای انجام *HE* به صورت محلی استفاده می‌کنند [۱۰]. تصویر ادغام شده، جمع وزنی از تصاویر منبع در سطح پیکسل است. روش‌های مختلف مبتنی بر پیکسل، استراتژی‌های متفاوتی برای محاسبه و اعمال وزن دارند. حیات و عمران (۲۰۱۹) یک روش *MEF* مبتنی بر تبدیل ویژگی ثابت مقیاس (*SIFT*) پیشنهاد می‌کنند [۱۱]. در این روش، توصیفگر *SIFT* ابتدا برای استخراج جزئیات محلی از تصاویر منبع استفاده می‌شود و سپس برای حذف مصنوعات متحرک در صحنه پویا استفاده می‌شود. همچنین لی و همکاران (۲۰۱۸) روش *MEFAW* را بر اساس وزن‌های تطبیقی پیشنهاد می‌کنند. به طور خاص، آن‌ها دو تابع وزن را تعریف کرده که کیفیت پیکسل را به ترتیب در مورد روشنایی در کل تصویر و گرادیان‌های سراسری^۵ وزن دهی می‌کنند [۱۲]. وزن نهایی ترکیبی از این دو وزن است. تصاویر ورودی برای هر صحنه شامل یک سری از تصاویر با درجات روشنایی کم به زیاد می‌باشند. روش‌های دیگری که در بهبود روشنایی تصاویر به کار برده شده‌اند روش‌های بهینه‌سازی می‌باشند. یینگ و همکاران (۲۰۱۷) یک روش ادغام با نوردهی دوگانه را پیشنهاد می‌کنند [۲]. در این مقاله ابتدا از تکنیک‌های برآورد روشنایی برای ساخت ماتریس وزن برای ترکیب تصویر استفاده می‌شود، سپس یک مدل برای پاسخ دوربین به میزان نور دریافتی بر اساس مشاهده استخراج می‌شود. در مرحله بعد، نوردهی بهینه را بر اساس روش‌های بهینه‌سازی برای مدل دوربین یافته تا تصویر مصنوعی تولید شود که این کار باعث شده تا در مناطقی که تصویر اصلی کم‌نور است به خوبی نوردهی شوند. در نهایت، از ترکیب تصویر ورودی با تصویر مصنوعی به کمک ماتریس وزن، نتایج بهبودیافته حاصل می‌شود. برخلاف روش‌های مبتنی بر پیکسل، روش‌های مبتنی بر بلوک^۶ تصاویر

ارزیابی شده، میزان تأثیر بهبود کیفیت روشنایی تصاویر هوایی بر روی محصولات نقشه‌برداری با تولید آن‌ها قبل و بعد از بهبود روشنایی موردسنجش قرار می‌گیرند. سابقه مطالعات *MEF* به بیش از ۳ دهه می‌رسد. برت و همکاران (۱۹۹۳) یکی از اولین مطالعات را روی *MEF* انجام داده‌اند که یک روش مبتنی بر هرم برای انجام چندین کار ادغام تصویر، از جمله ادغام تصویر مرئی-مادون قرمز، ادغام تصویر چند فاصله کانونی^۱ و ادغام تصویر چند نوردهی بوده است [۵]. ابتدا تصاویر منبع از طریق تبدیل هرمی تجزیه می‌شوند. سپس ضرایبی به منظور تشکیل یک هرم برای تصویر کوچک شده انتخاب شده و در نهایت، تصویر کوچک شده از طریق تبدیل هرم معکوس بازیابی می‌شود [۱]. تعدادی از روش‌های مرسوم به منظور بهبود روشنایی به کمک استفاده از هیستوگرام توسعه داده شده‌اند. روش‌های بهبود سراسری^۲ بدون توجه به توزیع مکانی آن‌ها، پردازش یکسانی را روی همه پیکسل‌های تصویر انجام می‌دهند. با این حال، مناطق روشن ممکن است پس از بهبود خطی اشباع شوند و باعث از بین رفتن جزئیات در نتایج بهبودیافته شوند. یکی از روش‌های جلوگیری از اشباع، یکسان‌سازی هیستوگرام (*HE*)^۳ است که می‌تواند تضاد^۴ را به طور مؤثر بهبود بخشد و در حال حاضر به یک تکنیک پرکاربرد تبدیل شده است [۲ و ۶]. بسیاری از مشتقات *HE* برای در نظر گرفتن برخی محدودیت‌ها مانند حفظ روشنایی و محدودیت کنتراست پیشنهاد شده‌اند [۷، ۸ و ۹]. این روش‌ها ممکن است باعث از دست دادن جزئیات در برخی مناطق محلی شود، زیرا پردازش به صورت کلی نمی‌تواند تضمین کند که همه مناطق محلی به خوبی بهبود یافته‌اند. با استفاده از تکنیک‌های محلی می‌توان به

^۱focus^۲Global Enhancement^۳Histogram Equalization^۴contrast^۵Global gradient^۶Patch

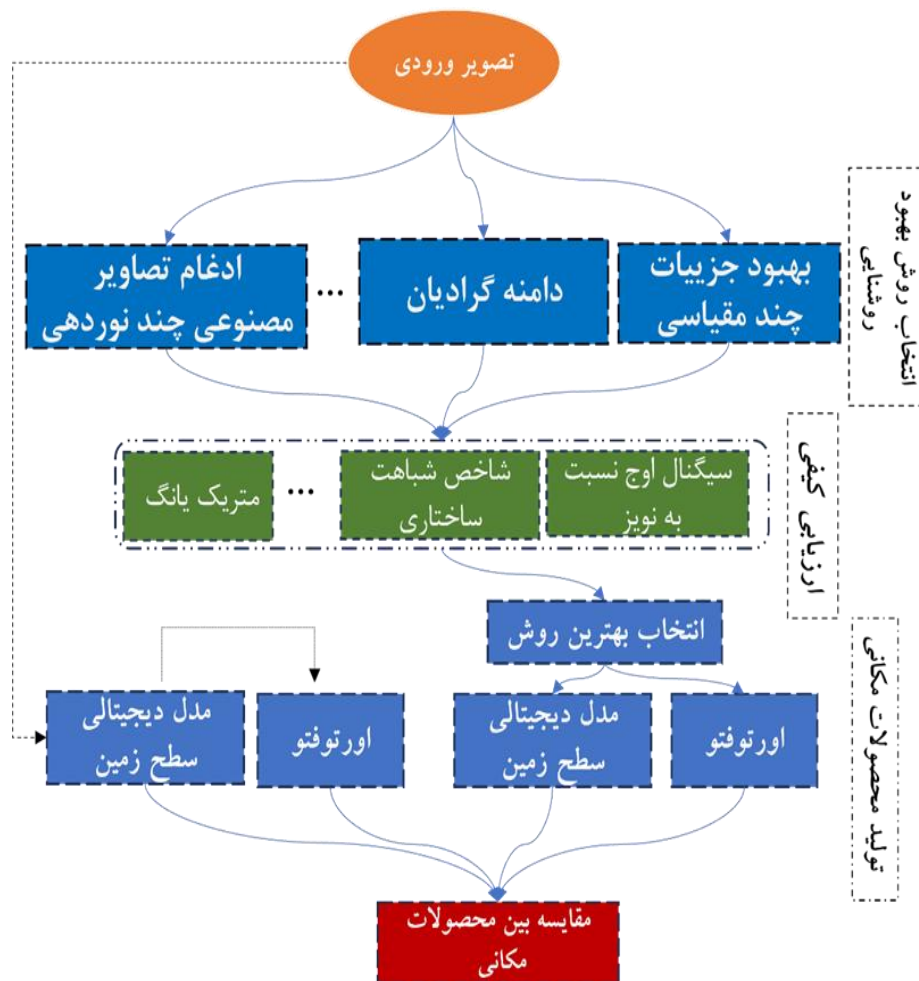
تکنیک بازسازی تصویر مبتنی بر موجک‌ها به دست می‌آید.

در سال‌های اخیر یادگیری عمیق در زمینه *MEF* به کار گرفته شده است. الگوریتم ارائه شده توسط پرابهاکار و همکارانش (۲۰۱۷) اولین الگوریتم *MEF* مبتنی بر یادگیری عمیق است که پس از آن‌ها، بسیاری از روش‌های *MEF* مبتنی بر یادگیری عمیق پیشنهاد شده‌اند [۱ و ۱۵].

۲- روش انجام کار

در سال‌های اخیر تکنیک‌های مختلفی برای بهبود روشنایی تصاویر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما تمرکز اصلی روش‌های انجام شده بر روی تصاویر زمینی بوده و در حوزه تصاویر هوایی میزان اثرگذاری آن‌ها مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند. در این تحقیق سعی شده است تا با مقایسه روش‌های موجود، بهترین تکنیک را از میان آن‌ها به منظور بهبود روشنایی تصاویر هوایی انتخاب کرده و تأثیر آن را در بهبود محصولات نقشه‌برداری مورد بررسی قرار گیرد. نمودار روش پیشنهادی در شکل (۱) آورده شده است. اکثر روش‌های ارائه شده به منظور بهبود روشنایی تصاویر بر روی تصاویر زمینی بررسی شده و تاکنون این ارزیابی بر روی تصاویر هوایی انجام نشده است. بدین منظور هدف اصلی مورد نظر برطرف کردن این خلا موجود و تأثیر آن در بهبود محصولات نقشه‌برداری می‌باشد. نکته مهمی که در تکنیک‌های *MEF* وجود دارد آن است که تعدادی از آن‌ها برای تصاویری مناسب بوده که از نظر میزان روشنایی با کمبود نور مواجه هستند. همچنین تعدادی دیگری از این روش‌ها برای تصاویری با اشباع نور و یا با میزان نور بیش از اندازه مناسب هستند [۲]. در این میان روش‌هایی نیز ارائه شده‌اند که در هر دو شرایط قابلیت اجرا دارند [۱۱]. به همین دلیل بر اساس میزان روشنایی موجود در تصاویر برای منطقه مورد مطالعه اول از ۹ روش بهبود روشنایی و برای منطقه مورد مطالعه دوم از ۸ روش بهبود روشنایی استفاده شده که در ۶ روش با یکدیگر مشترک می‌باشند.

منبع را در سطح بلوک ترکیب می‌کنند. به‌طور خاص، تصاویر مبدأ ابتدا به بلوک‌هایی تقسیم می‌شوند، سپس بلوک‌ها که حاوی حداکثر اطلاعات هستند برای ترکیب تصویر ترکیبی انتخاب می‌شوند. ما و همکاران (۲۰۱۵) یک رویکرد *MEF* مبتنی بر بلوک را بررسی می‌کنند [۳]. ابتدا بلوک‌ها را از تصاویر منبع استخراج و سپس این بلوک‌ها را به سه جزء مستقل از لحاظ مفهومی شامل قدرت سیگنال، ساختار سیگنال و شدت میانگین تجزیه می‌کنند. سپس این اجزا بر اساس قدرت بلوک و معیارهای نوردهی برای تولید بلوک تصویر رنگی پردازش می‌شوند و این وصله‌ها دوباره در تصویر ادغام شده قرار می‌گیرند. روش‌های چند نوردهی مبتنی بر فضای تبدیل معمولاً شامل سه مرحله است [۱]. ابتدا تصاویر منبع به فضای دیگری تبدیل و با ضرایبی در آن حوزه نشان داده می‌شوند. دوم، ضرایب با استفاده از برخی قوانین مورد ادغام قرار می‌گیرند و در نهایت، ضرایب ادغام شده از طریق تبدیل معکوس به تصاویر تبدیل می‌شوند. وانگ و همکاران (۲۰۲۰) روش چند نوردهی و چند مقیاسی را در فضای رنگی *YUV* به جای فضای *RGB* به کار می‌برند [۱۳]. با توجه به وزن دهی جدید در فضای *YUV*، این روش می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌های محاسباتی، جزئیات را در روشن‌ترین و تاریک‌ترین مناطق تصاویر منبع حفظ کند. پائوا و همکاران (۲۰۱۵) روش *MEF* مبتنی بر دامنه گرادینان را پیشنهاد می‌کنند [۱۴]. ایده اصلی روش‌های مبتنی بر دامنه گرادینان این است که ابتدا گرادینان تصاویر منبع را ترکیب کرده و سپس تصاویر ادغام شده را بر اساس گرادینان‌های ترکیب شده بازسازی می‌کند. در این روش ابتدا تصاویر منبع به فضای رنگی *YCbCr* تبدیل شده و سپس ادغام کانال‌های درخشان‌دگی (*Y*) در حوزه گرادینان و ادغام کانال‌های کرومینانس (*Cr* و *Cb*) با استفاده از جمع وزنی کانال‌های کرومینانس منبع انجام می‌شوند. در نهایت درخشان‌دگی تصویر ادغام شده با استفاده از



شکل ۱: نمودار کلی روش کار

در مجموع از ۱۱ روش مختلف استفاده شده است که در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

در راستای بررسی شرایط نوری متفاوت، از داده‌های تهیه‌شده دو منطقه جدا از هم که یکی دارای شرایط نوری کم و دیگری با شرایط نوری زیاد استفاده شده و میزان بهبود هر کدام به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند. به‌منظور تولید تصاویر با میزان روشنایی مختلف برای هر تصویر اصلی، تعدادی تصویر با درجه روشنایی کم به زیاد با استفاده از رابطه (۱) تولید می‌شوند. این کار برای آماده‌سازی تصاویر به‌عنوان ورودی

برای روش‌های ادغام ضروری می‌باشد.

$$I(x) = \alpha \cdot I(x)^{\gamma} \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، α یک ضریب ثابت و γ توان بوده که مقادیر بزرگ‌تر از ۱، مقدار تصویر را برای قسمت‌های تاریک‌تر روشن (افزایش) و مقادیر کوچک‌تر از ۱، مقادیر با درجه خاکستری بالاتر را بیشتر از سایر قسمت‌ها در تصویر، تاریک‌تر (کاهش) می‌دهد. در شکل (۲) نمونه تولید تصاویر با روشنایی مختلف از یک تصویر نشان داده شده است.

جدول ۱: روش‌های بهبود روشنایی

روش	نام کامل	دسته
<i>DEM</i> [۱۳]	بهبود جزئیات چند مقیاسی ^۱	مبتنی بر چند مقیاسی
<i>DSIFT</i> [۱۶]	سیفت متراکم برای ادغام چند نوردهی ^۲	دامنه مکانی (مبتنی بر پیکسل)
<i>FMMEF</i> [۴]	ساختار تجزیه قطعه‌ای چند مقیاسی سریع برای ادغام تصویر چند نوردهی ^۳	مبتنی بر چند مقیاسی
<i>GD</i> [۱۴]	دامنه گرادیان ^۴	مبتنی بر دامنه گرادیان
<i>MEFAW</i> [۱۷]	ادغام تصویر چند نوردهی بر اساس وزن‌های تطبیقی ^۵	دامنه مکانی (مبتنی بر پیکسل)
<i>MEFDSIFT</i> [۱۱]	ادغام تصویر چند نوردهی با استفاده از سیفت متراکم ^۶	دامنه مکانی (مبتنی بر پیکسل)
<i>MTI</i> [۱۸]	ادغام چند مقیاسی از دو ^۷	مبتنی بر چند مقیاسی
<i>MGFF</i> [۱۹]	ادغام تصویر و فیلم چند مقیاسی هدایت‌شده سریع ^۸	مبتنی بر چند مقیاسی
<i>PMEF</i> [۲۰]	ارزیابی کیفیت ادراکی برای ادغام تصویر چند نوردهی ^۹	دامنه مکانی (مبتنی بر پیکسل)
<i>MEFOPT</i> [۲]	یک چارچوب ادغام چند نوردهی برگرفته از طبیعت برای بهبود تصویر در نور کم ^{۱۰}	مبتنی بر بهینه‌سازی
<i>AMEF</i> [۲۱]	ادغام تصاویر مصنوعی چند نوردهی ^{۱۱}	

^۱ *Detail-enhanced Multi-scale*^۲ *Dense sift for ghost-free multi-exposure fusion*^۳ *Fast Multi-Scale Structural Patch Decomposition for Multi-Exposure Image Fusion*^۴ *Gradient Domain*^۵ *Multi-Exposure Image Fusion Based on the Adaptive Weights*^۶ *multi exposure image fusion technique using dense SIFT*^۷ *Multi-Scale Fusion of Two*^۸ *Multi-scale Guided Image and Video Fusion: A Fast*^۹ *Perceptual Quality Assessment for Multi-Exposure Image Fusion*^{۱۰} *A Bio-Inspired Multi-Exposure Fusion Framework for Low-light Image Enhancement*^{۱۱} *Artificial multiple-exposure image fusion*

شکل ۲: تغییر میزان روشنایی تصویر اصلی با مقادیر γ متفاوت

۳- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های دو منطقه مختلف بر اساس شرایط نوری، استفاده شد. تصاویر منطقه مورد مطالعه اول از روستای آق باقر واقع در استان اردبیل تهیه شدند. تصاویر هوایی موجود از این منطقه با استفاده از پهپاد شرکت *DJI* با مدل *Phantom4 pro* بوده که دارای دوربین ۲۰ مگا پیکسلی است. ارتفاع تصاویر اخذ شده در محدوده ۷۰ متری از سطح زمین بوده و حد تفکیک مکانی به دست آمده تقریباً برابر ۲ سانتی‌متر است. تصاویر اخذ شده به صورت نادیر بوده و در مناطقی که زیر سایه قرار دارند به دلیل ۸ بیت بودن تصاویر تهیه شده و پایین بودن محدوده دینامیکی دوربین، عوارض مختلف به خوبی قابل شناسایی نبوده و نیاز به تصحیح شرایط نوری با حفظ میزان روشنایی در سایر مناطق را دارند؛ به گونه‌ای که تصحیح مناطق سایه کمترین تأثیر را در سایر قسمت‌ها داشته باشند. تصاویر منطقه مورد مطالعه دوم واقع در استان قزوین و مربوط به یک کارخانه تولید آهک می‌باشد. به دلیل انعکاس شدید نور توسط آهک، تصاویر هوایی گرفته شده از این منطقه دارای مقدار روشنایی بیش از حد بوده و نیاز به تصحیح روشنایی دارند. تصاویر هوایی این منطقه به صورت نادیر و مایل با زاویه ۴۵ درجه هستند.

۴- نتایج تجربی

برای منطقه مورد مطالعه اول که شامل تصاویر با شرایط نوری کم است، در مجموع ۹ روش از روش‌های ذکر شده در جدول (۱) مورد استفاده قرار می‌گیرند. تصاویر بهبودیافته تولید شده به روش‌های مختلف در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. همچنین برای منطقه مورد مطالعه دوم که شامل تصاویر با میزان نور بیش از اندازه می‌باشد، در مجموع ۸ روش مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که تصاویر بهبودیافته این روش‌ها نیز در شکل (۴) آورده شده‌اند. برای بررسی کیفیت تصاویر ادغام شده با استفاده از روش‌های انجام شده در مقاله، شاخص‌های ارزیابی در چهار دسته معیارهای مبتنی بر تئوری اطلاعات یکپارچه شامل آنتروپی (EN) [۲۲] و سیگنال اوج نسبت به نویز ($PSNR$) [۲۳]، معیارهای یکپارچه مبتنی بر ویژگی تصویر شامل گرادیان متوسط (AG) [۲۴]، تطابق فاز (Q_P) [۲۵] و فرکانس مکانی (SF) [۲۶]، معیارهای مبتنی بر شباهت شامل متریک Q_C [۲۷]، متریک یانگ (Q_Y) [۲۸] و اندازه‌گیری شاخص شباهت ساختاری ($MEF-SSIM$) [۲۰] و معیارهای الهام گرفته ادراک بصری انسان شامل Q_{CB} [۲۹]، Q_{CV} [۳۰] و VIF [۳۱] استفاده می‌شوند.



Under Exposure



Over Exposure



Original



DSIFT



FMMEF



GD



MEFDST



MTI



MGFF



PMEF

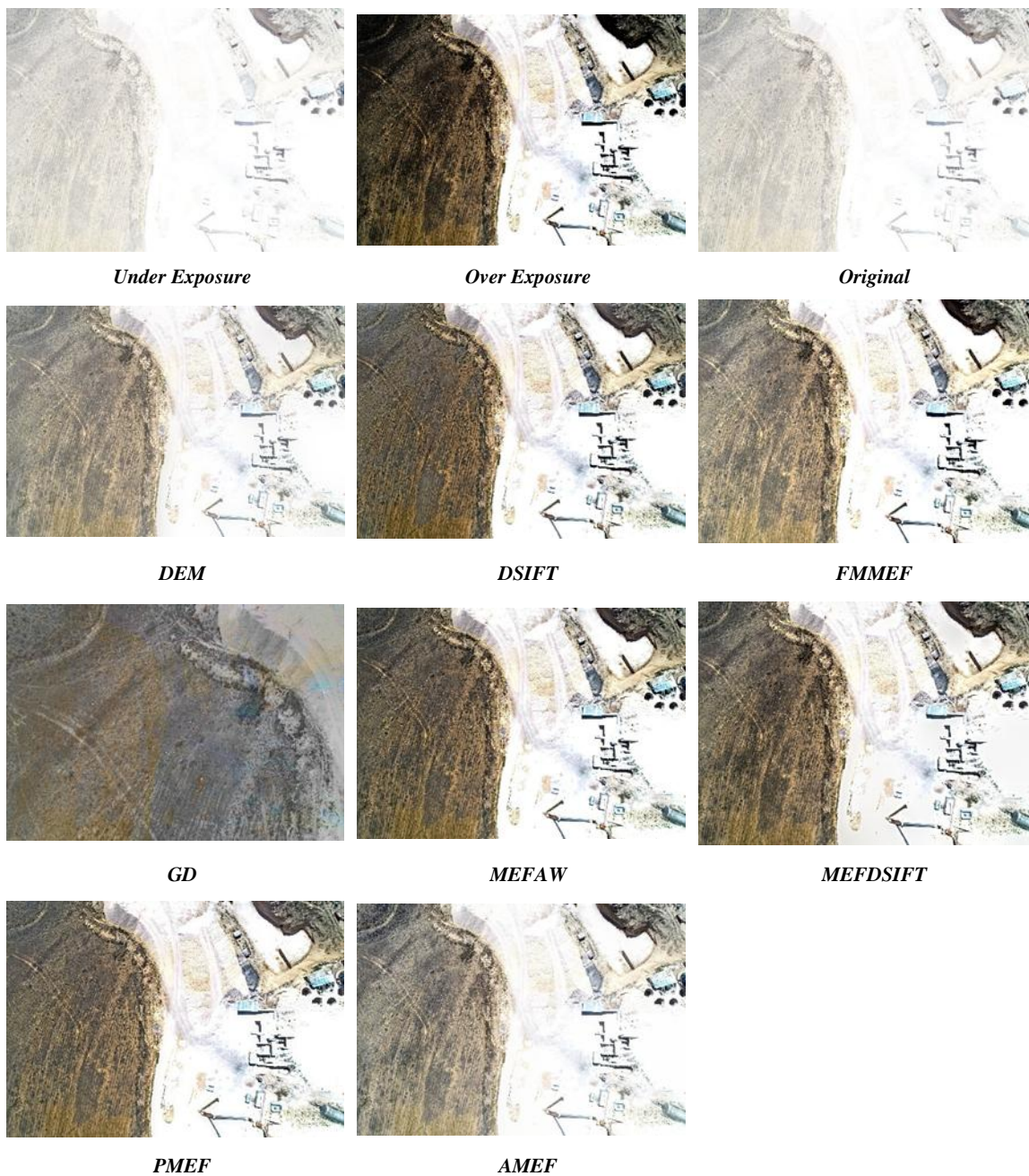


DEM



MEFOPT

شکل ۳: تصاویر بهبود یافته از روش های بهبود روشنایی برای تصویر نمونه از داده ست اول



شکل ۴: تصاویر بهبود یافته از روش های بهبود روشنایی برای تصویر نمونه از داده ست اول

۴-۱- تهیه اورتو

با استفاده از نرم افزارهای موجود در فتوگرامتری و پردازش‌های موردنیاز (شامل مثلث‌بندی، تولید ابر نقطه و تولید مش) محصولات متنوعی از جمله تصویر اورتو را می‌توان تولید نمود. در این تحقیق از نرم‌افزار متاشیپ ورژن ۱،۸ به منظور انجام پردازش‌های موردنیاز استفاده

شد. برای مقایسه میزان تأثیر بهبود روشنایی انجام‌شده در دو حالت قبل و بعد از اصلاح تصاویر، اورتو فتو برای هر دو منطقه مورد مطالعه تولید شد که قسمتی از آن را در شکل (۵) برای منطقه مورد مطالعه اول و در شکل (۶) برای منطقه مورد مطالعه دوم می‌توان مشاهده نمود.



شکل ۵: ستون اول از سمت راست: قسمتی از اورتو موزاییک تولیدشده با داده اصلی - ستون دوم از سمت چپ: قسمتی از اورتو موزاییک تولیدشده با داده بهبودیافته



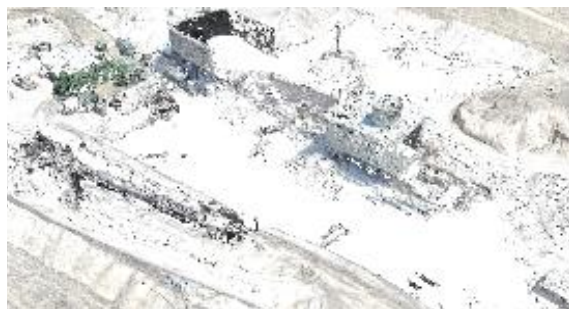
شکل ۶: تصویر راست: قسمتی از اورتو موزاییک تولیدشده با داده اصلی - تصویر چپ: قسمتی از اورتو موزاییک تولیدشده با داده بهبودیافته

حالت قبل از بهبود روشنایی تصاویر ۲۷۴ هزار نقطه و در حالت بعد از بهبود روشنایی تصاویر ۲۸۵ هزار نقطه کلیدی شناسایی می‌شوند. برای داده‌های پردازش‌شده

لازم به ذکر است که برای داده‌های پردازش‌شده منطقه اول، میزان نقاط گره‌ای کلیدی که تأثیر بسزایی در افزایش دقت محصولات تولیدی خواهند داشت. در

حاصل از تصاویر اصلی و تصاویر بهبودیافته در شکل (۷) نشان داده شده‌اند که می‌توان بازیابی اطلاعات ازدست‌رفته تعدادی از عوارض موجود را مشاهده نمود.

از منطقه دوم در حالت قبل از بهبود روشنایی تصاویر ۹۰ هزارنقطه و در حالت بعد قبل از بهبود روشنایی تصاویر تعداد ۱۷۰ هزار نقطه کلیدی شناسایی می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده از ابر نقطه متراکم تولیدشده

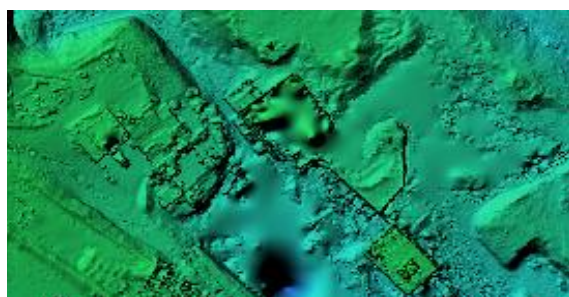
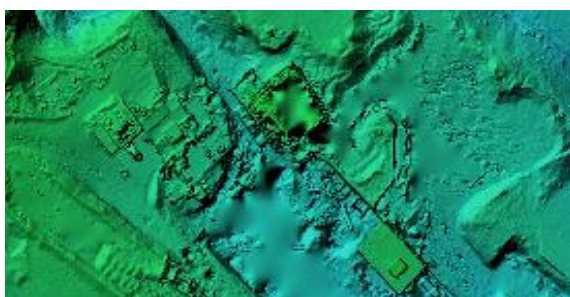


شکل ۷: تصویر راست: قسمتی از ابر نقطه متراکم تولیدشده با داده اصلی - تصویر چپ: قسمتی از ابر نقطه متراکم تولیدشده با داده بهبودیافته

از ابر نقطه متراکم تولیدشده در نرم‌افزار متاشیپ با تنظیمات یکسان استفاده شد. نتایج محصولات تولیدشده در شکل (۸) نشان داده شده‌اند.

۴-۲- ساخت DEM

برای ساخت DEM نیز برای هر دو حالت قبل و بعد از بهبود روشنایی تصاویر برای هر دو منطقه مورد مطالعه،



شکل ۸: تصویر راست: قسمتی از DEM تولیدشده با داده اصلی - تصویر چپ: قسمتی از DEM تولیدشده با داده بهبودیافته

مشخص شده بارنگ قرمز بهترین نتیجه و مقادیر مشخص شده بارنگ آبی دومین نتیجه مناسب هستند. لازم به ذکر است که تمامی مقادیر به‌دست‌آمده برای هر شاخص بدون واحد می‌باشند. با توجه به مقادیر شاخص‌ها برای مناطق با شرایط نوری کم، روش‌های *MTI*، *DEM* و *MEFOPT* بهترین نتایج کیفی را شامل می‌شوند. همچنین با توجه به کیفیت بصری

۵- ارزیابی نتایج

به‌منظور بررسی کیفیت تصاویر بهبودیافته با روش‌های استفاده‌شده در این مقاله از شاخص‌های بهبود روشنایی برای داده‌های منطقه مورد مطالعه اول در جدول (۲) و برای داده‌های منطقه مورد مطالعه دوم در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. در تمام روش‌ها به‌جز شاخص Q_{cv} مقادیر بالاتر نشان‌دهنده کیفیت بهتر می‌باشند. مقادیر

تصاویر بهبودیافته، روش *DEM* و *MEFOPT* بهترین کیفیت بصری را به همراه داشتند. درمجموع برای داده-های منطقه مورد مطالعاتی اول، روش *DEM* به عنوان بهترین روش انتخاب شد.

جدول ۲: مقادیر شاخص های کیفی برای روش های بهبود روشنایی در منطقه مورد مطالعه اول (مقادیر بدون واحد هستند)

روش ها شاخص ها	<i>DEM</i>	<i>DSIFT</i>	<i>FMMEF</i>	<i>MEFAW</i>	<i>MEF DSIFT</i>	<i>MGFF</i>	<i>PMEF</i>	<i>MEF_OPT</i>	<i>MIT</i>
<i>psnr</i>	۶۷,۰۴۱۹	۶۴,۵۸۶۳۶	۶۶,۰۲۲۷۵	۶۶,۴۹۶۲۱	۶۴,۷۹۹۳۶	۶۴,۶۸۵۵۹	۶۶,۶۰۹۶۸	۶۷,۸۳۹۴۴	۷۰,۱۱۹۷۴
<i>entropy</i>	۷,۳۴۰۴۸	۷,۰۲۲۵۶۶	۷,۵۲۱۲۵۷	۷,۱۹۷۴۶۷	۷,۳۲۰۸۴	۷,۳۱۳۷۵۷	۷,۲۰۳۷۷۴	۷,۴۳۷۲۲۶	۶,۹۶۰۳۸
<i>SSIM</i>	۰,۹۳۷۵۷	۰,۸۷۴۹۰۳	۰,۸۷۹۹۳۳	۰,۹۰۵۱۲۶	۰,۸۷۵۰۵۸	۰,۸۱۲۸۷	۰,۹۰۵۸۷۱	۰,۹۰۶۸۱۴	۰,۹۵۳۱۶۸
<i>QC</i>	۰,۷۵۱۱۰	۰,۶۰۹۱۸۶	۰,۵۸۰۱۶	۰,۷۰۹۶۵۴	۰,۵۰۲۱۱۱	۰,۴۵۰۹۱۳	۰,۷۱۲۳۶۲	۰,۷۱۲۳۳۲	۰,۸۹۶۲۲۸
<i>Qcb</i>	۰,۲۶۲۵۵	۰,۲۴۶۳۳۹	۰,۲۰۴۴۶۶	۰,۲۵۳۷۷۹	۰,۱۸۰۷۵۱	۰,۱۵۷۸۸۶	۰,۲۵۲۸۶۳	۰,۲۳۴۹۶۶	۰,۵۷۵۳۶۴
<i>Qcv</i>	۵۴,۳۰۱۴	۴۲۶,۵۵۶۷	۱۴۶,۷۳۶۹	۷۳,۹۷۵۸۴	۸۵,۹۴۳۰۱	۹۴,۷۵۲۴۷	۶۵,۳۹۹۲۸	۶۸,۰۲۶۰۲	۴۲,۸۸۳۶۸
<i>Qy</i>	۰,۷۵۱۱۱	۰,۶۰۹۱۸۷	۰,۵۷۹۹۰۸	۰,۷۰۹۶۵۶	۰,۵۰۱۳۹۷	۰,۴۵۰۸۹۴	۰,۷۱۲۳۶۴	۰,۷۱۲۳۳۴	۰,۸۹۶۲۳
<i>S_F</i>	۱۵,۱۰۳۵	۱۷,۹۴۹۷	۱۷,۳۶۳۶۱	۱۶,۲۶۱۶	۱۷,۴۳۲۰۷	۲۲,۱۵۴۲۷	۱۶,۴۹۶۲	۱۷,۳۳۳۰۳	۱۴,۵۳۳۸۹
<i>AG</i>	۵,۴۸۳۸۰	۶,۳۲۲۳۴۴	۶,۳۸۰۳۵۶	۵,۹۸۰۳۶۶	۶,۳۳۳۹۲۴	۷,۸۷۳۸۹۴	۵,۹۹۹۳۳۰	۶,۳۰۵۲۶۳	۴,۷۴۱۵۹۶
<i>Qp</i>	۰,۸۱۱۰۳	۰,۶۶۲۴۷۶	۰,۶۸۰۳۲۷	۰,۷۶۶۵۷۵	۰,۶۲۴۹۳۶	۰,۵۹۶۲۵۵	۰,۷۶۳۸۳۲	۰,۷۶۳۳۹	۰,۷۷۷۵۲۹
<i>Vif</i>	۱,۴۳۹۹۷	۱,۴۵۵۷۹۹	۱,۷۴۲۵۳۵	۱,۵۸۱۶۳۲	۱,۶۲۶۹۱۳	۱,۹۴۸۹۵۴	۱,۵۹۳۹۸	۱,۶۹۳۶۴۵	۱,۱۸۷۲۰۲

جدول ۳: مقادیر شاخص های کیفی برای روش های بهبود روشنایی در منطقه مورد مطالعه دوم (مقادیر بدون واحد هستند)

روش ها شاخص ها	<i>DEM</i>	<i>DSIFT</i>	<i>FMMEF</i>	<i>MEFAW</i>	<i>MEFDSIFT</i>	<i>GD</i>	<i>PMEF</i>	<i>AMEF</i>
<i>psnr</i>	۶۶,۹۶۷۱۳	۶۶,۷۷۲۳	۶۶,۸۰۷۲۲	۶۶,۹۴۹۲۴	۶۶,۹۰۶۴۸	۶۶,۹۵۲۹۶	۶۶,۹۱۹۷۴	۶۶,۹۵۵۴۹
<i>entropy</i>	۶,۸۸۲۴۹	۶,۵۶۲۱۹۸	۶,۲۵۸۳۵۵	۶,۵۲۱۲۰۶	۷,۲۱۸۲۵۹	۶,۸۱۸۰۰۴	۶,۸۱۷۱۴۹	۶,۸۴۱۱۸۵
<i>SSIM</i>	۰,۹۶۱۹۵۲	۰,۹۹۰۴۸۵	۰,۹۷۰۸۰۵	۰,۹۹۰۹۵۲	۰,۹۸۵۰۶۳	۰,۹۸۱۶۰۵	۰,۹۸۹۵۵۶	۰,۹۳۲۸۲۲
<i>QC</i>	۰,۷۱۷۱۹	۰,۸۰۸۵۶	۰,۷۰۰۰۱	۰,۸۱۱۴۱۲	۰,۷۰۸۳۴۷	۰,۷۳۱۹۸۳	۰,۷۳۹۲۸۹	۰,۶۶۰۴۰۶
<i>Qcb</i>	۰,۳۴۰۶۹	۰,۶۶۱۴۶	۰,۴۵۴۵۰۵	۰,۶۶۴۴	۰,۵۴۳۷۴۶	۰,۴۴۸۳۴۹	۰,۵۷۹۰۶۶	۰,۳۴۸۳۵
<i>Qcv</i>	۳۷۸,۶۵۸۶	۲۳۰,۰۸۹۳	۱۸۰,۳۲۵۵	۲۲۸,۰۰۹۵	۲۰۶,۰۲۰۷	۲۱۱,۲۵۷۷	۲۱۹,۵۷۴۹	۲۵۳,۳۱۹۵
<i>Qy</i>	۰,۷۹۳۵۷۷	۰,۸۹۴	۰,۷۷۴۷۵۲	۰,۸۹۱۸۵۵	۰,۷۸۳۳۱	۰,۷۹۶۴۸۲	۰,۸۱۲۳۹۷	۰,۷۰۶۲۱۳
<i>S_F</i>	۱۰,۲۱۰۳۶	۱۳,۱۴۳۹۸	۱۳,۱۵۰۳۳	۱۲,۹۲۷۶۸	۱۳,۲۲۴۷۷	۱۲,۲۶۱۹۹	۱۲,۸۲۸۷۳	۱۱,۰۳۷۲۷
<i>AG</i>	۳,۸۱۷۷۰۱۱	۴,۸۷۶۰۳	۴,۷۷۸۹۱۰۰	۴,۸۷۸۷۶۹	۴,۹۲۳۵۰۳۴	۴,۵۹۲۶۸۶۵	۴,۸۳۳۷۴۴	۴,۲۵۱۹۷۲۶
<i>Qp</i>	۰,۸۸۱۱۴۹	۰,۸۸۹۳۰۲	۰,۸۱۵۶۶۲	۰,۹۰۵۷۹	۰,۸۶۳۸۵۸	۰,۸۷۱۲۸۳	۰,۸۸۷۱۸۷	۰,۸۰۳۰۴۶
<i>Vif</i>	۰,۶۹۵۳۴۹	۱,۰۱۰۹۶	۱,۰۲۹۶۱۴	۱,۰۱۴۵۰۱	۱,۰۳۷۰۸۴	۰,۹۲۶۹۶۲	۰,۹۸۶۸۸۹	۰,۸۵۵۰۲۸

شاخص‌های ارزیابی روشنایی، روش‌های *DEM* و *MEFAW* بهترین نتایج را داشتند. با بررسی کیفیت بصری، روش *MEFAW* به‌عنوان بهترین روش در نظر گرفته شد. شکل (۱۰) نتیجه تصویر بهبودیافته و بازیابی اطلاعاتی موجود در تصویر در مناطق با روشنایی اشباع‌شده می‌باشد.

برای بررسی میزان تأثیر بهبود روشنایی تصاویر در کیفیت محصولات حاصل از تصاویر هوایی، از روش *DEM* استفاده شد. شکل (۹) نشان‌دهنده کیفیت تصویر بهبودیافته از روش انتخابی است. برای منطقه مورد مطالعه دوم که مربوط به تصاویر با شرایط نوری بیش از اندازه می‌باشد، با توجه به مقادیر بدست‌آمده از



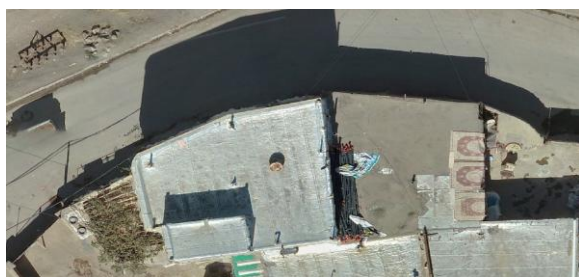
شکل ۹: تصویر راست: تصویر اصلی - تصویر چپ: تصویر بهبودیافته با استفاده از روش *DEM*



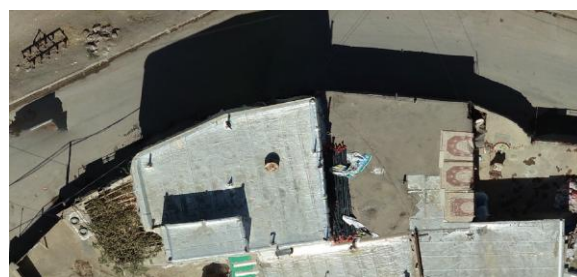
شکل ۱۰: تصویر راست: تصویر اصلی - تصویر چپ: تصویر بهبودیافته با استفاده از روش *MEFAW*

از دست‌رفته، علاوه بر بهبود روشنایی، مدل ارتفاعی نیز بهبودیافته و اطلاعات بیشتری را ارائه می‌دهد. همچنین از شکل (۷) می‌توان ملاحظه کرد که ابر نقطه تولیدی به میزان قابل‌توجهی بهبودیافته و عوارض از ساختار منظم‌تری پیروی می‌کنند. اورتو فتو تولیدی در مناطق با نور بیش از حد از نظر کنتراست و شناسایی بهتر عوارض بهبودیافته‌اند (شکل (۱۰)). در مناطق با پوشش سایه، می‌توان کاهش اثر سایه که یکی از چالش‌های مهم در تولید اورتو فتو می‌باشد را مشاهده کرد (شکل (۹)). دقت مثلث‌بندی در حالت قبل و بعد از بهبود تصاویر بر اساس نقاط کنترل، کمتر از یک سانتی‌متر بوده که نشان‌دهنده عدم تغییر دقت در حالت قبل و بعد از بهبود تصاویر است.

با توجه به شکل‌های (۱۱) و (۱۲) می‌توان مشاهده کرد که مدل رقومی زمین برای تصاویر بهبودیافته در مناطقی که به‌دلیل میزان روشنایی کم و یا زیاد (محدوده داخل حاشیه قرمز) دچار از بین رفتن اطلاعات شده بودند بازیابی شده‌اند اما این تغییر در شکل (۱۲) به دلیل بازیابی اطلاعات بیشتر، در تصویر نمود بیشتری داشته و ارتفاع مناطق بیشتری قابل‌شناسایی شده‌اند. در شکل (۱۱) مناطق داخل سایه از نظر کیفیت روشنایی بهتر شده‌اند ولی در مدل ارتفاعی تولیدشده به دلیل آنکه اطلاعات زیادی بازیابی نشده، بهبود محسوسی مشاهده نمی‌شود و تنها با بهبود روشنایی، عوارض داخل این محدوده‌ها از نظر بصری بهتر قابل تشخیص هستند، اما برای منطقه مورد مطالعاتی دوم (شکل (۱۲)) به دلیل بازیابی اطلاعات



(الف)



(ج)

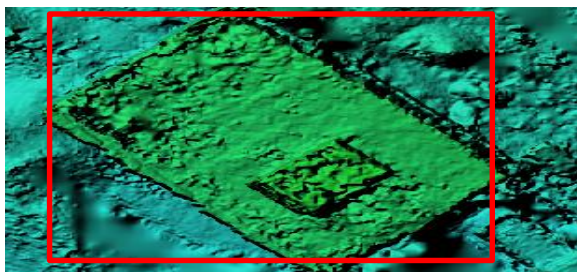


(ب)

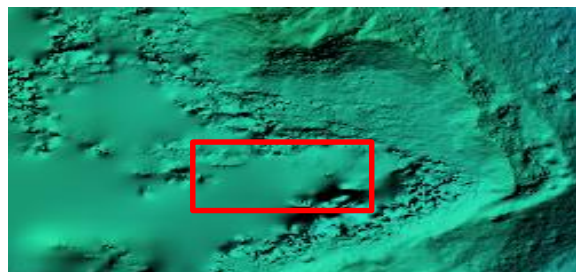


(د)

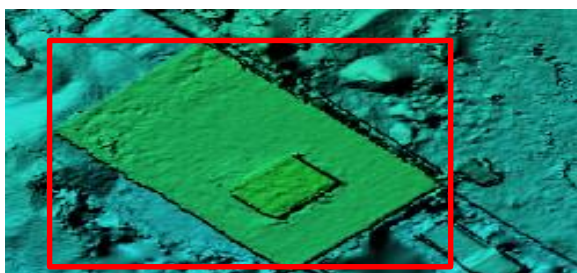
شکل ۱۱: (الف): قسمتی از اورتو تولیدشده با داده بهبودیافته منطقه مورد مطالعه اول (ب): قسمتی از *DEM* تولیدشده با داده بهبودیافته منطقه مورد مطالعه اول (ج): قسمتی از اورتو تولیدشده با داده منطقه مورد مطالعه اول (د): قسمتی از *DEM* تولیدشده با داده منطقه مورد مطالعه اول



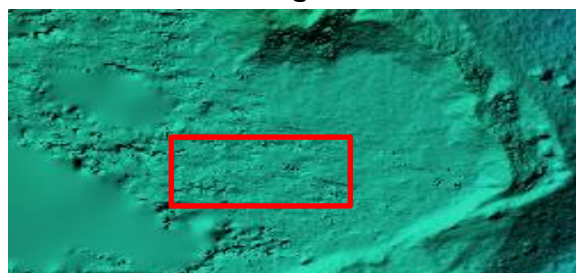
(الف)



(ج)



(ب)



(د)

شکل ۱۲: (الف): قسمتی از یک ساختمان در *DEM* تولیدشده با داده منطقه مورد مطالعه دوم (ب): قسمتی از یک ساختمان در *DEM* تولیدشده با داده منطقه مورد مطالعه دوم (ج): قسمتی از سطح زمین در *DEM* تولیدشده با داده منطقه مورد مطالعه دوم (د): قسمتی از سطح زمین در *DEM* تولیدشده با داده بهبودیافته منطقه مورد مطالعه دوم

همچنین می‌توان مشاهده کرد که محصولات فتوگرامتری به‌دست‌آمده از تصاویر بهبودیافته از کیفیت بالاتری برخوردار بوده و علاوه بر آن یک سری اطلاعات پنهان‌شده نیز بازیابی شده‌اند. با توجه به مزایای ایجادشده به کمک بهبود روشنایی تصاویر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از روش‌های بهبود روشنایی می‌تواند اثر شرایط نامناسب نوری را تا حد قابل قبولی رفع کرده و نیاز به پرواز مجدد به‌منظور تهیه داده را با توجه به میزان بازیابی اطلاعات موجود در منطقه، کاهش دهد. علاوه بر روش‌های بررسی‌شده در این مقاله روش‌های جدیدتری مبتنی بر یادگیری عمیق نیز در بهبود روشنایی تصاویر مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان در کارهای آینده این نوع روش‌ها را نیز مورد ارزیابی قرارداد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد تا با انتخاب بهترین روش از میان جدیدترین روش‌های بهبود روشنایی برای هرکدام از تصاویر اخذشده در شرایط نوری کم‌وزیاد، میزان تأثیر آن‌ها در محصولات فتوگرامتری مورد ارزیابی قرار گیرند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اظهار کرد که الزاماً بهترین روش برای تصاویری که دارای شدت روشنایی کمی هستند برای مناطق با روشنایی بالا مناسب نبوده و بالعکس. از نظر بهینه بودن زمان انجام پردازش برای بهبود تصاویر و تولید تصاویر بهبودیافته، تمام روش‌ها تقریباً نیاز به زمان یکسانی داشته و اختلاف بین زمان پردازش تصاویر کمتر از ۱ دقیقه است. از طرفی باید توجه کرد که بسته به حجم تصاویر این زمان برای روش‌های مختلف متفاوت خواهد بود.

مراجع

- [1] X. Zhang, "Benchmarking and comparing multi-exposure image fusion algorithms," *Inf. Fusion*, vol. 74, no. July 2020, pp. 111–131, 2021, doi: 10.1016/j.inffus.2021.02.005.
- [2] Z. Ying, G. Li, and W. Gao, "A Bio-Inspired Multi-Exposure Fusion Framework for Low-light Image Enhancement," vol. 14, no. 8, pp. 1–10, 2017, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1711.00591>
- [3] K. Ma and Z. Wang, "Multi-exposure image fusion: A patch-wise approach," *Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP*, vol. 2015-Decem, pp. 1717–1721, 2015, doi: 10.1109/ICIP.2015.7351094.
- [4] H. Li, K. Ma, H. Yong, and L. Zhang, "Fast Multi-Scale Structural Patch Decomposition for Multi-Exposure Image Fusion," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 29, pp. 5805–5816, 2020, doi: 10.1109/TIP.2020.2987133.
- [5] P. J. Burt and R. J. Kolczynski, "Enhanced image capture through fusion," in 1993 (4th) International Conference on Computer Vision, 1993, pp. 173–182. doi: 10.1109/ICCV.1993.378222.
- [6] A. Vyas, S. Yu, and J. Paik, "Fundamentals of digital image processing," *Signals Commun. Technol.*, no. November, pp. 3–11, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-7272-7_1.
- [7] T. Huynh-The and T. Le-Tien, "Brightness preserving weighted dynamic range histogram equalization for image contrast enhancement," *Int. Conf. Adv. Technol. Commun.*, vol. 53, no. 4, pp. 386–391, 2013, doi: 10.1109/ATC.2013.6698142.
- [8] C. Wang and Z. Ye, "Brightness preserving histogram equalization with maximum entropy: A variational perspective," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 51, no. 4, pp. 1326–1334, 2005, doi: 10.1109/TCE.2005.1561863.
- [9] A. M. Reza, "Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement," *J. VLSI Signal Process. Syst. Signal Image. Video Technol.*, vol. 38, no. 1, pp. 35–44, 2004, doi: 10.1023/B:VLSI.0000028532.53893.82.
- [10] H. Ibrahim and N. S. P. Kong, "Brightness

- preserving dynamic histogram equalization for image contrast enhancement," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1752–1758, 2007, doi: 10.1109/TCE.2007.4429280.
- [11] N. Hayat and M. Imran, "Ghost-free multi exposure image fusion technique using dense SIFT descriptor and guided filter," *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 62, pp. 295–308, 2019, doi: 10.1016/j.jvcir.2019.06.002.
- [12] S. H. Lee, J. S. Park, and N. I. Cho, "A Multi-Exposure Image Fusion Based on the Adaptive Weights Reflecting the Relative Pixel Intensity and Global Gradient," *Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP*, pp. 1737–1741, 2018, doi: 10.1109/ICIP.2018.8451153.
- [13] Q. Wang, W. Chen, X. Wu, and Z. Li, "Detail-enhanced Multi-scale Exposure Fusion in YUV Color Space," vol. 2, no. i, pp. 1–12.
- [14] S. Paul, I. S. Sevcenco, and P. Agathoklis, "Multi-Exposure and Multi-Focus Image Fusion in Gradient Domain," vol. 25, no. 10, pp. 1–18, 2016, doi: 10.1142/S0218126616501231.
- [15] K. R. Prabhakar, V. S. Srikar, and R. V. Babu, "DeepFuse: A Deep Unsupervised Approach for Exposure Fusion with Extreme Exposure Image Pairs," no. Ev 0, pp. 4714–4722.
- [16] J. K. Park and D. W. Park, "Application of the Ortho Image for the Cadastral Survey," *Aug.* 2015, pp. 113–117. doi: 10.14257/astl.2015.100.24.
- [17] S. H. Lee, J. S. Park, and N. I. Cho, "A Multi-Exposure Image Fusion Based on the Adaptive Weights Reflecting the Relative Pixel Intensity and Global Gradient," *Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP*, vol. 53, no. 4, pp. 1737–1741, 2018, doi: 10.1109/ICIP.2018.8451153.
- [18] L. Images, Y. Yang, W. Cao, S. Wu, and Z. Li, "Multi-Scale Fusion of Two," vol. 25, no. 12, pp. 1885–1889, 2018.
- [19] D. Prasad, B. Gang, X. Junhao, and Z. Ravindra, "Multi-scale Guided Image and Video Fusion: A Fast," *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 38, no. 12, pp. 5576–5605, 2019, doi: 10.1007/s00034-019-01131-z.
- [20] K. Ma, S. Member, K. Zeng, and Z. Wang, "Perceptual Quality Assessment for Multi-Exposure Image Fusion," vol. 24, no. 11, pp. 3345–3356, 2015.
- [21] A. Galdran, "Image dehazing by artificial multiple-exposure image fusion," *Signal Processing*, vol. 149, pp. 135–147, 2018, doi: 10.1016/j.sigpro.2018.03.008.
- [22] J. W. Roberts, J. Van Aardt, and F. Ahmed, "Assessment of image fusion procedures using entropy, image quality, and multispectral classification," vol. 2, no. May, pp. 1–28, 2008, doi: 10.1117/1.2945910.
- [23] P. Jagalingam and A. Vittal, "A Review of Quality Metrics for Fused Image," *Aquat. Procedia*, vol. 4, no. Icwrcoc, pp. 133–142, 2015, doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.019.
- [24] G. Cui, H. Feng, Z. Xu, Q. Li, and Y. Chen, "Detail preserved fusion of visible and infrared images using regional saliency extraction and multi-scale image decomposition," vol. 341, pp. 199–209, 2015, doi: 10.1016/j.optcom.2014.12.032.
- [25] I. Journal, I. Computing, C. Volume, I. International, I. Technology, and K. E. Ave, "IMAGE FUSION BASED ON AN ABSOLUTE FEATURE," vol. 3, no. 6, pp. 1433–1447, 2007.
- [26] A. M. Eskicioglu and P. S. Fisher, "Image Quality Measures and Their Performance," vol. 43, no. 12, pp. 2959–2965, 1995.
- [27] S. Pistonesi, J. Martinez, S. Mar, and R. Vallejos, "Structural Similarity Metrics for Quality Image Fusion Assessment: Structural Similarity Metrics for Quality Image Fusion Assessment: Algorithms Introduction Image fusion is the process of combining information available from two or more images of a sce," no. October,

2018, doi: 10.5201/ipol.2018.196.

- [28] S. Li, R. Hong, and X. Wu, "A Novel Similarity Based Quality Metric for Image Fusion," pp. 167–172, 2008.
- [29] Y. Chen and R. S. Blum, "A new automated quality assessment algorithm for image fusion q," *Image Vis. Comput.*, vol. 27, no. 10, pp. 1421–1432, 2009, doi: 10.1016/j.imavis.2007.12.002.
- [30] H. Chen and P. K. Varshney, "A human perception inspired quality metric for image fusion based on regional information," vol. 8, pp. 193–207, 2007, doi: 10.1016/j.inffus.2005.10.001.
- [31] Y. Han, Y. Cai, Y. Cao, and X. Xu, "A new image fusion performance metric based on visual information fidelity," *Inf. Fusion*, vol. 14, no. 2, pp. 127–135, 2013, doi: 10.1016/j.inffus.2011.08.002.



Comparative Evaluation of Lighting Improvement Methods in Aerial Images

Hossein Zavar ¹, Reza Shah-Hosseini ^{2*}

1- PhD Student., School of Surveying & Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

2- Assistant Professor., School of Surveying & Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

Abstract

Aerial imaging has become a common method for producing geospatial products such as orthoimages and digital surface models. However, the presence of non-ideal lighting conditions in aerial imaging has become a prevalent issue. Various techniques have been proposed in the last decade to improve the quality of images in terms of lighting conditions. Yet, the evaluation of their impact on enhancing the brightness of the aerial images and the products derived from them has not been adequately assessed. The aim of this research is to examine the impact of several brightness enhancement techniques and select the most effective ones for improving the brightness in the aerial images. Due to the inadequate lighting conditions, these images lack the desired quality and lose certain spectral information. Therefore, a total of 11 different techniques were examined for enhancing the brightness of the images in two study areas, which exhibit different lighting conditions. Subsequently, the impact of these techniques on the enhanced images was evaluated using 11 brightness indices. Ultimately, based on the evaluation of these brightness indices, the multi-scale detail enhancement method was selected for the first study area, and the image fusion with adaptive weights based on different brightness was chosen for the second study area. By selecting the best method for each of the images related to different areas, the impact of improving the photogrammetric products was also evaluated. The improvement of the hidden artifacts in shadow areas and the ones that are imperceptible to the naked eye due to the excessive light reflection constitutes the results of the aerial image brightness enhancement. Furthermore, in the generation of the point clouds and the digital surface models, significant improvements were made in retrieving the information which had been lost from the surface before image enhancement. The results obtained based on the structural similarity index for the improved images of the first and second study areas were 0.95 and 0.99, respectively, indicating the preservation of details in the initial image along with the improvement of its brightness.

Key words : Photogrammetry, Integration, Lighting Improvement, Orthophoto, Point Cloud.