



آشکارسازی سایه در تصاویر ماهواره ای در فضای HSV بر پایه عملگرهای ریخت شناسی

علیرضا عرب سعیدی^۱، عباس مالیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجانی

۲- استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجانی

چکیده:

به منظور کاهش اثر سایه در تصاویر بزرگ مقیاس و همچنین به منظور کاربردهای دیگر آن، روشی به منظور شناسایی سایه در تصاویر مبتنی بر بررسی تصویر در فضاها رنگی مختلف و اعمال فیلترهای ریخت شناسی که از جمله ابزارهای پرکاربرد در تحلیل تصاویر به عنوان پیش و پس پردازش می باشد ارائه گردیده است که در آن با استفاده از اطلاعات شکل عوارض در تصاویر به لحاظ آماری و ویژگی‌های هندسی به تشخیص سایه پرداخته شده است. در این مطالعه روشی مبتنی بر فیلترهای ریخت شناسی برای تشخیص سایه در تصاویر ماهواره‌ای که پیش تر مورد بررسی قرار گرفته اند در محدوده شهری بهبود داده می شود. در ابتدا بر روی تصویر پیش پردازش‌هایی به منظور بهبود کنتراست تصویر انجام می گیرد و پس از آن تصویر باینری توسط روش تعیین حدآستانه تولید شده و پس از حذف پس زمینه تصویر، نویزها و نواحی ناخواسته توسط فیلترهای ترکیبی از عملگرهای ریخت شناسی از بین می رود و سرانجام تصویر سایه بازسازی می شود.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی سایه، تصویر ماهواره ای، تبدیل HSV، سرکوب عوارض، عملگرهای ریخت شناسی، پس پردازش.



۱- مقدمه

با توجه به اینکه در تصاویر بزرگ مقیاس سنجش از دور سایه به منزله یک شبه عارضه^۱ به وضوح خودنمایی می کند و بخش مهمی از صحنه را به خود اختصاص می دهد در بسیاری از موارد از جمله اطلاعات مغایر و مزاحم برای پردازش ها و تحلیل های خودکار تصویری به حساب می آید و میزان نرخ استخراج لبه ها و یا شناسایی عوارض راکاهش می دهد یا دچار خطا می سازد. در حوزه آشکارسازی تغییرات، تطبیق تصاویر^۲ و دیگر پردازش هایی که مرتبط با عوارض زمینی می باشند، شناسایی سایه و حذف آن از تصویر یکی از نیازهای اساسی است به ویژه در تحلیل هایی که برای ارزیابی آسیب رخدادهای طبیعی نظیر زلزله، تسونامی، رانش زمین و غیره انجام می شود زیرا وجود سایه مانعی برای استخراج صحیح ساختمان ها و عوارض می شود و منجر به تشخیص های اشتباه می گردد. یکی از چالش های پیش رو در شناسایی عوارض در تصویر، پیش پردازش و یا بررسی سایه و بهبود کیفیت تصویر است. مطالعات بسیاری در زمینه شناسایی و حذف سایه در تصاویر ماهواره ای بزرگ مقیاس صورت گرفته است. شناسایی سایه در آنها طی فرآیند بخش بندی^۳ تصویر انجام می شود. از جمله مطالعاتی که در خصوص شناسایی سایه توسط بخش بندی انجام شده است می توان به روش شی گرا اشاره کرد [1]. در این گونه روش ها عوارض سایه در فرآیند بخش بندی در نظر گرفته می شوند و سپس براساس ویژگی های آماری نواحی سایه تعیین می شوند. بنابراین می توان به ارتباط میان عارضه و سایه مورد نظر به عنوان پارامتری مهم برای شناسایی اشاره کرد. علاوه بر این برخی از نواحی تیره نیز به عنوان سایه در نظر گرفته می شوند و در نتیجه سایه هدف توسط ویژگی های آماری استخراج می شوند. بر اساس خصوصیات که در تصاویر بزرگ مقیاس وجود دارد روش های شی گرا در تشخیص سایه و حذف آن نیز مورد مطالعه قرار گرفته است [2]. در این روش عوارض سایه در طی فرآیند بخش بندی استخراج می شوند. در تصاویر شهری سنجش از دور سایه ها معمولاً توسط عوارض مرتفع نظیر ساختمان ها، پل ها، برج ها و مانند آن ایجاد می شوند. زمانی که این گونه عوارض روشن می شوند و در معرض نور خورشید قرار می گیرند از دیدگاه دیگر ممکن است اطلاعات مفیدی را درباره شکل، موقعیت نسبی، ویژگی های سطح و دیگر خصوصیات عوارض فراهم کنند. در بررسی های انجام شده در شناسایی سایه، الگوریتم های بسیاری پیشنهاد شده است. در مطالعه ای تصاویر به منظور بدست آوردن سایه توسط الگوریتم اتسو^۴ به فضاهای رنگی متفاوت (YCbCr، YIQ، HCV، HSV) تبدیل شده اند [3]. روش های متنوع دیگری از قبیل تطبیق هیستوگرام و تصحیح گاما، تصحیح همبستگی خطی نیز به منظور بالا بردن کیفیت تصویر پیشنهاد شده است [4]. این روش ها می توانند به طور مؤثر سایه های اشتباه را که بواسطه پوشش گیاهی در فضاهای تصویری ایجاد شده اند متمایز کنند. بر این اساس حدآستانه ای برای شناسایی سایه پیشنهاد می شود [5]. به منظور دوری از سایه های اشتباه ناشی از عوارض تیره، همچون پوشش گیاهی و رطوبت، در صورت داشتن باند فرسرخ نزدیک (NIR)، با استفاده از تفاضل شاخص پوشش گیاهی می توان نقش پوشش گیاهی را از بین برد [6]. در مطالعه ای مشابه چندین روش به منظور بهبود آشکارسازی سایه از ارتباط میان کلاس های سایه و کلاس های غیرسایه نظیر استفاده شده است [7]. از جمله مشکلاتی که برای روش های فوق می توان اشاره کرد عدم تمایز میان عوارض تیره و عوارض سایه است که در این خصوص مطالعه در زمینه بررسی سایه اصلی متناسب با عارضه بسیار حائز اهمیت است.

¹ Artifact

² Image Matching

³ Segmentation

⁴ Otsu



۱-۱- آشکارسازی سایه

سایه ها به دلیل مسدود شدن مسیر پرتو از منبع نور ایجاد می شوند بنابراین دو نوع سایه وجود خواهد داشت: سایه خود جسم که روی بخشی از آن که در برابر منبع نور نمی باشد^۵ و بخش سایه اصلی که بر روی زمین بدلیل نرسیدن نور به آن منطقه تشکیل می شود^۶. بر این اساس شناسایی و حذف سایه ها نقش بسیار مهمی را در کاربرد ها به خصوص در مناطق شهری و در تصاویر بزرگ مقیاس خواهد داشت (شکل ۱-۱). در برخی کاربردها سایه را به عنوان اطلاعات ناخواسته و یا عامل ایجاد خطا در فرآیند رده بندی^۷ یا تفسیر عکسی عنوان می کنند.

به منظور کاهش تأثیر سایه در تصاویر بزرگ مقیاس برای کاربردهای مختلف، می توان توسط یک تبدیل ریاضی تصویر دارای سه باند را به فضای HSV^۸ نگاشت کرد و توسط روش حدآستانه اتسو تصویر باینری را ایجاد نمود. بعد از اینکه سایه ها شناسایی شد توسط ترکیبی از روش های ریخت شناختی و تعیین محیط و حاشیه اطراف هر ناحیه از سایه می توان محدوده های سایه را از تصویر حذف کرد.



شکل (۱-۱) تصویر سایه ساختمان

۲-۱- روش شناسی

روش های جامع در آشکارسازی سایه را به طور خلاصه می توان به دو گروه کلی به شرح زیر رده بندی کرد:

- روش های مبتنی بر مدل
- روش های مبتنی بر ویژگی های سایه

در روش های مبتنی بر مدل خصوصیات طیف سایه و هندسه سایه در روش مبتنی بر ویژگی های سایه استفاده می شوند [8]. در این روش ها اطلاعات پیشینی همچون الگوی حرکت صحنه و ارتفاع سنجنده به کار گرفته می شوند. در روش های مبتنی بر ویژگی نواحی سایه توسط اطلاعاتی همچون درجات خاکستری، میزان روشنایی، اشباع و بافت تعریف می شوند. از آنجایی که تصاویر با توان تفکیک بالاتر شامل اطلاعات مکانی بهتری هستند تفاوت های طیفی در پیکسل های همسایه در یک شی به تدریج افزایش می یابد. همچنین به منظور حذف سایه در تصاویر روش های مختلفی همچون رده بندی ماشین بردار پشتیبان^۹ نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد که با اعمال آن در

⁵ Self-Shadow

⁶ Cast-Shadow

⁷ Classification

⁸ Hue-Saturation-Value

² Support Vector Machine



بخش های همگن سایه ها حذف خواهند شد. روش های بهبود یافته نیز ترکیبی از هر دو این روش ها می باشد که در آنها عوارضی که دارای تیرگی هستند می توانند توسط الگوریتم به عنوان سایه تشخیص داده شوند. بنابراین به منظور بالا بردن دقت نتایج در شناسایی سایه نیاز به حذف این نواحی از تصویر می باشد. نتایج پراکنش ریلائی^{۱۰} در تصویر درجه خاکستری بین مناطق دارای سایه و بدون سایه در باند آبی نسبت به باند قرمز و سبز متفاوت است [1] که در نتیجه آن خوشه های تیره تر به عنوان مناطق تاریک رده بندی می شوند. لازم به ذکر است که سایه را به عنوان یک پدیده مثبت نیز در پردازش تصویر مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان نمونه در برخی از گزارش های علمی از سایه ها در عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای برای بازسازی شکل، سنجش ارتفاع عوارض، تفسیر و شناسایی محیط استفاده کرده اند [4]. در هر حال، پیش پردازش بر روی تصویر، تعیین حد آستانه و رده بندی سایه و غیر سایه در تصویر از جمله مراحل مهم در آشکارسازی سایه می باشد.

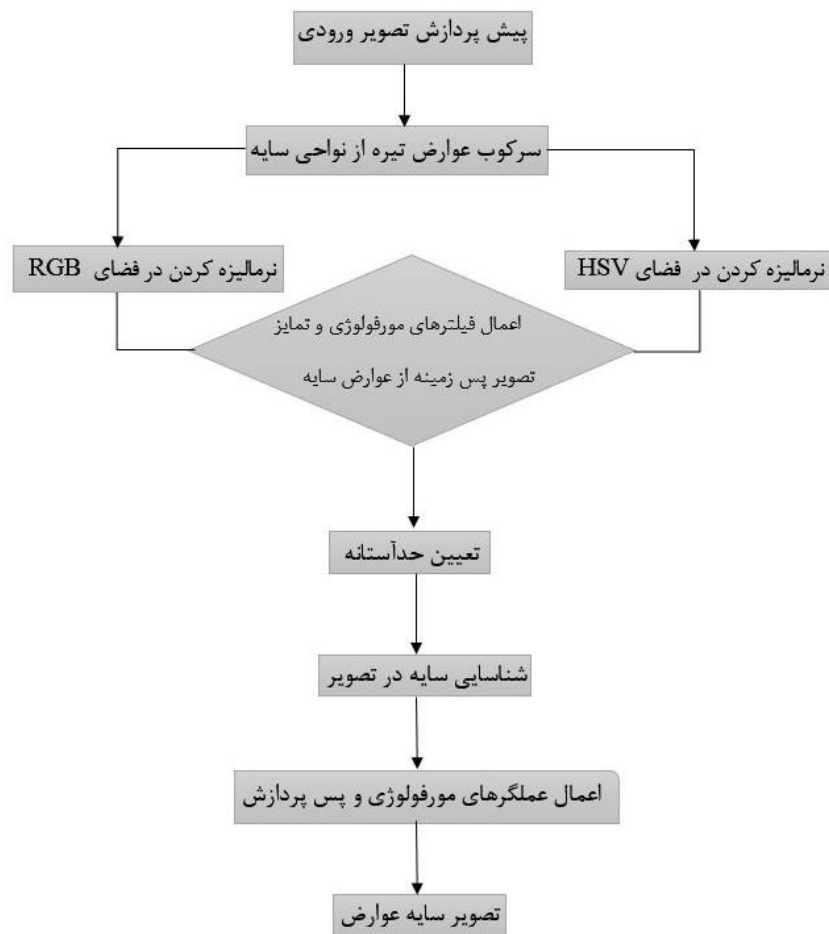
۲- الگوریتم پیشنهادی

در این مطالعه بر اساس ویژگی های از قبل تعریف شده که برای سایه در نظر گرفته شد، سایه و عوارض تیره ها با بررسی تصویر در فضای رنگی HSV و RGB از تصویر اصلی متمایز می شود و سپس مراحل پیش پردازش بر روی تصویر انجام می گردد. در این روش لازم است ویژگی های بارز سایه تعیین گردد. ابتدا با سرکوب کردن^{۱۱} عوارض جانبی که ممکن است با سایه اشتباه گرفته شوند از قبیل راه ها و ساختمان ها، عارضه هدف (سایه) توسط روابط ریخت شناسی^{۱۲} بارزتر می شود. بررسی تفاوت نواحی سایه و غیرسایه (جسم تیره) با توجه به تعریفی که برای سایه در نظر گرفته می شود، در مرحله بعد به منظور حذف جاده ها و راه ها با سرکوب پس زمینه انجام می شود، لذا در این مرحله با حذف پس زمینه و نرم کردن آن، سایه های تصویر برجسته تر می شوند و در پی آن با اعمال فیلترهای ریخت شناختی تصویر سایه تشکیل خواهد شد. چرخه مراحل کار در روش پیشنهادی در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

¹⁰ Rayleigh Scattering

¹¹ Suppression

¹² Morphologic



شکل (۱-۲) چرخه کار روش پیشنهادی

۱-۲- پیش پردازش

با بررسی هایی که بر روی مقادیر درجه روشنایی نواحی سایه در تصویر صورت گرفت و همچنین با ارزیابی پارامترهای آماری تصویر، مؤلفه های تصویر استخراج گردید و قبل از اعمال تبدیل ها و بهنجار کردن^{۱۳} باندهای تصویر، با اعمال مؤلفه ها و تعدیل تصویر بر حسب آرگومان ها مرحله پیش پردازش بر روی تصویر انجام شد. به منظور تعیین مؤلفه های اصلی سایه لازم است حذف نویزهای تصویر و تصحیح های رادیومتریک و هندسی بر روی تصویر انجام شود. در این مرحله با بررسی آرگومان های تعدیل تصویر^{۱۴} و با استفاده از ویژگی های آماری تصویر همچون میانگین (\bar{x}) و انحراف معیار (S) به کمک روابط ۱-۲ و ۲-۲ آرگومان های بهینه در محیط نرم افزار Matlab به دست آمد.

$$\text{Imadjust}(Img, [a1 \ a2 \ a3; b1 \ b2 \ b3])$$

که در آن Img تصویر ورودی است و آرگومان های a و b از روابط زیر محاسبه می شود

¹³ Normalization

¹⁴ Image Adjustment



$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{معادله (۱-۲)}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{معادله (۲-۲)}$$

$b3$	$b2$	$b1$	$a3$	$a2$	$a1$
۱	$\frac{S}{\bar{x}} + \sqrt{\frac{S}{\bar{x}}}$	$\frac{S}{\bar{x}}$.	$\frac{S}{\bar{x}}$	$\sqrt{\frac{S}{\bar{x}}}$

جدول (۲-۱) تعیین مقادیر آرگومان های تعدیل تصویر

یکی از اهداف مرحله پیش پردازش ضمن برطرف کردن نویز های تصویر و کاهش پیچیدگی های تصویر، فراهم کردن امکان تمایز بهتر میان عوارض سایه از غیر سایه می باشد.

۲-۲- جداسازی سایه از عارضه تیره

همان طور که در تعریف سایه اجسام بیان شد این مطالعه به دنبال آشکارسازی سایه اصلی عوارض بر روی سطح اتکا آن است و در این مرحله از تحقیق، بررسی سایه تشکیل شده بر روی خود عارضه هدف نمی باشد. برای این منظور ملاک هایی طبق جدول ۲-۲ برای تمایزدهی میان عوارض تیره و سایه در نظر گرفته شد.

وجود وابستگی بین رنگ پس زمینه و عوارض در سایه
ویژگی نرم بودن سایه نسبت به عوارض پیرامون

جدول (۲-۲) بررسی عوامل متمایز میان سایه و غیر سایه

در این مطالعه با سرکوب عوارض پس زمینه در فضای رنگی HSV و بهنجار کردن تصویر و تلفیق باندهای مناسب که در آن تمایز میان سایه و غیر سایه بارزتر است و سپس با اعمال فیلترهای ریخت شناسی بر روی تصویر برای تشدید این تمایز و در نهایت با تعیین یک حد آستانه مناسب برگرفته از الگوریتم اتسو برای تصویر، عوارض سایه از عوارض تیره کاملاً متمایز شد. در خصوص ویژگی دوم و نرم شدن سایه نیز با اعمال یک هسته^{۱۵} به شعاع سه پیکسل که در این مطالعه بر اساس اندازه عنصر ساختاری در نظر گرفته شد و اعمال آن بر روی تصویر و تعیین نواحی با اختلاف درجات روشنایی شدید و ضرب آن در تصویر حاصل از فضای رنگی، جداسازی مطلوب نواحی سایه دار حاصل گردید.

۲-۲-۱- انتخاب باند مناسب در فضای رنگی HSV

در این مرحله، ابتدا تصویر از فضای RGB رنگی طبق روابط (۲-۳) به فضای HSV تبدیل می گردد [4]. در مرحله بعد بر مبنای ویژگی های خاص نواحی سایه در فضای HSV با اختلاف مقدار شاخص ها به منظور شناسایی سایه ها و بهنجارسازی تصویر در فضای رنگی HSV تصویر حاصل شده در فضای اشباع را به عنوان یکی از خروجی های اولیه برای شناسایی سایه در نظر گرفته می شود.

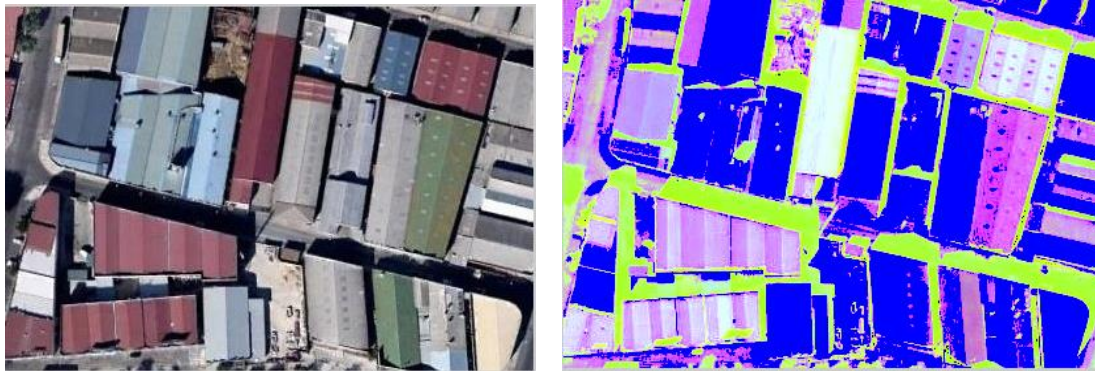


$$V = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B}$$

معادله (۳-۲)

$$H = \begin{cases} \theta & \text{If } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{If } B > G \end{cases}$$



شکل (۲-۲) چپ: تصویر ورودی ، راست: تبدیل تصویر در فضای HSV

۲-۲-۲ سرکوب عوارض پس زمینه

در این مرحله با بهنجار کردن مقادیر RGB تصویر و لگاریتم گیری از هر یک از باندها به صورت منفرد، سرکوب عوارض ناخواسته انجام می شود. با ترکیب باندهایی که عارضه سایه را بارزتر نشان می دهد و همچنین با اعمال عملگر ریخت شناسی Top Hat بر اساس معادله (۴-۲) بر روی تصویر ادغام شده، حذف پس زمینه از باندها انتخاب شده صورت می گیرد. مشکل نزدیکی مقادیر درجه روشنایی سایه به مقدار درجه عوارضی همچون جاده با ادغام تصاویر^{۱۶} حاصل شده از فضای HSV و فضای RGB با توجه به اینکه عوارض ناخواسته به شدت کاهش یافته اند و این عمل موجب بارز شدن سایه های ضعیف می شود برطرف می گردد. لازم به ذکر است که تصویر خروجی از فضای HSV و تصویر خروجی از مرحله قبل با یکدیگر ادغام و برای تلفیق دو تصویر حاصل در فضای رنگی و RGB حدآستانه ای بر روی تصویر خروجی تعیین می شود.

$$Image = f - (f \circ b)$$

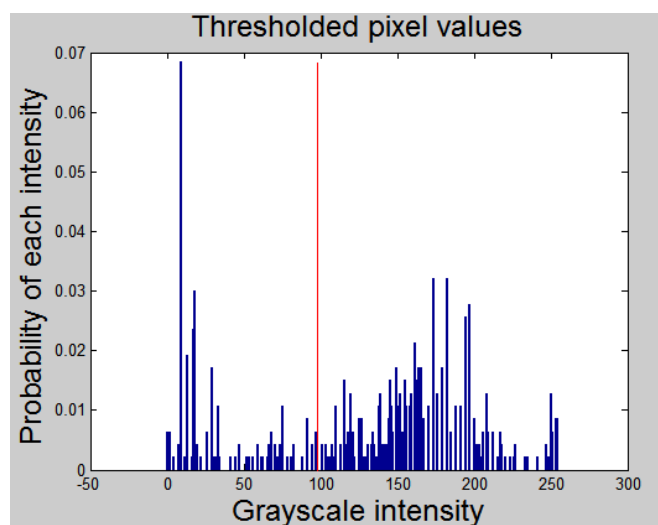
معادله (۴-۲)



در این معادله f تصویر اصلی و b عنصر ساختاری^{۱۷} می باشد. $Image$ تصویر خروجی با زمینه حذف شده پس از اعمال عملگر Top Hat است. عنصر ساختاری نیز پس از بررسی هایی همچون سرعت، دقت و تطابق با ویژگی های سایه، به صورت دایره ای شکل به کار گرفته شد.

۲-۳- حد آستانه

آستانه گذاری^{۱۸} روشی ساده برای باینری کردن تصویر است. حد آستانه بهینه در این مطالعه بر پایه روش اتسو تعیین گردید. روش اتسو بهینه سازی حد آستانه را با به بیشینه سازی واریانس میان رده هایی که توسط حد آستانه از هم جدا شده اند محاسبه می کند (شکل ۲-۳). بدین ترتیب با تکرار از طریق تمام مقادیر آستانه ممکن و محاسبه، واریانس درون رده ای کمینه می شود.



شکل (۲-۳) تعیین حد آستانه اتسو برای تصویر مورد استفاده

۲-۴- پس پردازش

در این مرحله حذف نویزها و عوارض نامطلوب از یک طرف و بهبود تصویر به لحاظ بارز شدن سایه ها از طرف دیگر توسط ترکیب روابط ریخت شناختی تصویری با عنصر ساختاری به منظور پر کردن حفره ها در نواحی سایه شناسایی شده انجام می شود. به منظور معرفی المان ساختمان عنصر فیلتری را به منظور تعیین تعداد نواحی سایه بر اساس درجه اهمیت آن و شناسایی شدن آن طراحی می شود.

۳- آزمایش

در این مطالعه تصویری از منطقه ای صنعتی در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن شرایط مورد نظر، الگوریتم پیشنهادی به ترتیب زیر برای تمایزدهی میان سایه و نواحی تیره اجرا گردید:

الف) اعمال این روش بر روی تصاویر دارای انواع سایه مورد آزمون قرار گرفت. الگوریتم پیشنهادی در تصویر آزمایش شده حتی با وجود ساختمان های به رنگ تیره نیز مقاوم^{۱۹} است و آنها را در تصویر خروجی سایه به درستی حذف می کند.

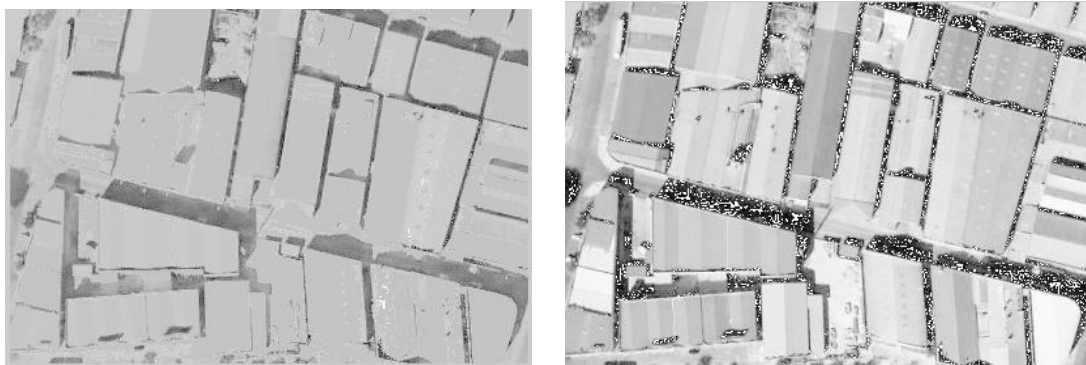
¹⁷ Structuring Element

¹⁸ Thresholding

¹⁹ Robust

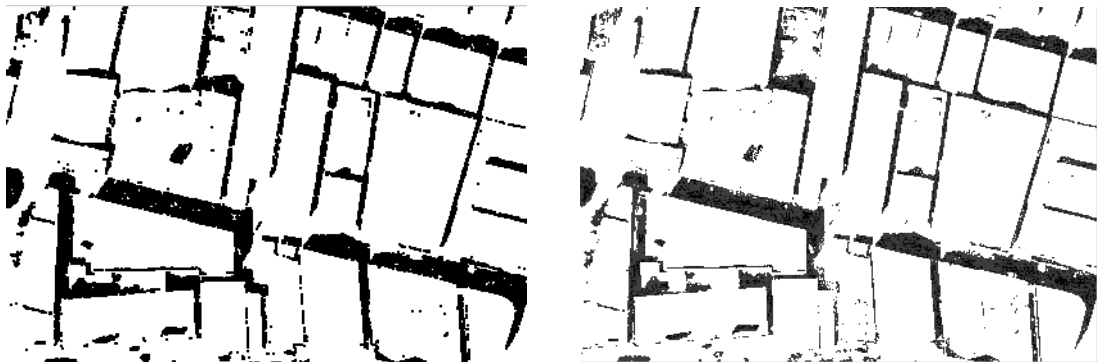


شکل (۱-۳) راست: تصویر ورودی، چپ: نتیجه اعمال آرگومان ها تعدیل بر روی تصویر



شکل (۲-۳) راست: بهنجار شده تصویر در فضای RGB و سرکوب عوارض تیره،

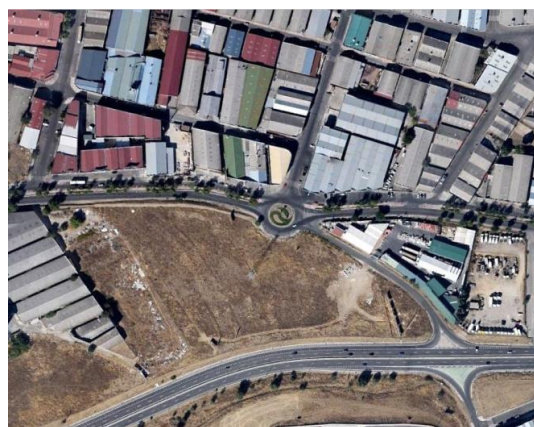
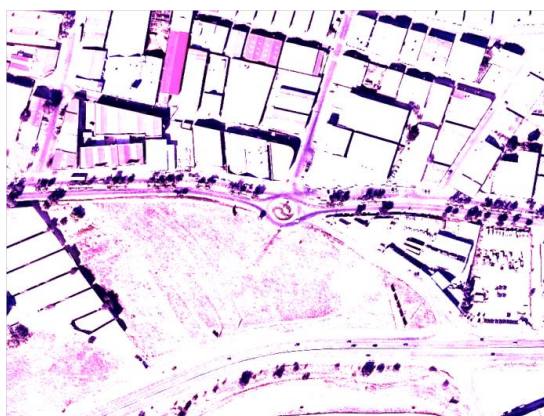
چپ: بهنجار شده تصویر در فضای HSV و سرکوب عوارض تیره



شکل (۳-۳) راست: تلفیق تصویر بهنجار شده در فضای RGB و HSV و اعمال حدآستانه اتسو،

چپ: تصویر سایه پس از اعمال فیلترهای ریخت شناسی و پس پردازش

ب) این روش بر روی تصاویری با عوارض تیره نظیر راه و جاده همانطور که در شکل ۳-۴ تا ۳-۶ نشان داده شده است نیز مقاوم است و آنها را از نتایج پایانی تصویر سایه حذف می کند.



شکل (۴-۳) راست: تصویر ورودی ، چپ: اعمال آرگومان ها تعدیل بر روی تصویر



شکل (۵-۳) راست: بهنجار شده تصویر در فضای RGB و سرکوب عوارض راه ،

چپ: بهنجار شده تصویر در فضای HSV و سرکوب عوارض غیر سایه



شکل (۶-۳) راست: تلفیق تصویر بهنجار شده در فضای RGB و HSV و اعمال حدآستانه اتسو ،

چپ: تصویر سایه پس از اعمال عملگرهای ریخت شناختی و پس پردازش



۴- نتیجه گیری

در این مطالعه با هدف کاهش پیچیدگی های پس زمینه^{۲۰} تصویری نسبت به هدف مورد بررسی که شناسایی سایه بود و بدون استفاده از توابع بخش بندی، با بررسی وجه تمایز میان ویژگی های منحصر به فرد نواحی سایه و غیرسایه و صرفاً توسط اعمال فیلترهای ریخت شناختی در فضاهای رنگی RGB و HSV و تعیین حدآستانه مناسب، به منظور حذف عوارض تیره و غیر سایه و یا سرکوب آنها به شناسایی سایه پرداخته شد. الگوریتم پیشنهادی موجب بهبود عملکرد شناسایی مناطق سایه دار در تصاویر هوایی و ماهواره ای شد به گونه ای که پیاده سازی آن بر روی تصاویر ماهواره ای مختلف و ارزیابی نتایج با وضعیت های زمینی^{۲۱} و صحت سنجی بصری حاکی از توانایی این شیوه در آشکارسازی درست حدود ۹۰ درصد از سایه های تصویرماهواره ای می باشد. به منظور بهینه کردن الگوریتم، پیشنهاد می شود با بررسی رفتار طیفی عوارض مختلف در فضاهای رنگی دیگر و ادغام مؤلفه های مؤثر آنها در شناسایی سایه و یا عوارض و یا استفاده از شاخص های گیاهی و یا خاک کارایی الگوریتم را در سرکوب عوارض نا خواسته و غیر سایه افزایش داد و عملکرد آشکارسازی سایه را بهبود بخشید و نتایج الگوریتم را بر اساس میزان قطعیت و یا عدم قطعیت در آشکارسازی انواع سایه در تصاویر سنجش از دور درجه بندی کرد.

مراجع

- [1] G.Gayathri, "A System of Shadow Detection and Shadow Removal for High Resolution Remote Sensing Images", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 4, No. 2, 2015.
- [2] M.Deepana, "Object-oriented shadow detection and removal using morphological method for remote sensing images", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 3, No. 2, 2015.
- [3] J. Huang, W. Xie and L.Tang, "Detection and compensation for shadows in colored urban aerial images", *Intelligent Control and Automation*, pp. 3098-3100, 2004.
- [4] Krishna Kant Singh, "Shadow Detection and Removal from Remote Sensing Images Using NDI and Morphological Operators", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 42, No.10, 2012.
- [5] Adeline K.R.M., Chen M., Briottet X., Pang S.K., Paparoditis N., "Shadow detection in very high spatial resolution aerial images", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 80, pp. 21-38, 2013.
- [6] Bergamasco, L. and Asinari, P., "Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Further improvements by ortho-image analysis and application to Turin (Italy)", *Solar Energy*, Vol. 85, pp. 2741-2756, 2011.
- [7] Elbakary, M.I. and Iftekharuddin, K.M., "Shadow Detection of Man-Made Buildings in High-Resolution Panchromatic Satellite Images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 5374-5386, 2014.
- [8] Ok, A. O., "New approach for the extraction of aboveground circular structures from Near-Nadir VHR satellite imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 3125-3140. 2014.

²⁰ Background

²¹ Ground Truth