حذف سایه ابر از تصاویر هوایی

آرمین اسکندری نسب[1]، اعظم کرمی[2]
[1] دانشجوی ارشد فوتونیک مخابرات، دانشکده فیزیک دانشگاه شهید باهنر کرمان، armin3731@live.com
[2] استادیار، دانشکده فیزیک دانشگاه باهنر کرمان، akarami@uk.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک روش جدید جهت حذف سایه‌ی ابر از تصاویر هوایی پیشنهاد شده است که طیف رنگی تصویر را بدون تغییر باقی می‌گذارد. در این روش ابتدا تصویر به فضای رنگ HSI (Hue, Saturation, Intensity) نگاشت می شود سپس محتوا Intensity تصویر به کمک یکسری عملگرهای مورفولوژیکی و آماری به یک تصویر مات تبدیل شده که با کم شدن از مقدار اولیه Intensity و سپس اعمال عکس تبدیل HSI باعث حذف اثر سایه‌ی ابر می شود. عملکرد روش معرفی شده با روش معروف HRDCP (Haze Removal using Dark Channel Prior) بر روی تصاویر ساختگی مقایسه شده و مقادیر حداقل مربعات (MSE) برای باند های Intensity و Saturation محاسبه گردیده که روش پیشنهادی دارای خطای کمتری است همچنین هر دو الگوریتم بر روی تصاویر واقعی اعمال شده که نتایج دیداری نشان دهنده‌ی حذف بهتر و دقیق‌تر سایه‌ی ابر توسط روش پیشنهادی است.

واژه های کلیدی، تصویر برداری هوایی، تصویر برداری ماهواره ای، بازسازی تصاویر، حذف سایه‌ی ابر

۱. مقدمه

تصاویر هوایی و ماهواره ای کاربردهای فراوانی در تولید نقشه های مسطح، تولید مدل سه بعدی معادن روباز، استخراج توپوگرافی، ارتوموزاییک و ... دارند اما تهیه‌ی تصاویر با کیفیت مناسب هیچگاه به سادگی امکان پذیر نیست به عنوان مثال اغلب اوقات شرایط محیطی برای عکس برداری تحت کنترل انسان نیست و زمان هایی که به دلیل اهمیت سوژه، عکس برداری در شرایط نامساعد جوی الزام پیدا کند. از این رو نمی توان در عکس برداری هوابرد همواره انتظار دریافت مقادیر با کیفیت مناسب را داشت. یکی از خرابی‌های وارده در عکس‌های هوابرد حضور ابر در تصویر است. حضور ابر باعث تخریب همه باندهای تصویر، به وجود آمدن نویز ناخواسته، کدری و از بین رفتن اطلاعات مورد نیاز در تصویر می‌گردد. الگوریتم‌های متعددی تحت عنوان Haze Removal (He و همکاران، ۲۰۱۱؛ Pal و همکاران، ۲۰۱۷؛ Zhu و همکاران، ۲۰۱۵) برای از بین بردن این مشکل معرفی شده‌اند. روش پیشنهادی در مقاله‌ی (He و همکاران، ۲۰۱۱) به اختصار HRDCP خوانده می‌شود و برای حذف مه به وجود آمده است. هنگامی که مه در تصویر وجود داشته باشد یک یا چند رنگ تصویر را تخریب می‌کند و با توجه به میزان تخریب رنگ مورد نظر می‌توان ضخامت مه را تخمین زد و آن را مدل کرد. در نهایت با اعمال عکس این مدل مه حذف می شود. در مقاله‌ی (Zhu و همکاران، ۲۰۱۵) روشی برای حذف مه بر اساس اطلاعات از پیش ضبط شده‌ی عمق تصویر ارائه شده است که با توجه به عمق، ضخامت مه تخمین زده می شود و از تصویر حذف می شود. بر خلاف مقالاتی که مطرح شده‌اند مشکلی که در این مقاله بررسی شده است اندکی متفاوت از کاربرد Haze removal است. در اینجا مشکل، سایه‌ی ابر است و نه خود ابر. سایه‌ی ابر در تصاویر باعث تغییر طیف پیکسل‌های تصویر شده و این تغییر در کاربردهایی مانند کلاسبندی تصاویر بسیار تاثیرگذار می‌باشد و می‌تواند نتایج خروجی را تا حد زیادی تخریب کند. از این رو حذف سایه‌ی ابر برای حل این مشکل بسیار کمک کننده است. پیش از این، مشکل سایه‌ی ابر در مقالات متعددی مطرح شده برای مثال در مقاله‌ی (Braaten و همکاران، ۲۰۱۵) ابر و سایه ابر در تصاویر کلاسبندی شده فقط شناسایی می‌شوند. مقاله‌ی (Li و همکاران، ۲۰۱۳) سایه‌ی ابر را با کمک مختصات هندسی و

مختصات فضایی ماهواره‌ی تصویر بردار، حذف می‌کند اما این روش فقط برای تصاویر کلاسبندی شده می‌تواند استفاده شود و نمی‌توان برای تصویر رنگی اصلی مورد استفاده قرار بگیرد. درمقاله کنونی روش نوینی برای حذف سایه‌ی ابر در تصاویر رنگی پیشنهاد شده است. این الگورتیم ابتدا تصویر را به سیستم HSI نگاشت می کند و سپس با استفاده از عملگرهای مورفولوژیکی و آماری به حذف سایه‌ی ابر می پردازد.

۲. داده ها و روش تحقیق

تصاویر استفاده شده در این مقاله تصاویر رنگی RGB (قرمز، آبی و سبز) هستند. تصاویر RGB توسط اکثر دوربین های رایج تهیه می‌شوند. برای حذف سایه‌ی ابر مستقیما با تصاویر رنگی RGB نمی توان کار نمود زیرا تغییر در هریک از باندهای تصویر باعث تغییر در طیف شده که سبب ایجاد خطا در آنالیزهای بعدی نظیر کلاسبندی می‌شود. بنابراین یک مدل رنگ HSI استفاده شده است. که شامل سه مؤلفه ی Hue، Saturation و Intensity است. Hue (فام) مؤلفه ای ست که رنگ را تعیین می کند، Saturation (اشباع) میزان غلظت یا سفیدی رنگ را مشخص کرده و Intensity شدت رنگ را نشان می دهد. با استفاده از این فضای رنگ می توان سایه‌ی ابر را در مولفه Intensity پیدا کرد و فقط اصلاحات را برای این مولفه لحاظ نمود و چون طیف توسط مولفه های دیگر به وجود می آید، اصلاحات انجام شده در پایان کار آسیبی به طیف وارد نمی کند. برای تبدیل سیستم RGB به سیستم HSI روش های مختلفی وجود دارد که یکی از اصلی ترین و روشاول ترین روش ها در مقاله های (Carron و Lambert، ۱۹۹۴) آورده شده است. بر اساس این روش ابتدا مقادیر RGB به سه مولفه ی Y، C1 و C2 توسط معادله ی زیر تبدیل می شوند.

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & -\sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

مولفه‌ی Intensity با I، Saturation با S و Hue با حرف H نشان داده شده است و رابطه ی این سه مولفه با متغیر های Y، C1 و C2 به شرح زیر است:

$$I = Y \qquad (2)$$

$$S = \sqrt{{C_1}^2 + {C_2}^2}$$

$$if\ C_2 \geq 0\ then\ H = \cos^{-1}\left(\frac{C_2}{S}\right)$$
$$else\ H = 2\pi - \cos^{-1}(C_2/S)$$

برای حذف سایه ابر دو مرحله پیش رو است. در مرحله اول باید یک تصویر مات از Intensity تولید کرد و سپس در مرحله دوم آن را از Intensity اصلی تفریق نمود. میزان مات شدگی باید بسیار زیاد باشد زیرا اگر این اتفاق نیافتد پس از تفریق از Intensity اولیه باعث می شود برخی جزئیات تصویر از بین برود و سبب تخریب تصویر می‌شود. پس از تفریق تصویر مات و Intensity نتیجه‌ی حاصل تصویری با مقادیر مثبت و منفی خواهد بود. مقادیر منفی برای تصویر قابل قبول نیست از این رو برای حل این مشکل یک مقدار آفست به تصویر اضافه می شود.

۲-۱ مرحله اول: تولید تصویر مات

یکی از ساده‌ترین راه‌های تولید تصویر مات میانگین‌گیری از تصویر است. اما در اینجا میانگین‌گیری کافی نیست زیرا تصویر ماتی که در ادامه از Intensity اصلی تفریق می‌شود باید بسیار مات باشد به طوری که فقط هاله‌ای از تصویر اصلی را در بر داشته باشد تا به جزئیات تصویر آسیبی نرسد. اگر تنها از میانگین‌گیری ساده در تصویر استفاده شود ممکن است برخی اطلاعات مکانی تصویر تخریب شود. برای جلو گیری از این اتفاق ابتدا از عملگر های مورفولوژیکی (Raid و همکاران، ۲۰۱۴؛ Soille، ۲۰۱۳) برای مات کردن تصویر استفاده شده است. در روش پیشنهادی از عملگر Opening استفاده شده و معادله‌ی به شرح زیر است.

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \qquad (3)$$

f تصویر، b پنجره ای که عملگر بر روی آن تاثیر میگذارد و $\oplus$ نماد افزایش (Erosion) و $\ominus$ نماد کاهش (Dilation) است. برای جزئیات بیشتر به (Gonzalez و Wintz، ۲۰۰۷) مراجعه شود. پس از اعمال این عملگر می توان میانگین گیری کرد تا به مات شدگی بالا رسید.

۲-۲ مرحله دوم: تفریق و تنظیم آفست

پس از تولید تصویر مات باید آن را از Intensity اولیه تفریق کرد.

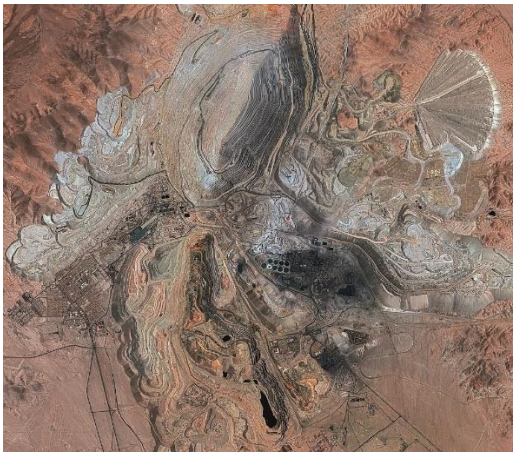
$$I_{edited} = I_{int} - I_{opq} \qquad (4)$$

I_{int} برابر با Intensity تصویر اولیه است، I_{opq}، Intensity مات شده و I_{edited} برابر با Intensity نهایی است. اگر تعدادی از پیکسل‌های تصویر حاصل بررسی شود می توان مقادیر منفی را دید. وجود مقدار منفی در یک تصویر قابل قبول نیست از این رو یک مقدار آفست به تمام پیکسل‌های تصویر اضافه شده است. اگر مقادیر در بازه‌ی صفر تا یک نرمالیزه شده باشد بطوریکه صفر نمایانگر پیکسل سیاه و یک، پیکسل سفید باشد آنگاه می توان مقدار ۰/۵ را به عنوان آفست در نظر گرفت. برای رسیدن به نتیجه بهتر باید از یکسان سازی هیستوگرام استفاده نمود. یکسان سازی هیستوگرام فرآیندی ست که مقادیر Intensity را بین صفر و یک به صورت یکنواخت توزیع می کند. این عملیات کاملا یک فرآیند آماری ست. در نهایت پس از اعمال موارد یاد شده Intensity نهایی با Hue و Saturation اولیه ادغام می گردد و نتیجه‌ی پایانی یعنی تصویر بدون سایه‌ی ابر حاصل می شود. روش معرفی شده بر روی داده ساختگی و واقعی اعمال شده که نتایج در ادامه به نمایش گذاشته شده اند.

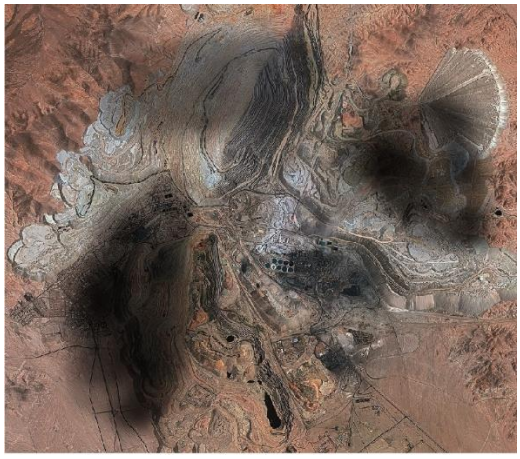
۲-۳ تصویر ساختگی

ابتدا تصویر هوایی معدن چوکوی‌کاماتا واقع شیلی انتخاب شد[۱]. سپس به صورت دستی و تصادفی در قسمت‌هایی از آن سایه با شدت‌های مختلف اضافه گردید. پس از آن تصویر خروجی به الگوریتم پیشنهادی داده شد که نتایج هر مرحله به شرح زیر است. شکل۱ تصویر بدون اعمال سایه ابر را نشان می دهد و شکل ۲ تصویر را پس از اعمال ابرهای ساختگی نمایش می دهد.

[۱] http://images.khabaronline.ir/images/2013/11/13-11-6-2262412.jpg

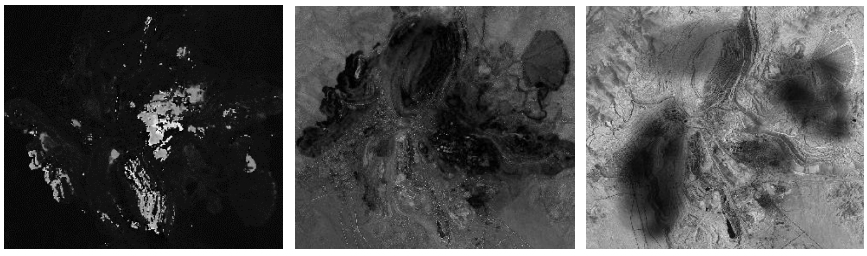


شکل ۱. تصویر هوایی از معدن روباز بدون اعمال تغییرات



شکل ۲. تصویر معدن پس از اعمال سایه‌های ابر ساختگی

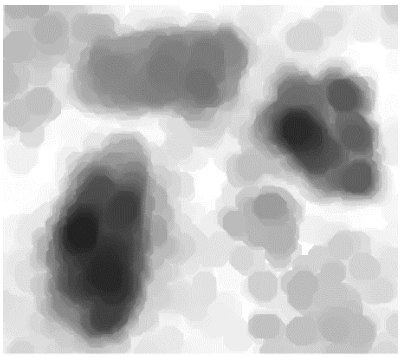
داده‌ی اولیه شامل ابر در سیستم رنگی RGB است و هر کدام از باندهای تصویر شدت رنگ قرمز، سبز و آبی را به صورت جداگانه به نمایش می گذارند. عکس RGB گرفته شده به فضای رنگ HSI برده می شود که نتایج در شکل۳ آورده شده است.



1) Hue 2) Saturation 3) Intensity

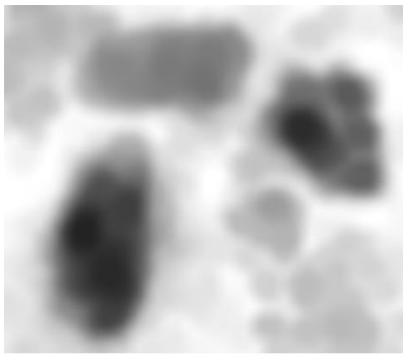
شکل۳. مولفه‌های مختلف در سیستم HSI برای تصویر ساختگی

شکل ۴ نتیجه ی اعمال عملگر های مورفولوژیکی بر روی Intensity را نمایش می دهد.



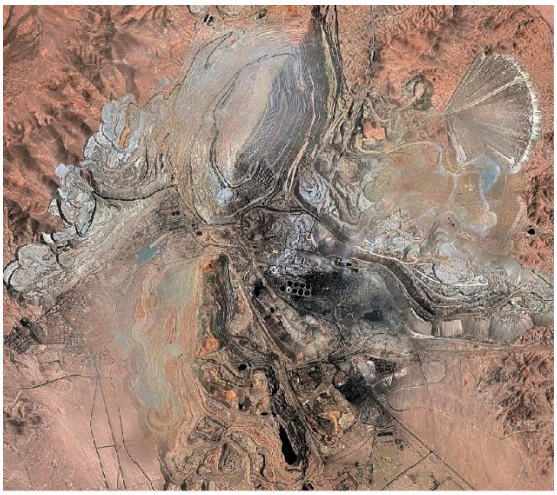
شکل ۴. نتیجه‌ی عملگر مورفولوژیکی

اکنون می‌توان از میانگین‌گیری برای بهبود نتیجه استفاده کرد. شکل ۵ نتیجه‌ی حاصل را پس از میانگین‌گیری نشان می‌دهد.



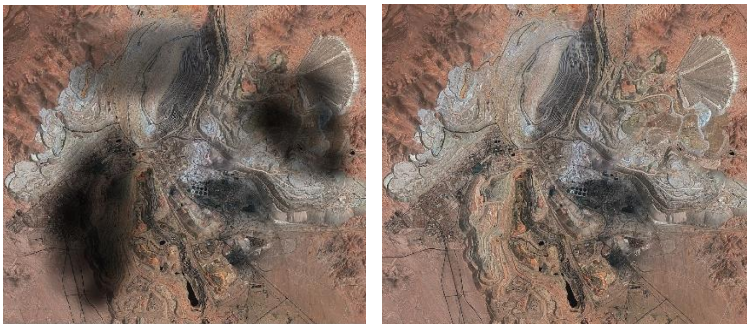
شکل ۵. تصویر مات شده نهایی

در شکل۶ نتیجه‌ی نهایی الگوریتم آورده شده است.



شکل ۶. نتیجه نهایی الگوریتم

برای مقایسه‌ی عملکرد، الگوریتم پیشنهادی با روش HRDCP مقایسه شده است. از آنجایی که الگوریتم HRDCP برای حذف سایه طراحی نشده، به جای تصویر، مکمل آن به الگوریتم داده می شود و مجددا در نهایت مکمل گرفته می شود. نتایج در شکل۷ مقایسه شده اند.



۱) تصویر اولیه ۲) تصویر تخریب شده

۳) روش HRDCP ۲) روش پیشنهادی

شکل۷. مقایسه نتیجه نهایی با تصاویر اولیه

برای مقایسه‌ی کمی دو روش، مقدار حداقل مربعات (MSE) برای مولفه‌های Intensity و Saturation دو روش حساب و با هم مقایسه شده است. MSE پارامتری است که مقدار خطا را مابین دو تصویر نشان داده و هرچه کمتر باشد الگوریتم عملکرد بهتری دارد. معادله‌ی زیر نحوه‌ی محاسبه‌ی MSE را نشان می دهد.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Y}_i - Y_i\right)^2 \qquad (5)$$

به طوریکه n تعداد پیکسل‌ها موجود در تصویر، Y تصویر اولیه بدون تخریب و $\hat{Y}$ تصویر نهایی پس از اعمال الگوریتم است. مقادیر در جدول زیر نمایش داده شده اند.

جدول۱. مقایسه‌ی مقادیر MSE برای روش HRDCP با روش پیشنهادی

	Saturation	Intensity
روش HRDCP	17.647	0.029

روش پیشنهادی	0.003	0.011

۴-۲ داده‌های واقعی

داده های استفاده شده در این مقاله متعلق به تصاویر برداشت شده از سطح معدن مس سرچشمه بوده که توسط شرکت آسمان صنعت یسنا پارس در تاریخ (۶ بهمن ۱۳۹۴) برداشت شده است. دوربین تصویربردار یک دوربین ۱۸ مگاپیکسلی به همراه یک لنز ۲۲ میلی متری بوده است. شکل۸ نتیجه پایانی را پس از حذف سایه ی ابر با استفاده از روش پیشنهادی و روش HRDCP نشان می‌دهد.

۱) تصویر اولیه ۲) نتیجه HRDCP ۳) نتیجه روش پیشنهادی

شکل ۸. مقایسه نتیجه نهایی با تصویر اولیه برای تصویر واقعی

بحث و بررسی

نتایج بدست آمده در بخش قبل نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی قادر به حذف مناسب سایه ابر بدون آسیب رساندن به طیف رنگی تصویر می‌باشد. قابل به ذکر است لبه های موجود در تصویر نیز کیفیت خود را از دست نداده اند. در روش HRDCP سایه ابر تاحدودی حذف شده است اما همانطور که مشاهده می شود الگوریتم برای قسمت‌هایی که تخریب توسط سایه زیادتر بوده به خوبی عمل نکرده است اما در الگوریتم پیشنهادی سایه‌ی همه قسمت‌ها تقریبا یکنواخت حذف شده است. با این حال در قسمت‌هایی که سایه ابر بسیار زیاد بوده مشاهده می‌گردد که تصویر وضوح کامل خود را از دست داده است. این مشکل از آنجایی روی می‌دهد که هیستوگرام بر کل تصویر اعمال شده است. برای رفع این مشکل پیشنهاد می شود از هیستوگرام منطقه ای استفاده شود. همانطور که در جدول۱ نشان داده شده است روش پیشنهادی هم در باند Saturation و هم در باند Intensity با خطای کمتری مواجه بوده و موفق تر عمل کرده است.

درباره ی تنظیم مقدار آف ست باید خاطر نشان کرد که قرار دادن عدد ۰/۵ در همه حالت ها برای مقادیر نرمالیزه ممکن است نتیجه ی خوبی به همراه نداشته باشد به این معنا که در برخی تصاویر توزیع شدت به نحوی ست که قرار دادن آف ست ۰/۵ باعث فراتر رفتن شدت پیکسل ها به بیش از مقدار ماکزیمم خواهد شد که این مسئله باعث تخریب تصویر می شود و در حقیقت وجود مقادیر بیش از ماکزیمم مجاز نیست. از این رو روش دیگری برای بهبود تصویر حاصل از تفریق تصویر مات و Intensity اولیه پیشنهاد می‌شود. می توان به جای افزودن یک مقدار آف ست مینیمم را صفر قرار داده و ماکزیمم را یک تعیین کرد تا مابقی

شدت ها بین این دو مقدار قرار گیرند. اما نکته اینجاست که تعیین مقدار آفست گرچه ممکن است گاهی مشکل‌زا باشد اما نتیجه‌ی نهایی برای بیننده قابل قبول‌تر از روش دیگر است.

نتیجه گیری

در این مقاله روش جدیدی برای حذف سایه‌ی ابر از تصاویر هوایی رنگی پیشنهاد شده است. در این روش پس از اعمال تبدیل RGB به فضای رنگ HSI اصلاحات بر روی مولفه Intensity اعمال می‌شود به این شکل که Intensity به کمک عملگرهای مورفولوژیکی و آماری مات شده، از Intensity اولیه تفریق می شود و با یک مقدار آفست جمع می گردد. Intensity اصلاح شده مجددا با Hue و Saturation اولیه‌ی تصویر ادغام شده و تصویر بدون سایه ابر ساخته می شود. نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی عملکرد مناسب این الگوریتم می باشند.

تقدیر و تشکر

با تشکر از شرکت آسمان صنعت یسنا پارس به ویژه "آقای مهندس سلمان کریمی نسب" به خاطر به اشتراک گذاشتن تصاویر هوایی مس سرچشمه (تاریخ برداشت ۱۳۹۴/۱۰/۶)

مراجع

Braaten, J. D., Cohen, W. B., & Yang, Z. (2015). Automated cloud and cloud shadow identification in Landsat MSS imagery for temperate ecosystems. **Remote Sensing of Environment, 169**, 128-138.

Carron, T., & Lambert, P. (1994, November). Color edge detector using jointly hue, saturation and intensity. In **Image Processing, 1994. Proceedings. ICIP-94., IEEE International Conference** (Vol. 3, pp. 977-981). IEEE.

Gonzalez, R. S., & Wintz, P. (2007). Digital image processing. 3rdEd.

He, K., Sun, J., & Tang, X. (2011). Single image haze removal using dark channel prior. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 33**(12), 2341-2353.

Li, S., Sun, D., & Yu, Y. (2013). Automatic cloud-shadow removal from flood/standing water maps using MSG/SEVIRI imagery. **International journal of remote sensing, 34**(15), 5487-5502.

Pal, N. S., Lal, S., & Shinghal, K. (2017). Modified Visibility Restoration-Based Contrast Enhancement Algorithm for Colour Foggy Images. **IETE Technical Review**, 1-14.

Raid, A. M., Khedr, W. M., El-Dosuky, M. A., & Aoud, M. (2014). Image restoration based on morphological operations. **Int J Comput Sci Eng Inf Technol, 4**(3).

Soille, P. (2013). Morphological image analysis: principles and applications. **Springer Science & Business Media**.

Zhu, Q., Mai, J., & Shao, L. (2015). A fast single image haze removal algorithm using color attenuation prior. **IEEE Transactions on Image Processing, 24**(11), 3522-3533.

Cloud Shadows Removal from Airborne Images

Armin Eskandari Nasab[1], Azam Karami[2]
[1]*M.Sc. Student at Faculty of Physics at Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, armin3731@live.com*
[2]*Assistant Professor at Faculty of Physics at Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, akarami@uk.ac.ir*

Abstract
In this paper, a new method for cloud shadows removal is proposed which implement no changes in spectrum of the image. In this method, the image converts to HSI (Hue, Saturation & Intensity) after that Intensity component blurs using Morphological operations and Statistical operations. The resultant blur Intensity subtracted from initial Intensity which removes the effect of cloud shadows. Proposed method is applied on synthetic and real data and result is compared with HRDCP (Haze Removal using Dark Channel Prior). For each methods MSE (Mean Square Error) is calculated on Intensity and Saturation components. The obtained results shows an improvement for proposed method.

Key words: Airborne Imagery, Satellite Imagery, Image Reconstruction, Cloud Shadows Removal