سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.3, No.4, Winter 2012

۴۷-۶۲

نرمال‌سازی خودکار تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با استفاده از پیکسل‌های تغییرنیافته

وحید صادقی*[۱]، حمید عبادی[۲]، فرشید فرنود احمدی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۹/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۳/۲۰

چکیده

در تحقیق حاضر روش نرمال‌سازی خودکاری برمبنای رگرسیون با استفاده از پیکسل‌های تغییرنیافته، مدل‌سازی هیستوگرام تصویر هدف و محاسبه ضرایب تبدیل خطی برای دسته‌های مختلف پیکسل‌ها از لحاظ درجات روشنایی در هر باند، ارائه شده است. در مرحله تعیین پیکسل‌های تغییرنیافته، روش جدیدی معرفی شده است که این مرحله را به صورت خودکار انجام می‌دهد و صحت بالایی نیز دارد. در مرحله دسته‌بندی پیکسل‌ها نیز براساس درجات روشنایی، روش جدیدی پیشنهاد شده است که تعداد و بازه‌های لازم برای دسته‌بندی را به‌طور خودکار و جداگانه براساس اطلاعات هیستوگرام تصویر هدف، برای هر باند تعیین می‌کند تا تأثیرات مختلف اتمسفر و سایر عوامل را روی درجات خاکستری مختلف مدل کند. ایده مورد نظر روی دو تصویر سنجنده TM پیاده‌سازی شد. نتایج ارزیابی نشان داد در صورتی که از روش پیشنهادی در مرحله تعیین خودکار پیکسل‌های تغییرنیافته استفاده شود، صحت کلی آشکارسازی تغییرات از ۹۵/۱۵ درصد به ۹۶/۱۴ درصد در مقایسه با روش‌های متداول بهبود می‌یابد و همچنین خطای کمترین مربعات نرمال‌سازی، در مقایسه با حالتی که برای کل تصویر از یک برازش خطی استفاده شود، در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ به ترتیب ۲۶/۴۴، ۵۰/۱۳، ۳۸/۵۴، ۵/۲۷، ۳/۷۵ و ۳/۳۱ و در مقایسه با حالتی که از مقادیر پیش‌فرض برای دسته‌بندی پیکسل‌ها براساس درجات خاکستری و برازش جداگانه خطی برای هر دسته استفاده شود، به ترتیب ۳۰/۸۲، ۴۵/۹، ۳۰/۵۳، ۴/۱۹، ۲/۸۲ و ۰/۳۲ کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: نرمال‌سازی رادیومتریک خودکار، تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، پیکسل‌های تغییرنیافته، حد آستانه‌گذاری تصویر هدف.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، بالاتر از میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی تلفن: ۰۹۱۴۹۹۷۱۳۵۳
Email: vahid.sadeghi.1985@gmail.com

۱- مقدمه

آشکارسازی تغییرات صورت‌گرفته در مناطق شهری و غیرشهری از موضوعات اصلی بسیاری از شاخه‌ها از جمله: برنامه‌ریزی شهری، محیط‌زیست و دیگر علوم مربوط به زمین به شمار می‌آید. سنجش از دور به عنوان فناوری قدرتمندی می‌تواند در آشکارسازی تغییرات طیفی مربوط به پدیده‌ها مانند تغییر در کاربری و پوشش اراضی مورد استفاده قرار گیرد. داده‌های طیفی که به‌وسیله سنجنده‌های ماهواره‌ای جمع‌آوری می‌شوند، از عواملی چون: جذب و پراکنش اتمسفری، هندسه تابش تارگت ـ سنجنده و کالیبراسیون سنجنده تأثیر می‌پذیرند که این عوامل پیوسته در حال تغییر هستند (Lo., Yang, 2000). برای آشکارسازی تغییرات واقعی صورت‌گرفته در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، لازم است تصحیح رادیومتریک در مورد آنها صورت گیرد. دو روش برای تصحیح رادیومتریک تصاویر وجود دارد: روش مطلق و روش نسبی (Lo., Yang, 1998). روش مطلق مستلزم استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی در لحظه‌ای است که تصویر مورد نظر از منطقهٔ مورد نظر گرفته شده است. این اندازه‌گیری‌ها هم پرهزینه‌اند، و هم در مواقعی که از تصاویر آرشیو ماهواره برای آنالیز تغییرات استفاده می‌شود، غیرعملی هستند (Hall et al., 1991).

روش نسبی تصحیح رادیومتریک که به نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی[1] معروف است. برتری‌های به روش قبلی دارد، چرا که به داده‌های اتمسفری سایت در لحظهٔ دریافت تصویر، نیاز ندارد. روش نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی، یکی از تصاویر را به عنوان داده مرجع[2] مورد استفاده قرار می‌دهد و سپس خصوصیات رادیومتریک تصویر و یا تصاویر هدف[3] را طوری تعدیل می‌کند که با تصویر مرجع مطابق شود (Hall et al., 1991). روش‌های نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی را می‌توان به دو دسته روش‌های خودکار و غیرخودکار تقسیم کرد. نتایج نرمال‌سازی به روش‌های غیرخودکار، به دقت و مهارت کاربر بستگی دارند و از مجموعه‌ای از پیش‌فرض‌های استفاده می‌کنند (Salvaggio, 1993 و Saradjian, 2005، Ya'allah و Schott et al., 1998 و Crist, Kauth, 1986 و Elvidge et al., 1995 و Hall et al., 1991). روش‌های خودکاری که برای این منظور شرح و بسط داده شده‌اند نیز معمولاً بر این فرض استوار هستند که تغییرات صورت‌گرفته در منطقه و شرایط اتمسفر، بسیار کم است و لذا از تمامی پیکسل‌های تصویر برای برآورد پارامترهای نرمال‌سازی استفاده می‌کنند (Elvidge et al., 1995 و Yang, Lo, 2000 و Richards, 1986). بررسی‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که روش‌های نرمال‌سازی که در برآورد پارامترهای نرمالیزاسیون تنها از پیکسل‌های تغییرنیافته استفاده می‌کنند، نتایج رضایت‌بخشی را در مقایسه با روش‌های دیگری که از تمامی پیکسل‌های جفت تصویر استفاده می‌کنند، به دست می‌دهند. البته لازم است که مهم‌ترین مرحله در این روش‌ها با دقت بالایی انجام گیرد تا دقت بالای نتایج نرمال‌سازی تضمین شود. این مرحله مهم، همان مرحله تعیین نمونه‌های کنترل رادیومتریکی (پیکسل‌های تغییرنیافته) است. انتخاب پیکسل‌های تغییرنیافته می‌تواند در فضای فرکانس یا فضای تصویر صورت گیرد.

از تحقیقاتی که در زمینه انتخاب پیکسل‌های تغییرنیافته در فضای فرکانس انجام گرفته است می‌توان به بایدی و باسل (2010) و ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد. اغلب روش‌های شرح و بسط داده شده برای نرمال‌سازی تصاویر ماهواره‌ای پیکسل‌های تغییرنیافته را در حوزهٔ تصویر تفکیک و از آنها استفاده می‌کنند و در مقایسه با روش‌هایی که در فضای فرکانس عمل می‌کنند، محاسبات ساده‌تر و حجم عملیات پایین‌تری دارند. یاالله و همکاران (Ya'allah,

1. Relative Radiometric Normalization
2. Reference
3. Subject

Saradjian, 2005) روش خودکاری را پیشنهاد کرده‌اند که در آن ابتدا با حد آستانه‌گذاری، پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته در فضای تصویر تفکیک‌شده و سپس درجات خاکستری تصویر هدف و مرجع، به سه دستهٔ روشن، خاکستری و تیره دسته‌بندی شده است و برای هر دسته به‌طور جداگانه رگرسیون خطی انجام می‌گیرد. در نهایت برای هر پیکسل در تصویر هدف، از پارامترهای تبدیل متناظر با دسته خودش استفاده می‌شود و تصویر هدف نرمالیزه می‌شود (Ya'allah, Saradjian, 2005). از ضعف‌های این روش، نحوه انتخاب پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته و همچنین نحوه دسته‌بندی پیکسل‌هاست. روش مذکور با این فرض که هیستوگرام تصویر اختلاف به صورت گوسی‌شکل است و انحراف معیار توزیع آن σ است، پیکسل‌هایی را که مقدار آنها در قدر مطلق تصویر اختلاف، در بازه $[0,k\sigma]$ باشد، به عنوان پیکسل‌های تغییرنیافته معرفی می‌کند. در صورتی که هیستوگرام تصویر اختلاف، گوسی‌شکل نبوده نباشد در روش مذکور مشکلاتی پدید می‌آید و در نحوه انتخاب ضریب k (عدد حقیقی مثبت) نیز دشواری‌هایی وجود دارد، زیرا کمترین اشتباه در تعیین k باعث خراب شدن نتایج رگرسیون می‌شود. اصولاً این ضریب به صورت تجربی (سعی و خطا) تعیین می‌شود تا تعداد کافی پیکسل برای برآورد پارامترهای رگرسیون خطی موجود باشد و همچنین این ضریب آن قدر بزرگ نباشد که پیکسل‌های تغییریافته به اشتباه وارد فرایند برآورد پارامترهای رگرسیون خطی شوند. ضعف دیگر روش مذکور در نحوه دسته‌بندی پیکسل‌ها به سه دسته روشن، خاکستری و تیره است. در تعیین این مقادیر به جای استفاده از مقادیر پیش‌فرض، بهتر است از اطلاعات خود تصاویر استفاده شود تا در شرایط مختلف، جواب صحیحی به دست دهد، چرا که تأثیر اتمسفر و سایر عوامل تأثیرگذار در مناطق مختلف و زمان‌های مختلف بر روی درجات خاکستری مختلف، متفاوت است. در روش پیشنهادی آنها به این مسئله توجه نشده است. روش پیشنهادی در این تحقیق خطاهای ناشی از انتخاب غیردقیق و نادرست پیکسل‌های تغییرنیافته و محاسبه غیرقابل اعتماد ضرایب رگرسیون به‌خاطر تعداد ناکافی نمونه‌ها را کاهش داده است و عملیات نرمال‌سازی را به صورت خودکار انجام می‌دهد. در روش پیشنهادی، دقت نرمال‌سازی بستگی به کاربر ندارد و درجات خاکستری با استفاده از اطلاعات هیستوگرام تصویر هدف به چندین دسته از روشن تا تیره تقسیم می‌شود و نتایج نرمال‌سازی در مقایسه با حالتی که برای کل تصویر از یک تبدیل خطی استفاده می‌شود، بهبود می‌یابد.

۲- روش تحقیق

روش پیشنهادی، نرمال‌سازی نسبی برمبنای رگرسیون است که در آن ابتدا پیکسل‌های تغییرنیافته با استفاده از روش جدیدی که از تبدیل PCA و قطعه‌بندی K-means بهره می‌گیرد در هر باند تعیین می‌شود. سپس پیکسل‌هایی که در تمامی باندها، تغییرنیافته معرفی شده باشند، به عنوان پیکسل‌های تغییرنیافتهٔ نهایی براساس درجات خاکستری به n دسته (که n با استفاده از اطلاعات استخراجی از هیستوگرام تصویر هدف مشخص می‌گردد) تقسیم‌بندی می‌شوند. علاوه بر تعداد دسته‌ها، محل مرزها هم با استفاده از هیستوگرام تصویر هدف تعیین می‌شود و لذا الگوریتم پیشنهادی برای تصاویر زمان‌های مختلف نیز جوابگوست، چرا که از هیچ پیش‌فرضی برای انتخاب پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته و نیز برای تعیین مرزهای لازم برای دسته‌بندی پیکسل‌های تصویر براساس درجات روشنایی استفاده نمی‌کند.

۲-۱- انتخاب پیکسل‌های تغییرنیافته

در روش نرمال‌سازی خودکار پیشنهادی در این تحقیق، برای آنکه فرآیند انتخاب پیکسل‌های تغییرنیافته بتواند مستقل از مهارت کاربر باشد، انتخاب پیکسل‌ها در فرآیندی خودکار صورت می‌گیرد. در پژوهش حاضر

بـرای انتخـاب پیکـسل‌هـای تغییرنیافتـه، از دو روش استفاده شده است که در ادامه تشریح می‌گردد.

۲-۱-۱- انتخـاب پیکـسل‌هـای تغییرنیافتـه بـا استفاده از روش حد آستانه‌گذاری Otsu

تعیین پیکسل‌هـای تغییریافتـه و تغییرنیافتـه موضـوع پیچیده‌ای است. روش‌های متعددی با هـدف حـل ایـن مـسئله ارائـه شـده اسـت کـه هـر یـک براسـاس پیش‌فرض‌هایی می‌کوشند به جواب‌هـای منطقـی‌تـری دست یابند. سزگین و همکـاران (Sezgin et al., 2004) در تحقیقی، به دسته‌بندی و بررسـی معایـب و مزایـای روش‌های رایج حد آستانه‌گذاری پرداختـه‌انـد. یکـی از پرکاربردترین روش‌های حد آستانه‌گـذاری، روش Otsu است که جداپذیری پیکـسل‌هـای تغییرنیافتـه (کـلاس C_1) و پیکسل‌های تغییریافته (کلاس C_2) را با توجه به واریانس کلاس‌های مرتبط بیشینه می‌کند؛ به‌طوری که حد آستانهٔ بهینـه زمـانی انتخـاب مـی‌شـود کـه جمـع واریانس داخل کـلاس‌هـا مینـیمم ـ متنـاظر بـا اینکـه واریانس بین کلاس‌ها ماکزیمم ـ شود (Lee and Park, 1990 Otsu, 1979 و Liao et al., 2001). در ادامـه، نحـوهٔ تعیـین حـد آسـتانهٔ بهینـه در ایـن روش بیـان می‌گردد.

هر تصویر را می‌توان یک تابع شدت در نظر گرفـت که شامل N پیکسل با درجات خاکستری ۱ تا L اسـت. در صورتی که تعداد پیکسل‌هایی با درجه خاکـستری i را بـا f_i نـشان دهـیم، احتمـال درجـه خاکـستری i در تـصویر اخـتلاف حاصـل از تـصاویر مرجـع و هـدف بـه صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود.

رابطه (۱)
$$P_i = \frac{f_i}{N}$$

هدف الگوریتم پیدا کردن حد آستانهٔ بهینـه اسـت. در صورتی که ایـن حـد آسـتانه را بـا t نـشان دهـیم، کلاس C_1 شامل درجات خاکستری $[1,...,t]$ و کـلاس C_2 شـامل درجـات خاکـستری $[t^{+1},...,L]$ اسـت. در این‌صورت توزیع احتمال درجات خاکـستری دو کـلاس مذکور به صورت زیر خواهد بود:

رابطه (۲)
$$C_1 = \frac{p_1}{w_1(t)}, \frac{p_2}{w_1(t)}...., \frac{p_t}{w_1(t)}$$

رابطه (۳)
$$C_2 = \frac{p_{t+1}}{w_2(t)}, \frac{p_{t+2}}{w_2(t)}, ..., \frac{p_L}{w_2(t)}$$

در صـورتی کـه $w_1(t) = \sum_{i=1}^{t} p_i$ و $w_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L} p_i$ باشد، میانگین دو کلاس C_1 و C_2 به صورت زیر بـرآورد می‌شوند:

رابطه (۴)
$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^{t} i \frac{p_i}{w_1(t)}$$

رابطه (۵)
$$\mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L} i \frac{p_i}{w_2(t)}$$

Otsu واریـانس بـین کلاسـی در تـصویر حـد آسـتانه‌گـذاری‌شـده را بـه صـورت رابطـه (۶) معرفـی می‌کند:

رابطه (۶)
$$\sigma_B^2(t) = w_1(t)(\mu_1(t) - \mu_T)^2 + w_2(t)(\mu_2(t) - \mu_T)^2$$

الگوریتم Otsu دنبال حد آستانهٔ بهینهٔ *t می‌گـردد که واریانس بین کلاسی σ_B^2 را بیشینه کند.

رابطه (۷) $t^* = \text{Arg MAX}\{ \sigma_B^2(t) \}$ و $1 \le t \le L$

برای تعیین حد آسـتانهٔ بهینـه مـی‌بایـست تمـامی پارامترهای نام بـرده بـرای هـر نماینـده $t(1 \le t \le L)$، تعیین شوند، بنابراین با حجم محاسباتی بالایی روبـه‌رو خواهیم شد لیائو و همکاران برای رفـع ایـن مـشکل بـا ساده‌سازی روابط گفته شده، واریانس بین کلاسـی σ_B^2 را بـه صـورت رابطـه (۸) معرفـی کـرده‌انـد، کـه در آن $1 \le t \le L$ است.

رابطه (۸)
$$t^* = \text{Arg MAX}\{ w_1(t)\mu_1^2(t) + w_2(t)\mu_2^2(t) \}$$

بعد از تعیین حـد آسـتانهٔ بهینـه بـرای هـر یـک از باندهای طیفـی، بـه‌منظـور کـاهش خطاهـای ناشـی از انتخاب غیردقیق و نادرست پیکسل‌هـای تغییرنیافتـه و بهبـود نتـایج نرمالیزاسـیون، پیکـسل‌هـایی بـه عنـوان پیکسل‌های تغییرنیافته معرفی می‌شوند و برای بـرآورد ضرایب تبدیل خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد کـه در

تمامی باندها به عنوان پیکسل‌های تغییرنیافته معرفی شده باشند. با وجود پرکاربرد بودن الگوریتم حد آستانه‌گذاری Otsu، بسیاری از پژوهشگران (Lee and Park, 1990، Sezgin et al., 2004 و Liao et al., 2001) بیان داشته‌اند که در صورتی‌که هیستوگرام تصویر مورد استفاده برای حد آستانه‌گذاری، دارای اوج[1] و گودی‌های[2] واضحی باشد، الگوریتم حد آستانه‌گذاری Otsu نتایج خوبی را به دست خواهد داد. در غیر این‌صورت نتایج به‌دست‌آمده ضعیف خواهد بود. با توجه به اینکه تصویر اختلاف تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه می‌تواند اوج و گودی‌های واضحی داشته باشد و یا فاقد آن باشد، این روش نمی‌تواند روشی مورد اعتماد به منظور آشکارسازی خودکار تغییرات باشد. به منظور بهبود نتایج مرحله آشکارسازی تغییرات ـ که بهبود نتایج نرمالیزاسیون تصاویر را به‌دنبال دارد ـ علاوه بر روش مذکور از روش جدیدی که در این تحقیق طراحی شده است و در قسمت بعد تشریح می‌گردد نیز استفاده شد.

۲-۱-۲- روشی جدید برای انتخاب پیکسل‌های تغییرنیافته

روش رگرسیون ساده و تعدادی دیگر از روش‌های نرمالیزاسیون نسبی مبتنی بر رگرسیون، از تمامی پیکسل‌های تصویر برای برآورد ضرایب تبدیل خطی استفاده می‌کنند و ضرایب تبدیل به روش کمترین مربعات برآورد می‌شود (Lo, Yang, 2000). این روش‌ها تغییرات واقعی صورت‌گرفته در منطقه را نادیده می‌گیرند و نتایج رگرسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهند. با اعمال حد آستانه Otsu روی تصویر اختلاف، پیکسل‌های تغییریافته و پیکسل‌های تغییرنیافته تعیین می‌شوند. با توجه به ضعف روش حد آستانه‌گذاری Otsu، مبنی بر وابسته بودن نتایج الگوریتم به شکل هیستوگرام تصویر اختلاف، روش جدیدی در این تحقیق معرفی می‌شود تا پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته با صحت بالایی تعیین شوند و نتایج فرآیند به شکل هیستوگرام بستگی نداشته باشد. روش پیشنهادی از چهار مرحله تشکیل شده است که به این شرح است: در مرحله نخست با استفاده از تکنیک آشکارسازی تغییرات آنالیز بردار تغییر[3] (CVA)، یک تصویر اختلاف معادل با باندهای تصاویر اصلی، ایجاد می‌شود. این تکنیک به منظور تهیه تصویر جدیدی به‌نام تصویر اختلاف، با عمل تفریق مقادیر درجات خاکستری پیکسلی در تصاویر دریافت‌شده در زمان‌های مختلف که نسبت به یکدیگر هم‌مرجع شده‌اند، به‌کار گرفته می‌شود. اگر دو تصویر مرجع و هدف را به ترتیب با دو بردار X_R و X_S به صورت زیر نشان دهیم:

$$X_R = [X_{R1}, X_{R2}, ... X_{Rn}] \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$X_S = [X_{S1}, X_{S2}, ... X_{Sn}] \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

n تعداد باندهای تصاویر مرجع وهدف است تصویر اختلاف (به روش CVA)، به‌صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد.

رابطه (۱۱)

$$X_{Dif} = [X_{S1} - X_{R1}, X_{S2} - X_{R2}, ... X_{Sn} - X_{Rn}]$$

جهت و اندازه بردار X_{Dif} ماهیت تغییرات ایجادشده را نشان می‌دهد. در مرحله دوم، از تبدیل مؤلفه‌های اصلی (Richards, jia, 2006) برای کاهش ابعاد داده و دستیابی به تصویر جدیدی که در آن میزان واریانس داده‌ها در مؤلفه‌های نخستین، بیشتر و وابستگی بین مؤلفه‌های نخستین این تصویر، کمتر از وابستگی بین باندهای تصویر اصلی است، استفاده می‌گردد. معمولاً از باندهای نخستین تصویر جدید استفاده می‌شود، چرا که حجم بالایی از اطلاعات در باندهای نخستین قرار دارد و با افزایش شماره باند، محتوای اطلاعاتی کاهش می‌یابد. به عنوان نمونه در تحقیق حاضر تصاویر مورد استفاده از سنجنده TM هستند که با انتقال تصویر اختلاف به مؤلفه‌های اصلی،

1. Peak
2. valley
3. Change Vector Analysis

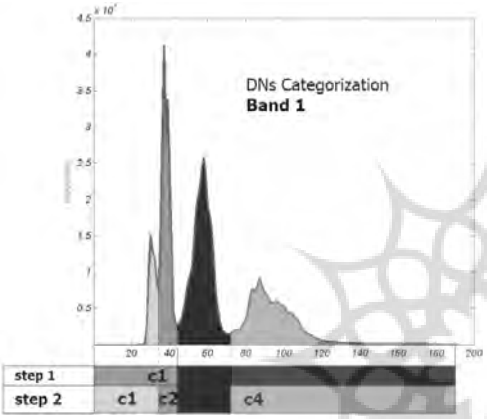
در حدود ۹۸/۴۲ درصد اطلاعات در باندهای اول تا سوم قرار می‌گیرد و به همین دلیل، تنها سه باند نخست مؤلفه‌های اصلی برای آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفته است. بدین ترتیب هر پیکسل در تصویر اختلاف که با بردار X_{Dif} نشان داده می‌شد به فضای جدید منتقل می‌شود و با انتخاب سه مؤلفه اول PCA، با یک بردار جدید سه بعدی X_{PCA} به‌صورت رابطه (۱۲) جایگزین می‌شود:

$$X_{PCA} = [X_{PCA1}, X_{PCA2}, X_{PCA3}] \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

در مرحله سوم، بردار X_{PCA} با استفاده از الگوریتم قطعه‌بندی K-means به دو خوشه مجزا خوشه‌بندی می‌شود و با توجه به اینکه پیکسل‌های تغییرنیافته، در تصویر اختلاف اصلی، مقادیر نزدیک به صفر دارند، ماهیت خوشه‌ها تعیین می‌شود. به بیان دیگر، بردار X_{PCA} به دو خوشهٔ تغییریافته و تغییرنیافته، خوشه‌بندی می‌شود. در نهایت در مرحله چهارم، پیکسل‌هایی که در همه باندها به عنوان پیکسل‌های تغییرنیافتهٔ نهایی برچسب می‌خورند و الگوریتم آشکارسازی تغییرات خاتمه می‌یابد.

۲-۲- دسته‌بندی درجات خاکستری برای هر باند با استفاده از اطلاعات هیستوگرام تصویر هدف

با توجه به اینکه اثر اتمسفر برای درجات خاکستری مختلف، متفاوت است (Ya'allah, Saradjian, 2005)، نمی‌توان انتظار داشت که برای کل تصویر از یک ضریب تبدیل خطی استفاده کرد. به‌منظور بهبود نتایج نرمال‌سازی، بهتر است برای قسمت‌های مختلف تصویر تبدیل‌های خطی متفاوتی را از لحاظ درجات خاکستری مورد استفاده قرار داد. در صورتی که برای دسته‌بندی پیکسل‌ها به دسته‌های مختلف از مقادیر (بازه‌های) پیش‌فرضی استفاده شود (Ya'allah, Saradjian, 2005)، این دسته‌بندی و نتایج حاصل از آن کاملاً به تصاویر مورد استفاده وابسته خواهد بود. با توجه به مشکلات مطرح‌شده، در تحقیق حاضر روش جدیدی پیشنهاد می‌شود تا بتوان برای دسته‌بندی پیکسل‌ها به دسته‌های مختلف، از اطلاعات خود تصویر استفاده کرد، در این صورت به مقادیر پیش‌فرض نیازی نخواهد بود و اثر متفاوت اتمسفر برای درجات خاکستری مختلف و تصاویر مختلف می‌تواند جوابگو باشد. برای این منظور در این تحقیق از روش‌های حد آستانه‌گذاری برمبنای قطعه‌بندی برای جداسازی بهینه پیکسل‌ها (عوارض) با درجات خاکستری مختلف از هیستوگرام تصویر هدف استفاده شده است. شکل ۱ هیستوگرام تصویر هدف را در باند ۱ نشان می‌دهد.



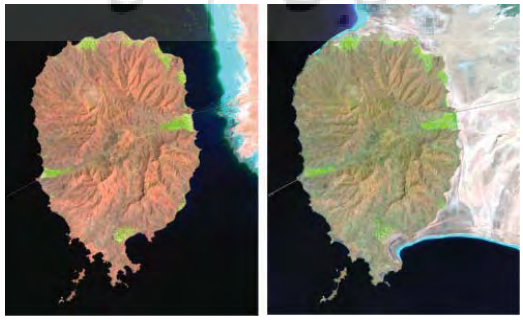
شکل ۱. روش پیشنهادی برای دسته‌بندی پیکسل‌ها براساس درجات روشنایی در باند ۱. در گام اول دو دسته c_1 و c_2 و در گام دوم چهار دسته c_1، c_2، c_3 و c_4 برای دسته‌بندی پیکسل‌ها تعیین می‌شود.

در نخستین گام، حد آستانه‌گذاری Otsu پیکسل‌ها را براساس درجات خاکستری به دو بخش تقسیم می‌کند. در گام بعدی به‌طور جداگانه برای هر بخش از تصویر، دوباره از روش حد آستانه‌گذاری Otsu استفاده می‌شود و در واقع تصویر به ۴ بخش از لحاظ درجات روشنایی تقسیم می‌شود. تعداد دسته‌های پیشنهادی برابر تعداد عوارضی از تصویر است که فرکانس بالایی در تصویر داشته باشند. این مراحل برای تمامی باندها به‌طور جداگانه انجام می‌گیرد. با استفاده از این بازه‌ها، پیکسل‌های تغییرنیافته به دسته‌های روشن تا تیره دسته‌بندی می‌شوند و برای هر دسته به‌طور جداگانه ضرایب تبدیل خطی برآورد می‌شود و در ادامه با استفاده از همین بازه‌ها تصویر هدف دسته‌بندی

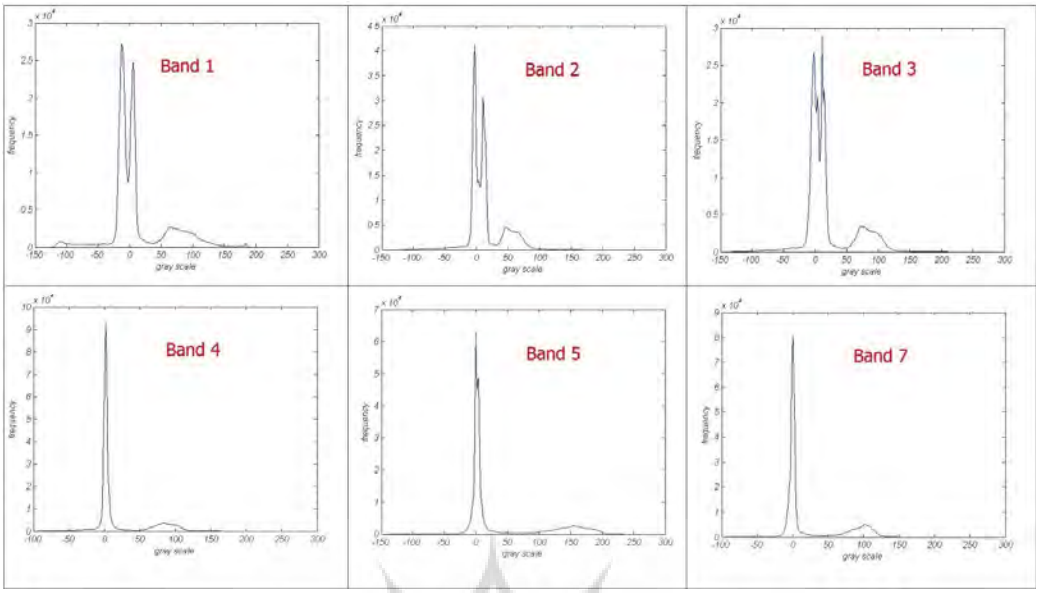
می‌گردد و در انجام نرمال‌سازی، برای هر پیکسل از ضرایب تبدیل خطی متناظر با گروه خودش استفاده می‌شود. این روش پیشنهادی اثر متفاوت اتمسفر برای درجات خاکستری متفاوت را در نظر می‌گیرد و برای دسته‌بندی پیکسل‌ها به درجات خاکستری متفاوت نیز از اطلاعات خود تصویر استفاده می‌کند و مقادیر پیش‌فرضی را برای این منظور به کار نمی‌گیرد.

۳- پیاده‌سازی

منطقهٔ مورد مطالعه، بزرگ‌ترین جزیره دریاچه ارومیه (جزیره شاهی) است، که در موقعیت جغرافیایی ″22و °45 تا ″39و °45 طول شرقی و ″41 و °37 تا ″58 و °37 عرض شمالی قرار دارد. این جزیره در سال‌های اخیر به خاطر کاهش تراز آب دریاچه، به شبه‌جزیره تبدیل شده است. روش پیشنهادی برای نرمال‌سازی نسبی خودکار بر روی دو تصویر که اولی تصویر ۴ landsat-TM که در تاریخ ۱۹۸۹/۰۶/۳۰ و دومی تصویر landsat-TM۵ که در تاریخ ۲۰۰۷/۰۶/۲۴ از این منطقه گرفته شده است، انجام گرفت. شکل ۲، ترکیب رنگی ۳ و ۴ و ۵ تصاویر مورد استفاده از منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد. ابتدا تصویر سال ۱۹۸۹ با بهره‌گیری از تعداد کافی نقطه کنترل زمینی که با استفاده از نقشه‌های پوششی موجود منطقه جمع‌آوری شده بود، با خطای RMS، ۱۶/۴۷ متر، زمین مرجع شد. سپس تصویر سال ۲۰۰۷ نسبت به تصویر سال ۱۹۸۹ با استفاده از تعداد کافی نقطه کنترل مناسب که دارای توزیع مناسبی در سطح منطقه بودند، با خطای RMS کمتر از نیم‌پیکسل از لحاظ مکانی هم‌مرجع گردید. ابتدا تصویر اختلاف به روش آنالیز بردار تغییر ایجاد شد و سپس هیستوگرام تصویر اختلاف در هر باند تولید گردید، که در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، هیستوگرام تصویر اختلاف در باندهای ۴، ۵ و ۷ تقریباً توزیع نرمالی دارد، ولی برای باندهای ۱، ۲ و ۳ توزیع آنها نرمال نیست و ماکزیمم‌های محلی نزدیک به صفر دارد که به احتمال زیاد مربوط به پیکسل‌های تغییرنیافته‌ای هستند که باید در تصویر اختلاف ارزش صفر را می‌داشتند ولی به خاطر اثر اتمسفر و / یا سایر عوامل داخلی و محیطی چنین نشده است. در صورتی که مرحله نرمال‌سازی به خوبی صورت گیرد انتظار داریم که در هیستوگرام تصویر، اختلاف تصویر مرجع با تصویر هدف نرمالیزه شده به‌صورت تابع توزیع نرمال درآید و این ماکزیمم‌های محلی روی عدد صفر قرار گیرد. انتخاب پیکسل‌های تغییرنیافته براساس دو روش که در قسمت‌های ۲-۱-۱ و ۲-۱-۲ شرح داده شد، انجام گرفت. برای ارزیابی نتایج آشکارسازی تغییرات با استفاده از دو روش بیان‌شده در قسمت‌های ۱-۱-۲ و ۲-۱-۲ ماتریس خطای آشکارسازی تغییرات محاسبه گردید. جدول ۱ مقادیر حد آستانه بهینهٔ تعیین‌شده به روش Otsu در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ را نشان می‌دهد که با پیاده‌سازی الگوریتم Otsu بر روی تصویر اختلاف منطقهٔ مورد مطالعه، حاصل شده است.



شکل ۲. ترکیب رنگی ۴،۳و۵ تصاویر مورد استفاده از منطقه جزیره شاهی
تصویر سمت چپ، مربوط به سال ۱۹۸۹ و تصویر سمت راست مربوط به سال۲۰۰۷



شکل۳. هیستوگرام تصویر اختلاف در باندهای ۵،۴،۳،۲،۱ و۷

جدول ۱. مقادیر حد آستانهٔ بهینهٔ تعیین‌شده به روش Otsu در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷

	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Otsu's Threshods	۴۹	۳۳	۴۷	۴۴	۷۷	۴۹

شکل ۴. نقشه باینری تغییرات تهیه‌شده با استفاده از روش حدآستانه‌گذاری Otsu (سمت چپ) و روش پیشنهادی (سمت راست). مناطق تغییریافته با ارزش یک و مقادیر تغییرنیافته با ارزش صفر نمایش داده شده است.

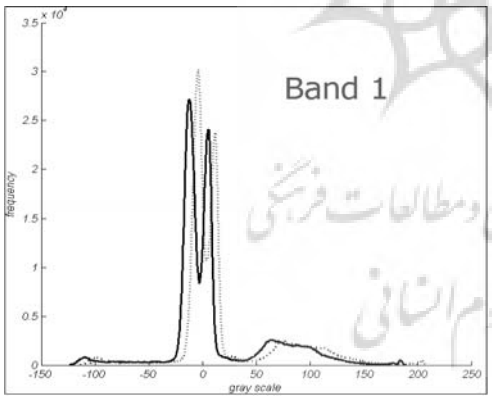
ارزیابی نتایج آشکارسازی تغییرات خودکار با استفاده از دو روش مذکور نشان داد که صحت کلی آشکارسازی به روش حد آستانه‌گذاری otsu، ۹۵/۱۵ درصد و با استفاده از روش پیشنهادی ۹۶/۱۴ درصد است. شکل ۴، نقشه باینری تغییرات تهیه شده با استفاده از این دو روش را نشان می‌دهد.

مناطق تغییریافته با ارزش یک و مقادیر تغییرنیافته با ارزش صفر نمایش داده شده است. نقشه تغییرات

تهیه‌شده به روش پیشنهادی، پوشش‌های گیاهی تغییریافته را بهتر تشخیص داده است. به دلیل صحت بالای روش پیشنهادی در مرحله تشخیص خودکار تغییرات، پیکسل‌های تغییرنیافته به منظور استفاده در فرآیند نرمال‌سازی، با استفاده از روش مذکور تعیین شدند. در ادامه برای هر باند با استفاده از پیکسل‌های تغییرنیافتهٔ تعیین‌شده، ضرایب تبدیل خطی محاسبه گردید و سپس کل پیکسل‌های تصویر هدف در هر باند با استفاده از ضرایب تبدیل خطی متناظر تعیین‌شده در آن باند، نرمالیزه شد. در ادامه، تصویر نرمالیزه‌شده مورد ارزیابی قرار گرفت، به این ترتیب که هیستوگرام تصویر اختلاف تصویر مرجع ـ تصویر هدف نرمالیزه‌شده ترسیم شد. شکل ۵، هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع ـ تصویرهدف و هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع ـ تصویرهدف نرمالیزه‌شده در باند ۱ را به ترتیب با خطوط ممتد و خطوط نقطه‌چین نشان می‌دهد، که برای نرمال‌سازی تصویر در هر باند تنها از یک تبدیل خطی در کل تصویر استفاده شده است (روش نرمالیزاسیون Linear SRUP[1]).

اگر در شکل ۵ هیستوگرام تصویرمرجع ـ تصویرهدف و هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع ـ تصویرهدف نرمالیزه‌شده با هم مقایسه شود، نشان می‌دهد که نرمال‌سازی تقریباً نتایج خوبی داشته چرا که باعث شده است هیستوگرام تصویر اختلاف در مقایسه با حالتی که هیچ نرمال‌سازی‌ای صورت نگرفته است، جمع‌تر شود و مقادیر پیکسل‌هایی با ارزش صفر در هیستوگرام تصویر اختلاف افزایش یابد. این دو نتیجه تقریباً با یکدیگر مرتبط‌اند و نشان می‌دهند که اگرچه نرمال‌سازی به خوبی صورت گرفته است ولی رضایت‌بخش هم نیست.

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده می‌شود، هیستوگرام تصویرمرجع ـ تصویرهدف، دو ماکزیمم محلی با مقادیر بالا در نزدیکی صفر دارد که به احتمال زیاد (در منطقه مورد مطالعه حتماً) مربوط به پیکسل‌های تغییرنیافته‌ای هستند که باید در نتیجهٔ نرمال‌سازی به مقدار صفر تغییر پیدا می‌کردند؛ بدین ترتیب منحنی جمع‌تر می‌شد و تعداد پیکسل‌ها با ارزش صفر در هیستوگرام تصویر اختلاف بیش از وضعیت فعلی افزایش پیدا می‌کرد، در صورتی که هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع ـ تصویرهدف نرمالیزه‌شده این را نشان نمی‌دهد. علاوه بر ارزیابی هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع ـ تصویرهدف نرمالیزه‌شده، به صورت دستی هم نمونه‌هایی از سطح تصویر در مناطقی که تغییر واقعی نداشتند جمع‌آوری و آنالیز شد. مقادیر درجات خاکستری در پیکسل‌های تغییرنیافتهٔ جمع‌آوری‌شده نشان می‌داد که الگوریتم در برخی درجات خاکستری خوب عمل کرده است ولی برای دیگر پیکسل‌ها، نتایج رضایت‌بخشی را نشان نمی‌داد. پیکسل‌هایی که نتایج نرمال‌سازی در آنها رضایت‌بخش بود، آنهایی بودند که درجات خاکستری‌شان بیشترین فراوانی را در مقایسه با دیگر پیکسل‌ها داشت، چرا که برآورد ضرایب تبدیل خطی به روش کمترین مربعات صورت گرفته بود.



شکل۵. خطوط ممتد، هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع-تصویرهدف و خطوط بریده، هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع-تصویرهدف نرمالیزه‌شده را که برای نرمال‌سازی تصویر در هر باند تنها از یک تبدیل خطی برای کل تصویر استفاده شده است، نشان می‌دهد.

1. Linear Simple Regression using Pixlels

در ادامه، روش پیشنهادی یاالله و همکاران (MLRUP[1]) پیاده‌سازی شد. سپس همان ارزیابی‌هایی که در خصوص نتایج نرمال‌سازی قبلی صورت گرفته بود، در مورد نتایج این روش نیز انجام شد. نتایج نرمال‌سازی در مقایسه با حالت قبل در برخی باندها مطلوب‌تر و در برخی باندها نامطلوب‌تر شده بود که نشان می‌دهد استفاده از مقادیر پیش‌فرض برای دسته‌بندی پیکسل‌ها ـ که در این روش پیشنهاد شده است ـ می‌تواند به بهبود نتایج نرمال‌سازی بینجامد و یا برعکس. بهبود و یا تخریب نتایج به تصاویر و منطقه مورد استفاده بستگی دارد. روش پیشنهادی در مرحله ۲-۲ برای دسته‌بندی پیکسل‌ها در تمامی باندها به‌طور جداگانه پیاده‌سازی شد. برای رسیدن به تصویر هدف نرمالیزه‌شده، مدل خطی‌ای که در رابطه (۱۳) آورده شده است مورد استفاده قرار گرفت که در آن ضرایب a و b که به ترتیب شیب (Gain) و عرض از مبدأ (Intercept) خط برازش داده‌شده هستند، به روش کمترین مربعات برآورد شدند.

رابطه (۱۳) $I_{N2} = aI_2 + b$

در رابطه (۱۳)، I_2 پیکسل‌های تصویر دوم (تصویر هدف) و I_{N2} پیکسل‌های تصویر هدف نرمالیزه شده هستند. اگر n جفت پیکسل تغییرنیافته در دو تصویر مرجع و هدف معلوم باشد، روش کمترین مربعات می‌تواند ضرایب a و b را با استفاده از رابطه (۱۴) برآورد کند.

رابطه (۱۴) $P_{ti} = aP_{2i} + b(i = 1,2,3,...,n)$

در رابطه (۱۴)، P_{2i}, P_{1i} به ترتیب مربوط به پیکسل iام در دو تصویر مرجع و تصویر هدف هستند. زمانی که تعداد معادلات از تعداد مجهولات بیشتر باشد، استفاده از روش کمترین مربعات امکان‌پذیر می‌گردد. برای هر دسته در هر باند، به طور جداگانه با استفاده از پیکسل‌های تغییرنیافته، ضرایب تبدیل خطی برآورد می‌شود.

جدول ۲ بازه‌های تعیین‌شده برای دسته‌بندی پیکسل‌ها به همراه ضرایب تبدیل خطی برآوردشده را در بازه‌های متناظر نشان می‌دهد. در ادامه، تصویر هدف نیز براساس درجات خاکستری با استفاده از بازه‌های تعیین‌شده در هر باند به ۴ دسته تقسیم شد و برای نرمال‌سازی هر پیکسل از ضرایب تبدیل خطی متناظر با دستهٔ خودش استفاده گردید و بدین ترتیب تصویر دوم (هدف) نسبت به تصویر اول به صورت نسبی نرمالیزه شد.

جدول ۲. بازه‌های تعیین‌شده برای دسته‌بندی پیکسل‌ها در هر باند (Interval) و ضرایب تبدیل خطی (G=Gain وI=Intercept) متناظر برآوردشده برای هر دسته

	Category 1			Category 2			Category 3			Category 4		
	Interval	G	I	Interval	G	I	Interval	G	I	Interval	G	I
Band 1	[0,90)	۰/۹۸۱۸	۰/۲۱۸۴	[90,130)	۱/۱۱۵۱	۰/۰۶۷۵	[130,176)	۱/۰۰۹۰	۰/۱۰۳۲	[176,256)	۰/۹۸۷۵	-۰/۰۱۵۳
Band 2	[0,35)	۰/۸۳۸۵	۰/۰۶۱۸	[35,45)	۰/۷۱۵۱	۰/۰۱۳۰	[45,77)	۱/۰۵۱۰	۰/۰۴۶۵	[77,256)	۰/۹۷۱۴	۱۰/۰۸۱
Band 3	[0,27)	۰/۷۴۰۷	۰/۱۲۵۳	[27,42)	۰/۷۱۸۱	۰/۰۵۴۹	[42,92)	۱/۰۲۹۰	۰/۰۹۹۷	[92,256)	۰/۹۸۵۱	۰/۰۴۸۰
Band 4	[0,28)	۰/۸۵۲۴	۰/۲۱۹۵	[28,48)	۰/۹۲۱۱	-۰/۰۶۳۸	[48,93)	۰/۹۶۸۰	-۰/۰۱۹۲	[93,256)	۰/۹۸۰۷	-۰/۰۱۴۷
Band 5	[0,15)	۰/۷۲۹۹	۰/۴۳۲۰	[15,75)	۰/۹۶۵۸	-۱/۹۳۹۴	[75,147)	۰/۹۸۷۳	-۰/۰۹۳۹	[147,256)	۰/۹۸۰۳	۰/۰۹۲۲
Band 7	[0,13)	۰/۷۳۶۳	۰/۳۲۵۱	[13,44)	۱/۰۰۷۳	-۰/۱۴۳۴	[44,95)	۱/۰۲۲۷	۰/۰۱۵۸	[95,256)	۰/۹۹۳۷	۰/۱۳۰۶

1. Multi Linear Regression using Unchanged Pixeld

۴- نتایج

به منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصل از نرمالیزاسیون تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش طراحی‌شده در این تحقیق با نتایج حاصل از دو روش نرمال‌سازی رگرسیون Linear SRUP و رگرسیون MLRUP (که قبلاً تشریح گردید)، و همچنین روش‌های متداول تطابق هیستوگرام[1] (HM)، تصحیح اثر Haze[2](HC)، نرمالیزاسیون مینیمم ـ ماکزیمم[3](MM)، نرمالیزاسیون میانگین ـ انحراف معیار[4](MS)، و رگرسیون ساده[5](SR) مقایسه گردید. برای مقایسه و ارزیابی نتایج نرمالیزاسیون، از دو پارامتر کمی و کیفی استفاده شد. پارامتر کمی با محاسبه و مقایسه خطای کمترین مربعات (RMSE) نرمالیزاسیون در محل داده‌های ارزیابی مرتبط است و پارامتر کیفی به ارزیابی هیستوگرام تصویر اختلاف حاصل از تصویر مرجع و تصویر هدف نرمالیزه‌شده در هر باند مربوط می‌شود.

جدول ۳ خطای کمترین مربعات نرمالیزاسیون حاصل از روش‌های نرمال‌سازی طراحی‌شده در این تحقیق، تطابق هیستوگرام (HM)، تصحیح Haze(HC)، مینیمم ـ ماکزیمم (MM)، میانگین ـ انحراف معیار (MS)، رگرسیون ساده (SR)، رگرسیون Linear SRUP و رگرسیون MLRUP را به همراه خطای کمترین مربعات داده‌های خام (Raw) در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ نشان می‌دهد.

مقایسه خطای کمترین مربعات نشان می‌دهد بهترین نتایج نرمال‌سازی از روش‌هایی به‌دست‌آمده است که در روند نرمال‌سازی از پیکسل‌های تغییرنیافته استفاده کرده‌اند (شامل: Linear SRUP و روش پیشنهادی). در مقابل، روش‌هایی که از تمامی پیکسل‌های تصویر استفاده کرده‌اند، نتایج ضعیف‌تری را در مقایسه با بقیه روش‌ها به دست داده‌اند.

جدول ۳. پارامتر RMSE داده‌های ارزیابی برای: داده‌های خام (Raw)، نرمالیزاسیون به روش‌های تطابق هیستوگرام (HM)، تصحیح Haze (HC)، مینیمم-ماکزیمم (MM)، میانگین-انحراف‌معیار (MS)، رگرسیون ساده (SR)، رگرسیون با استفاده از پیکسل‌های تغییریافته و برازش یک مدل برای کل تصویر (Linear SRUP)، رگرسیون خطی-قطعه‌ای (MLRUP) و روش پیشنهادی

No.	Methods	RMSE					
		BAND 1	BAND 2	BAND 3	BAND 4	BAND 5	BAND 7
۰	Raw	۱۰/۳	۷/۱۰	۸/۱۲	۳/۳۶	۵/۰۱	۳/۵۲
۱	HM	۱۷/۳۹	۱٤/۰۹	۲۰/۰۳	۱۸/٤۷	٤۵/٤٦	۲۷/۸۲
۲	HC	۱۰/۱۳	۷/۱٤	۹/۷۱	۳/٦٦	۵/۳۳	۳/٦٦
۳	MM	۱٤/۹۹	۷/۳۱	۹/٤۸	٤/۲۰	۷/٤۱	۳/۸۰
٤	MS	۲۵/۷٦	۱۷/۵٦	۱۳/۲۹	۱۰/۰۱	۹/۳۸	۵/۷٦
۵	SR	۳۷/۰۹	۱۰/٦۷	۱٦/٤۵	۸/٦۷	۲٦/۸۵	۳۱/۲۹
٦	Linear SRUP	٦/٦٦	٤/٦۲	۵/۵٦	۲/٦٤	٤/۷۹	۳/۳۲
۷	MLRUP	۷/۰۸	٤/۲۵	٤/۹۰	۲/٦۱	٤/۷٤	۳/۲۲
۸	Proposed method	٤/۸۹	۲/۳۱	۳/۰۱	۲/۵۰	٤/٦۰	۳/۲۱

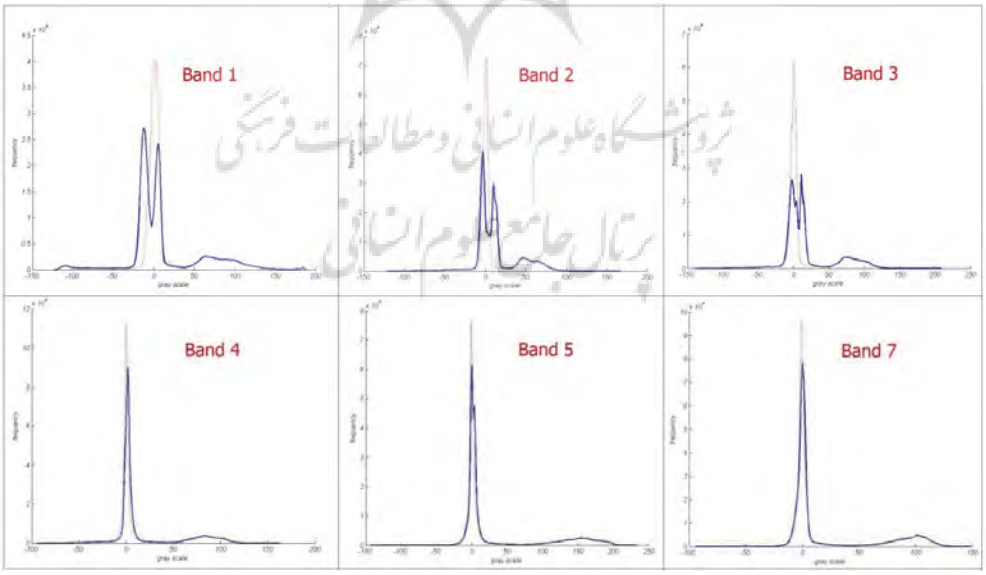
1. Histogram matching
2. Haze Correction
3. Minimum-Maximum normalization
4. Mean-Standard deviation normalization
5. Simple Regression

در بین این روش‌ها SR، MS و HM نتایج ضعیف‌تری را تولید کرده‌اند. دو روش MM و HC تأثیر چندانی در نتایج نرمال‌سازی نداشته‌اند. در بین این روش‌ها، بهترین نتایج از روش پیشنهادی حاصل شده است. با مقایسهٔ نتایج نرمال‌سازی حاصل از روش پیشنهادی با نتایج حاصل از روش‌های Linear SRUP و MLRUP، مشخص می‌شود که خطای کمترین مربعات نرمال‌سازی در مقایسه با روش Linear SRUP در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ به ترتیب ۲۶/۴۴، ۵۰/۱۳، ۳۸/۵۴، ۵/۲۷، ۳/۷۵ و ۳/۳۱ درصد و در مقایسه با حالتی که از مقادیر پیش‌فرض برای دسته‌بندی پیکسل‌ها براساس درجات خاکستری و برازش جداگانه خطی برای هر دسته استفاده شود (MLRUP)، به ترتیب ۳۰/۸۲، ۴۵/۹، ۳۰/۵۳، ۴/۱۹، ۲/۸۲ و ۰/۳۲ درصد کاهش می‌یابد.

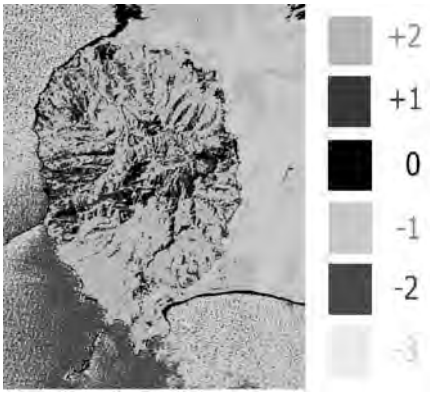
هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع ـ تصویرهدف نرمالیزه‌شده در هر باند با خطوط نقطه‌چین، به همراه هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع- تصویرهدف در باند متناظر با خطوط ممتد در شکل ۶ با هم مقایسه شده‌اند. هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع ـ تصویرهدف نرمالیزه‌شده، توزیع تقریباً نرمال با شکل گوسی دارد که پیکسل‌های باارزش صفر در آن بیشترین فراوانی را دارد و در نزدیکی عدد صفر ماکزیمم نسبی با فرکانس بالاتر از فرکانس عدد صفر وجود ندارد، همچنین شکل هیستوگرام باریک‌تر شده است که همهٔ این خصوصیات ذکرشده نشان می‌دهد که فرآیند نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی دو تصویر به خوبی صورت گرفته است.

نتایج ارزیابی نشان می‌دهد در صورتی که از روش پیشنهادی در مرحله تعیین خودکار پیکسل‌های تغییرنیافته استفاده شود، صحت کلی آشکارسازی تغییرات از ۹۵/۱۵ به ۹۶/۱۴ درصد در مقایسه با روش‌های متداول، بهبود می‌یابد.

شکل ۷، تصویر اختلاف دو تصویر هدف و هدف نرمالیزه‌شدهٔ حاصل از روش نرمال‌سازی پیشنهادی را برای باند هفت نشان می‌دهد. اثر نرمال‌سازی با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. مقادیر منفی نشان می‌دهد که درجه خاکستری پیکسل در فرآیند نرمال‌سازی کاهش یافته است و برعکس.



شکل ۶. هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع-تصویرهدف نرمالیزه‌شده به روش پیشنهادی، با خطوط نقطه‌چین در هر باند به همراه هیستوگرام تصویر اختلاف تصویرمرجع-تصویرهدف در باند متناظر با خطوط ممتد



شکل ۷. اثر متفاوت فرآیند نرمال‌سازی روی درجات خاکستری مختلف در باند ۷ تصویر هدف

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روش نرمال‌سازی خودکار پیشنهادی در تحقیق حاضر این قابلیت را دارد که تأثیرات عوامل مختلف را مدل کند و آنها را کاهش دهد. روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های غیرخودکار از لحاظ وابسته نبودن به مهارت کاربر در تعیین پیکسل‌های تغییرنیافته، و شرایط منطقه مطالعاتی در محدودیت تعیین تعداد کافی پیکسل‌های تغییرنیافته برتری دارد. صحت بالا در تعیین پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته، نتایج نرمال‌سازی را بهبود خواهد بخشید. در این تحقیق، نتایج روش پیشنهادی برای آشکارسازی خودکار تغییرات، با نتایج روش حد آستانه‌گذاری Otsu مقایسه شد. مقایسه مذکور نشان داد که روش پیشنهادی توانایی بالایی در تعیین پیکسل‌های تغییریافته و تغییرنیافته داشته است. با دسته‌بندی پیکسل‌ها به بخش‌های مختلف براساس درجات خاکستری و استفاده از اطلاعات هیستوگرام تصویر برای تعیین تعداد و بازه این دسته‌ها، تأثیرات متفاوت اتمسفر برای درجات خاکستری مختلف را مدل می‌کند و نیز برای تصاویر دریافتی در زمان‌ها و شرایط مختلف جوابگوست، چرا که برای تعیین تعداد و بازهٔ این دسته‌ها از مقادیر پیش‌فرضی استفاده نمی‌کند. مقایسه خطای کمترین مربعات نرمال‌سازی در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ نشان می‌دهد که استفاده از روش پیشنهادی نتایج نرمال‌سازی را در تمامی باندها بهبود بخشیده است ولی میزان بهبود نتایج در باندهای ۱، ۲ و ۳ در مقایسه با باندهای ۴، ۵ و ۷ بیشتر بوده که علت آن تأثیرپذیری زیاد باندهای ۱، ۲ و ۳ از اتمسفر است، چرا که این باندها در محدوده طول موج مرئی قرار می‌گیرند و میزان تأثیر اتمسفر در این محدوده طیفی نسبت به محدوده طیفی مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک که باندهای ۴، ۵ و ۷ در آن قرار گرفته‌اند بیشتر است. لذا استفاده از چند مدل خطی برای درجات مختلف تصویر، به جای استفاده از یک مدل خطی در کل تصویر به بهبود نتایج می‌انجامد. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از مدل‌های غیرخطی به جای مدل‌های خطی، می‌تواند نتایج نرمال‌سازی را بهبود بخشد.

۶- منابع

ALbregtsen, F., 1993, **Non-Parametric Histogram Thresholding Methods - Error Versus Relative Object Area**, Proc. 8th Scadinavian Conf. Image Analysis, Tromse, Norway, 273-280.

Biday, S.G., and Bhosle, U., 2010, **Radiometric Correction of Multitemporal Satellite Imagery**, Journal of Computer Science 6 (9): 940-949.

Crist, E.P., and Kauth, R.T., 1986, **The Tasseled Cap de-mystified**, Photogrammetric Engineering **6** Remote Sensing, 52(1): 81-86.

Elvidge, C.D., Yuan, D., Ridgeway, D.W., and Lunetta, R.S., 1995, **Relative Radiometric Normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) Data Using an Automatic Scattergram-controlled Regression**, Photogmmmetric Engineering Remote Sensing, 61(10): 1255-1260.

Hall, F.G., Strebel, D.E., Nickeson, J.E., and Goetz, S.J., 1991, **Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate**, multisensor images, Remote Sensing of Environment, 35: 11-27.

Jensen (Ed.), J.R., 1983, **Urban/suburban Land Use Analysis**, in R.N. Colwell (Ed.), Manual of Remote Sensing, second edition, American Society of Photpgrammetry, FallChurch, VA, pp. 1571–1666.

Lee, H. and Park, R.H., 1990, **Comments on an Optimal Threshold Scheme for Image Segmentation**, IEEE Trans, System, Man and Cybernetics, SMC(20), 741-742.

Liao, P.S., Chen, T.S., Chung, P.C., 2001, **A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding,** Journal of Information Science and Engineering 17, 713–727.

Lo, C.P., and Yang, X., 1998, **Some Practical Considerations of Relative Radiometric Normalization of Multidate Landsat MSS Data for Land Use Change Detection**, Proceedings of ASPRS/RTI, Annual Convention, Tampa, Florida, 1184-1193.

Otsu, N., 1979, **A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram**, IEEE Trans. Systems Man Cybernet, Vol(9), 62-66.

Richards, J.A. and Jia.X, 2006, **Remote Sensing Digital Image Analysis**, 4th Edition: Springer-Verlag, Berlin, 137-154.

Salvaggio, C., 1993, **Radiometric Scene Normalization Utilizing Statistically Invariant Features**, Proceedings of Workshop Atmospheric Correction of Landsat Imagery, Defense Landsat Program Office, [dates of workshop] Torrance, California, 155-159.

Schott, J.R, Salvaggio, C., Volchok, W.J., 1988, **Radiometric Scene Normalization Using Pseudo-invariant Features**, Remote Sensing of Environment 26 (1), 1–16.

Schott, J.R., 1997, **Remote Sensing**, The Image Chain Approach, Oxford University Press, London, 214–226.

Sezgin, M., and Sankur, B., 2004, **Survey Over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation**, Journal of Electronic Imaging 13(1), 146–165.

Wu, S., Amin, A., 2003, **Automatic Thresholding of Gray-level Using Multi-stage Approach**, Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2003),0-7695-1960-1/03 $17.00 ©, IEEE.

Ya'allah, S.M. and Saradjian, M.R, 2005, **Automatic Normalization of Satellite Images Using Unchanged Pixels Within Urban Areas**, Information Fusion, (6), 235–241.

Yang, X., and Lo, C.P., 2000, **Relative Radiometric Normalization Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Vol. 66, No. 8, August, 967-980.

Zhang Z., Meng, Y., Chen, F., 2009, **Investigation of the Relative Radiometric Normalization in Remote Sensing Image Change Detection**, Information Engineering and Computer Science.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی