

استخراج خودکار مناطق همگن کاذب (PIFs) به منظور تعیین تغییرات سنجش از دوری

بهزاد رایگانی^۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۸/۰۴

چکیده

تعیین تغییرات به فرآیند شناسایی تفاوت‌ها در وضعیت یک شیء یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف گفته می‌شود. تعیین تغییرات سنجش از دوری کمیت یک پدیده را از تصاویر چند زمانه بررسی می‌کند و این روش معمولاً به کمک سنجنده‌های چندطیفی ماهواره‌ای صورت می‌پذیرد. در مطالعات تعیین تغییرات سنجش از دوری به یکی از مهم‌ترین سؤال‌های پژوهشگران در ارتباط با نوع و شیوه انجام تصحیح اتمسفری می‌باشد. در بیشتر موارد، به دلیل نبود اطلاعات کافی یا تجربه و دانش لازم، امکان تصحیح رادیومتری مطلق وجود ندارد و پژوهشگران ناچار به استفاده از روش‌های تصویر مبنای نسبی می‌باشند. یکی از بهترین روش‌های تصویر مبنای نرمال‌سازی رادیومتری به کمک مناطق همگن کاذب می‌باشد. با این وجود یکی از مهم‌ترین چالش‌های این روش، انتخاب درست عوارض همگن کاذب است. بنابراین در پژوهش حاضر یک روش بسیار ساده بر اساس تعریف مناطق همگن کاذب پیشنهاد داده شده است که به صورت خودکار این مناطق را مشخص و در یک فرآیند رگرسیونی برای نرمال‌سازی خودکار بکار می‌گیرد. به منظور واسنجی و ارزیابی صحت روش پیشنهادی، تصحیح رادیومتری مطلق به سه روش FLAASH، ATCOR و ATMOSC و تصحیح رادیومتری نسبی به دو روش کالیبراسیون خط تجربی و روش تفریق جسم سیاه و تصحیح خودکار رادیومتری به دو روش QAC و AAIC بر روی داده‌های مورد استفاده اعمال شد. خروجی تمامی روش‌های تصحیح اتمسفری و روش پیشنهادی در یک روش تعیین تغییرات جبری به شکل تفاضل و با آستانه دو برابر انحراف معیار از میانگین بکار گرفته شد تا توسط ۲۱۹ نقطه، صحت آنها بررسی شود. نتایج ارزیابی صحت به همراه بررسی‌های کیفی ناشی از مقایسه هیستوگرامی به خوبی کارکرد مناسب روش پیشنهادی را به اثبات رساند (کاپای بیش از ۰/۸) و بررسی به کمک جداول متعامد نشان داد، عملکرد روش پیشنهادی شباهت زیادی به روش کالیبراسیون خط تجربی دارد (بیش از ۷۶ درصد). در نهایت باید اشاره شود، چند ویژگی منحصر به فرد در پیشنهاد پژوهشی حاضر از جمله سادگی، خودکار بودن، خطای سیستماتیک ناچیز، امکان استفاده در یک سامانه هشداردهی تخریب زیست‌بوم، عدم وابستگی به نوع سنجنده مورد استفاده، آن را از دیگر روش‌های تصحیح رادیومتری متمایز می‌سازد. از اینرو پیشنهاد ما به پژوهشگران تعیین تغییرات اکوسیستم‌ها استفاده از دستاوردهای این پژوهش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نرمال‌سازی رادیومتری خودکار، تصحیح رادیومتری مطلق، تصحیح رادیومتری نسبی، تصحیح اتمسفری خودکار، بررسی اثر نوع تصحیح اتمسفری بر تعیین تغییرات

مقدمه

تعیین تغییرات به فرآیند شناسایی تفاوت‌ها در وضعیت یک شیء یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف گفته می‌شود (Lu et al., 2004).

تهیه نقشه پوشش زمین و پایش آن به عنوان یکی از مهمترین اهداف علمی شناخته می‌شود (Zhu and Woodcock, 2014) و تغییر کاربری/پوشش زمین مهمترین پارامتر تغییرات جهانی به شمار می‌رود (Jensen, 2016; Lu et al., 2014; Paolini et al., 2006) که شاید بررسی آن حتی از ارزیابی تغییر اقلیمی مهم‌تر باشد (Jensen, 2016). زیرا اطلاع از این تغییرات به مدیران منابع و تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا بتوانند در مقیاس محلی، ملی و منطقه‌ای سیاست‌گذاری درستی برای آینده داشته باشند (Hermosilla et al., 2015).

به دلایل مختلف سنجش از دور تنها ابزاری است که می‌تواند تغییرات پوشش زمین را در محدوده‌های گسترده ارزیابی کند (Lu et al., 2014; Paolini et al., 2006).

بنابراین جای تعجب ندارد که تلاش‌های گسترده‌ای جهت توسعه‌ی روش‌های تعیین تغییرات بوسیله داده‌های سنجش از دور صورت پذیرفته باشد (Jensen, 2016; Rokni et al., 2015; Song et al., 2001; Vanonckelen et al., 2015). تعیین تغییرات رقومی، کمیت یک پدیده را از تصاویر چندزمانه بررسی می‌کند و این روش معمولاً به کمک سنجنده‌های چندطیفی ماهواره‌ای صورت می‌پذیرد (Coppin et al., 2004; Coppin and Bauer, 1996; Lu et al., 2004). هر چند از اواسط دهه ۱۹۷۰ روش‌های متعددی برای تعیین تغییرات سنجش از دوری توسعه یافته است (Paolini et al., 2006)، ولی تا به امروز هنوز هم تعیین تغییرات رقومی به عنوان یک موضوع پژوهشی اساسی شناخته می‌شود و پژوهشگران زیادی هنوز سعی دارند با روش‌های مختلف، نتایج تعیین تغییرات سنجش از دوری را بهبود بخشند (Lu et al., 2014). روش‌های تعیین تغییرات رقومی را می‌توان در گروه‌های متعددی قرار داد (Jensen, 2016) ولی شاید بتوان تمام این روش‌ها را در دو دسته تقسیم‌بندی نمود:

تعیین تغییرات پیش از طبقه‌بندی^۱ و روش تعیین تغییرات پس از طبقه‌بندی^۲ (Knight et al., 2017). معمولاً در تمامی مطالعات تعیین تغییرات سنجش از دوری دو سؤال مهم مطرح می‌شود که در اغلب منابع اطلاعات علمی پاسخ روشنی برای آنها وجود ندارد (Song et al., 2001):

۱- چه زمانی تصحیح اتمسفری قبل از تعیین تغییرات ضرورت دارد؟

۲- اگر تصحیح اتمسفری ضروری است کدام روش این قبیل تصحیح‌ها بهتر است بکار گرفته شود؟ در حقیقت تصمیم در مورد تصحیح اتمسفری معمولاً اولین گام بسیار مهم در تحلیل سنجش از دور است که می‌تواند گام‌های بعدی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Mahiny and Turner, 2007). از آنجا که بازتابش سطح به جز تغییرات واقعی پوشش زمین، در اثر تغییرات معمول زمین (مانند تغییر در پوشش گیاهی، رطوبت خاک و ...)، ویژگی‌های سنجنده، شرایط اتمسفری و انرژی دریافتی از خورشید نیز دچار تغییرات می‌شود، تصحیح رادیومتری بخصوص تصحیح اثر پخش و جذب اتمسفری در برخی روش‌های تعیین تغییرات رقومی ضرورت دارد (Chen et al., 2005; Jensen, 2016; Jianya et al., 2008; Paolini et al., 2006; Yang and Lo, 2000). این ضرورت بیشتر مربوط به زمانی است که در روش‌های تعیین تغییرات رقومی قرار است از تبدیل‌هایی مانند شاخص‌های طیفی دورسنجی استفاده شود (Nazeer et al., 2014)، اما وقتی مقایسه بر اساس خروجی فرآیند طبقه‌بندی باشد (روش‌های مقایسه پس از طبقه‌بندی) این تصحیح ضرورتی ندارد (Jensen, 2016; Jianya et al., 2008; Li et al., 2008a; Mahiny and Turner, 2007; Song et al., 2001).

تصحیح‌های رادیومتری را می‌توان به دو دسته کلی، نسبی و مطلق تقسیم نمود (Chen et al., 2005; de Carvalho et al., 2013; Giri, 2016; Janzen et al., 2006; Jensen, 2016; Jianya et al., 2008; Li et al., 2008a; Paolini et al., 2006; Sahu, 2007; Yang and Lo, 2000).

در روش‌های تصحیح اتمسفری مطلق، هدف تبدیل

1- Preclassification Change Detection

2- Postclassification Change Detection

یک بسته افزودنی به نرم افزار ERDAS IMAGINE اضافه می شود و در نرم افزار Geomatica در ابزارهای اصلی نرم افزار قرار گرفته است (Janzen et al., 2006). ATCOR محاسبه های انتقال تابشی خود را از کد MODTRAN به دست می آورد (Aosier et al., 2005; Richter and Schlöpfer, 2016)

FLAASH^۵ نیز که در نرم افزار ENVI^۶ به عنوان ابزار تصحیح اتمسفری مطلق شناخته می شود (Nazeer et al., 2014; Yuan and Niu, 2008) محاسبات انتقال تابشی خود را از کد MODTRAN بدست می آورد (Adler-Golden et al., 1998; Felde et al., 2003; Nazeer et al., 2014; Yuan and Niu, 2008) هرچند برخی از نرم افزارها مانند MAZUL^۷ در نرم افزار TerrSet مدل انتقال تابشی^۸ خود را به گونه ای دیگری محاسبه می کنند (Chavez, 1996; Eastman, 2015a) ولی قوانین کلی انتقال تابشی در تمام این موارد ثابت است.

در روش های تصحیح اتمسفری مطلق جهت کسب نتایج مطلوب، نیاز است کاربر دانش و تجربه لازم را به منظور قضاوت درست در مراحل مختلف تنظیمات داشته باشد (Huguenin et al., 2013) به همین دلیل در مواردی که دانش و تجربه کافی استفاده از مدل های فیزیکی وجود ندارد (Nazeer et al., 2014) روش های تصویر مبنای (Huguenin et al., 2013; Nazeer et al., 2014) توصیه می شوند (Huguenin et al., 2013) برخی از این روش های تصویر مبنای همزمان مدل های فیزیکی و آماری تصویر را تلفیق می نمایند تا یک خوارزمیک تمام خودکار را توسعه دهند.

برای مثال روش QAC^۹ در نرم افزار ENVI (Bernstein et al., 2012) و AAIC^۹ (Huguenin et al., 2013) در نرم افزار ERDAS IMAGINE از شناخته شده ترین روش هایی هستند که در آنها به صورت خودکار ارزش رقومی تصاویر به مقادیر بازتابندگی سطح تبدیل می گردد. این روش های تمام خودکار، منحصر به برخی نرم افزارهای تجاری هستند و تنها

ارزش رقومی به مقدار واقعی بازتابش سطح برای هر پیکسل است (Mahiny and Turner, 2007).

در واقع سرانجام تصحیح رادیومتری مطلق، تبدیل نمودن ارزش های روشنایی ثبت شده توسط یک سامانه سنسور از دوری به ارزش های بازتابندگی چارچوب بندی شده سطح یا بازتابندگی مقیاس دهی شده^۱ می باشد (Chen et al., 2005; Jensen, 2016; Paolini et al., 2006)

با این کار می توان این ارزش ها را با ارزش های بازتابندگی چارچوب دار دیگر در هر مکان روی زمین مقایسه نمود. تلاش های گوناگون برای انجام این نوع تصحیح های اتمسفری، باعث ایجاد یک سری کدها به صورت مدل های تابشی اتمسفر شده است که از اثر جذب و پراکندگی اتمسفری بر روی تصاویر ماهواره ای تخمین های واقعی ایجاد می کنند. وقتی این اثرات مشخص شوند، می توان اثرات پخشیدگی و یا جذب اتمسفری را برای یک روز خاص در یک باند و یا یک پیکسل خاص از تصویر از بین برد.

اغلب نرم افزارها و برنامه های تصحیح اتمسفری، اطلاعات جذب و پراکندگی اتمسفری مورد نیاز خود برای این قبیل برآوردها، از کدهای تقویت شده انتقال تابشی مانند LOWTRAN^۲، MODTRAN^۳ یا 6S^۴ استخراج می کنند (Aosier et al., 2005; Jensen, 2016; Nazeer et al., 2014)

از معروف ترین نرم افزارهای تصحیح اتمسفری مطلق یا مدل های فیزیکی (Nazeer et al., 2014) می توان به ATCOR (Aosier et al., 2005; Fichera et al., 2012; Janzen et al., 2006; Nazeer et al., 2014; Pflug and Main-Knorn, 2014; Rayegani et al., 2019; Richter and Schlöpfer, 2016) و FLAASH (Adler-Golden et al., 1998; Estoque and Murayama, 2015; Felde et al., 2003; Johansen et al., 2010; Nazeer et al., 2014; Owojori and Xie, 2005; Yuan and Niu, 2008) اشاره نمود. ATCOR به عنوان یک ابزار پر کاربرد تصحیح اتمسفری مطلق شناخته می شود (Pflug and Main-Knorn, 2014) که به صورت

5-The Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)

6- the Environment for Visualizing Images software

7- a full radiative transfer equation model (FULL)

8- Quick atmospheric correction code

9- Applied Analysis Image Calibrator (AAIC)

1- scaled surface reflectance

2- moderate-resolution atmospheric transmission

3- low-resolution atmospheric transmission

4- second simulation of the satellite signal in the solar spectrum

$$BV_k = \rho_\lambda A_k + B_k$$

در این معادله (BV_k) ارزش روشنایی خروجی برای یک پیکسل در باند (k) یا بازتابندگی شبیه‌سازی شده سطح؛ ρ_λ برابر با بازتابندگی مقیاس‌دهی شده مواد در داخل میدان دید سنجنده در یک طول موج خاص است (که در عرصه اندازه‌گیری می‌شود)؛ (A_k) ضریب صلاحی معادله و (B_k) مقدار ثابت می‌باشد

برای انجام روش سنتی کالیبراسیون خط تجربی نیاز است همزمان با فعالیت سنجنده، در عرصه از دستگاه اسپکترو رادیومتر مشابه با ویژگی‌های سنجنده برای اندازه‌گیری‌های بازتابندگی سطح زمین استفاده شود (Jensen, 2016; Nazeer et al., 2014).

به دلیل در اختیار نبودن دستگاه اسپکترو رادیومتر و مشکل بودن اندازه‌گیری در عرصه، معمولاً در روش‌های جدیدتر کالیبراسیون خط تجربی از کتابخانه‌های استاندارد این قبیل اندازه‌گیری‌ها مانند کتابخانه طیفی استر^۴ (Baldridge et al., 2009)، به جای اندازه‌گیری در عرصه استفاده می‌شود (Jensen, 2016). با این وجود در این روش نیز نیاز است از کیفیت و کمیت مواد موجود در عرصه، جهت ایجاد رگرسیون نرمال‌سازی (رابطه ۱) پیش آگاهی لازم وجود داشته باشد.

اما در بیشتر روش‌های تصحیح رادیومتری نسبی هدف آن است که ویژگی‌های رادیومتری تصاویر هدف تعدیل شوند تا شرایط مشابه با یک تصویر پایه را بدست آورند. بدین صورت، نوسانات ناشی از اتمسفر یا موارد دیگر بین چند تصویر کاهش پیدا می‌کند و تصاویر نرمال شده به لحاظ رادیومتری ایجاد می‌شود (Jensen, 2016; Chen et al., 2005). این کار بر اساس ایجاد یک رابطه خطی بین تک تک باندهای تصویر در طول زمان صورت می‌پذیرد (مشابه با رابطه ۱)، ولی نیاز است این رابطه‌های خطی در مناطق همگن کاذب بدست آید (Paolini et al., 2006; Song et al., 2001). عارضه‌های همگن کاذب، مناطقی هستند که ویژگی‌های طیفی آنها در زمان و مکان خیلی کم تغییر کند، پوشش گیاهی ناچیزی دارند و تقریباً مسطح می‌باشند (Jensen, 2016).

برای برخی سنجنده‌های ماهواره‌ای توسعه یافته‌اند (Bernstein et al., 2012; Huguenin et al., 2013). بنابراین در بسیاری از موارد به دلیل نبود اطلاعات کافی برای انجام تصحیح رادیومتری مطلق (Jensen, 2016) یا نداشتن تجربه و دانش لازم (Huguenin et al., 2013)

جهت انجام این نوع تصحیح اتمسفری، از روش‌های رادیومتری تصویر مبنا (Nazeer et al., 2014) که به عنوان روش‌های تصحیح رادیومتری نسبی نیز شناخته می‌شوند، استفاده می‌گردد. روش‌های تفریق جسم سیاه^۱، کالیبراسیون خط تجربی^۲ و عوارض همگن کاذب^۳ (Jensen, 2016; Mahiny and Turner, 2007; Paolini et al., 2006; Song et al., 2001) از مهم‌ترین روش‌های تصحیح رادیومتری تصویر مبنا به شمار می‌روند.

تفریق جسم سیاه یکی از ساده‌ترین و در عین حال پرکاربردترین روش‌های تصحیح اتمسفری مطلق تصویر محور به شمار می‌رود (Paolini et al., 2006; Song et al., 2001). هر چند برخی محققان به خاطر ماهیت، این روش را جزء روش‌های تصحیح رادیومتری نسبی قرار می‌دهند (Chen et al., 2005; Jensen, 2016) در این روش فرض می‌شود در یک سین تصویر، جسم یا شیء‌های تیره‌ای مانند آب یا سایه وجود دارد و اتمسفر به صورت افقی در کل تصویر همگن است (Song et al., 2001).

با توجه به اینکه این اجسام تیره باید ارزش‌های نزدیک به صفر در تصویر داشته باشند، جهت از بین بردن اثر پراکنش اتمسفری، مقدار کمینه هیستوگرام هر باند از ارزش تمام پیکسل‌ها کم می‌شود (Song et al., 2001).

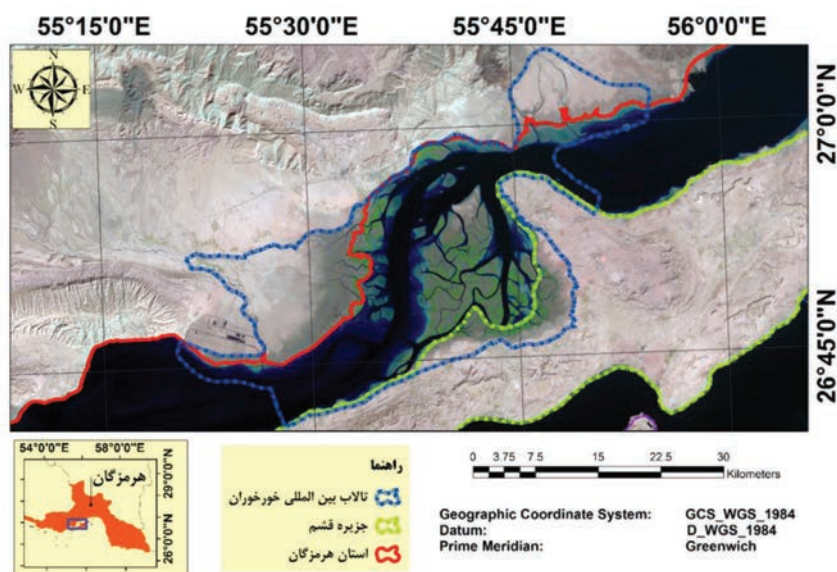
در روش کالیبراسیون خط تجربی که گاهی به عنوان یک روش تصحیح اتمسفری مطلق نیز شناخته می‌شود (Jensen, 2016)، داده سنجنش از دوری با اندازه‌گیری‌های بازتابندگی انجام شده در عرصه به کمک یک معادله رگرسیون ساده خطی (رابطه ۱) هماهنگ می‌شود، البته به شرط اینکه زمان این دو داده یکسان باشد.

1- Dark object subtraction (DOS)

2- empirical line calibration (ELC)

3- pseudo-invariant features (PIF)

4- ASTER Spectral Library



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

رو در پژوهش حاضر سعی شده است یک روش ساده، خودکار و در عین حال کارآمد جهت نرمال‌سازی رادیومتری در فرآیند تعیین تغییرات سنجش از دور پیشنهاد شود.

داده‌ها و روش کار الف- منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت شده حرا یکی از چهار منطقه حفاظت شده با پوشش جنگلی حرا در استان هرمزگان است. این ناحیه از نظر کیفیت جزء بهترین جنگل‌های حرا در ایران محسوب می‌شود و تخریب آن در تغییر اکوسیستم منطقه بسیار تأثیرگذار خواهد بود. این جنگل‌ها در اقلیم نیمه حاره‌ای با بارش ۳۰۰-۱۰۰ میلی‌متر در سال و ارتفاع هم‌تراز سطح دریا و یا حداکثر ۶ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته‌اند. این تالاب براساس آخرین مرز پیشنهادی اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان بیش از ۱۰۰ هزار هکتار وسعت دارد (Rayegani, 2016). نگاره ۱ موقعیت منطقه حفاظت شده حرا در استان هرمزگان و جزیره قشم را نشان می‌دهد.

ب- روش مطالعه

ب-۱ تهیه داده‌ها و انتخاب دوره زمانی
در این مطالعه به دلیل دسترسی و کاربردهای وسیع

در پاسخ به سؤال دوم ابتدایی در مورد اینکه کدام روش تصحیح رادیومتری در صورت لزوم باید بکار گرفته شود، نیاز است اشاره شود، علیرغم تلاش‌های فراوان، تاکنون هنوز هم یک روش راحت، عملی و سیستماتیک برای کالیبراسیون رادیومتری به خصوص به شیوه خودکار آن توسعه داده نشده است (Wang and Myint, 2015)، اما در مورد مطالعات تعیین تغییرات رقومی اغلب کافی است مقادیر خام ارزش رقومی داده‌ها به مقادیر یکنواخت و متناظر تبدیل شوند. بنابراین در این موارد، تصحیح رادیومتری نسبی مانند استفاده از مناطق همگن کاذب کافی است (Mahiny and Turner, 2007).

هر چند در اینجا نیز، روش مناسب انتخاب این مناطق همگن، کماکان یک چالش مهم به شمار می‌رود (de Carvalho et al., 2013). انتخاب این مناطق معمولاً به دو شکل دستی و خودکار انجام می‌شود (Chen et al., 2005; de Carvalho et al., 2013) ولی انتخاب دستی این مناطق به تجربه فراوان نیاز دارد و ممکن است خطای زیادی به کار وارد شود و انتخاب خودکار آنها نیز معمولاً پیچیده، چند مرحله‌ای است و به دانش برنامه‌نویسی خاصی نیاز دارد.

بنابر آنچه بیان شد، ضرورت دارد، در روش سنجش از دوری تعیین تغییرات یک روش خودکار و کارآمد برای تصحیح اثر پراکنش و جذب اتمسفری پیشنهاد شود. از این

انتخاب دستی آستانه‌ها ما را بر آن داشت در این پژوهش روش ساده و خودکار شناسایی این نواحی را توسعه دهیم و صحت این روش را با دیگر روش‌های سنجش از دوری تصحیح رادیومتری مطلق و نسبی مقایسه نماییم (Chen et al., 2005; de Carvalho et al., 2013; Giri, 2016; Janzen et al., 2006; Jensen, 2016; Jianya et al., 2008; Li et al., 2008a; Paolini et al., 2006; Sahu, 2007; Yang and Lo, 2000) بر اساس تعریف، عوارض همگن کاذب چهار شرط اساسی دارند (Jensen, 2016)، بنابراین در اینجا سعی شده است این چند شرط ساده‌سازی شوند تا در یک فرآیند خودکار قرار گیرند:

۱- حذف پیکره‌های آبی: منطقه مطالعاتی دارای یک بخش عمده ساحلی و پیکره آبی خلیج فارس است که تحت تأثیر جزرومد قرار دارد و در زمان‌های سیلابی تحت تأثیر ذرات معلق رودخانه‌ها قرار می‌گیرد. از این رو اولین گام حذف پیکره‌های آبی از تصاویر است. همانگونه که از رفتار طیفی آب مشخص است (نگاره ۲)، بازتابش آن در محدوده‌ی زیرقرمز نزدیک، به دلیل جذب بسیار ناچیز است، هرچند در بخش مرئی بخصوص بخش سبز و آبی منحنی رفتار طیفی دارای یک قله است. از اینرو برای ماسک کردن آب از تصاویر یکی از شرطها کمتر بودن مقدار ارزش پیکسل در باند زیرقرمز نزدیک نسبت به باند آبی یا سبز قرار داده شد (رابطه ۲). با توجه به اینکه آب در باند زیرقرمز نزدیک بازتابش نزدیک صفر دارد، در هیستوگرام آن، مقادیر نزدیک به ارزش کمینه، پیکره آبی خواهند بود، از اینرو یک شرط دیگر برای ماسک کردن آب، کمتر بودن مقدار ارزش پیکسل در باند زیرقرمز نزدیک نسبت به میانگین منفی یک برابر انحراف معیار قرار داده شد (رابطه ۲).

رابطه ۲

$Water\ Body: \{NIR > Blue\ (or\ Green)\} | NIR < (\overline{NIR} - 1SD)$

۲- حذف مناطق دارای پوشش گیاهی: گیاهان به دلیل عمل فوتوسنتز، انرژی الکترومغناطیس در محدوده قرمز را جذب و به دلیل ساختار برگ، انرژی الکترومغناطیس را در محدود زیرقرمز نزدیک بازتاب می‌کنند (Kalacska and Sanchez-

Barati et al., 2017; Barati GHahfarokhi et al., 2009; El-Askary et al., 2003; Estoque and Murayama, 2015; Giri, 2016; Long et al., 2016; Nazeer et al., 2014; Paolini et al., 2006; Rayegani et al., 2015; Rokni et al., 2014; Son et al., 2015; Zhu and Woodcock, 2014) از داده‌های سنجنده (لندست ۸) و ETM⁺ (لندست ۷) استفاده گردید. با توجه به اثر میزان جزرومد بر مساحت‌های تخمین زده شده سطح پوشش جنگلی حرا (Carney et al., 2014; Giri et al., 2008; Jahari et al., 2011; Lee and Yeh, 2009; Nguyen et al., 2013; Pham and Yoshino, 2015; Rayegani et al., 2019) در این مطالعه تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد استفاده مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۱ به گونه‌ای انتخاب شدند که در مقایسه دو تصویر مربوط به دو مقطع زمانی ضمن نزدیکی تاریخ سالیانه، هر دو در وضعیت یکسان از منظر جزر یا مد قرار داشته باشند. با توجه به درجه حرارت، جزرومد و بررسی دیداری تصاویر لندست مشخص شد، بهترین زمان برای مقایسه، فصل زمستان و حدود اسفندماه است. بر این اساس داده سنجنده OLI مربوط به تاریخ ۲۰۱۵/۰۲/۱۴ و سنجنده ETM⁺ مربوط به تاریخ ۲۰۰۱/۳/۳ انتخاب و تهیه شد.

ب-۲ پیش پردازش داده‌های سنجش از دوری

به منظور تصحیح هندسی ابتدا داده سنجنده OLI به دلیل به روز بودن به کمک نقاط کنترل زمینی تصحیح هندسی شد (Jensen, 2005; Koch and Mather, 2013; Raygani et al., 2017) و سپس داده سنجنده ETM⁺ به آن ثبت داده شد (Jensen, 2005).

ب-۳ خودکارسازی انتخاب مناطق همگن کاذب

روش پیشنهادی این پژوهش بر پایه نرمال‌سازی رادیومتری به کمک مناطق همگن کاذب (Chen et al., 2005; de Carvalho et al., 2013; Jensen, 2016; Mahiny and Turner, 2007; Paolini et al., 2006) استوار است. هر چند در برخی مطالعات، مناطق همگن کاذب با تعریف دستی آستانه‌هایی برای خود باندها یا نسبت‌های آنها (Mahiny and Turner, 2007) به دست می‌آید، ولی محدودیت‌ها و نامشخص بودن معیارها در

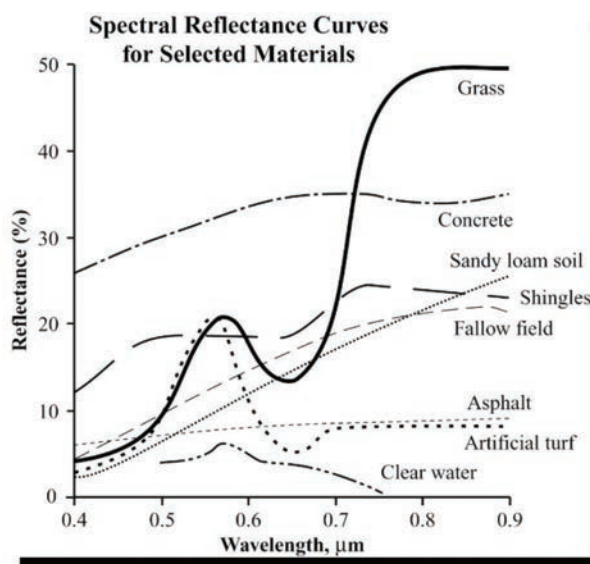
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۵۷)
استخراج خودکار مناطق همگن کاذب ... / ۱۵۷

۳- معیار مسطح بودن: مسطح بودن منطقه، ساده‌ترین معیار مناطق همگن کاذب است و بوسیله یک مدل رقومی ارتفاعی^۱ تنها با یک آستانه شیب قابل دسترس است (شیب کمتر از ۱۰ درصد به عنوان مناطق مسطح و نیمه مسطح (Gregorich et al., 2001). با توجه به مسطح بودن ناحیه مطالعاتی از این معیار در مطالعه حاضر صرف نظر شد.

۴- شناسایی مناطق با تغییرات کم یا بدون تغییر در طول زمان: در این پژوهش به منظور ارزیابی اثر تصحیح رادیومتری در روش تعیین تغییرات دورسنجی (Chen et al. 2005; Jensen 2016; Jianya et al. 2008; Paolini et al. 2006; Yang and Lo 2000) از مقایسه پیکسلی با عملیات جبری (Ilsever and Unsalan 2012; Jensen 2005; Li et al. 2008b) در این روش، تصاویر به کمک شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی متداول در مطالعات پوشش گیاهی (Barati et al., 2011; Giri et al., 2007; Lee and Yeh, 2009; Liu et al., 2008; Lu et al., 2004; Lyon et al., 1998) از میان شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی بر اساس عملکرد طبقه‌بندی نظارت نشده و شاخص‌های آماری پراکنش حول میانگین مانند ضریب تغییرات، شاخص NDVI عملکرد بهتری نشان داد. بر همین اساس شاخص NDVI که در مطالعات مشابه نیز کارآمد نشان داده بود (Giri et al., 2007; Lee and Yeh, 2009; Liu et al., 2008; Lu et al., 2004; Lyon et al., 1998; Pettorelli, 2013; Thenkabail and Lyon, 2016) ادامه تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در این شاخص از باندهای زیرقرمز نزدیک و باند قرمز به صورت نرمال شده استفاده می‌شود. بنابراین برای شناسایی مناطق تغییر نیافته، نواحی بدون تغییر در باند قرمز و باند زیرقرمز نزدیک که در این شاخص استفاده می‌شوند، شناسایی و با هم ترکیب شدند. بدین منظور ابتدا ماسک‌های آب و پوشش گیاهی بر روی تصویر اعمال شد. سپس تصویر OLI برای هماهنگی با تصویر ETM⁺ به ۸ بیت استرچ شد (Jensen, 2016; Sahu, 2007).

در گام بعدی تفاضل دو باند زیر قرمز نزدیک برای این دو سنجنده بدست آمد و مقدار متوسط و انحراف معیار آن

(Azofeifa, 2008; Pettorelli, 2013; Thenkabail and Lyon, 2016) از اینرو بسیاری از شاخص‌های طیفی گیاهی بارزکننده پوشش گیاهی مانند NDVI از رابطه بین این دو باند، برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی استفاده می‌کنند. به طور کلی در مناطقی که دارای پوشش گیاهی هستند، مقدار بازتابش زیرقرمز نزدیک از قرمز بیشتر است (Eastman, 2015a; Jensen, 2016). بنابراین یک معیار ساده برای ماسک کردن پوشش گیاهی استفاده از این شرط است.

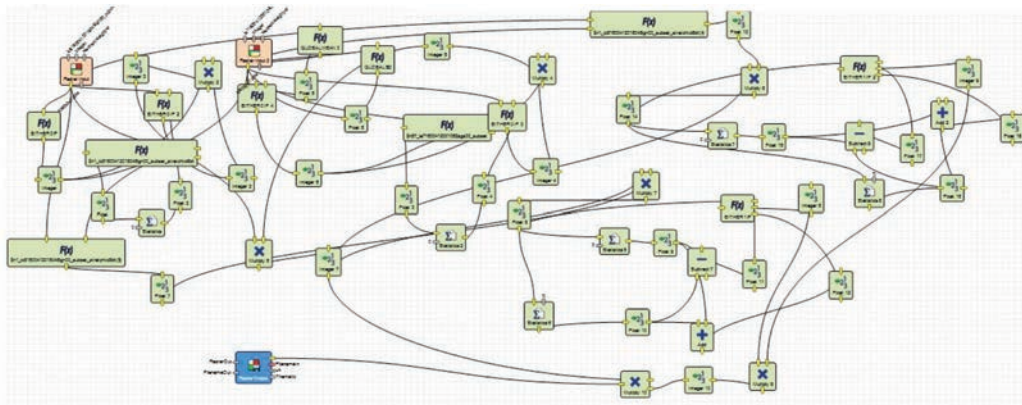


نگاره ۲: منحنی رفتار طیفی برخی از مهمترین مواد (Jensen, 2016)

با این وجود، با توجه به اینکه تصاویر مورد استفاده این پژوهش خام و پیش پردازش نشده می‌باشند، از یک متوسط آماری در این شرط استفاده شده است. بدین صورت ابتدا ماسک آب بر روی تصاویر اعمال شد، سپس متوسط اختلاف باند زیرقرمز با باند قرمز در ناحیه باقیمانده بدست آمد. در نهایت مناطقی به عنوان پوشش گیاهی در کل تصویر انتخاب شدند که مقدار اختلاف این دو باند در آنها بیشتر از مقدار متوسط محاسبه شده، بدست آمده بود (رابطه ۳). این نواحی به عنوان پوشش گیاهی ماسک شدند.

رابطه ۳

$$Vegetation\ Cover: \{NIR_i - RED_i > \overline{NIR}_{watermask} - \overline{RED}_{watermask}\}$$



نگاره ۳: شمای کلی مدل خودکار پیشنهادی برای انتخاب مناطق همگن کاذب و نرمال سازی در ویرایشگر مدل فضایی Erdas

به منظور تعیین مقادیر شیب (b_1) و عدد ثابت این معادله بدین صورت عمل شد:

با توجه به اینکه این رگرسیون در مناطق همگن کاذب ایجاد می شود (Paolini et al., 2006; Song et al., 2001)، ابتدا نواحی همگن کاذب به طور خودکار مطابق آنچه بیان شد، انتخاب و در داده های سنجنده ها اعمال شدند تا مراحل بعدی فقط در این نواحی صورت پذیرد. گام های بعدی بدین شکل انجام شد (Paolini et al., 2006; Weisberg, 2013; Yan, 2009):

الف) استاندارد کردن داده های دو سنجنده (در تمامی معادلات، X برای سنجنده OLI و Y برای سنجنده ETM^+ به کار رفته است): برای استاندارد سازی، مقدار متوسط و انحراف معیار در نواحی همگن کاذب بدست آمد و مطابق رابطه های ۵ و ۶ داده ها استاندارد شد.

$$X_t^* = \frac{X_t - \bar{X}}{SD_X} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$Y_t^* = \frac{Y_t - \bar{Y}}{SD_Y} \quad \text{رابطه ۶}$$

ب) محاسبه ضریب همبستگی: در مرحله دوم ضریب همبستگی به کمک رابطه ۶ محاسبه گردید

$$r_{XY} = (X_1^*Y_1^* + X_2^*Y_2^* + \dots + X_n^*Y_n^*)/n \quad \text{رابطه ۶}$$

ج) محاسبه ضریب شیب و عدد ثابت رگرسیون: در مرحله آخر به کمک رابطه های ۸ و ۹ ضرایب رگرسیونی به روش خط کمترین مربعات محاسبه گردید.

محاسبه شد و در نهایت برای داشتن کمترین خطا، ناحیه ای به عنوان تغییر نیافته در نظر گرفته شد که در آن مقدار تفاضل بدست آمده بین متوسط به علاوه و منفی یک برابر انحراف معیار قرار داشت (Eastman, 2015a; Eastman, 2015b; Jensen, 2016).

همین تحلیل بر روی باند قرمز نیز صورت پذیرفت (Eastman, 2015a; Eastman, 2015b; Jensen, 2016). این دو معیار با یکدیگر تلفیق شدند تا با روش منطق بولین AND مناطق تغییر نیافته بدست آید.

هر چهار شرط بیان شده به راحتی با کمترین تجربه پردازش تصاویر، امکان اعمال دستی بر روی داده ها را دارند، ولی در این پژوهش این شرطها در ویرایشگر مدل مکانی^۱ Erdas Imagine به صورت خودکار در آمد.

ب-۴ خودکار سازی نرمال کردن داده لندست ۷ بر اساس مناطق همگن کاذب

در نرمال کردن رادیومتری رگرسیونی، یکی از داده ها (در اینجا لندست ۸ سنجنده OLI) به عنوان متغیر مستقل برای بازسازی داده سنجنده دیگر یا تاریخ دیگر (در اینجا لندست ۷ سنجنده ETM^+) به عنوان متغیر وابسته، در یک رابطه خطی (رابطه ۴) بکار گرفته می شود (Jensen, 2016).

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 X_t \quad \text{رابطه ۴}$$

به کمک کتابخانه استر و خصوصیات طیفی دو ماده آب دریا و ماسه‌زار و روش تفریق جسم سیاه (Chen et al., 2005; Jensen, 2016; Paolini et al., 2006; Song et al., 2001) نیز بر روی هر دو سنجنده پیاده سازی شد و تعیین تغییرات صورت پذیرفت.

در نهایت دو روش خودکار تصحیح رادیومتری QAC در نرم افزار ENVI (Bernstein et al., 2012) و AAIC در نرم افزار ERDAS IMAGINE (Huguenin et al., 2013) بکار گرفته شدند تا تعیین تغییرات به کمک آنها نیز صورت پذیرد.

ب-۶ مقایسه کارکرد روش‌های مختلف تصحیح رادیومتری در تعیین تغییرات جنگل حرا

برای آنکه معیار مناسبی جهت مقایسه اثر روش‌های مختلف تصحیح رادیومتری بر تعیین تغییرات رقومی وجود داشته باشد، تغییرات جنگل‌های حرا در تمامی روش‌های تصحیح رادیومتری به سه بخش افزایشی، بدون تغییر و کاهش‌ی تبدیل شد.

سپس به صورت تصادفی لایه‌بندی شده ۳۰ نقطه با توزیع ۱۰ نقطه برای هر بخش تغییر و برای تمام روش‌ها پیاده‌سازی شد و در نهایت با حذف نقاط پرت و خطاهای ناشی از طبقه‌بندی، ۲۱۹ نقطه در منطقه حفاظت شده حرا انتخاب شد (Congalton and Green, 2008a).

این نقاط بر اساس بازدید میدانی و برای نقاطی که به دلیل صعب‌العبور بودن امکان بازدید نداشتند با تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای لندست و گوگل (بر اساس تجربه‌ای که از بازدید میدانی بدست آمده بود)، تحلیل شدند، تا داده‌های مرجع جهت تشکیل ماتریس خطا بدست آید. سپس ماتریس خطا تشکیل و دقت کل و ضریب کاپا جهت مشخص شدن عملکرد هر روش بدست آمد (Campbell and Wynne, 2011; Congalton and Green, 2008a; Eastman, 2012; Jensen, 2005).

رابطه ۸

$$b_1 = r_{XY} \frac{SD_Y}{SD_X}$$

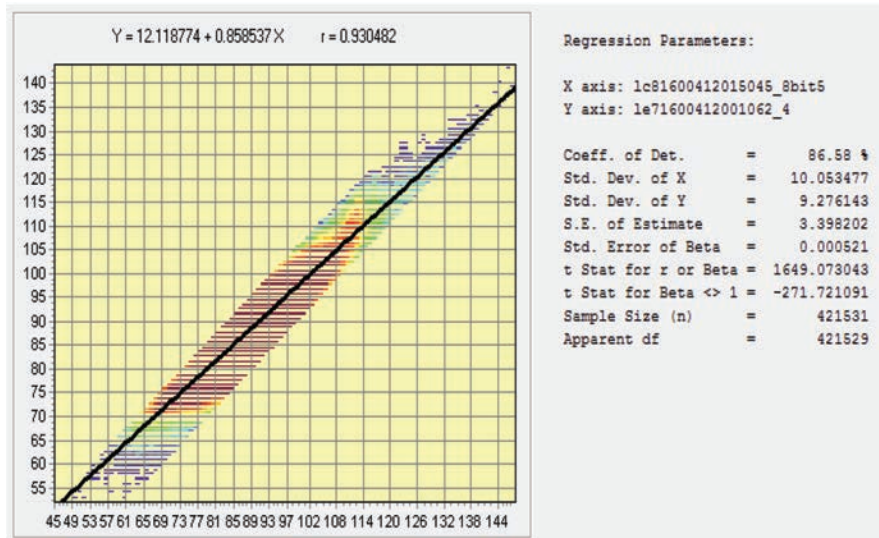
رابطه ۹

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \times \bar{X}$$

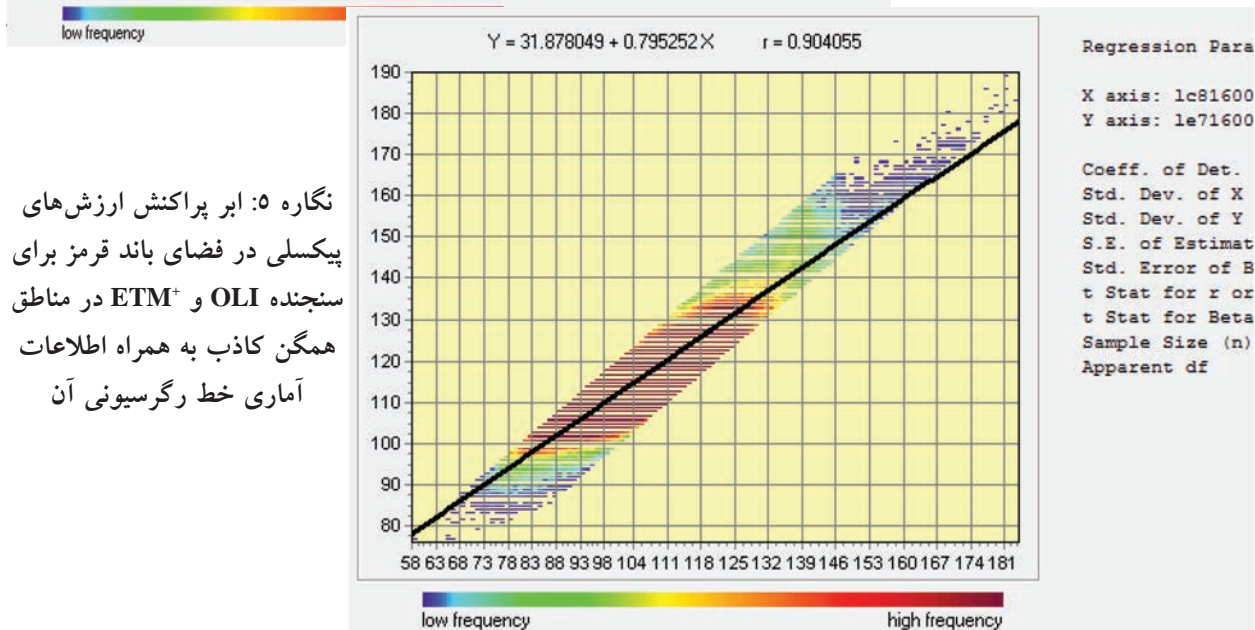
این فرآیند رگرسیونی با فرآیند جداسازی خودکار مناطق همگن کاذب در ویرایشگر مدل فضایی Erdas تلفیق شد تا به صورت خودکار، نرمال‌سازی نیز بر روی باندهای قرمز و زیرقرمز نزدیک سنجنده ETM⁺ انجام شود (نگاره ۳).

ب-۵ تعیین تغییرات جنگل‌های حرا بر اساس روش پیشنهادی تصحیح رادیومتری و اعمال سایر روش‌های تصحیح رادیومتری

پس از نرمال شدن داده سنجنده ETM⁺، شاخص NDVI بر روی هر دو سنجنده اعمال شد و آشکارسازی تغییرات سنجنش از دوری به روش مقایسه پیکسلی با عملیات جبری صورت پذیرفت. بدین منظور از روش تفاضل بین NDVI دو تاریخ به همراه آستانه دو برابر انحراف از میانگین ($\mu \pm 2SD$) استفاده شد (Eastman, 2015a; Jensen, 2016). برای آنکه عملکرد روش پیشنهادی ارزیابی شود، تصحیح رادیومتری مطلق به سه روش ATCOR (Aosier et al., 2005; Fichera et al., 2012; Janzen et al., 2006; Nazeer et al., 2014; Pflug and Main-Knorn, 2014; Richter and Schläpfer, 2016). FLAASH (Adler-Golden et al., 1998; Estoque and Murayama, 2015; Felde et al., 2003; Johansen et al., 2010; Nazeer et al., 2014; Owojori and Xie, 2005; Yuan and Niu, 2008) و ATMOSC (Eastman, 2015a; Eastman, 2015b) به ترتیب در سه نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI, ERDAS IMAGINE و TerrSet بر روی هر دو داده سنجنده‌ها اعمال شد و سپس دقیقاً مشابه آنچه در مورد نرمال‌سازی خودکار بیان شد، تعیین تغییرات به روش تفاضل با دو برابر انحراف معیار برای هر یک از این سه روش انجام شد. همچنین از روش‌های نسبی تصحیح رادیومتری، روش کالیبراسیون خط تجربی (Jensen, 2016; Mahiny and Turner, 2007)



نگاره ۴: ابر پراکنش ارزش‌های پیکسلی در فضای باند زیرقرمز نزدیک برای سنجنده OLI و ETM⁺ در مناطق همگن کاذب به همراه اطلاعات آماری خط رگرسیونی آن



نگاره ۵: ابر پراکنش ارزش‌های پیکسلی در فضای باند قرمز برای سنجنده OLI و ETM⁺ در مناطق همگن کاذب به همراه اطلاعات آماری خط رگرسیونی آن

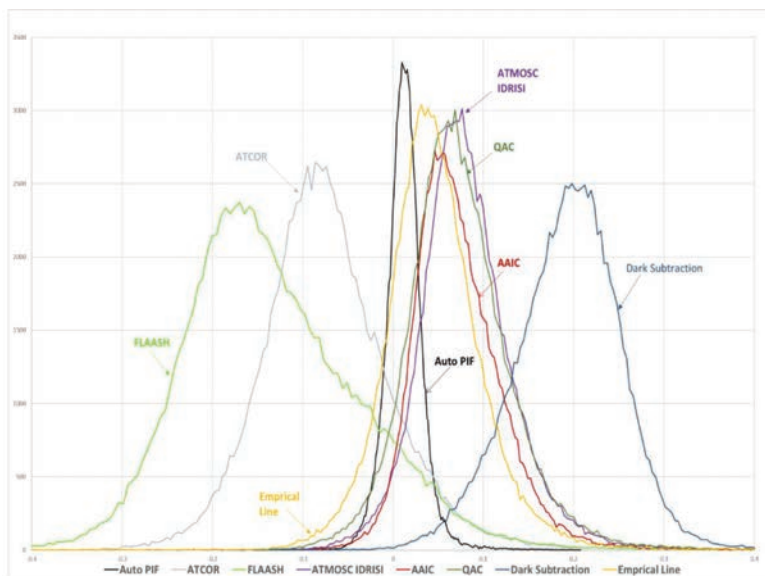
شرح و تفسیر نتایج

الف - بررسی کیفیت روش خودکار جداسازی مناطق همگن کاذب

در صورتی که تصویر فضای باندی^۱ یا ابر پراکنش پیکسل باندها در طول زمان برای مناطق همگن کاذب ترسیم شود، پراکنش ارزش‌ها در فضای باندی باید شبیه به یک خط مستقیم بین دو محور باشد (Chen et al., 2005; de Carvalho et al., 2013).

قرمز (یکی متعلق به سنجنش OLI و دیگری ETM⁺) و باند زیرقرمز نزدیک در منطقه همگن کاذب درستی انتخاب این مناطق را نشان خواهد داد. نگاره ۴ ابر پراکنش ارزش پیکسل‌های زیرقرمز نزدیک در مناطق همگن کاذب که خودکار شناسایی شده‌اند را نشان می‌دهد (محور X باند زیر قرمز نزدیک سنجنده OLI و محور Y باند زیرقرمز نزدیک سنجنده ETM⁺). مطابق با نگاره ۴، مقدار ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۳ و ضریب تعیین بیش از ۸۶ درصد بدست آمده است که به خوبی حکایت از کیفیت بالای مناطق

1- Feature Space Image



نگاره ۶: هیستوگرام‌های خروجی حاصل از اعمال روش جبری (تفاضل) تعیین تغییرات (شاخص NDVI) در روش‌های مختلف تصحیح رادیومتری

جدول ۱: ارزیابی صحت در روش‌های مختلف تصحیح رادیومتری

روش	دقت کلی	کاپا کل	روش	دقت کلی	کاپا کل
AAIC	0.9041	0.8301	FLAASH	0.8219	0.6695
ATCOR	0.9406	0.8915	PIF	0.8904	0.8017
ATMOSC	0.8995	0.8248	Empirical Line Calibration	0.895	0.8165
Dark Object Subtraction	0.7717	0.5677	QAC	0.9041	0.8331

و کمی استفاده شده است. در روش کیفی، تصویر خروجی حاصل از تفاضل شاخص‌های طیفی NDVI دو سنجنده، در ناحیه پوشش جنگلی حرا مورد بررسی قرار گرفته است. در روش تعیین تغییرات بر اساس مقایسه پیکسلی با عملیات جبری، ضرورت دارد شکل هیستوگرام توزیع نرمال داشته باشد (Eastman, 2015a; Jensen, 2016)، تا آستانه‌های به کار رفته جهت شناسایی تغییرات به درستی مناطق تغییر یافته را نشان دهند. نگاره ۶ هیستوگرام خروجی عملیات تفاضل بر روی NDVI دو سنجنده در روش‌های مختلف تصحیح رادیومتری را نشان می‌دهد.

همانگونه که در نگاره ۶ مشاهده می‌شود، هیستوگرام روش پیشنهادی این پژوهش (خط سیاه در نگاره ۶) نسبت به روش‌های دیگر دندان‌های کمتری نشان می-

شناسایی شده کاذب دارد. همچنین نگاره ۵ نیز ابر پراکنش ارزش پیکسل‌های قرمز در مناطق همگن کاذب را نشان می‌دهد (محور X باند قرمز سنجنده OLI و محور Y باند قرمز سنجنده ETM⁺). مطابق با نگاره ۵، مقدار ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۰ و ضریب تعیین بیش از ۸۱ درصد به دست آمده است که هرچند نسبت به باند زیرقرمز نزدیک دقت کمتری نشان می‌دهد ولی خطی بودن روند در فضای باندهای آن در نگاره ۵ کاملاً مشهود است.

ب- مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با سایر روش‌های تصحیح رادیومتری

برای بررسی کارکرد هر یک از روش‌های تصحیح رادیومتری بکار گرفته شده در این تحقیق از دو روش کیفی

جدول ۲: خروجی جداول متعامد روش‌های مختلف تصحیح رادیومتری

		Reference							
change detection method Input		ATCOR	AAIC	EMPIRICAL LINE	FLAASH	QAC	DarkSubtraction	ATMOSC	PIF AUTO
	ATCOR	1	0.7224	0.6718	0.5931	0.6928	0.3886	0.6852	0.6047
	AAIC		1	0.7428	0.7122	0.807	0.3905	0.8074	0.5851
	EMPIRICAL LINE			1	0.5406	0.9259	0.6074	0.9206	0.7649
	FLAASH				1	0.5885	0.2605	0.5902	0.4328
	QAC					1	0.547	0.9672	0.7113
	DarkSubtraction						1	0.5563	0.6027
	ATMOSC							1	0.7052
	PIF AUTO								1

(*et al., 2001*). با مشاهده دقیق‌تر نگاره ۶، این مسئله کاملاً مشهود است، به گونه‌ای که خروجی هیستوگرام روش FLAASH در دنباله سمت راست خود دارای کشیدگی شده (چولگی مثبت یا چولگی به راست) و در روش تعیین تغییرات به کار گرفته شده، خطای سیستماتیک را به دنبال داشته است (جدول ۱ اثر این خطا را به خوبی نشان می‌دهد)، هر چند که در دیگر تحقیقات، پژوهشگران به کارایی این ابزار در تصحیح رادیومتری مطلق اشاره نموده‌اند (*Adler-Golden et al., 1998; Felde et al., 2003; Nazeer et al., 2014; Yuan and Niu, 2008*) ولی در اینجا ممکن است صرفاً به دلیل وجود یک خطای سیستماتیک در ورژن مورد استفاده، کل نتایج این ماژول کارآمد تحت تأثیر قرار گرفته باشد. با بررسی چشمی تصاویر خروجی ماژول FLAASH این خطای سیستماتیک قابل مشاهده بود، به گونه‌ای که در تصاویر خروجی سایه روشن‌های عمودی (به صورت نوار) دیده شد. از نگاره ۶ و ساختار هیستوگرامی روش‌های مختلف به کار گرفته شده، مشخص است، هیچ روش تصحیح رادیومتری همانند روش دیگر عمل نکرده است.

با بررسی نتایجی که از اعمال جداول متعامد^۱ (*Eastman, 2015a*) بر روی تک تک روش‌ها در تمامی منطقه مطالعاتی بدست آمد (جدول ۲)، این تفاوت به خوبی مشخص شد. بر اساس جدول ۲ همانطور که از جدول ۱ هم مشخص است، خروجی روش پیشنهادی این تحقیق بیشترین تطابق را با خروجی روش کالیبراسیون خط تجربی دارد (بیش از

دهد و چولگی در هیچکدام از دنباله‌های آن دیده نمی‌شود. بنابراین از نظر تئوری اعمال آستانه‌های تعیین تغییرات به آن خطای سیستماتیک نخواهد داشت. اما در بررسی کمی کارکرد روش‌های مختلف تصحیح رادیومتری از روش ارزیابی صحت (*Congalton and Green, 2008b; Gao, 2009; Jensen, 2016; Wang and Weng, 2013*) به کمک ۲۱۹ نقطه استفاده شد. جدول ۱ دقت کلی و کاپای کل حاصل از بکارگیری تمامی روش‌های تصحیح رادیومتری را نشان می‌دهد. مطابق با اطلاعات جدول ۱، صحت روش پیشنهادی نرمال‌سازی رادیومتری به روش مشابه خود یعنی کالیبراسیون خط تجربی کاملاً نزدیک است و در سطح قابل قبولی قرار دارد (دقت کلی بیش از ۸۹ درصد و کاپای کلی بیش از ۰/۸). همچنین از جدول ۱ مشخص می‌شود صحت روش پیشنهادی این پژوهش از روش تفریق جسم سیاه و FLAASH بهتر است و به صحت روش‌های تصحیح خودکار AAIC و QAC بسیار نزدیک است.

نتیجه‌گیری

در تعیین تغییرات سنجش از دوری تصمیم در مورد نوع روش تصحیح رادیومتری یکی از مهمترین چالش‌های پژوهشگران به شمار می‌رود (*Paolini et al., 2006; Song et al., 2001; Vanonckelen et al., 2015; Yang and Lo, 2000*). در این موارد، خروجی نهایی تعیین تغییرات وابستگی شدیدی به کیفیت نرم-افزاری، تجربه و دانش کاربر از مدل‌های تصحیح رادیومتری و تعیین تغییرات دارد (*Huguenin et al., 2013; Lu et al., 2004; Song*

می‌سازد، بنابراین پیشنهاد ما به پژوهشگران تعیین تغییرات اکوسیستم‌ها استفاده از دستاوردهای این پژوهش می‌باشد:

۱- این مدل وقتی برای یک منطقه توسعه یابد، به دلیل سادگی، بدون دانش خاص و تجربه سنجش از دوری توسط اغلب کاربران در ناحیه مطالعاتی قابل اعمال است.

۲- امکان خودکارسازی تمامی مراحل حتی مشخص کردن طبقه تغییرات (کاهش، افزایش و بدون تغییر) در این روش فراهم است.

۳- خطای سیستماتیک ناشی از تجربه و دانش کاربر و خطای سیستماتیک مدل پیشنهادی در این روش قابلیت حذف شدن یا به کمینه رسیدن دارد.

۴- امکان ایجاد سامانه هشداردهی اولیه تغییرات اکوسیستمی و ایجاد مدل‌های خودکار ارزیابی و پایش در این روش فراهم است.

۵- روش پیشنهادی مستقل از نوع سنجنده می‌باشد و امکان استفاده چندین نوع سنجنده در فرآیند تعیین تغییرات وجود دارد.

منابع و مأخذ

1. Adler-Golden, S., Berk, A., Bernstein, L., Richtsmeier, S., Acharya, P., Matthew, M., Anderson, G., Allred, C., Jeong, L., Chetwynd, J., 1998. FLAASH, a MODTRAN4 atmospheric correction package for hyperspectral data retrievals and simulations, Proc. 7th Ann. JPL Airborne Earth Science Workshop. JPL Publication Pasadena, CA, pp. 9-14.
2. Aosier, B., Kaneko, M., Takada, M., Saitoh, K., Katoh, K., 2005. Evaluate The Accuracy of The Atmosphere Correction (ATCOR Software Method) of The ASTER Data Using Ground Radiometric Measurement Data, ISPRS, pp. 358-362.
3. Baldridge, A.M., Hook, S.J., Grove, C.I., Rivera, G., 2009. The ASTER spectral library version 2.0. Remote Sensing of Environment 113, 711-715.
4. Barati, B., Jahani, A., Zebardast, L., Rayegani, B., 2017. Integration assessment of the protected areas using landscape ecological approach (Case Study: Kolah Ghazy National Park and Wildlife Refuge). Town And Country Planning, 153-168.
5. Barati GHahfarokhi, S., KHajeddin, S., Rayegani,

۷۶ درصد). هرچند در میان تمام روش‌ها، ATCOR صحت بیشتری نشان داده است (جدول ۱)، ولی باید دقت شود مطابق نگاره ۶ دنباله سمت راست هیستوگرام آن اندکی کشیدگی دارد (چولگی مثبت یا چولگی به راست) بنابراین برآوردهای تعیین تغییرات آن در بخش افزایش جنگل حرا، احتمالاً دارای مقدار کمی خطای سیستماتیک خواهد بود. هر دو روش خودکار AAIC و QAC نیز دارای اندکی چولگی مثبت هستند (نگاره ۶). در مورد تفریق جسم سیاه نیز هیستوگرام در دنباله سمت چپ دارای کشیدگی می‌باشد (چولگی منفی) و برآوردهای آن از تخریب پوشش جنگلی حرا دارای خطای سیستماتیک خواهد بود. در اینجا کمترین میزان چولگی را روش کالیبراسیون خط تجربی نشان داده است (نگاره ۶). در مواردی که دانش و تجربه کافی استفاده از مدل‌های تصحیح اتمسفری مطلق وجود ندارد، روش‌های تصحیح رادیومتری نسبی و تصویر مبنا توصیه می‌شوند (Huguenin et al., 2013; Nazeer et al., 2014). هرچند روش‌های تمام خودکار تصحیح رادیومتری مطابق پژوهش حاضر عملکرد موفق‌تری نشان دادند، ولی این دسته از ابزارها نیز منحصر به برخی نرم‌افزارهای تجاری هستند و تنها برای برخی سنجنده‌های ماهواره‌ای توسعه یافته‌اند (Bernstein et al., 2012; Huguenin et al., 2013) به دلیل نبود اطلاعات کافی برای انجام تصحیح رادیومتری مطلق (Jensen, 2016) یا تجربه و دانش لازم (Huguenin et al., 2013) جهت انجام این نوع تصحیح و در دسترس نبودن تصحیح اتمسفری خودکار برای یک سنجنده، نیاز به استفاده از روش‌های تصویر مبنا می‌باشد. از میان روش‌های تصویر مبنا در این پژوهش، کالیبراسیون خط تجربی عملکرد موفق‌تری از خود نشان داد، ولی این روش نیز به شناخت توزیع مواد در منطقه مطالعاتی نیاز دارد که در برخی از موارد، چنین اطلاعاتی در دسترس نیست. بنابراین با در نظر گرفتن تمامی مسائلی که بیان شد، اهمیت این پژوهش مشخص می‌گردد. همچنین باید اشاره شود، چند ویژگی در پیشنهاد پژوهشی حاضر آن را از دیگر روش‌های تصحیح رادیومتری متمایز

- regression. *Remote Sensing* 5, 2763-2794.
17. Eastman, J., 2012. IDRISI Selva Tutorial.
 18. Eastman, J., 2015a. TerrSet Tutorial. Clark Labs, Clark University: Worcester, MA, United States.
 19. Eastman, J.R., 2015b. TerrSet manual. Accessed in TerrSet version 18, 1-390.
 20. El-Askary, H.M., Sarkar, S., Kafatos, M., El-Ghazawi, T.A., 2003. A multisensor approach to dust storm monitoring over the Nile Delta. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41, 2386-2391.
 21. Estoque, R.C., Murayama, Y., 2015. Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices. *Ecological indicators* 56, 205-217.
 22. Felde, G., Anderson, G., Cooley, T., Matthew, M., Berk, A., Lee, J., 2003. Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. IEEE, pp. 90-92.
 23. Fichera, C.R., Modica, G., Pollino, M., 2012. Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics. *European Journal of Remote Sensing* 45, 1-18.
 24. Gao, J., 2009. *Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery*. McGraw-Hill Education.
 25. Giri, C., Pengra, B., Zhu, Z., Singh, A., Tieszen, L.L., 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73, 91-100.
 26. Giri, C., Zhu, Z., Tieszen, L., Singh, A., Gillette, S., Kelmelis, J., 2008. Mangrove forest distributions and dynamics (1975–2005) of the tsunami affected region of Asia. *Journal of Biogeography* 35, 519-528.
 27. Giri, C.P., 2016. *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. CRC Press.
 28. Gregorich, E.G., Turchenek, L.W., Carter, M.R., Angers, D.A., 2001. *Soil and Environmental Science Dictionary*. CRC Press.
 29. Hermosilla, T., Wulder, M.A., White, J.C., Coops, N.C., Hobart, G.W., 2015. An integrated Landsat time series protocol for change detection and generation of B., 2009. Investigation of LandUse Changes in Qale Shahrokh Basin Using Remote Sensing (1975-2002). *JWSS-Isfahan University of Technology* 13, 349-365.
 6. Barati, S., Rayegani, B., Saati, M., Sharifi, A., Nasri, M., 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 14, 49-56.
 7. Bernstein, L.S., Jin, X., Gregor, B., Adler-Golden, S.M., 2012. Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. *Optical engineering* 51, 111719.
 8. Campbell, J.B., Wynne, R.H., 2011. *Introduction to remote sensing*. Guilford Press, New York.
 9. Carney, J., Gillespie, T.W., Rosomoff, R., 2014. Assessing forest change in a priority West African mangrove ecosystem: 1986–2010. *Geoforum* 53, 126-135.
 10. Chavez, P.S., 1996. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 62, 1025-1035.
 11. Chen, X., Vierling, L., Deering, D., 2005. A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sensing of Environment* 98, 63-79.
 12. Congalton, R.G., Green, K., 2008a. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
 13. Congalton, R.G., Green, K., 2008b. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Second Edition. CRC Press.
 14. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E., 2004. Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International journal of remote sensing* 25, 1565-1596.
 15. Coppin, P.R., Bauer, M.E., 1996. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote sensing reviews* 13, 207-234.
 16. de Carvalho, O.A., Guimarães, R.F., Silva, N.C., Gillespie, A.R., Gomes, R.A.T., Silva, C.R., de Carvalho, A.P.F., 2013. Radiometric normalization of temporal images combining automatic detection of pseudo-invariant features from the distance and similarity spectral measures, density scatterplot analysis, and robust

study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan. *Ecological engineering* 35, 487-496.

42. Li, Z., Chen, J., Baltsavias, E., 2008a. *Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 2008 ISPRS Congress Book*. CRC Press.

43. Li, Z., Chen, J., Baltsavias, E., 2008b. *Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences: 2008 ISPRS congress book*. CRC Press.

44. Liu, K., Li, X., Shi, X., Wang, S., 2008. Monitoring mangrove forest changes using remote sensing and GIS data with decision-tree learning. *Wetlands* 28, 336-346.

45. Long, X., Li, N., Tie, X., Cao, J., Zhao, S., Huang, R., Zhao, M., Li, G., Feng, T., 2016. Urban dust in the Guanzhong Basin of China, part I: A regional distribution of dust sources retrieved using satellite data. *Science of The Total Environment* 541, 1603-1613.

46. Lu, D., Li, G., Moran, E., 2014. Current situation and needs of change detection techniques. *International Journal of Image and Data Fusion* 5, 13-38.

47. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E., 2004. Change detection techniques. *International journal of remote sensing* 25, 2365-2401.

48. Lyon, J.G., Yuan, D., Lunetta, R.S., Elvidge, C.D., 1998. A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 64, 143-150.

49. Mahiny, A.S., Turner, B.J., 2007. A comparison of four common atmospheric correction methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73, 361-368.

50. Nazeer, M., Nichol, J.E., Yung, Y.-K., 2014. Evaluation of atmospheric correction models and Landsat surface reflectance product in an urban coastal environment. *International journal of remote sensing* 35, 6271-6291.

51. Nguyen, H.-H., McAlpine, C., Pullar, D., Johansen, K., Duke, N.C., 2013. The relationship of spatial-temporal changes in fringe mangrove extent and adjacent land-use: Case study of Kien Giang coast, Vietnam. *Ocean & coastal management* 76, 12-22.

52. Owojori, A., Xie, H., 2005. Landsat image-based LULC changes of San Antonio, Texas using advanced atmospheric correction and object-oriented image analysis approaches, 5th International symposium on remote sensing of urban areas, Tempe, AZ.

annual gap-free surface reflectance composites. *Remote Sensing of Environment* 158, 220-234.

30. Huguenin, R., Bouchard, M., Penney, C., Conlon, E., Waddington, G., 2013. *Applied Analysis Image Calibrator (AAIC): Automatic Retrieval of Ground Reflectance from Spectral Imagery*.

31. Ilsever, M., Unsalan, C., 2012. Two-dimensional change detection methods : remote sensing applications.

32. Jahari, M., Khairunniza-Bejo, S., Shariff, A.R.M., Shafri, H.Z.M., 2011. Change detection studies in Matang mangrove forest area, Perak. *Pertanika J. Sci. Technol* 19, 307-327.

33. Janzen, D.T., Fredeen, A.L., Wheate, R.D., 2006. Radiometric correction techniques and accuracy assessment for Landsat TM data in remote forested regions. *Canadian Journal of Remote Sensing* 32, 330-340.

34. Jensen, J.R., 2005. *Introductory digital image processing : a remote sensing perspective*, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

35. Jensen, J.R., 2016. *Introductory digital image processing : a remote sensing perspective*. Pearson Education, Inc., Glenview, IL.

36. Jianya, G., Haigang, S., Guorui, M., Qiming, Z., 2008. A review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37, 757-762.

37. Johansen, K., Arroyo, L.A., Phinn, S., Witte, C., 2010. Comparison of geo-object based and pixel-based change detection of riparian environments using high spatial resolution multi-spectral imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 76, 123-136.

38. Kalacska, M., Sanchez-Azofeifa, G.A., 2008. *Hyperspectral Remote Sensing of Tropical and Sub-Tropical Forests*. CRC Press.

39. Knight, J.F., Pelletier, K.C., Rampi, L.P., 2017. Change Detection. *The International Encyclopedia of Geography*.

40. Koch, M., Mather, P., 2013. *Computer processing of remotely-sensed images : an introduction*. Wiley, Hoboken, N.J.

41. Lee, T.-M., Yeh, H.-C., 2009. Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case

- Geographical Information Systems. Atlantic Publishers & Distributors (P) Limited.
65. Son, N.-T., Chen, C.-F., Chang, N.-B., Chen, C.-R., Chang, L.-Y., Thanh, B.-X., 2015. Mangrove mapping and change detection in Ca Mau Peninsula, Vietnam, using Landsat data and object-based image analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8, 503-510.
66. Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P., Macomber, S.A., 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote sensing of Environment* 75, 230-244.
67. Thenkabail, P.S., Lyon, J.G., 2016. *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*. CRC Press.
68. Vanonckelen, S., Lhermitte, S., Van Rompaey, A., 2015. The effect of atmospheric and topographic correction on pixel-based image composites: Improved forest cover detection in mountain environments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 35, 320-328.
69. Wang, C., Myint, S.W., 2015. A simplified empirical line method of radiometric calibration for small unmanned aircraft systems-based remote sensing. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing* 8, 1876-1885.
70. Wang, G., Weng, Q., 2013. *Remote Sensing of Natural Resources*. CRC Press.
71. Weisberg, S., 2013. *Applied Linear Regression*. Wiley.
72. Yan, X., 2009. *Linear Regression Analysis: Theory and Computing*. World Scientific Publishing Company Pte Limited.
73. Yang, X., Lo, C., 2000. Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66, 967-980.
74. Yuan, J., Niu, Z., 2008. Evaluation of atmospheric correction using FLAASH, *Earth Observation and Remote Sensing Applications*, 2008. EORSA 2008. International Workshop on. IEEE, pp. 1-6.
75. Zhu, Z., Woodcock, C.E., 2014. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote sensing of Environment* 144, 152-171.
53. Paolini, L., Grings, F., Sobrino, J.A., Jiménez Muñoz, J.C., Karszenbaum, H., 2006. Radiometric correction effects in Landsat multi-date/multi-sensor change detection studies. *International Journal of Remote Sensing* 27, 685-704.
54. Pettorelli, N., 2013. *The Normalized Difference Vegetation Index*. OUP Oxford.
55. Pflug, B., Main-Knorn, M., 2014. Validation of atmospheric correction algorithm ATCOR, *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XIX; and Optics in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems XVII*. International Society for Optics and Photonics, p. 92420W.
56. Pham, T.D., Yoshino, K., Mangrove Mapping and Change Detection Using Multi-temporal Landsat imagery in Hai Phong city, Vietnam.
57. Pham, T.D., Yoshino, K., 2015. Mangrove Mapping and Change Detection Using Multi-temporal Landsat imagery in Hai Phong city, Vietnam, *International Symposium on Cartography in Internet and Ubiquitous Environments*.
58. Rayegani, B., 2016. Monitoring Hormozgan Mangrove forest changes in the past three decades and prioritizing of degraded ecosystems in order to carry out restoration projects. *College of Environment, Department of Environment*, p. 280.
59. Rayegani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Sarkheil, H., Ramezani, J., 2019. An effective approach to selecting the appropriate pan-sharpening method in digital change detection of natural ecosystems. *Ecological Informatics* 53, 100984.
60. Rayegani, B., Zehtabian, G., Azarnivand, H., Alavipanah, S.K., Khajeddin, S.J., 2015. LADA method Performance evaluation on soil degradation assessment in the East of Esfahan.
61. Raygani, B., kheirandish, Z., Kermani, F., Miyab, M.M., Torabinia, A., 2017. Identification Of Active Dust Sources Using Remote Sensing Data And Air Flow Simulation (Case Study: Alborz Province). *Desert Management* 4, 15-26.
62. Richter, R., Schläpfer, D., 2016. ATCOR-2/3 User Guide, Version 9.0.2, March 2016.
63. Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., Hazini, S., 2014. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sensing* 6, 4173-4189.
64. Sahu, K.C., 2007. *Textbook of Remote Sensing and*