

بازسازی تصویر معیوب ماهواره لندست با روش رگرسیون خطی وزنی و ارزیابی صحت نقشه پوشش اراضی (بررسی موردی: منطقه خوی)

آیلار نجف‌زاده^۱، مهدی عرفانیان^{۲*}، احمد علیجانپور^۳ و سحر بابایی حصار^۴

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۴- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۶

چکیده

تصحیح‌کننده خط اسکن (SLC) سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در تاریخ ۳۱ می ۲۰۰۳ دچار نقص فنی شد که در نتیجه آن حدود ۲۲ درصد از پیکسل‌های هر تصویر کامل، معیوب هستند. روش‌های متعددی به منظور بازسازی تصاویر معیوب لندست ۷ در سطح دنیا ارائه شده است. در این پژوهش، روش رگرسیون خطی وزنی (WLR) در بازسازی تصویر معیوب ۱۸ ژوئن ۲۰۱۱ منطقه خوی در فصل رشد گیاهان مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر معیارهای خطا (RMSE کمتر از ۰/۰۲ و ضریب کارایی ناش-ساتکلیف ۰/۹۱)، نشان داد که روش WLR در بازسازی تصویر معیوب (SLC-OFF)، از کارایی زیادی برخوردار است. در مرحله بعد، با اعمال فن طبقه‌بندی حداکثر شدت احتمال روی تصویر بازسازی‌شده، نقشه پوشش اراضی تهیه شد. نتایج ارزیابی صحت (ضریب کاپای ۰/۸۵، صحت کل ۸۹/۷ درصد، ضریب عدم تطابق تخصیص ۳/۲ و ضریب عدم تطابق کمی ۶/۹)، بیانگر کارایی روش WLR است. در شرایط فقدان تصاویر سنجنده TM، استفاده از روش مذکور در ترمیم تصاویر معیوب لندست ۷ و تهیه نقشه‌های پوشش اراضی موردنیاز در منطقه خوی، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تصحیح‌کننده خط اسکن، WLR، پرکردن گپ، ETM+، خوی.

مقدمه

ETM+ (Lee et al., 2004). داده‌های رقومی سنجنده با قدرت تفکیک مکانی متوسط (۳۰ متر)، قابلیت بالقوه مناسبی در بررسی تپ‌های پوشش گیاهی شامل مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی فراهم می‌سازند (Latifi and Adeli, 2006). تصاویر لندست ۷ تا قبل از پرتاب ماهواره لندست ۸ به‌عنوان یک منبع منحصربه‌فرد در موارد متعددی شامل تهیه نقشه کاربری اراضی / پوشش اراضی (Fuller et al., 1994)، تشخیص تغییرات جهانی (Liu and Cai, 2012)، نظارت بر اکوسیستم (Masek et al., 2008) و تخمین شاخص بیوژئوشیمی، کشاورزی، بررسی‌های زمین‌شناسی، نقشه‌برداری، باستان‌شناسی و مدیریت یا برنامه‌ریزی منابع زمین (Zeng et al., 2013) مورد استفاده محققان در سطح جهانی قرار گرفته است. به‌علاوه، با خاتمه مأموریت لندست ۵ در نوامبر ۲۰۱۱ در حال حاضر، صرفاً تصاویر سنجنده ETM+ و تصاویر لندست ۸ قابل‌استفاده هستند (Scaramuzza et al., 2004).

در تاریخ ۳۱ می ۲۰۰۳، تصحیح‌کننده خط اسکن (SLC: Scan Line Corrector) سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ دچار نقص فنی شد که در نتیجه آن حدود ۲۲ درصد از یک فریم کامل تصویر، به‌صورت معیوب یا بدون داده در محل گپ یا شکاف است (Markham et al., 2004; Zeng et al., 2013). وجود پیکسل‌های فاقد ارزش طیفی یا مفقودشده، از مفید بودن و کارایی تصاویر لندست ۷ می‌کاهد. با وجود این مشکل، بیشتر پژوهشگرانی که از تصاویر لندست ۷ (قبل و بعد نقص فنی SLC) استفاده کرده‌اند، بر این موضوع تأکید دارند که استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ می‌تواند در اغلب تحقیقات مرتبط با علوم زمین، ارزشمند باشد (Skole and Samek, 2012).

برای استفاده بهینه از منابع طبیعی و توسعه پایدار در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای، به جمع‌آوری اطلاعات کافی از منابع زیست‌محیطی در زمان کوتاه و با هزینه کم، نیاز است. یکی از راه‌های اقتصادی در این زمینه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب است. نقشه پوشش اراضی، کاربری اراضی و آشکارسازی تغییرات، شناسایی اراضی جنگلی همراه با مشخصات و ویژگی‌های هر رویشگاه، شناسایی نحوه پراکنش درختان جنگلی و نحوه آمیختگی، تنوع، غنا و فراوانی گونه‌های درختی، می‌تواند در برنامه‌ریزی مطلوب‌تر واحدهای جنگلی مؤثر باشد. روش‌های متداول نقشه‌های موضوعی مذکور از طریق روش‌های میدانی، اغلب مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است. در دهه اخیر، تصاویر سنجنش‌ازدور به‌عنوان ارزشمندترین داده‌ها در پژوهش‌های علوم زمین به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (Shataee Jouibari, 2003). به‌عبارت‌دیگر، استفاده از فن‌آوری سنجنش‌ازدور و کاربرد داده‌های ماهواره‌ای، اغلب موجب کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در زمان، افزایش دقت پژوهش‌ها می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای به‌علت رقومی بودن، ارائه اطلاعات به‌هنگام، فراهم کردن دید همه‌جانبه، استفاده باندهای طیفی مرئی و مادون‌قرمز، مشاهده خصوصیات طیفی پدیده‌های زمین و کرار تصویربرداری (تفکیک زمانی)، در تحقیقات علوم زمین، بسیار ارزشمند هستند (Mahdavi and Fallah, 2012). از زمان پرتاب اولین سری ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲ میلادی تا به امروز، سری این ماهواره طولانی‌ترین برنامه مشاهدات چند طیفی را فراهم کرده است (Arvidson et al., 2006; Lauer et al., 1997;).

طیفی مشابه با پیکسل‌های فاقد ارزش است؛ بنابراین، استفاده از ارزش پیکسل‌های مشابه همسایه از نظر اندازه فاصله مکانی و شباهت طیفی نسبت به پیکسل معیوب (هدف) مناسب‌تر از کاربرد مقادیر طیفی تمام پیکسل‌های همسایه پیکسل معیوب (هدف) است. نتایج این پژوهش نشان داد که روش NSPI، ارزش پیکسل مفقودشده را در نواحی ناهمگن به‌ویژه اگر فاصله زمانی قابل توجهی بین تصاویر ماهواره‌ای سالم (تصاویر ورودی) و تاریخ گذر مربوط به تصویر معیوب (تصویر هدف) وجود داشته باشد، نسبت به فن LLHM از کارایی زیادتری برخوردار است. باین‌حال روش NSPI نمی‌تواند عدم قطعیت تخمین را برای پیکسل‌های بازسازی‌شده ارائه کند. در روش NSPI شاخص‌های وزن در روابط ریاضی مورد استفاده در بازسازی به‌صورت تجربی تعیین می‌شود؛ که کارایی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین روش NSPI به‌عنوان یک روش زمین‌آماري مطرح نبوده و مقادیر عدم قطعیت و واریانس تخمین را ارائه نمی‌کند. در پژوهشی دیگر در منطقه شرق مریلند آمریکا، یک روش زمین‌آماري برای پرکردن شکاف تحت عنوان روش زمین‌آماري میان یاب پیکسل مشابه همسایه (GNSPI: Geostatistical Neighborhood Similar Pixel Interpolator) با هدف بهبود روش NSPI با استفاده از مفاهیم زمین‌آماري، پیشنهاد شد (Zhu et al., 2012). به عقیده نامبردگان، در مناطق ناهمگن از نظر خصوصیات طیفی و در صورت وجود فاصله زمانی قابل توجه بین تصاویر ورودی و تصویر معیوب (هدف) روش زمین‌آماري GNSPI نسبت به روش‌های NSPI و LLHM کارایی بهتری داشته و تصاویر بازسازی‌شده دارای الگوهای خطی کمتری می‌باشند. در پژوهشی دیگر، با استفاده از تصاویر چند زمانه و با ایجاد رابطه رگرسیونی بین پیکسل‌های

2003). تصویر معیوب سنجنده ETM+ در وضعیت SLC-OFF از سطح زمین گرفته شده است.

در زمینه قابلیت استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ قبل و بعد از نقص فنی، تاکنون تحقیقات زیادی در خارج از کشور انجام شده است که در اینجا فقط به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. اولین روش بازسازی تصاویر معیوب بلافاصله پس از نقص فنی توسط سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا (USGS: United States Geological Survey) در سال ۲۰۰۴ برای پرکردن داده‌های مفقودشده ارائه داده شد. روش تطبیق محلی - خطی هیستوگرام (LLHM: Local Linear Histogram Matching) به‌نسبت آسان است چون در آن وجود یک رابطه خطی بین شکاف داده‌های تصویر SLC-OFF و داده‌های تصویر موجود مانند تصاویر سنجنده ETM+ یا دیگر سنجنده‌ها، فرض شده است (Scaramuzza et al., 2004). این روش مستلزم آن است که پیکسل‌های ورودی دارای حداقل ابرناکی، پوشش برف، تغییرات زمانی و حداقل فاصله زمانی بین دو تصویر باشد و این امر در برخی از مناطق ابری عملی نیست. روش مبتنی بر هیستوگرام به‌علت عملکرد ضعیف آن در مناظر ناهمگن و مناطقی با پوشش ابر یا برف زیاد توصیه نمی‌شود (Zhu et al., 2012; Chen et al., 2011).

به‌منظور بهبود دقت بازسازی تصاویر پیکسل‌های مفقودشده در مناطق ناهمگن، روش میان یاب پیکسل مشابه همسایه (NSPI: Neighborhood Similar Pixel Interpolator) به‌عنوان یک روش جدید و کارآمدتر روی تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۷ در منطقه شرق مریلند آمریکا، مورد ارزیابی قرار گرفت (Chen et al., 2011). در روش بازسازی NSPI فرض بر این است که تعدادی از پیکسل‌ها که در مجاورت یا همسایگی شکاف داده‌ها قرار دارند، دارای ویژگی‌های

اختلاط دو گونه راش و ممرز از یکدیگر است. در پژوهشی دیگر، (Latifi and Adeli, 2006) در تفکیک تیپ‌های جنگلی زاگرس، از فن طبقه‌بندی حداکثر شدت احتمال استفاده کرده و اظهار داشتند تصاویر ETM+ در تعیین مرز تیپ‌های جنگلی، قابلیت خوبی دارند. Salovaara و همکاران (2005) در طبقه‌بندی پوشش جنگلی با استفاده از تصاویر ETM+ گزارش کردند که می‌توان تصاویر لندست ۷ در این زمینه استفاده کرد. همچنین Khezri و همکاران (2017) در پژوهش مکان‌یابی احداث پارک جنگلی با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره در منطقه دره شهدای ارومیه از تصاویر لندست در تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده کردند. Sivrikaya و همکاران (2006) با استفاده از تصاویر ETM+ لندست ۷، نقشه‌های کاربری اراضی را برای دو منطقه آرتوین (Artvin) و بولانیکدر (Bulanikdere) واقع در کشور ترکیه تهیه کردند و جنگل‌های بلوط و سوزنی‌برگ را از هم جدا ساختند. در یک پژوهش دیگر، Günlü و همکاران (2008) با هدف تعیین تیپ و پوشش جنگلی در جنگل‌های ترکیه و ناحیه شرقی دریای سیاه، از تصاویر سنجنده ETM+ استفاده کرده و با اعمال فن طبقه‌بندی نظارت‌شده، نقشه پوشش اراضی را با صحت کل ۷۲/۲ درصد تهیه کردند.

بررسی نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که روش‌های بازسازی LLHM، NSPI، GNSPI و WLR در شرایط مختلف طیفی در مناطق همگن و ناهمگن قابل استفاده هستند (Romero-Sanchez et al., 2015). چون امکان توصیف و مقایسه مبانی و جزئیات روش‌های مذکور در این مقاله میسر نیست، از این‌رو در این مقاله، صرفاً به معرفی و کاربرد روش رگرسیون خطی وزنی (WLR) به منظور بازسازی تصویر معیوب ۱۸ ژوئن ۲۰۱۱ منطقه خوی (فصل

متناظر و معیوب، با عنوان روش رگرسیون خطی وزنی (WLR: Weighted Linear Regression) تصاویر معیوب بازسازی شد (Zeng et al., 2013). آنها نشان دادند که روش WLR مقادیر پیکسل در محل گپ یا شکاف را در لبه عوارض، با دقت بیشتری تخمین می‌زند و شکل ویژگی‌های سطح زمین را نیز حفظ می‌نماید. در یک تحقیق جامع‌تر در منطقه شبه‌جزیره یوکاتان کشور مکزیک، چهار روش بازسازی LLHM، NSPI، GNSPI و WLR برای استفاده در برنامه نظارت یا پایش جنگل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت (Romero-Sanchez et al., 2015). نتایج حاکی از این بود که روش زمین‌آماری GNSPI در بازسازی مقادیر پیکسل‌های معیوب در قسمت شکاف تصاویر SLC-OFF ماهواره لندست ۷ در برنامه‌های کاربردی مانند پایش جنگل به‌ویژه در چشم‌اندازهای ناهمگن از نظر رفتار طیفی، نسبت به روش‌های دیگر مناسب‌تر است.

مرور منابع مختلف بیانگر این موضوع است که تصاویر لندست ۷ در تهیه نقشه پوشش اراضی، کاربرد گسترده‌ای داشته است. قابلیت تصاویر لندست در تهیه نقشه اراضی جنگلی زاگرس، در حوزه سرخاب خرم-آباد استان لرستان، مورد ارزیابی قرار گرفته است (Shataee Jouibari and Abdi, 2007). نتایج نامبردگان نشان داد که تفکیک و طبقه‌بندی اراضی جنگلی بر اساس تصاویر لندست با درصد صحت زیاد امکان‌پذیر است. به‌عنوان نمونه، پژوهش امکان تفکیک درصدهای مختلف دو گونه درختان راش و ممرز بر مبنای دو روش تفکیک انعکاس طیفی پیکسل‌ها و روش طبقه‌بندی با استفاده از اطلاعات سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ انجام شده است (Oladi and Bakhshandeh, 2012). نتیجه پژوهش مذکور بیانگر توانایی قابل‌قبول سنجنده ETM+ در تفکیک

تا ۴۴ درجه و ۵۴ دقیقه طول جغرافیایی و از ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۸ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. در سیستم مرجع جهانی (World Reference System)، منطقه خوی در شماره گذر ۱۶۹ و ردیف ۳۳ تصاویر لندست ۷ قرار می‌گیرد. وجود مناطق همگن و ناهمگن، امکان دسترسی به انواع پوشش اراضی و نقاط تعلیمی برای طبقه‌بندی تصویر بازسازی‌شده، از دلایل انتخاب این منطقه است.

رشد گیاهان)، پرداخته شده است. پس از بازسازی تصویر معیوب انتخابی، با اعمال فن یا الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر شدت احتمال، نقشه پوشش اراضی منطقه خوی تهیه و ارزیابی صحت آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد بررسی شامل شهرستان خوی و مناطق مجاور آن واقع در استان آذربایجان غربی است. محدوده منطقه مورد بررسی از ۴۴ درجه و ۴۴ دقیقه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه خوی واقع در شمال غرب ایران (استان آذربایجان غربی)

Figure 1. Geographical location of the Khoy region in the Northwest Iran (West Azarbaijan Province)

تصویری که باید بازسازی یا ترمیم شود به‌عنوان تصویر هدف (Target) و تصویر یا تصاویری که برای پر کردن تصویر معیوب بکار گرفته می‌شوند، به‌عنوان تصویر یا تصاویر ورودی (Input) تعریف می‌شوند (جدول ۱). تصاویر لندست سنجنده‌های TM (سالم) و ETM+ (معیوب) در تاریخ‌های مختلف در منطقه خوی (فصل رشد گیاهان) از سایت اینترنتی <http://glovis.usgs.gov> دانلود شد. با استفاده از نرم‌افزار ENVI در مرحله تصحیح رادیومتریک، اعداد رقومی پیکسل‌ها (DN) در هر یک از باندهای ۳۰

دانلود و پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست در این پژوهش، تصاویر لندست ۵ سنجنده TM و لندست ۷ سنجنده ETM+ برای بازسازی تصاویر معیوب، به‌عنوان تصاویر کمکی نام‌گذاری شده است. تصاویر TM که با جایگزینی مقادیر فاقد داده پیکسل‌های متناظر در تصاویر معیوب سنجنده ETM+ (لایه ماسک)، به‌عنوان یک تصویر معیوب شبیه‌سازی‌شده، تعریف می‌شود. به‌عبارت‌دیگر فرض شد که در محل شکاف یا گپ، پیکسل‌های TM مشابه تصویر واقعی معیوب، فاقد داده است. در روش‌های بازسازی،

متری به مقادیر انعکاس یا بازتاب طیفی در بالای اتمسفر (مقادیر ۰ تا ۱) تبدیل شد (Chander *et al.*, 2009). تصحیح اتمسفریک تصاویر با روش کسر جسم سیاه یا روش پیشنهادی چاوز (DOS: Dark Object Subtraction) به عنوان یک روش متداول در سنجش از دور استفاده شد (Chavez, 1998).

جدول ۱- فهرست تصاویر لندست مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. List of Landsat images used in this study

شناسه تصویر Image ID	تاریخ Date	سنجنده Sensor	هدف Target
LE71690332011169ASN00	18 June 2011	ETM+ SLC-OFF	تصویر معیوب SLC-OFF
LE71690332011185ASN00	4 July 2011	ETM+ SLC-OFF	تصویر ورودی Gap-filling image
LE71690332015180SG100	29 June 2015	ETM+ SLC-OFF	ماسک Mask
LT51690332007166MOR00	15 June 2007	TM	تصویر ورودی Gap-filling image
LT51690332007182MOR00	1 July 2007	TM	تصویر معیوب شبیه سازی شده Simulated SLC-off

۲۹ ژوئن ۲۰۱۵ به عنوان یک تصویر هدف معیوب، شبیه سازی شد (شکل ۲ مراحل شبیه سازی تصویر TM واقعی با استفاده از تصویر ETM+ را نشان می دهد).

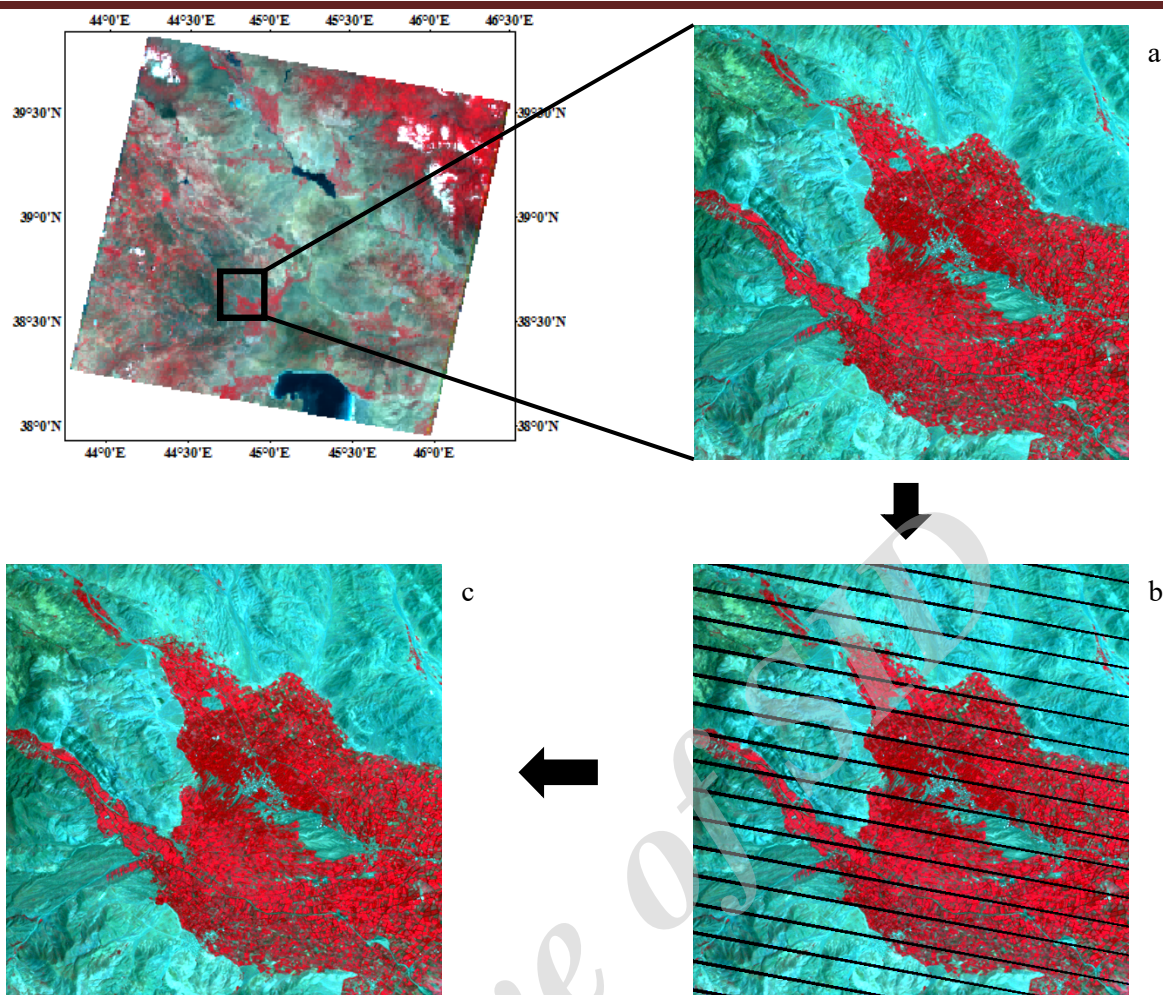
روش رگرسیون خطی وزنی (WLR)

در این روش هر پیکسل مفقود شده (با مقدار صفر در محل گپ) با استفاده از یک رابطه رگرسیون خطی وزنی برآورد می شود. در فرآیند بازسازی می توان از تصاویر ورودی یک زمانه یا چند زمانه استفاده کرد. روابط ۱ تا ۷ مربوط به روش WLR بوده که از مقاله Zeng و همکاران (2013) اقتباس شده است:

$$p_t = a \cdot f_t + b \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن p_t و f_t و به ترتیب پیکسل های تصویر هدف یا فاقد ارزش و تصویر ورودی در محل (t) و همچنین a و b ضرایب رگرسیون محاسبه شده بر اساس پیکسل های مشابه محلی (مجاور شکاف) هستند.

با توجه به اینکه محاسبات لازم برای بازسازی یک تصویر معیوب کامل لندست، فشرده و زمان بر است، از این رو در این مقاله به عنوان نمونه کار، فقط بخش کوچکی از تصویر معیوب در مجاورت شهرستان خوی، انتخاب و مقادیر پیکسل های فاقد داده بر اساس روش WLR تخمین زده شد (بازسازی شد). در این تحقیق یک منطقه به وسعت 15×15 کیلومتر (500×500 پیکسل) انتخاب شد (شکل ۲). این تصویر مربوط به یک روز کاملاً آفتابی و بدون پوشش ابر در سطح تصویر است. لازم به ذکر است از باند ۶ سنجنده (مادون قرمز حرارتی) ETM+ به دلیل قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر و از باند ۸ (پانکروماتیک) با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر استفاده نشد. به علت وجود داده های واقعی (مشاهده ای) تصویر TM در محل گپ یا شکاف، ابتدا تصویر تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ این سنجنده به عنوان تصویر فصل رشد، انتخاب شد. سپس این تصویر با استفاده از تصویر معیوب SLC-OFF سنجنده ETM+ در تاریخ



شکل ۲- تصویر مرکب رنگی RGB 432 لندست TM در تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ از منطقه مورد بررسی. (a) تصویر واقعی

TM، (b) تصویر معیوب شبیه‌سازی شده TM از روی تصویر معیوب ETM+ و (c) تصویر بازسازی شده با روش WLR
 Figure 2. RGB 432 color composite for 5 TM image acquired on 1 July 2007 (a) original image, (b) simulated SLC-OFF for TM image, and (c) gap-filled image based on the WLR method.

$$T = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i - \mu)^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن μ ارزش میانگین یک پنجره محلی (پنجره جستجو) است که منطقه اولیه به صورت تجربی، پنجره‌ای به اندازه ۵ در ۵ پیکسل (۲۵ پیکسل) در نظر گرفته شده است. سپس ضرایب توسط پیکسل‌های انتخاب شده، محاسبه می‌شود. یکی از روش‌های متداول استفاده از روش تخمین حداقل مربعات است. باین‌حال، واضح است که سهم هر پیکسل با توجه به تفاوت‌های طیفی و مکانی متفاوت است. در نتیجه پیکسل‌های مشابهی که شباهت طیفی

در این روش ابتدا پیکسل‌های مشابه در اطراف پیکسل هدف (فاقد ارزش) در تصویر هدف و تصویر ورودی انتخاب می‌شود که برای هر پیکسل هدف در هر باند، پیکسل مشابه f_i از معادله زیر به دست می‌آید:

$$|f_i - f_t| \leq T \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن f_i و f_t ارزش‌های پیکسل مشابه و پیکسل هدف در تصویر ورودی و T مقدار آستانه است که پیکسل به پیکسل برای هر باند محاسبه می‌شود. مقدار آستانه با روش انحراف استاندارد محلی به دست می‌شود:

پیدا کردن پیکسل‌های مشابه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه اگر پنجره جستجو بیش از حد بزرگ باشد، زمان انجام محاسبات نیز افزایش می‌یابد، یک حداکثر اندازه پنجره جستجو نیز مشخص شده است. با این حال سهم هر پیکسل با توجه به شباهت طیفی و مکانی متفاوت است. شباهت طیفی زیاد و فاصله کم با پیکسل هدف سبب افزایش مقدار وزن برای پیکسل مشابه می‌شود. در این روش، یک آستانه تطبیقی برای هر پیکسل در هر باند تعیین می‌شود که می‌تواند پیکسل مشابه با دقت بیشتری تعیین شود. در روش WLR مقدار برخی شاخص‌ها به مناطق مختلف از نظر مختصات طیفی، حساس نبوده و می‌توان مقادیر آنها را ثابت فرض کرد؛ بنابراین نتایج بازسازی این روش در بسیاری از مناطق دنیا، رضایت‌بخش گزارش شده است (Zeng et al., 2013). در این روش، ارتباط رگرسیونی بین تصویر یا تصاویر ورودی با تصویر هدف به صورت رابطه رگرسیونی خطی وزنی تعیین می‌شود که وزن هر پیکسل با توجه به تغییرات زمانی و مکانی مقادیر پیکسل‌های مجاور یک پیکسل هدف محاسبه می‌شوند.

تصویر TM شبیه‌سازی شده با استفاده از تصویر ورودی TM تاریخ ۱۵ ژوئن ۲۰۰۷ (فصل رشد) با فاصله زمانی نزدیک (۱۶ روز)، با استفاده از روش WLR بازسازی شد. پس از انجام بازسازی تصویر معیوب از معیارهای آماری خطا شامل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE: Root Mean Square Error) و ضریب کارایی ناش-ساتکلیف (NSE: Nash-Sutcliffe Efficiency) برای تک‌تک باندهای ۳۰ متری لندست در نرم‌افزار متلب محاسبه شد. برای بازسازی هر یک از باندها از برنامه اجرایی تحت ویندوز به نام WLR-LPRM استفاده شد (Zeng et al., 2013). تصویر معیوب ETM+ تاریخ ۱۸ ژوئن

زیاد و فاصله کمتر با پیکسل هدف دارند، دارای وزن بیشتری می‌باشند. از ترکیب تفاوت طیفی و مکانی، شاخص تفاوت سنتز شده D_i به صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D_i = |f_i - f_t + \alpha| \cdot ((x_i - x_t)^2 + (y_i - y_t)^2) \quad (4)$$

که x_i, y_i, x_t, y_t بیانگر مکان‌های پیکسل نمونه و پیکسل هدف و α یک مقدار کوچک برای جلوگیری از صفر شدن ارزش پیکسل است. همچنین عبارت $(x_i - x_t)^2 + (y_i - y_t)^2$ برای توصیف تفاوت طیفی بین پیکسل مشابه متناظر و پیکسل هدف در تصویر ورودی بوده و عبارت $|f_i - f_t + \alpha|$ بیانگر تفاوت طیفی است. سپس وزن هر پیکسل مشابه انتخاب شده، به منظور بازسازی با استفاده از رابطه ۵ تخمین زده می‌شود:

$$W_i = (1/D_i) / \sum_{i=1}^N (1/D_i) \quad (5)$$

بعد از نرمال‌سازی، وزن پیکسل‌های مشابه بین صفر تا یک قرار می‌گیرد و مجموع تمام پیکسل‌های مشابه انتخاب شده برابر با یک می‌شود. ضرایب معادله رگرسیون وزنی خطی از طریق روش حداقل مربعات تخمین زده می‌شوند:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n W_i (p_i - \bar{p})(f_i - \bar{f})}{\sum_{i=1}^n W_i (f_i - \bar{f})} \quad (6)$$

$$b = \bar{p} - a\bar{f} \quad (7)$$

که در آن \bar{p} و \bar{f} به ترتیب میانگین تمام پیکسل‌های مشابه در پنجره جستجو در تصویر هدف و تصویر ورودی می‌باشند. روش WLR بر این فرض استوار است که ویژگی‌های زمین بین دو تصویر ماهواره‌ای به صورت منظم در حال تغییر است؛ بنابراین، زمانی که ویژگی‌های سطح زمین به صورت ناگهانی تغییر کند ممکن است نتایج نامطلوب باشد. به طور خلاصه می‌توان گفت، در این روش، برای هر پیکسل هدف (فاقد داده)، یک پنجره جستجو برای

(Accuracy)، ضرایب عدم تطابق کمی (Quantity Allocation) و عدم تطابق تخصیص (disagreement) (Pontius *et al.*, 2015; Warrens, 2011). لازم به ذکر است نقاط تعلیمی مورد نیاز برای انجام طبقه‌بندی نظارت‌شده تصویر و ارزیابی صحت با توجه به شناخت پوشش گیاهی منطقه و با کمک تصاویر گوگل ارث و کاربرد GPS در پژوهش‌های میدانی، مشخص شد.

نتایج

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، به‌منظور ارزیابی روش WLR در بازسازی تصاویر معیوب، معیارهای آماری RMSE و NSE با معلوم بودن مقادیر مشاهده‌ای پیکسل‌ها در محل گپ (شکاف) و مقادیر بازسازی شده، قابل محاسبه شد. جدول ۲ نتایج کارایی روش WLR را برای بازسازی تصویر معیوب TM (شبیه‌سازی‌شده) در تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. روش WLR هنگام استفاده از تصویر ورودی با فاصله زمانی نزدیک با خطای RMSE کمتر از ۰/۰۲ و ضریب کارایی NSE زیادت‌تر از ۰/۹ عملکرد بسیار خوبی را در بازسازی یا ترمیم پیکسل‌های مفقودشده نشان داد.

۲۰۱۱ به‌عنوان تصویر فصل رشد گیاهان، با استفاده از تصویر کمکی ETM+ تاریخ ۴ جولای ۲۰۱۱ با فاصله زمانی ۱۶ روز، بازسازی شد. سپس نقشه پوشش اراضی تصویر بازسازی‌شده با اعمال فن طبقه‌بندی حداکثر شدت احتمال تهیه شد.

طبقه‌بندی تصویر و ارزیابی صحت نقشه پوشش اراضی پس از بازسازی تصویر معیوب ETM+ با روش WLR، تصویر بازسازی‌شده به‌منظور تهیه نقشه پوشش اراضی استفاده شد. الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر شدت احتمال، در بسیاری از منابع به‌منظور طبقه‌بندی تصویر لندست و تهیه نقشه پوشش اراضی مورد استفاده قرار گرفته است (Shataee Jouibari and Abdei, 2007). پس از طبقه‌بندی رقومی تصویر، ارزیابی صحت نقشه انجام شد. با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک، یک شبکه نمونه‌برداری ۴۰۰ نقطه‌ای، طراحی و بر روی نقشه پوشش منطقه پیاده شد پس از تعیین موقعیت نمونه‌های تعلیمی در سطح تصویر، ماتریس خطا استخراج شد (Fauzi *et al.*, 2005). در مرحله بعدی شاخص‌های صحت شامل صحت کل (Overall accuracy)، ضریب کاپا (Kappa coefficient)، صحت تولیدکننده (Producer Accuracy)، صحت کاربر (User

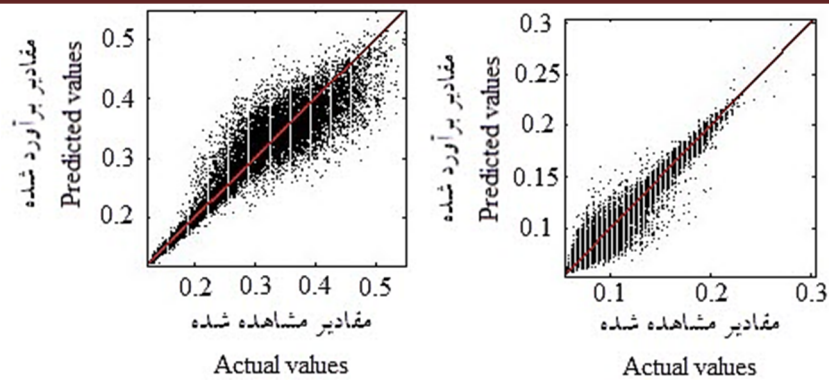
جدول ۲- معیارهای آماری روش WLR در بازسازی تصویر معیوب TM در تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ در باندهای مختلف

Table 2. The statistical measures for WLR method to fill gaps in simulated SLC-Off TM image for different bands, 1 July 2007

باند Band	1 (Blue)	2 (Green)	3 (Red)	4 (NIR)	5 (MIR)	7 (SWIR)
RMSE	0.0036	0.0047	0.0078	0.0247	0.0084	0.0096
NSE	0.9607	0.9649	0.9573	0.9121	0.9631	0.9712

روش WLR استفاده شد. مقادیر جدول ۲ بیانگر کارایی این روش در تمام باندها برای بازسازی مقادیر پیکسل‌های گم‌شده در محل گپ یا شکاف است.

تصویر سنجنده TM در تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ به‌عنوان یک تصویر معیوب شبیه‌سازی‌شده (ولی دارای مقدار مشاهده‌ای در محل گپ)، برای ارزیابی

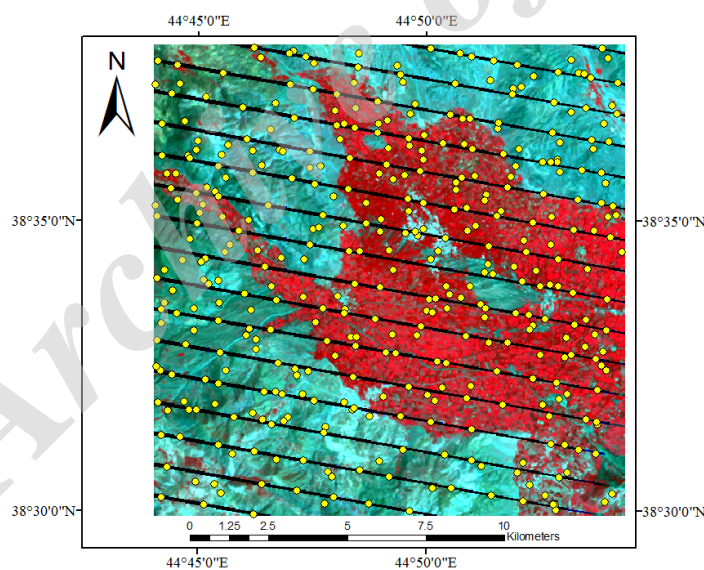


شکل ۳- پلات پراکنش مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده پیکسل‌های اسکن نشده (داخل گپ). تصاویر (راست) و (چپ) به- ترتیب مربوط به باند قرمز (باند ۳) و مادون قرمز نزدیک (باند ۴) در تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۷ هستند.

Fig. 3. Scatter plots of the actual and the estimated values of un-scanned pixels. Panels (right) and (left) are scatter plots of Red and NIR bands, respectively in TM image, 1 July 2007.

موضوع استفاده شد، ارزیابی صحت با حساسیت بیشتری انجام شد. شکل ۴ موقعیت نقاط کنترل زمینی به منظور ارزیابی صحت در سطح تصویر معیوب ETM+ تاریخ ۱۸ ژوئن ۲۰۱۱ را نشان می‌دهد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، یکی از مهم‌ترین مواردی که در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای باید مدنظر داشت، صحت نقشه پوشش اراضی است. در این تحقیق، چون تصویر بازسازی شده برای این



شکل ۴- پراکنش نقاط کنترل زمینی بر روی تصویر ETM+ تاریخ ۱۸ ژوئن ۲۰۱۱

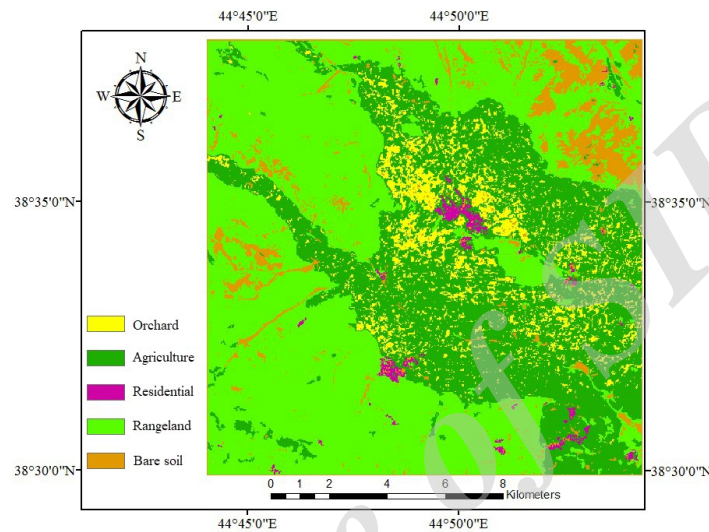
Fig 4. Distribution of ground control points (GCPs) over the ETM+ image, June 18, 2011

را نشان می‌دهد. در طبقه مراتع با ۹۷/۴۶ درصد، بیش-ترین صحت کاربر و طبقه خاک لخت ۶۶/۶۶ درصد، کم‌ترین صحت کاربر به دست آمد. بیش‌ترین مقدار صحت تولیدکننده مربوط به طبقه خاک لخت برابر

با توجه به بازدیدهای زمینی از منطقه مورد بررسی، استفاده از تصاویر گوگل ارث و کاربرد GPS در پژوهش‌های میدانی، مقدار صحت کل در حدود ۹۰ درصد برآورد شد. جدول ۳ نتایج ارزیابی صحت

می‌توان از روش WLR برای پر کردن نواحی مفقودشده به‌عنوان یک روش قابل‌اطمینان در بازسازی تصاویر معیوب سنجنده ETM+ لندست ۷ در منطقه خوی در شرایط آسمان آفتابی با درصد ابرناکی کم و در شرایط پوشش گیاهی مشابه (فصل رشد گیاهان)، استفاده کرد.

۹۲/۸۵ درصد و طبقه باغات با ۷۹/۰۶ درصد، کم‌ترین صحت تولیدکننده را به خود اختصاص داده است. مطابق جدول ۴، صحت کل حدود ۹۰ درصد به دست آمد که بیانگر صحت بالای نقشه پوشش اراضی تولیدشده از تصویر لندست بازسازی‌شده است. بر اساس نتایج جدول ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت که



شکل ۵- نقشه پوشش اراضی بر اساس تصویر بازسازی‌شده ETM+ با روش رگرسیون خطی وزنی در تاریخ ۱۸ ژوئن ۲۰۱۱

Fig 5. Land Cover Map Based on gap-filled ETM + image by WLR on 18 June 2011

جدول ۳- ماتریس خطا و ارزیابی صحت نقشه پوشش اراضی تصویر بازسازی‌شده ETM+ در تاریخ ۱۸ ژوئن ۲۰۱۱

Table 3. Error matrix and accuracy assessment of land cover map based on the gap-filled TM image on 18 June 2011

صحت تولیدکننده Producer accuracy	مجموع Totals	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	طبقه Class
79.1	42	0	0		9	33	باغات Orchard (1)
91.5	144	3	0	2	130	9	کشاورزی Agriculture (2)
91.6	158	0	2	154	2	0	مرتع Rangeland (3)
92.8	39	1	26	11	1	0	خاک لخت Bare soil (4)
80.1	17	16	0	1	0	0	مسکونی Residential (5)
	400	20	28	168	142	42	مجموع Totals
		94.1	66.6	97.4	90.2	79.1	صحت کاربر User accuracy

جدول ۴- شاخص‌های مطابقت (صحت) نقشه پوشش اراضی منطقه خوی

Table 4. The results of accuracy indices for the land cover map in Khoy region

صحت کل (درصد)	ضریب کاپا	ضریب عدم تطابق تخصیص (درصد)	ضریب عدم تطابق کمی (درصد)
Overall accuracy	Kappa coefficient	Quantity disagreement (%)	Allocation disagreement (%)
89.7	0.85	3.2	6.9

بحث

می‌تواند با دقت زیادتری، تصاویر معیوب را بازسازی کند (Romero-Sanchez *et al.*, 2015). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد روش WLR سبب می‌شود که مقادیر درجات روشنایی تصاویر بازسازی شده در حد بسیار ناچیز تغییر می‌کند. علت این پدیده، فاصله زمانی ۱۶ روز با تصویر ورودی است که ممکن است شرایط رادیومتریکی و اتمسفریک در تصویر ورودی و تصویر هدف، مشابه نباشد. ارزیابی صحت نقشه پوشش نشان داد که صحت کل حدود ۹۰ درصد و ضریب کاپا حدود ۰/۸۵ است. در مورد قابلیت استفاده از تصاویر بازسازی شده ETM+ در تهیه نقشه‌های پوشش اراضی، نتایج تحقیق Zhu و همکاران (2012) با ضریب کاپا ۰/۸۳ و صحت کل ۸۷/۶۱ بر اساس روش بازسازی GNSPI و نتایج Chen و همکاران (2011) با صحت کل ۹۰/۵ مبتنی بر روش بازسازی NSPI، نشان می‌دهد که نتایج روش WLR عملکرد نسبی زیادتری در منطقه خوی داشته است.

در ارتباط با کارایی فن طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر شدت احتمال (حداکثر درست‌نمایی)، نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های دیگر محققان مانند Shataee (2007) و Jouibari and Abdi در تهیه نقشه اراضی جنگلی در منطقه زاگرس، در تفکیک دو گونه راش و ممرز بر مبنای روش‌های تفکیک انعکاس طیفی و طبقه‌بندی زمینی (Oladi and Bakhshandeh, 2012)، در تفکیک تیپ‌های جنگلی زاگرس (Latifi and Salovaara, 2006)، طبقه‌بندی پوشش جنگلی (Adeli, 2006) و تعیین تیپ اراضی جنگلی (Günlü *et al.*, 2005)

تاکنون از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ به‌طور گسترده در پژوهش‌های مختلف در مقیاس منطقه‌ای و جهانی استفاده شده است. با وجود نقص فنی در تصحیح‌کننده خط اسکن سنجنده ETM+، به دلیل کیفیت خصوصیات رادیومتری و هندسی این سنجنده، تصاویر لندست ۷ هنوز مورد توجه بسیاری از محققان است. به‌منظور استفاده از تصاویر معیوب، انتخاب یک روش مطلوب‌تر برای بازسازی تصویر در هر منطقه ضروری است. بازسازی تصویر معیوب با روش WLR در منطقه خوی بر اساس معیارهای آماری، بسیار خوب ارزیابی شد و از این روش می‌توان برای بازسازی تصاویر معیوب در شرایط مشابه رفتار طیفی و مشخصات طیفی پوشش گیاهی در منطقه خوی مورد استفاده قرار گیرد. در تحقیق Zeng و همکاران (2013)، روش WLR به‌عنوان روش مناسب‌تر در بازسازی پیکسل‌های مفقودشده در مقایسه با روش‌های NSPI و LLHM معرفی شده است.

نتایج تحقیق Zhu و همکاران (2012) نیز با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. در تحقیق مذکور، کارایی یا عملکرد روش WLR در پیکسل‌های نزدیک به لبه تصویر و ناهمگن از نظر رفتار طیفی، در مقایسه با دیگر روش‌های بازسازی مانند NSPI و LLHM، بهتر گزارش شده است. باید توجه داشت که با استفاده از تصاویر کمکی (ورودی) با فاصله زمانی نزدیک نسبت به زمان تصویر معیوب، روش WLR

مراجع، دیگر روش‌های بازسازی که در این مقاله به برخی از آنها اشاره شد به‌طور جامع‌تر مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرند تا بتوان در هر اکوسیستم مرتعی و جنگلی، مناسب‌ترین روش بازسازی را پیشنهاد کرد.

2008). *al.*, 2008 مطابقت داشته و بیانگر کارایی الگوریتم حداکثر درست‌نمایی است. در تحقیق حاضر، فقط یکی از روش‌های رایج بازسازی تصاویر معیوب لندست ۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. از این‌رو توصیه می‌شود در دیگر مناطق ایران بالأخص جنگل‌ها و

References

- Arvidson, T., S. Goward, J. Gasch & D. Williams, 2006. Landsat-7 long-term acquisition plan, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(10): 1137-1146.
- Chander, G., B. L. Markham & D. L. Helder, 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote Sensing of Environment*, 113(5):893-903.
- Chavez, P. S., 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, *Remote Sensing of Environment*, 24(3): 459-479.
- Chen, J., X. Zhu, J. E. Vogelmann, F. Gao & S. Jin., 2011. A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off Images, *Remote Sensing of Environment*, 115(4):1053-1064.
- Fauzi, A., Y. A. Hussin & M. Weir, 2005. A Comparison between Neural Networks and Maximum Likelihood Remotely Sensed Data Classifiers to Detect Tropical Rain Logged-over Forest in Indonesia, *International Journal of Geoinformatics*, 1(2): 47-59
- Fuller, R. M., G. B. Groom & A. R. Jones, 1994. Land cover map of Great Britain. An automated classification of Landsat Thematic Mapper data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(5): 553-562.
- Günlü, A., F. Sivrikaya, E. Z. Baskent, S. Keles, G. Cakir & A. I. Kadiogullari, 2008. Estimation of stand type parameters and land cover using Landsat-7 ETM+ Image: A case study from Turkey, *Sensors*, 8(4): 2509-2525.
- Khezri, S. S., A. Alijanpour, O. Hosseinzadeh & M. Erfanian, 2017. Site selection for forest park using multi-criteria decision approach in the Darreh Shohada region, Urmia, *Forest Research and Development*, 3(2): 133-146. (In Persian)
- Latifi, H. & K. Adeli, 2006. Survey Capability ETM+ satellite data for separately forest cover type in Zagros south (case study, Dezfol city), *Geomatic*, 17(83): 31-35. (In Persian)
- Lauer, D. T., S. A. Morain & V. V. Salomonson, 1997. The Landsat program: Its origins, evolution, and impacts, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(7): 831-838.
- Lee, D. S., J. C. Storey, M. J. Choate & R. W. Hayes, 2004. Four years of Landsat-7 on-orbit geometric calibration and performance, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(12): 2786-2795.
- Liu, D. & S. Cai, 2012. A spatial-temporal modeling approach to reconstructing land-cover change trajectories from multi-temporal satellite imagery, *Annals of the Association of American Geographers*, 102(6): 1329-1347.
- Mahdavi, A. & S. R. Fallah Shamsi, 2012. Mapping forest cover change, using aerial photography and IRS-LISSIII Imagery (Case Study: Ilam Township), *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(1): 77-91. (In Persian)
- Markham, B. L., J. C. Storey, D. L. Williams & J. R. Irons, 2004. Landsat sensor performance: history and current status, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(12): 2691-2694.
- Masek, J. G., C. Huang, R. Wolfe, W. Cohen, F. Hall, J. Kutler & P. Nelson, 2008. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record, *Remote Sensing of Environment*, 112(6): 2914-2926.
- Oladi, J. & B. Bakhshandeh, 2012. Studying the possibility of using Landsat ETM+ imagery for separating different mixtures of Beech and Hornbeam in northern forest of Iran (Case Study: Choe Jie forest), *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(3): 95-110. (In Persian)

- Pontius Jr, R. G. & M. Millones, 2011. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment, *International Journal of Remote Sensing*, 32(15): 4407-4429.
- Romero-Sanchez, M. E., R. Ponce-Hernandez, S. E. Franklin & C. A. Aguirre-Salado, 2015. Comparison of data gap-filling methods for Landsat ETM+ SLC-off imagery for monitoring forest degradation in a semi-deciduous tropical forest in Mexico, *International Journal of Remote Sensing*, 36(11): 2786-2799.
- Salovaara, K. J., S. Thessler, R. N. Malik & H. Tuomisto, 2005. Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery, *Remote Sensing of Environment*, 97(1): 39-51.
- Scaramuzza, P., E. Micijevic & G. Chander. 2004. SLC-off gap-filled products gap-fill algorithm methodology phase 2 gap-fill algorithm. US Geological Survey Earth Resources Observation and Science (EROS) Center.
- Shataee Jouibari, Sh., 2003. Survey possibility forest type map using satellite data the case study Nowshahr Khairoud Kenar. Ph.D. Thesis. Forestry group. Faculty of natural Resource. Tehran University. Tehran, Iran, 155 p. (In Persian)
- Shataee, Sh. & O. Abdi, 2007. Land cover mapping in mountainous lands of Zagros using ETM+ data, case study: Sorkhab watershed, Lorestan province, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(1): 120-129. (In Persian)
- Sivrikaya, F., S. Keles, G. Cakir, E. Z. Baskent & S. Kose, 2006. Comparing accuracy of classified Landsat data with land use maps reclassified from the stand type maps. In: 7th International symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences, Trabzon, Turkey, pp. 643-652.
- Skole D. L., J. Qi & J. Samek, 2003. Analysis of the scan line corrector anomaly onboard Landsat 7 with respect to measurement and mapping of land cover change. Report of Michigan State University.
- Warrens, M. J., 2015. Properties of the quantity disagreement and the allocation disagreement, *International Journal of Remote Sensing*, 36(5): 1439-1446.
- Zeng, C., H. Shen & L. Zhang, 2013. Recovering missing pixels for Landsat ETM+ SLC-off imagery using multi-temporal regression analysis and a regularization method, *Remote Sensing of Environment*, 131: 182-194.
- Zhu, X., D. Liu & J. Chen, 2012. A new geostatistical approach for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images, *Remote sensing of Environment*, 124: 49-60.

Recovering missing pixels for a Landsat SLC-off image using Weighted Linear Regression and accuracy assessment of land cover map (Case study: Khoy region, Northwest Iran)

A. Najafzadeh¹, M. Erfanian^{*2}, A. Alijanpour³, S. Babaei Hessar⁴

1- Ph.D. student of Watershed management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran.

2- Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran.

3- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran.

4- Ph.D. student of Watershed management, Faculty of Natural Resources, Kashan University, Kashan, I.R. Iran.

Received: 06.05.2017

Accepted: 20.08.2017

Abstract

On May 31, 2003 the Scan Line Corrector (SLC) in the ETM+ instrument on Landsat 7 failed. Until now, a wide variety of gap-filling methods have been developed to recover missing pixels in the Landsat 7 SLC-off images. In present study, a newly-developed approach known as the Weighted Linear Regression (WLR) method was evaluated on the simulated SLC-off TM image acquired on 18 June 2011 when plants and vegetated lands are growing. The statistical measures of the RMSE (< 0.02), the Pearson correlation coefficient ($R = 0.99$), and the Nash-Sutcliffe ($NSE = 0.91$) showed that the WLR is highly capable of predicting missing pixels values. Based on a supervised image classification technique so-called the Maximum Likelihood (ML) applied on the predicted image, a land cover map for the desire region was generated. The accuracy assessment results consist of the Overall accuracy ($OA = 89.7\%$), the Kappa coefficient ($K = 0.85$), the Allocation Disagreement ($AD = 3.2$), and the Quantitative Disagreement ($QD = 6.9$), revealed a high ability of the WLR for land cover mapping. Therefore, under the lack of Landsat TM imagery, the application of this method for recovering missing pixels is highly suggested to be useful for producing any required land cover map in Khoy region from Landsat ETM+ SLC-off images.

Keywords: ETM+, Gap filling, Khoy, Scan Line Corrector (SLC), WLR.

* Corresponding author:

Email: erfanian.ma@gmail.com