

ارائه روشی جهت معتبر سازی داده‌های لندست 7ETM+ برای برآورد تبخیر و تعرق پس از معیوب شدن تصحیح کننده خط اسکن (SLC)

محمدرضا مباشری* - گروه سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پذیرش مقاله: ۸۳/۱۲/۲۴ تأیید نهایی: ۱۳۸۴/۱۰/۲۶

چکیده

از کار افتادگی تصحیح کننده خط اسکن (SLC) در ماهواره لندست ۷، نقائص و نبود داده‌هایی را در برخی از نواحی تصویر موجب شده است. روش‌های مختلفی برای جایگزینی این داده‌های مفقود شده پیشنهاد شده است که بسته به نوع کاربری تصاویر، از درجه‌های مختلف اعتبار برخوردار است. این روش‌ها که اغلب روش‌های ریاضی هستند، برای برخی از کاربری‌ها اعتبار چندانی ندارند. از آن جمله می‌توان برآورد تبخیر و تعرق (ET) در مناطقی با پوشش‌های گیاهی نه چندان وسیع با استفاده از مدل سبال و تصاویر ماهواره‌ای نام برد. روشی که اینجا ارائه می‌شود، از داده‌های سنجنده LISS-III برای جایگزینی داده‌های مفقود شده شاخص‌های گیاهی همچون NDVI (به علت از کار افتادگی SLC) استفاده کرده است. در این روش برای مقایسه صحیح مکانی بین داده‌های دو سنجنده، استفاده از پیکسل‌هایی غیر واقعی با ابعاد یک متر در یک متر استفاده شده است. این کار می‌تواند برای یک بار و در منطقه‌ای از تصویر به صورت نمونه انجام شده و پس از تهیه الگوریتم جایگزینی در سایر نواحی تصویر نیز به کار گرفته شود.
کلید واژه‌ها: پردازش تصویر، لندست ۷، SLC، 7ETM+، تبخیر و تعرق.

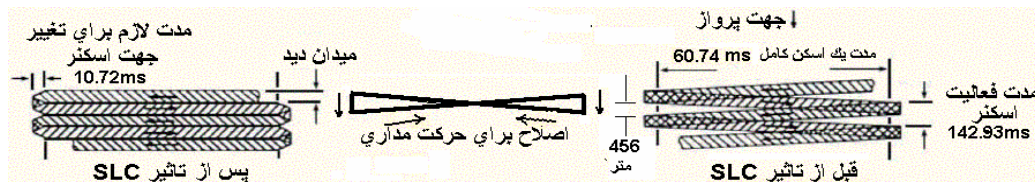
مقدمه

روز ۲۰۰۳/۵/۳۱، تصحیح کننده خط اسکن لندست ۷ (SLC)^۱ دچار اشکال شد و متوقف شد (مباشری، ۱۳۸۴، ۸۹) توقف این دستگاه باعث شد که خط اسکن‌های منفرد به‌طور متناوب روی یکدیگر افتاده و شکاف بزرگی را در لبه‌های تصویر باقی بگذارند. در حالی که این داده‌های مفقود شده قابل بازیابی نمی‌باشند، بسته به نوع کاربری، با استفاده از برخی الگوریتم‌های پردازش می‌توان تصویری را تولید کرد که بیش از ۸۰ درصد پیکسل‌های آن از صحت لازم برخوردار باشند (Vogelmann, et al., 2003:19; Doorn, 2003:53; Masek, 2003:56). ارزیابی‌های اولیه نشان می‌دهد که داده‌های پردازش شده پس از کار افتادن SLC کیفیت رادیومتری و هندسی خود را حفظ کرده‌اند (Doorn, 2003:53; Masek, 2003:56). همچنین این امکان وجود دارد که جای خالی داده‌های برداشت نشده را با استفاده از الگوریتم‌های درون‌یابی جایگزین کرد. البته کارایی یک چنین داده‌های مصنوعی، بسته به نوع کاربری، باید به صورت موردی، با دقت و وسواس کافی ارزیابی شود (Landsat 7 Science Team Report, 2003:58).

*E-mail: Mobasheri@kntu.ac.ir

^۱) Scan Line Corrector

وجود این اشکال و داده‌های مفقودی ناشی از آن، از مفید بودن و کارایی تصاویر لندست می‌کاهد. با این حال اکثر دانشمندانی که این داده‌ها را ارزیابی کرده‌اند، به مفید بودن آنها برای کارهای پژوهشی خود اعتقاد دارند (Skole and Samek, 2003:63). بعنوان مثال با ایجاد موزاییکی از برهم نهادن تصاویر و پر کردن جای پیکسل‌های مفقودی می‌توان به مفید بودن نتیجه کار برای بسیاری از کاربردها امیدوار بود.



شکل ۱- چگونگی کار آینه اسکن کننده سنجنده ETM⁺ و اصلاح کننده خط تصویر SLC

تصحیح کننده خط اسکن (SLC)

تصحیح کننده خط اسکن SLC یک دستگاه الکترونیکی می‌باشد که حرکت به جلوی ماهواره را در مدتی که سنجنده ETM⁺ تصویری را اسکن کرده، جبران می‌کند. هنگامی که این دستگاه درست کار کند، SLC اجازه می‌دهد که آینه اسکن کننده ETM⁺ به صورت پیاپی به جلو و به عقب، صحنه را اسکن کرده و در نتیجه باعث تولید نوارهای اسکن شده موازی از صحنه بشود (شکل ۱). زمان لازم برای یک دوره تناوب کامل اسکن ۱۴۲/۹۳ میلی ثانیه می‌باشد. از این مدت ۶۰/۷۴ میلی ثانیه صرف اسکن کردن صحنه به وسیله آینه اسکن کننده ETM⁺، ۲۱/۴۴ میلی ثانیه صرف دور زدن اسکن کننده در دو انتهای خط اسکن و بقیه که ۶۰/۷۵ میلی ثانیه است مربوط به بازگشت آینه اسکن کننده ETM⁺ به ابتدای نوار بعدی می‌شود. در این مدت که ماهواره لندست با سرعت ۷/۵۴ کیلومتر بر ثانیه به میزان ۴۵۶ متر در استوا (در نواحی قطبین ۴۵۳ متر) پیش رفته است، برداشت تصویر، خط اسکن را جبران می‌کند. با توجه به شکل ۱ فاصله فوق در مرکز صحنه به صفر می‌رسد. در نتیجه در نواحی مرکزی تصویر و به پهنای ۱۲۰۰ پیکسل (۳۶ کیلومتر) هیچ گونه نقصانی ناشی از عدم عملکرد SLC دیده نمی‌شود ولی در لبه‌های تصویر فضای خالی بین دو نوار برداشت به حدود ۴۵۰ متر (۱۵ پیکسل) می‌رسد. البته با در نظر گرفتن همپوشانی در لحظه دور زدن اسکنر در لبه‌های تصویر، ناحیه مفقود شده به ۴۱۷ متر می‌رسد (تقریباً ۱۴ پیکسل).

وضعیت اصلاح تصویر

گروه مسئول لندست ۷، الگوریتم‌های خود را به گونه‌ای اصلاح کرده‌اند که قادر باشند به تولید داده‌های ETM⁺ بدون حضور SLC نیز ادامه دهند (Landsat 7 Science Team Report, 2003:60). این تولیدات همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شد، در برخی از نواحی برهم‌نهی و در برخی دیگر از نواحی تصویر، امکان برداشت ندارد. این امکان وجود دارد که داده‌های لندست با وجود این اشکال، صحت هندسی و رادیومتری خود را حفظ کرده باشند، اگرچه در برخی از نواحی نبود داده وجود دارد. این موضوع باعث می‌شود که برای برخی از کاربری‌ها، هنوز هم این تصاویر قابل استفاده باشند (Skole and Samek, 2003:63). بسته به کاربر و نوع کاربری یکی از دو روش ذیل به وسیله گروه لندست پیشنهاد شده است.

۱- آن دسته از کاربری‌هایی که این اشکال برایشان بی‌اهمیت است.

این شاخه از کاربری‌ها شامل پایش جنگل زدایی، ارزیابی‌های کیفی محصولات کشاورزی، تغییرات پوشش زمین، پایش و آشکارسازی تغییرات جوی کره زمین. این پژوهش‌های بزرگ مقیاس از برنامه جمع‌آوری بلند مدت داده‌ها (LTAP) سود می‌جویند. این گروه بیشترین استفاده کنندگان داده‌های لندست را تشکیل می‌دهند (Vogelmann, et al., 2003:56; Masek, 2003:19).

۲- آن دسته از کاربریهایی که این اشکال، داده‌ها را برای آنها بی ارزش می‌کند.

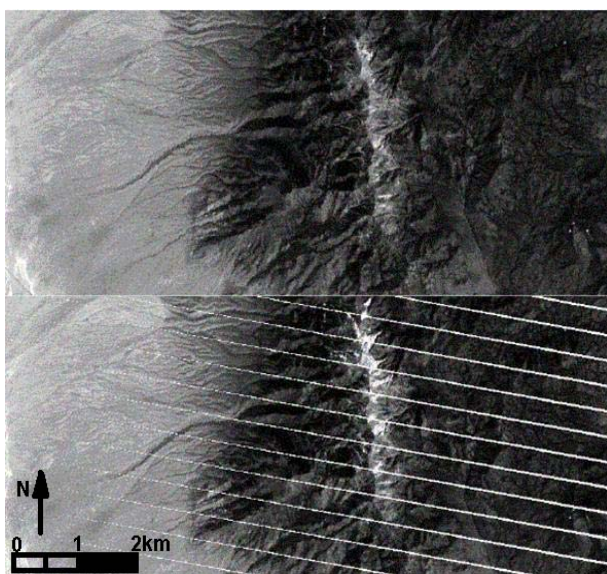
این گروه از کاربری‌ها شامل تهیه نقشه یا پایش مناطق کوچک شامل چند پیکسل است که ممکن است در گذرهای پی در پی در منطقه برداشت قرار نگیرند. این گروه از کاربران نیز برای اینکه داده‌های کافی برای کار خود داشته باشند می‌باید تعداد بیشتری از تصاویر را تهیه کنند (Skole and Samek, 2003:63).

این دو گروه به‌طور کامل از یکدیگر قابل جدایی نیستند. ممکن است کاربری در ابتدا در گروه دوم قرار گیرد ولی با تولید و یا توسعه نرم افزاری بتواند از داده‌های ناقص، اطلاعات مفیدی استخراج کند و یا آنها را تجزیه و تحلیل کند. آن‌دسته از کاربرانی که به صورت دیجیتالی و یا اتوماتیک تصاویر را تجزیه و تحلیل می‌کنند جزو این گروه از کاربران قرار می‌گیرند.

بررسی موضوع از جنبه رادیومتری

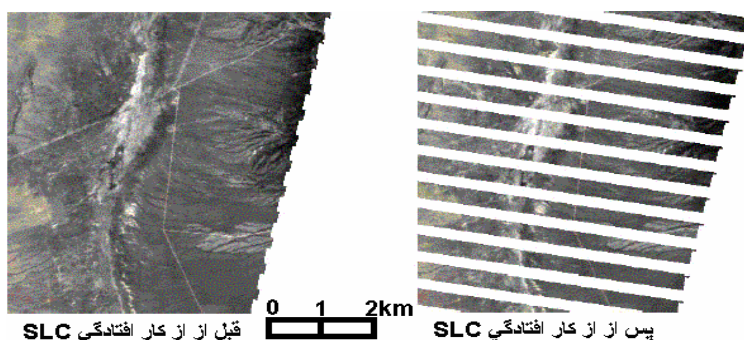
در مدت چند ثانیه قبل و بعد از کار افتادن SLC، نوفه بسیار شدیدی در چندین کانال آشکارساز مشاهده شد. این نوفه طبیعی مشابه آنچه که معمولاً به وسیله آشکارسازها دریافت می‌شد ولی به مراتب شدیدتر داشت. چند لحظه پس از این اتفاق سطح نوفه به‌طور قابل توجهی افت کرد. متعاقباً پس از اینکه منبع تغذیه SLC قطع شد، سیگنال نوفه به سطح قبل از خراب شدن SLC کاهش پیدا کرد و در برخی موارد به کلی از بین رفت (Landsat 7 Science Team Report, 2003:58). علت این افت و خیز نوفه، مسأله‌ای است که به وسیله گروه فنی لندست ۷ در حال بررسی است (Skole and Samek, 2003:58; Masek, 2003:56). هم‌اکنون سطح نوفه موجود در تصاویر هم‌اندازه آن سطحی است که قبل از خرابی SLC وجود داشت.

در مجموع، پاسخ رادیومتری لندست ۷ در مقایسه با قبل از کارافتادگی SLC بدون تغییر مانده و تنظیم مختصری را نیاز داشته است، در نتیجه از کیفیت قابل قبولی برخوردار بوده است (Landsat 7 Science Team Report, 2003:60). تمهیدات کالیبراسیون از قبیل شکاف کامل کالیبره کننده خورشیدی (FAC)، شکاف جزئی کالیبره کننده خورشیدی (PAC) و کالیبره کننده داخلی (IC)، علی‌رغم از کارافتادگی SLC به کار خود ادامه داده و نیاز به اصلاحاتی ناچیز دارند.



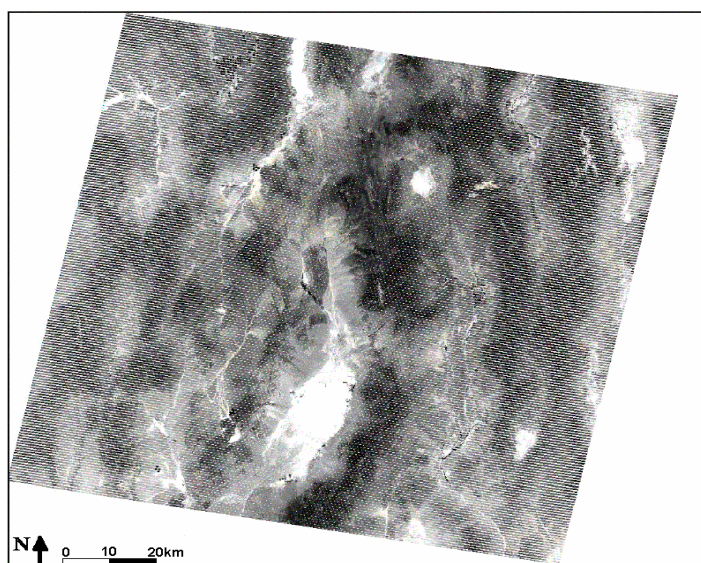
شکل ۲ نمونه‌ای از تصاویر لندست ۷ قبل از خرابی SLC (بالایی) و پس از از کار افتادن SLC (پایینی). این تصاویر ناحیه مرکزی صحنه را پوشانده و بدور از لبه‌ها می‌باشند در نتیجه در هر خط اسکن، یک تا سه پیکسل برداشت نشده بیشتر وجود ندارد (منطقه ای در جنوب شرقی تهران).

شکل ۲ نمونه‌ای از تصاویر لندست ۷ قبل از خرابی SLC (بالایی) و پس از از کار افتادن SLC (پایینی) را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، این تصاویر ناحیه مرکزی صحنه را پوشانده و بدور از لبه‌هاست. در نتیجه کاربری خوبی قادر خواهد بود که در این ناحیه و حتی در محدوده چند پیکسل کسب اطلاعات کند. این مسأله در نواحی نزدیک به لبه تصویر شرایط حادی را به خود می‌گیرد. شکل ۳ نمونه ای از این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۳ نمونه‌ای از تصاویر لندست ۷ برای نمایش آثار لبه پس از از کار افتادن SLC (منطقه ای در جنوب شرق تهران)

در شکل ۴ یک صحنه کامل لندست ۷ پس از از کار افتادگی SLC نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود در لبه‌ها به طور متناوب در نوارهایی با پهنای ۴۱۷ تا ۴۵۰ متر، داده‌ها برداشت نشده است. این پهنا در نواحی مرکزی و در پهنای ۳۶ کیلومتر به صفر می‌رسد.



شکل ۴ نمایش یک صحنه کامل پس از از کارافتادگی SLC. فقط در نواری به پهنای ۳۶ کیلومتر در مرکز، داده‌های جمع‌آوری شده کامل و بدون نقص است (منطقه‌ای در جنوب شرق استان تهران).

برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از مدل سبال

پروژه برآورد تبخیر و تعرق (ET) با استفاده از مدل سبال در دشت خوزستان با هدف پهنه‌بندی میزان ET از اوایل مهرماه ۱۳۸۳ آغاز شد. در مدل سبال از طریق برآورد تمامی مولفه انرژی در سطح با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از معادله توازن انرژی اقدام به محاسبه تبخیر و تعرق می‌شود. در این رابطه به باندهایی در ناحیه سرخ، فروسرخ نزدیک و حرارتی نیاز است. از طرفی دیگر با توجه به نیاز مدل به پوشش‌های گیاهی مخصوص برای کالیبره کردن آن و عدم وجود یک چنین پوشش‌هایی در مساحت‌های بزرگ، ناچار به استفاده از تصاویری با قدرت تفکیک فضایی نسبتاً زیاد مانند ETM (۳۰ متر) وجود دارد. محصولات سنجنده‌هایی همچون SPOT، IRS، به علت نداشتن باند حرارتی، ASTER و MISR به علت تفکیک فضایی نامناسب و وجود تحریم و NOAA و MSG و برخی از ماهواره‌های روسی به علت قدرت تفکیک فضایی ضعیف، قابل استفاده نبودند. این مسأله ما را به استفاده از تصاویر ETM+ با وجود نقیصه مذکور مجبور ساخت.

در مدل سبال از پوشش‌های گیاهی همچون یونجه، چمنزار و یا گندم به عنوان مرجع استفاده می‌شود (مباشری، ۱۳۸۴؛ ۶۲) قطعه‌های کشت شده در منطقه که یکی از پوشش‌های فوق را داشته باشند، به علت وجود مالکیت‌های کوچک بندرت از مساحتی بیش از ۱۰ هکتار تجاوز می‌کند (WAN, 1999:1152). البته کشت و صنعت‌های نیشکر با سطوح زیر کشت بالا وجود دارند ولی نیشکر نمی‌تواند مرجع مناسبی برای مدل سبال باشد.

تعداد زیادی از پارامترهای مورد نیاز سبال از مدل‌های غالباً اقلیمی مورد تایید فائو قابل محاسبه است (Allen et al., 2002:13). برخی از پارامترها همچون دمای سطحی، گسیل‌مندی سطحی، آلییدو، دمای هوا، پوشش زمین، شاخص‌های گیاهی که مورد نیاز برای برآورد ET می‌باشند، قابل استخراج از داده‌های ماهواره‌ای هستند. در این رابطه برای مطالعه کامل، خواننده محترم به مرجع (مباشری، ۱۳۸۴، ۱-۴۶۸) ارجاع داده می‌شود. برآوردهای سنجش از دور از آلییدوی سطحی، دمای سطحی و گسیل‌مندی مادون قرمز حرارتی سطحی که جهت محاسبه تغییرات مکانی در تابش موج کوتاه انعکاس یافته و تابش موج بلند گسیل یافته به خارج از سطح زمین استفاده می‌شود، از حساسیت خاصی برخوردار است. ترکیب تابش موج کوتاه و موج بلند،

امکان محاسبه تابش خالص جذب شده سطحی برای هر پیکسل تصویر را فراهم می‌کند. تابش خالص در محاسبه شارهای گرمای خاک، محسوس و نهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (مباشری، ۱۳۸۴، ۲۱۱) و (Allen et al., 2002:86). به‌طور کلی ارتباط بین انرژی طیف مرئی و اشعه مادون قرمز حرارتی در نواحی با تباین هیدرولوژیکی زیاد، اساس فرمول بندی سبال را تشکیل می‌دهد.

مزیت‌ها و معایب روش سبال

مزایا/ (مباشری، ۱۳۸۴: ۴۰)

۱- داده‌های میدانی کمی نیاز دارد؛

۲- دارای مفهوم فیزیکی است و بنابراین قابلیت کاربرد برای اقلیم‌های مختلف را دارد؛

۳- نیازی به نقشه کاربری ندارد؛

۴- نیازی به دخالت داده‌های مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژی و لایه مرزی سیاره ای (PBL)^۱ ندارد؛

۵- اگر از داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده شود، امکان بدست آوردن گراف تغییرات و تابع چگالی احتمال که از ضروری‌ترین پارامترهای هیدرومتئورولوژی می‌باشند، وجود دارد؛

۶- روش برای استفاده از تمامی باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی مناسب است ولی می‌تواند در قدرت تفکیک‌های مختلف مکانی و زمانی بکار برده شود (این به آن معنا نیست که برای همه ترکیبات مقیاس و قدرت تفکیک دقت بالایی وجود دارد)؛

۷- برای تصاویر با قدرت تفکیک بالا، نتایج می‌تواند با اندازه گیری‌های نقطه‌ای شار و رطوبت خاک تایید شوند.

۸- شیوه کار مرحله بندی شده است؛

معایب (مباشری، ۱۳۸۴، ۴۰)

۱- شرایط بدون ابر مورد نیاز است؛

۲- وجود زمین‌های دایر خشک (پیکسل گرم) و زمینهای کشت شده مرطوب (پیکسل سرد) مورد نیاز است؛

۳- تعریف مفهوم زبری سطح خیلی ضعیف است؛

۴- نتایج به دست آمده در نواحی ناهموار دارای دقت کمتری است؛

استفاده از داده‌های لندست ۷ در سبال

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، برای استفاده از مدل سبال برای برآورد ET الزاماً باید از تصاویر ETM+ استفاده شود. در اینجا ابتدا کمیات و پارامترهایی را که باید از تصاویر استخراج شوند توضیح داده شده است. سپس مشکلاتی را که از به‌کارگیری این تصاویر ناشی از خرابی SLC ممکن است، ایجاد شود بیان کرده و در نهایت راهکار رفع آنها را بررسی می‌شود.

تعیین پیکسل‌های سرد و گرم

سبال از دو پیکسل شاخص برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله توازن انرژی استفاده می‌کند. این دو پیکسل شاخص، پیکسل‌های سرد و گرم نامیده می‌شوند و باید در منطقه مطالعه شده قرار داشته باشند. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی

1. PBL: Planetary Boundary Layer .

کامل (معمولاً یونجه) و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شود که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک سطح برابر فرض می‌شوند و پیکسل گرم هم از اراضی کشاورزی بدون پوشش و خشک انتخاب می‌شود. انتخاب این دو پیکسل در تصاویر، به مهارت و تمرین نیاز دارد. در سبال کیفیت محاسبات ET به انتخاب دقیق این دو پیکسل بستگی دارد (مباشری، ۱۳۸۴: ۴۸). در انتخاب پیکسل‌های فوق از دو فاکتور دما و شاخص سطح برگ LAI استفاده می‌شود. به این صورت که پیکسل سرد باید دارای دمای پایین و LAI بالا و پیکسل گرم هم باید دارای دمای بالا و LAI پایین (بین صفر تا حداکثر ۰/۴) باشد. در انتخاب پیکسل گرم باید از انتخاب مقادیر حداکثر دما اجتناب شود. به این دلیل که معمولاً بیابان‌ها و مناطق مسکونی دمایی بالاتری نسبت به اراضی خشک کشاورزی دارند و بالطبع اگر این مناطق به عنوان پیکسل گرم ($ET = 0$) انتخاب شوند برای اراضی خشک با دمایی پایینتر، تبخیر و تعرق مقداری مثبت خواهد شد (مباشری، ۱۳۸۴، ۴۸).

تعیین دمای سطحی (T_s)

قانون استفان - بولتزمن رابطه بین دما و تابش از واحد سطح یک جسم سیاه در کل طیف الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد.

$$B = \sigma T_s^4 \quad (۱)$$

B تابش جسم سیاه، T_s دمای سطحی جسم سیاه و σ ثابت استفان - بولتزمن می‌باشد. با توجه به اینکه، عرض باندهای حرارتی سنجنده‌های ماهواره ای کمتر از آن است که بتوانند معرف B در معادله ۱ باشند، بنابراین سبال از رابطه تابش طیفی پلانک استفاده می‌کند.

$$B_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T_s}\right) - 1 \right]} \quad (۲)$$

در آن B_λ شدت تابشی است که یک واحد سطح جسم سیاه در طول موج λ دارد، h ثابت پلانک، c سرعت نور، k ثابت بولتزمن و T_s دمای سطحی جسم سیاه می‌باشد. دمای سطحی از معکوس سازی معادله ۲ به دست می‌آید

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{R_c} + 1\right)} \quad (۳)$$

R_c تابش تصحیح شده در باند حرارتی (شدت انرژی تابش شده به وسیله سطح در باند حرارتی سنجنده با توجه به منحنی پاسخ باند مربوطه است. به بیان دیگر همان انرژی دریافت شده به وسیله سنجنده پس از انجام تصحیحات آتمسفری است)، ε_{NB} گسیل مندی سطحی باند کم عرض حرارتی (مربوط به باند حرارتی سنجنده) و k_1 و k_2 ثوابت معادله هستند. حال برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برای اندازه گیری T_s نیازمند دانستن مقدار ε_{NB} برای پیکسل مورد نظر نیاز است. ε_{NB} به جنس و ترکیب مواد تشکیل دهنده پیکسل بستگی دارد. از آنجا که معمولاً دانش جامعی در این ارتباط وجود ندارد، برای رفع این اشکال به دو روش عمل می‌شود:

۱. استفاده از پوشش‌های ثابت، شناخته شده و کالیبره کرده ماهواره برای قرائت ε_{NB} .

۲. استفاده از پوشش گیاهی مرجع، شاخص سطح برگ و روابط تجربی مدون (فانو-۵۶) (Allen et al., 2002: 67).

در سبال عموماً از روش دوم بهره جسته می‌شود. به این صورت که با استفاده از باندهای حرارتی و الگوریتم‌های بدست آمده در اندازه‌گیریهای همزمان و استفاده از روابط تجربی، دمای سطحی از داده‌های ماهواره‌ای استخراج می‌شود. البته عدم قطعیت در این روش زیاد است که این اشکال با انتخاب پیکسل‌های گرم و سرد و استفاده از نقشه‌های کاربری زمین (از تصاویر با قدرت تفکیک فضایی بالاتر همچون LISS III) تا حدودی کاهش می‌یابد. با این حال به علت تغییرات زیاد، ناشناخته و غیر قابل پیش‌بینی سطوح، تعیین دقیق دمای سطح با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای هنوز موضوعی حل نشده است. این مسأله برای آب‌های آزاد و صاف تا حدود زیادی حل شده است. در هر صورت برای پوشش گیاهی در پیکسل سرد آبیاری شده، دمای سطح با دقت قابل قبولی محاسبه می‌شود. این دما برابر با دمای هوا در نظر گرفته می‌شود. تفاوت این دما و دمای پیکسل گرم، برای محاسبه گرمای محسوس استفاده می‌شود. عدم دقت در انتخاب پیکسل گرم و سرد و در نتیجه عدم برآورد صحیح از دمای پیکسل‌های گرم و سرد، عدم قطعیتی در محاسبه گرمای محسوس را بدنبال داشته که نتیجه آن برآورد نادرست از میزان تبخیر و تعرق خواهد بود (مباشری، ۱۳۸۴، ۴۱).

در جدول ۱ کلیه پارامترهایی را که مورد نیاز مدل سبال بوده و به‌طور مستقیم و یا غیر مستقیم از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شوند، نشان داده شده است. برای برخی از این پارامترها نیاز مند استفاده از روابط تجربی نیز می‌باشیم که این مورد نیز در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱ لیست پارامترهایی که قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

مستندات و روابط مورد نیاز	باندهای مورد نیاز	نوع پارامتر
روابط فائو	حرارتی	دمای سطح
روابط فائو	حرارتی	دمای هوا
Header file	تمامی باندها	رادیانس طیفی
Header file	تمامی باندهای مرئی و فرورسرخ نزدیک	انعکاس طیفی
مشخصات باندی و روابط فائو	تمامی باندهای مرئی و فرورسرخ نزدیک	آلبدوی سطحی
Header file و روابط فائو	زاویه سمت الراس خورشید	تابش فرودی موج کوتاه
روابط فائو	از دو باند مرئی و فرورسرخ نزدیک	شاخصهای گیاهی
روابط فائو	شاخصهای گیاهی	گسیلمندیهای سطحی
روابط فائو	دمای هوا	رادیانس حرارتی تصحیح شده
روابط فائو	دمای سطح	تابش موج بلند خروجی
روابط فائو	دمای هوا	موج بلند فرودی
روابط فائو	دمای زمین و آلبدو	شار گرمای خاک

اثر نبود SLC در مدل سبال

با اندکی توجه به پارامترهای مندرج در جدول (۱)، استنباط می‌شود که همه آنها به نوعی به نوع پوشش زمینی وابسته‌اند، به این معنا که اگر شاخص‌های پوشش گیاهی همچون NDVI و یا ALI با دقت کافی تعیین شوند، کلیه پارامترهای مندرج در جدول را می‌توان با دقت کافی محاسبه کرد.

روش‌هایی را که تاکنون برای پرکردن فضاهای مفقود شده پس از از کار افتادن SLC به کار گرفته شده، غالباً روش‌های درون‌یابی، برون‌یابی و یا میانگین‌گیری از پیکسل‌های مجاور پیکسل‌های مفقودی بوده است (Landsat 7 Science Team Report, 2003:58)

این روش‌ها برای محاسبه پارامترهایی همچون ET که بشدت به نوع پوشش وابسته است، نارسا و ناکافی است. در روشی که هم‌اکنون ارائه می‌شود از تصاویر سنجنده LISS-III روی سکوی IRS متعلق به کشور هندوستان برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده می‌شود. جدول ۲ مقایسه ای را بین دو سنجنده ETM+ و LISS-III نشان می‌دهد.

جدول ۲ مقایسه مختصات فنی دو سنجنده ETM+ و LISS-III

LISS-III (IRS)	ETM+ (Landsat)	موضوع
۰/۶۲۰-۰/۶۸۰ میکرن	۰/۶۳۰-۰/۶۹۰ میکرن	باند ۳
۰/۷۷۰-۰/۸۶۰ میکرن	۰/۷۵۰-۰/۹۰۰ میکرن	باند ۴
ندارد	دارد	باند حرارتی
۹۸/۶۹ درجه	۹۸/۲ درجه	زاویه میل
۲۳ متر	۳۰ متر	ابعاد پیکسل در دید قائم
۸۱۷ کیلومتر	۷۰۵ کیلومتر	ارتفاع مدار ماهواره
۱۴۲ کیلومتر	۱۸۵ کیلومتر	پهنای Swath
۲۴ روز	۱۶ روز	تفکیک زمانی
خورشید آهنگ	خورشید آهنگ	نوع مدار
10:30 am +, - 5min	10 am +, - 15min	ساعت گذر از استوا

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مشخصات فنی این دو سنجنده بسیار نزدیک به هم می‌باشد و می‌توان با راهکار ذیل، داده‌های مفقودی ETM را برای NDVI با استفاده از سنجنده LISS-III جایگزین کرد.

برای انجام این کار روش ذیل توانایی خود را در عمل به اثبات رسانده است.

برای آشنائی با روش پردازش تصویر برای سبال به کار (مباشری، ۱۳۸۴، ۳۵۶) مراجعه شود.

۱. تعیین دقیق پیکسل‌های سرد و گرم روی تصاویری از باندهای ۳ و ۴ سنجنده ETM+؛
۲. محاسبه لایه NDVI با استفاده از این تصاویر به روشی که سبال مشخص کرده است؛
۳. انتخاب نزدیک‌ترین گذر بدون ابر IRS به گذر فوق (فاصله زمانی نباید بیش از ۱۰ روز بوده و وضعیت بارش جوی مشابه باشد)؛
۴. تعیین دقیق پیکسل‌های سرد و گرم فوق بر روی تصاویری از باندهای ۳ و ۴ سنجنده LISS-III؛

۵. تهیه لایه NDVI با استفاده از این تصاویر به روشی که سبال مشخص کرده است؛
۶. تبدیل ماتریس لایه‌های بند ۲ و ۵ به ماتریسی با پیکسل‌های ۱ متر در ۱ متر بطوریکه هر یک از پیکسل‌های جدید مقدار پیکسل مادر را داشته باشد؛
۷. با استفاده از یکی از پیکسل‌های گرم و سرد جدید که اطمینان داریم در هر دو تصویر وجود دارد، ضریب تبدیل m از رابطه ذیل محاسبه می‌شود؛

$$m = \frac{(NDVIC)_{ETM} - (NDVIW)_{ETM}}{(NDVIC)_{LISS} - (NDVIW)_{LISS}}$$

که در آن NDVIC و NDVIW به ترتیب برای پیکسل‌های سرد و گرم و نمایه‌های زیرین آنها معرف سنجنده‌های ذیربط است.

۸. با استفاده از m و مقادیر NDVI بدست آمده در بند ۵ ($NDVI_{LISS}$)، لایه مقادیر NDVI برای نواحی مفقود شده در تصویر ETM ($NDVI_{ETM}$) با استفاده از رابطه ذیل، محاسبه می‌شود.

$$NDVI_{ETM} = NDVIW_{ETM} + m[NDVI_{LISS} - NDVIW_{LISS}]$$

۹. هر ۳۰ در ۳۰ پیکسل به دست آمده با استفاده از رابطه ذیل به یک پیکسل طبیعی تبدیل می‌شود.

$$NDVI_{ETM} = \frac{1}{M \times N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M NDVI(i, j) \quad , \quad M = N = 30$$

۱۰. این عمل تنها برای نواحی بیش از یک تا دو پیکسل مفقودی انجام می‌شود و برای نواحی مرکزی نیازی به این کار نیست.

دمای سطح با استفاده از گسیل‌مندی سطح و باند‌های حرارتی قابل استخراج است و سطوح با NDVI بالاتر دارای گسیل‌مندی بیشتر (نزدیک به گسیل‌مندی جسم سیاه) بوده و در نتیجه دمای آنها با دقت بیشتری قابل محاسبه است. از طرفی سطوح بدون پوشش گیاهی فاقد تبخیر و تعرق بوده و در نتیجه برای هدف ما از اهمیت زیادی برخوردار نیستند. در نتیجه روش فوق مقادیر واقعی تری را برای جایگزینی داده‌های مفقود شده در اختیار قرار می‌دهد. حال با توجه باینکه امکان یافتن شرایطی که بتوان تصاویر این دو سنجنده را با فاصله زمانی مناسب داشت به اینک، بسیار نادر و پرهزینه است. برای حل این مشکل پیشنهاد می‌شود که:

۱. کلیه اقدامات بند ۸ فوق برای نواحی مختلفی که در هر دو تصویر ETM و LISS-III وجود دارند (مفقود نیستند) انجام شود؛

۲. همبستگی بین مقادیر NDVI بدست آمده از بند ۸ را برای هر پیکسل در تصاویر ETM و LISS-III بدست آورده و لایه‌ای برای منطقه از این ضریب تولید می‌شود؛

۳. با استفاده از نسبت این ضریب و نقشه کاربری (تهیه شده برای منطقه مورد نظر با استفاده از IRS) و ضرایب پیکسل‌های سرد و گرم می‌توان پیکسل‌های مفقود شده را که در تصاویر مختلف جایجا می‌شوند، بازسازی کرد.

البته روش فوق خطاهایی را به همراه دارد که تا حدودی اجتناب ناپذیر بوده و با انجام اندازه‌گیری‌های میدانی همزمان با عبور ماهواره که به وسیله این مولف در حال انجام است، می‌تواند کاهش پیدا کند. نتایج پژوهش‌های در حال انجام، در گزارش‌های بعدی ارائه خواهد شد.

نتیجه گیری

از کارافتادگی SLC در ماهواره لندست ۷، نقائص و نبود داده‌هایی را در برخی از نواحی تصویر موجب شده است. روش‌های مختلفی برای جایگزینی این داده‌های مفقودی پیشنهاد شده است که بسته به نوع کاربری تصاویر، از درجه‌های مختلف اعتبار برخوردار است. این روش‌ها که اغلب روش‌های ریاضی هستند، برای برخی از کاربری‌ها اعتبار چندانی ندارند. از آن جمله می‌توان از برآورد تبخیر و تعرق ET در مناطقی با پوشش‌های گیاهی نه چندان وسیع با استفاده از مدل سبال و تصاویر ماهواره‌ای نام برد. در روشی که در اینجا ارائه شد، از سنجنده LISS-III برای جایگزینی داده‌های مفقود شده (به علت از کارافتادگی SLC) استفاده می‌شود. این کار می‌تواند برای یک بار و در منطقه‌ای به صورت پایلوت انجام گرفته و پس از تهیه الگوریتم جایگزینی در سایر مناطق نیز به کار گرفته شود.

منابع

۱. مباشری، محمدرضا، ۱۳۸۴؛ پهنه بندی تبخیر و تعرق در دشت‌های شمالی و مرکزی استان خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM⁺، پروژه خاتمه یافته با حمایت مالی سازمان آب و برق خوزستان.
2. Allen, R. Waters, R. Tasumi M. Trezza R. Bastianssen W 2002.; SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land. Idaho Implementation, Advanced Training and Users Manual, version 1.0,.
3. Doorn B 2003. "SLC Anomaly Investigation"; Report to US Dept. of Agriculture, Foreign Agriculture Service,.
4. Landsat 7 Science Team 2003; "Preliminary Assessment of the Value of Landsat 7 ETM+ Data Following Scan Line Corrector Malfunctioning"; U.S. Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, SD 57198,.
5. Masek, J. G 2003; "Landsat 7 Anomaly Investigation"; Report GSFC Code 923 to NASA,.
6. Skole D. L., Qi J. Samek J 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 to NASA.
7. Vogelmann, J. E., Ohlen D, Reed B, Howard S and Wylie 2003; "Preliminary Assessment of the Value of Landsat 7 ETM+ Data Following Scan Line Corrector Malfunctioning: Views from the Sciences"; Report SAIC, USGS/EROS Data Center.
8. WAN, Z. 1999; MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD), Version 3.3, Institute for Computational Earth System Science, University of California, Santa Barbara,.