نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸

Vol.7, No.2, Summer 2019

۱۱۳-۱۳۱

مقاله پژوهشی

ارائه روشی کارا جهت تصحیح جوی و بررسی تأثیر آن در برآورد آلبیدو سطحی بااستفاده از تصاویر سنجنده *OLI*

مرتضی رحیم‌پور[1*]، نعمت‌الله کریمی[2]، مائده بهی‌فر[3]، سارا شش‌انگشت[1]

۱- دستیار پژوهشی، موسسه تحقیقات منابع آب وزارت نیرو ، تهران

۲- استادیار، موسسه تحقیقات منابع آب وزارت نیرو ، تهران

۳- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱

چکیده

تصحیح‌های جوی، یکی از مهم‌ترین مراحل پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شوند که انجام آن‌ها از سوی کارشناسان این حوزه همواره به دلیل فقدان اطلاعات مکانی دقیق و پیچیدگی‌های محاسباتی، نادیده گرفته شده است. در این پژوهش، ابتدا یکی از جدیدترین و دقیق‌ترین روش‌های تصحیح جوی، برای نخستین بار برروی تصاویر سنجنده *OLI* در یک منطقه گرم و خشک پیاده‌سازی شد. سپس نتیجه‌های حاصل از آن در دو مرحله و در کاربری‌های مختلف ارزیابی شد. روش استفاده شده دارای دو ویژگی اساسی شامل الف)عدم نیاز به داده‌های اندازه‌گیری مکانی پیچیده و ب) اجرای ساده است. در مرحله اول مقادیر بازتابندگی تصاویر سنجنده *OLI* تصحیح و با محصول تابع توزیع بازتابندگی دو جهتی (*BRDF*) سنجنده مادیس (*MACD43A4*) مقایسه گردید. نتایج، همبستگی بالا (بین ۰٫۹۵ تا ۰٫۹۷) و خطای قابل قبول (در حدود ۹٫۵ درصد) روش تصحیح جوی مدنظر این تحقیق را نشان داد؛ به نحوی که با اعمال روش تصحیح جوی، میزان خطا در تمامی باندها حدوداً ۲۴٫۶ درصد کاهش یافت. در مرحله دوم تأثیر تصحیح حاصل بر مقدار آلبیدو پهن‌باند ارزیابی شد. برای این منظور، در ابتدا میزان آلبیدو پهن‌باند تصحیح شده با محصول مادیس (*MCD43A3*) در شرایط مفروض آسمان سفید(*WSA*) و سیاه(*BSA*) مقایسه شدند که کمترین میانگین مربعات خطا در این دو شرایط به ترتیب برابر با *WSA*۰٫۰۴۹ و *BSA*۰٫۰۶۶ بود. بیشترین تأثیر مقدار آلبیدو پهن‌باند قبل و بعد از تصحیح جوی به ترتیب مربوط به اراضی با خاک روشن، مناطق کوهستانی تیره و مناطق کشاورزی است. این میزان تغییرات در تمام کاربری‌ها کاهشی و حدوداً بین ۰٫۰۵ - ۰٫۱۸ برآورد شد. باتوجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، اعمال تصحیح جوی جهت برآورد مقدار آلبیدو در تمام شرایط پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تصحیح جوی، آلبیدو سطحی، سنجنده *OLI*، محصولات سنجنده مادیس

*نویسنده مکاتبه کننده: حکیمیه، بلوار بهار، موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، پژوهشکده منابع آب.

تلفن: ۰۲۱۷۷۰۰۰۳۰۵

Email: Rahimpour@modares.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

۱- مقدمه

به دلیل وجود جوّ بین سنجنده و پدیده‌های گوناگون سطح زمین، بازتابندگی واقعی ثبت شده توسط ماهواره‌ها، تحت تأثیر دو عامل میرایی[۱] و پراکندگی[۲] قرار می‌گیرند و همین موضوع، منجر به بروز عدم قطعیت هایی در برآورد مقدار بازتابندگی سطحی می‌شود [۱ و ۲]. اثرات جوی یاد شده در مناطق مختلف متفاوت است و بالطبع در مناطق مرطوب و غبارآلود این اثرها شدیدتر و در نواحی گرم و خشک کمتر است [۳ و ۴]. بنابراین قبل از استفاده از تصاویر، این اثرات باید حذف شود تا بتوان ابتدا میزان بازتابندگی سطحی و سپس متغیرهای دیگر همانند آلبیدو[۳] و اجزای معادله بیلان انرژی را محاسبه نمود [۵]. آلبیدوی[۴] سطحی یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین پارامترهای سنجش از دور در زمینه‌های مختلف است [۶ و ۷]. از این پارامتر جهت برآورد بسیاری از متغیرهای محیطی نظیر تابش خالص، تبخیر تعرق، بیلان انرژی و مدل‌سازی‌های اقلیمی استفاده می‌شود [۸ و ۹]. بدیهی است با افزایش صحت برآورد آلبیدو، می‌توان صحت تمام این مدلسازی‌ها و دقت نتایج را افزایش داد.

در این راستا، دو رویکرد متفاوت برای اعمال تصحیحات جوّی برروی تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. در رویکرد اول، لازم است شرایط جوّی در هنگام گذر ماهواره مدل‌سازی شود. این مدل‌ها به اطلاعات دقیق اندازه‌گیری شده از وضعیت جو در لحظه عبور ماهواره با قدرت تفکیک مکانی بالا نیاز دارند که غالباً به دلیل عدم وجود اطلاعات لازم و بهنگام، امکان پیاده‌سازی این مدل‌ها به صورت مستمر و عملیاتی میسر نیست. در رویکرد دوم، افزون بر اینکه میزان دقت و صحت تصحیحات جوی مدنظر است؛ الگوریتم‌هایی با حداقل پارامترهای ورودی و تا حد امکان باقابلیت پیاده‌سازی ساده مورد توجه قرار دارد. مدل‌های انتقال تابش[۵] (*RTMs*) به‌عنوان مدل‌های قابل قبول جهت تصحیح بازتابندگی در هر کدام از رویکردهای یاد شده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. در رویکردهای صرفاً تحقیقاتی که به‌دقت مناسب جهت برآورد بازتابندگی سطحی و آلبیدو نیاز است، از مدل مادترن[۶] بهره‌برده می‌شود[۱۱]. امّا در پژوهش‌های کاربردی‌تر غالباً از مدل *6S* استفاده می‌شود [۱۲] که نتایج برخی از پژوهش‌ها حاکی از کارآمدتر بودن مدل *6S* نسبت به مدل مادترن است [۱۳]. اگرچه از مدل‌های *RTM* به‌منظور مقاصد مختلفی همانند برآورد اجزای بیلان انرژی استفاده می‌شود[۱۴ و ۱۵] اما به دو دلیل عمده این مدل‌ها چندان مورد توجه محققین قرار نگرفته است. اول این‌که، جهت اجرای این روش‌ها لازم است جداول مشاهده‌ای[۷] جهت شبیه‌سازی شرایط استاندارد سطح زمین، به‌منظور محاسبه تصحیحات جوی، تهیه شود. برای تولید این جداول، محاسبات گسترده و پیچیده‌ای نیاز است که استفاده از این روش‌ها را محدود می‌سازد [۱۶]. همچنین این جداول مربوط به زمان خاص بوده و در صورت تغییر پدیده‌های سطح زمین در زمان‌های مختلف نمی‌توانند شرایط استاندارد را به‌خوبی شبیه‌سازی نمایند. دومین دلیل این است که برای اجرا و پیاده‌سازی اینگونه مدل‌ها به متخصصین سنجش از دور نیاز است. این در حالی است که در سالیان اخیر با فراگیر شدن علم سنجش از دور در علوم مختلف (همانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیای[۸]، هیدرولوژی، مهندسی آب، محیط زیست و موارد مشابه با آن) امکان پیاده‌سازی اینگونه مدل‌ها برای کاربرانی با تخصص‌هایی به غیر از سنجش از دور تا حدودی سخت و مشکل است [۵]. لذا باتوجه به مشکلات مذکور در به‌کارگیری

[1] *Observed*
[2] *Scattering*
[3] *Albedo*
[4] منظور آلبیدو پهن باند است که کل طیف موج کوتاه را دربرمی‌گیرد.
[5] *Radiation Transfer Models* (*RTMs*)
[6] *MODTRAN*
[7] *Look-up tables*
[8] *Geographic Information Systems (GIS)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

مدل‌های *RTM* ، مدل‌های ساده‌تر تصحیحات جوی توسعه داده شدند [۱۶، ۱۷ و ۱۸]. ازجمله این روش‌ها می‌توان به روش تفریق تاریک *DOS*[۱] و نسخه‌های بهبود یافته آن اشاره کرد [۱۹، ۲۰ و ۲۱] که به سادگی اثر میرایی تابش[۲]، که ناشی از کدورت[۳] اتمسفر هستند؛ از تصاویر ماهواره‌ای حذف می‌نمایند. این تکنیک‌ها به دلیل سهولت در اجرا به‌طور گسترده در بسیاری از پروژه‌های کاربردی و عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما معایبی هم دارند که استفاده از آن را محدود می‌سازند. برای مثال نمی‌توان از این مدل‌ها برای تصحیح جوی سطوح با بازتابندگی‌های ۰٫۱۵ و بالاتر، استفاده نمود[۲۲]. اگرچه این مشکل در روش *DOS* با استفاده از پیکسل‌های تاریک و روشن به عنوان واسنجی و با بهره‌گیری از روش خط تجربی[۴] مرتفع می‌شود [۲۳ و ۲۴]، اما انتخاب این نقاط از اهداف زمینی معیّن، جهت استفاده برای مناطق با وسعت زیاد و همچنین تصاویر ثبت شده در تاریخ‌های گذشته، با محدودیت مواجه است [۵]. در این راستا تعدادی از روش های تصحیح اتمسفر توسعه یافته‌اند اما الگوریتم‌های انتقال تابش[۵] و داده های مشخصه جو[۶]، دارای بیشترین پتانسیل جهت استفاده در برنامه‌های کاربردی در مقیاس بزرگ و اجرای خودکار هستند. به‌عنوان مثال، از سال ۲۰۰۰ باندهای سنجنده مادیس با استفاده از کد انتقال تابشی *6SV* برای تصحیح مقادیر باتابندگی روزانه و تولید محصولات روزانه ۸ روزه استفاده می‌شود[۲۵ و ۲۶]. اخیراً، دقت دو الگوریتم تصحیح اتمسفری شامل الگوریتم *LEDAPS*[۷] [۲۷] و یک الگوریتم تصحیح اتمسفری ماهواره لندست مبتنی بر مادیس[۸] ارزیابی شد[۲۸ و ۲۹]. در این پژوهش‌ها از الگوریتم *6SV* و داده‌های طیف‌سنج ی[۹] دستگاه آئرونت[۱۰] استفاده گردید. نتایج نشان داد، الگوریتم *6SV* بجز باند سبز در تمامی باندهای لندست (*ETM+*) عملکرد بهتری از الگوریتم *LEDAPS* داشته است. در پژوهش‌های دیگر، روش‌های با اجرای ساده‌تر مانند فلش[۱۱] و کواک[۱۲] مورد ارزیابی قرار گرفتند [۳۰ و ۳۱]. نتایج حاکی از آن بود که روش فلش به دلیل سهولت اجرا و همچنین نتایج قابل قبول در تصحیح اثرات اتمسفر دارای ارجحیت بیشتری است. با توجه به اینکه روش *S6* و روش‌های مشابه دیگر نیاز به اطلاعات مشاهداتی زیادی دارند لذا در تمام مکان‌ها قابلیت اجرا ندارد. اما باید به این نکته نیز اشاره نمود که هرچه قابلیّت اجرای روش‌های تصحیح اتمسفری ساده‌تر و اطلاعات ورودی کمتری نیاز داشته باشند، مجموعه کمتری از اثرات را حذف نموده و در نتیجه نتایج ضعیف‌تر خواهد بود. در ایران نیز تحقیقات بسیار اندکی در راستای معرفی و اجرای روش‌های اتمسفری انجام گرفته است که همگی بر افزایش میزان دقت برآوردها پس از اجرای مدل‌های تصحیح جوّی هرچند ساده اذعان داشتند. به طور مثال سپهری در سال ۲۰۰۳، از مدل تصحیح جوی لاوریو برای تصحیح تصویر ماهواره‌ای لندست ۵ در منطقه کوهستانی استفاده نموده است. نتایج این تحقیق نشان داد که روش مذکور قادر است به‌طور قابل ملاحظه‌ای تیرگی تصویر را برطرف نموده و دقت طبقه بندی پوشش گیاهی را افزایش می‌دهد. در تحقیقی دیگر بهرام‌بیگی و همکاران (۲۰۱۵) دو روش ساده کواک و روش میانگین نسبی

[1] *Dark-Object Subtraction (DOS)*
[2] *Radiative Attenuation*
[3] *Haze*
[4] *Empirical Line Method*
[5] *Radiative Transfer Algorithms*
[6] *Atmospheric Characterization Data*
[7] *The Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS)*
[8] *A MODIS-based Landsat atmospheric correction algorithm*
[9] *Sun-Photometer*
[10] *AERONET*
[11] *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH)*
[12] *Quick Atmospheric Correction (QUAC)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

بازتاب‌ها *IARR*[1] روی تصویر هایپریونِ پهنه آرژیلیک[2] در منطقه آتشفشان مساحیم[3] پرداخته شده است که نتایج حاکی از تصحیح جوی *IARR* پیش پردازشی مناسب و کم‌هزینه برای بازیافت اطلاعات طیفی داده‌های ابرطیفی بوده است.

هدف اصلی از تحقیق حاضر، ارائه، پیاده‌سازی و ارزیابی روشی کاربردی، جهت تصحیح اثرات جوّ می‌باشد که توسط تاسومی و همکاران (۲۰۰۸) توسعه داده شده است. این روش برای نخستین بار در تحقیق حاضر، روی تصاویر سنجنده *OLI* (به عنوان یکی از پرکاربردترین سنجنده‌های مطالعات سنجش از دوری[۳۴]) جهت برآورد بازتابندگی سطحی و همچنین برآورد آلبیدو سطحی، در مناطق گرم و خشک استفاده شده است. این روش نسبت به بسیاری از روش‌های مرسوم دیگر به اطلاعات کمتری نیاز دارد و همچنین اجرای آن نیز به متخصّصین سنجش از دور وابسته نیست. لازم به ذکر است منظور از حذف اثرات جوی در تحقیق حاضر، حذف اثرات مربوط به موانعی همانند ابرها، طوفان‌های گردوغبار و آلاینده‌های غلیظ صنعتی نیست [۳۵ و ۳۶]، بلکه منظور حذف آن بخش از اثراتی است که در اثر وجود رطوبت هوا، ریزگردها و یا موارد مشابه با آن در شرایط جوی صاف[4]، منجر به کدورت تصاویر ماهواره‌ای می‌گردد[۳۷]. در این راستا، بخشی از حوضه آبریز زاینده‌رود که دارای تنوع مناسبی از کاربری‌های مختلف است به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا منطقه مطالعاتی معرفی می‌شود و سپس داده‌های هواشناسی و سنجش از دوری استفاده شده در تحقیق حاضر، شرح داده می‌شوند. در ادامه مراحل برآورد آلبیدو و چگونگی اعمال تصحیح‌های انجام شده به صورت مرحله‌ای و با توصیف روابط کاربردی ارائه می‌شود.

۲-۱- منطقه مطالعاتی

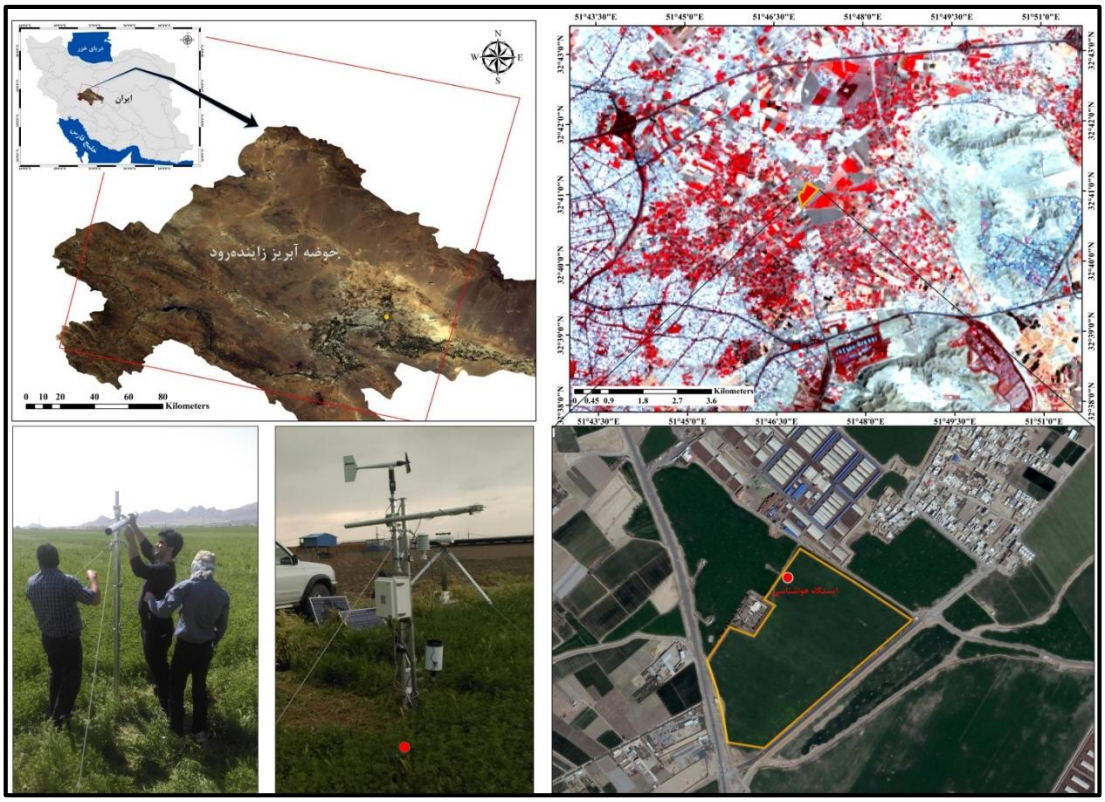
حوضه آبریز زاینده‌رود با وسعت تقریبی ۲۷۰۰۰ کیلومتر مربع در برگیرنده قسمت عمده‌ای از حوضه آبریز بسته تالاب گاوخونی به مساحت ۴۱۵۰۰ کیلومترمربع است که خود جزئی از حوضه آبریز درجه یک فلات مرکزی ایران محسوب می‌گردد. این حوضه در محدوده جغرافیایی ´۲۰ °۵۰ تا ´۲۰ °۵۳ طول شرقی و ´۱۵ °۳۱ تا ´۴۵ °۳۳ عرض شمالی و با ارتفاع متوسط ۱۹۹۰ متر از سطح دریا قرار گرفته و دارای آب و هوایی متنوع، از خشک بیابانی (محدوده استان اصفهان) تا مرطوب کوهستانی (محدوده استان شهرکرد) می‌باشد. در تحقیق حاضر بخشی از این حوضه آبریز (حدود ۷۰ درصد) مطابق شکل (۱) به عنوان منطقه مورد مطالعه (همپوشانی با موزاییک گذر ۱۶۴ و عبور ۳۷) جهت پیاده‌سازی و ارزیابی روش تصحیح جوی در نظر گرفته شد. این بخش از حوضه در برگیرنده اراضی با کاربری‌های مختلف است که به سبب تنوع آلبیدو، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه جهت پیاده‌سازی روش تصحیح جوی مناسب خواهد بود؛ زیرا می‌توان اثر آن را برروی انواع کاربری‌های اراضی مورد ارزیابی قرار داد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

جهت پیاده‌سازی این روش تصحیح جوّی نیاز است تا پارامترهای دقیق هواشناسی همانند پارامتر فشار بخار هوا اندازه‌گیری شود. باتوجه به نبود ایستگاه در نزدیک مناطق کشاورزی و کاربری با تنوع بالا لذا نیاز بود، ایستگاه هواشناسی مجهّزی در منطقه‌ای با کاربری‌های اراضی متنوع علاوه بر ایستگاه‌های هواشناسی احداث شود. در این راستا، ایستگاه مذکور در موقعیت جغرافیایی با عرض ´۰۵ ´۴۱ °۳۲ شمالی و طول ´۰۰ ´۴۷ °۵۱ شرقی نصب شد که در شکل(۱) موقعیت ایستگاه با رنگ نارنجی در منطقه قابل مشاهده است.

[1] *Internal Average RelativeReflectance*
[2] *Argillic Alteration Zone*
[3] *MasahimVolcanic Crater*
[4] در اتمسفر صاف (یا استاندارد) دید افقی بیشتر از ۱۲ کیلومتر است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]



شکل۱: محدوده جغرافیایی منطقه موردمطالعه مربوط به حوضه آبریز زاینده‌رود

همچنین از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک اصفهان، شرق اصفهان، کاشان و نائین جهت برآورد آلبیدو در سطح حوضه آبریز استفاده شده است؛ اما در تحقیق حاضر، صرفا نتایج ایستگاه احداث شده (شکل (۱)) در منطقه مورد نظر جهت ارزیابی نتایج، اسفاده شد؛ زیرا فقط در این ایستگاه شرایطی همچون تنوع کاربری بالا و همچنین استانداردهای ذکر شده در مراجع جهت ارزیابی نتایج، رعایت شده بود.

همان‌طور که بیان شد هدف اصلی این پژوهش به‌دست آوردن آلبیدو از بازتابندگی‌های تصحیح شده در سنجنده *OLI* با قدرت تفکیک ۳۰ متر می‌باشد. این در حالی است که محصولات بازتابش دو جهتی (*BRDF*[1]) سنجنده مادیس باقدرت مکانی پایین‌تر (۵۰۰ متر) با دقت مناسب توسط ناسا ارائه شده و می‌توان از این داده‌ها به‌منظور ارزیابی صحت روش ارائه شده؛ استفاده کرد [۳۸ و ۳۹]. این محصولات در چندین سطح ارائه شده‌اند که در تحقیق حاضر از محصولات *MCD43A3* (آلبیدو) و *MCD43A4* (بازتابندگی تصحیح شده) به‌منظور اعتبارسنجی نتایج، استفاده شد (جدول (۱)). در این راستا نسخه ششم محصولات *BRDF*[2] ۱۶ روزه مادیس با مختصات *h22V05* مربوط به محدوده ایران تهیه شد. این محصولات با نام‌های *MCD43A3* و *MCD43A4* به ترتیب شامل مقدار آلبیدو و بازتابندگی تصحیح شده هستند که با مقیاس ۵۰۰ متر، در دسترس عموم می‌باشند. علاوه بر این میزان بازتابندگی تصحیح شده تصاویر سنجنده *OLI* و با بازتابندگی محصول

[1] *Bidirectional Reflectance Distribution Function*

[2] از توابع توزیع دو راستایی جهت میزان بازتابندگی در راستایی معین استفاده می‌گردد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

MCD43A4 در نقاط نمونه برداری که کاربری به‌صورت دقیق از طریق بازدید میدانی مشخص شده است؛ ارزیابی می‌شود. تعداد این نمونه‌ها به تفکیک هر کاربری، در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات تصاویر استفاده شده در تحقیق حاضر

شماره	شماره روز ژولیوسی	تاریخ	سنجنده *OLI*			سنجنده مادیس	
			ساعت محلی	گذر	عبور	*MCD43A3*	*MCD43A4*
۱	۱۴۰	۳۰/اردیبهشت/۱۳۹۵	۱۰:۳۸	۱۶۴	۳۷	✓	✓
۲	۱۵۶	۱۵/خرداد/۱۳۹۵	۱۰:۳۸	۱۶۴	۳۷	✓	✓
۳	۱۷۲	۳۰/خرداد/۱۳۹۵	۱۰:۳۸	۱۶۴	۳۷	✓	✓
۴	۲۰۴	۰۱/مرداد/۱۳۹۵	۱۰:۳۸	۱۶۴	۳۷	✓	✓
۵	۲۲۰	۱۷/مرداد/۱۳۹۵	۱۰:۳۸	۱۶۴	۳۷	✓	✓
۶	۲۳۶	۰۲/شهریور/۱۳۹۵	۱۰:۳۹	۱۶۴	۳۷	✓	✓

جدول ۲: تعداد نمونه‌های مشاهداتی از کاربری‌های غالب حوضه آبریز زاینده رود

کاربری‌ها	کشت آبی و باغات	بیابانی با خاک روشن	خاک‌های تیره با درصد موادآلی بالا	آب	مراتع
تعداد محدوده‌های مشاهداتی	۶۶	۴۹	۴۶	۳۸	۵۱

۲-۳- انجام محاسبات آلبیدو بدون انجام تصحیحات جوی

با توجه به محدودیت‌های فیزیکی و فنی برای اجرای تصحیحات جوی، معمولاً در تعداد محدودی از پروژه‌های عملیاتی از تصحیحات جوی برای برآورد آلبیدو استفاده شده است [۴۰]. بنابراین در قالب تحقیقات انجام شده، مقدار آلبیدوی سطح زمین از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۴۱،۴۲،۴۳،۴۴و۴۵].

$$a_s = \frac{a_t - a_a}{\tau_{sw}^2} \quad \text{رابطه(۱)}$$

در این رابطه، a_s نشان دهنده آلبیدوی سطحی، a_t نشان دهنده آلبیدوی ثبت شده توسط سنجنده در خارج از جوّ (که خود از مقادیر بازتابندگی بالای جو (TOA[1]) محاسبه می‌گردد) و a_a نیز نشان‌دهنده آلبیدوی ناشی از مسیر عبور امواج الکترومغناطیسی است. باتوجه به‌اینکه a_a برای کل محدوده طیف انعکاسی الکترومغناطیسی مقدار ناچیزی است، معمولاً جهت ساده‌سازی برابر با عدد ثابت بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۴ (معمولاً ۰/۰۳) در نظر گرفته می‌شود [۴۳]. τ_{sw} نیز شفافیت جوی است که برابر با عبور دو طرفه امواج الکترومغناطیسی از جو است که می‌توان با ساده‌سازی از معادله تجربی ارائه شده توسط *FAO-56* با استفاده‌از مدل ارتفاعی رقومی (Z) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\tau_{sw} = 0.75 + Z \times 2 \times 10^{-5} \quad \text{رابطه(۲)}$$

[1] *Top Of Atmosphere*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از رابطه (۱) ممکن است در برآورد جز تابش خالص در محاسبات بیلان انرژی دارای برآورد کمتر از مقدار واقعی باشد. به‌طور مثال در صورت استفاده از رابطه یاد شده در محاسبه تبخیر- تعرق واقعی، مقدار تبخیر- تعرق در سطوح خاکی روشن فاقد پوشش گیاهی در حدود ۱۵ درصد بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌گردد [۴۶].

۲-۴- برآورد آلبیدو با اعمال تصحیحات جوی

روش حاضر توسط تاسومی[1] و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شد که روشی سریع و کاربردی در جهت اعمال تصحیحات جوّی است. در روش یاد شده پس از محاسبه بازتابندگی *TOA* تصحیحات جوّی برای هر باند به صورت مجزا و مختص همان طول موج اعمال می‌شود. سپس متناسب با شدت تابش ورودی خورشیدی[2] به سطح زمین، بر اساس وزن دهی برای هر باند، مقدار آلبیدوی سطحی برآورد می‌گردد. از روش یاد شده می‌توان مقدار آلبیدو سطحی را در سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی متوسط (همانند سنجنده *OLI*) و حتی پایین (همانند مناطق نزدیک به نادیر سنجنده مادیس) برآورد کرد. به طور کلی مراحل اجرا و صحت‌سنجی این روش در شکل (۲) نشان داده شده است.

۲-۴-۱- محاسبه بازتابندگی بالای جوّ

محاسبه بازتابندگی بالای جوّ اولین مرحله از فرآیند تصحیحات جوّی است. میزان بازتابندگی ثبت شده توسط سنجنده در بالای جوّ ($\rho_{t,b}$) از رابطه(۳) محاسبه میشود.

$$\rho_{t,b} = \frac{\pi \,.\, L_{t,b} \,.\, d^2}{ESUN_b \,.\, Cos\,\theta_{rel}}$$ رابطه(۳)

در رابطه (۳) $L_{t,b}$ مقدار انرژی بازتابیده از سطح زمین ثبت شده توسط ماهواره (وات بر مترمربع .استرارادیان. میکرومتر)، θ_{rel} زاویه زنیتی خورشید (برحسب رادیان)، $ESUN_b$ میانگین تابش خارج از جوّ خورشید[3] (وات بر مترمربع . میکرومتر) برای هر باند است (جدول(۳)). همچنین π عدد ثابت ۳/۱۴۱۵۹ و d، فاصله زمین تا خورشید در واحد نجومی است که باتوجه به شماره روز ژولیوسی[4] (DOY) در سال از رابطه(۴) محاسبه می‌شود.

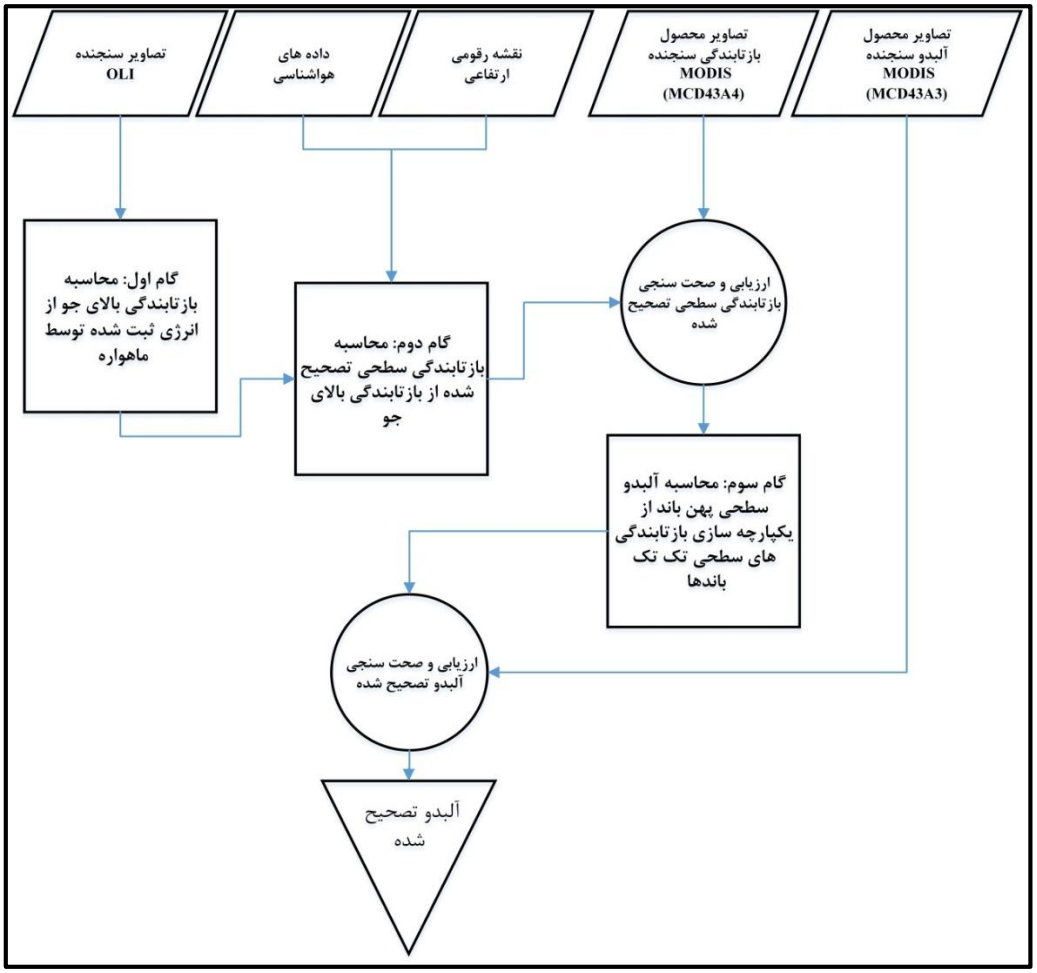
$$d^2 = \frac{1}{1+0033 \,.\, Cos\,(DOY \,.\, {}^{2\pi}/_{365})}$$ رابطه(۴)

جدول ۳: مقادیر *ESUN* برآورد شده برای هر باند ماهواره لندست-۸ [۴۷]

شماره باند	محدوده باندی	*ESUN*
۱	آئروسل	۱۷۱۹
۲	آبی	۱۷۸۷
۳	سبز	۱۷۴۶
۴	قرمز	۱۵۳۶
۵	مادون‌قرمز نزدیک	۹۹۷
۶	مادون‌قرمز موج‌کوتاه -۱	۸۱۱
۷	مادون‌قرمز موج‌کوتاه-۲	۷۵
۸	پانکروماتیک	۱۶۹۱

[1] *Tasumi*
[2] *Exoatmospheric Radiation*
[3] *Mean solar exoatmospheric radiation over band b*
[4] *Julian Day Number*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]



شکل ۲: مراحل برآورد آلبیدو تصحیح شده در تحقیق حاضر

۲-۴-۲- محاسبه بازتابندگی سطح تصحیح شده

تصحیحات جوی برروی بازتابندگی سطحی بالای جو، شامل حذف اثر سه عامل، پخش و جذب تابش ورودی خورشید و همچنین پخش بازتابندگی منعکس شده از سطح است. بنابراین بازتابندگی سطحی برای هر باند مانند "b" از رابطه(۵) محاسبه می‌شود.

رابطه(۵) $$\rho_{s,b} = \frac{R_{out,s,b}}{R_{in,s,b}} = \frac{\rho_{t,b} - \rho_{a,b}}{\tau_{in,b}.\tau_{out,b}}$$

که در آن $\rho_{s,b}$ بازتابندگی سطحی، $R_{in,s,b}$ و $R_{out,s,b}$ به ترتیب میانگین تابش سطحی ورودی و منعکس‌شده مربوط به هر باند است (برحسب وات بر مترمربع بر میکرومتر). همچنین $\tau_{in,b}$ و $\tau_{out,b}$ به ترتیب برابر است با اثر عبور با پهنای کم باند در طول موج‌های کوتاه، مربوط به تابش خورشید ورودی و تابش منعکس شده از سطح در هر باند می‌باشد. $\rho_{a,b}$ بازتابندگی اتمسفر برای باندی مانند b از رابطه(۶) محاسبه می‌گردد.

رابطه(۶) $$\rho_{a,b} = C_b \times (1 - \tau_{in,b})$$

ثابت C_b برای هر کدام از باندهای سنجنده OLI در جدول(۴) قابل مشاهده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

همچنین پارامترهای $\tau_{in,b}$ و $\tau_{out,b}$ معرف میرایی تابش به‌صورت مستقیم[1] و پخشی[2] است که از معادلات عبور جداگانه برای هر باند قابل محاسبه هستند. فرمت معادلات این دو متغیر شبیه به توابع عبور باریک باند (معادله عمومی) است که توسط ماجومدار[3] و همکاران توسعه داده شده است[۴۸]. این معادلات توسط *FAO* و *EWRI* برای محاسبه تبخیر- تعرق به‌صورت استاندارد ارائه شده است[۳۵, ۳۶].

در آخرین بروزرسانی، تاسومی و همکاران (۲۰۰۸) معادلات شفافیت جوی (رابطه (۷) و (۱۰)) را به شکل ذیل ارائه کردند. میزان شفافیت جوّی مربوط به پهنای کم‌باند برای تابش خورشید ورودی از رابطه(۷) بدست می‌آید.

رابطه(۷) $$\tau_{in,b}=C_1\ exp\left[\frac{C_2 p_{\text{هوا}}-C_3 W-C_4}{\cos\theta}\right]+C_5$$

که در آن $p_{\text{هوا}}$ فشار هوا (کیلو پاسکال)، θ زاویه زنیتی خورشید (رادیان)، W آب قابل بارش جو (میلی‌متر)، C_1 تا C_5 ثابت بسته به هر باند متفاوت است. $p_{\text{هوا}}/\cos\theta$ جانشین برای توده جوی و طول مسیر اپتیکی می‌باشد که پارامتر میزان فشار هوا (کیلو پاسکال)، از رابطه(۸) حاصل می‌شود.

رابطه(۸) $$p_{\text{هوا}}=101.3\left(\frac{293.0-0.0065Z}{293.0}\right)^{5.26}$$

در این رابطه Z میزان ارتفاع از سطح دریا و عدد ثابت ۲۹۳ دمای هوا برحسب درجه کلوین در مناطق کشاورزی است. برای محاسبه این پارامتر هنگامی که به دقت بالاتر (استفاده از تصاویر سنجنده *OLI*)نیاز است، از با استفاده از پارامتر فشار بخار هوا (e_a)، از رابطه(۹) قابل برآورد است [۴۹].

رابطه(۹) $$W=0.14\times e_a\times p_{\text{هوا}}+2.1$$

همچنین میزان شـــفافیت جوی مربوط به تابش طول موج‌کوتاه منعکس‌شده از سطح نیز از رابطه(۱۰)حاصل می‌شود.

رابطه(۱۰) $$\tau_{out,b}=C_1\ exp\left[\frac{C_2 p_{\text{هوا}}-C_3 W-C_4}{\cos\eta}\right]+C_5$$

در آن η زاویه دید سنجنده نسبت به قائم برحسب رادیان است که مقادیر آن بین صفر (کاملاً عمود بر سطح) تا نود (کاملاً افقی) متغیر می‌باشد. لازم به ذکر است که ثابت‌های C_5-C_1 که در معادله (۳)و (۶) یکسان بوده و مقادیر آن‌ها توسط تاسومی و همکاران (۲۰۰۸) برای ماهواره لندست در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: مقادیر واسنجی شده C_1 تا C_2.و همچنین مقدار C_b مربوط به ماهواره لندست برای هر باند[۵]

سنجنده	پارامتر	باند۱	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۷
لندست	*C1*	-	۰٫۹۸۷	۲٫۳۱۹	۰٫۹۵۱	۰٫۳۷۵	۰٫۲۳۴	۰٫۳۵۶
	C2	-	-۰٫۰۰۰۷۱	-۰٫۰۰۰۱۶	-۰٫۰۰۰۳۳	-۰٫۰۰۰۴۸	-۰٫۰۰۱۰۱	-۰٫۰۰۰۹۷
	C3	-	۰٫۰۰۰۰۳۶	۰٫۰۰۰۱۰۵	۰٫۰۰۰۲۸	۰٫۰۰۵۰۱۸	۰٫۰۰۴۳۳۶	۰٫۰۰۴۲۹۶
	C4	-	۰٫۰۸۸۰	۰٫۰۴۳۷	۰٫۰۸۷۵	۰٫۱۳۵۵	۰٫۰۵۶۰	۰٫۰۱۵۵
	C5	-	۰٫۰۷۸۹	-۱٫۲۶۹۷	۰٫۱۰۱۴	۰٫۶۶۲۱	۰٫۷۷۵۷	۰٫۶۳۹
	C_b	-	۰٫۶۴۰	۰٫۳۱۰	۰٫۲۸۶	۰٫۱۸۹	۰٫۲۷۴	۰٫۱۸۶

[1] *Beam*
[2] *Diffuse*
[3] *Majumdar*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

۲-۴-۳- محاسبه آلبیدو سطحی پهن‌باند از یکپارچه‌سازی بازتابش سطحی هر باند

در مرحله آخر برای محاسبه آلبیدو سطحی عریض باند از تمامی بازتابندگی‌های سطحی با پهن‌های کم‌باند مربوط به تک‌تک باندهای ماهواره‌های مختلف با توجه به تحقیق استارکس[1] و همکاران (۱۹۹۱) از رابطه(۱۱) محاسبه می‌شود.

$$a_s = \sum_{b=1}^{7} \left[\rho_{s,b} \cdot w_b\right] \quad \text{رابطه(۱۱)}$$

در اینجا $\rho_{s,b}$ بازتابندگی سطحی و w_b ضریب وزنی می‌باشد که در جدول (۵) مقادیر آن برای هر باند (محدوده طیفی مشخص) از تصاویر سنجنده *OLI* قابل مشاهده می‌باشد. در نهایت می‌توان با استفاده از اطلاعات ارائه شده در جدول (۵) و رابطه (۱۱) میزان بازتابندگی سطحی را برآورد کرد.

جدول ۵: ضرایب وزنی کسر تابش سطحی خورشید مربوط به محدوده طیفی هر باند [۵]

نام ماهواره	نام سنجنده	میزان وزن مربوط به هر باند							
		w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	جمع
لندست-۸	*OLI*	-	۰/۲۵۷۰	۰/۲۵۱۲	۰/۲۲۰۹	۰/۱۴۳۴	۰/۱۱۶۷	۰/۰۱۰۸	۱/۰۰

۳- بحث و نتایج

در ادامه، ابتدا میزان تغییرات بازتابندگی و سپس آلبیدو پهن باند، قبل و بعد از تصحیح جوّی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ادامه نتایج مربوط به تاثیر حذف اثرات جوی در برآورد آلبیدو پهن باند با محصولات مادیس بررسی می‌شوند. علاوه بر این در هر مرحله سعی شده نتایج بدست آمده با سایر پژوهش‌ها نیز مقایسه شود.

مقادیر پارامترهای آماری ضریب همبستگی، مجذور میانگین مربعات خطا و درصد خطا مربوط به بازتابندگی سطحی *OLI* در مقابل محصول *MCD43A4* در ۲۵۰ نمونه انتخابی در محدوده باندهای مختلف قبل و بعد از تصحیح جوی در جدول (۶) قابل مشاهده است. همان‌گونه که از مقایسه ارقام این جدول قابل استنتاج است میانگین همبستگی بازتابندگی دارای مقادیر قابل قبولی هستند. میزان همبستگی در دو روش تغییر چندانی پیدا نکرده است زیرا این روش در روند تغییر خطا به‌صورت مکانی تفاوتی ایجاد نمی‌کند؛ بلکه مقادیر را به صورت پیکسل به پیکسل تصحیح می‌نماید. اما میزان خطا در تمامی باندها کاهش می‌یابد. این مقدار خطای کاهشی حدوداً ۲۴/۶ درصد برآورد شده است (جدول (۶)). این درحالی است که مقادیر درصد خطا در باندهای مختلف، بین مقادیر ۶/۵ (باند مادون قرمز نزدیک) الی ۱۴/۳ (باند آبی) متغیر است. همچنین نتایج نشان می‌دهدکه میزان بازتابندگی به روش تصحیح جوی دارای خطای ناچیزی در حدود ۹/۵ درصد(به صورت میانگین) می‌باشد. لازم به ذکر است که میزان خطای تصحیح جوی در تحقیق‌های دیگر نیز بین ۵ تا ۷ درصد گزارش شده است[۳۸و۵۰]. بدیهی است با حذف منابع خطا شامل تغییر اندازه پیکسل و همچنین تفاوت طول محدوده باندی در این دو سنجنده، مقدار خطا بسیار کاهش می‌یابد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت، روش تصحیح جوّی اعمال شده بروی تصاویر دارای عملکرد مناسبی است.

نتایج آلبیدو پهن باند، قبل و بعد از تصحیح جوّی، در کاربری‌های اراضی مختلف به تفکیک (خاک‌های روشن، بایر سیاه رنگ و کشاورزی) در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، میزان کاهش بازتابندگی در اراضی بایر با رنگ روشن، به واسطه تصحیح جوّی، بیشتر از سایر کاربری‌ها است. این موضوع در تحقیق تاسومی و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان شده است. آن‌ها نشان دادند به واسطه بیش برآورد این پارامتر در این کاربری (درصورت عدم اعمال

[1] *Starks*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

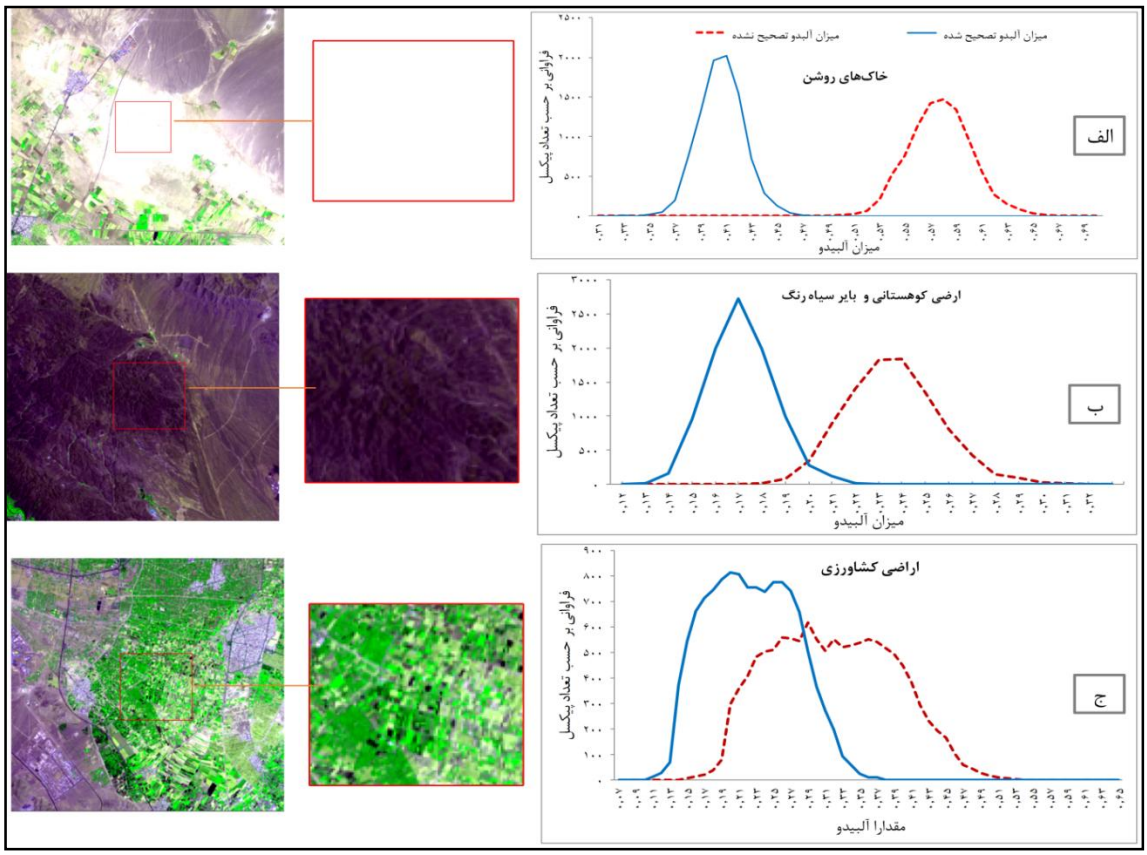
تصحیحات جوی)، میزان تابش خالص دارای کم برآورد است که نتیجه این تأثیر، در برآورد پارامتر تبخیر-تعرق واقعی ایجاد خطای در حدود ۱۵٪ می‌نماید.

در کاربری‌های دیگر مانند کاربری‌های کشاورزی، اگرچه میزان آلبیدو دارای تغییر کمی می‌باشد؛ اما به این دلیل این که این اراضی، سهم ویژه به لحاظ مقدار و اهمیت، در برآورد تبخیر-تعرق واقعی از سطح حوضه آبریز دارند، برآورد دقیق این پارامتر در اراضی کشاورزی بسیار مهم است. از سوی دیگر برآورد این پارامتر در این کاربری دشوارتر نیز خواهد بود. همان‌طور که در شکل(۳) قسمت (ج) دیده می‌شود، نمودار فراوانی مربوط به کاربری کشاورزی برخلاف دو کاربری دیگر (شکل(۳) قسمت (الف) و (ب)) که دارای شکل زنگوله-ای هستند، ذوزنقه است. به این معنی که در دو کاربری دیگر تعداد پیکسل های زیادی از هر کاربری دارای آلبیدو یکسانی هستند، اما در اراضی کشاورزی به دلیل کوچک بودن سطوح مزارع و تنوع کشت، طیف وسیعی از آلبیدو پهن باند به این کاربری تعلق دارد و برآورد این پارامتر در آن دشوارتر از سایر کاربری‌ها است. به‌علاوه، میزان آلبیدو پهن باد قبل و بعد از تصحیحات جوّی در کاربری‌های مختلف، نیز ارزیابی شد. همان‌طور که در شکل(۳) مشاهده می‌شود، نمودار فراوانی آلبیدو پهن باند در تمامی کاربری‌ها، قبل و بعد از تصحیح جوی دارای جابجایی به سمت چپ نمودار است. این امر، نشان می‌دهد که مقدار آلبیدو در کل کاربری‌ها با تصحیح اثر میرای و پخشش بازتابندگی، کاهش می‌یابد و با توجه به نوع کاربری به محدوده قابل اعتمادتری می‌رسد؛ که در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است و مقایسه نتایج با ارقام جدول(۷) ملموس‌تر خواهد بود. اما مقدار این کاهش در کاربری‌های مختلف متفاوت است؛ به طوری که بیشترین تغییر به لحاظ مقدار، قبل و بعد از تصحیح اتمسفر برحسب نوع کاربری به‌ترتیب مربوط به اراضی با خاک روشن، مناطق کوهستانی تیره (دارای مواد آلی بیشتر نسبت به سایر اراضی) و مناطق کشاورزی است.

جدول۶: مقادیر پارامترهای آماری ضریب همبستگی، مجذور میانگین مربعات خطا و درصد خطا مربوط به بازتابندگی سطحی *OLI* در مقابل محصول *MCD43A4* در ۲۵۰ نمونه انتخابی در محدوده باندهای مختلف قبل و بعد از تصحیح جوی

شماره	محدوده باندی	سنجنده مادیس	سنجنده *OLI*	میزان پارامتر آماری قبل از انجام تصحیح جوی			میزان پارامتر آماری بعد از انجام تصحیح جوی			درصد کاهش خطا *RMSE*
				R^2	*RMSE*	درصد خطا	R^2	*RMSE*	درصد خطا	
۱	قرمز	۱	۴	۰/۹۵۸	۰/۰۰۹۹	۸/۳	۰/۹۷۱	۰/۰۰۷۸	۶/۵	۲۸/۲
۲	سبز	۴	۳	۰/۹۶۲	۰/۰۱۱۱	۱۲/۷	۰/۹۷۵	۰/۰۰۸۹	۱۰/۲	۲۴/۴
۳	آبی	۳	۲	۰/۹۲۷	۰/۰۰۹۴	۱۷/۲	۰/۹۶۲	۰/۰۰۸۷	۱۴/۳	۲۰/۶
۴	مادون‌قرمز نزدیک	۲	۵	۰/۹۳۵	۰/۰۱۹۵	۸/۱	۰/۹۵۳	۰/۰۱۵۲	۶/۴	۲۷/۷
۵	مادون‌قرمز میانی	۷	۷	۰/۹۴۹	۰/۰۲۱۵	۱۲/۲۳	۰/۹۷۴	۰/۰۱۷۶	۱۰/۱	۲۲/۱
میانگین				۰/۹۴	۰/۰۱۴۳	۱۱/۷	۰/۹۷	۰/۰۱۱۵	۹/۵	۲۴/۶

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]



شکل ۳: نمودار فراوانی آلبیدو پهن باند با استفاده از روش‌های تصحیح نشده (خط مقطع قرمز) و تصحیح شده (خط ممتد آبی)، در کاربری‌های اراضی با خاک‌های روشن (الف)، زمین‌های بایر سیاه رنگ (ب) و کشاورزی (ج)؛ در هر مورد منطقه نمونه برداری شده با رنگ کاذب در سمت چپ مربوط به هر نمودار نشان داده شده است.

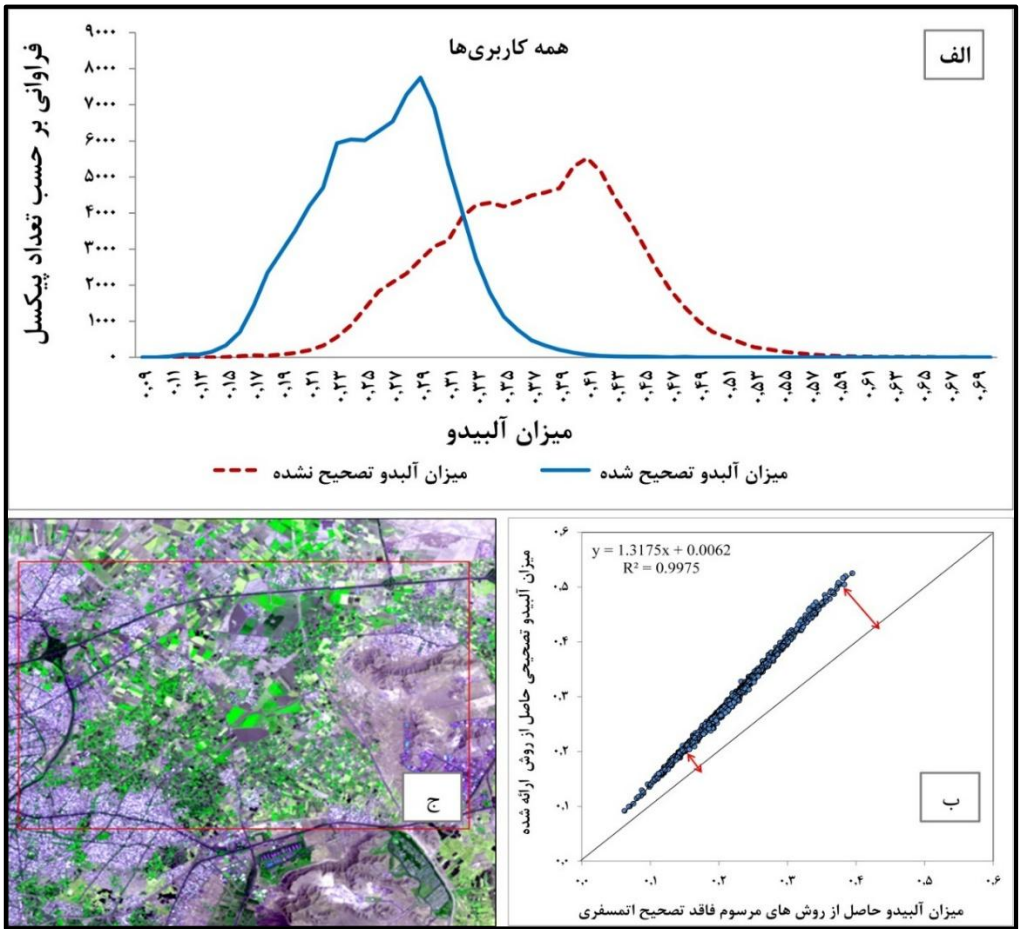
جدول ۷: میزان آلبیدو بر حسب نوع کاربری ارائه شده در تحقیقات مختلف [۵۱]

نوع کاربری	*SARB*[1]	*Matthews (1983)*	*Wilson and HendersonSellers (1985)*	*Brest and Goward (1987)*
جنگل	۰٫۱۲ -۰٫۱۷	۰٫۱۱ – ۰٫۱۸	۰٫۱۳ – ۰٫۱۴	۰٫۰۴۳ -۰٫۲۹
بوته‌زار	۰٫۲۲ – ۰٫۲۳	۰٫۱۶ – ۰٫۲۹	۰٫۱۶ – ۰٫۱۷	-
علفزار / ساوانا	۰٫۱۸	۰٫۲۰ – ۰٫۱۸	۰٫۱۹ – ۰٫۲۰	-
کویر	۰٫۳۶	۰٫۳۰	*a*	-
کشاورزی	*۰٫۱۵	۰٫۱۸	**۰٫۲۰	۰٫۱۷ – ۰٫۴۶
مقیاس مکانی	۱ درجه	۱درجه	۱درجه	۶۰ متر
توضیحات	*a* وابسته به نوع خاک _ حداکثر ۰٫۳۵ *برای مرتع مقدار ۰٫۱۶ برآورد شده است. ** برای اراضی محصولات تحت آبیاری با کشت برنج، شکر، ذرت، پنبه مقدار ۰٫۱۲- ۰٫۲۵ گزارش‌شده است.			

[1] *Surface and Atmospheric Radiation Budget*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

برآیند نمودار فراوانی در محدوده‌ای که دارای کلیّه کاربری‌ها شامل اراضی کشاورزی، آیش، شهری و بایر هستند در شکل (۴) نشان داده شده است.



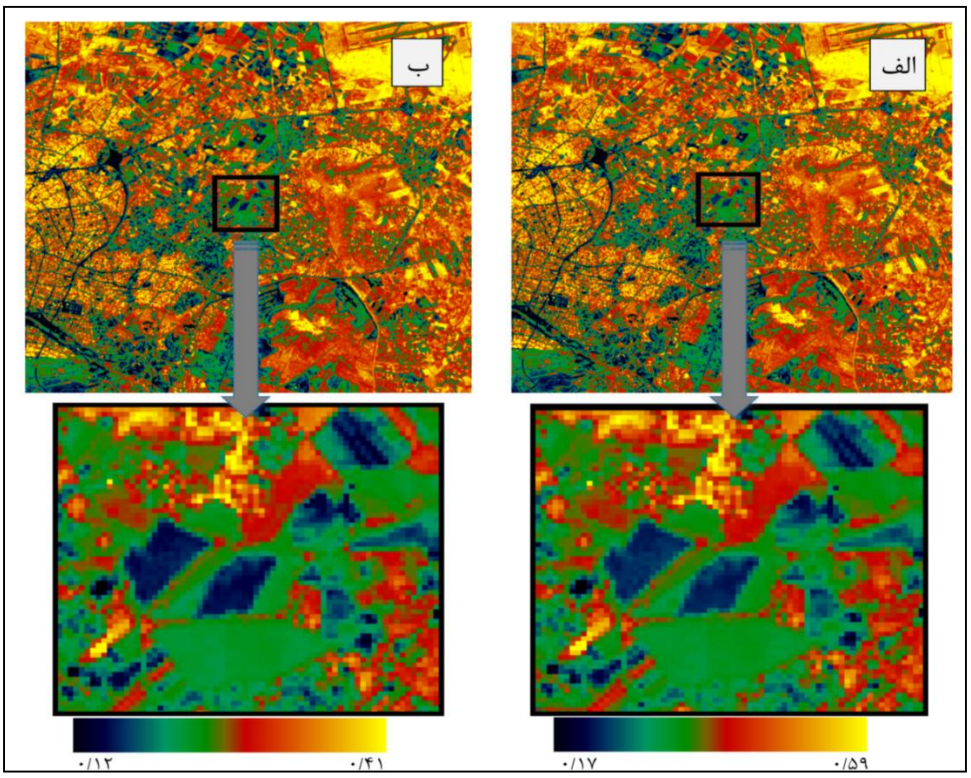
شکل ۴: (الف) نمودار فراوانی و نمودار همبستگی (ب) مقادیر آلبیدو قبل و بعد از تصحیح در کل کاربری‌ها (ج) در روز شماره روز ژولیوسی۲۰۴

مطابق با این نمودار، مقادیر آلبیدو پهن‌باند برآورد شده از تمام کاربری‌ها با استفاده از روش تصحیح شده نسبت به قبل کاهش یافته و در نتیجه نمودار به طرف مقادیر کمتر انتقال پیداکرده است. اما با توجه به اینکه سهم بیشتری از اراضی انتخاب شده به کاربری کشاورزی (که دارای مقادیر مختلف آلبیدو است) اختصاص داده شده است؛ در نتیجه روش تصحیح شده، در قیاس با روش دیگر دارای واریانس نسبتاً کمی نسبت به میانگین است. براین اساس نمودار فراوانی بعد از تصحیح، کشیده‌تر شده است. در قسمت (ب) این شکل مشاهده می‌شود که مقادیر همبستگی مقادیر آلبیدو تصحیح جوّی و تصحیح نشده در کاربری‌های مختلف، دارای همبستگی بسیار بالایی هستند اما در داده‌ها اریبی وجود دارد. مقدار این اریبی در کاربری‌های بایر و کشاورزی به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را دارد. این امر بامقایسه تصاویر آلبیدو قبل و بعد از تصحیح جوّی در سطح منطقه مورد مطالعه در شکل (۵) نیز قابل مقایسه است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود مقادیر این دو روش به لحاظ وقوع و روند بسیار مشابه هستند اما ارزیابی مقادیر این متغیر، دارای اختلاف زیاد است. به‌طور مثال، در مناطق کشاورزی (نقاط آبی رنگ) آلبیدو دارای کمترین مقدار است. این پارامتر با استفاده

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

از روش تصحیح جوّی ۰/۱۲ و روش فاقد تصحیح جوّی ۰/۱۷ برآورد شد. همچنین بیشترین میزان آلبیدو مربوط به زمین‌های بایر (نقاط زرد رنگ) می‌باشد که مقادیر آن با استفاده از روش تصحیح جوّی و فاقد آن در منطقه مطالعاتی به ترتیب ۰/۴۱ و ۰/۵۹ تخمین زده شد که این مقادیر از مقدار نرمال بالاتر است (جدول (۷))، اما با تصحیح جوّی این اریبی کاهش می‌یابد. برای ارزیابی این مطلب ۲۵۰ نمونه از ۵ کاربری اصلی (شامل، بیابان‌ها با خاک‌های روشن، مناطق باخاک تیره، مراتع، اراضی کشاورزی و آب) در منطقه مطالعاتی برداشت و با مقادیر محصول *MCD43A3* مقایسه شد که نتایج آن در شکل‌های (۳) و (۴) نمایش داده شده است.

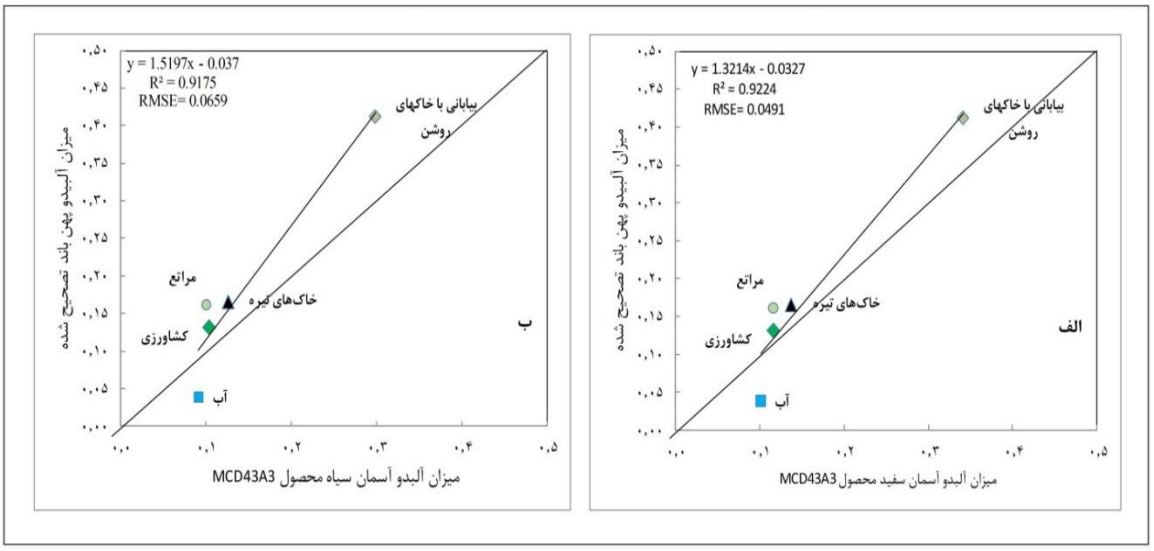
با میانگین‌گیری میزان آلبیدو در ۲۵۰ نقطه مشاهداتی در کاربری‌های مختلف مربوط به زمان و منطقه موردمطالعه، میزان همبستگی و خطا را با استفاده از روش تصحیح جوّی در مقایسه با محصول *MCD43A3* در شرایط مفروض آسمان سفید و سیاه محاسبه شد(شکل(۶)). همان‌طور که از این شکل می‌توان استنباط نمود، مقدار اریبی آلبیدو با اعمال تصحیح جوّی، کاهش می‌یابد. مقایسه مقادیر برآورد شده در کاربری‌های مختلف، با محصول *MCD43A3* در شرایط مفروض آسمان سفید از هم‌خوانی بیشتری برخوردار است. میزان میانگین مربعات خطا آلبیدو برآورد شده و محصول مادیس در شرایط مفروض آسمان سفید و سیاه به ترتیب برابر ۰/۰۴۹ و ۰/۰۶۶ هستند.



شکل ۵: میزان آلبیدو محاسباتی با استفاده از سنجنده *OLI* و روش‌های ساده فاقد تصحیح جوی (الف) و تصحیح شده به روش تاسومی (ب) می‌باشند

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]



شکل ۶: میزان همبستگی و خطای حاصل از آلبیدو تصحیح شده و محصول *MCD43A3* در شرایط مفروض الف) آسمان سفید و ب)آسمان سیاه مربوط به میانگین ۲۵۰ نقطه مشاهداتی در کاربری‌های مختلف

۴- نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر حذف اثر جوّ و به‌دست آوردن آلبیدو با قدرت مکانی بالا (۳۰ متر) بوده است. در این‌راستا با بررسی مراجع، روشی کاربردی جهت برآورد آلبیدو با اجرای تصحیح جوّی استخراج شد. در این‌روش پس از حذف اثرات عبور با پهنای کم‌باند در محدوده طول موج‌کوتاه برای تابش خورشید ورودی و منعکس شده از سطح، میزان بازتابندگی سطحی پدیده‌ها و مقدار آلبیدو پهن‌باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر حاصل می‌شود.

به‌منظور ارزیابی نتایج، در مرحله اول مقادیر بازتابندگی تصحیح جوّی تصاویر سنجنده *OLI* و محصول *BRDF* سنجنده مادیس (*MACD43A4*) ارزیابی شدند که نتایج نشان دهنده همبستگی بالا (بین ۰/۹۵ تا ۰/۹۷) این دو مقدار و اندکی خطا (در حدود ۹/۵ درصد) بوده است. در مرحله دوم صحّت نقشه‌های آلبیدو پهن‌باند تصحیح شده با مقادیر آلبیدو محصول *MCD43A3* سنجنده مادیس مدنظر قرار گرفت؛ که نتایج حاکی از دقت قابل قبول عددی و مکانی آلبیدو تصحیح شده برآوردی، داشت. باتوجه به قدرت تفکیک مناسب ماهواره لندست-۸ مقدار این پارامتر در پدیده‌های مختلف به خوبی مشخص‌تر از محصول *BRDF* است. درادامه مقادیر آلبیدو پهن‌باند حاصل از دو روش ارائه شده در کاربری‌های مختلف نیز ارزیابی شد. نتایج این ارزیابی نشان داد که روش معمول برآورد آلبیدو نسبت به روش تصحیح جوّی ارائه شده، دارای بیش برآورد است؛ به‌طوری‌که در حوزه آبریز زاینده‌رود با اعمال تصحیح جوّی، میزان آلبیدو در نقاط حدّی حدوداً بین ۰/۰۵ - ۰/۱۸ کاهش یافته و به مقدارقابل اعتمادتری از دیدگاه سایر مطالعات انجام شده رسید. مقایسه مقادیر برآورد شده در کاربری‌های مختلف با این محصول در شرایط مفروض آسمان سفید از همخوانی بیشتری برخوردار بود. میزان میانگین مربعات خطا آلبیدو برآورد شده و محصول مادیس در شرایط مفروض آسمان سفید و سیاه به ترتیب برابر ۰/۰۴۹ و ۰/۰۶۶ هستند.

ارزیابی آلبیدو در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد که بیشترین تغییر قبل و بعد از تصحیح جوّی، به‌ترتیب مربوط به اراضی بایر با خاک روشن، مناطق کوهستانی تیره و مناطق کشاورزی است. اگرچه در پوشش‌های گیاهی میزان آلبیدو دارای کمترین تغیر می‌باشد، اما به‌دلیل اینکه اراضی کشاورزی سهم ویژه به لحاظ مقدار و اهمیت، در برآورد تبخیرتعرق واقعی از سطح حوضه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

آبریز دارند؛ در نتیجه برآورد دقیق این پارامتر در اراضی کشاورزی، بسیار مهم‌تر از سایر کاربری‌ها است. در تحقیق حاضر میزان آلبیدو تصحیح شده در محدوده کشاورزی متغیر و بین ۰٫۱۲ الی ۰٫۲۹ برآورد شد. به‌طورکلی باتوجه به مشاهدات دقت و صحت، محاسبه مقادیر آلبیدو قبل و بعد از تصحیح جوّی در کاربری‌های مختلف، باعث بهبود نتایج می‌شود. این مسأله حتی در روزهای صاف و منطقه گرم و خشک (مانند حوضه آبریز زاینده رود)که اثر اتمسفر بر بازتابندگی تأثیر کمتری دارد، نیز صادق است. لذا، استفاده از روش تصحیح جوّی ارائه شده در تحقیق حاضر جهت برآورد مقدار آلبیدو به‌خصوص در مواردی که این متغیر به‌صورت خودکار و در مناطق وسیع با ویژگی آب‌وهوایی متفاوت، برآورد می‌گردد؛ پیشنهاد می‌شود.

مراجع

[1] *Y. Kaufman, D. Tanré, H. Gordon, T. Nakajima, J. Lenoble, R. Frouin, et al., "Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 102, pp. 16815-16830, 1.997.*

[2] *B.-C. Gao, M. J. Montes, Z. Ahmad, and C. O. Davis, "Atmospheric correction algorithm for hyperspectral remote sensing of ocean color from space," Applied Optics, vol. 39, pp. 887-896, 2000.*

[3] *W. Gong, F. Meyer, P. W. Webley, D. Morton, and S .Liu, "Performance analysis of atmospheric correction in InSAR data based on the Weather Research and Forecasting Model (WRF)," in Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International, 2010, pp. 2900-2903.*

[4] *Y. Cai, "The retrieval and analysis of sea surface suspended sediment movement based on multi-source remote sensing data," in Image and Signal Processing (CISP), 2011 4th International Congress on, 2011, pp. 1699-1702.*

[5] *M. Tasumi, R. G. Allen, and R. Trezza, "At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance," Journal of hydrologic engineering, vol. 13, pp. 51-63, 2008.*

[6] *J. Fischer and R. Bennartz, "Retrieval of total water vapour content from MERIS measurements," ESA reference number PO-TN-MEL-GS-005, ESA-ESTEC, Noordwijk, Netherlands, 1997.*

[7] *Y. Bao and S. Lü, "Improvement of surface albedo parameterization within a regional climate model (RegCM3)," Hydrology and Earth System Sciences Discussions, vol. 6, pp. 165.2009 ,1676-1*

[8] *N. Rochdi, R. Fernandes, and M. Chelle, "An assessment of needles clumping within shoots when modeling radiative transfer within homogeneous canopies," Remote Sensing of Environment, vol. 102, pp. 116-134, 2006.*

[9] *Y. Bao, S. Lü, Y. Zhang, X. Meng, and S. Yang, "Improvement of surface albedo simulations over arid regions," Advances in Atmospheric Sciences, vol. 25, p. 481, 2008.*

[10] *K. Staenz, J. Secker, B.-C. Gao, C. Davis, and C. Nadeau, "Radiative transfer codes applied to hyperspectral data for the retrieval of surface reflectance," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 57, pp. 194-203, 2002.*

[11] *A. Berk, G. P. Anderson, L. S. Bernstein, P. K. Acharya, H. Dothe, M. W. Matthew, et al., "MODTRAN4 radiative transfer modeling for atmospheric correction," in SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 1999, pp. 348-353.*

[12] *E. F. Vermote, D. Tanré, J. L. Deuze, M. Herman, and J.-J. Morcette, "Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview," IEEE*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

transactions on geoscience and remote sensing, vol. 35, pp. 675-686, 1997.

[13] W. Zhao, M. Tamura, and H. Takahashi, "Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data using 6S code," Remote sensing of Environment, vol. 76, pp. 202-212, 2001.

[14] W. J. Kramber, "Developing evapotranspiration data for Idaho's Treasure Valley using surface energy balance algorithm for land (SEBAL)," Idaho Department of Water Resources, Boise, Idaho, 2002.

[15] R. G. Allen, M. Tasumi, A. Morse, and R. Trezza, "A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning," Irrigation and Drainage Systems, vol. 19, pp. 251-268, 2005.

[16] S. Liang, "Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms," Remote Sensing of Environment, vol. 76, pp. 213-238, 2001.

[17] M. S. Moran, R. Bryant, K. Thome, W. Ni, Y. Nouvellon, M. Gonzalez-Dugo, et al., "A refined empirical line approach for reflectance factor retrieval from Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+," Remote Sensing of Environment, vol. 78, pp. 71-82, 2001.

[18] S. Liang, C. J. Shuey, A. L. Russ, H. Fang, M. Chen, C. L. Walthall, et al., "Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation," Remote Sensing of Environment, vol. 84, pp. 25-41, 2003.

[19] P. S. Chavez, "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data," Remote sensing of environment, vol. 24, pp. 459-479, 1988.

[20] P. Teillet and G. Fedosejevs, "On the dark target approach to atmospheric correction of remotely sensed data," Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 21, pp. 374-387, 1995.

[21] H. Ding, J. Shi, Y. Wang, and L .Wei, "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric correction of Landsat 8," in Ninth International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition (MIPPR2015), 2015, pp. 98150K-98150K-8.

[22] P. S. Chavez, "Image-based atmospheric corrections-revisited and improved," Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 62, pp. 1025-1035, 1996.

[23] G. M. Smith and E. J. Milton, "The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance," International Journal of remote sensing, vol. 20, pp. 2653-2662, 1999.

[24] E. Ben-Dor, B. Kindel, and A. Goetz, "Quality assessment of several methods to recover surface reflectance using synthetic imaging spectroscopy data," Remote Sensing of Environment ,vol. 90, pp. 389-404, 2004.

[25] C. Justice, J. Townshend, E. Vermote, E. Masuoka, R. Wolfe, N. Saleous, et al., "An overview of MODIS Land data processing and product status," Remote Sensing of Environment, vol. 83, pp. 3-15, 2002.

[26] E. F. Vermote ,N. Z. El Saleous, and C. O. Justice, "Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results," Remote Sensing of Environment, vol. 83, pp. 97-111, 2002.

[27] J. G. Masek, E. F. Vermote, N. E. Saleous, R. Wolfe, F. G. Hall, K .F. Huemmrich, et al., "A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 3, pp. 68-72, 2006.

[28] J. Ju, D. P. Roy, E. Vermote, J. Masek, and V. Kovalskyy, "Continental-scale validation of MODIS-based and LEDAPS Landsat ETM+ atmospheric correction methods," Remote Sensing of Environment, vol. 122, pp. 175-184, 2012.

[29] J. Ju and D. P. Roy, "The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

conterminous United States and globally," Remote Sensing of Environment, vol. 112, pp. 1196-1211, 2008.

[30] G. Agrawal, J. Sarup, and M. Bhopal, "Comparision of QUAC and FLAASH atmospheric correction modules on EO-1 Hyperion data of Sanchi," Int. J. Adv. Eng. Sci. Technol, vol. 4, pp. 178-1.2011 ,86

[31] V. Saini, R. Tiwari, and R. Gupta, "Comparison of FLAASH and QUAC atmospheric correction methods for Resourcesat-2 LISS-IV data," in Earth Observing Missions and Sensors: Development, Implementation, and Characterization IV, 2016, p. 98811V.

[32] A. Sepehry, "Assessing the atmospheric correction model of Lavreau on Landsat TM imagery," Desert Journal, vol. 8, p. 206_219, 2003.

[33] B. Bahrambeyg, H. Ranjbar, J. Shahabpour, and S. H. Moeinzadeh, "Study of the Scene Based Atmospheric Correction on Hyperion Images –a Case Study for Recognition of Argillic Alteration Zone in the MasahimVolcanic Crater," Geological Survey of Iran, vol. 24, pp. 81-92, 2015.

[34] D. P. Roy, M. Wulder, T. R. Loveland, C. Woodcock, R. Allen, M. Anderson, et al., "Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research," Remote sensing of Environment, vol. 145, pp. 154-172, 2014.

[35] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, "Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56," FAO, Rome, vol. 300, p. 6541, 1998.

[36] S. Irmak, T. Howell, R. Allen, J. Payero, and D. Martin, "Standardized ASCE Penman-Monteith: Impact of sum-of-hourly vs. 24-hour timestep computations at reference weather station sites," TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, vol. 48, p. 1063, 2005.

[37] S.-C. Tsay, G. Wen, R. Cahalan, and L. Oreopoulos, "Path Radiance Technique for Retrieving Aerosol Optical Thickness Over Land," 1999.

[38] E .Vermote, C. Justice, M. Claverie, and B. Franch, "Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product," Remote Sensing of Environment, vol. 185, pp. 46-56, 2016.

[39] D. Roy, H. Zhang, J. Ju, J. Gomez-Dans, P. Lewis, C. Schaaf, et al., "A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance," Remote Sensing of Environment, vol. 176, pp. 255-271, 2016.

[40] Y.-m. Ma, M. Menenti, O. Tsukamoto, H. Ishikawa, J.-m. Wang, and Q.-z. Gao , "Remote sensing parameterization of regional land surface heat fluxes over arid area in northwestern China," Journal of arid environments, vol. 57, pp. 257-273, 2004.

[41] W. Bastiaanssen, M. Menenti, R. Feddes, and A. Holtslag, "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation," Journal of Hydrology, vol. 212, pp. 198-212, 1998.

[42] W. Bastiaanssen, H. Pelgrum, J. Wang, Y. Ma, J. Moreno, G. Roerink, et al., "A remote sensing surface energy balance algorithm for land) SEBAL).: Part 2: Validation," Journal of Hydrology, vol. 212, pp. 213-229, 1998.

[43] R. Allen, M. Tasumi, R. Trezza, R. Waters, and W. Bastiaanssen, "SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land, Idaho implementation," Idaho: Waters Consulting: University of Idaho: WaterWatch, Inc, 2002.

[44] S. Zahira, H. Abderrahmane, K. Mederbal, and D. Frederic, "Mapping Latent Heat Flux in the Western Forest Covered Regions of Algeria Using Remote Sensing Data and a Spatialized Model," Remote Sensing, vol. 1, pp. 795-817, 2009.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

[45] X. Zhou, S. Bi, Y. Yang, F. Tian, and D. Ren, "Comparison of ET estimations by the three-temperature model, SEBAL model and eddy covariance observations," Journal of Hydrology, 2014.

[46] M. Tasumi, R. Trezza, R. G. Allen, and J. L . Wright, "Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid US," Irrigation and Drainage Systems, vol. 19, pp. 355-376, 2005.

[47] B. Markham and J. Barker, "Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances," International Journal of remote sensing, vol. 8, pp. 517-523, 1987.

[48] N. Majumdar, B. Mathur, and S. Kaushik, "Prediction of direct solar radiation for low atmospheric turbidity," Solar Energy, vol. 13, pp. 383-394, 1972.

[49] J. D. Garrison and G. P. Adler, "Estimation of precipitable water over the United States for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components," Solar Energy, vol. 44, pp. 225-241, 1990.

[50] F.-M. Bréon and E. Vermote, "Correction of MODIS surface reflectance time series for BRDF effects," Remote Sensing of Environment, vol. 125, pp. 1-9, 2012.

[51] G. Myhre and A. Myhre, "Uncertainties in radiative forcing due to surface albedo changes caused by land-use changes," Journal of Climate, vol. 16, pp. 1511-1524, 2003.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.2, Summer 2019

Research Paper

Evaluation of Operational Atmospheric Correction effects on Surface Reflectance and Albedo using Landsat-OLI images

Morteza Rahimpour[1]*, Nemat Ollah Karimi [2]. Maedeh Behifar [3], Sara Sheshangousht[1]

1- Research Assisstan in Water Research Institute of Ministry of Energy, Iran
2- Assisstant professor Water Research Institute of Ministry of Energy, Iran
3- PhD student of remote sensing in Department of Remote Sensing and GIS, Shahid Beheshti University

Abstract

Surface albedo is one of the most effective practical remote sensing data being used directly or indirectly in different studies. In this study, various methods of atmospheric correction were investigated to pick up an accurate and precise method for estimating the surface albedo with atmospheric correction approach. Needless to say that information of humidity and digital elevation model are fundamental inputs in selected method which are being used automatically for every studying area. Then after running the model, results evaluated in two steps. At the first step, corrected atmospheric reflectance of OLI images was compared with MODIS BRDF product (MACD43A4). The results had a high correlation (between 0.95 and 0.97), and a smaller error (about 5.9%) and is reduced absolute error rate in all bands about 24.6%. In the second step, the broad band albedo was evaluated. Initially, the broadband albedo was compared to MODIS product (MCD43A3) in white and black sky conditions, with the lowest mean square error 0.049 (WSA) and 0.666 (BSA), successively. Moreover, this factor (broad band albedo) was assessed in different land uses, in which the maximum rate of broad band albedo changes before and after atmosphere correction relates to bright soil, dark mountainous and agricultural areas, respectively. The rate of albedo change in all land uses were decreased approximately between 0.05 and 0.18. Finally, it is suggested that, atmospheric correction is necessary in the surface- albedo estimation, mainly, it is essential in both automatic run and large areas with different climate characteristics.

Key words : *Surface Albedo, Atmospheric Correction, OLI Imagery, MODIS product*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.113]

Correspondence Address*: Bol. Shahid Beheshti, Research Institute of Ministry of Energy, Tehran, Iran.*
Tel*: : +98 21_77000305.*
Email : *Rahimpour@modares.ac.ir*