

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

مرتضی رحیم پور^{۱*}، نعمت‌الله کریمی^۲، مائده بهی فر^۳، سارا شش‌انگشت^۱

- 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 بر روی 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 پهن‌بند ارزیابی شد. برای این منظور، در ابتدا میزان آلبیدو پهن‌بند 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 $WSA 0.049$ و $BSA 0.066$ بود. بیشترین تأثیر مقدار آلبیدو پهن‌بند 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 کاهش 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

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 قطعیت‌هایی 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 آلبيدو^۳ و اجزای معادله بیلان انرژی را محاسبه نمود [۵]. آلبيدوی^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 آلبيدو، می‌توان صحت تمام این مدل‌سازی‌ها و دقت نتایج را افزایش داد.

در این راستا، دو رویکرد متفاوت برای اعمال تصحیحات جوّی بر روی 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 آلبيدو نیاز است، از مدل مادترن^۶ بهره‌برده می‌شود [۱۱]. اما 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 جغرافیایی^۸، هیدرولوژی، مهندسی آب، محیط زیست و موارد مشابه با آن) امکان پیاده‌سازی اینگونه مدل‌ها برای کاربرانی با

^۶ MODTRAN^۷ Look-up tables^۸ Geographic Information Systems (GIS)^۱ Observed^۲ Scattering^۳ Albedo^۴ منظور آلبيدو پهن باند است که کل طیف موج کوتاه را دربرمی‌گیرد.^۵ Radiation Transfer Models (RTMs)

استفاده می‌شود [۲۵ و ۲۶]. اخیراً، دقت دو الگوریتم تصحیح اتمسفری شامل الگوریتم $LEDAPS^v$ [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 طیف‌سنجی^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 $6S$ 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 قابلیت 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 جوی هرچند ساده اذعان داشتند. به طور مثال سپهری در سال ۲۰۰۳، از مدل تصحیح جوی لاوربو برای تصحیح تصویر ماهواره‌ای لندست ۵ در منطقه کوهستانی استفاده نموده است. نتایج این تحقیق نشان داد که روش مذکور

تخصص‌هایی به غیر از سنجش از دور تا حدودی سخت و مشکل است [۵]. لذا باتوجه به مشکلات مذکور در به‌کارگیری مدل‌های RTM ، مدل‌های ساده‌تر تصحیحات جوی توسعه داده شدند [۱۶، ۱۷ و ۱۸]. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تفریق تاریک^۱ DOS 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 معین، 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 روش‌های تصحیح اتمسفر توسعه یافته‌اند اما الگوریتم‌های انتقال تابش^۵ و داده‌های 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

Processing System (LEDAPS)

^۸ A MODIS-based Landsat atmospheric correction algorithm

^۹ Sun-Photometer

^{۱۰} AERONET

^{۱۱} Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH)

^{۱۲} Quick Atmospheric Correction (QUAC)

^۱ Dark-Object Subtraction (DOS)

^۲ Radiative Attenuation

^۳ Haze

^۴ Empirical Line Method

^۵ Radiative Transfer Algorithms

^۶ Atmospheric Characterization Data

^۷ The Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive

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 کیلومتر مربع است که خود جزئی از حوضه آبریز درجه یک فلات مرکزی ایران محسوب می‌گردد. این حوضه در محدوده جغرافیایی $50^{\circ}20'$ تا $53^{\circ}20'$ طول شرقی و $31^{\circ}15'$ تا $33^{\circ}45'$ 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 موزایک 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 بر روی انواع کاربری‌های اراضی مورد ارزیابی قرار داد.

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 کوکاک و روش میانگین نسبی بازتاب‌ها $IARR^1$ روی تصویر هایپریون پهنه آرژلیک^۲ در منطقه آتشفشان مساحیم^۳ 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 جو 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 متخصصین 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^۴، 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

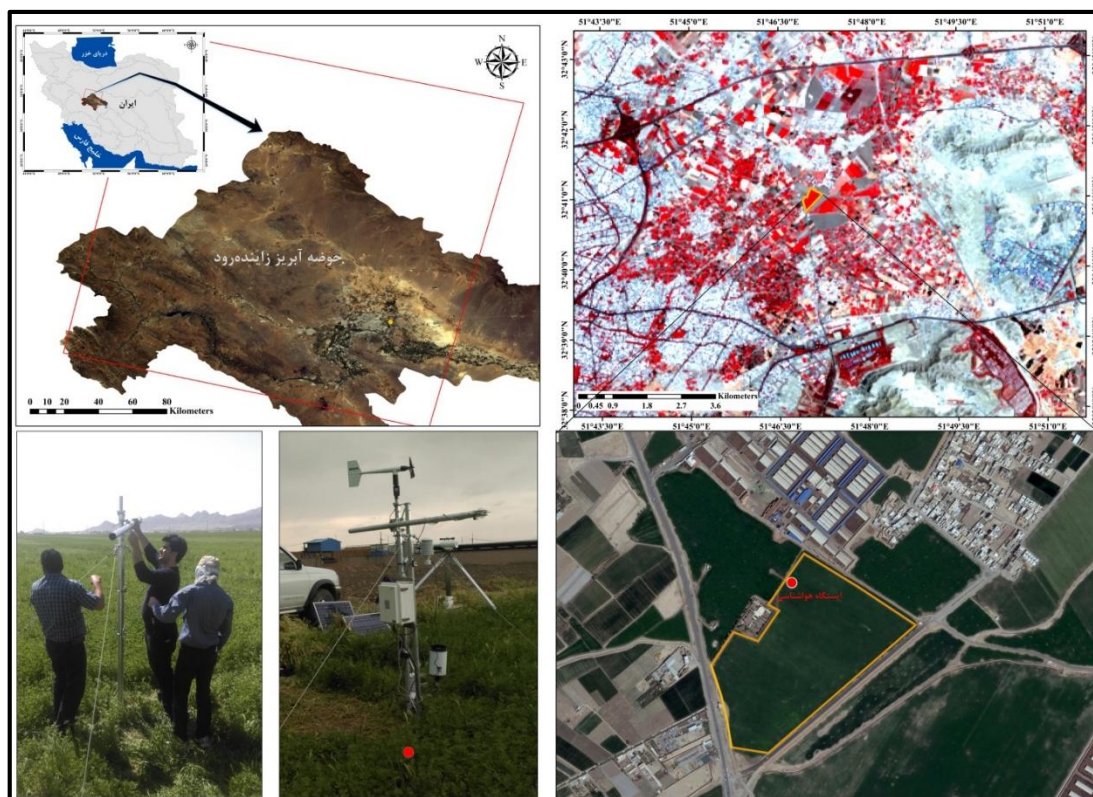
در این بخش ابتدا منطقه مطالعاتی معرفی می‌شود و سپس داده‌های هواشناسی و سنجش از دوری استفاده

^۱ Masahim Volcanic Crater

^۴ در اتمسفر صاف (با استاندارد) دید افقی بیشتر از ۱۲ کیلومتر است.

^۱ Internal Average Relative Reflectance

^۲ Argillic Alteration Zone



شکل ۱: محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه مربوط به حوضه آبریز زاینده رود

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.

همان طور که بیان شد هدف اصلی تحقیق حاضر به دست آوردن آلبیدو از بازتابندگی های تصحیح شده در سنجنده *OLI* با قدرت تفکیک ۳۰ متر می باشد. این در حالی است که محصولات بازتابش دو جهتی ($BRDF^1$) سنجنده مادیس با قدرت مکانی پایین تر (۵۰۰ متر) با دقت مناسب توسط ناسا ارائه گردیده و می توان از این داده ها به منظور ارزیابی صحت روش ارائه شده، استفاده کرد [۳۸ و ۳۹]. این محصولات در چندین سطح ارائه

۲-۲- داده های مورد استفاده

جهت پیاده سازی این روش تصحیح جوّی نیاز است تا پارامترهای دقیق هواشناسی همانند پارامتر فشار بخار هوا اندازه گیری شود. باتوجه به نبود ایستگاه در نزدیک مناطق کشاورزی و کاربری با تنوع بالا لذا نیاز بود، ایستگاه هواشناسی مجهزی در منطقه ای با کاربری های اراضی متنوع علاوه بر ایستگاه های هواشناسی احداث شود. در این راستا، ایستگاه مذکور در موقعیت جغرافیایی با عرض $32^{\circ} 41' 05''$ شمالی و طول $51^{\circ} 47' 00''$ شرقی نصب گردید که در شکل (۱) موقعیت ایستگاه با رنگ نارنجی در منطقه قابل مشاهده است. همچنین از اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک اصفهان، شرق اصفهان، کاشان و نائین جهت برآورد آلبیدو در سطح حوضه آبریز استفاده شده

¹ Bidirectional Reflectance Distribution Function

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

شده‌اند که در تحقیق حاضر از محصولات MCD43A3 (آلبیدو) و MCD43A4 (بازتابندگی تصحیح شده) به منظور اعتبارسنجی نتایج، استفاده شد (جدول (۱)). در این راستا نسخه ششم محصولات BRDF^۱ 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

جدول ۱: مشخصات تصاویر استفاده شده در تحقیق حاضر

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

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

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

تحقیقات انجام شده، مقدار آلبیدوی سطح زمین از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۴۵، ۴۴، ۴۲، ۴۱].

$$a_s = \frac{a_t - a_a}{\tau_{sw}^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$
 در این رابطه، a_s نشان دهنده آلبیدوی سطحی، a_t نشان دهنده آلبیدوی ثبت شده توسط سنجنده در خارج از جو (که خود از مقادیر بازتابندگی بالای جو

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

^۱ از توابع توزیع دو راستایی جهت میزان بازتابندگی در راستایی معین استفاده می‌شود.

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 جو

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

$$\rho_{t,b} = \frac{\pi \cdot L_{t,b} \cdot d^2}{ESUN_b \cdot \cos \theta_{rel}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳) $L_{t,b}$ مقدار انرژی بازتابیده از سطح زمین ثبت شده توسط ماهواره (وات بر مترمربع استرادیان، میکرومتر)، θ_{rel} زاویه زنیته خورشید (برحسب رادیان)، $ESUN_b$ میانگین تابش خارج از جو خورشید^۴ (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^۵ (DOY) در سال از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$d^2 = \frac{1}{1+0033 \cdot \cos(DOY \cdot \frac{2\pi}{365})} \quad \text{رابطه (۴)}$$

(TOA^1) محاسبه می‌گردد) و a_a نیز نشان‌دهنده آلبیدوی ناشی از مسیر عبور امواج الکترومغناطیسی است. باتوجه به اینکه a_a برای کل محدوده طیف انعکاسی الکترومغناطیسی مقدار ناچیزی است، معمولاً جهت ساده‌سازی برابر با عدد ثابت بین ۰٫۲۵ تا ۰٫۴ (معمولاً ۰٫۳) 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 استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (Z) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

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

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].

۲-۴-۲- برآورد آلبیدو با اعمال تصحیحات جوی

روش حاضر توسط تاسومی^۲ و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شد که روشی سریع و کاربردی در جهت اعمال تصحیحات جوی است. در روش یاد شده پس از محاسبه بازتابندگی TOA تصحیحات جوی برای هر باند به صورت مجزا و مختص همان طول موج اعمال می‌شود. سپس متناسب با شدت تابش ورودی خورشیدی^۳ 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

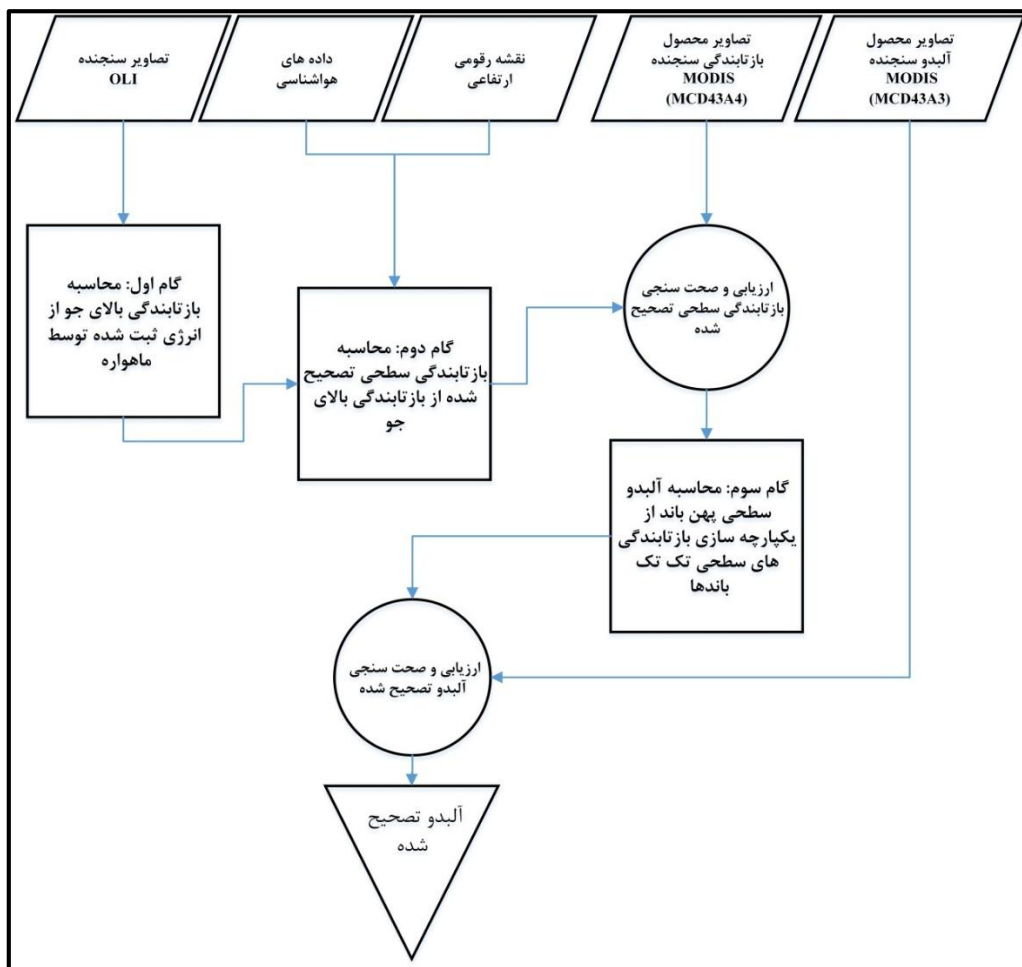
^۳ Exoatmospheric Radiation

^۴ Mean solar exoatmospheric radiation over band b

^۵ Julian Day Number

^۱ Top Of Atmosphere

^۲ Tasumi



شکل ۲: مراحل برآورد آلبیدو تصحیح شده در تحقیق حاضر

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

ESUN	محدوده بانندی	شماره باند
۱۷۱۹	آئروسل	۱
۱۷۸۷	آبی	۲
۱۷۴۶	سبز	۳
۱۵۳۶	قرمز	۴
۹۹۷	مادون قرمز نزدیک	۵
۸۱۱	مادون قرمز موج کوتاه-۱	۶
۷۵	مادون قرمز موج کوتاه-۲	۷
۱۶۹۱	پانکروماتیک	۸

$$\tau_{in,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 p_{هو} - C_3 W - C_4}{\cos \theta} \right] + C_5 \quad \text{رابطه (7)}$$

که در آن فشار هوا ($p_{هو}$ کیلو پاسکال)، θ زاویه زینتی خورشید (رادیان)، W آب قابل بارش جو (میلی متر)، C_1 تا C_5 ثابت بسته به هر باند متفاوت است. $p_{هو} / \cos \theta$ جانشین برای توده جوی و طول مسیر اپتیکی می باشد که پارامتر میزان فشار هوا (کیلو پاسکال)، از رابطه (8) حاصل می شود.

$$p_{هو} = 101.3 \left(\frac{293.0 - 0.0065Z}{293.0} \right)^{5.26} \quad \text{رابطه (8)}$$

در این رابطه Z میزان ارتفاع از سطح دریا و عدد ثابت ۲۹۳ دمای هوا برحسب درجه کلون 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 (9) قابل برآورد است [۴۹].

$$W = 0.14 \times e_a \times p_{هو} + 2.1 \quad \text{رابطه (9)}$$

همچنین میزان شفافیت جوی مربوط به تابش طول موج کوتاه منعکس شده از سطح نیز از رابطه (۱۰) حاصل می شود.

$$\tau_{out,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 p_{هو} - C_3 W - C_4}{\cos \eta} \right] + C_5 \quad \text{رابطه (10)}$$

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 می باشد. لازم به ذکر است که ثابت های $C_5 - C_1$ که در معادله (۳) و (۶) یکسان بوده و مقادیر آن ها توسط تاسومی و همکاران (۲۰۰۸) برای ماهواره لندست در جدول (۴) ارائه شده است.

۲-۴-۲- محاسبه بازتابندگی سطح تصحیح شده

تصحیحات جوی بر روی 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 می شود.

$$\rho_{s,b} = \frac{R_{out,s,b}}{R_{in,s,b}} = \frac{\rho_{t,b} \rho_{a,b}}{\tau_{in,b} \tau_{out,b}} \quad \text{رابطه (5)}$$

که در آن $\rho_{s,b}$ بازتابندگی سطحی، $R_{out,s,b}$ و $R_{in,s,b}$ به ترتیب میانگین تابش سطحی ورودی و منعکس شده 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 موج های کوتاه، مربوط به تابش خورشید ورودی و تابش منعکس شده از سطح در هر باند می باشد. $\rho_{a,b}$ بازتابندگی اتمسفر برای باندهای مانند b از رابطه (۶) محاسبه می گردد.

$$\rho_{a,b} = C_b \times (1 - \tau_{in,b}) \quad \text{رابطه (6)}$$

ثابت C_b برای هر کدام از باندهای سنجنده OLI در جدول (۴) قابل مشاهده است. همچنین پارامترهای $\tau_{in,b}$ و $\tau_{out,b}$ معرف میرایی تابش به صورت مستقیم^۱ و پخشی^۲ 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^۳ و همکاران توسعه داده شده است [۴۸]. این معادلات توسط FAO و $EWRI$ برای محاسبه تبخیر- تعرق به صورت 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 جوی مربوط به پهنای کم باند برای تابش خورشید ورودی از رابطه (۷) بدست می آید.

^۳ Majumdar

^۱ Beam

^۲ Diffuse

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	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
لندست	C_1	-	۰٫۹۸۷	۲٫۳۱۹	۰٫۹۵۱	۰٫۳۷۵	۰٫۲۳۴	۰٫۳۵۶
	C_2	-	-۰٫۰۰۰۷۱	-۰٫۰۰۰۱۶	-۰٫۰۰۰۳۳	-۰٫۰۰۰۴۸	-۰٫۰۰۰۱۰۱	-۰٫۰۰۰۰۹۷
	C_3	-	۰٫۰۰۰۰۳۶	۰٫۰۰۰۱۰۵	۰٫۰۰۰۰۲۸	۰٫۰۰۰۵۰۱۸	۰٫۰۰۴۳۳۶	۰٫۰۰۴۲۹۶
	C_4	-	۰٫۰۸۸۰	۰٫۰۴۳۷	۰٫۰۸۷۵	۰٫۱۳۵۵	۰٫۰۵۶۰	۰٫۰۱۵۵
	C_5	-	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

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

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.

۲-۴-۳- محاسبه آلبیدو سطحی پهن باند از

یکپارچه‌سازی بازتابش سطحی هر باند

در مرحله آخر برای محاسبه آلبیدو سطحی عریض باند از تمامی بازتابندگی‌های سطحی با پهن‌های کم باند مربوط به تک تک باندهای ماهواره‌های مختلف با توجه به تحقیق استارکس^۱ و همکاران (۱۹۹۱) از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

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	
لندست-۸	OLI	-	۰٫۲۵۷۰	۰٫۲۵۱۲	۰٫۲۲۰۹	۰٫۱۴۳۴	۰٫۱۱۶۷	۰٫۰۱۰۸	جمع
									۱٫۰۰

۳- بحث و نتایج

برای ارائه نتایج در این بخش، ابتدا میزان تغییرات بازتابندگی و سپس آلبیدو پهن باند، قبل و بعد از تصحیح جوی 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.

$MCD43A4$ 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 به صورت 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 کاهش حدوداً ۲۴٫۶ درصد برآورد شده است (جدول (۶)). این درحالی است که

مقادیر پارامترهای آماری ضریب همبستگی، مجذور میانگین مربعات خطا و درصد خطا مربوط به بازتابندگی سطحی OLI در مقابل محصول

^۱ Starks

دیگر نیز بین ۵ تا ۷ درصد گزارش شده است [۳۸] و ۱۵۰. 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. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت، روش تصحیح جوی اعمال شده بروی تصاویر دارای عملکرد مناسبی است.

مقادیر درصد خطا در باندهای مختلف، بین مقادیر ۶٫۵ (باند مادون قرمز نزدیک) الی ۱۴٫۳ (باند آبی) متغیر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که 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

جدول ۶: 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

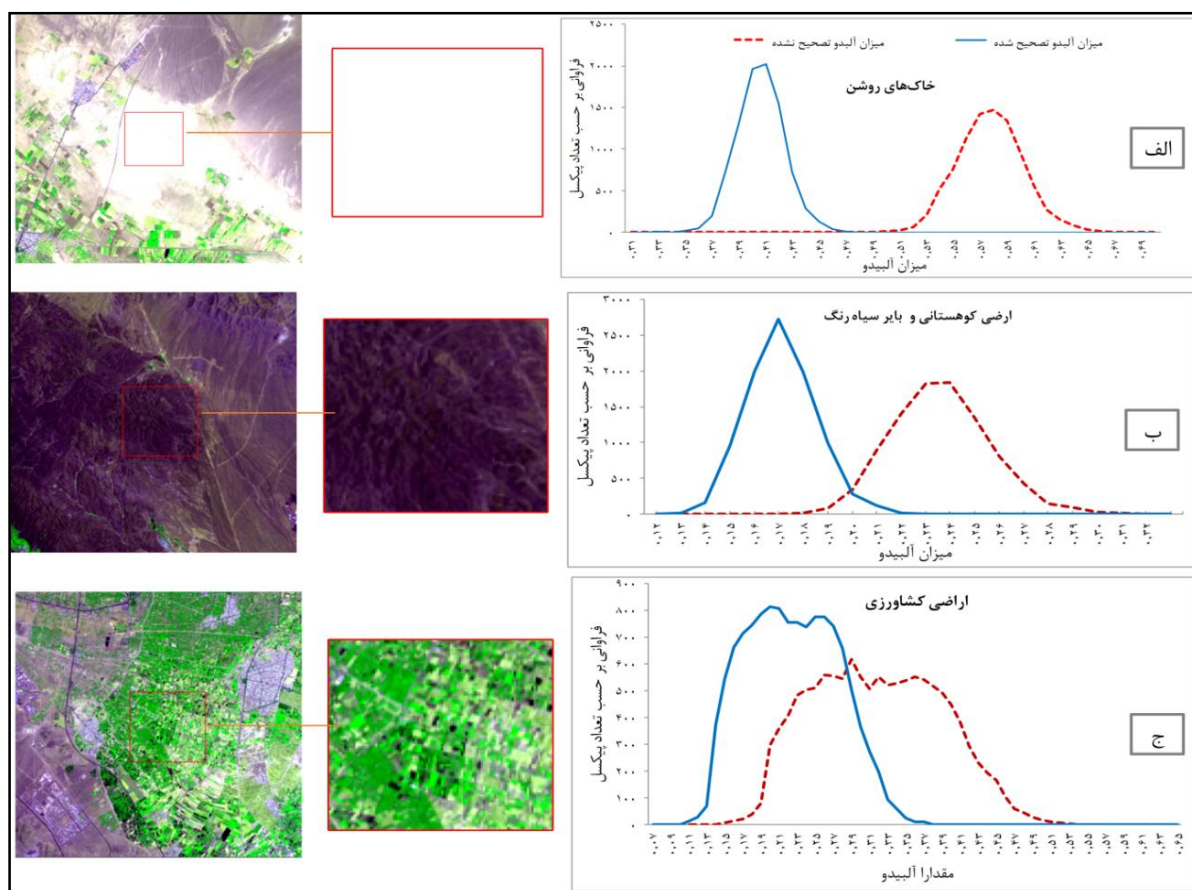
درصد کاهش خطا RMSE	میزان پارامتر آماری بعد از انجام تصحیح جوی			میزان پارامتر آماری قبل از انجام تصحیح جوی			سنجنده OLI	سنجنده مادیس	محدوده باندی	شماره
	درصد خطا	RMSE	R ²	درصد خطا	RMSE	R ²				
۲۸٫۲	۶٫۵	۰٫۰۰۷۸	۰٫۹۷۱	۸٫۳	۰٫۰۰۹۹	۰٫۹۵۸	۴	۱	قرمز	۱
۲۴٫۴	۱۰٫۲	۰٫۰۰۸۹	۰٫۹۷۵	۱۲٫۷	۰٫۰۱۱۱	۰٫۹۶۲	۳	۴	سبز	۲
۲۰٫۶	۱۴٫۳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

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

نتایج آلبیدو پهن باند، قبل و بعد از تصحیح جوی، 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 جوی، 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 (در صورت عدم اعمال تصحیحات جوی)، میزان تابش خالص دارای کم برآورد

هستند، اما در اراضی کشاورزی به دلیل کوچک بودن سطوح مزارع و تنوع کشت، طیف وسیعی از آلبيدو پهن باند به این کاربری تعلق دارد و برآورد این پارامتر در آن دشوارتر از سایر کاربری‌ها است.

کاربری کشاورزی برخلاف دو کاربری دیگر (شکل ۳) قسمت (الف) و (ب)) که دارای شکل زنگوله‌ای هستند، دوزنقه است. به این معنی که در دو کاربری دیگر تعداد پیکسل‌های زیادی از هر کاربری دارای آلبيدو یکسانی



شکل ۳: نمودار فراوانی آلبيدو 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

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 بر حسب نوع کاربری به ترتیب مربوط به اراضی با خاک روشن، مناطق کوهستانی تیره (دارای مواد آلی بیشتر نسبت به سایر اراضی) و مناطق کشاورزی است.

به‌علاوه، میزان آلبيدو پهن باند قبل و بعد از تصحیحات جوی در کاربری‌های مختلف، نیز ارزیابی شد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، نمودار فراوانی آلبيدو پهن باند در تمامی کاربری‌ها، قبل و بعد از تصحیح جوی دارای جابجایی به سمت چپ نمودار است. این امر، نشان می‌دهد که مقدار آلبيدو در کل کاربری‌ها با تصحیح اثر میرایی و پخشش بازتابندگی، کاهش می‌یابد و با توجه به نوع کاربری به محدوده قابل اعتمادتری

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

نوع کاربری	SARB ^۱	Matthews (1983)	Wilson and Henderson Sellers (1985)	Brest and Goward (1987)
جنگل	۰٫۱۷ - ۰٫۱۲	۰٫۱۸ - ۰٫۱۱	۰٫۱۴ - ۰٫۱۳	۰٫۲۹ - ۰٫۰۴۳
بوتهزار	۰٫۲۳ - ۰٫۲۲	۰٫۲۹ - ۰٫۱۶	۰٫۱۷ - ۰٫۱۶	-
علفزار / ساوانا	۰٫۱۸	۰٫۱۸ - ۰٫۲۰	۰٫۲۰ - ۰٫۱۹	-
کویر	۰٫۳۶	۰٫۳۰	<i>a</i>	-
کشاورزی	*۰٫۱۵	۰٫۱۸	**۰٫۲۰	۰٫۴۶ - ۰٫۱۷
مقیاس مکانی	۱ درجه	۱ درجه	۱ درجه	۶۰ متر
توضیحات	<p><i>a</i> 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 گزارش شده است.</p>			

است. همان طور که در این شکل دیده می شود مقادیر این دو روش به لحاظ وقوع و روند بسیار مشابه هستند اما ارزیابی مقادیر این متغیر، دارای اختلاف زیاد است. به طور مثال، در مناطق کشاورزی (نقاط آبی رنگ) آلبیدو دارای کمترین مقدار است. این پارامتر با استفاده از روش تصحیح جوئی ۰٫۱۲ و روش فاقد تصحیح جوئی ۰٫۱۷ برآورد شد. همچنین بیشترین میزان آلبیدو مربوط به زمین های بایر (نقاط زرد رنگ) می باشد که مقادیر آن با استفاده از روش تصحیح جوئی 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 جوئی این ارزیابی کاهش می یابد. برای ارزیابی این مطلب ۲۵۰ نمونه از ۵ کاربری اصلی (شامل، بیابان ها با خاک های روشن، مناطق با خاک تیره، مراتع، اراضی کشاورزی و آب) در منطقه مطالعاتی برداشت و با مقادیر محصول *MCD43A3* مقایسه شد که نتایج آن در شکل های (۳) و (۴) نمایش داده شده است.

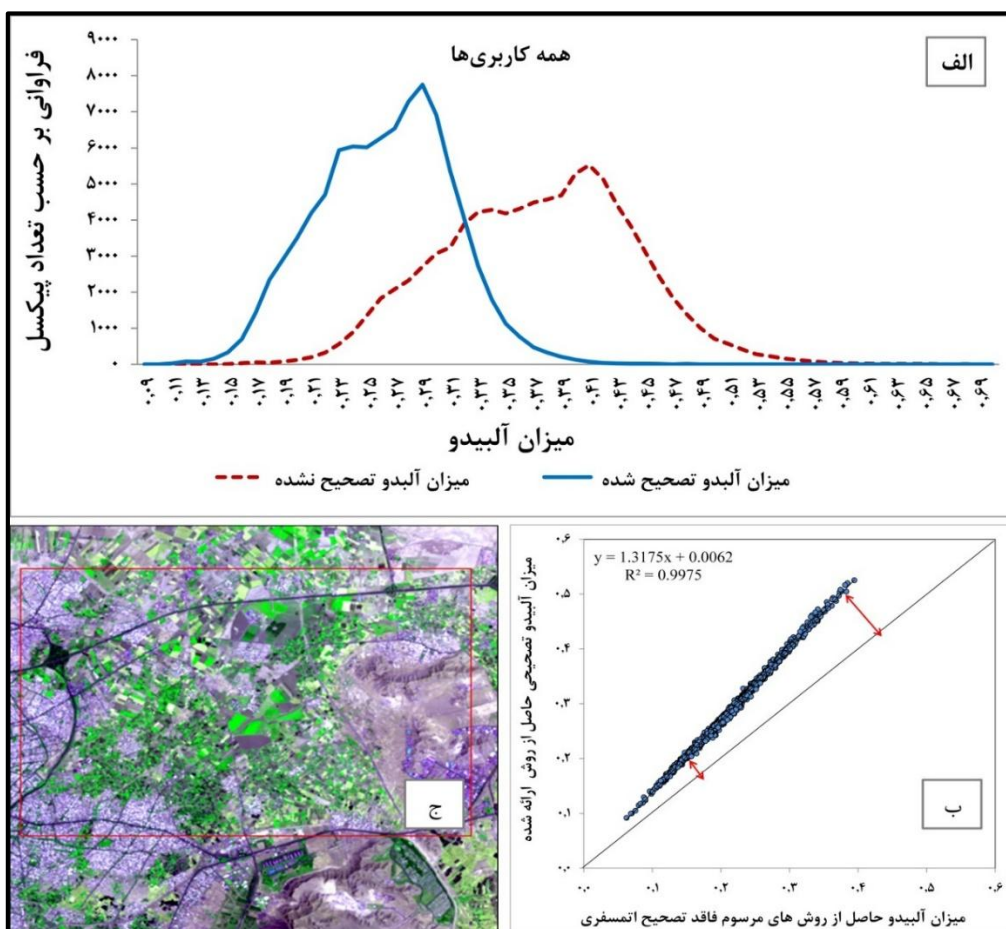
با میانگین گیری میزان آلبیدو در ۲۵۰ نقطه مشاهداتی در کاربری های مختلف مربوط به زمان و منطقه

برآیند نمودار فراوانی در محدوده ای که دارای کلیه کاربری ها شامل اراضی کشاورزی، آیش، شهری و بایر هستند در شکل (۴) نشان داده شده است. مطابق با این نمودار، مقادیر آلبیدو پهن باند برآورد شده از تمام کاربری ها با استفاده از روش تصحیح شده نسبت به قبل کاهش یافته و در نتیجه نمودار به طرف مقادیر کمتر انتقال پیدا کرده 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، کشیده تر شده است. در قسمت (ب) این شکل مشاهده می شود که مقادیر همبستگی مقادیر آلبیدو تصحیح جوئی و تصحیح نشده در کاربری های مختلف، دارای همبستگی بسیار بالایی هستند اما در داده ها ارزیابی وجود دارد. مقدار این ارزیابی در کاربری های بایر و کشاورزی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را دارد. این امر با مقایسه تصاویر آلبیدو قبل و بعد از تصحیح جوئی در سطح منطقه مورد مطالعه در شکل (۵) نیز قابل مقایسه

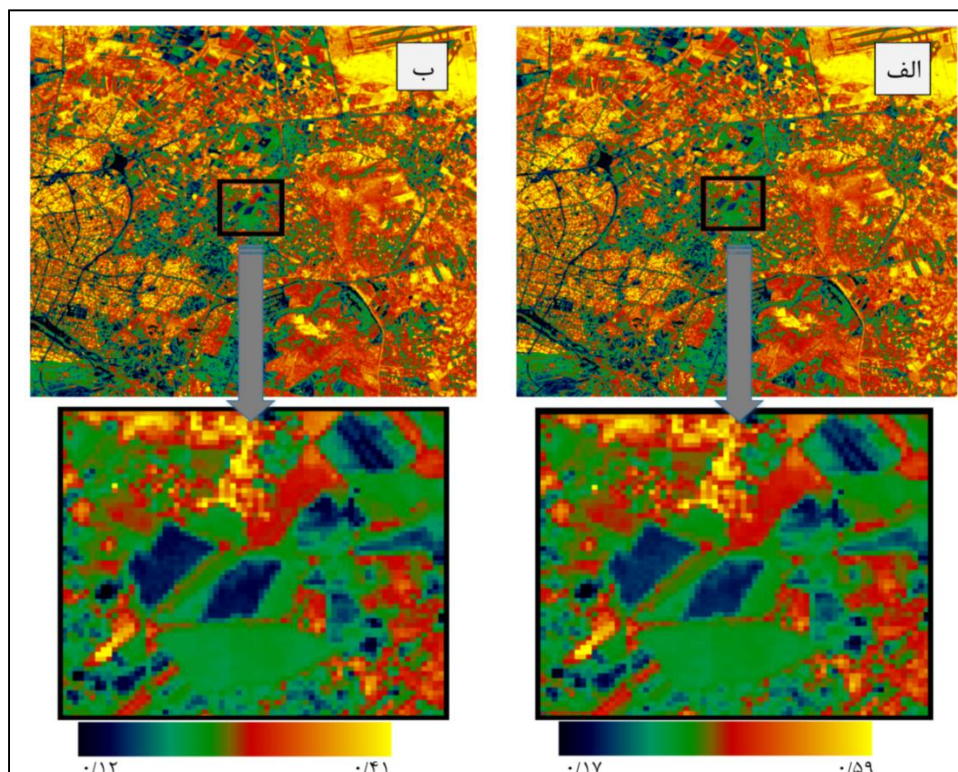
^۱ Surface and Atmospheric Radiation Budget

کاربردهای 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.

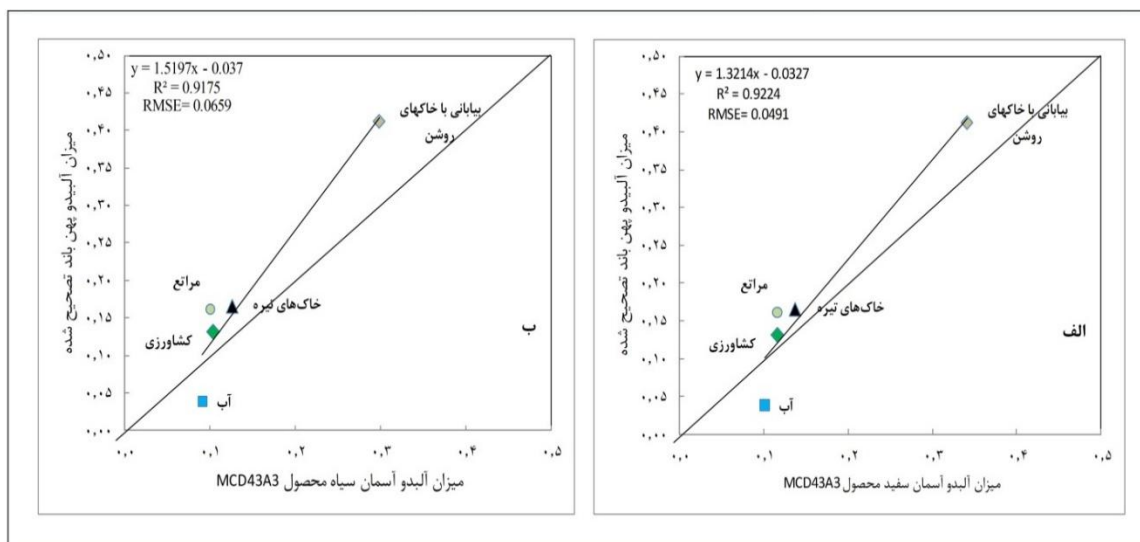
مورد مطالعه، میزان همبستگی و خطا را با استفاده از روش تصحیح جوّی در مقایسه با محصول MCD43A3 در شرایط مفروض آسمان سفید و سیاه محاسبه شد (شکل ۴). همان طور که از این شکل می توان استنباط نمود، مقدار آریبی آلبیدو با اعمال تصحیح جوّی، کاهش می یابد. مقایسه مقادیر برآورد شده در



شکل ۴: (الف) نمودار فراوانی و نمودار همبستگی (ب) مقادیر آلبیدو قبل و بعد از تصحیح در کل کاربری ها (ج) در روز شماره روز ژولیبوسی ۲۰۴



شکل ۵: میزان آلبيدو محاسباتی با استفاده از سنجنده OLI و روش های ساده فاقد تصحیح جوی (الف) و تصحیح شده به روش تاسومی (ب) می باشند



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

۴- نتیجه گیری

هدف از تحقیق حاضر حذف اثر جو و به دست آوردن آلبیدو با قدرت مکانی بالا (۳۰ متر) بوده است. در این راستا با بررسی مراجع، روشی کاربردی جهت برآورد آلبیدو با اجرای تصحیح جوئی استخراج شد. در این روش پس از حذف اثرات عبور با پهنای کم باند در محدوده طول موج کوتاه برای تابش خورشید ورودی و منعکس شده از سطح، میزان بازتابندگی سطحی پدیده‌ها و مقدار آلبیدو پهن باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر حاصل می‌شود.

به منظور ارزیابی نتایج، در مرحله اول مقادیر بازتابندگی تصحیح جوئی 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 صحت نقشه‌های آلبیدو پهن باند 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 مشخص تر از محصول *BRDF* است. در ادامه مقادیر آلبیدو پهن باند 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 جوئی ارائه شده، دارای بیش برآورد است؛ به طوری که در حوزه آبریز زاینده رود با اعمال تصحیح جوئی، میزان آلبیدو در نقاط حدی حدوداً بین

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, 1997.
- [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

۰/۱۸ - ۰/۰۵ کاهش یافته و به مقدار قابل 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 جوئی، به ترتیب مربوط به اراضی بایر با خاک روشن، مناطق کوهستانی تیره و مناطق کشاورزی است. اگرچه در پوشش‌های گیاهی میزان آلبیدو دارای کمترین تغییر می‌باشد، اما به دلیل اینکه اراضی کشاورزی سهم ویژه به لحاظ مقدار و اهمیت، در برآورد تبخیر تعرق واقعی از سطح حوضه 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. به طور کلی باتوجه به مشاهدات دقت و صحت، محاسبه مقادیر آلبیدو قبل و بعد از تصحیح جوئی 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 جوئی ارائه شده در تحقیق حاضر جهت برآورد مقدار آلبیدو به خصوص در مواردی که این متغیر به صورت خودکار و در مناطق وسیع با ویژگی آب‌وهوایی متفاوت، برآورد می‌گردد؛ پیشنهاد می‌شود.

- 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 POTN-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 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. Kovalsky, "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 conterminous United States and globally," *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 1196-1211, 2008.
- [30] G. Agrawal, J. Sarup, and M. Bhopal, "Comparison 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 Masahim Volcanic 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.
- [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.



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

Morteza Rahimpour^{1*}, Nemat Ollah Karimi², Maedeh Behifar³, Sara Sheshangousht¹

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