

ارزیابی محصولات آلبیدوی ۱۶ روزه MODIS با استفاده از آلبیدوی ASTER در مناطق نیمه خشک با پوشش همگن

مهری اکبرزاده^۱، محمدرضا مباحثی^{۲*}، سید باقر فاطمی^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۲- دانشیار گروه مهندسی سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ وصول: ۱۳۹۰/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲

چکیده

امروزه ارزیابی و کنترل تغییرات زیست محیطی و آب و هوایی در سطح منطقه ای و جهانی، از منظر پایش شرایط فعلی و امکان پیش بینی تغییرات آینده، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. آلبیدوی سطح از پارامترهای مورد نیاز در مطالعات زیست محیطی و آب و هوایی می باشد. سنجنده MODIS، آلبیدوی سطح زمین را بطور مستمر در مقیاسی جهانی ولی با قدرت تفکیک مکانی پایین تولید و بصورت رایگان در اختیار عموم قرار می دهد. خطا در محصولات آلبیدوی این سنجنده می تواند نتایج خروجی مدل های آب و هوایی و اقلیمی را تحت تاثیر قرار دهد. در تحقیق حاضر دقت آلبیدوی پهن باند موج کوتاه حاصل از محصولات آلبیدوی MODIS (MCD43A3) در منطقه ای همگن، نیمه خشک، فاقد پوشش گیاهی و تقریباً هموار واقع در اطراف اتوبان قم-تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به قرار گرفتن سنجنده های MODIS و ASTER بر روی یک ماهواره و قدرت تفکیک مکانی و رادومتریکی بالای سنجنده ASTER از آلبیدوی موج کوتاه آن برای ارزیابی آلبیدوی واقعی موج کوتاه حاصل از محصولات آلبیدوی MODIS استفاده شد. نتایج بررسی ها در سال های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ نشان داد چنانچه شرایط جوی در طول دوره زمانی تصویر آلبیدوی MODIS یکنواخت و مشابه با شرایط جوی در تاریخ تصویر ASTER باشد بیشترین اختلافات نسبی آلبیدوی MODIS نسبت به ASTER، حدود ۶ درصد و RMSD نسبی این اختلافات تقریباً ۴ درصد می باشد. در مواردی که شرایط جوی روزانه و متوسط ۱۶ روزه تفاوت قابل توجهی داشته باشد میزان اختلاف بیشتر خواهد بود که در شرایط حاکم بر این تحقیق، این اختلاف و RMSD/اختلافات به ترتیب در حدود ۱۱ درصد و ۹ درصد به دست آمد.

واژگان کلیدی: آلبیدو، MODIS، ASTER، سنجش از دور

مقدمه

قدرت تفکیک زمانی قابل قبول است (Lucht et al., 2000). برای استخراج آلبیدوی پهن باند سطح از تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی، یک سری مراحل پردازشی شامل: تصحیح جوی، مدل سازی تابع توزیع بازتابندگی دوراستایی ($BRDF^2$) جهت تصحیح زاویه دید و تابش و انترگرال‌گیری زاویه‌ای تابع $BRDF$ برای تبدیل بازتابندگی‌های سطح به آلبیدوهای طیفی (باریک باند)^۳ و نهایتاً تبدیل آلبیدوهای باریک باند به پهن باند باید انجام شود. $BRDF$ تابع توزیع بازتابندگی دو راستایی است و تعیین کننده میزان بازتابندگی سطحی خاص در راستایی معین می‌باشد. دقت محصولات نهایی آلبیدو، به دقت همه مراحل پردازشی ذکر شده بستگی دارد (Liang, 2003). ارزیابی محصولات آلبیدوی ماهواره‌ای به دلیل کاربرد در مطالعات گوناگون اهمیت فراوانی دارد. از طرفی ارزیابی داده‌های حاصل از سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی متوسط و پایین مانند MODIS، همیشه مسائل دشواری‌های خاص خود را داشته است. مشاهدات ماهواره‌ای، نواحی بزرگتری را نسبت به اندازه‌گیری‌های میدانی می‌پوشانند. یک مسئله اساسی آنست که آیا یک اندازه‌گیری متوسط برای پیکسل‌های ماهواره‌ای، می‌تواند نماینده مقادیر نقطه‌ای باشد؟ وقتی سطح زمین غیر همگن^۴ باشد، برای ارزیابی آلبیدوی متوسط بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای بر روی ناحیه تحت پوشش پیکسل ماهواره، به تعداد زیادی نمونه نیاز است که این حالت مشکلات مخصوص به خود را دارد. بعنوان یک راهکار برای این مهم می‌توان از نواحی نسبتاً همگن برای ارزیابی استفاده نمود. در این حالت اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای تا حد زیادی با آلبیدوی متوسط در مقیاس ماهواره منطبق خواهند بود. هر چند مشکلات ارزیابی برای پیکسل‌های بزرگ همانند محصولات آلبیدوی MODIS، حتی برای مناطق همگن نیز می‌تواند وجود داشته باشد. هدف این پژوهش ارزیابی این محصولات برای مناطق همگن با استفاده از تصاویر همزمان سنجنده ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر می‌باشد. مطمئناً برای مناطق غیر همگن و با پوشش‌های متفاوت و متغیر در طول سال، این مسئله از اهمیت و پیچیدگی بیشتری

آلبیدوی پهن باند سطح^۱، کسری از انرژی تابشی فرودی موج کوتاه خورشید است که توسط سطح زمین در تمامی جهات بازتاب می‌شود. آلبیدو، پارامتر فیزیکی بسیار مهمی در مطالعات اقلیمی و هواشناسی، مطالعات انتقال تابشی و محاسبه ذخیره تابشی زمین محسوب می‌شود (Maurer, 2002). این کمیت کنترل توازن انرژی سطح را میسر کرده و در پیش‌بینی آب و هوا، مدل سازی منطقه‌ای و جهانی آب و هوا و مدل سازی اکوسیستم‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند (Li & Garand, 1994; Wang & Davidson, 2007). آلبیدوی سطح زمین به ویژگی‌ها و نوع پوشش زمین، شرایط جوی، زاویه زینت خورشید، میزان رطوبت خاک و وضعیت پوشش گیاهی منطقه وابسته می‌باشد. از این رو می‌توان از آن در تعیین پارامترهای جوی (ابر، هواویز، بخارآب و ...) و همچنین در کنترل تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی و طبیعی مانند فعالیت‌های کشاورزی، شهر سازی، تغییر کاربری زمین، جنگل‌زدایی، کویرزایی و تغییر پوشش زمین استفاده نمود (Li & Garand, 1994).

بررسی‌ها نشان داده‌اند که برای مدل‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی، آلبیدو باید با دقت مطلق ۰/۰۵-۰/۰۲ (Sellers & Wilson, 1983; Sellers et al., 1995) در دامنه‌ای از قدرت تفکیک‌های مکانی از ۱۰ متر تا ۵ کیلومتر، و قدرت تفکیک‌های زمانی روزانه تا ماهیانه تعیین شود. بنابراین تولید داده‌هایی پایدار و دقیق از آلبیدوی جهانی، ضروری است. تعیین هر چه دقیق‌تر آلبیدو باعث دقیق‌تر شدن مدل‌سازی‌های محیطی و آب و هوایی و افزایش قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌ها می‌شود (Wang & Davidson, 2007). روش‌های میدانی به دلیل پرهزینه و وقت گیر بودن و پوشش زمانی بسیار محدود، برای تولید داده‌های آلبیدو در مقیاس جهانی مناسب نیستند. فناوری سنجنش از دور به دلیل پوشش مکانی و وسیع، قدرت تفکیک‌های زمانی مناسب و استخراج مجموعه داده‌های پایدار از پارامترهای سطح زمین، تنها روش عملی برای تولید داده‌های آلبیدو در مقیاس جهانی و با

1. Surface broadband albedo
3. Spectral (narrow band) albedo
5. Homogeneous

2. Bidirectional Reflectance Distribution Function
4. Heterogeneous

کاهش ناگهانی آلبیدو در تابستان، به علت افزایش رطوبت خاک می‌باشد. از طرفی آلبیدوهای طیفی بدست‌آمده از MODIS، در طول ۴ فصل، تغییرات بارزی نشان نمی‌داد که به معنای نبود پوشش گیاهی در منطقه و یا وجود پوشش گیاهی بسیار تنک و در نتیجه همگن بودن سطح مورد مطالعه بود. نتایج ارزیابی آلبیدوی MODIS با آلبیدوهای زمینی نیز نشان داد که دقت مطلق این محصولات حدود ۰/۰۲ و RMSE آنها ۰/۰۱۸۶ می‌باشد. سوزاکی و همکاران (Susaki et al., 2007)، برای ارزیابی دقت محصولات آلبیدوی MODIS مطالعه‌ای را بر روی مزارع شالی‌کاری در شهر Chiba در ژاپن انجام دادند. به دلیل اختلاف مقیاس داده نقطه‌ای زمینی و آلبیدوی یک کیلومتری MODIS از تصاویر ASTER و ETM+ برای ارزیابی تاثیر مقیاس‌های مکانی متفاوت، استفاده شد. برای تولید آلبیدوی ASTER و ETM+ از کد 6S برای تصحیح جوی، از روابط لیانگ (Liang, 2000) برای تولید آلبیدوهای پهن باند ۱۵ و ۳۰ متری و از تابع PSF^2 مادیس برای تبدیل این آلبیدوهای پهن‌بند به قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر استفاده شد تا با محصولات MODIS قابل مقایسه باشند. در عمل از آلبیدوهای یک کیلومتری ETM+ و ASTER برای تعیین همگن بودن یا نبودن نواحی اطراف ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی آلبیدو استفاده شد. به دلیل همگن بودن منطقه آلبیدوهای واقعی یک کیلومتری MODIS به طور مستقیم با آلبیدوهای نقطه‌ای-زمینی مقایسه شدند. نتایج نشان داد محصولات آلبیدوی MODIS برای مزارع شالی‌کاری در ژاپن دارای دقت مطلق تقریباً ۰/۰۲۶ و دقت نسبی ۱۵/۱ در صد می‌باشد. ژانگ و لیانگ (Liang & Zhang, 2010) با مقایسه تغییرات زمانی-مکانی آلبیدوی پهن باند موج کوتاه MODIS از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۸ با پایگاه داده آلبیدوی ۲۱ مدل جهانی آب و هوا مشاهده کردند که آلبیدوهای شبیه‌سازی شده اکثر مدل‌های جهانی آب و هوا، کمتر از آلبیدوهای MODIS می‌باشد. نتایج حاکی از آن بود که بیشینه مقدار آلبیدوی سطحی حاصل از MODIS در زمستان و به علت پوشش برف و کمترین مقدار آن در تابستان به علت وجود گیاهان می‌باشد. بررسی‌های آنها نشان

برخوردار خواهد بود و نیاز به توجه بیشتری دارد. سنجنده MODIS به دلیل داشتن قدرت تفکیک زمانی بالا (۱ الی ۲ روز) و داشتن باندهای کافی در ناحیه مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی استفاده گسترده‌ای در اندازه‌گیری آلبیدوی سطح زمین در مقیاس جهانی و به طور پیوسته، دارد. به طوری که بسیاری از پژوهش‌گران زیست محیطی، از داده‌های آلبیدوی MODIS برای ورود به مدل‌های اقلیمی خود استفاده می‌کنند. خطا در مقادیر آلبیدوی مستخرج از این سنجنده می‌تواند نتایج خروجی مدل‌های ایشان را تحت تاثیر قرار دهد (Jin et al., 2003).

لیانگ (Liang, 2000) از روش جدیدی (در مقایسه با تحقیقات پیشین) بر مبنای شبیه‌سازی‌های انتقال تابشی برای به دست آوردن روابط تبدیل آلبیدوهای باریک‌بند به پهن باند موج کوتاه، مرئی و مادون قرمز نزدیک، در سنجنده‌های مختلفی چون MODIS، AVHRR، ASTER و TM استفاده کرد. نتایج ارزیابی این روابط توسط Liang در سال ۲۰۰۲ نشان داد که در بسیاری از سنجنده‌ها، دقت مطلق سه آلبیدوی پهن حاصل از این روابط، در حدود ۰/۰۲ است که در تطابق با دقت مورد نیاز برای بسیاری اهداف مدل‌سازی سطح می‌باشد. لیانگ و همکاران (Liang et al. 2002) جهت ارزیابی دقت محصولات آلبیدو و بازتابندگی سنجنده‌ی MODIS، مطالعه‌ای را در منطقه بلستویل^۱ آمریکا، انجام دادند. به دلیل غیر همگن بودن سطوح مورد مطالعه، اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای زمینی برای مقایسه مستقیم با پیکسل‌های یک کیلومتری MODIS مناسب نبودند. در نتیجه از اندازه‌گیری‌های میدانی برای کالیبراسیون محصولات آلبیدو و بازتابندگی حاصل از تصاویر ETM با مکانی ۳۰ متر استفاده شد. نتایج ارزیابی دقت محصولات MODIS با استفاده از محصولات آلبیدو و بازتابندگی ETM نشان داد که خطای مطلق محصولات آلبیدو و بازتابندگی MODIS، کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. ونگ و همکاران (Wang et al., 2004) با مطالعه‌ای که روی آلبیدوی MODIS و آلبیدوی حاصل از اندازه‌گیری‌های زمینی، در منطقه خشک و نیمه خشک Western platen انجام دادند، دریافتند که افزایش ناگهانی آلبیدو در زمستان، به علت وجود پوشش برف و

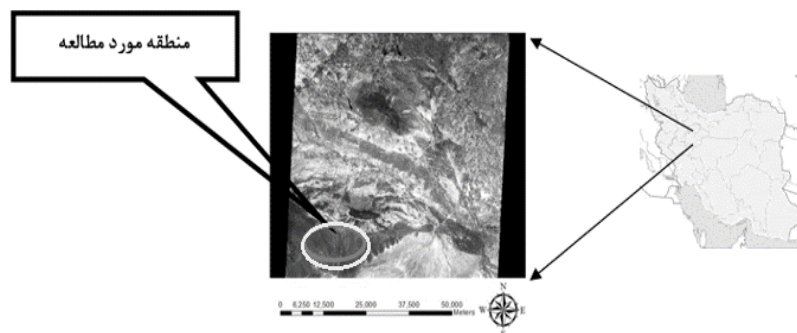
از تصاویر ASTER، ابتدا آلبیدوهای ۵۰۰ متری ASTER تولید می‌شود. نهایتاً آلبیدوی واقعی موج کوتاه MODIS که با استفاده از محصولات MCD43A3 این سنجنده به دست آمده، با آلبیدوهای موج کوتاه به دست آمده از ASTER مقایسه و ارزیابی می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، منطقه‌ای تقریباً مسطح و نیمه خشک بین طول جغرافیایی $48^{\circ} 00' 51''$ تا $09^{\circ} 51' 15''$ شرقی و عرض جغرافیایی $10^{\circ} 03' 35''$ تا $52^{\circ} 09' 35''$ شمالی در کیلومتر ۴۰ اتوبان قم-تهران قرار دارد (شکل ۱). این منطقه با مساحت تقریبی ۲۵ کیلومتر مربع دارای شیب متوسط ۲ درصد به سمت جنوب شرق بوده و شامل آبراهه‌هایی است که البته در بازه زمانی مورد مطالعه خشک بودند. پوشش گیاهی منطقه بسیار تنک بوده و توپوگرافی منطقه به گونه‌ای است که می‌توان آن را یک سطح تقریباً هموار فرض نمود. با ویژگی‌های گفته شده، منطقه مورد مطالعه نسبتاً همگن بوده و چون تاثیر عواملی چون سایه و تنوع پوشش‌های سطح حداقل می‌باشد می‌تواند برای کار ارزیابی منطقه مناسب باشد.

داد که اختلاف آلبیدوهای White Sky و Black Sky در تابستان بزرگتر از زمستان است و دلیل آن تابع در صد نور پراکنده می‌باشد. همچنین بزرگترین تغییرات فصلی آلبیدو در نیمکره شمالی، ما بین عرض‌های ۳۰ و ۵۰ درجه شمالی به علت فنولوژی گیاهان، و در نیمکره جنوبی، ما بین عرض‌های ۵۰ و ۷۰ جنوبی به علت پوشش فصلی برف و یخ اتفاق می‌افتد.

در تحقیق حاضر، با توجه به پژوهش‌های اشاره شده، ابتدا آلبیدوی پهن‌باند موج کوتاه کل MODIS (۵۰۰ متر) با استفاده از تصاویر MCD43A3 و تابع در صد نور پراکنده تولید می‌شود. به علت همزمانی برداشت داده‌های MODIS با داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده ASTER که بر روی یک سکوی قرار دارند، می‌توان از این داده‌ها جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم ارزیابی آلبیدوی سنجنده MODIS استفاده کرد. در نتیجه با توجه به مراحل ذکر شده در استخراج آلبیدو از سنجنده‌های چند طیفی و استفاده از روابط رگرسیونی لیانگ (Liang, 2000) آلبیدوی پهن‌باند موج کوتاه از تصاویر ASTER که همزمان با تصاویر MODIS انتخاب شده‌اند، استخراج می‌شود. برای مقایسه آلبیدوهای موج کوتاه ۵۰۰ متری MODIS با آلبیدوی موج کوتاه حاصل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

پوشش از منطقه مطالعاتی، دارا بودن شرایط تقریباً مشابه آب و هوایی و عدم وجود پوشش ابر می‌باشد.

۲- محصولات آلبیدوی MCD43A3 (قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر) سنجنده MODIS از ایران، مربوط به تاریخ‌های ۲۸ جولای ۲۰۰۱، ۱۴ سپتامبر ۲۰۰۳، ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۴ و ۲۳ اکتبر ۲۰۰۴.

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در تحقیق به شرح زیر است:

- ۱- تصاویر سنجنده ASTER، اخذ شده در تاریخ‌های ۲۸ جولای ۲۰۰۱، ۱۳ سپتامبر ۲۰۰۳، ۱ اکتبر ۲۰۰۴ و ۲۴ اکتبر ۲۰۰۴، با سطر و مسیر ۱۶۴/۳۶ و بدون ابر. معیار انتخاب این تاریخ‌ها، موجود بودن تصاویر، داشتن حداکثر

رابطه زیر به تابش دریافت شده در سنجنده تبدیل شدند (Wubet, 2003):

$$L_{\lambda} = (DN - 1) \times UCC \quad (1)$$

که در آن L_{λ} رادیانس محاسبه شده بر حسب $(Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$ و UCC ضریب تبدیل واحد است.

ضرایب تبدیل واحد استفاده شده، برای باندها و وضعیت Gain های مختلف در جدول ۱ برای سنجنده ASTER نشان داده شده است.

در ادامه به منظور کاهش اثرات جو، از مدل تصحیح جوی FLASH در نرم افزار ENVI که یک مدل تصحیح جوی مطلق است، استفاده شد. پارامترهای ورودی برای مدل تصحیح جوی FLASH، در جدول ۲ نشان داده شده است.

۳- داده های بازتابندگی MODIS (MOD09A1) مربوط به تاریخ های ذکر شده برای تصاویر آلبیدو.

۴- داده های عمق اپتیکی MODIS (MOD04_L2) همزمان با تصاویر آلبیدوی MODIS.

۵- نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه.

۶- داده های آماری همدیدی و هواشناسی (بارندگی، پدیداری، سرعت و جهت باد) در ایستگاه های ساوه، فرودگاه امام و قم.

آماده سازی داده ها

تولید آلبیدو از تصاویر ASTER

به منظور اعمال تصحیحات رادیومتریکی بر روی تصاویر LIB ASTER، ابتدا مقادیر درجات خاکستری با استفاده از

جدول ۱- ضرایب تبدیل واحد جهت کالیبراسیون اعداد رقمی، DN (منبع: ASTER User Handbook)

شماره باند	Coefficient (W/(m ² sr μm)/DN)			
	High Gain	Normal Gain	Low Gain 1	Low Gain 2
۱	۰/۶۷۶	۱/۶۸۸	۲/۳۵	N/A
۲	۰/۷۰۸	۱/۴۱۵	۱/۸۹	
N۳	۰/۴۲۳	۰/۸۶۲	۱/۱۵	
B۳	۰/۴۲۳	۰/۸۶۲	۱/۱۵	
۴	۰/۱۰۸۷	۰/۲۱۷۴	۰/۲۹۰	۰/۲۹۰
۵	۰/۰۳۴۸	۰/۰۶۹۶	۰/۰۹۲۵	۰/۴۰۹
۶	۰/۰۳۱۳	۰/۰۶۲۵	۰/۰۸۳۰	۰/۳۹۰
۷	۰/۰۲۹۹	۰/۰۵۹۷	۰/۰۷۹۵	۰/۳۳۲
۸	۰/۰۲۰۹	۰/۰۴۱۷	۰/۰۵۵۶	۰/۲۴۵
۹	۰/۰۱۵۹	۰/۰۳۱۸	۰/۰۴۲۴	۰/۲۶۵
۱۰	N/A	۰/۰۰۶۸۲۲	N/A	N/A
۱۱		۰/۰۰۶۷۸۰		
۱۲		۰/۰۰۶۵۹۰		
۱۳		۰/۰۰۵۶۹۳		
۱۴		۰/۰۰۵۲۲۵		

$$\alpha_{short} = 0.484\alpha_1 + 0.335\alpha_3 - 0.324\alpha_5 + 0.551\alpha_6 + 0.305\alpha_8 - 0.367\alpha_9 - 0.0015 \quad (2)$$

α_{short} و α_n به ترتیب معرف آلبیدوی موج کوتاه و آلبیدوی باریک باند در باند n هستند. یعنی بازتابندگی در باند n برای هر پیکسل ASTER، برابر با آلبیدوی طیفی در آن باند در نظر گرفته می شود (Liang, 2000). نهایتاً تمامی تصاویر آلبیدو و NDVI سنجنده ASTER، با استفاده از نقشه های پوششی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه، در سیستم مختصات WGS84 و سیستم تصویر UTM زون ۳۹ شمالی،

برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه، تصاویر NDVI با استفاده از داده های بازتابندگی خروجی از الگوریتم FLASH تولید شد. تصاویر NDVI نشان داد که سطح مورد مطالعه، حداقل در بازه زمانی مطالعاتی، فاقد پوشش گیاهی است که نقشه های پوششی ۱:۲۵۰۰۰ نیز موید این مطلب بودند. پس از تولید بازتابندگی های سطحی، آلبیدوی پهن باند موج کوتاه ASTER، با استفاده از رابطه رگرسیون زیر، که بر مبنای فرض سطح لامبرتی می باشد، محاسبه شد (Liang, 2000).

استفاده می‌کند (Wanner et al., 1997). در مرحله تصحیح جوی، از اطلاعات هواویزی و بخار آب MODIS، برای استخراج بازتابندگی‌های سطحی از رادیانس بالای جو استفاده می‌شود. سپس بازتابندگی‌های سطحی عاری از ابر و تصحیح جوی شده، برای استخراج پارامترهای مدل BRDF به کار می‌روند. آنچه در کاربردهای مدل‌سازی مورد نیاز است، یک بازتابندگی نیمکره‌ای میانگین با توجه به ویژگی‌های ذاتی سطح است که وابسته به زمان و شرایط جو نباشد. به منظور برآوردن این نیاز، الگوریتم BRDF/Albedo سنجنده MODIS، ۲ مورد اندازه‌گیری برای آلبیدو که جزو ویژگی‌های ذاتی سطح بوده و وابسته به شرایط جو در زمان مشاهدات نیستند را از طریق انتگرالگیری زاویه‌ای مدل BRDF تولید می‌کند. این ۲ اندازه‌گیری به نام‌های آلبیدوی طیفی نیمکره‌ای جهتی یا آلبیدوی (BSA) Black Sky و آلبیدوی طیفی نیمکره‌ای یا آلبیدوی (WSA) White Sky معروفند. آلبیدوهای BSA و WSA در هفت باند زمینی MODIS (۷ باند اول) و ۳ پهن باند مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و موج‌کوتاه تولید می‌شوند. آلبیدوی واقعی طبق رابطه زیر از ترکیب خطی آلبیدوهای BSA و WSA بدست می‌آید (Geiger et al., 2008):

$$\text{Actual albedo} = (1 - S(\theta, \tau(\lambda))) \text{BSA} + S(\theta, \tau(\lambda)) \text{WSA} \quad (3)$$

که در آن S تابع درصد نور پراکنده، θ زاویه زینت خورشید و $\tau(\lambda)$ عمق اپتیکی هواویزی در طول موج ۵۵۰ نانومتر است. برای محاسبه درصد نور پراکنده، برنامه‌ای به نام TELL_SKYL.C (<http://geography.bu.edu/brdf/>) توسط تیم MODIS نوشته شده که به صورت رایگان در اختیار استفاده‌کنندگان قرار می‌گیرد. ورودی این برنامه زوایای زینت خورشید در ظهر خورشیدی محلی و داده‌های عمق اپتیکی هواویزی است. در این تحقیق برای استخراج زوایای زینت خورشید از تصاویر MOD09A1 و برای استخراج داده‌ها عمق اپتیکی از محصول MOD04_L2 استفاده شده است. MOD04_L2 از محصولات هواویزی MODIS می‌باشد که حاوی داده روزانه عمق اپتیکی در طول موج ۵۵۰ نانومتر و با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر است.

و با خطای هندسی ۰/۱۲ پیکسل (RMSE=0/12) تصحیح هندسی شدند.

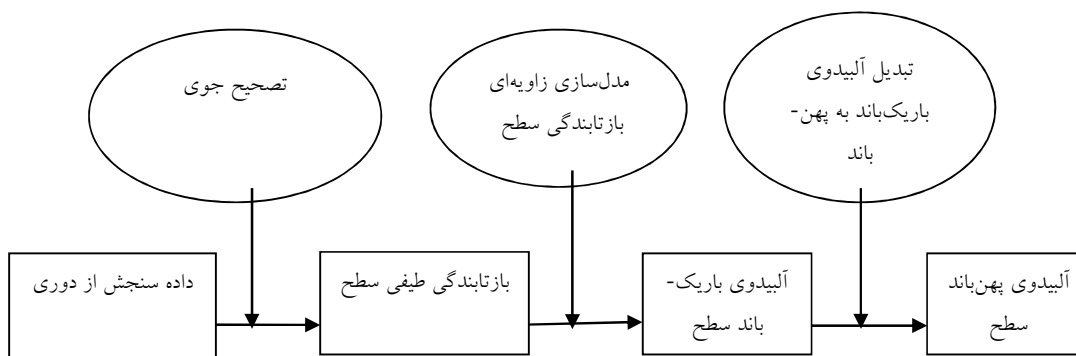
جدول ۲- پارامترهای ورودی مدل تصحیح جوی FLASH

پارامترهای FLASH	مقدار ورودی
نام سنجنده	ASTER
ابعاد پیکسل	m15
ارتفاع سطح	m900
تاریخ	۲۸/۰۷/۲۰۰۱
زمان برداشت	۰۹:۲۸:۷
مدل هواویز	روستایی
مدل جوی	Mid-Latitude Summer
Output reflectance scale factor	۱۰
Initial visibility	۱۵

الگوریتم بازیابی آلبیدو در سنجنده MODIS

MCD43A از محصولات آلبیدوی MODIS با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر است که از مشاهدات سنجنده MODIS بر روی هر دو ماهواره‌ی Terra و Aqua تولید می‌شود. MCD43A شامل: محصول آلبیدوی جهانی (MCD43A3)، پارامترهای مدل BRDF و اطلاعات کنترل کیفیت این پارامترها (MCD43A3) و محصولات NBAR¹ (MCD43B4) می‌باشد که در سیستم مختصات Sinusoidal ارائه می‌شوند. در این تحقیق از محصولات MCD43A3 که شامل آلبیدوهای طیفی و پهن‌باند مستقل از شرایط جو می‌باشد برای تولید آلبیدوی واقعی موج کوتاه استفاده می‌شود. در ادامه مختصری به چگونگی تولید این محصولات در سنجنده MODIS پرداخته می‌شود. مراحل پردازشی در استخراج آلبیدوهای پهن‌باند سطح از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی در شکل ۲ نشان داده شده است.

الگوریتم بازیابی آلبیدو در سنجنده MODIS، از مشاهدات چند زاویه‌ای و چند طیفی حاصل از سنجنده‌های MODIS و MISR و مدل BRDF نیمه تجربی کرنل مبنای RossThick-LiSparse برای تولید محصولات^{۱۱} آلبیدو با دوره زمانی ۱۶ روزه و با قدرت تفکیک‌های مکانی مختلف



شکل ۲- مراحل پردازشی در استخراج آلبیدوی پهن باند از تصاویر ماهواره ای چندطیفی (Liang, 2003).

موج کوتاه ۵۰۰ متری MODIS، می باید آلبیدوهای ۵۰۰ متری از آلبیدوهای ۱۵ متری ASTER تولید می شد. در نتیجه ابتدا برای هر پیکسل MODIS، مجموعه پیکسل های متناظر از تصویر ASTER جستجو و سپس میانگین آلبیدوی آن مجموعه پیکسل از تصویر ASTER، به عنوان آلبیدوی متناظر حاصل از تصاویر ASTER ثبت شد. با توجه به آنکه ابعاد پیکسل های MODIS، تقریباً ۵۰۰ متر (۴۶۳ متر) و ابعاد پیکسل های ASTER ۱۵ متر می باشد، هر پیکسل MODIS در بر گیرنده تقریباً ۹۶۰ پیکسل ASTER می باشد.

تجزیه و تحلیل نتایج

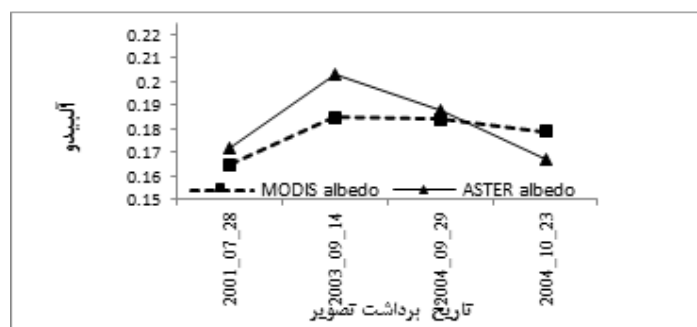
آلبیدوی پهن باند سطح، پارامتر بسیار مهمی در مطالعات زیست محیطی، هواشناسی و مطالعات انتقال تابشی محسوب می شود. تعیین هر چه دقیق تر آلبیدو باعث دقیق تر شدن مدل سازی های محیطی و آب و هوایی و افزایش قابلیت اطمینان پیش بینی های جوی-اقلیمی می شود (Wang & Davidson, 2007). مطالعاتی در زمینه ارزیابی دقت آلبیدو در تعدادی از انواع پوشش های سطح زمین صورت گرفته است (Susaki, 2007; Wang et al., 2004; Strove et al., 2005). با توجه به آنکه مطالعات صورت گرفته در زمینه آلبیدو و ارزیابی داده های ماهواره ای در آسیا و به خصوص در ایران بسیار اندک بوده، در این تحقیق به ارزیابی آلبیدوی موج کوتاه حاصل از داده های آلبیدوی جهانی MODIS با استفاده از آلبیدوی موج کوتاه حاصل از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده

محاسبه آلبیدوی واقعی موج کوتاه MODIS

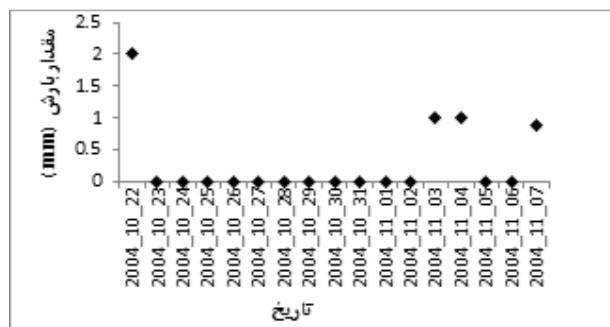
با توجه به اهداف تحقیق، جهت امکان مقایسه آلبیدوی موج کوتاه ASTER و MODIS، لازم است آلبیدوی واقعی موج کوتاه MODIS در سیستم مختصات ASTER محاسبه شود. در نتیجه تصاویر زاویه زینت خورشید و تصاویر آلبیدوی BSA و WSA که برای محاسبه آلبیدوی واقعی MODIS مورد نیازند و سیستم مختصات آنها Sinusoidal است، با توجه به تصاویر ASTER منطقه بریده شدند. سپس تصاویر بریده شده MODIS با دقت ۰/۲ پیکسل نسبت به تصاویر ASTER توجیه شدند. برای محاسبه آلبیدوی واقعی MODIS از آلبیدوهای WSA و BSA، نیاز به محاسبه تابع درصد نور پراکنده می باشد. برنامه TELL_SKYL.C که به این منظور در سایت MODIS قرار داده شده دانلود و برای سهولت کار به زبان مطلب بازنویسی شد. ورودی این برنامه، مقادیر عمق اپتیکی و زاویه زینت خورشید برای موقعیت های مورد مطالعه است. مقادیر عمق اپتیکی حاصل از داده های MOD04_L2 و داده های زاویه زینت خورشید مستخرج از تصاویر بازتابندگی MODIS، وارد برنامه محاسبه درصد نور پراکنده شدند و تابع درصد نور پراکنده برای پیکسل های مورد مطالعه MODIS در پهن باند موج کوتاه حساب شد. پس از آن، مقادیر آلبیدوی WSA و BSA به همراه مقادیر درصد نور پراکنده، وارد برنامه محاسبه آلبیدوی واقعی شده و آلبیدوی واقعی موج کوتاه برای تک تک پیکسل های MODIS محاسبه شد. برای ارزیابی آلبیدوی واقعی

آلبیدوی MODIS تاثیر این تغییرات با متوسط گیری در پرپود زمانی ۱۶ روزه تعدیل می‌گردد. در نتیجه پژوهش‌گران باید با توجه به زمینه مطالعاتی خود و میزان تاثیر و اهمیت زمان در پدیده مورد پژوهش، برحسب نیاز از آلبیدوهای سطحی روزانه یا دوره‌ای با پرپودهای زمانی معین و موثر استفاده نمایند. علاوه بر عامل متوسط‌گیری آلبیدوی MODIS در یک پرپود زمانی ۱۶ روزه، پایین بودن قدرت تفکیک مکانی این سنجنده و احتمال جای گرفتن پوشش‌های مختلف در پیکسل‌ها نیز می‌تواند سبب بروز خطا در محصولات آلبیدوی MODIS گردد که با توجه به موضوع و منطقه مورد پژوهش، این نکته نیز باید مد نظر قرار گیرد.

ASTER پرداخته شد. در این قسمت نتایج ارزیابی آلبیدوی موج‌کوتاه MODIS به وسیله سنجنده ASTER ارائه شده است. در شکل ۳ میانگین آلبیدوی ۸۰ پیکسل MODIS که از تصاویر آلبیدوی MODIS و ASTER همزمان حاصل شده‌اند در تاریخ‌های مختلف نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که آلبیدوی ASTER تغییرات شدیدتری نسبت به آلبیدوی MODIS دارد. آلبیدوی ASTER برای تاریخ همان روز محاسبه می‌شود ولی معمولاً آلبیدوی MODIS در یک پرپود زمانی ۱۶ روزه محاسبه شده و در سایت در دسترس عموم قرار می‌گیرد (Wanner et al., 1997). بنابراین آلبیدوی موج‌کوتاه ASTER نسبت به تغییرات روزانه‌ی شرایط جو و سطح حساس‌تر از آلبیدوی MODIS می‌باشد، ولی در



شکل ۳- سری زمانی میانگین آلبیدوهای حاصل از MODIS و ASTER برای ۸۰ پیکسل انتخابی



شکل ۴- نمودارهای بارندگی در اکتبر و نوامبر ۲۰۰۴

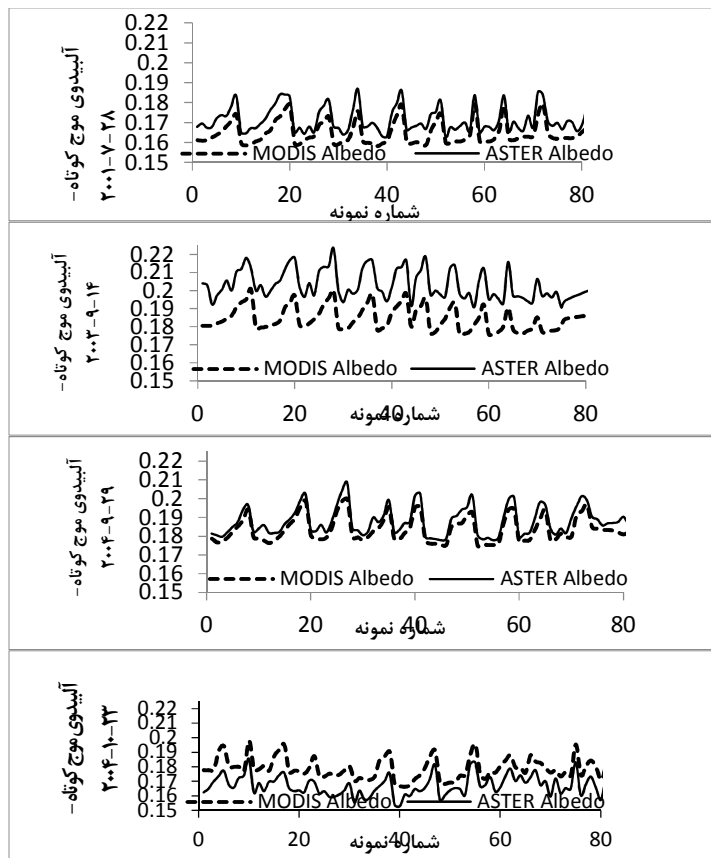
شده است. افزایش رطوبت خاک منجر به کاهش بازتابندگی در طول موج‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌شود (Wang et al., 2004). در نتیجه مقدار آلبیدوی حاصل از هر دو سنجنده کاهش یافته، اما چون آلبیدوی ASTER به تغییرات شرایط جو و سطح حساس‌تر است مقدار کاهش آلبیدوی این تصاویر بیشتر از تصاویر MODIS می‌باشد به حدی که در نتیجه آن آلبیدوی موج‌کوتاه ASTER مقادیر

همچنین مشاهده می‌شود که به غیر از تاریخ ۲۳ اکتبر ۲۰۰۴ در بقیه موارد آلبیدوهای موج‌کوتاه MODIS مقادیر کمتری نسبت به آلبیدوهای موج‌کوتاه ASTER دارند. با توجه به داده‌های بارندگی (شکل ۴) در تاریخ ۲۲ اکتبر ۲۰۰۴ یعنی دو روز قبل از اخذ تصویر ASTER و همچنین در طول پرپود زمانی MODIS (یعنی از تاریخ ۲۳ اکتبر تا ۷ نوامبر) بارندگی اتفاق افتاده که باعث افزایش رطوبت خاک

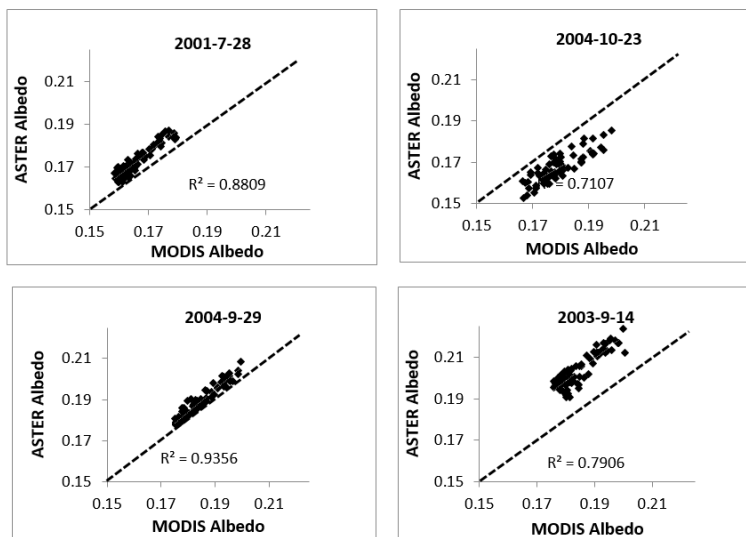
تغییرات دو مقدار آلبیدوی محاسبه شده برای هر پیکسل MODIS به خوبی در شکل‌ها نمایان است. شکل ۶ هم بیانگر همبستگی بالای مقادیر آلبیدوی موج کوتاه ASTER و آلبیدوی واقعی موج کوتاه MODIS می‌باشد. می‌توان گفت با در نظر گرفتن روند افزایش یا کاهش آلبیدوی حاصل از هر کدام از این دو سنجنده می‌توان تغییرات آلبیدوی سنجنده‌ی دیگر را در پیکسل‌های مورد مطالعه پیش‌بینی نمود. ملاحظه می‌شود در تاریخ‌های ۱۴ سپتامبر ۲۰۰۳ و ۲۳ اکتبر ۲۰۰۴ همبستگی آلبیدوی ASTER و MODIS کمتر و در تاریخ‌های ۲۸ جولای ۲۰۰۱ و ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۴ این همبستگی بیشتر است. بنابراین با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان گفت در صورت پایدار بودن شرایط محیطی در زمان اخذ تصویر توسط دو سنجنده MODIS و ASTER، مقادیر آلبیدوی موج کوتاه مستخرج از آن دو همبستگی بالایی را با یکدیگر نشان می‌دهند.

کمتری را نسبت به آلبیدوی MODIS اتخاذ کرده است. بنابراین می‌توان کاهش آلبیدوی ASTER نسبت به آلبیدوی MODIS را به عامل بارندگی و افزایش رطوبت خاک نسبت داد. در ۳ تاریخ دیگر، نه در روز اخذ تصویر ASTER و نه در طول پرواز MODIS بارندگی اتفاق نیفتاده بود، به همین دلیل از آوردن نمودارهای بارندگی مربوط به آنها خودداری شده است.

در شکل ۵ آلبیدوی واقعی موج کوتاه MODIS و مقدار متناظر حاصل از تصویر ASTER برای ۸۰ پیکسل MODIS و در شکل ۶ میزان همبستگی این دو نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت آلبیدوهای حاصل از سنجنده‌های ASTER و MODIS در منطقه‌ی همگن مورد مطالعه که منطقه‌ای پوششیده از خاک لیخت خشک و فاقد پوشش گیاهی است، رفتار مشابهی دارند و تغییرات یکدیگر را دنبال می‌کنند. به طوری که همبستگی



شکل ۵- آلبیدوی محاسبه شده از تصاویر MODIS و ASTER برای ۸۰ پیکسل انتخابی



شکل ۶- نمودار پراکنندگی آلبیدوی موج کوتاه ASTER نسبت به آلبیدوی موج کوتاه MODIS برای پیکسل‌های انتخابی

جدول ۳- نتایج مقایسه آلبیدوهای موج کوتاه MODIS و ASTER.

تاریخ برداشت تصویر	آلبیدوی MODIS (میانگین ۸۰ پیکسل انتخابی)	آلبیدوی ASTER	اختلافات نسبی (Relative differences)		RMSD اختلافات نسبی (%)	R ²
			ماکزیمم	مینیمم		
۲۰۰۱/۰۷/۲۸ ۲۰۰۱/۰۷/۲۸	۰/۱۶۵	۰/۱۷۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۴	۰/۸۸
۲۰۰۳/۰۹/۱۴ ۲۰۰۳/۰۹/۱۳	۰/۱۸۴	۰/۲۰۳	۰/۱۱	۰/۰۵	۹	۰/۷۹
۲۰۰۴/۰۹/۲۹ ۲۰۰۴/۱۰/۰۱	۰/۱۸۵	۰/۱۸۸	۰/۰۵	۰/۰۱	۳	۰/۹۳۵
۲۰۰۴/۱۰/۲۳ ۲۰۰۴/۱۰/۲۴	۰/۱۶۷	۰/۱۷۹	-۰/۰۲	-۰/۱۱	۸	۰/۷۱

$$RMSD = \sqrt{\sum_i^n ((ASTER\ albedo - MODIS\ albedo) / ASTER\ albedo)^2 / (n - 1)}$$

n = number of pixels

اخذ تصویر ASTER (۱۳ سپتامبر) نسبت به پروید زمانی ۱۶ روزه MODIS و وزش باد از سمت جنوب می‌توان نتیجه گیری نمود که وزش بادهایی از سمت دریاچه نمک (از سمت جنوب منطقه مطالعاتی)، که حاوی ذرات نمک می‌باشند عامل عمده افزایش ناگهانی آلبیدوی ASTER نسبت به MODIS و افزایش RMSD اختلافات آنهاست. از طرف دیگر در تاریخ‌های ۲۸ جولای ۲۰۰۱ و ۲۹ سپتامبر ۲۰۰۴ شرایط جوی در روز اخذ تصویر ASTER و در بازه زمانی ۱۶ روزه MODIS شباهت زیادی داشتند که در نتیجه آن اختلاف

با توجه به جدول ۳، RMSD اختلافات آلبیدوهای موج- کوتاه ASTER و MODIS نیز در دو تاریخ ۱۴ سپتامبر ۲۰۰۳ و ۲۳ اکتبر ۲۰۰۴ بیشتر است. دلیل RMSD بالاتر و همبستگی کمتر در تاریخ ۲۳ اکتبر ۲۰۰۴ را می‌توان به عامل بارندگی نسبت داد. برای پروید مربوط به تاریخ ۱۴ سپتامبر ۲۰۰۳ پارامترهای پدیداری، سرعت و جهت باد از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استخراج شد. با توجه به پایین بودن مقدار پدیداری که مبین وجود جو پر از غبار می‌باشد (Baumer et al., 2007)، و بالا بودن سرعت باد در تاریخ

فراوان دارد خطا در این محصولات می تواند نتایج خروجی مدل های مذکور را تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین توصیه می شود استفاده کنندگان با توجه به نوع نیاز مطالعاتی و پژوهشی خود، دقت این محصولات را در نظر بگیرند. به منظور بررسی و تحقیق بیشتر پیشنهاد می شود مطالعات در فصول و در شرایط مختلف سال و نیز برای سطوح ناهمگن نیز انجام شود تا خطای ناشی از استفاده از داده های آلبیدوی MODIS که بصورت رایگان در دسترس عموم قرار می گیرد، برای استفاده کنندگان بخوبی تبیین گردد. عدم استفاده صحیح از این داده ها می تواند مشکلات عدیده ای را در پژوهش های محیطی بوجود آورد.

منابع

1. Abrams, M., Hook, S., Ramachandran, B., 2002, ASTER Users Handbook, Version 2: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Relection Radiometer.
2. Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Mohler, O., Schnaiter, M., 2007. Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany, Institute for Meteorology and Klimaforschung (IMK), University Karlsruhe, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe, Germany.
3. BRDF/Albedo, Boston, M. A: Dep. Geography Center Remote Sense. Boston Univ. [Online]. Available: <http://geography.bu.edu/brdf/>
4. Henderson-Sellers, A., Wilson, M. F., 1983, Surface albedo for climate modeling, Rev. Geophys., 21, 1743-1778.
5. Jin, Y., Schaaf, C. B., 2003, Consistency of MODIS surface bidirectional reflectance distribution function and albedo retrievals: 2.Validation. Journal of geophysical research, VOL. 108, NO. D5, 4159.
6. Li, Z., Garand, L., 1994, Estimation of surface albedo from space: A parameterization for global application. Journal of Geophysical Research, VOL. 99, No. D4, Pages 8335- 8350.
7. Li, Z., Garand, L., 1994, Estimation of surface albedo from space: A parameterization for global application. Journal of Geophysical Research, Vol. 99, No. D4, Pages 8335- 8350
8. Liang, S., 2000, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. Remote Sensing of Environment. No. 76, Pages. 213- 238.

آلبیدوهای موج کوتاه ASTER و MODIS نیز کمتر دیده می شود. بنابراین با توجه به داده های هواشناسی مشاهده می شود که در شرایط ایده آل چنانچه شرایط جوی در پرپود زمانی ۱۶ روزه MODIS حاکی از عدم تغییر عمده جوی و با عدم ورود جبهه هوای جدیدی به منطقه بوده و با شرایط جوی در زمان اخذ تصویر ASTER مشابه باشد، RMSD اختلافات مقادیر آلبیدوی موج کوتاه MODIS نسبت به ASTER در حدود ۴ درصد می باشد. در غیر اینصورت با عنایت به میزان و شدت تغییرات جوی در مدت ۱۶ روز در مقایسه با روز گذر، انحراف آلبیدوی مستخرج از MODIS در مقایسه با ASTER بسیار متغیر خواهد بود.

نتیجه گیری

در این تحقیق آلبیدوی واقعی موج کوتاه ۵۰۰ متری MODIS که با استفاده از محصولات MCD43A3 و تابع درصد نور پراکنده محاسبه شد، با آلبیدوی موج کوتاه محاسبه شده از تصاویر ASTER همزمان خود مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نبود پوشش گیاهی در منطقه، ثابت ماندن پوشش-کاربری منطقه، عدم وجود آلاینده های صنعتی در هوا، کم بودن تعداد روزهای بارندگی در بازه مورد مطالعه و عدم وجود توپوگرافی قابل ملاحظه منطقه مورد نظر برای ارزیابی محصولات آلبیدوی MODIS مناسب دیده شد. برای مقایسه آلبیدوهای بدست آمده از ASTER و MODIS ابتدا آلبیدوهای ۱۵ متری ASTER براساس موقعیت پیکسل های MODIS به قدرت تفکیک ۵۰۰ متری میانگین گیری شدند. نتایج بررسی ها در سالهای ۲۰۰۱، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ نشان داد چنانچه شرایط جوی در طول پرپود MODIS و در روز اخذ تصویر ASTER یکنواخت و مشابه باشد بیشترین اختلافات نسبی آلبیدوی موج کوتاه MODIS نسبت به ASTER، با توجه به جدول ۳، تقریباً ۶ درصد و RMSD این اختلافات نسبی در حدود ۴ درصد می باشد. در مواردی که شرایط جوی روزانه و پرپود زمانی ۱۶ روزه تفاوت زیادی داشته باشد میزان اختلافات نسبی آلبیدوی ASTER و MODIS و RMSD این اختلافات نسبی به ترتیب تا حدود ۱۱ درصد و ۹ درصد افزایش می یابد. از آنجایی که محصولات آلبیدوی جهانی MODIS در مدل های هواشناسی و اقلیمی کاربرد

- measurements, *Remote Sens. Environ.*, vol. 94, no. 1, pp. 46–60.
17. Susaki, J., 2007, Validation of MODIS albedo products of paddy fields in Japan. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, NO. 1.
 18. Tian, Y., 2002, Multiscale analysis and validation of the Modis LAI product over maun, Botswana, I, uncertainty assessment, *Remote Sens. Environ.*, 83, 414-430.
 19. Wang, K., Liu, J., Zhou, X., Sparrow, M., Ma, M., 2004, Validation of the MODIS global land surface albedo product using ground measurements in a semidesert region on the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical research*, Vol. 109, D05107.
 20. Wang, S., Davidson, A., 2007, Impact of climate variations on surface albedo of a temperate grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142, 133-142.
 21. Wanner, W., Strahler, A. H., Hu, B., Lewis, P., 1997, Global retrieval of bidirectional reflectance and albedo over land from MODIS and MISR data: Theory and algorithm. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. D14, 17,143- 17,161.
 22. Wubet, M. T., 2003, Estimation of Absolute Surface Temperature by Satellite Remote Sensing, M. Sc. Thesis. ITC, Netherlands.
 23. Zhang, X., Liang, S., 2010, Analysis of Global Land Surface Shortwave Broadband Albedo from Multiple Data Sources. *IEEE Transactions on Earth observation and Remote Sens.*
 24. Evaluation of MODIS 16-Days-Albedo Products Using ASTER Albedo Products for Homogeneous Semi-Arid Surfaces.
 9. Liang, S., 2003, A direct algorithm for estimating land surface broadband albedos from MODIS Imagery. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, VOL. 41, No. 1.
 10. Liang, S., Strahler, A. H., Walthall, C. W., 1999, Retrieval of land surface albedo from satellite observation: A simulation study, *J. Appl. Meteorol.*, 38, 712-725.
 11. Liang, S., Shuey, C. J., Russ, A.L., Fang, H., 2002, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. *Remote Sensing of Environment* 84, Pages 25-41.
 12. Lucht, W., Hyman, A. H., Strahler, A. H., Barnsley, M. J., Hobson, P., Muller, J.P., 2000, A comparison of satellite-derived spectral albedos to ground based broadband albedo measurements modeled to satellite spatial scale for a semidesert landscape, *Remote sens. Environ.*, 74, 85-98.
 13. Lucht, W., C. Schaaf, B., 2000, An Algorithm for the Retrieval of Albedo from space using semiempirical BRDF models. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing*, Vol. 38, No. 2.
 14. Maurer, J., 2002, Retrieval of surface albedo from space. Part of a graduate course ("Remote Sensing Field Methods"), NASA/GSFC/LaRC/JPL.
 15. Sellers, P. j., 1993, Remote sensing of land surface climatology change, NASA/GSFC international Satellite Land Surface Climatology Project report, NASA Goddard Space Flight Cent., Greenbelt, Md.
 16. Stroeve, J., Box, E., Gao, F., Liang, S., Nolin, A., Schaaf, C., 2005, Accuracy assessment of the MODIS 16-day albedo product for snow: Comparison with Greenland in situ