

ارتقای الگوریتم آشکارسازی ابر MODIS با استفاده از تصویر هم‌زمان ASTER، مطالعه موردی: شهر دامغان

محمد رضا مباشری^{۱*}، نبی‌اله غلامی^۲، منوچهر فرج‌زاده‌اصل^۳

- ۱- دانشیار گروه سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
- ۲- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- دانشیار گروه سنجش از دور GIS دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۸۹/۱۲/۲۱ پذیرش: ۹۰/۲/۱۲

چکیده

سودمندی و اعتبار داده‌های ماهواره‌ای به طور قوی به شرایط جوی وابسته است. گردوغبارهای جوی، گازها و بویژه حضور ابرها می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر انرژی بازتابیده از سطح اثر گذاشته و قرائت سنجنده‌های اپتیکی را با خطا مواجه سازند.

پیکسل‌های آلوده به ابر اغلب بازتابندگی پوشش‌های زمینی را افزایش داده و دمای آن‌ها را پایین‌تر از مقدار واقعی خود نشان می‌دهند. ابرهای کوچک‌تر از ابعاد پیکسل که قابل مشاهده نیستند، باعث افزایش بازتابندگی پیکسل شده و ایجاد خطا می‌کنند. با توجه به این‌که ابرهای مختلف برهم کنش‌های مختلفی با طیف‌های مختلف دارند، می‌توان با ترکیب و آنالیز باندهای مختلف طیفی MODIS^۱ میزان ابرناکی بودن پیکسل را تعیین کرد.

با استفاده از این روش می‌توان پیکسل‌های آلوده به ابر را سریع‌تر و با روشی ساده‌تر تعیین کرد. الگوریتم MODIS Cloud Mask به‌وسیله آکرمن و همکاران در سال ۲۰۰۶ ارائه شد. در این تحقیق نخست اقدام به شناسایی پیکسل‌های ابری در تصویر MODIS به کمک مدل پنج مرحله‌ای موجود در MODIS Cloud Mask شد و در ادامه برای ارتقای مدل و تعیین درصد ابر موجود در یک پیکسل برای ابرهای کوچک‌تر از ابعاد پیکسل با استفاده از دمای درخشندگی باند ۱۴ سنجنده ASTER (BT₁₄) در داخل پیکسل دمای درخشندگی باند ۳۱ سنجنده MODIS (BT₃₁) جستجو و درصد پوشش ابری هر پیکسل به‌دست آمد. ارزیابی مدل حکایت از همبستگی بالای بیش از ۰/۹۳ بین میزان

E-mail: mobasheri@kntu.ac.ir

*نویسنده مسؤول مقاله:

1. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer



واقعی کسر پوشش ابر موجود در تصویر ASTER و میزان اندازه‌گیری شده را به وسیله مدل دارد که باتوجه به قدرت تفکیک مکانی پایین سنجنده MODIS، بسیار امیدوارکننده است.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، MODIS، ابرناکی، دمای درخشندگی، ASTER.

۱- مقدمه

ابرها منشأ اصلی نویز^۱ در سنجش از دور هستند (Mobasheri & et. al., 2006). پوشش ابر یک مانع اساسی برای رؤیت و پایش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و در طول موج‌های کوتاه و مادون قرمز محسوب می‌شود. پوشش ابر تأثیر زیادی بر رادپانس اندازه‌گیری شده در محدوده مادون قرمز می‌گذارد (McNally and Watts, 2003). گردوغبار جوی، گازها و بویژه ابرها می‌تواند به طور قابل توجهی بر انرژی بازتابیده از سطح اثر گذاشته و قرائت سنجنده‌های اپتیکی را با خطا مواجه سازد. ابرها از پدیده‌های جوی گذرا محسوب می‌شوند که از ذرات ریز آب و یخ با ابعاد کوچک‌تر از میلی‌متر تشکیل شده‌اند. ابرها یک عامل اصلی مشاهدات دمایی نادرست هستند (Stewart, 1985). ابرها در تصاویر ماهواره‌ای همواره تحت عنوان پدیده‌هایی شناسایی می‌شوند که در باندهای مرئی طیف الکترومغناطیسی نسبت به سایر پدیده‌های زمینی میزان بازتابندگی بالاتری داشته و در باندهای حرارتی هم دمای پایین‌تری دارند (Ackerman & et.al, 2006). فرض اصلی در تمامی الگوریتم‌های آشکارسازی ابر این است که پیکسل‌های آلوده به ابر اغلب بازتابندگی پوشش‌های زمینی را افزایش داده و دمای آن‌ها را پایین‌تر از مقدار واقعی خودشان نشان می‌دهد (FEIJT & et.al, 2000). تفاوت در کنتراست سطح ابر و زمین در گستره طیف کمک می‌کند. پیکسل‌های ابری از پیکسل‌های عاری از ابر تشخیص داده شوند. هم‌چنین ابرهای کوچک‌تر از ابعاد پیکسل که قابل مشاهده نیستند، به طور محسوسی باعث افزایش بازتابندگی پیکسل شده و ایجاد خطا می‌کنند (مباشری و رضایی، ۱۳۸۵). ابرهای کوچک‌تر از ابعاد پیکسل با توجه به این‌که سطح یک پیکسل سنجنده MODIS در بهترین حالت $6/2$ تا 100 هکتار است، قابل رؤیت نبوده و ایجاد خطا می‌کنند. سنجنده MODIS بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua با قدرت تفکیک

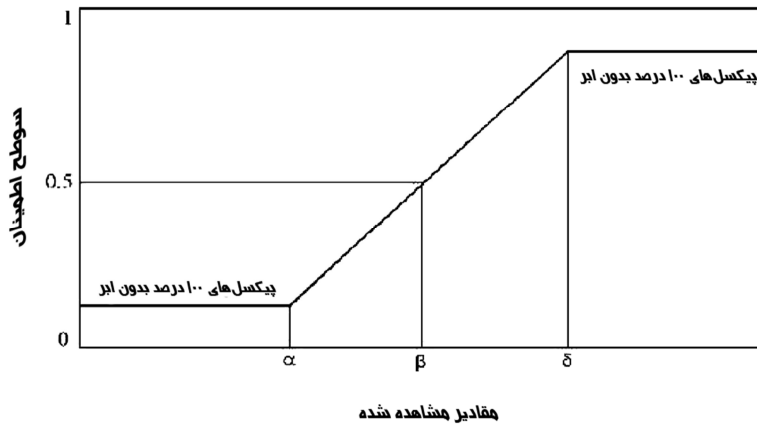
1. Noise

طیفی بالا (۳۶ باند طیفی) این فرصت را فراهم کرده است تا بتوان هم ابرها را با قاطعیت بیش‌تری در این تصاویر شناسایی کرد (Ackerman & et.al, 2006).

۲- الگوریتم MODIS Cloud Mask

این الگوریتم در سال ۲۰۰۶ به وسیله آکرمن و همکارانش برای آشکارسازی پیکسل‌های ابری تصاویر MODIS ارائه شد. این الگوریتم از جمله مدل‌های رایج برای شناسایی پیکسل‌های حاوی ابر در تصاویر MODIS، ترکیب نتایج مختلف حاصل از آستانه‌گذاری در طیف‌های مختلف به شمار می‌رود (Ackerman, 2006).

در این الگوریتم با استفاده از باندهای طیفی ۱، ۲، ۵، ۶، ۲۱، ۲۲، ۲۶، ۲۷، ۲۹، ۳۱، ۳۲ و ۳۵ و روابط گوناگون که مجموعه آن به طور کلی در ۴ گروه طبقه‌بندی می‌شوند، علاوه بر بالا بردن دقت مورد نظر در شناسایی پیکسل‌های حاوی ابر (به این ترتیب پیکسلی که حاوی ابر است، اگر در یک باند خاص شناسایی نشد، احتمال شناسایی آن در باندهای دیگر افزایش پیدا می‌کند)، منجر به ارائه یک سطح اطمینانی برای هر تصویر MODIS بین صفر تا ۱ خواهد شد، به این ترتیب که هر پیکسل مقداری را بین صفر تا ۱ برحسب ابری یا غیر ابری بودن به خود می‌گیرد، مقدار صفر نشان‌دهنده ۱۰۰ درصد ابری بودن آن پیکسل و مقدار ۱ نشان‌دهنده ۱۰۰ درصد غیر ابری بودن آن پیکسل است، البته مقادیر بین صفر و ۱ برحسب میزان دوری یا نزدیک بودن به این دو آستانه میزان اطمینانی را از لحاظ ابری یا غیر ابری بودن به دست می‌دهد. شکل ۱ نشان می‌دهد که به چه صورت می‌توان مقادیر صفر تا ۱ را به صورت سطح اطمینان‌های مجزا از هم و البته قابل قبول تقسیم کرد. بر اساس این شکل پیکسل‌های با ارزش بالاتر از δ با عنوان پیکسل‌های ۱۰۰ درصد بدون ابر و همچنین پیکسل‌های با ارزش پایین‌تر از α به عنوان پیکسل‌های ۱۰۰ درصد ابری علامت‌گذاری می‌شوند. در نتیجه برای هر مدلی اگر از این آستانه‌ها استفاده شود، پیکسل‌های آن تصویر را می‌توان به ۴ دسته ۱۰۰ درصد ابری، احتمالاً ابری، ۱۰۰ درصد بدون ابر و احتمالاً بدون ابر تقسیم کرد (Ackerman, 2006).



شکل ۱ شکل گرافیکی آستانه گذاری با استفاده از سه آستانه α , β و δ

۳- دمای درخشندگی (BT)

کلیه اجسامی که دمایی بیشتر از صفر مطلق دارند از خود امواج الکترومغناطیسی تابش می کنند که به آن تابش حرارتی می گویند. این خاصیت سنجنده را قادر می سازد تا دمای یک جسم را از راه دور و بدون تماس فیزیکی با آن اندازه گیری کند. معادله دمای درخشندگی به شرح زیر است:

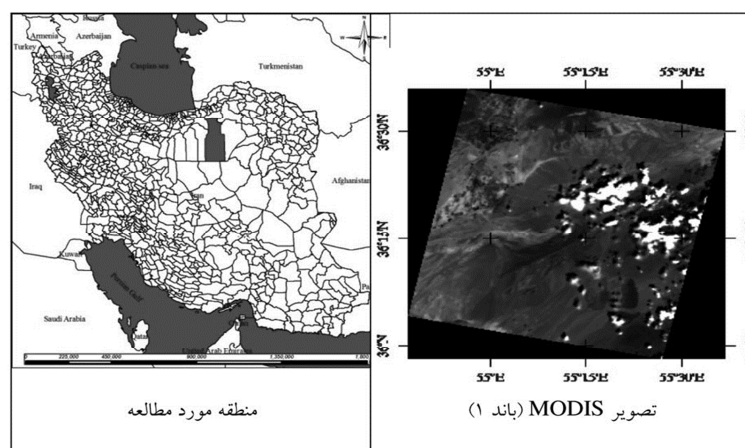
$$BT = \frac{hc}{k\lambda \ln\left(\frac{2hc^2}{B_\lambda \lambda^5} + 1\right)} \quad (1)$$

که در آن h عبارت است از ثابت پلانک ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ Joule.second)،
 K ثابت استفان و بولتزمن ($k = 1.381 \times 10^{-23}$ Joule / kelvin)،
 T دما بر حسب درجه کلوین و C هم سرعت نور ($c = 2.998 \times 10^8$ m/s).

در معادله (۱) فرض بر این نهاده شده است که گسیلمندی پدیده یا پدیده‌های مورد نظر برابر است با ۱ یعنی برابر با گسیلمندی جسم سیاه است. دمای درخشندگی با دمای واقعی برابر نبوده و همواره مقدار آن کمتر از دمای واقعی می‌باشد.

۴- منطقه مورد مطالعه و تصویر استفاده شده

منطقه مورد استفاده در این تحقیق در حوالی شهرستان دامغان بین ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه تا ۳۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. شهر دامغان در دامنه جنوبی البرز و در ۱۲۰ کیلومتری شرق سمنان و ۷۰ کیلومتری غرب شاهرود واقع شده است. قسمت اعظم مساحت شهرستان دامغان را دشت تشکیل می‌دهد. قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه از دشت وسیعی که دارای شیبی مناسب (همگرا و بسیار ملایم با ۰/۱٪) به سمت جنوبی می‌باشد. پوشش سطحی منطقه مورد نظر زمین بایر است و هدف از انتخاب این منطقه کاهش تغییرات گسیلمندی سطح زیرین ابر می‌باشد تا میزان خطای دمای درخشندگی به حداقل برسد. همچنین در این تحقیق از تصاویر سنجنده MODIS و ASTER که بطور همزمان در تاریخ ۲۴ آوریل ۲۰۰۲ اخذ گردیده، استفاده شده است. شکل (۲) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

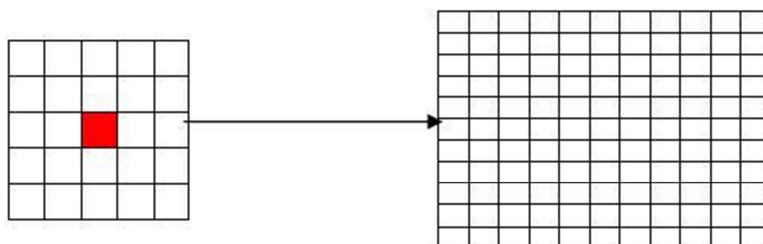


شکل ۲ موقعیت منطقه مورد مطالعه

۵- روش تحقیق

در این تحقیق با استفاده از باندهای حرارتی سنجنده MODIS اقدام به استخراج دمای درخشندگی سطح بالای ابر شد و از تست‌های موجود در الگوریتم MODIS Cloud Mask که پیش از این ذکر شد، استفاده گردید و در غالب ۴ سطح اطمینان پیکسل‌های آلوده به ابر تهیه شد. در ادامه از BT_{۱۴} سنجنده ASTER و BT_{۳۱} سنجنده MODIS برای ارتقای مدل و تعیین درصد ابر موجود در یک پیکسل برای ابرهای کوچک‌تر از ابعاد پیکسل استفاده شد. بنابراین وقتی که این دو تصویر با هم مقایسه می‌شوند، استنباط می‌شود هر پیکسل از تصویر MODIS دربرگیرنده بیش از ۱۲۱ پیکسل ASTER می‌باشد (شکل ۳).

$$\frac{MODIS(1000 \times 1000m)}{ASTER(90 \times 90m)} = 121 \text{ pixels} \quad (۲)$$



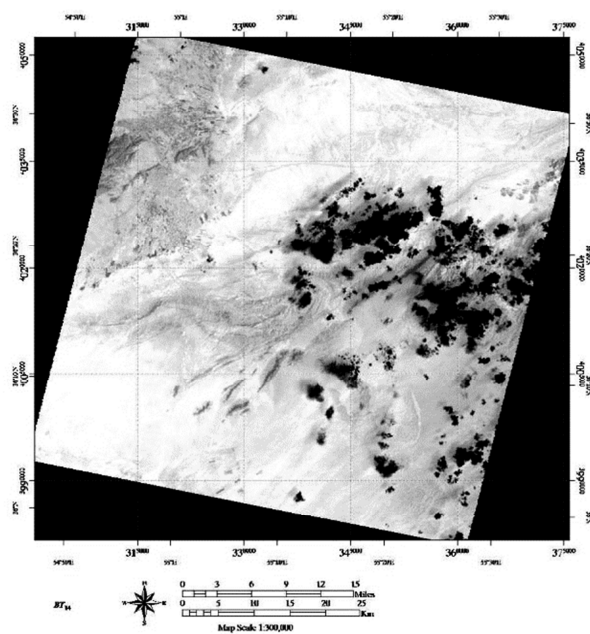
شکل ۳ نمایی شماتیک از مقایسه یک پیکسل MODIS با ۱۱ در ۱۱ پیکسل ASTER

از آنجایی که ممکن است بعضی از پیکسل‌ها در سایه پیکسل‌های دیگر قرار بگیرند و بازتابندگی آن‌ها از دید ماهواره با مقدار واقعی متفاوت باشد تصمیم گرفته شد که نقاط نمونه از مناطق واقع در سایه انتخاب نشود. در انتخاب این نمونه‌ها سعی شد تا پیکسل‌هایی با درصد پوشش‌های ابری مختلف انتخاب شده تا مدل جامعیت بیشتری داشته باشد. هم‌چنین پیکسل‌های بررسی شده از قسمت‌های مختلف تصویر شامل نواحی‌ای که کاملاً از ابر پوشیده شده‌اند، نواحی نیمه ابری در مناطق مرزی انتخاب شدند. لازم به ذکر است که منطقه مورد نظر دارای شیب کم‌تر از ۰/۱ درصد بوده و پوشش سطحی از جنس زمین بایر می‌باشد.

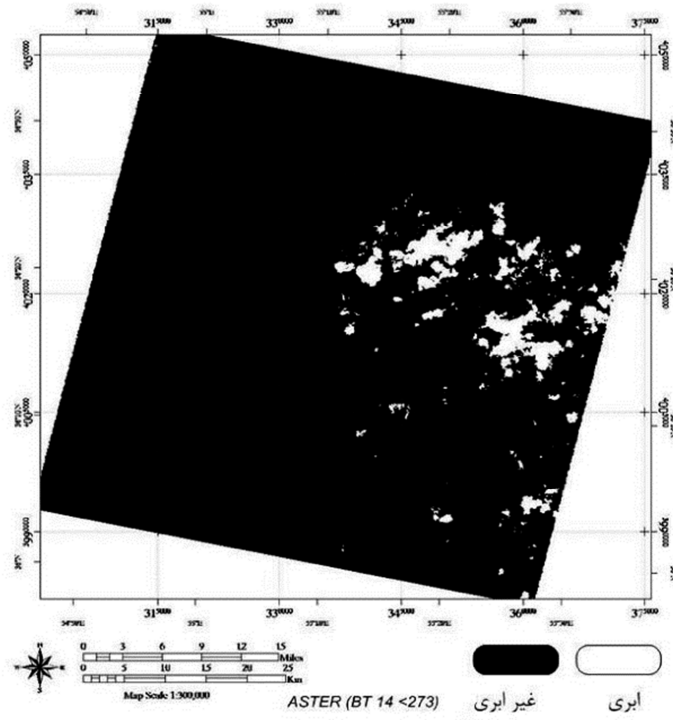
۶- طبقه‌بندی پیکسل‌های ASTER و محاسبه کسر ابر

هدف ما در این بخش جداسازی پیکسل‌های ابری از پیکسل‌های غیرابری برای هر یک از نقاط نمونه‌برداری می‌باشد. ساده‌ترین راه برای این کار استفاده از حد آستانه است. به این منظور از BT14 استفاده شد (شکل ۴). به این ترتیب که در تصاویر روزانه ASTER بر روی سطوح زمین لخت، دماهای کوچک‌تر از ۲۷۳ درجه کلوین در باند ۱۴ را می‌توان ابری نامید (Ronald Welch & et al, 1999). کسر پوشش برای هر یک از نمونه‌ها نیز به وسیله نرم‌افزار Envi 4.4 محاسبه شد (شکل ۵).

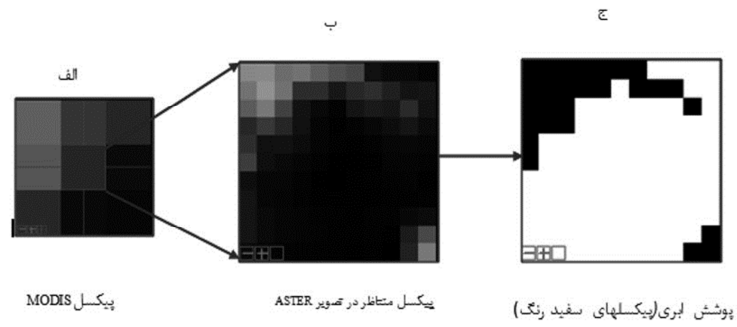
در ادامه با انتخاب پیکسل‌های نمونه از MODIS و جستجو در داخل آن به وسیله ASTER کسر ابر موجود در پیکسل مشخص شد. شکل ۶ نمونه‌ای از انتخاب یک پیکسل MODIS جستجو در داخل آن به وسیله ASTER و جداسازی پیکسل‌های پوشش ابری را از پوشش غیر ابری نشان می‌دهد.



شکل ۴ تصویر BT_{۱۴} سنجنده ASTER



شکل ۵ نتیجه حاصل از آستانه گذاری تصویر BT_{14}



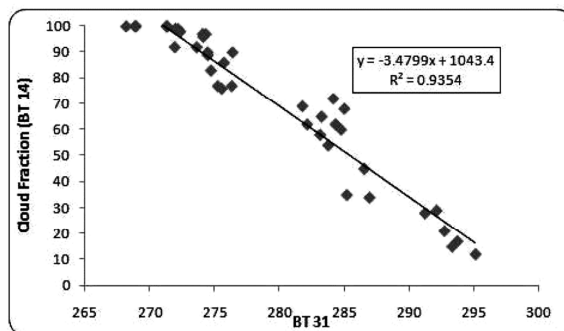
شکل ۶ الف: پیکسل MODIS انتخاب شده؛ ب، ج: جستجو در داخل آن به وسیله ASTER و جداسازی پیکسل‌های پوشش ابری از غیر ابری

۷- الگوی ارتقای سطح پوشش

برای ارتقای مدل از این قابلیت که باندهای ۱۴ تصویر ASTER و باند ۳۱ تصویر MODIS دارای مراکز بانندی تقریباً یکسانی هستند ($11/3\mu\text{m}$)، استفاده شده است. الگوی ارائه شده از ارتباط بین دمای درخشندگی در تصویر MODIS در مقابل میزان درصد پوشش ابر آن پیکسل به وسیله ASTER می‌باشد؛ به عبارتی از طریق سنجنده ASTER به عنوان حقایق زمینی^۱ که دارای دقت مکانی بالایی است، استنباط می‌شود که مقدار دمای درخشندگی برآورد شده به وسیله MODIS معادل چند درصد پوشش ابر آن پیکسل می‌باشد.

عداد ۶۰ نمونه در تصویر دمای درخشندگی MODIS انتخاب گردید. این انتخاب فقط در تصویر MODIS انجام شد و سپس با استفاده از تصویر باینری دمای درخشندگی ASTER که از آستانه‌گذاری دمایی به دست آمده بود، در داخل پیکسل دمای درخشندگی MODIS جستجو و درصد پوشش ابری هر پیکسل به دست آمد. این نمونه‌ها از مناطقی که تقریباً دارای یک نوع پوشش ابری بودند تا خطای مربوط به متفاوت بودن نوع پوشش ابری کاهش پیدا کند و هم‌چنین از بین پیکسل‌های ۱۰۰ درصد ابری تا کاملاً عاری از ابر انتخاب شده است. شکل ۷ همبستگی تغییرات دمای درخشندگی باند ۳۱ MODIS (BT_{31}) و کسر پوشش ابری در تصویر متناظر دمایی ASTER را نشان می‌دهد. پس از بررسی‌های صورت گرفته از مناطق برداشت نمونه دلایل جهش‌های بالا و پایین برخی از پیکسل‌ها مشخص شد که این پیکسل‌ها متعلق به پیکسل‌های حاشیه ابر بوده و به علت تأثیر زیاد پیکسل‌های همسایه (پیکسل‌های عاری از ابر) می‌باشد که این مسأله اجتناب‌پذیر است.

1. Gound truth



شکل ۷ دمای درخشندگی محاسبه شده برای نمونه‌های انتخابی در تصویر MODIS و درصد کسر پوشش ابری در تصویر دمای درخشندگی ASTER

در نتیجه معادله برآورد درصد پوشش ابر به صورت زیر است:

$$Cloud\ Fraction = -3.479 * BT_{31}(MODIS) + 1043 \quad (3)$$

۸- تجزیه و تحلیل

با مقایسه تعدادی از پیکسل‌های تصویر ASTER به عنوان واقعیت زمینی که در برآورد مدل شرکت نداشته‌اند، با مقادیر MODIS و مقادیری که از راه مدل استخراج شده‌اند و در نهایت با توجه به تعداد نمونه‌ها و با استفاده از محاسبه RMSE^۱ مدل مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{r_i^2}{n}} \quad (4)$$

r: معرف خطای هر نمونه است که خود از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r = (CCP)_O - (CCP)_C \quad (5)$$

1. Root Mean Square Error

$(CCP)_O$: درصد پوشش ابر در تصویر ASTER به‌عنوان واقعیت

$(CCP)_C$: مقدار درصد پوشش ابر به‌دست آمده توسط مدل

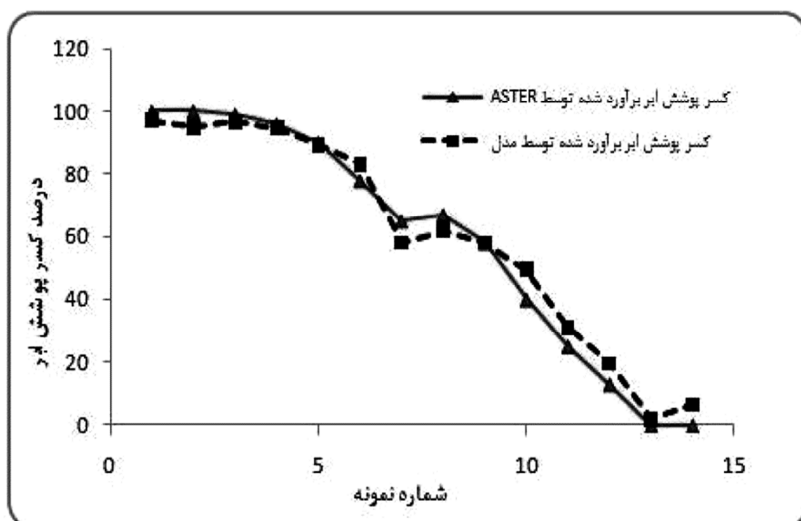
n: تعداد نمونه‌ها

کلیه نمونه‌ها از نقاطی انتخاب شده‌اند که پیش از این در مرحله تولید مدل دخالت نداشته‌اند، در غیر این صورت این کار سبب انحراف در ارزیابی خطای برآورد می‌شود. این خطا یک مقدار متوسط است، در این صورت ممکن است در بعضی جاها بیش‌تر و در بعضی جاها کم‌تر باشد. جدول ۱ نقاط نمونه، مقادیر محاسبه شده به‌وسیله مدل به دست آمده از رابطه و میزان خطا را نشان می‌دهد.

جدول ۱ برآورد میزان خطای مدل

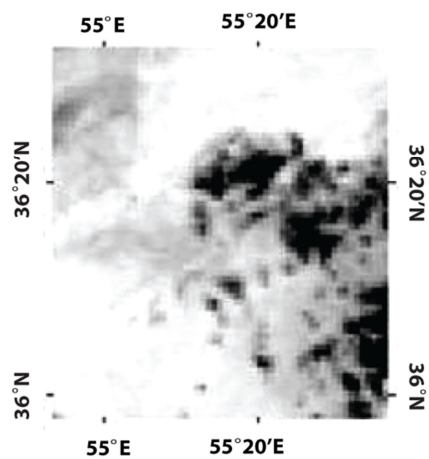
کسر پوشش ابر برآورد شده به‌وسیله ASTER	BT31(MODIS)	کسر پوشش ابر برآورد شده به‌وسیله مدل
۱۰۰	۲۷۱/۱۸	۹۷/۱۶۸۷
۱۰۰	۲۷۱/۹۴	۹۴/۸۶۲۱
۹۹	۲۷۱/۳۶	۹۶/۶۲۲۴
۹۶	۲۷۲/۰۴	۹۴/۵۵۸۶
۹۰	۲۷۳/۸	۸۹/۲۱۷
۷۸	۲۷۵/۸	۸۳/۱۴۷
۷۳	۲۸۴/۱۵	۵۷/۸۰۴۷۵
۶۷	۲۸۲/۸۵	۶۱/۷۵۰۲۵
۵۸	۲۸۴/۱	۵۷/۹۵۶۵
۴۰	۲۸۶/۸۹	۴۹/۴۸۸۸۵
۲۵	۲۹۳	۳۰/۹۴۵
۱۳	۲۹۶/۸	۱۹/۴۱۲
۰	۳۰۲/۵۷	۱/۹۰۰۰۵
۰	۳۰۱/۰۴	۶/۵۴۳۶
		۶۰/۰۹۸۳۴
		RMSE=۱/۶۶۰۸۹

شکل ۸ درصد کسر پوشش ابر به دست آمده از مدل در مقایسه با درصد کسر پوشش ابر به دست آمده از پیکسل‌های به دست آمده از تصویر ASTER را ارائه می‌دهد؛ همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، هر دو از الگوهای مشابهی تبعیت می‌کنند. از آن‌جا که مقادیر به دست آمده بر حسب میزان پوشش ابر مرتب شده‌اند، مقادیر به دست آمده در پوشش‌های بالا همگرا می‌شوند.

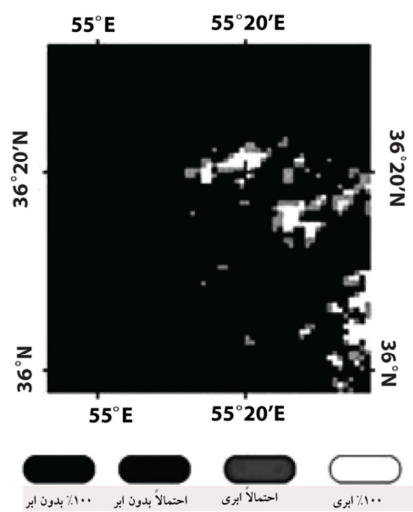


شکل ۸ درصد کسر پوشش ابر به دست آمده از مدل در مقایسه با درصد کسر پوشش ابر به دست آمده از پیکسل‌های به دست آمده از تصویر ASTER

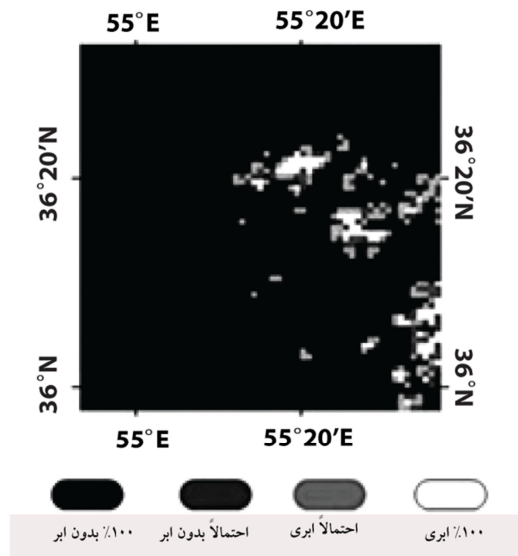
شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ تصویر دمای درخشندگی باندها ۳۱ MODIS و نتایج حاصل از گروه‌های چهارگانه بر روی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در ادامه شکل ۱۵ نتیجه حاصل از اعمال مدل بر تصویر دمای درخشندگی باندها ۳۱ MODIS یا به عبارتی دیگر درصد کسر پوشش ابر پیکسلی را نشان می‌دهد.



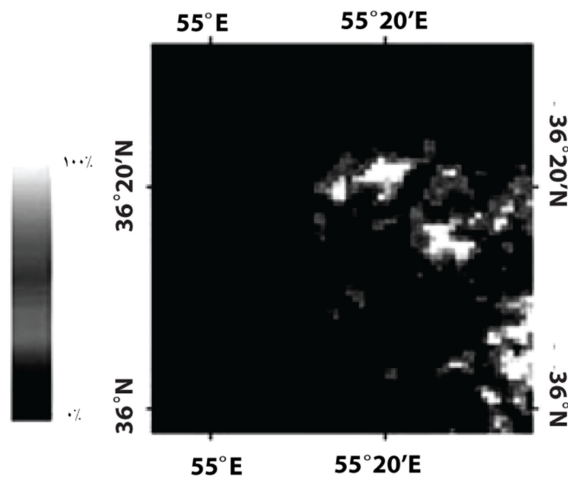
شکل ۹ تصویر دمای درخشندگی باند ۳۱ MODIS



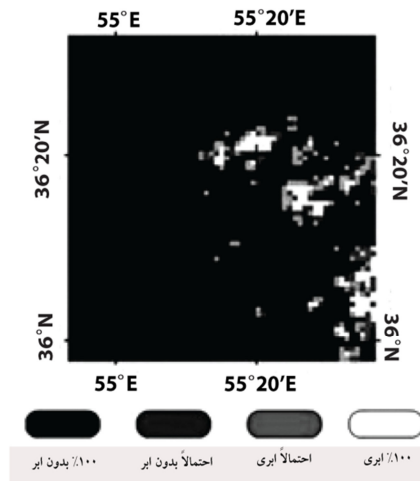
شکل ۱۰ نتایج حاصل از اجرای روش‌های گروه اول



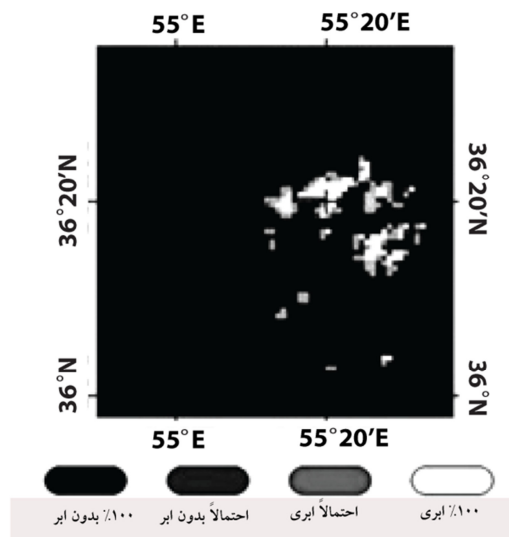
شکل ۱۱ نتایج حاصل از اجرای روش‌های گروه دوم



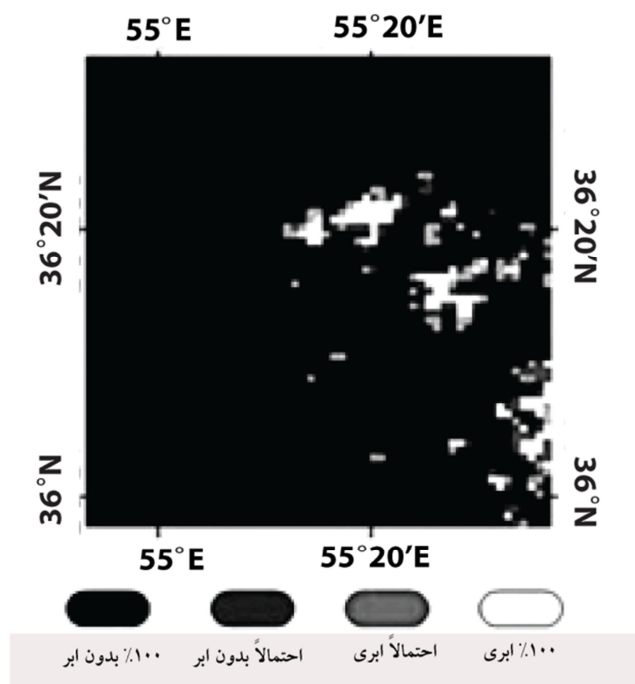
شکل ۱۲ نتایج حاصل از اجرای روش‌های گروه سوم



شکل ۱۳ نتایج حاصل از اجرای روش‌های گروه چهارم



شکل ۱۴ ترکیب نتایج حاصل از اجرای گروه‌های چهارگانه (تصویر نهایی ماسک ابر)



شکل ۱۵ درصد پوشش ابر به دست آمده از مدل

۹- نتیجه گیری

MODIS به طور صرف این توانایی را دارد تا تشخیص بدهد که یک پیکسل از ابر پوشیده شده است یا خیر؛ به عبارتی تقسیم بندی پیکسل به دو کلاس ابر یا غیر ابر یا در حالتی پیشرفته تر شبیه الگوریتم MODIS Cloud Mask به کلاس های کاملاً ابری، احتمالاً ابری، احتمالاً صاف و عاری از ابر. اما توانایی این را که چند درصد یک پیکسل 1000×1000 متری پوشیده از ابر است ندارد. مشکل MODIS در پیکسل های تمام ابری نیست چرا که هر دو سنجنده به یک میزان برآورد می کنند، اما در پیکسل های مختلط MODIS قدرت و توانایی تشخیص جزئیات و ترکیبات پیکسل را ندارد. به هر حال تصمیم گیری در مورد مقدار یک پیکسل MODIS به وسیله ۱۲۱ پیکسل ASTER رقم می خورد؛ به عبارتی این ۱۲۱ پیکسل

بر کار یک پیکسل MODIS نظارت می‌کنند که طبیعی است با اعمال مدل نتیجه بسیار دقیق‌تری از MODIS را انتظار خواهیم داشت.

در این تحقیق نخست برای ارتقای مدل و تعیین درصد ابر موجود در یک پیکسل برای ابرهای کوچک‌تر از ابعاد پیکسل با استفاده از دمای درخشندگی بانده ۱۴ سنجنده ASTER (BT₁₄) در داخل پیکسل دمای درخشندگی بانده ۳۱ سنجنده MODIS (BT₃₁) جستجو و درصد پوشش ابری هر پیکسل به دست آمد. ارزیابی مدل حکایت از همبستگی بالای بیش از ۰/۹۳ بین میزان واقعی کسر پوشش ابر موجود در تصویر ASTER و میزان اندازه‌گیری شده به‌وسیله مدل دارد که با توجه به قدرت تفکیک مکانی پایین سنجنده MODIS، بسیار امیدوارکننده است.

۱۰- منابع

- شفیع‌زاده ح.؛ امکان‌سنجی ارتقا توان سنجنده MODIS با به‌کارگیری هم‌زمان ASTER جهت برآورد مساحت برف؛ پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد سنجش از دور و GIS، به راهنمایی دکتر محمدرضا مباشری دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریمی، ن.؛ امکان‌سنجی طبقه‌بندی ابرها براساس ارتفاع آن‌ها با استفاده از MODIS پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد سنجش از دور و GIS؛ به راهنمایی دکتر محمدرضا مباشری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.
- مباشری م. ر.؛ «مبانی فیزیک در سنجش از دور و فن‌آوری ماهواره»؛ انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۵.
- مباشری م. ر.، رضایی ی.؛ تشخیص کمی و کیفی ابرهای کوتاه و مه با استفاده از تصاویر MODIS؛ مجله فنی-مهندسی دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- Abrams M., Simon H.; -ASTER user handbook. 8; pp: 123-150, 2002.

- Ackerman, S. A., K. I. Strabala, W. P. Menzel, R. A. Frey, C. C. Moeller and L. E. Gumley; Discriminating clear sky from clouds with MODIS; *J. Geophys. Res.*, 103: 32141-32157, 2006.
- Feijt A. & et. al.; Cloud detection using meteosat imagery and numerical weather prediction; *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 39, pp: 1017-1030, 2000.
- Foot J. S., some observations of the optical properties of clouds. I: Stratocumulus; *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 114:129-144, 1988.
- Gao B. C., A. F. H. Goetz, Wiscombe W. J.: *Cirrus cloud detection from airborne imaging spectrometer data using the 1.38 micron water vapor band. Geophys. Res. Lett.*, 20: 301-304, 1993.
- Jacobowitz H. J.; Emission scattering and absorption of radiation in cirrus clouds; Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, 181 pp, 1970.
- King M. D., Platnick S. E., Kuo-Non I. Cloud retrieval algorithms for MODIS: MODIS algorithm theoretical basis document; No. ATBD-MOD-05 MOD06 - Cloud Product, 1997.
- McNally A., Watts P.; A cloud detection algorithm for high-spectral-resolution infrared sounders; *Q. J. R. Meteorol. Soc.* (2003), 129, pp: 3411-3423, 2003.
- Stewart R.; Method of satellite oceanography; University of California Press, pp: 128-152, 1985.

مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا _____ دوره پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۰

- Wylie D. P., Menzel W. P.; Two years of cloud cover statistics using VAS. *J. Climate Appl. Meteor*, 2, 380-392, 1989.