



اعتبارسنجی شاخص‌های ناپایداری جو به دست آمده از تصاویر سنجنده مادیس با کمک

داده‌های رادیوسوند (مطالعه موردی: ایستگاه تبریز)

شبمن جعفری خسرق^{۱*}، علی اکبر آبکار^۲، غلامعلی کمالی^۳

۱. کارشناس ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. استادیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. دانشیار گروه هواشناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۳ دی ۱۳۹۱

پذیرش: ۲۳ مرداد ۱۳۹۲

دسترسی اینترنتی: ۱۹ بهمن ۱۳۹۲

واژه‌های کلیدی:

شاخص ناپایداری مجموع مجموعه‌ها

شاخص ناپایداری بالاروی

شاخص ناپایداری K

مادیس

رادیوسوند

اعتبارسنجی

اطلاعات درباره‌ی پایداری جو فاکتور بسیار مهمی در پیش‌بینی‌های هم‌زمان و کوتاه‌مدت می‌باشد. تخمین پایداری جو معمولاً بر اساس شاخص‌های ناپایداری جو توسط داده‌های رادیوسوند انجام می‌گیرد. اما به دلیل تعداد بسیار کم ایستگاه‌های هواشناسی دارای رادیوسوند و هزینه‌بر بودن آن استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند جایگزین مناسبی باشد. در این مطالعه به اعتبارسنجی شاخص‌های ناپایداری جو به دست آمده از تصاویر سنجنده مادیس به منظور پیش‌بینی ناپایداری جو در مقایسه با مقادیر مشاهده شده توسط رادیوسوند پرداخته شده است. شاخص‌های ناپایداری استخراج‌شده از مادیس شامل سه شاخص ناپایداری مجموع مجموعه‌ها (TT)، شاخص ناپایداری بالاروی (L) و شاخص ناپایداری K است. این شاخص‌ها با شاخص‌های به دست آمده از داده‌های رادیوسوند ساعت ۰۰ (UTC) ایستگاه تبریز مورد مقایسه قرار گرفت. ایستگاه تبریز به علت فرودگاهی بودن، دارا بودن ایستگاه سطوح بالا و همچنین با توجه به تناوب زیاد وقوع توفان تندی (بیش از ۳۵ روز توفانی در هر سال) در دو فصل بهار و تابستان سال ۲۰۰۷ برای مطالعه موردی انتخاب شد. مشاهده شد که شاخص‌های TT، L و K به دست آمده از مادیس و رادیوسوند به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۴۶، ۰/۵۵ و ۰/۶۰ در فصل بهار و ۰/۶۴، ۰/۶۵ و ۰/۶۷ در فصل تابستان رابطه همبستگی خوبی را نشان می‌دهند و بنابراین درون‌یابی مکانی آن‌ها به مناطقی که در آن‌ها اطلاعات رادیوسوند وجود ندارد امکان‌پذیر است. همچنین در بررسی میانگین خطای مطلق در فصل تابستان شاخص‌های K و TT خطای کمتری را نسبت به فصل بهار نشان دادند، در حالی که شاخص L خطای کمتری را در فصل بهار نسبت به تابستان نشان داد. همچنین مشاهده شد که مقادیر شاخص‌های ناپایداری به دست آمده از مادیس نسبت به رادیوسوند کمتر تخمین زده شده که این میزان در فصل بهار قابل ملاحظه‌تر می‌باشد.

*shabnamjafari83@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

اقیانوس‌ها، زمین و لایه‌های پایین جو است. اطلاعات در مورد محصولات مادیس در مطالعه منزل و همکاران (۱۸) برپاس و همکاران (۵) و سی‌مان و همکاران (۲۳)، با جزییات آورده شده است. مطالعات بسیاری برای تخمین شاخص‌های ناپایداری توسط روش‌های سنتی انجام شده است. برای مثال شولتز (۲۲)، لی و پسرن (۱۶)، هونت رایزر و همکاران (۱۲) در مطالعات خود کارایی شاخص‌های ناپایداری مختلف به دست آمده از رادیوسوند برای پیش‌بینی توفان را مورد مطالعه قرار دادند. با این وجود ضرورت بکارگیری داده‌های ماهواره یا همان علم سنجش از دور برای تحقیقات و پیش‌بینی‌های کاربردی وضعیت هوا بیش از پیش به چشم می‌خورد.

اشمیت و همکاران (۲۱) به صحت‌سنجی داده‌های به دست آمده از ماهواره (Geostationary Operational Environmental Satellite) GOSE با استفاده از ۱۸ باند طیفی مادون قرمز برای محاسبه پروفایل‌های دما و رطوبت پرداختند. کریوسولاکیس و همکاران (۷) جهت بررسی پایداری جو، از اطلاعات رادیوسوند و نمایه‌های مادیس در منطقه جنوبی اروپا استفاده کردند. در این مطالعه ۳ شاخص L، K و Boyden را با استفاده از رادیوسوند و نمایه‌های مادیس به طور جداگانه محاسبه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که ۳ شاخص L، K و Boyden به دست آمده از ماهواره همبستگی قابل قبولی را با نتایج حاصل از رادیوسوند دارد و بنابراین داده‌های سنجش از دور می‌تواند شبیه‌سازی بسیار خوبی برای تشخیص و ارزیابی ناپایداری‌ها و کمک به پیش‌بینی آب و هوا در مقیاس محلی فراهم آورد. لیو و کی (۱۷) با استفاده از نمایه‌های دمایی مادیس بر روی وارونگی دما در منطقه قطب مطالعه کردند. آن‌ها نشان دادند که محصولات دما و رطوبت مادیس به خوبی می‌توانند جزئیات جوی و وارونگی دما را در قطب توصیف کنند. همچنین نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که شدت وارونگی می‌تواند با میانگین مربع خطای ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد و ضریب همبستگی ۰/۸۰ تا ۰/۹۷ تخمین زده شود. با استفاده از اطلاعات سنجنده مادیس می‌توان وارونگی‌های دما با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر مربع و بازه زمانی ۴ بار در روز را به دست آورد که خود فراهم‌کننده یک موقعیت مناسب برای مطالعات مکانی و تکامل زمانی لایه مرزی در عرض‌های

همرفت و پدیده‌های حاصل از آن از مخرب‌ترین پدیده‌های هواشناسی بخصوص در کشاورزی و هوانوردی شناخته می‌شوند. پیش‌بینی این پدیده‌ها می‌تواند گام موثری در جهت کاهش خسارت‌های احتمالی در پی داشته باشد. تخمین پایداری جو معمولاً بر اساس شاخص‌های ناپایداری انجام می‌گیرد. این شاخص‌های ناپایداری به منظور کمک به پیش‌بینی پدیده همرفت به طور سنتی بر اساس تفسیر پایداری جو توسط داده‌های رادیوسوند مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای این منظور شاخص‌های ناپایداری بسیاری مانند شولتز (۲۴)، جورج (۱۰) و بویدن (۶) در گذشته تعریف شده‌اند. هم‌اکنون در کشور شاخص‌های ناپایداری و نمایه‌های دما و رطوبت از طریق داده‌های رادیوسوند تهیه می‌شوند. با توجه به تعداد کم و پراکندگی توزیع مکانی ایستگاه‌های جو بالا و تفاوت در زمان دیدبانی آن‌ها و هزینه بالای انجام دیدبانی‌ها، این نمایه‌ها و دیگر اطلاعات مورد نیاز از درون جو جهت استفاده در مطالعات و کاربردهای روزانه در پیش‌بینی وضع هوا به طور کامل در دسترس نمی‌باشند. با توجه به این که ماهواره‌های ترا (TERRA) و آکوا (AQUA) با گذر از روی یک منطقه می‌توانند محدوده بسیار وسیعی را پوشش دهند، لذا استفاده از اطلاعات سری زمانی سنجنده مادیس می‌تواند بخشی از کاستی‌های سامانه دیدبانی جو بالای موجود در کشور را جبران نماید (۱).

داده‌های پروفایل دما و رطوبت مادیس با تفکیک‌پذیری مکانی بالا اطلاعات مفیدی را در مورد ساختار جو در آسمان صاف به ما می‌دهد. مادیس یک ابزار علمی بارگیری شده توسط ناسا است که در سال ۱۹۹۹ بر مدار زمین بر روی ماهواره ترا و در سال ۲۰۰۲ بر روی ماهواره آکوا قرار گرفت. این ابزار اطلاعات بسیاری را در ۳۶ باند طیفی از طول موج ۰/۶۴۵ تا ۱۴/۲۳۵ میکرومتر با قدرت تفکیک مکانی متفاوت (باند ۲-۱، ۲۵۰ متر؛ باند ۷-۳، ۵۰۰ متر و باند ۳۶-۸، ۱۰۰۰ متر) فراهم می‌آورد (۱۵). مادیس کل سطح زمین را هر ۱ الی ۲ روز تصویربرداری می‌کند. این سنجنده برای اندازه‌گیری در دینامیک بزرگ مقیاس جهانی طراحی شده که شامل تغییرات در پوشش ابر، میزان تابش، ساز و کارهای اتفاق افتاده در

مطالعات پراکنده‌ای در مورد مقایسه شاخص‌های ناپایداری با وضعیت جو در ایران انجام گرفته است. زیرا تمام این مطالعات از کمبود اطلاعات و اطمینان رنج می‌برند که حاصل شبکه غیرمترکم رادیوسوند در کشور است. در کل باید به این نکته توجه کرد که تمام شاخص‌های ناپایداری نشان‌دهنده پتانسیل شکل‌گیری همرفت هستند، اما میزان آستانه هر کدام از این شاخص‌ها معین نیست، بلکه ممکن است با مکان جغرافیایی، فصل و شرایط تغییر کنند (۷). رسولی و همکاران (۳) تغییرات زمانی و مکانی و توزیع باران‌های تندی در شمال غرب ایران را مطالعه و نشان دادند که احتمال وقوع بارش‌های تندی در بهار و تابستان بیشتر است. لذا فصل‌های بهار و تابستان برای این مطالعه انتخاب شدند.

هدف از این تحقیق بررسی میزان دقت شاخص‌های ناپایداری به دست آمده از تصاویر مادیس در فصول بهار و تابستان در مقابل رادیوسوند است و به بررسی توانایی و مناسب بودن هر کدام از شاخص‌های ناپایداری حاصل از تصاویر مادیس برای بکارگیری در تفسیرات جوی نمی‌پردازد.

مواد و روش‌ها

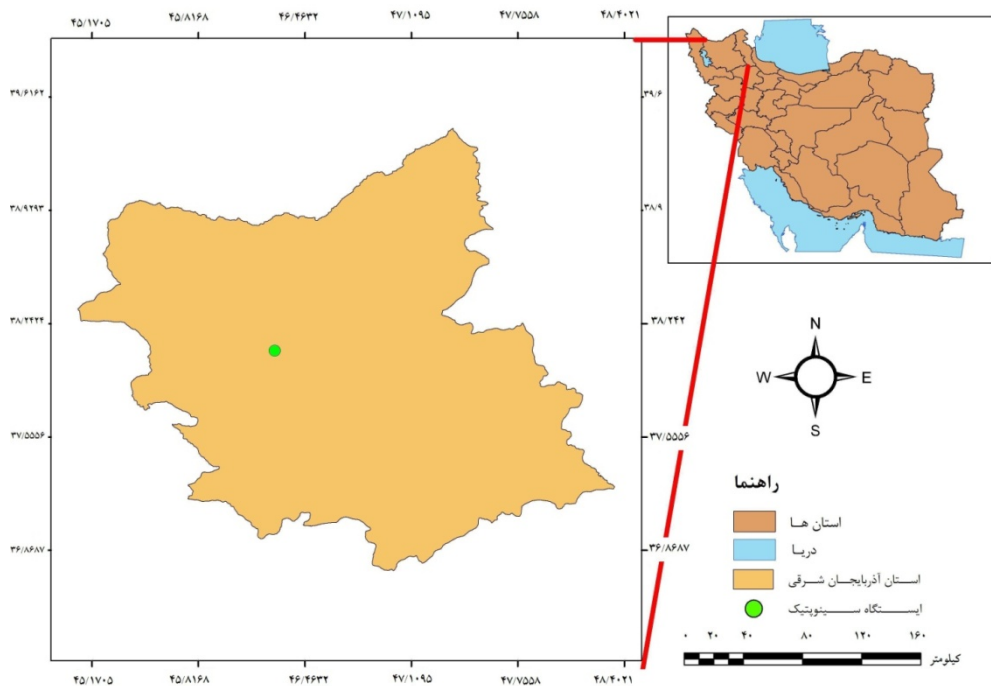
منطقه مورد مطالعه

ایستگاه تبریز به علت دارا بودن رادیوسوند و فراوانی بالای روزهای توفانی آن (۳۵ روز در سال) انتخاب شد (۲۵). جانمایی ایستگاه تبریز در استان و در کشور در شکل ۱ و مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

با استفاده از داده‌های آماری به دست آمده از آرشیو سازمان هواشناسی به بررسی میانگین تعداد روزهای توفانی در ماه برای یک دوره آماری ۶۴ ساله پرداخته شد. شکل ۲ نشان می‌دهد که در ماه می یک پیک با ۸/۸ روز توفانی وجود دارد و در تابستان تعداد روزهای توفانی کاهش می‌یابد تا به یک پیک در اکتبر می‌رسد. با توجه به این که در تابستان ورود عوامل بیرونی مانند توده‌های هوا تقریباً قطع می‌شود و عامل اصلی کنترل آب و هوا فقط تابش خورشید و ناهموازی‌ها است (۴)، بنابراین احتمال وقوع توفان به علت عبور جبهه بسیار کم است و با توجه به اینکه بالاترین دمای روز معمولاً ۲ ساعت پس از ظهر در هنگام عصر اتفاق می‌افتد امکان وقوع توفان‌های

بالاست. جو (۱۴) با استفاده از محصولات مادیس به بررسی امکان پیش‌بینی توفان‌های تندی در فصل تابستان در کشور فنلاند پرداخت. در این تحقیق با توجه به این فرض که نمایه‌های دما و دمای نقطه شبنم در تعیین شاخص‌های پایداری و پیش‌بینی توفان‌های تندی مهم‌ترین نقش را دارند، اطلاعات این نمایه‌ها مورد استفاده قرار گرفت و برای تعیین کیفیت داده‌ها از داده‌های رادیوسوند استفاده شد. نتایج مطالعات او نشان داد که محصولات نمایه مادیس با توجه به اینکه در سطوح بیشتری اطلاعات جوی را در دسترس قرار می‌دهند می‌توانند شاخص‌های ناپایداری جو را با دقت بالاتری به دست آورده و با دقت بالاتری به پیش‌بینی پدیده‌های جوی بپردازند. پنگ و همکاران (۱۱) با استفاده از پارامتر آب قابل بارش مادیس به استخراج رطوبت نسبی جهت کمک به پیش‌بینی گسترش آتش‌سوزی در شبه جزیره مالزی پرداخت. میترا و همکاران (۲۰) در مطالعه خود در ارزیابی ناپایداری جو به معرفی یک شاخص جدید به نام MPI (MODIS Profile Index)، پرداختند. آن‌ها با استفاده از اطلاعات نمایه‌های دما و رطوبت به دست آمده از سیستم‌های دریافت‌کننده همزمان، در سه مکان متفاوت در دپارتمان‌های هواشناسی هند، شاخص MPI را محاسبه کردند. نمایه‌های دما و رطوبت به دست آمده از ماهواره‌های ترا و آکوا بر روی منطقه هند برای شرایط هوای صاف و همرفتی در طی دوره زمانی مارس تا ژوئن ۲۰۱۱، مورد استفاده قرار گرفت. شاخص MPI سپس با شاخص‌های قدیمی‌تر TT، L و K به دست آمده از پروفایل‌های دما و رطوبت رادیوسوند، مورد مقایسه قرار گرفت. مشاهدات آن‌ها نشان داد که در اغلب موارد، MPI همبستگی خوبی با مشاهدات واقعی زمینی دارد و بنابراین با درونیابی مکانی این شاخص، می‌توان از آن برای پیش‌بینی وضعیت آب و هوا در نواحی فاقد رادیوسوند استفاده کرد. حلیمی و همکاران (۲) در مطالعه خود به اعتبارسنجی نمایه‌های دما و دمای نقطه شبنم سنجنده مادیس با داده‌های رادیوسوند در ایستگاه مهرآباد پرداختند. در این تحقیق داده‌های نمایه دما از انطباق قابل قبولی با داده‌های رادیوسوند برخوردار بودند، و برای آن‌ها اریبی کل ۱/۹۵ و خطای جذر میانگین مربعات ۲/۴۱ درجه کلون برای سطوح بالاتر از ۷۸۰ میلی‌بار، به دست آمد.

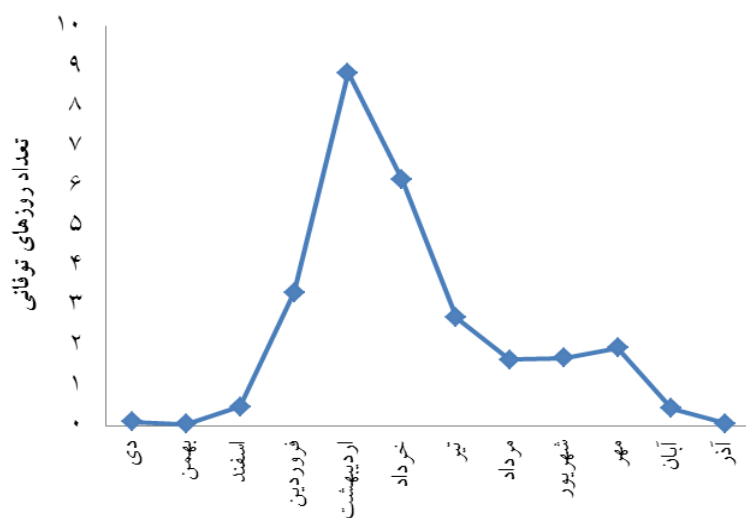
همرفتی بیشتر است، بنابراین دو فصل بهار و تابستان ۲۰۰۷ برای مطالعه انتخاب شدند.



شکل ۱. جانمایی ایستگاه مورد مطالعه در کشور و استان

جدول ۱. مشخصات ایستگاه مورد مطالعه

ایستگاه	طول (درجه)	عرض (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تبریز	۳۸	۴۶	۱۳۶۱



شکل ۲. میانگین ماهانه توفان تندی تبریز برای دوره ۶۴ ساله

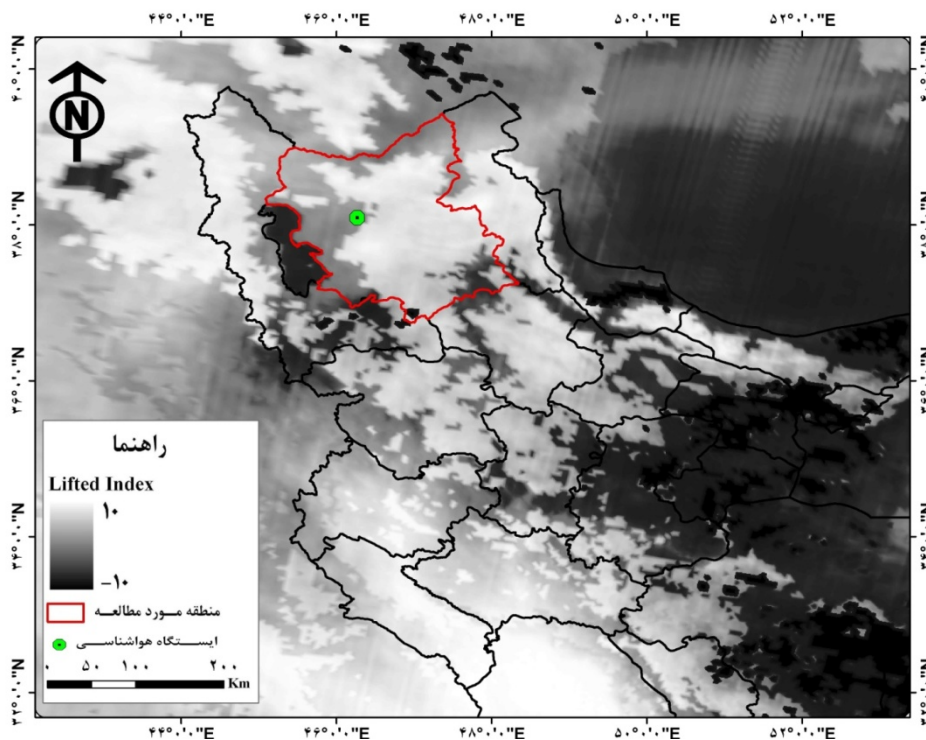
روش تحقیق

که شامل ۱- داده‌های جو بالای رادیوسوند: این داده‌ها از وبسایت دانشگاه ایومینگ استخراج شد. با مراجعه به این

برای انجام این پژوهش از ۲ مجموعه داده استفاده شده

مکانی ۵ کیلومتر است. فایل‌های تصویر MYD07_L2 در قالب Hierarchical Data ذخیره شده است (۷). شکل ۳ نمایی از شاخص L را نشان می‌دهد. این تصویر مربوط به ساعت ۲۲:۳۵ روز ۲۴۴ ام از سال میلادی یا تاریخ ۲۰۰۷/۹/۱ است که توسط سنجنده مادیس بر روی سکوی ماهواره آکوا از روی ایران و ایستگاه مورد نظر تصویربرداری شده است. این تصویر با فرمت HDF است که بعد از پردازش و انجام تصحیحات هندسی در نرم‌افزار ENVI[®]4.3 به فرمت TIF تبدیل شده و در نرم‌افزار ArcGIS[®]9.3 به صورت گریدبندی شده قابل نمایش شد.

سایت و انتخاب ایستگاه مورد نظر و زمان مورد مطالعه که شامل ماه‌های بهار و تابستان بود به استخراج شاخص‌های ناپایداری TT، L و K پرداخته شد؛ ۲- تصاویر ماهواره‌ای مادیس: برای گرفتن این تصاویر به سایت LAADS مراجعه و با دادن اطلاعات مربوط به ایستگاه مورد نظر مانند مختصات مکانی، زمانی، نوع تصویر و ...، تصاویر مورد نیاز استخراج شد. تصاویر مربوط به محصولات LEVEL2 اتمسفر بودند که در آن پارامترهای دما، رطوبت و ارتفاع ژئو پتانسیل در ۲۰ سطح فشاری بین ۵ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال قابل استخراج هستند. محصولات MYD07_L2 شامل اطلاعات با قابلیت تفکیک



شکل ۳. شاخص ناپایداری L در منطقه مورد مطالعه

استخراج شاخص‌های ناپایداری توسط برنامه، آن‌ها وارد اکسل شدند. در این مرحله مقادیر Factor scale و Offset هر شاخص بر مقادیر به دست آمده اعمال شد. داده‌های رادیوسوند نیز که به علت شرایط موجود، فقط یک بار در روز و آن هم در ساعت ۰۰ UTC مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، در اکسل ذخیره شد. به منظور بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده از تصاویر مادیس و رادیوسوند به مقایسه فصلی هر یک از شاخص‌های ناپایداری TT، L و K پرداخته شد و نمودار شاخص‌های ناپایداری مادیس و رادیوسوند برای هر شاخص

بعد از دانلود تصاویر برای استخراج اطلاعات مورد نیاز مربوط به ناپایداری جو که در این پژوهش شامل TT، L و K می‌شدند، برنامه‌ای به زبان (Interactive Data Language) IDL نوشته شد. هر تصویر مادیس شامل یک ماتریس ۴۰۶×۲۷۰ پیکسلی است. هر پیکسل در امتداد نادر ابعادی در حدود ۵×۵ کیلومتر دارد. در محیط HDF-Viewer می‌توان مقادیر پیکسل‌ها را خواند ولی برای اینکه داده‌های یک منطقه خاص با طول و عرض جغرافیایی مشخص استخراج شود از برنامه نوشته شده در محیط ENVI[®]4.3 استفاده شد. بعد از

جهت مقایسه رسم شد. برای اندازه‌گیری میزان خطی بودن بین مقادیر به دست آمده از مادیس و رادیوسوند، از ضریب همبستگی استفاده شد. برای بررسی دقت بین داده‌ها از میانگین خطای مطلق (MAE) که حساسیت کمتری نسبت به وجود اعداد پرت در مقایسه با میانگین مربع خطاها (MSE) دارد، استفاده شد (۱۳). شاخص‌های ناپایداری استفاده شده در این تحقیق در ادامه معرفی می‌شوند.

شاخص بالاروی L این شاخص در سال ۱۹۵۶ توسط گالوی (۹) معرفی شد. این شاخص بر حسب درجه سلسیوس بیان می‌شود و برای اندازه‌گیری ناپایداری جو هنگامی که اختلافی بین دمای ذره بالارونده و محیط در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال موجود باشد، بکار برده می‌شود. شاخص بالاروی بر اساس رابطه ۱ مورد محاسبه قرار می‌گیرد (۹).

$$L = T_{500} - T_{d500} \quad [1]$$

جدول ۲. مقادیر آستانه شروع ناپایداری و وقوع توفان بر اساس شاخص L (۸)

ردیف	وضعیت	مقدار شاخص L (سلسیوس)
۱	احتمال وقوع رگبارهای باران و برف	۰ تا ۳-
۲	احتمال وقوع توفان	کمتر از ۳- تا ۶-
۳	احتمال توفان شدید	کمتر از ۶- تا ۹-
۴	احتمال وقوع تورنادو (دیوباد)	کمتر از ۹-

جدول ۳. احتمال وقوع توفان‌های تندری بر اساس شاخص K (۸)

ردیف	مقدار K (سلسیوس)	احتمال وقوع توفان تندری
۱	۰ تا ۱۵	۰ درصد
۲	۱۵ تا ۲۰	کمتر از ۲۰٪
۳	۲۱ تا ۲۵	۲۰ تا ۴۰٪
۴	۲۶ تا ۳۰	۴۰ تا ۶۰٪
۵	۳۱ تا ۳۵	۶۰ تا ۸۰٪
۶	۳۶ تا ۴۰	۸۰ تا ۹۰٪
۷	بیش از ۴۰	۱۰۰٪

در تمام معادلات این مطالعه، T معرف دما و T_d معرف دمای نقطه شبنم است. جدول ۲ مقادیر آستانه شروع ناپایداری و وقوع توفان بر اساس شاخص L را نشان می‌دهد.

شاخص K شاخص K شاخصی است که با استفاده از آن می‌توان پتانسیل توفان تندری را بر اساس آهنگ کاهش قائم دما و میزان وسعت قائم رطوبت در سطوح پایین جو سنجید. رابطه‌ای که با استفاده از آن شاخص K محاسبه می‌شود به صورت زیر است (۱۰).

$$K = T_{850} - T_{500} + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700}) \quad [2]$$

در رابطه ۲ از دمای سطوح فوقانی ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای نقطه شبنم دو تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای آشکارسازی و محاسبه ناپایداری جو استفاده شده است. مقادیر بالاتر K می‌توانند بیانگر رطوبت و افت دمای بیشتر و افزایش و تشدید بارش‌ها به سمت بارش‌های سنگین باشند (۱۰). جدول ۳ کم و کیف ناپایداری و درصد احتمال وقوع توفان‌های تندری بر اساس شاخص K را نشان می‌دهد.

شاخص TT این شاخص از ۲ جزء تشکیل شده است.

در سال ۱۹۷۲ توسط میلر (۱۹) معرفی شد که عبارت است از مجموع‌های قائم یا عمودی (VT) و مجموع‌های سطحی یا مقطعی (CT). مجموع قائم یا عمودی که با VT نشان داده می‌شود، نشان‌دهنده پایداری ایستایی یا آهنگ کاهش دما بین سطح ۸۵۰ و ۵۰۰ میلی‌باری است.

$$VT = T_{850} - T_{500} \quad [3]$$

مجموع سطحی یا مقطعی که با CT نشان داده می‌شود، شامل تشکیل نقطه شبنم در سطح ۸۵۰ میلی‌باری است.

$$CT = T_{d850} - T_{500} \quad [4]$$

کلی به صورت زیر است (۱۹).

$$TT = VT + CT = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{500}) \quad [5]$$

جدول ۴ مقادیر آستانه شروع ناپایداری و وقوع توفان بر اساس شاخص TT را نشان می‌دهد.

به عبارتی دیگر منظور از مجموع عمودی، اندازه‌گیری پایداری عمودی جو بدون در نظر گرفتن رطوبت و منظور از مجموع سطحی، اندازه‌گیری پایداری جو با توجه به رطوبت لایه زیرین است. در نتیجه شاخص مجموع مجموعه‌ها مرکب از این دو یعنی پایداری ایستایی و رطوبت در سطح ۸۵۰ میلی‌باری است. فرمول شاخص مجموع مجموعه‌ها در حالت

جدول ۴. مقیاس ناپایداری و آشکارسازی توفان‌های تندی بر اساس شاخص TT (۱۹)

ردیف	وضعیت	مقدار شاخص TT (سلسیوس)
۱	احتمال کم برای حرکات همرفتی	تا ۴۴
۲	احتمال تندر	بیش از ۴۴ تا ۵۰
۳	احتمال توفان تندی شدید	بیش از ۵۰ تا ۵۲
۴	توفان تندی حتمی	بیش از ۵۲ تا ۵۶
۵	توفان تندی شدید	بیش از ۵۶

نتایج و بحث

شاخص ناپایداری TT

تخمین زده شده است که این موضوع در فصل بهار بارزتر از فصل تابستان به چشم می‌خورد. شکل‌های ۴ و ۵ این موضوع را روشن می‌کنند.

با مقایسه ضرایب همبستگی در جدول، فصل تابستان نتایج بهتری را با ۰/۶۴ نسبت به فصل بهار با ۰/۴۶ نشان می‌دهد. همچنین مقدار متوسط خطای مطلق در فصل تابستان با ۶/۶۶ کمتر از فصل بهار ۴/۶۸ به دست آمد.

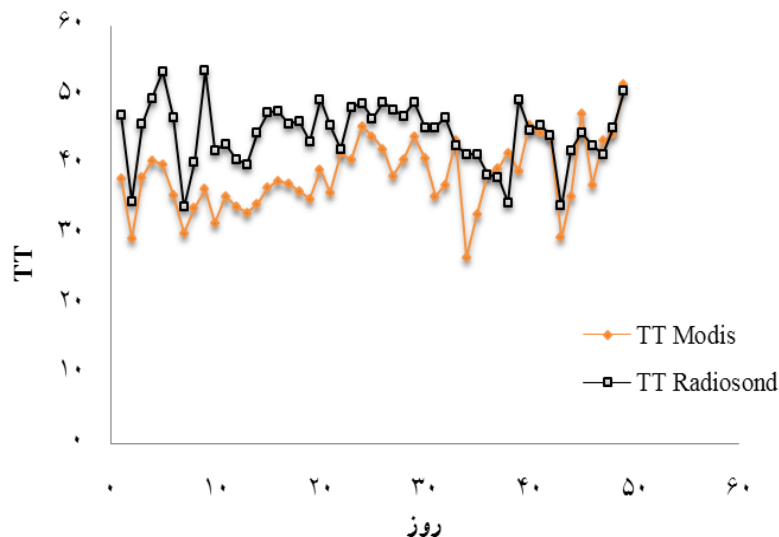
میزان کمترین اریبی در فصل بهار در بهترین مورد به ۰/۰۸ و در بدترین مورد به ۱۷/۱۲ می‌رسد. میزان کمترین اریبی در فصل تابستان در بهترین مورد به ۰/۰۳ و در بدترین مورد به ۱۹/۶۱ می‌رسد.

مقادیر بیشتر از ۴۵ معمولاً نشان‌دهنده ناپایداری برای این شاخص است. با توجه به جدول ۵ می‌توانیم مقایسه‌ای فصلی از نتایج به دست آمده از تصاویر مادیس و رادیوسوند داشته باشیم. اریبی این شاخص که تفاوت مقدار به دست آمده از مادیس و رادیوسوند است در اغلب موارد منفی است که این نشان از کمتر بودن این شاخص در تصاویر مادیس نسبت به رادیوسوند دارد.

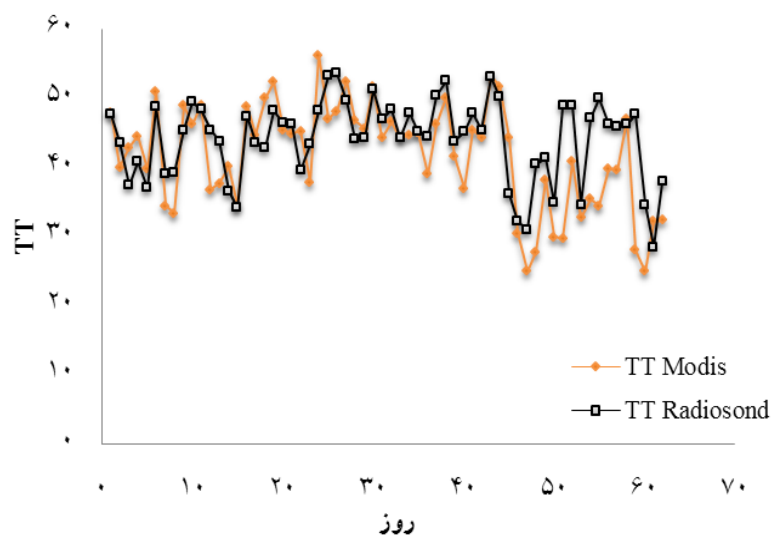
با مشاهده نمودار می‌توان به این موضوع پی برد، بنابراین نتایج به دست آمده از مادیس نسبت به رادیوسوند کمتر

جدول ۵. متوسط خطای مطلق، ضریب همبستگی و درصد مثبت بودن اریبی برای شاخص TT (بهار و تابستان)

ایستگاه	فصل	متوسط خطای مطلق	ضریب همبستگی	درصد مثبت بودن اریبی $TT_{modis} - TT_{radio} > 0$
تبریز	بهار	۶/۶۶	۰/۴۶	۱۶/۴
	تابستان	۴/۶۸	۰/۶۴	۳۸/۷۱



شکل ۴. مقایسه شاخص TT به دست آمده از مادیس و رادیوسوند (فصل بهار)



شکل ۵. مقایسه شاخص TT به دست آمده از مادیس و رادیوسوند (فصل تابستان)

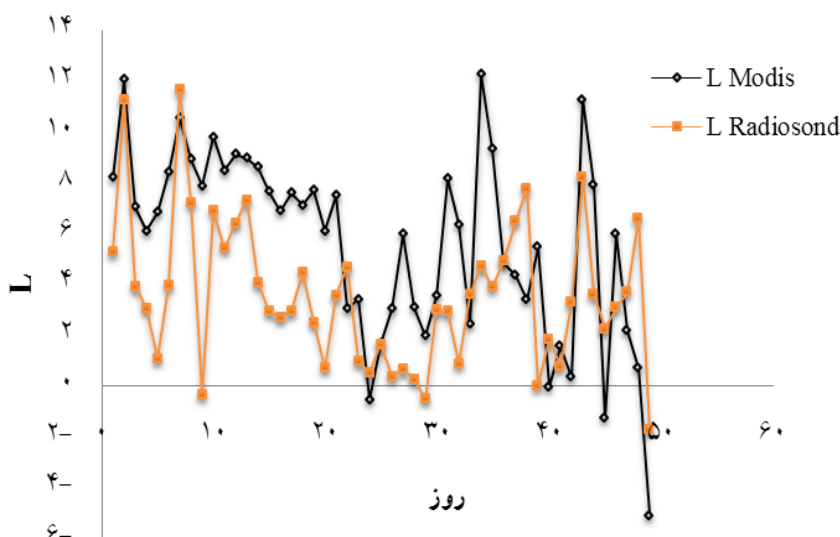
شاخص ناپایداری L

۷۳/۴۶٪ بارز هست. در فصل تابستان با ۵۳/۲۲٪ نمی‌توان نظر مطلق داد. در فصل تابستان شاخص L با ضریب همبستگی ۰/۶۵، همبستگی بیشتری را نسبت به فصل بهار با ضریب همبستگی ۰/۵۵ نشان می‌دهد و در مجموع هر دو همبستگی خوبی با حداقل ۰/۵۵ نشان می‌دهند، اما در مورد میانگین خطای مطلق فصل بهار میانگین کمتری ۳/۳۱ نسبت به تابستان ۳/۴۱ نشان می‌دهد. میزان کمترین اریبی در فصل بهار در بهترین مورد به ۰/۰۳ و در بدترین مورد به ۸/۲۳ می‌رسد. میزان کمترین اریبی در فصل تابستان در بهترین مورد به ۰/۰۴ و در بدترین مورد به ۱۱/۰۴ می‌رسد.

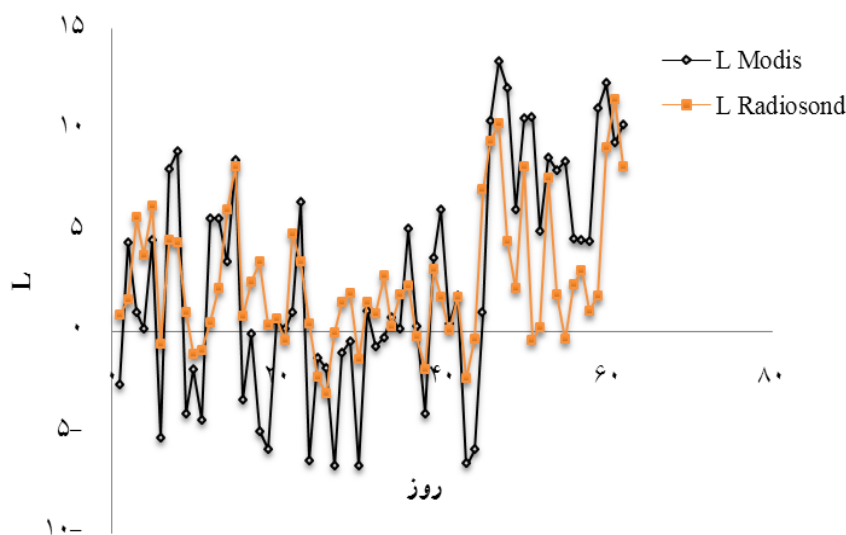
مقادیر منفی L معمولاً نشان‌دهنده ناپایداری جو هستند و امکان وقوع توفان تندی در همان روز را می‌دهند. جدول ۶ نتایج مقایسه ضرایب همبستگی، خطای مطلق و علامت اریبی را نشان می‌دهد. اریبی این شاخص که تفاوت مقدار به دست آمده از مادیس و رادیوسوند است در اغلب موارد منفی است که این نشان از منفی‌تر بودن این شاخص در داده‌های رادیوسوند نسبت به تصاویر مادیس است. با مشاهده شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان به این موضوع پی برد. این موضوع بیانگر کمتر تخمین زده شده بودن شاخص L در مادیس نسبت به مقادیر مشاهده شده از رادیوسوند است که این میزان در فصل بهار با

جدول ۶. متوسط خطای مطلق، ضریب همبستگی و درصد مثبت بودن آریبی برای شاخص L (بهار و تابستان)

ایستگاه	فصل	متوسط خطای مطلق	ضریب همبستگی	درصد مثبت بودن آریبی $L_{modis-L_{radio} \geq 0}$
تبریز	بهار	۳/۳۱	۰/۵۵	۲۶/۵۴
	تابستان	۳/۴۱	۰/۶۵	۴۶/۷۸



شکل ۶. مقایسه شاخص L به دست آمده از مادیس و رادیوسوند (فصل بهار)



شکل ۷. مقایسه شاخص L به دست آمده از مادیس و رادیوسوند (فصل تابستان)

شاخص ناپایداری K

تصاویر مادیس و رادیوسوند را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که مقادیر K به دست آمده از مادیس در هر دو فصل از مقادیر مشاهده شده از رادیوسوند کمتر می‌باشند که در فصل بهار این نکته بارزتر است، زیرا فقط در ۲۴٪ مواقع آریبی که تفاضل مقدار به دست آمده از مادیس

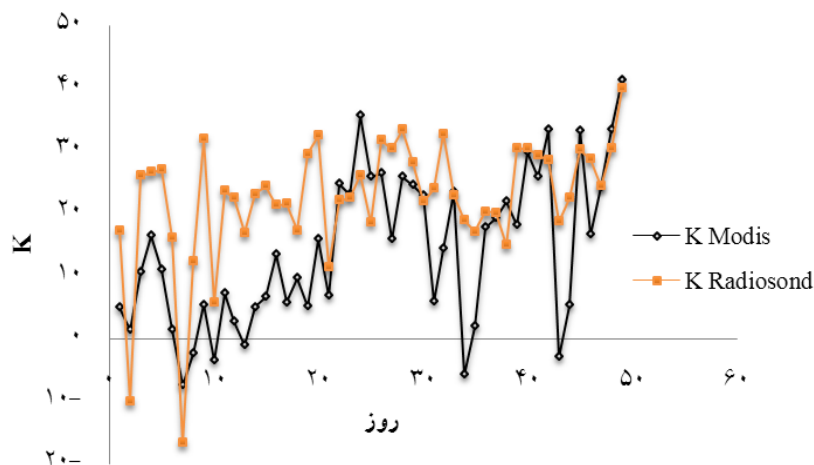
مقادیر بالاتر از ۲۰ برای شاخص K معمولاً نشان‌دهنده ناپایداری در جو است که این موضوع منجر به شکل‌گیری توفان‌های تندی می‌شود. جدول ۷ مقادیر ضریب همبستگی، متوسط خطای مطلق و درصد متوسط آریبی به دست آمده از

فصل تابستان نتیجه بهتری با ۰/۶۷ نسبت به فصل بهار با ۰/۵۹ نشان می‌دهد. با مقایسه میانگین خطای مطلق باز هم فصل تابستان خطای کمتری ۹/۵۹ نسبت به بهار ۱۰/۲۳ نشان می‌دهد. میزان کمترین اریبی در فصل بهار در بهترین مورد به ۰/۰۶ و در بدترین مورد به ۲۶/۴۴ می‌رسد. میزان کمترین اریبی در فصل تابستان در بهترین مورد به ۰/۴۹ و در بدترین مورد به ۲۹/۴۷ می‌رسد.

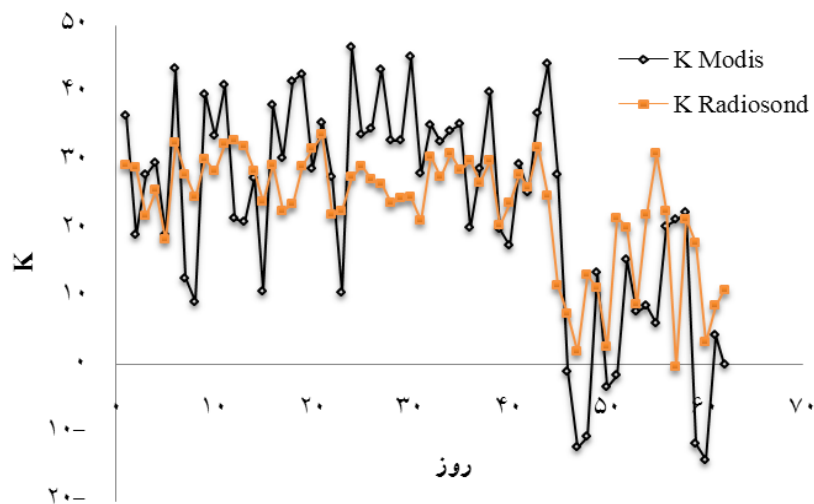
نسبت به مقدار مشاهده شده از رادیوسوند است علامت مثبت را نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان گفت که در فصل بهار مقادیر شاخص K مادیس کمتر تخمین زده شده هستند. اما در فصل تابستان با وجود اینکه باز هم مقادیر K مادیس در ۴۶/۵۶٪ مواقع بزرگ‌تر از مقادیر به دست آمده از رادیوسوند هستند، نمی‌توان نظر خاصی داد. به راحتی می‌توان دید که در هر دو فصل شاخص ناپایداری K به دست آمده از تصاویر مادیس و رادیوسوند ضرایب همبستگی خوبی را نشان می‌دهند که البته

جدول ۷. متوسط خطای مطلق، ضریب همبستگی و درصد مثبت بودن اریبی برای شاخص K (بهار و تابستان)

ایستگاه	فصل	متوسط خطای مطلق	ضریب همبستگی	درصد مثبت بودن اریبی $K_{modis} - K_{radio} \geq 0$
تبریز	بهار	۱۰/۲۳	۰/۵۹	۲۴/۴۹
	تابستان	۹/۵۹	۰/۶۷	۴۶/۵۶



شکل ۸. مقایسه شاخص K به دست آمده از مادیس و رادیوسوند (فصل بهار)



شکل ۹. مقایسه شاخص K به دست آمده از مادیس و رادیوسوند (فصل تابستان)

۰/۵۵، ۰/۶۰- و ۰/۶۳ به ترتیب برای شاخص‌های TT، L و K مشاهده شد که شاخص ناپایداری K بهترین همبستگی بین داده‌های به دست آمده از مادیس و رادیوسوند را نشان می‌دهد.

با مقایسه کلی ضرایب همبستگی شاخص‌های ناپایداری TT، L و K به دست آمده از مادیس و رادیوسوند دو فصل بهار و تابستان (جدول ۸) و به دست آوردن ضرایب همبستگی

جدول ۸. مقایسه ضرایب همبستگی شاخص‌های ناپایداری TT، L و K به دست آمده از مادیس و رادیوسوند (بهار و تابستان)

ضریب همبستگی TT	ضریب همبستگی L	ضریب همبستگی K
۰/۵۵	-۰/۶۰	۰/۶۳

مکانی ۵ در ۵ کیلومتری مادیس، اختلاف زمانی بین این دو سنجنده و جابجایی افقی رادیوسوند هنگام صعود به جو را می‌توان از جمله دلایل اختلاف بین رادیوسوند و سنجنده مادیس دانست.

در آخر می‌توان از مادیس برای نتایج بهتر پیش‌بینی ناپایداری در مناطق شمال غرب ایران که فاقد ایستگاه‌های جو بالا هستند بهره برد. مطالعات بیشتری در مورد داده‌ها و عملکرد مادیس در مناطق دیگر و بازه زمانی بیشتر مورد نیاز است.

تقدیر و تشکر

از سرکار خانم مهندس مژگان میرضایی جهت تهیه نقشه‌های استفاده شده در این مقاله کمال تشکر را دارم.

فهرست منابع و مآخذ

۱. جعفری، ش. ۱۳۹۱. بررسی شاخص‌های ناپایداری (K، L، TT) در مناطق بدون ایستگاه‌های سطوح بالا توسط تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ۹۰ صفحه.
۲. حلیمی، ف. س.، ع. ا. آبکار، ا. ح. مشکواتی و ع. صادقی نائینی. ۱۳۹۰. اعتبارسنجی پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم سنجنده مادیس با استفاده از داده‌های رادیوسوند در تهران. فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران، ۳(۲): ۸۷-۹۶.
۳. رسولی، ع. ا.، ج. بوداق جمالی و ا. جلالی. ۱۳۸۶. توزیع زمانی بارش‌های رعد و برقی منطقه شمال غرب ایران. مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، ۲۲(۱): ۱۵۵-۱۷۰.
۴. علیجانی، ب. ۱۳۷۴. آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور تهران. چاپ اول. ۲۲۱ صفحه.

بعد از بررسی‌های آماری گسترده می‌توان فهمید که محصولات مادیس یک رابطه خطی خوبی را در مقایسه با مقادیر مشاهده شده از رادیوسوند نشان می‌دهد. همچنین داده‌ها از دقت خوبی نسبت به مقادیر مشاهده شده برخوردارند. در بررسی کلی شاخص‌های ناپایداری TT، L و K مشاهده شد که مقادیر به دست آمده از مادیس با وجود روند کلی یکسان و مطابقت زیاد با مقادیر به دست آمده از رادیوسوند، کمتر تخمین زده شده هستند. یکی از دلایل اختلاف می‌تواند به علت اختلاف ساعت بین فرستادن رادیوسوند ۰۰ و زمان گذر مادیس از روی منطقه که بین ساعت ۰۵:۲۲ و ۰۰ است باشد. مقایسه مقادیر متوسط خطای مطلق شاخص‌های ناپایداری TT، L و K نشان داد که برای شاخص TT و K این مقدار در فصل تابستان به ترتیب با مقادیر ۴/۶۸ و ۹/۵۹ کمتر از فصل بهار با مقادیر ۶/۶۶ و ۱۰/۲۳ است. برای شاخص L در فصل بهار، با اریبی ۳/۳۱ کمتر از فصل تابستان با ۳/۴۱ است. مقایسه اریبی این سه شاخص با یکدیگر به نظر کار درستی نمی‌آید، زیرا دامنه تغییرات آن‌ها یکسان نیست. به عنوان مثال، شاخص ناپایداری L بازه تغییرات کمتر و در نتیجه حساس‌تری را نسبت به تغییرات کم دارد.

ضرایب همبستگی ۰/۵۵، ۰/۶۰ و ۰/۶۳ به ترتیب برای شاخص‌های TT، L و K در دو فصل بهار و تابستان به دست آمد. در مطالعه کریوسولاکیس و همکاران (۷)، ضرایب همبستگی ۰/۴۹ برای شاخص L و ۰/۳۷ برای شاخص K به دست آمد. علت تفاوت در میزان همبستگی می‌تواند به علت تفاوت طول مدت و مکان جغرافیایی نمونه آماری باشد.

نقطه‌ای بودن داده‌های رادیوسوند در مقابل رزولوشن

- vapor properties from the moderate resolution imaging spectrometer (MODIS). *Geoscience and Remote Sensing*, 30(1): 2-27.
16. Lee RR and Passner JE .1993. The Development and Verification of TIPS: An Expert System to Forecast Thunderstorm Occurrence. *Weather and Forecasting*, 8(2): 271-280.
 17. Liu Y, Key JR. 2003. Detection and Analysis of Clear-Sky, Low-Level Atmospheric Temperature Inversions with MODIS. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20(12): 1727-1737.
 18. Menzel PW, Seemann SW, Li J, Gumley LE .2002. MODIS atmospheric profile retrieval algorithm theoretical basis document. University of Wisconsin-Madison, Madison. Version 6. 40 pp.
 19. Miller RC. 1972. Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Military Warning Center. Air Weather Service (MAC), Tech. Rep. 200, Scott Air Force Base, IL, 181 pp.
 20. Mitra AK, Sharma AK, Bajpai I, Kundu PK. 2012. An atmospheric instability derived with MODIS profile using real-time direct broadcast data over the Indian region. *Natural Hazards*, 63(2): 1007-1023.
 21. Schmit TJ, Feltz WF, Menzel P, Jung J, Noel AP, Heil JN, Nelson JP, Wade GS. 2002. Validation and Use of GOES Sounder Moisture Information. *Weather and Forecasting*, 17(1): 139-154.
 22. Schultz P. 1989. Relationships of Several Stability Indices to Convective Weather Events in Northeast Colorado. *Weather and Forecasting*, 4(1): 73-80.
 23. Seemann SW, Li J, Menzel WP, Gumley LE. 2003. Operational Retrieval of Atmospheric Temperature, Moisture, and Ozone from MODIS Infrared Radiances. *Journal of Applied Meteorology*, 42(8): 1072-1091.
 24. Showalter AK. 1953. A stability index for thunderstorm forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 34(14): 240-252.
 25. Tajbakhsh S, Ghafarian P, Sahraian F. 2012. Instability indices and forecasting thunderstorms: the case of 30 April 2009. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 403-413.
 5. Borbas E, Seemann SW, Kern A, Moy L, Li J, Gumley L, Menzel WP. 2011. MODIS atmospheric profile retrieval algorithm theoretical basis document. University of Wisconsin Madison press. Version 7, 30 pp.
 6. Boyden CJ. 1963. A simple instability index for use as a synoptic parameter. *Meteorite Magazine*, 92(3): 198-210.
 7. Chrysoulakis N, Spilitopoulos M, Domenikiotis C, Dalezios N. 2003. Towards Monitoring of Regional Atmospheric Instability Through MODIS/AQUA Images. *Proceeding of the International Symposium on Geographical Information Systems and Remote Sensing: Environmental Applications*. 7-9 November, Volos, Greece, 155 -166.
 8. De Rubertis D. 2006. Recent Trends in Four Common Stability Indices Derived from U.S. Radiosonde Observations. *Journal of Climate*, 19(3): 309-323.
 9. Galway JG. 1956. The Lifted Index as a Predictor of Latent Instability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 37(2): 528-529.
 10. George JJ. 1960. *Weather forecasting for aeronautics*. Academic Press. 673 pp.
 11. Peng G, Li J, Chen Y, Norizan AP, Tay L. 2006. High-resolution surface relative humidity computation using MODIS image in Peninsular Malaysia. *Chinese Geographical Science*, 16(3): 260-264.
 12. Huntrieser H, Schiesser HH, Schmid W, Waldvogel A. 1997. Comparison of Traditional and Newly Developed Thunderstorm Indices for Switzerland. *Weather and Forecasting*, 12(1): 108-125.
 13. Joliffé IT, Stephenson DB. 2003. *Forecast Validation-A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. Wiley Press, England, 240 pp.
 14. Joro S. 2005. Atmospheric Profiles Product in Finland a Feasibility Study. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, 19-23 September, Dubrovnik, Croatia.
 15. King MD, Kaufman YJ, Menzel WP, Tanre D. 1992. Remote sensing of cloud, aerosol, and water



Verification instability indices derived from MODIS images with the help of Radiosonde data (Case study: Tabriz station)

Sh. Jafari Khasragh ^{1*}, A. A. Abkar ², Gh. Kamali ³

1. MSc. of Meteorology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

2. Assis. Prof. College of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

3. Assoc. Prof. Department of Meteorology, College of Basic Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 December 2012

Accepted 14 August 2013

Available online 8 February 2014

Keywords:

Total totals index (TT)

Lifted index (L_{index})

K_{index}

MODIS

Radiosonde

Verification

ABSTRACT

Information about the stability of the atmosphere is a very important factor in now casting and short term forecasting. Atmospheric Stability is usually estimated based on Radiosonde instability indices data. But due to a very low number of meteorological stations having Radiosonde and the cost of launching them using satellite images could be a proper alternative. In this study, the accuracy of survey data obtained from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) atmospheric profile products in order to predict atmospheric instability versus Radiosonde observed values has been investigated. Three extracted MODIS instability indices TT, L and K are compared with Tabriz station Radiosonde data at 00 (UTC). The Tabriz weather, airport station has been selected due to its high frequency of thunderstorms (over 35 thunderstorm days per year) and the existence of an upper air station in the spring and summer of 2007 as a case study. It has been observed that the TT, L and K instability indices obtained from Radiosonde and MODIS show good correlation with respectively the correlation coefficient of 0.46, 0.55 and 0.60 in spring and 0.64, 0.65 and 0.67 in summer, and therefore the spatial interpolation of these indices in areas where there is no Radiosonde information is possible. Also by the investigation of the average absolute error, the K and TT indices showed less error in summer than spring while the L index showed less error in spring than in the summer. It was also observed that the instability indices values obtained from MODIS were underestimated compared with Radiosonde and it's much more significant in the spring.

* Corresponding author e-mail address: shabnamjafari83@yahoo.com