سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال سوم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۰
Vol.3, No.2, Summer 2011

۸۷-۹۶

اعتبارسنجی پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم سنجنده مادیس با استفاده از داده‌های رادیوسوند در تهران

فریباسادات حلیمی*[۱]، علی‌اکبر آبکار[۲]، امیرحسین مشکواتی[۳]، علی صادقی نایینی[۴]

۱. کارشناس ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۲. عضو هیئت علمی گروه سنجش از دور و فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصرالدین طوسی
۳. عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۴. کارشناس ارشد سنجش از دور، سازمان فضایی ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۸

چکیده

اطلاع از پروفایل‌های قائم دما و دمای نقطه شبنم در زمرهٔ مهم‌ترین پارامترها در مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع آب‌وهوا جای دارند. در زمان حاضر در ایران پروفایل‌های قائم دما و دمای نقطه شبنم با رادیوسوندها تهیه می‌شوند؛ اما به دلیل گرانی رادیوسوندها، ارسال آنها به جو تنها محدود به زمان‌ها و مکان‌های خاصی است. به همین دلیل به‌کار بردن روش‌های جدید با قابلیت هزینه کم و پوشش وسیع برای تولید پروفایل‌ها اهمیت بسیار دارد. امروزه تلاش می‌شود تا با استفاده از ماهواره‌ها و فناوری سنجش از دور، کاستی‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های رادیوسوند مرتفع گردد. در این تحقیق از محصول MYD07-L2 تصاویر سنجنده مادیس ماهواره Aqua با قدرت تفکیک مکانی ۵ کیلومتر برای استخراج پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم استفاده شده است. برای این‌کار با برنامه‌نویسی در محیط IDL، پروفایل‌های ایستگاه مهرآباد تهران از محصول MYD07-L2 سنجنده مادیس برای روزها و شب‌های مختلفی از سال ۲۰۰۷ استخراج گردید و سپس میزان Bias و RMSE داده‌های مذکور با داده‌های رادیوسوند محاسبه و مقایسه شد. نتایج نشان دادند که داده‌های پروفایل دمایی مادیس مطابقت مناسبی با داده‌های رادیوسوند دارند؛ و برای آنها Bias کل ۱/۹۵ و RMSE ۲/۴۱ درجه کلوین، برای سطوح بالاتر از ۷۸۰ میلی‌بار، به دست آمد. در سطوح بالاتر از ۷۸۰ میلی‌بار پروفایل‌های دمای نقطه شبنم اختلاف بیشتری را با داده‌های رادیوسوند نشان دادند و برای آنها نیز مقدار Bias کل ۵/۷۷ و RMSE ۶/۵۸ درجه به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: مادیس، رادیوسوند، پروفایل دما، نقطه شبنم.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان آفریقا، خیابان سایه، پلاک ۳۴، سازمان فضایی ایران، تلفن: ۲۲۰۲۹۹۹۵

Email: Halimi_university@yahoo.com

۱- مقدمه

اندازه‌گیری پارامترهای جَوّی در ارتفاعات مختلف، ارتفاع‌سنجی[1] جَو نامیده می‌شود. در رادیوسوندها با نصب ادوات هواشناسی بر روی بالون‌ها و ارسال آنها به درون جو و ثبت لحظه به لحظه دما، دمای نقطه شبنم[2]، سمت و سرعت باد در هنگام صعود ارتفاع‌سنجی انجام می‌شود. رادیوسوندها دو بار در روز در ساعت‌های ۰۰:۰۰ و ۱۲:۰۰ به وقت گرینویچ به جَو ارسال می‌شوند. در ماهواره‌ها نیز ارتفاع‌سنجی با ثبت انرژی گسیلی مادون قرمز حرارتی از لایه‌های مختلف جو به‌دست می‌آید. در این تحقیق پروفایل‌های قائم دما و دمای نقطه شبنم از سنجنده مادیس استخراج شده و میزان اعتبار آنها با داده‌های رادیوسوند مورد بررسی قرار گرفته است.

سی‌من و همکاران (۲۰۰۳)، الگوریتم استخراج پروفایل‌های جوی را از تصاویر سنجنده مادیس تهیه کردند. این سنجنده که بر روی ماهواره‌های آکوا و ترا قرار گرفته است، می‌تواند پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم جو را در ۲۰ سطح فشاری تهیه کند. آنها سپس پروفایل‌های مادیس را با پروفایل‌های رادیوسوند و چند سنجنده ماهواره‌ای دیگر برای ۸۰ مورد آسمان بدون ابر مقایسه کردند. طبق نتایج به دست آمده، پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم با پروفایل‌های به‌دست آمده از رادیوسوند و همچنین پروفایل‌های دیگر سنجنده‌های ماهواره‌ای از قبیل AIRS در توافق بودند. کیم و همکاران (۲۰۰۴)، برای ۶ ایستگاه رادیوسوند در کشور کره پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم ماهواره را با رادیوسوند مقایسه کردند. نتایج آنها مقدار RMSE میانگین ۱/۶ درجه کلوین برای دما در سطوح بالای ۸۰۰ هکتوپاسکال و ۲/۲ کلوین را برای سطوح پایینی جَو نشان داد. همچنین نتایج حاکی از آن بودند که دقت داده‌های دمای نقطه شبنم با ارتفاع کاهش می‌یابد؛ و مقدار RMSE ماکزیمم در سطوح پایینی جو ۳/۵ درجه به دست آمد. سوزا و همکاران (۲۰۰۶)، با انجام این تحقیق در برزیل نشان دادند که تا زیر سطح ۶۰۰ میلی‌باری مقدار 2RMS درجه کلوین است و در نزدیکی سطح زمین به ۳/۵ درجه هم می‌رسد. در مورد رطوبت نیز مقدار RMS حدود 2g/Kg به دست آمد. در مقایسه پروفایل‌های دما و رطوبت سنجنده AIRS با داده‌های رادیوسوند که به‌وسیله دیواکارلا و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفت، اختلاف دمای ۱ درجه به دست آمد. جورو (۲۰۰۵)، زاوودسکی و همکاران (۲۰۰۴)، چن و همکاران (۲۰۰۷)، نشان دادند که استفاده از پروفایل‌های مادیس می‌تواند دقت پیش‌بینی پدیده‌های جَوی را بالاتر ببرد.

این تحقیق برای منطقه مهرآباد تهران با عرض جغرافیایی ۳۵/۶۸ و طول جغرافیایی ۵۱/۳۵ درجه انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی سنجنده مادیس

مادیس (MODIS)[3] نوعی تصویربردار اسپکترورادیومتر با قدرت تفکیک متوسط است و یکی از سنجنده‌های اصلی و مهم برنامه سامانه مشاهده زمین (EOS)[4] سازمان فضایی امریکا به‌شمار می‌آید. ماهواره تُرا که سنجنده مادیس بر روی آن قرار دارد در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. هدف از ارسال این سنجنده به فضا، پایش جهانی جَو، مطالعه زیست‌بوم‌های زمینی و اقیانوس‌ها بود. در تاریخ ۴ ماه مه سال ۲۰۰۲ سامانه مادیس بر روی ماهواره آکوا نیز قرار گرفت. مادیس یک دستگاه اسپکترورادیومتر با ۳۶ باند طیفی در محدوده ۱۴/۳-۰/۴ میکرومتر است. قدرت تفکیک باندهای سنجنده مادیس متفاوت‌اند، به‌طوری‌که دارای ۲ باند ۲۵۰ متری، ۵ باند ۵۰۰ متری

1. Sounding

۲. نقطه شبنم دمایی است که اگر هوا در فشار ثابت تا آن درجه سرد شود، بخار آب آن اشباع می‌گردد.

3. Moderate Resolution Imaging Spectoradiometer

4. Earth Observation System

و ۲۹ باند ۱۰۰۰ متری هستند (Parkinson et al., 2000).

این سنجنده دارای پوشش وسیع با عرض تصویربرداری ۲۳۳۰ کیلومتر است، به گونه‌ای که یک گذر مادیس از روی ایران می‌تواند کل کشور را پوشش دهد.

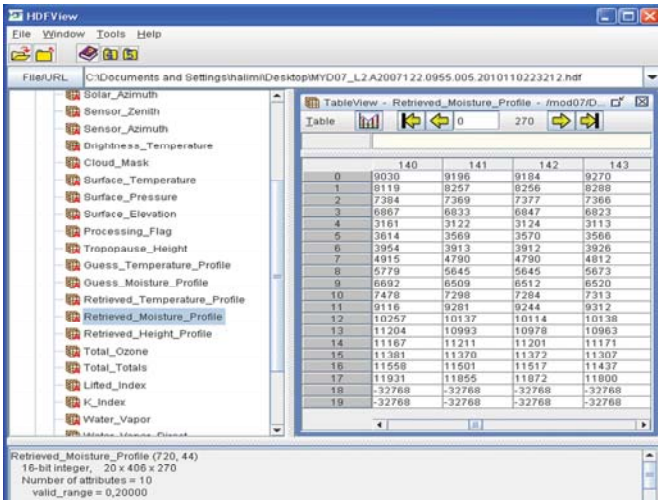
۲-۲- تولید پروفایل‌های جَو به‌وسیله سنجنده مادیس

تولید پروفایل دمای جَو از انرژی گسیلی مادون قرمز حرارتی ثبت شده به‌وسیله ماهواره‌ها را نخستین بار کینگ در سال ۱۹۵۶ پیشنهاد کرد و بدین ترتیب نخستین دستگاه ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای SIRS-A بر روی ماهواره Nimbus-3 در سال ۱۹۶۹ به فضا پرتاب شد. در الگوریتم استخراج پروفایل‌ها از تصاویر مادیس از رادیانس‌های کالیبره شده با میدان دید ۱ کیلومتر از داده‌های کانال‌های ۲۰، ۲۵-۲۲، ۲۹-۲۷ و ۳۶-۳۰ استفاده شده است (جدول ۱). ماسک ابری مادیس (محصول MYD-35) نیز برای غربال‌زنی ابر مورد نیاز است (Seemann et al., 2006).

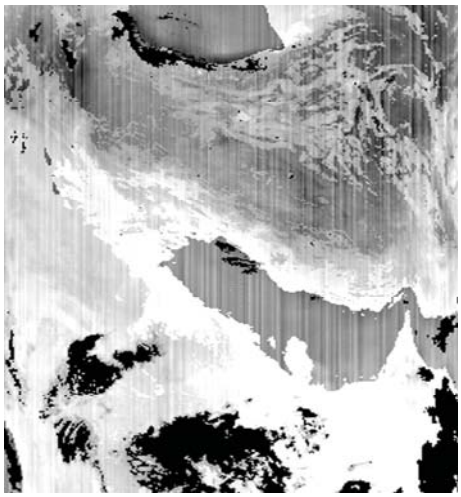
پروفایل‌های جَوّی شامل چندین پارامتر هستند، همچون وزن کل ازن، پایداری جَوّی، پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم و بخار آب جو که در سطح پردازشی ۲ تهیه و روزانه ۴ بار دریافت می‌شوند. پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم سنجنده مادیس در ۲۰ سطح فشاری که شامل سطوح ۱۰۰۰، ۹۵۰، ۹۲۰، ۸۵۰، ۷۸۰، ۷۰۰، ۶۲۰، ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۵۰، ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۷۰، ۵۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۵ میلی‌بار هستند، با قدرت تفکیک ۵ کیلومتر که در ساعت‌ها یا زمان‌های بدون ابر تهیه می‌شوند. شکل ۱ نمونه‌ای از اطلاعات موجود در محصول MYD07-L2 را نشان می‌دهد و شکل ۲ نمونه‌ای از تصاویر MYD07-L2 را.

جدول ۱. مشخصات طیفی باندهای مورد استفاده مادیس در محصول MYD07-L2

پهنای باند(µm)	شماره باند	کاربرد اولیه جَوّی
۴/۴۸۲-۴/۵۴۹	۲۵	پروفایل دما
۶/۵۳۵-۶/۸۹۵	۲۷	
۷/۱۷۵-۷/۴۷۵	۲۸	پروفایل رطوبت
۸/۴۰۰-۸/۷۰۰	۲۹	
۹/۵۸۰-۹/۸۸۰	۳۰	ازن
۱۰/۷۸۰-۱۱/۲۸۰	۳۱	دمای سطح زمین
۱۱/۷۷۰-۱۲/۲۷۰	۳۲	
۱۳/۱۸۵-۱۳/۴۸۵	۳۳	
۱۳/۴۴۸۵-۱۳/۷۸۵	۳۴	پروفایل دما
۱۳/۷۸۵-۱۴/۰۸۵	۳۵	
۱۴/۰۸۵-۱۴/۳۸۵	۳۶	



شکل ۱. نمایش نمونه‌ای از اطلاعات موجود در تصاویر MYD07-L2



شکل ۲. نمونه‌ای از تصاویر MYD07-L2

۲-۳- تهیه داده‌ها

در این پژوهش برای استخراج پروفایل‌های دما و دمای نقطه شبنم، از تصاویر پردازشی سطح ۲ مادیس با عنوان MYD07-L2 استفاده شده است. با توجه به اینکه پروفایل‌ها در روزهای بدون ابر تولید می‌شوند، با مراجعه به فایل SC-Data (تهیه شده از سازمان هواشناسی) مشخص گردید که ۴۰ روز بدون ابر بوده است. مقدار ابر موجود در آسمان، که در ساعت‌های ۱۲:۰۰ یا ۰۰:۰۰ (به وقت گرینویچ) صفر بود و با پارامتر N=0 مشخص شده بود، از کلیه ماه‌های سال ۲۰۰۷ انتخاب گردید. سپس محصول MYD07-L2 متناظر با آنها از سایت LAADS Web به نشانی http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html تهیه شد.

علاوه بر آن، داده‌های رادیوسوند متناظر نیز از پایگاه اینترنتی دانشگاه وایومینگ به نشانی http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

تهیه شد. با بررسی پروفایل‌های مادیس و رادیوسوند موجود، پروفایل‌هایی که این ویژگی‌ها را داشتند انتخاب شدند:

- کمترین اختلاف زمانی با داده‌های رادیوسوند؛ و
- بیشترین سطوح فشاری مشترک.

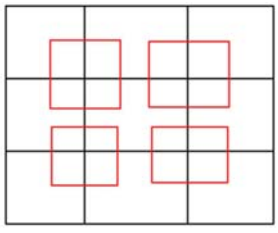
از این رو در نهایت ۲۰ تصویر برای انجام تحقیق برگزیده شد. کلیه داده‌های مادیس دارای مختصات جغرافیایی‌اند. هر کدام از اطلاعات موجود در هر تصویر MYD07-L2 در قالب یک ماتریس ۲۷۱ × ۴۰۶ گنجانده شده‌اند که ابعاد هر کدام از پیکسل‌ها ۵×۵ کیلومتر است. با توجه به اینکه در نرم‌افزارهای نمایشگر تصاویر، مقادیر رقومی تصویر با شماره پیکسل گزارش می‌شود، به منظور در اختیار داشتن پیکسل‌های دارای مختصات، با برنامه‌نویسی در محیط IDL داده‌های ایستگاه مهرآباد تهران استخراج گردید و سپس با اعمال ضرایب متادینا بر داده‌ها ـ که رابطه آن بدین شکل است ـ پروفایل‌های مطلوب به دست آمد:

رابطه (۱)

$$Y = (X + ۱۵۰۰۰) \times ۰/۰۱$$

که در آن X مقدار درجه خاکستری پیکسل مادیس است و Y مقدار نهایی دما برحسب کلوین.

برای پیشگیری از وقوع خطا و امکان اینکه مختصات وارد شده برای ایستگاه مهرآباد تهران در لبه پیکسل قرار گیرد، از پیکسل‌های اطراف در پنجره ۳×۳ میانگین‌گیری شده است (شکل ۳).



شکل ۳. متوسط‌گیری از پیکسل‌های مجاور

۲-۴- محاسبه دمای نقطه شبنم

پارامترهای متنوعی برای سنجش رطوبت وجود دارند، که از آن جمله‌اند: فشار بخار آب، رطوبت نسبی، نقطه شبنم، و مانند اینها. در این تحقیق رطوبت برحسب پارامتر نقطه شبنم به‌کار رفته است.

برای تعیین دمای نقطه شبنم در ایستگاه‌های هواشناسی از داده‌های دمای خشک و دمای تر استفاده می‌شود. نرم‌افزارهای هواشناسی از قبیل Met tab با داشتن این داده‌ها، دمای نقطه شبنم را محاسبه می‌کنند. روابط مختلفی برای محاسبه دمای نقطه شبنم وجود دارد که از معروف‌ترین آنها، معادله مگنوس است.

رابطه (۲)

$$T_d = \frac{b\gamma(T,RH)}{a - \gamma(T,RH)}$$

رابطه (۳)

$$\gamma(T,RH) = \frac{aT}{b+T}\ln(RH/۱۰۰)$$

$$a = ۱۷/۲۷۱$$

$$b = ۲۳۷/۷^{\circ}C$$

در این رابطه، T دما برحسب درجه سلسیوس است و RH رطوبت نسبی است که از رادیوسوند برگرفته می‌شوند.

۲-۵- روش مقایسه داده‌ها

برای مقایسه پروفایل‌های مادیس و رادیوسوند و بررسی اعتبار داده‌های مادیس، از روش محاسبه خطای Bias و RMSE استفاده شده است. Bias عبارت است از مقدار حدس زده شده یکی از کمیت‌ها به‌وسیله سامانه اندازه‌گیر، منهای مقدار واقعی آن. در اینجا فرض بر این است که داده‌های اندازه‌گیری شده به‌وسیله رادیوسوند، مقادیر واقعی و داده‌های اندازه‌گیری شده به‌وسیله مادیس مقادیر آزمایشی را تشکیل می‌دهند.

رابطه (۴)

$$Bias = X - Y$$

که در آن X مقدار واقعی و Y مقدار آزمایشی است.

RMSE، یا به عبارتی ریشه میانگین مربع خطا، معیاری معمول برای اندازه‌گیری اختلاف بین مقادیر

واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با یکی از روش‌ها یا مدل‌هاست. RMSE از روش‌های خوب برای اندازه‌گیری میزان دقت است و RMSE، کل اختلافات را در عددی واحد جمع‌آوری می‌کند. پارامتر مورد بحث از این معادله به دست می‌آید که در آن N تعداد داده‌هاست:

رابطه (۵)

$$RMSE = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_i - Y_i)^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

۳- نتایج

برای مقایسه داده‌های رادیوسوند و مادیس، داده‌های سطوح ۷۸۰، ۷۰۰، ۶۲۰، ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۵۰، ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۷۰، ۵۰، ۳۰ و ۲۰ مقایسه شدند و سپس با رسم نمودار پروفایل‌ها و محاسبه خطای Bias و RMSE، تأثیر عوامل مختلف در وقوع خطا بررسی گردید.

۳-۱- نتایج مقایسه پروفایل‌های دما

در شکل ۴ نمونه‌ای از نتایج مقایسه پروفایل‌های دما نشان داده شده است.

نتایج آماری برای ۲۰ سری پروفایل دما و ۶ سطح فشاری، یا به عبارتی ۱۲۰ داده آماری، در جدول‌های ۲ و ۳ درج شده است:

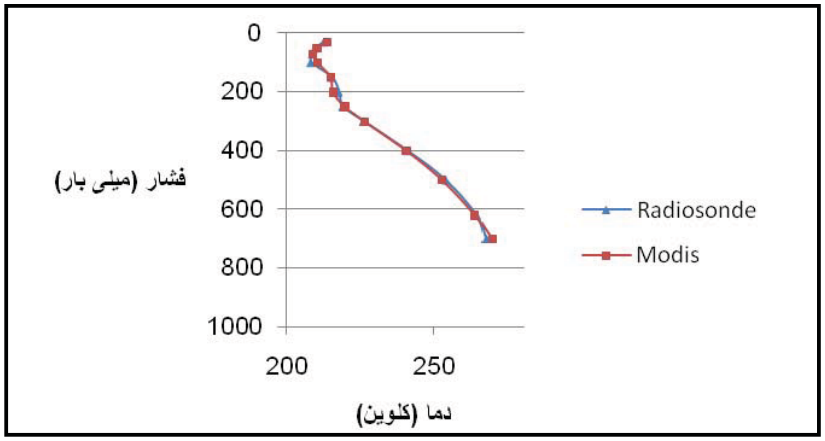
طبق جدول ۲، حدود ۹۴ درصد داده‌ها دارای Bias کمتر از ۵ درجه هستند. برای بررسی علل Bias، تأثیر عواملی مانند اختلاف زمان بین داده‌ها (شکل ۵)، سرعت باد سطح زمین (شکل ۶)، و همچنین تأثیرات ناشی از فصل یا زمان دریافت داده ماهواره‌ای (روز یا شب) مطالعه و بررسی گردید.

جدول ۲. محدوده Bias داده‌های دما براساس درصد آنها

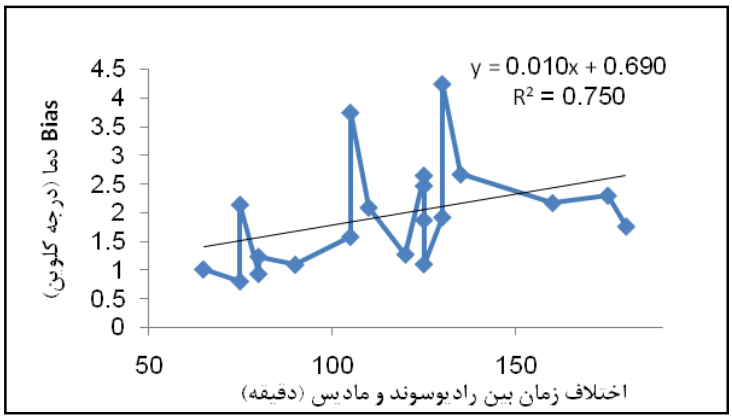
محدوده Bias دما (درجه)	درصد
کمتر از ۲ درجه	۶۸
۲-۳	۱۶
۳-۴	۸/۳
۴-۵	۱/۷
بیشتر از ۵	۶

جدول ۳. نتایج آماری نهایی پروفایل‌های دما

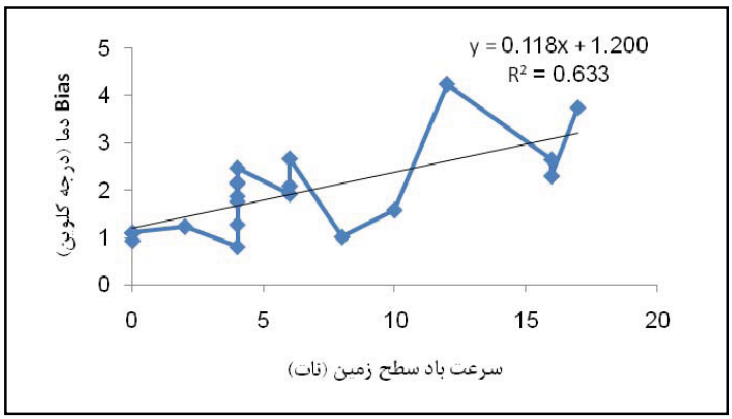
متغیر	مقدار
تعداد پروفایل‌ها	۲۰
Bias کل	۱/۹۵
RMSE	۲/۴۱



شکل ۴. مقایسه پروفایل دمای مادیس و رادیوسوند در شب ۱۲ فوریه سال ۲۰۰۷



شکل ۵. تأثیر اختلاف زمانی بین داده‌ها در میزان Bias میانگین هر پروفایل



شکل ۶. تأثیر سرعت باد در میزان Bias میانگین هر پروفایل

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۵ و ۶، با افزایش فاصله زمانی بین گذر ماهواره و ارسال رادیوسوند و همچنین افزایش سرعت باد در سطح زمین، میزان Bias زیاد می‌شود.

نتایج نشان داد که ارتباط معناداری بین مقدار Bias و فصل وجود ندارد و لیکن زمان دریافت داده‌های ماهواره‌ای در میزان Bias تأثیرگذار است، به گونه‌ای که از میان ۲۰ پروفایل بررسی شده، ۹ پروفایل را پروفایل‌های شب تشکیل می‌دهند که ۸ مورد از آنها دارای مینیمم مقدار Bias بودند. آنهای دیگر (۱۱ پروفایل) داده‌های ظهر بودند که Bias آنها از پروفایل‌های شب بزرگ‌تر بود؛ که از جمله دلایل آن می‌توان به تغییرات زاویه تابش خورشید در روز اشاره کرد. تغییرات دمایی در حوالی ظهر، به همین خاطر بیشتر از شب است.

طبق جدول ۴، در سطوح فشاری مشترک داده‌های بررسی شده، به طور میانگین حداکثر ۲/۵ درجه Bias دما وجود دارد.

جدول ۴. میانگین Bias در سطوح فشاری ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌بار

متوسط Bias	فشار
۲/۵۰	۲۰۰
۱/۹۶	۲۵۰
۱/۲۲	۳۰۰
۱/۱۵	۴۰۰
۱/۶۵	۵۰۰
۱/۷۴	۷۰۰

۳-۲- نتایج مقایسه پروفایل‌های دمای نقطه شبنم

نتایج آماری برای ۲۰ سری پروفایل دمای نقطه شبنم و ۳ سطح فشاری مشترک، یا به عبارتی ۶۰ داده آماری، در جدول‌های ۵ تا ۷ ارائه شده‌اند.

جدول ۵. محدوده Bias دمای نقطه شبنم و درصد آنها

محدوده دمایی (درجه)	درصد
کمتر از ۴	۴۰
۴ - ۷	۲۵
۷ – ۱۰	۱۶/۷
بیشتر از ۱۰	۱۸/۳

مجموعاً ۸۱/۷ درصد داده‌ها دارای اختلاف دمای نقطه شبنم کمتر از ۱۰ درجه‌اند؛ و به عبارت دیگر ۱۸/۳ درصد داده‌ها Bias بزرگ‌تر از ۱۰ درجه دارند که رقم بالایی است.

جدول ۶. نتایج آماری نهایی پروفایل‌های دمای نقطه شبنم

متغیر	مقدار
تعداد پروفایل‌ها	۲۰
Bias کل	۵/۷۷
RMSE	۶/۵۸

جدول ۷. مقدار میانگین Bias دمای نقطه شبنم در سطوح ۴۰۰ و ۵۰۰ و ۷۰۰

میانگین Bias	فشار
۶/۵۳	۴۰۰
۵/۴۸	۵۰۰
۷/۷۹	۷۰۰

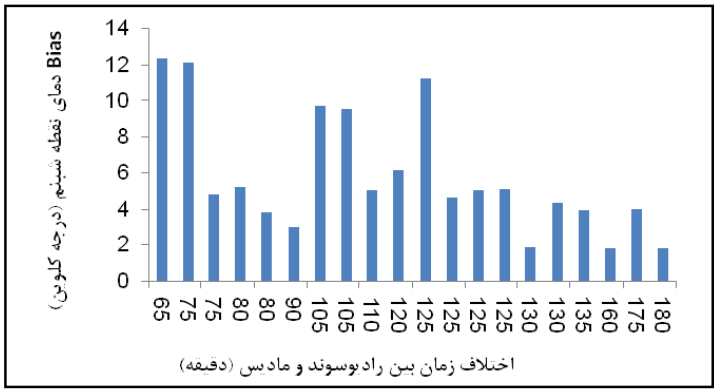
طبق جدول ۷، سطح ۷۰۰ میلی‌باری، مقدار Bias بزرگ‌تری را از مرتبه ۸ درجه نشان می‌دهد.

در اینجا باز هم تأثیر عواملی مانند اختلاف زمان، سرعت باد، فصل، زمان دریافت داده ماهواره‌ای (روز یا شب) در میزان Bias داده‌ها بررسی شده است (شکل‌های ۷ و ۸).

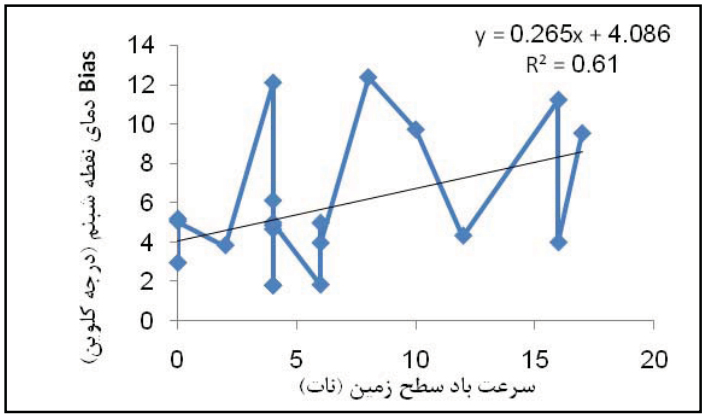
همان‌گونه که نمودار شکل (۷) نشان می‌دهد، ارتباط معناداری بین اختلاف زمان و Bias وجود ندارد. این موضوع می‌تواند براثر تغییرات زیاد دمای نقطه شبنم در جو با زمان باشد.

طبق نمودار ارائه شده در شکل ۸ به طور کلی با افزایش سرعت باد سطح زمین، میانگین Bias نیز زیاد می‌شود.

با توجه به بررسی ۲۰ سری پروفایل نقطه شبنم، ارتباط معناداری در بین فصل و میزان Bias به چشم نمی‌خورد. همچنین با بررسی تأثیر زمان دریافت داده‌های ماهواره‌ای مشخص گردید که برخلاف پروفایل‌های دما، ارجحیتی در داده‌های روز یا شب دمای نقطه شبنم مادیس وجود ندارد.



شکل ۷. ارتباط بین اختلاف زمان و Bias میانگین پروفایل‌های دمای نقطه شبنم



شکل ۸. مقدار Bias میانگین داده‌های دمای نقطه شبنم برحسب سرعت باد سطح زمین

۴- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی ۲۰ پروفایل دمایی مادیس در این تحقیق نشان داد که اینها انطباق مناسبی با داده‌های رادیوسوند دارند، به گونه‌ای که از بین ۱۲۰ داده آماری دما، ۶۸ درصد داده‌ها دارای Bias کمتر از ۲ درجه‌اند، ۲۶ درصد داده‌ها دارای Bias بین ۲ تا ۵ درجه‌اند، و تنها ۶ درصد داده‌ها Bias بزرگ‌تر از ۵ درجه دارند. همچنین پروفایل‌های نقطه شبنم در قیاس با پروفایل دمای محیط، Bias خیلی بیشتری دارند. در ۴۰ درصد داده‌ها میزان Bias کمتر از ۴۰ درجه، در ۴۲ درصد بین ۱۰- ۴ درجه، و در ۱۸ درصد بیشتر از ۱۰ درجه است.

به‌طور کلی می‌توان نتایج مقایسه پروفایل‌ها را چنین خلاصه کرد:

- با افزایش اختلاف زمان بین گذر ماهواره و رادیوسوند، مقدار Bias و RMSE پروفایل دما هم زیاد می‌شود، در حالی‌که در مورد پروفایل‌های دمای نقطه شبنم چنین نیست و ارتباط معناداری بین آنها وجود ندارد.
- افزایش سرعت باد سطح زمین باعث افزایش Bias هر دو پروفایل می‌شود. سرعت باد به دو طریق می‌تواند در اختلاف داده‌ها تأثیر بگذارد: ۱- ایجاد تعادل در جو؛ و ۲- جابه‌جایی افقی رادیوسوند.
- یکی از معایب رادیوسوند جابه‌جایی افقی آن تا حدود ۱۰۰ کیلومتر از مکان اولیه است و این خود سبب ایجاد خطای زیادی در گزارش پروفایل دمایی یک منطقه می‌شود.
- پروفایل‌های دمایی مادیس در شب دارای Bias کمتری در مقایسه با پروفایل‌های روز هستند. این در حالی است که در پروفایل‌های دمای نقطه شبنم ارجحیتی وجود ندارد.

۵- پیشنهادها

- ترتیبی اتخاذ شود تا برای دوره‌ای آزمایشی، با هماهنگی سازمان هواشناسی کشور و سازمان فضایی ایران، رادیوسوند همزمان با گذر ماهواره ترا یا آکوا به جَو ارسال گردد و این تحقیق دوباره انجام شود.
- پروژه اعتبارسنجی برای مادیس و سنجنده‌های هواشناسی ماهواره‌ای از قبیل Airs و آنهای دیگر در شهرهای دیگر ایران نیز انجام پذیرد.
- از داده‌های مدل و داده‌های رادار برای انجام پروژه اعتبارسنجی استفاده شود.
- در زمان حاضر مختصات مکانی اطلاعات ارسالی رادیوسوند به ایستگاه مخابره نمی‌شود. پیشنهاد این است که همزمان با ارسال داده‌های مورد نیاز، مختصات لحظه‌ای طول و عرض جغرافیایی رادیوسوند نیز مخابره گردند.

۶- منابع

Chan, P.W., Koos, S., 2007, **Impact of Temperature and Humidity Profiles from MODIS on Microscale Modeling**, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 24-28 September, Amsterdam, Netherlands.

Divakarla, M.G., Barnet, C.D., Goldberg, M.D., McMillin, L.M., Maddy, E., Wolf, W., Zhou, L., and Liu, X., 2006, **Validation of Atmospheric Infrared Sounder Temperature and Water Vapor Retrievals with Matched Radiosonde Measurements and Forecasts**, Journal of Geophysical Research, Vol 111, Page 6116.

Joro, S., 2005, **MODIS Atmospheric Profiles Product in Finland a Feasibility Study**, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 19-23 September, Dubrovnik, Croatia.

Kim, Y., S., Kwon, B., H., Hong, K., M., 2004, **Vertical Temperature and Moisture Structure in Lower Atmosphere Retrieved from Terra/MODIS**, Gayana, Vol 68, 2, 319-323.

Parkinson, C.L., Greenstone, R., Spangler, S., 2000, **EOS Data Products Handbook**, Volume 2, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.

Seemann, S.W., Borbas, E.E., Li, J., Menzel, W.P., Gumley, L.E., 2006, **MODIS Atmospheric Profile Retrieval Algorithm Theoretical Basis Document**, Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin-Madison.

Seemann, S.W., Li, J., Menzel, W.P., Gumley, L.E., 2003, **Operational Retrieval of Atmospheric Temperature, Moisture, and Ozone from MODIS Infrared Radiances**, Journal of Applied Meteorology, vol 42, Issue 8, Page 1072.

Souza, R.A., Rodrigues, J., V., Ceballos, J., C., 2006, **Performance of the AIRS/AMSU and MODIS Sounding Over Natal/Brazil Using Collocated Sondes**, 15th international TOVS study conference, 4-10 October 2006, Maratea, Italy.

Zavodsky, B.T., Lazarus, S.M., Blottman, P.F., and Sharp, D.W., 2004, **Assimilation of MODIS Temperature and Water Vapor Profiles into a Mesoscale Analysis System**, 20th Conference on Weather Analysis and Forecasting, 12-16 January, Seattle, Washington.