



نسخه از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۹
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.12, No. 3, Autumn 2020

37-46



Spatial Downscaling of AIRS-Derived Column Water Vapor to Improve LST Retrieval

Moradzadeh M.^{1*} 

1. Assistant Prof., Dep. of Geomatics, Faculty of Civil and Transportation Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

Atmospheric column water vapor, which is the total atmospheric precipitable water vapor contained in a vertical air column, is one of the most important factors in all surface-atmosphere interactions (such as energy fluxes between the earth and the atmosphere) and plays a key role in wide variety of environmental studies, ecological and agricultural applications. However, measuring this parameter at meteorological stations requires the use of radiosonde instruments, which being pointwise and costly are limitations of these observations. Therefore, remote sensing is used as an alternative to estimate this important atmospheric parameter. Compared to other atmospheric parameters, atmospheric water vapor which attenuates remotely sensed radiance is of great importance. Although this atmospheric parameter is measured by Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) sensor, its low resolution (about 40 km) is not acceptable for many applications. Therefore, developing an algorithm to downscale the AIRS-derived column water vapor is the main goal of this study, so that its spatial resolution can be improved. To do this, using the ratio method, the AIRS-derived column water vapor is fused with the Moderate Resolution Imaging spectroradiometer (MODIS) data. Then, due to the major influence of this parameter on Land Surface Temperature (LST) estimation, the role of improved resolution atmospheric column water vapor in the estimation of LST is investigated as a secondary goal. In order to validate the estimated parameters and evaluate their accuracy, independent datasets were used. Results of the implementation indicate that proposed downscaling method has high potential to enhance the spatial resolution of AIRS-derived atmospheric column water vapor, without significant degradation of the RMSE. It was also found that the atmospheric column water vapor when moving into higher spatial resolution can dramatically increase the accuracy of the LST estimation.

Keywords: AIRS, Atmospheric column water vapor, Spatial downscaling, LST, Ratio technique.

* Correspondence Address: Dep. of Geomatics, Faculty of Civil and Transportation Engineering, University of Isfahan, Isfahan.
Tel: 09133063994

Email: m.moradzadeh@eng.ui.ac.ir

<https://doi.org/10.52547/gisj.12.3.37>



سجش از دور

GIS ایران

سجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۹
Vol.12, No. 3, Autumn 2020 Iranian Remote Sensing & GIS

۴۶-۳۷
مقاله پژوهشی



ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو، به دست آمده از سنجنده AIRS، برای بهبود دقت بازیابی دمای سطح خاک

مینا مرادی زاده^{۱*}

۱. استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

چکیده

یکی از مهم ترین پارامترها، در تمامی تعاملات بین سطح و جو، بخار آب ستونی جو است که در بسیاری از مطالعات هواشناسی، محیطی، کاربردهای اکولوژیک و کشاورزی نقش کلیدی دارد. اندازه گیری این پارامتر در ایستگاه های هواشناسی مستلزم استفاده از رادیوسوند است که، علاوه بر نقطه های و محدود بودن مشاهدات، بسیار پرهزینه است. از آنجاکه این پارامتر، در مقایسه با سایر پارامترهای جوی، بیشترین تأثیر را در رادیناس رسیده به سنجنده دارد، سجش از دور راهکاری جایگزین برای برآورد این پارامتر بسیار مهم جوی محسوب می شود. یکی از سنجنده هایی که این پارامتر را اندازه گیری می کند AIRS است که توان تفکیک پایین (حدود ۴۰ کیلومتر) آن، در بسیاری از کاربردها، مطلوب نیست. بنابراین، هدف اصلی این تحقیق ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی این سنجنده، با استفاده از روشی مبتنی بر نسبت گیری بانندی و تلفیق آن با داده های سنجنده MODIS است. در ادامه، با توجه به تأثیر مهم این پارامتر در برآورد دمای سطح خاک (LST)، نقش بخار آب ستونی ارتقایافته جو در برآورد LST بررسی می شود. به منظور اعتبارسنجی و تعیین دقت برآورد پارامترها، از سری داده های مستقل استفاده شد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی پتانسیل بالایی در ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی به دست آمده جو از طریق سنجنده AIRS دارد؛ بدون اینکه کاهش چشمگیری در دقت آن مشاهده شود. همچنین، این نتیجه حاصل شد که بخار آب ستونی ارتقایافته جو ممکن است دقت برآورد LST را افزایش چشمگیری دهد.

کلیدواژه ها: سنجنده AIRS، بخار آب ستونی جو، ارتقای توان تفکیک مکانی، دمای سطح زمین، روش نسبت گیری بانندی.

* نویسنده مکاتبه کننده: اصفهان، میدان آزادی، دانشگاه اصفهان، دانشکده عمران و حمل و نقل، گروه مهندسی نقشه برداری. تلفن: ۰۹۱۳۳۰۶۳۹۹۴.

۱- مقدمه

به میزان بخار آب جو «آب قابل بارش» گویند که، در حقیقت، تخمین مقدار کل بخار آب موجود در یک ستون عمودی جو از سطح زمین تا پایان تروپوسفر است. پیش‌بینی‌های مرتبط با میزان باران، تخمین آب در دسترس کشاورزی، میزان سرریز سدها و نیز وقوع سیلاب با برآورد بخار آب قابل بارش اتمسفر امکان‌پذیر است (مباشری و همکاران، ۱۳۸۹).

از سوی دیگر، نمی‌توان نقش کاربردی دمای سطح خاک (LST) را، به‌منزله نماینده تعادل انرژی در سطح زمین، در بسیاری از مطالعات علمی نادیده گرفت (Alkasim et al., 2018; Hausmann et al., 2017). از آنجا که بخار آب جو مهم‌ترین عامل جوی تأثیرگذار در باندهای حرارتی است، با تعیین و مدل‌سازی آن، می‌توان مقدار دمای سطح خاک را با دقت بیشتری برآورد کرد (Moradizadeh et al., 2008a).

مشاهدات رادیوسوند در ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از بالنی انجام می‌شود که فقط یک پروفیل از سطح زمین را، تا ارتفاع سی کیلومتری بالای سطح، پوشش می‌دهد. بنابراین، هزینه بالا در کنار تعداد محدود و نقطه‌ای بودن مشاهدات باعث شد بسیاری از روش‌های سنجش از دور برای برآورد مقدار این پارامتر مطرح شوند (Moradizadeh et al., 2008b; Sobrino et al., 2003; Zhang et al., 2010; Peng et al., 2017; Alshawaf et al., 2017).

برای تخمین مقدار بخار آب جو دو روش اصلی، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، وجود دارد. روش نخست از معادلات انتقال تابشی مستقیم استفاده می‌کند که، در آن، مقدار بخار آب جو به‌صورت ضمنی وجود دارد. روش دوم از روابط آماری برازشی بهره می‌برد که براساس باندهای گرمایی و یا فروسرخ نزدیک انجام می‌شود (Schroedter et al., 2008). روش اول به‌دلیل ماهیت فیزیکی‌اش، نتایج دقیق‌تری دربر دارد ولی لازم است، در این روش، مقدار LST و ضریب گسیل سطح معلوم باشد. روش نسبت‌گیری بانندی یکی از شیوه‌های

ارزشمند مبتنی بر رادیانس است که، برای برآورد بخار آب جو، از باندهای جذب و غیرجذب بخار آب سنجنده در محدوده فروسرخ نزدیک استفاده می‌کند. همچنین، طی تحقیقات پیشین، روش‌هایی نیز برای برآورد LST با استفاده از باندهای حرارتی سنجنده‌های متفاوت مطرح شده است اما روش پنجره مجزا^۱ مرسوم‌ترین و موفق‌ترین شیوه محسوب می‌شود. در اساس، این روش از تفاضل باندهای کمینه برای تصحیح تأثیرات جوی بهره می‌برد. نتایج بسیاری از تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که وارد کردن بخار آب جو در مدل‌های پنجره مجزا دقت برآورد LST را افزایش می‌دهد (Tang et al., 2018; Cristóbal et al., 2009; Zhang et al., 2010).

سنجنده^۲ AIRS مقدار بخار آب ستونی جو را اندازه می‌گیرد و در اختیار کاربران قرار می‌دهد. ارزیابی دقت برآورد بخار آب ستونی جو از طریق این سنجنده، با استفاده از شیدسنج خورشیدی، نشان می‌دهد که سنجنده مورد نظر کارآمدی لازم را در این زمینه دارد (بیات و مشهدی‌زاده ملکی، ۱۳۹۴). از آنجا که توان تفکیک مکانی این سنجنده پایین است، در این مقاله، الگوریتمی را برای ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی اندازه‌گیری‌شده جو با سنجنده مطرح می‌کنیم. توان تفکیک مکانی سنجنده^۳ MODIS بیشتر از سنجنده^۲ AIRS است؛ بنابراین، می‌توان از تلفیق مشاهدات این دو سنجنده برای ارتقای توان تفکیک مکانی استفاده کرد. علاوه بر در دسترس بودن، یکی دیگر از دلایل اصلی انتخاب سنجنده^۳ MODIS قرار داشتن دو سنجنده روی سکوی Aqua و در نتیجه، زمان عبور یکسان دو سنجنده است.

اساس این مطالعه استفاده از روش نسبت‌گیری بانندی و تلفیق داده‌های دو سنجنده به‌منظور ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی سنجنده^۲ AIRS است که شیوه‌ای جدید محسوب می‌شود. در ادامه، از

1. Split Window
2. Atmospheric Infrared Sounder
3. Moderate Resolution Imaging spectroradiometer

به‌منظور تخمین LST استفاده شد. سنجنده AIRS، که ابزاری کارآمد در حمایت از تحقیقات آب‌وهوایی و پیش‌بینی وضع هوا محسوب می‌شود، قادر است میزان بخار آب ستونی موجود در جو^۱ را برحسب گرم/سانتی‌مترمربع، در سه بعد و به‌صورت جهانی، اندازه‌گیری کند (Aumann et al., 2003; Raja et al., 2008). از بخار آب ستونی اندازه‌گیری شده با این سنسور برای واسنجی و ارزیابی دقت الگوریتم استفاده شده است. جدول ۱ تاریخ دریافت و منابع داده‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. چهار سری اول داده، که برای مدل‌سازی بهتر و مطابق با فصل‌های متفاوت سال و شرایط آب‌وهوایی متفاوت در نظر گرفته شده‌اند، به‌منظور واسنجی و دو سری داده آخر برای ارزیابی دقت به‌کار رفتند.

۲-۲- الگوریتم ارتقای توان تفکیک بخار آب جو

نتایج بررسی ارتباط بین ضریب گذردهی نهایی از جو و ضریب گذردهی از بخار آب جو بیانگر رفتار مشابه این دو ضریب گذردهی است؛ بدین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که بخار آب جو مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در رادیانس دریافتی سنجنده محسوب می‌شود. بنابراین، می‌توان مقدار رادیانس دریافتی سنجنده در باندهای جذب را کاملاً تابعی از میزان بخار آب جو دانست (Moradizadeh et al., 2013). این نکته اساس روش نسبت‌گیری باندی است که ساب‌رینو^۲ و همکاران (۲۰۰۳) برای برآورد مقدار بخار آب ستونی جو به‌کار بردند.

بخار آب ارتقایافته در الگوریتم پنجره مجزا به‌منظور بهبود دقت برآورد LST استفاده می‌شود.

در بخش دوم این مقاله، داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده و منطقه مطالعاتی مطرح شده است. روش کار و نوآوری‌های آن در بخش سوم به‌تفصیل بیان شده است. بخش چهارم به نتایج اجرا و استفاده از الگوریتم در ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو اختصاص دارد. بخش پنجم مقاله نیز به بهبود دقت برآورد LST، با وارد کردن بخار آب ارتقایافته، می‌پردازد. نتایج و جمع‌بندی تحقیق در بخش ششم بیان شده است.

۲- مواد و روش‌ها

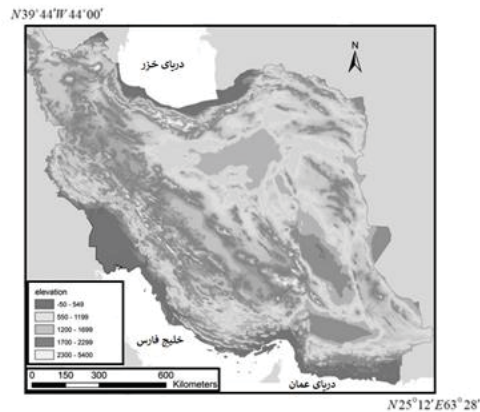
۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق، به‌منظور ارتقای توان تفکیک بخار آب به‌دست‌آمده از سنجنده AIRS در کشور ایران ($28^{\circ} 63' - 25^{\circ} 12' N - 44^{\circ} 00' E$)، از تصاویر سنجنده‌های MODIS و AIRS استفاده شده است که هر دو روی سکوی Aqua قرار دارند. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است. زمان عبور این سکوی محلی، حدود ۱۳:۳۰ و ۱:۳۰ است که در این تحقیق، به‌دلیل وجود تعادل ترمودینامیکی، فقط داده‌های تصاویر ۱۳:۳۰ به‌کار رفت (Moradizadeh and Saradjian, 2018). از داده‌های مربوط به باندهای ۱، ۲، ۱۷، ۱۸، ۱۹ سنجنده MODIS برای حذف پیکسل‌های ابری و برآورد بخار آب ستونی ارتقایافته جو و از داده‌های باندهای ۳۱ و ۳۲ این سنجنده

جدول ۱. مشخصات مجموعه داده‌های مورد استفاده

	تاریخ دریافت تصویر AIRS	تاریخ دریافت تصویر MODIS
سری داده ۱	۲۰۱۸/۰۱/۰۵	۲۰۱۸/۰۱/۰۵
سری داده ۲	۲۰۱۸/۰۴/۰۶	۲۰۱۸/۰۴/۰۶
سری داده ۳	۲۰۱۸/۰۷/۰۳	۲۰۱۸/۰۷/۰۳
سری داده ۴	۲۰۱۸/۱۰/۰۵	۲۰۱۸/۱۰/۰۵
سری داده ۵	۲۰۱۹/۰۶/۱۰	۲۰۱۹/۰۶/۱۰
سری داده ۶	۲۰۱۹/۱۰/۲۰	۲۰۱۹/۱۰/۲۰

1. TotH2OStd
2. Sobrino



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۱-۲-۲- روش نسبت‌گیری باندی

نتایج مطالعات قبلی تصدیق می‌کند که، در مناطق بایر، استفاده از باندهای فرورسرخ نزدیک و در مناطق دیگر، استفاده از باندهای جذب بخار آب برای به‌دست‌آوردن بخار آب جو کارایی بهتری دارند (Kaufman et al., 1992). از آنجاکه اغلب مناطق ایران جزء مناطق بایر محسوب می‌شود، روش نسبت‌گیری باندی مبتنی بر استفاده از باندهای فرورسرخ نزدیک روش مناسبی به‌نظر می‌رسد. همچنین، این روش حساسیت اندکی به نویز باندهای فرورسرخ، میزان و تغییرات ترکیبات دیگر جو و نوع و تغییرات ویژگی‌های سطح زمین دارد که از مزایای آن محسوب می‌شود (Sobrino et al., 2003).

در این روش، مقدار بخار آب جو را می‌توان، با مقایسه بین رادیانس بازتاب‌شده در باندهای غیرجذب و

باندهای جذب بخار آب در محدوده فرورسرخ نزدیک، به‌دست آورد. در سنجنده MODIS، باندهای ۱۷، ۱۸ و ۱۹ باندهای جذب بخار آب و باند ۲ باند غیرجذب است (Gao, 2003). گردش کار شکل ۲ مراحل گوناگون و روابط به‌کاررفته در اجرای این الگوریتم را به‌روشنی نمایش می‌دهد.

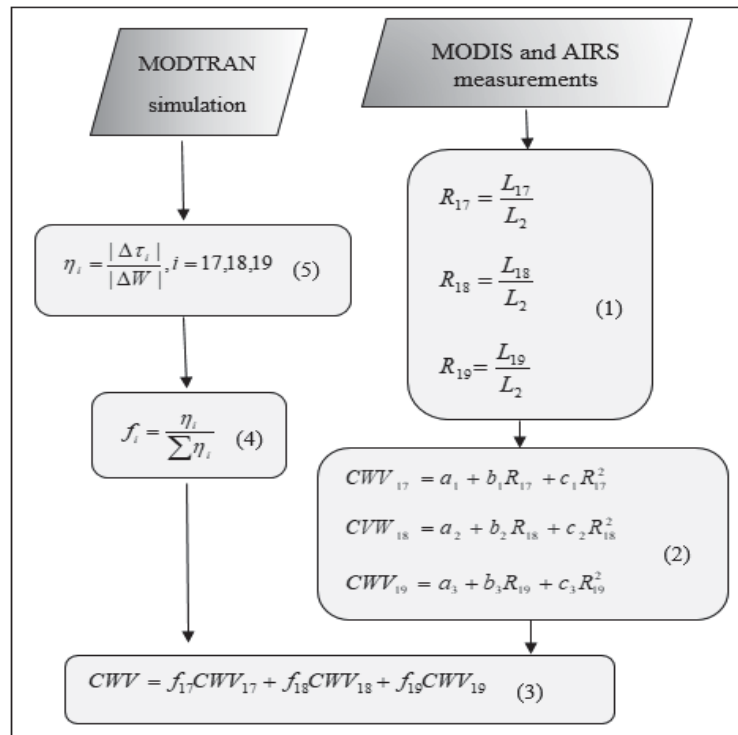
در رابطه (۱)، L_i ها رادیانس باندهای ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲ سنجنده MODIS هستند و در رابطه (۲)، CWV_i مقدار بخار آب ستونی جو، متناظر با هر یک از سه باند جذب بخار آب جو است. به‌دلیل حساسیت متفاوت این سه باند در برابر بخار آب جو، حتی در شرایط آب‌وهوایی یکسان، لازم است وزن هر یک از این باندها، در بازبایی بخار آب جو، تعیین شود (رابطه (۴)).

۲-۲-۲- واسنجی روش نسبت‌گیری بانندی و تعیین

ضرایب

ابرها باعث قرائت اضافی از میزان بخار آب جو، تحت تأثیر ذرات بسیار ریز مولکول آب، می‌شوند که نتیجه آن ایجاد عدم قطعیت در اندازه‌گیری بخار آب ستونی جو است (مباشری و همکاران، ۱۳۸۹). از این‌رو، برای برآورد ضرایب چندجمله‌ای روش نسبت‌گیری بانندی در رابطه (۲)، از چهار سری داده اول (جدول ۱)، استفاده شد. ابتدا پیکسل‌های ابری، با استفاده از حد آستانه $NDVI < 0$ ، از روند کار حذف شدند. از آنجا که همه ایستگاه‌های هواشناسی در کشور بخار آب ستونی جو را اندازه‌گیری نمی‌کنند و نیز برای معرفی توانایی‌های سنجنده AIRS، مقادیر بخار آب ستونی برآوردشده جو با این سنجنده، به‌منزله داده‌های مرجع، در واسنجی به کار رفت؛ به این صورت که مقدار بخار آب ستونی جو سنجنده AIRS در سمت چپ روابط (۲) جای‌گذاری

در نهایت، با استفاده از رابطه (۳) می‌توان مقدار بخار آب نهایی جو را تخمین زد. در این رابطه، f_i وزن هریک از این سه باند در برآورد مقدار بخار آب ستونی جو است (Sobrin et al., 2003). مطابق گردش کار ارائه‌شده، ابتدا باید، با استفاده از رابطه (۵)، مقدار پارامتر η تعیین شود. برای محاسبه این پارامتر، لازم است مقدار ΔW (تفاضل بیشترین و کمترین مقدار بخار آب جو در منطقه مورد مطالعه)، با استفاده از اندازه‌گیری‌های سنجنده AIRS، و $\Delta \tau_i$ (تفاضل ضریب عبور در بخار آب بیشینه و کمینه در باند λ_i)، با استفاده از مدل انتقال تابشی نرم‌افزار MODTRAN، محاسبه شود. این مقادیر عبور در جو استاندارد Mid-latitude summer و مقدار بخار آب کمینه و بیشینه شبیه‌سازی شدند (بیشینه = 5.4 gm/cm^2 و کمینه = 0.092 gm/cm^2). وزن باندها برای سه باند جذب، به‌ترتیب، $f_{17} = 0.141$ $f_{19} = 0.444$ $f_{18} = 0.415$ به‌دست آمد.



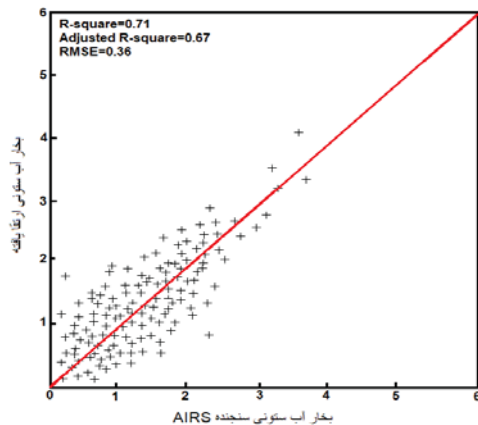
شکل ۲. گردش کار روش نسبت‌گیری بانندی

شد و برای محاسبه مقادیر R سه باند در سمت راست این روابط، از نسبت رادیانس باندهای جذب به باند غیرجذب سنجنده MODIS استفاده شد. به دلیل یکسان نبودن توان تفکیک دو سنجنده، از مقادیر رادیانس پیکسل‌هایی از MODIS، که در محدوده هریک از پیکسل‌های AIRS قرار می‌گرفتند، میانگین‌گیری شد. به این ترتیب، توان تفکیک داده‌های سنجنده MODIS کاهش یافت و با توان تفکیک سنجنده AIRS یکسان شد. جدول ۲ ضرایب معادلات این روش را نمایش می‌دهد.

جدول ۲. ضرایب الگوریتم نسبت‌گیری باندی برای محاسبه بخار آب ستونی جو

a ₁	b ₁	c ₁	a ₂	b ₂	c ₂	a ₃	b ₃	c ₃
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
455	455	455	455	455	455	455	455	455

۳- ارزیابی دقت و نتایج
 ۳-۱- ارزیابی دقت بخار آب ستونی ارتقایافته
 پس از تعیین ضرایب چندجمله‌ای‌های روش نسبت‌گیری باندی (رابطه (۲))، با محاسبه نسبت رادیانس باندهای جذب به غیرجذب سنجنده MODIS با توان تفکیک یک کیلومتر و جای‌گذاری در رابطه، می‌توان مقدار بخار آب ستونی جو را، با توان تفکیک ارتقایافته، برآورد کرد. برای ارزیابی دقت بخار آب ستونی ارتقایافته، از دو سری داده آخر استفاده شد که سری داده‌های چک محسوب می‌شدند؛ به این ترتیب که بخار آب ستونی برای پیکسل‌های سنجنده MODIS (با توان تفکیک یک کیلومتر)، در این دو مجموعه داده، محاسبه شد و میانگین بخار آب پیکسل‌هایی که، از نظر مکانی، درون یک پیکسل AIRS قرار می‌گرفتند با بخار آب ستونی گزارش شده از سنجنده AIRS همان مجموعه داده مقایسه شد. در نهایت، خطای RMSE درمورد تمامی پیکسل‌ها به دست آمد و مقدار RMSE نهایی، در دو سری داده آخر، معادل 0.33 gm/cm^2 تخمین زده شد. این در حالی است که بازه تغییرات بخار آب اندازه‌گیری شده جو با سنجنده AIRS، در مکان‌ها و زمان‌های متفاوت، در حدود 6 gm/cm^2 است. بنابراین، خطای نسبی روش پیشنهادی در برآورد بخار آب ستونی جو، در مقایسه با داده‌های بخار آب ستونی سنجنده AIRS، حدود



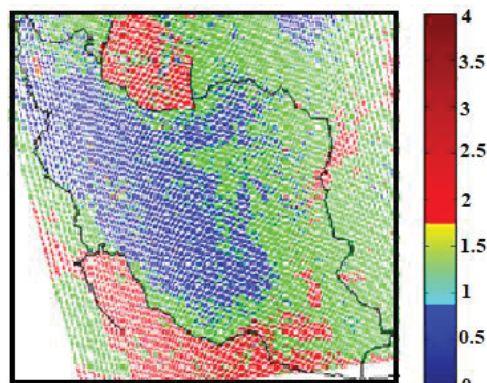
شکل ۳. مقایسه بخار آب ستونی به دست آمده از سنجنده AIRS و بخار آب ستونی ارتقایافته با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در سری پنجم داده‌ها

$$\begin{aligned} LST = & T_{31} + A_1 + A_2(T_{31} - T_{32}) \\ & + A_3(T_{31} - T_{32})^2 + (A_4 + A_5W)(1 - \varepsilon) \\ & + (A_6 + A_7W)\Delta\varepsilon \end{aligned} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\begin{aligned} LST = & C + \frac{T_{31} + T_{32}}{2} \left[A_1 + A_2 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right] \\ & + \frac{T_{31} - T_{32}}{2} \left[B_1 + B_2 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right] \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط، T_{31} و T_{32} رادیانس باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده MODIS، ε ضریب گسیل، $\Delta\varepsilon$ تفاضل ضریب گسیل در باندهای ۳۱ و ۳۲ و W میزان بخار آب ستونی جو است. در هر دو الگوریتم، برای تعیین ضریب گسیل و تفاضل ضریب گسیل در باندهای ۳۱ و ۳۲، روش پیشنهادی مؤمنی (Momeni and Saradjian, 2007) استفاده شد. میزان بخار آب ستونی ارتقایافته نیز، که با روش پیشنهادی برآورد شده، در رابطه (۶) به‌کار رفته است.

در هر دو روش، ابتدا، باید ضرایب پنجره مجزا محاسبه و در اصطلاح، واسنجی انجام شود. بدین‌منظور، باز هم چهار مجموعه اول داده (جدول ۱) استفاده شد و مقادیر LST، که در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود، نیز در جایگاه داده‌های مرجع به‌کار رفت. ضرایب روابط پنجره‌های مجزای دارای پارامتر بخار آب جو و بدون این پارامتر مطابق جدول ۲ محاسبه شدند. پس از تعیین ضرایب، در این مرحله نیز، به‌منظور ارزیابی دقت LST برآوردشده با دو الگوریتم پنجره مجزا، از دو سری داده آخر به‌منزله مجموعه داده‌های چک استفاده شد؛ به این ترتیب که LST برای پیکسل‌های سنجنده MODIS (با توان تفکیک یک کیلومتر)، در این دو سری داده، محاسبه و با LST اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی مقایسه شد. بنا بر نتایج این مقایسه، دقت پنجره مجزای دارای پارامتر بخار آب جو برای برآورد LST، در



شکل ۴. نقشه بخار آب ستونی ارتقایافته جو با روش پیشنهادی، در دهم آبان

۲-۳- برآورد LST با استفاده از بخار آب ستونی ارتقایافته

اگر نخواهیم برای تعیین LST مستقیماً از رادیانس مشاهده‌شده و مدل انتقال تابشی استفاده کنیم، مرسوم‌ترین شیوه استفاده از دو پنجره مجزا و نزدیک به هم، در محدوده فروسرخ حرارتی و دمای تابشی سطح است (Price, 1983). در این روش، که ضریب گسیل و تفاضل ضریب گسیل باندها از پارامترهای اصلی ورودی محسوب می‌شوند، استفاده از اختلاف رادیانس در باندهای متفاوت سبب می‌شود تأثیرات جوی به کمترین میزان برسد.

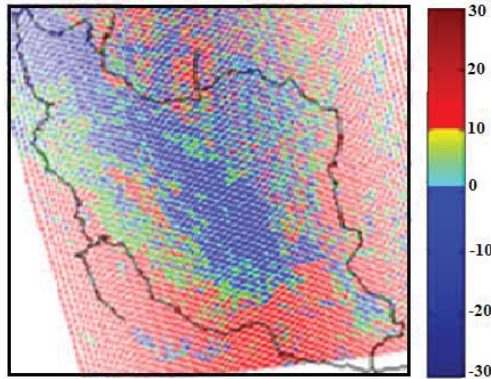
در برخی الگوریتم‌های پنجره مجزا بخار آب جو، که تأثیرگذارترین پارامتر جو شمرده می‌شود، نیز در نظر گرفته شده است. دانش و آگاهی درمورد مقدار نهایی بخار آب جو به توسعه و بهبود دقت الگوریتم‌های برآورد LST کمک می‌کند (Schroedter et al., 2008). مطابق روابط (۱) و (۲)، به‌منظور بررسی میزان تأثیر پارامتر بخار آب جو در بهبود دقت LST، دو الگوریتم پنجره مجزا به‌کار رفت. یکی از این دو الگوریتم با پارامتر بخار آب ستونی جو و دیگری بدون این پارامتر بودند که، به‌ترتیب، ساب‌رینو و بکر^۱ آنها را پیشنهاد داده‌اند (Becker and Li, 1990; Sobrino et al., 2003).

1. Becker

جدول ۳. ضرایب پنجره‌های مجزای دارای پارامتر بخار آب جو و فاقد بخار آب

ضرایب Split window دارای پارامتر بخار آب جو	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
ضرایب Split window فاقد پارامتر بخار آب جو	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C

ضرایب Split window دارای پارامتر بخار آب جو	18.806	15.171	10.860	-656.918	-130.785	-1215.164	1878.991
ضرایب Split window فاقد پارامتر بخار آب جو	-1.4	-48.69	-24.00	22.68	-152.04	-285.30	209.00



شکل ۵. نقشه LST برآوردشده با الگوریتم پنجره مجزای دارای پارامتر بخار آب جو، در دهم آبان

تفکیک مناسب، بوده است. بدین منظور و با هدف معرفی قابلیت‌های سنجنده AIRS، داده‌های بخار آب ستونی به‌دست‌آمده از این سنجنده استفاده شد. اصلی‌ترین مشکل، در استفاده از این اطلاعات، توان تفکیک مکانی پایین آن است؛ در نتیجه، اهتمام این تحقیق ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی این سنجنده، از طریق تلفیق آن با داده‌های سنجنده‌ای دیگر، با توان تفکیک مکانی بهتر، بوده است. با توجه به قرارگرفتن دو سنجنده MODIS و AIRS روی سکوی Aqua و زمان عبور یکسان، از میان تمامی سنجنده‌ها، MODIS مناسب‌ترین گزینه تشخیص داده شد. به‌منظور ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب جو و مدل‌سازی این پارامتر جو، از روش نسبت‌گیری بانندی استفاده شد. نتایج حاکی از توانایی روش پیشنهادی در برآورد بخار آب ستونی جو با دقت 0.33 gm/cm^2 است؛ درحالی‌که توان تفکیک مکانی آن به یک کیلومتر ارتقا یافته است (خطای نسبی

مقایسه با LST اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی، حدود $2.2^0 K$ است و از این رو، این شیوه، در قیاس با سایر روش‌های برآورد LST، بسیار ارزشمند است. این در حالی است که دقت پنجره مجزای فاقد پارامتر بخار آب جو برای برآورد LST، در مقایسه با اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های هواشناسی، حدود $3.4^0 K$ است. به این ترتیب، نقش پارامتر بخار آب جو در الگوریتم‌های پنجره مجزا، برای برآورد LST، مشخص می‌شود. با استفاده از الگوریتم‌های دارای پارامتر بخار آب جو، می‌توان حتی، بدون تصحیحات جوی، میزان LST را با دقت خوبی تخمین زد. اما اگر قصد استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزای فاقد پارامتر بخار آب جو را برای برآورد LST داشته باشیم، تصحیحات جوی اجتناب‌ناپذیر است.

همان‌طور که بیان کردیم، بخار آب ستونی سنجنده AIRS به‌صورت معیار کالیبراسیون در الگوریتم برآورد بخار آب ارتقایافته جو استفاده شد که خود آن دارای خطاست. به‌رغم این نکته، مشهود است که ورود این پارامتر به الگوریتم پنجره مجزا، به‌منظور برآورد LST، باعث افزایش چشمگیر دقت شده است. این موضوع بیانگر پتانسیل بالا و کارایی الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق، برای ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو است.

در شکل ۵، نقشه LST برآوردشده با الگوریتم دارای پارامتر بخار آب جو، در دهم آبان (مجموعه داده ششم)، دیده می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت نقش بخار آب ستونی جو، رویکرد مطالعه حاضر بازیابی این پارامتر جو، با دقت و توان

- Alshawaf, F., Balidakis, K., Dick, G., Heise, S. & Wickert, J., 2017, **Estimating Trends in Atmospheric Water Vapor and Temperature Time Series over Germany**, Atmospheric Measurement Techniques, 10, PP. 3117-3132.
- Aumann, H.H., Chahine, M.T., Gautier, C., Goldberg, M.D., Kalnay, E., McMillin, L.M. & Revercomb, H., 2003, **AIRS/AMSU/HSB on the Aqua Mission: Design, Science Objectives, Data Products, and Processing Systems**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(2), PP. 253-264.
- Becker, F. & Li, Z.L., 1990, **Temperature Independent Spectral Indices in Thermal Infrared Bands**, Remote Sensing of Environment, 32, PP. 17-33.
- Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Ninyerola, M. & Pons, X., 2009, **Improvements in Land Surface Temperature Retrieval from the Landsat Series Thermal Band Using Water Vapor and Air Temperature**, Journal of Geophysical Research Atmospheres, 114, P. D8.
- Gao, B.C., 2003, **Water Vapor Retrievals Using Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer (MODIS) Near-Infrared Channels**, Journal of Geophysical Research, 108, P. D13.
- Hausmann, P., Sussmann, R., Trickl, T. & Schneider, M., 2017, **A Decadal Time Series of Water Vapor and D/ H Isotope Ratios above Zugspitze: Transport Patterns to Central Europe, Atmospheric Chemistry and Physics**, 17, PP. 7635-7651.
- Kaufman, Y.J. & Gao, B.C., 1992, **Remote Sensing of Water Vapor in the Near IR from EOS/MODIS**, IEEE Translation of Geoscience and Remote Sensing, 30(5), PP. 871-884.

$\frac{0.33}{6} = 5.5\%$ ، از سوی دیگر، با توجه به تأثیر بخار آب ستونی جو در مقدار LST، یکی از مهم‌ترین کاربردهای این پارامتر بهبود دقت بازایی دمای سطح خاک است. بنابراین، تأثیر آن در بهبود دقت الگوریتم‌های پنجره مجزا، که برای بازایی LST به‌کار می‌روند، بررسی شد. بدین‌منظور، بخار آب ستونی ارتقایافته در الگوریتم بازایی LST وارد شد؛ به‌طوری‌که نتایج نشان از افزایش $1.2^{\circ}K$ در دقت بازایی این پارامتر داشت.

به‌طور خلاصه، می‌توان بیان کرد که روش تلفیقی پیشنهادی، بدون کاهش چشمگیر دقت، توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو به‌دست‌آمده از سنجنده AIRS را به یک کیلومتر ارتقا می‌دهد و این بخار آب ارتقایافته می‌تواند دقت برآورد LST را افزایش محسوسی دهد. نکته ارزشمند این تحقیق واسنجی الگوریتم پیشنهادی برای کشور ایران است.

۵- منابع

- بیات، ع، مشهدی‌زاده ملکی، س.، ۱۳۹۴، **اعتبارسنجی داده‌های بخار آب قابل بارش مدل ERA-Interim و سنجنده AIRS با اندازه‌گیری شیدسنج**، سومین همایش منطقه‌ای تغییر اقلیم و گرمایش زمین.
- مباشری، م.ر.، پورباقر کردی، س.م.، فرج‌زاده، م.، صادقی نایینی، ع.، ۱۳۸۹، **برآورد آب قابل بارش کلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های رادیوساوند: ناحیه تهران، فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا**، سال ۱۴، شماره ۱ (پیاپی ۶۵)، صص. ۱۰۷-۱۲۶.
- Alkasim, A., Hayatu' A.A. & Salihu, M.K., 2018, **Estimation of Land Surface Temperature of Yola, North Eastern Nigeria Using Landsat-7 ETM+ Satellite Image**, Energy and Power Engineering, 10(10), PP. 449-456.

- Momeni, M. & Saradjian, M.R., 2007, **Evaluating NDVI-Based Emissivities of MODIS Bands 31 and 32 Using Emissivities Derived by Day/Night LST Algorithm**, Remote Sensing of Environment, 106(2), PP. 190-198.
- Moradzadeh, M., Momeni, M. & Saradjian, M.R., 2008a, **Estimation of LST Using the Radiance Values of MODIS and Comparison with Meteorological Data**, Conference of Map Asia, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Moradzadeh, M., Momeni, M. & Saradjian, M.R., 2008b, **Estimation of Atmospheric Column and Near Surface Water Vapor Content Using the Radiance Values of MODIS**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, China, PP. 523-528.
- Moradzadeh, M., Momeni, M. & Saradjian, M.R., 2013, **Estimation and Validation of Atmospheric Water Vapor Content Using a MODIS NIR Band Ratio Technique Based on AIRS Water Vapor Products**, Arabian Journal of Geosciences, 7(5), PP. 1891-1897.
- Moradzadeh, M. & Saradjian, M.R., 2018, **Estimation of Improved Resolution Soil Moisture in Vegetated Areas Using Passive AMSR-E Data**, Journal of Earth System Science, 127(2), P. 24.
- Peng, W., Tongchuan, X., Jiageng, D., Jingmin, S., Yanling, W., Qingli, S., Xin, D., Hongliang, Y., Dejun, S. & Jinrong, Z., 2017, **Trends and Variability in Precipitable Water Vapor throughout North China from 1979 to 2015**, Advances in Meteorology, 2017, 7804823.
- Price, J.C., 1983, **Estimating Surface Temperature from Satellite Thermal Infrared Data**, Remote Sensing of Environment, 13, PP. 112-134.
- Rama Varma Raja, M.K., Gutman, S., Yoe, J.G., McMillin, L.M. & Zhao, J., 2008, **The Validation of AIRS Retrievals of Integrated Precipitable Water Vapor Using Measurements from a Network of Ground-Based GPS Receivers over the Contiguous United States**, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 25(3), PP. 416- 428.
- Schroedter-Homscheidt, M., Drews, A. & Heise, S., 2008, **Total Water Vapor Column Retrieval from MSG-SEVIRI Split Window Measurements Exploiting the Daily Cycle of Land Surface Temperatures**, Remote Sensing of Environment, 112(1), PP. 249-258.
- Sobrino, J.A., El. Kharraz, J. & Li, Z.L., 2003, **Surface Temperature and Vapor Retrieval from MODIS Data**, International Journal of Remote Sensing, 24(24), PP. 5161-5182.
- Tang, M.C., Agarwal, S., Alsewailem, F.D., Choi, H.J. & Gupta, R.K., 2018, **Journal of Applied Polymer Science**, 135(30), P. 46506.
- Zhang, Q., Xu, C.Y., Zhang, Z. & Chen, Y.D., 2010, **Changes of Atmospheric Water Vapor Budget in the Pearl River Basin and Possible Implications for Hydrological Cycle**, Theoretical and Applied Climatology, 102, PP. 185-195.