نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۳، تابستان ۹۸

تحلیل همبستگی مکانی و زمانی بین بخار آب قابل بارش سنجنده AIRS و داده‌های ۲۹ ایستگاه سینوپتیک ایران

دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۹ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۴/۲۲
صفحات: ۳۲-۱۹

علی بیات: استادیار گروه فیزیک دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران[۱].
Email: abayat@znu.ac.ir
سعید مشهدی‌زاده ملکی: دانشجوی دکتری نقشه برداری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
Email: saeed.mashhadizadeh@gmail.com

چکیده

بخار آب قابل بارش (PWV) یکی از کمیت‌های مهم در هواشناسی و تغییرات اقلیمی است. شیدسنج خورشیدی، سنجنده AIRS و رادیوسوندها ابزارهایی هستند که PWV را از سطح، فضا و داخل جو زمین اندازه‌گیری می‌کنند. در این مقاله از داده‌های PWV اندازه‌گیری شده با شیدسنج خورشیدی دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان، سنجنده AIRS و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک شامل دما، دمای نقطه شبنم، فشار و رطوبت نسبی ۲۹ ایستگاه سینوپتیک ایران استفاده شده است. داده‌های شیدسنج خورشیدی دربازه اندازه‌گیری دسامبر ۲۰۰۹ تا دسامبر ۲۰۱۳ و داده‌های سنجنده AIRS و ۲۹ ایستگاه سینوپتیک از سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ می‌باشد. برای اعتبارسنجی داده‌های سنجنده AIRS از اندازه‌گیری‌های شیدسنج خورشیدی استفاده شد که همبستگی ۹۰ بین آنها بدست آمد. میانگین PWV اندازه‌گیری شده با شیدسنج خورشیدی و سنجنده AIRS به ترتیب برابر ۹/۸ و ۱۰/۸ میلی‌متر است. مقدار PWV بیشترین مقدار را در سواحل دریای عمان، خلیج فارس و دریای خزر دارد و کمترین مقدار آن در داخل ایران و در بالای رشته کوهای زاگرس می‌باشد. میانگین همبستگی PWV و دما، دمای نقطه شبنم، فشار و رطوبت نسبی به ترتیب ۷۳، ۷۴، ۴۰ - و ۳۰ – درصد بدست آمد. نقشه همبستگی دما و PWV یک روند افزایشی با عرض جغرافیایی را نشان می‌دهند که به ازای افزایش هر درجه در عرض جغرافیایی ۲/۸ درصد همبستگی افزایش می یابد.

کلید واژگان: آب قابل بارش، سنجنده AIRS، شیدسنج خورشیدی، همبستگی.

---

۱. **مسئول مقاله: زنجان**، دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه فیزیک ۰۹۱۲۷۴۲۰۰۱۹

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

مقدمه

بخار آب بیشترین مقدار گاز گلخانه‌ای جو زمین را تشکیل می‌دهد، بنابراین با اندازه‌گیری گسترده توزیع‌های افقی و قائم بخار آب در جو زمین می‌توان درک بهتری از تغییرات چرخه آبی و تغییرات اقلیم و گرمایش زمین به دست آورد (Schmid et al, 2001: 1887). بخار آب تاثیر زیادی در وقوع بارش در یک منطقه دارد (Solomon et al, 2007:552؛ صادقی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۴). کل بخار آب موجود در ستونی از جو -از سطح زمین تا نقطه پایانی بخار آب در جو- که قابلیت بارش دارد، بخار آب قابل بارش (PWV) می‌گویند (Carlson, 1991). تخمین دقیق PWV می‌تواند تاثیر زیادی در پیش‌بینی وضعیت جوی و نیز برآورد میزان بارش و رواناب داشته باشد. یکی از پارامترهای مهم در محاسبات مربوط به مخازن و پیش‌بینی وقوع سیلاب، PWV است (مباشری و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۰). البته، بخار آب قابل بارش به مفهوم نزولات جوی نیست. میزان بارش به پارامترهای زیادی مثل مقدار و نوع هواویزها، نمایه دما و فشار جو، جهت و سرعت باد و غیره بستگی دارد (مباشری، ۱۳۸۷: ۱۰۹).

عساکره و همکاران (۱۳۹۳ و ۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های NCEP/NCAR در بازه‌ی ۲۰۱۰-۱۹۵۰ بخار آب قابل بارش بر روی ایران را مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از روش‌های آماری به تحلیل ناهنجاری‌های بارش بر اساس روش تحلیل همسازه‌ها پرداختند و چرخه‌های مختلف بارش را محاسبه و بررسی کردند. نتایج بدست آمده در این مقاله حاضر با نتایج مقاله عساکره و همکاران همخوانی دارد. اما در این مقاله بخار آب قابل بارش استخراج شده از اندازه‌گیری‌های زمین پایه-شیدسنج خورشیدی- و ماهواره AIRS و داده‌های ۲۹ ایستگاه سینوپتیک بررسی شده است.

جذب نور خورشید در برخی از طول‌موج‌ها توسط بخار آب موجود در جو زمین، چندین دهه مورد مطالعه قرار گرفت. بر همین اساس، شیدسنج خورشیدی جهت اندازه‌گیری PWV در ستون قائم جو زمین طراحی شد (Halthore, et al, 1997:4345). شیدسنج خورشیدی از اندازه‌گیری مستقیم نور خورشید، PWV را به روش ساده‌تر و ارزان‌تری استخراج می‌کند. داده‌های شیدسنج خورشیدی تفکیک زمانی زیادی (هر ۱۵ دقیقه یک اندازه‌گیری در طول روز) دارند. شیدسنج خورشیدی تنها در طول روز اندازه‌گیری می‌کند. البته در لحظه اندازه‌گیری نباید ابر در مسیر نور وجود داشته باشد (Holben et al, 1998:4). ماهواره‌های متعددی از فضا PWV جو زمین را اندازه‌گیری می‌کنند. سنسور ماوراء بنفش، AIRS[2]، یکی از ابزارهای نصب شده بر روی ماهواره Aqua است که بخار آب قابل بارش را با دقت زیادی اندازه‌گیری می‌کند (Bedka et al, 2010:3).

سامانه موقعیت‌یابی جهانی[3] (جی پی اس)، مجموعه‌ای از ۲۴ ماهواره است که در حال دوران به دور زمین هستند. سیگنال‌های فرستاده شده با ماهواره‌های جی پی اس از جو زمین عبور می‌کنند. جو زمین بر سیگنال-های ارسالی اثر می‌گذارد. از اندازه‌گیری‌های ثبت شده جی پی اس زمینی می‌توان میزان بخار آب قابل بارش را استخراج کرد (Bock et al, 2007؛ Susskind et al, 2003). راجا و همکاران (۲۰۰۸) ضریب همبستگی ۰/۹۴

2 Atmospheric Infrared Sounder
3 Global Positioning System

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

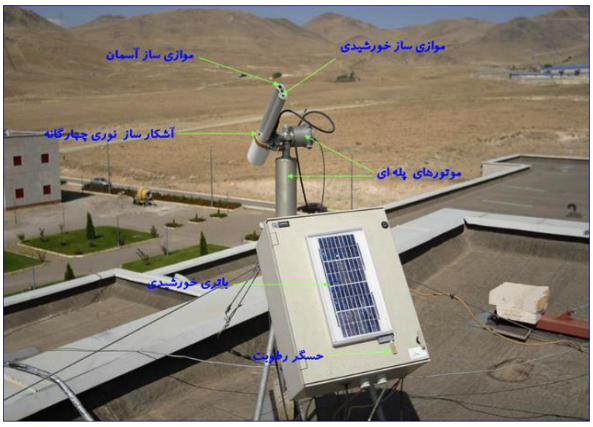
بین اندازه‌گیری‌های بخار آب قابل بارش جی پی اس و سنجنده AIRS در کشور آمریکا را بدست آورد. پراساد و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از اندازه‌گیری‌های بخار آب قابل بارش توسط شبکه جی پی اس و شبکه Aeronet، اندازه‌گیری‌های PWV سنجنده AIRS را اعتبارسنجی کردند و به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۵ ضریب همبستگی بین اندازه‌گیری‌های جی پی اس و شیدسنج خورشیدی بدست آوردند. بنابراین ماهواره AIRS ابزار مناسب و دقیقی برای مطالعه بخار آب در یک منطقه است.

در این مقاله ابتدا شیدسنج خورشیدی واقع در دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان - تنها طیف‌سنج موجود در ایران که توانایی اندازه‌گیری بخار آب قابل بارش از سطح زمین را دارد- معرفی می‌شود. سپس داده‌های سنجنده AIRS با اندازه‌گیری‌های شیدسنج خورشیدی صحت‌سنجی می‌شود. میانگین PWV را در کل ایران بدست آورده و نقشه میانگین PWV با استفاده از اندازه‌گیری‌های AIRS ترسیم می‌شوند. در ادامه همبستگی بخار آب با داده‌های ثبت شده در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ محاسبه و تفسیر می‌شود. در آخر، به بحث و نتیجه‌گیری خواهیم پرداخت.

روش تحقیق

شیدسنج خورشیدی

شیدسنج خورشیدی نوعی تابش‌سنج خورشیدی زمین-پایه است که از شدت نور مستقیم رسیده از خورشید (مد خورشید) و نور پراکنده شده خورشید از ذرات جوی (مد آسمان) در طول موج‌های معین با پهنای کم‌تر از ۱۰ نانومتر و با میدان دید ۱,۲ درجه در سطح زمین اندازه‌گیری می‌کند (بیات و همکاران، ۲۰۱۱: ۸۵۸). از داده‌های شیدسنج خورشیدی می‌توان مشخصات اپتیکی و فیزیکی ذرات معلق در جو زمین را استخراج کرد. شیدسنج خورشیدی مستقر در دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان نوع CE-318 است که از شرکت Cimel فرانسه خریداری شده است. این شیدسنج دارای ۵ طول‌موج ۴۴۰، ۶۷۰، ۸۷۰، ۹۴۰ و ۱۰۲۰ نانومتر است که بجز طول‌موج ۹۴۰ نانومتر بقیه برای مطالعه هواویزها در نظر گرفته شده‌اند (معصومی و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۴۵؛ Holben et al, 1998:4). بخار آب قابل بارش یا PWV پارامتری است که از اندازه‌گیری در طول موج ۹۴۰ نانومتر استخراج می‌شود. شکل (۱).



شکل(۱). شیدسنج خورشیدی واقع در دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

در مد خورشید برای هر طول‌موج سه بار اندازه‌گیری می‌شود که با الگوریتم اسمیرنو[4]، اثر ابر از داده‌ها حذف می‌شود (Smirnov et al, 2000:339). به دلیل تفکیک زمانی (در هر ۱۵ دقیقه یک اندازه‌گیری در طول روز) و دقت زیاد داده‌های شیدسنج خورشیدی، می‌توان از داده‌های آن برای صحت‌سنجی اندازه‌گیری‌های رادیوسوند و ماهواره‌ها استفاده کرد (Campmany et al, 2010:386). در این مقاله، اندازه‌گیری‌های PWV شیدسنج خورشیدی در بازه زمانی دسامبر ۲۰۰۹ تا دسامبر ۲۰۱۳ برای صحت‌سنجی PWV استخراج شده از داده‌های سنجنده AIRS استفاده شده است.

داده‌های سنجنده AIRS

سنجنده AIRS، یکی از ابزارهایی است که با هدف کمک به محققین تغییر اقلیم و بهبود پیش‌بینی هوا ساخته شده است. سنجنده AIRS یکی از شش سنجنده‌ی ماهواره Aqua است که در سال ۲۰۰۲ به مدار زمین پرتاب شد. AIRS دارای ۲۳۷۸ بازه طیفی است. قدرت تفکیک آن ۱۰۰ برابر بیشتر نسبت به ابزارهای مشابه قدیمی است که می‌تواند با دقت زیادی نمایه‌های قائم دما و رطوبت جوی را اندازه‌گیری کند. AIRS گازهای گلخانه‌ای همانند اوزون، منواکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن و متان را نیز اندازه‌گیری می‌کند. در این مقاله داده‌های روزانه PWV بین سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ با تفکیک مکانی یک درجه بالا سر ۲۹ ایستگاه سینوپتیک استفاده شده است (Susskind et al, 2003:392; Hagan et al, 2004:338).

داده‌های ایستگاه سینوپتیک

در ایستگاه‌های سینوپتیک به طور همزمان در سراسر دنیا، بر اساس ضوابط و مقررات سازمان جهانی هواشناسی داده‌های مختلف جوی مانند دما، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی ، فشار، سرعت و جهت باد اندازه‌گیری می‌شوند. داده‌های سینوپتیک به صورت سه ساعته می باشند. ابتدا سری زمانی سه ساعته ایستگاه-ها در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ تشکیل شدند. سپس سری زمانی میانگین روزانه آنها به منظور محاسبه همبستگی محاسبه شد. در این مقاله از اندازه‌گیری‌های ۲۹ ایستگاه هواشناسی ایران استفاده شده است. در شکل (۲) توزیع مکانی ایستگاه‌ها روی نقشه ایران آورده شده است.

نتایج

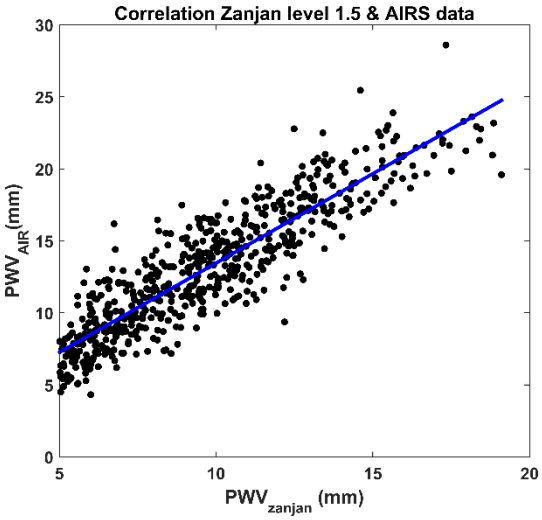
شیدسنج‌خورشیدی یکی از ابزارهای قدرتمند زمین پایه برای مطالعه PWV در طول روز است (Campmany et al, 2010:386; Dubovik et al, 2000:20674; Raj et al, 2008:317). شکل (۳) همبستگی PWV شیدسنج خورشیدی و سنجنده AIRS را در بازه زمانی دسامبر ۲۰۰۹ تا دسامبر ۲۰۱۳ نشان می‌دهد.

4 Smirnov

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

شکل (۲). توزیع مکانی ۲۹ ایستگاه سینوپتیک در ایران. هر ایستگاه با نقطه و ایستگاه سینوپتیک زنجان با لوزی نشان داده شده است.

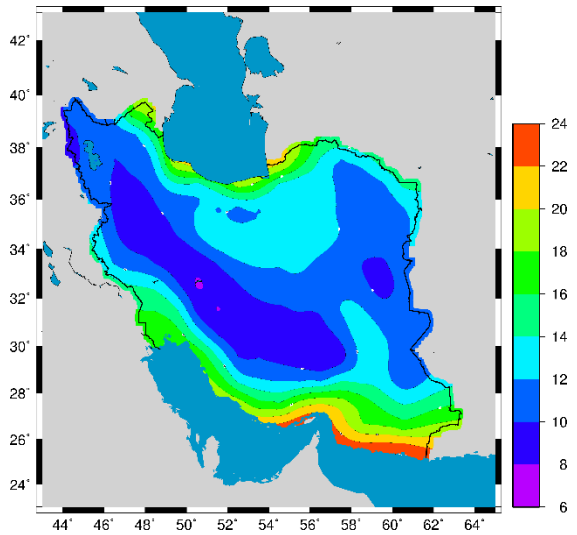
تفکیک زمانی سنجنده AIRS و شیدسنج خورشیدی به ترتیب روزانه و هر ۱۵ دقیقه یک اندازه‌گیری است. در شکل ۳، از میانگین روزانه داده‌های شیدسنج خورشیدی استفاده شده است. در داده‌های سطح ۱/۵ شیدسنج خورشیدی اثر ابر از اندازه‌گیری‌ها حذف شده است. داده‌های AIRS مربوط به پیکسل متناظر ایستگاه زنجان می‌باشد. ضریب همبستگی PWV برای این دو اندازه‌گیری برابر ۰/۹۰ است.



شکل(۳). همبستگی بخار آب قابل بارش (PWV) شیدسنج خورشیدی و سنجنده AIRS در بازه اندازه‌گیری دسامبر ۲۰۰۹ تا دسامبر ۲۰۱۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

با توجه به همبستگی بالای شیدسنج خورشیدی و سنجنده AIRS و از آنجایی که سنجنده AIRS قادر به اندازه‌گیری PWV در کل ایران با دقت مکانی یک درجه است؛ در ادامه به تحلیل رفتار زمانی و مکانی PWV با پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۲۹ سایت ایران می‌پردازیم. پس از اطمینان حاصل کردن از اعتبار داده‌های سنجنده AIRS، سری‌های زمانی PWV این سنجنده برای پیکسل‌های متناظر ۲۹ ایستگاه سینوپتیک تشکیل شدند. همبستگی بین PWV بدست آمده از سنجنده AIRS و دمای هوا، دمای نقطه شبنم، فشار هوا و رطوبت نسبی محاسبه شدند. جدول (۱) نشان دهنده مقدار همبستگی‌ها برای هر ایستگاه است. میانگین همبستگی PWV با پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک برای دما (مثبت ۷۳)، دمای نقطه شبنم (مثبت ۷۴)، فشار هوا (منفی ۴۰) و رطوبت نسبی (منفی ۳۰) است. بیشترین (کمترین) مقدار همبستگی PWV و دما در شهر تبریز (بوشهر)، ۸۸ (۳۸)، بدست آمد. بیشترین (کمترین) مقدار ضریب همبستگی PWV و دمای نقطه شبنم در شهر زنجان (شهرکرد)، ۸۹ (۱۹)، است. ضریب همبستگی PWV با دمای هوا و دمای نقطه شبنم مثبت و قابل توجه است. با افزایش دما و دمای نقطه شبنم، PWV هم افزایش می‌یابد. بیشترین (کمترین) مقدار ضریب همبستگی PWV با فشار هوا و رطوبت نسبی به ترتیب شهر بندرعباس (شهرکرد)، منفی ۷۲ (منفی ۱۰)، و شهر تبریز (اردبیل)، منفی ۵۵ (منفی ۲) است. نتایج جدول(۱) نشان می‌دهد که همبستگی PWV با فشار هوا و رطوبت نسبی در اغلب موارد منفی است یعنی با افزایش فشار و رطوبت نسبی، PWV کاهش می‌یابد که با نتایج مقاله عساکره و همکاران (۱۳۹۳ و ۲۰۱۵) همخوانی دارد. در ادامه مقاله به بررسی و تحلیل توزیع جغرافیایی بخار آب قابل بارش و توزیع مکانی همبستگی بخار آب قابل بارش با دمای هوا، دمای نقطه شبنم، فشار هوا و رطوبت نسبی در سطح ایران خواهیم پرداخت.



شکل(۴). میانگین بخار آب قابل بارش AIRS بین سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵

شکل (۴) میانگین PWV سنجنده AIRS در بازه اندازه‌گیری ذکر شده را نشان می‌دهد. میانگین PWV در نواحی مرکزی ایران با وجود خشکی و دوری از منابع رطوبتی (دریای خزر، دریای عمان و خلیج فارس) از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

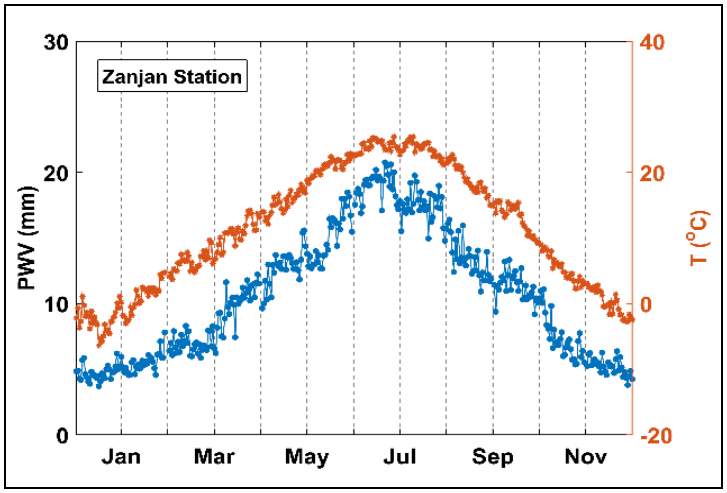
ناحیه مرتفع زاگرس بیشتر است. این واقعیت به دلیل دمای افزون‌تر نواحی مرکزی است که به تبع آن ظرفیت بخار آب قابل بارش جو افزایش می‌یابد. همچنین ارتفاع بالای کوه‌ها باعث کاهش ضخامت ستون هوا و دمای پایین‌تر آنها موجب کاهش ظرفیت گنجایش بخار آب در ارتفاعات زاگرس می‌شود (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۳۹؛ عساکره و همکاران، ۲۰۱۵: ۹۵۷۲).

جدول (۱). همبستگی بخار آب قابل بارش با دمای هوا، دمای نقطه شبنم، فشار هوا و رطوبت نسبی در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک ایران در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵

ایستگاه	دمای هوا (°C)	دمای نقطه شبنم (°C)	فشار هوا (Pa)	رطوبت نسبی (%)
کرج	۷۷/۸	۸۶/۶	-۴۳/۱	-۳۲/۹
اراک	۷۸/۳	۷۸/۰	-۲۸/۳	-۴۸/۷
اهواز	۵۰/۷	۷۱/۰	-۴۲/۴	-۱۵/۴
بندرعباس	۶۹/۱	۷۰/۵	-۷۲/۲	۴/۵
کرمانشاه	۷۵/۲	۵۷/۸	-۴۵/۴	-۴۵/۳
ایلام	۵۸/۲	۷۱/۴	-۲۹/۹	-۲۵/۲
خرم آباد	۷۳/۸	۶۲/۲	-۴۸/۸	-۴۱/۷
سنندج	۸۰/۱	۷۹/۷	-۴۳/۹	-۵۲/۹
اصفهان	۷۳/۲	۷۸/۸	-۳۷/۱	-۳۵/۴
شهرکرد	۷۶/۷	۱۹/۲	-۹/۸	-۳۹/۷
رشت	۸۵/۵	۸۷/۷	-۵۶/۳	-۱۶/۹
همدان	۷۷/۶	۷۹/۶	-۲۴/۵	-۴۳/۰
تهران	۷۸/۲	۷۸/۴	-۴۹/۱	-۳۹/۱
قزوین	۸۶/۲	۸۶/۵	-۴۹/۴	-۴۳/۲
سمنان	۷۹/۷	۸۳/۱	-۵۱/۹	-۴۶/۷
بوشهر	۳۷/۹	۳۸/۱	-۲۸/۱	۱۷/۱
کرمان	۶۵/۵	۷۵/۹	-۳۶/۵	-۲۱/۲
بیرجند	۶۰/۹	۷۱/۱	-۴۰/۹	-۱۸/۲
مشهد	۷۱/۴	۷۳/۳	-۴۶/۶	-۳۶/۷
بجنورد	۷۵/۰	۸۷/۱	-۳۶/۴	-۲۱/۰
گرگان	۸۱/۶	۸۵/۸	-۵۵/۲	-۳۲/۷
شیراز	۶۷/۳	۷۵/۱	-۴۷/۲	-۲۷/۹
یاسوج	۶۹/۸	۷۵/۵	-۳۲/۴	-۲۸/۱
اردبیل	۸۱/۳	۸۶/۵	-۱۴/۵	-۱/۵
ارومیه	۸۲/۲	۸۷/۹	-۳۶/۴	-۳۷/۷
تبریز	۸۷/۹	۸۶/۶	-۳۹/۴	-۵۴/۶

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

زنجان	۸۳/۷	۸۹/۳	-۲۲/۶	-۳۷/۵
یزد	۶۷/۱	۶۶/۸	-۴۹/۴	-۲۸/۴
زاهدان	۵۵/۶	۶۷/۸	-۴۱/۳	-۹/۸
میانگین ایستگاه‌ها	۷۲/۷	۷۴/۴	-۴۰/۰	-۲۹/۷



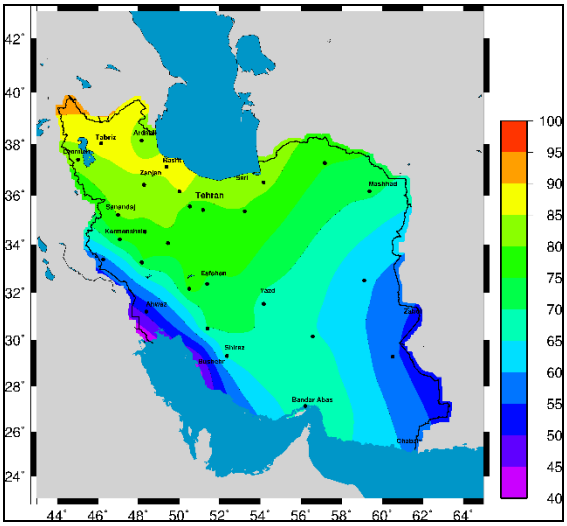
شکل (۵). سری زمانی بخار آب قابل بارش سنجنده AIRS و دمای هوای سطح زمین ایستگاه سینوپتیک برای زنجان. نقاط آبی (قرمز) میانگین روزانه بخار آب قابل بارش بر حسب میلی‌متر (دمای هوای سطح زمین بر حسب سانتی‌گراد) در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد.

در شکل (۵) سری زمانی روزانه PWV سنجنده AIRS برای پیکسل بالا سر زنجان و دمای هوای سطح زمین ایستگاه سینوپتیک زنجان در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ رسم شده است. هر نقطه میانگین داده‌های ثبت شده در آن روز در طی بازه زمانی ذکر شده است. نقاط آبی (قرمز) PWV بر حسب میلی‌متر (دمای هوای سطح زمین بر حسب سانتی‌گراد) را نشان می‌دهند. کمترین مقدار PWV در فصل زمستان و بیشترین مقدار آن در فصل تابستان است. همبستگی این دوسری زمانی ۹۶ درصد است که نشان دهنده رفتار مشابه بخار آب قابل بارش و دما در طول سال است. بنابراین دما بیشترین تاثیر را بر بخار آب قابل بارش در جو زمین دارد. دوره تناوب سالیانه در سری‌های زمانی دما برای نقاط مختلف کشور ایران مشاهده شده است (مشهدی‌زاده و عباسی، ۱:۱۳۹۳). در شکل (۵) نیز دوره تناوب سالیانه بخار آب قابل بارش به وضوح مشاهده می‌شود.

برای بررسی توزیع مکانی همبستگی دمای هوا برای ۲۹ ایستگاه سینوپتیک و PWV با سنجنده AIRS بالا سر ایستگاه‌ها، نقشه همبستگی با نرم افزار GMT۵ ترسیم شد. شکل (۶) نشان می‌دهد که مقدار همبستگی دما و PWV به عرض جغرافیایی بستگی دارد. بیشترین (کمترین) مقدار همبستگی در شمال غرب (جنوب غربی و جنوب شرقی) مشاهده می‌شود.

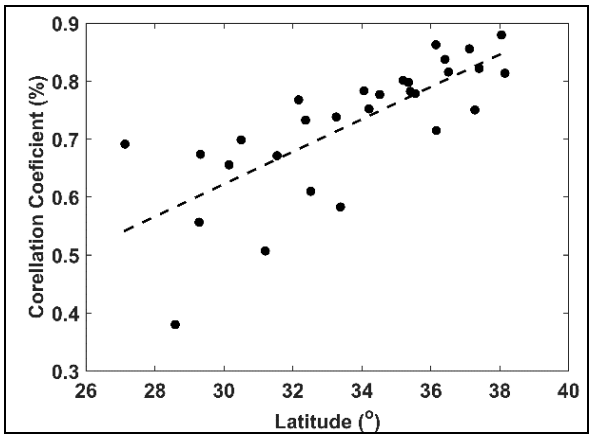
[5] Generic Mapping Tools

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]



شکل(۶). نقشه همبستگی دمای هوا در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک و بخار آب قابل بارش سنجنده AIRS بالا سر ایستگاه-ها در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵. نقاط سیاه رنگ محل ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهند.

در شکل (۷) رگرسیون خطی بین مقادیر همبستگی دما و بخار آب قابل بارش هر ایستگاه و عرض جغرافیایی متناظر آن برازش داده شد؛ به ازای با افزایش عرض جغرافیایی ، این همبستگی (با شیب ۲/۸ درصد به ازای یک درجه عرض جغرافیایی) افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل افزایش تغییرات دمایی با افزایش عرض جغرافیایی است که به دلیل مایل‌تر تابیدن نور آفتاب در عرض‌های بالاتر است.

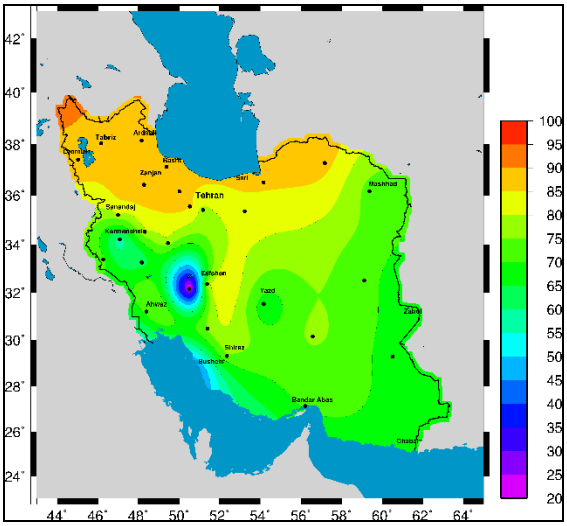


شکل(۷). رابطه ضریب همبستگی بخار آب قابل بارش و دما سطحی با عرض جغرافیایی

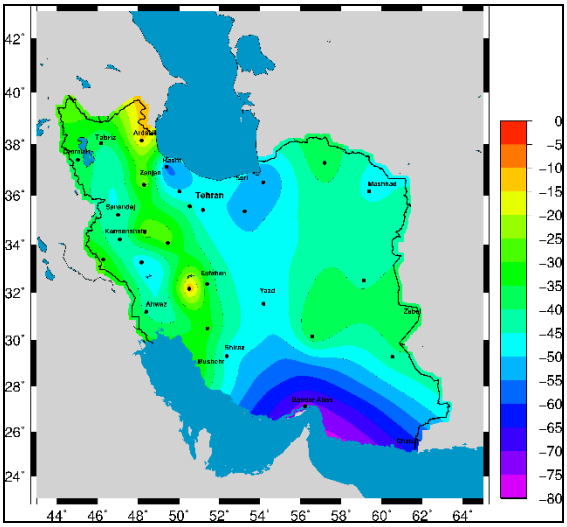
همبستگی دمای نقطه شبنم و بخار آب قابل بارش در شکل (۸) نشان داده شده است. همانند شکل (۶) در منطقه شمال‌غرب ایران بیشترین مقدار همبستگی مشاهده می‌شود و کمترین مقدار آن در منطقه جنوب غربی ایران است. در ایستگاه شهرکرد کمترین مقدار همبستگی مشاهده می شود. میزان همبستگی بخار آب قابل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

بارش و دمای نقطه شبنم رفتار مشابهی همانند دمای هوا دارد و نشان دهنده وابستگی آن به عرض جغرافیایی است.



شکل(۸). نقشه همبستگی دمای نقطه شبنم در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک و بخار آب قابل بارش سنجنده AIRS بالا سر ایستگاه‌ها در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵

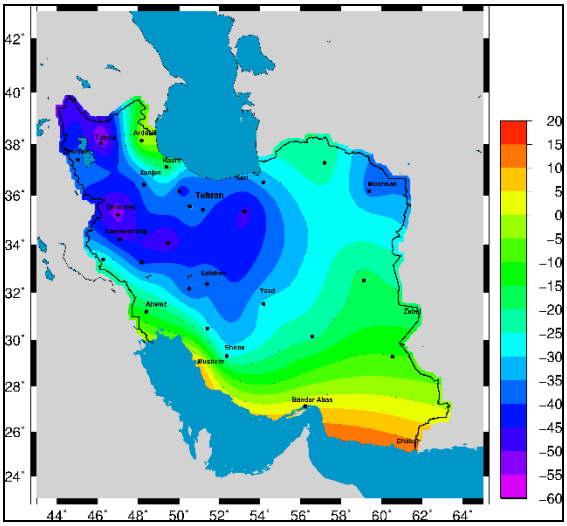


شکل(۹). نقشه همبستگی فشار هوا در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک و بخار آب قابل بارش سنجنده AIRS بالا سر ایستگاه-ها در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵

در شکل (۹) توزیع مکانی همبستگی فشار هوا و بخار آب قابل بارش ارائه شده است. مقادیر این همبستگی منفی هستند. بیشترین مقدار همبستگی منفی در منطقه جنوب کشور مشاهده شده است و کمترین مقدار همبستگی منفی نیز در منطقه شمال غرب و ایستگاه شهرکرد است. از آنجایی که فشار و دمای هوا دارای رابطه معکوس هستند؛ یعنی با افزایش دما، هوا منبسط شده و چگالی هوا کاهش می‌یابد که موجب کاهش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

فشار در محل می‌شود. از طرفی بخار آب قابل بارش با دمای هوا همبستگی بالایی دارد؛ بنابراین انتظار چنین رفتاری بین بخار آب قابل بارش و فشار هوا مورد انتظار است. در نتیجه، با افزایش مقدار فشار هوا مقدار بخار آب قابل بارش کمتر می‌شود. همچنین در مرکز و شمال ایران، مقادیر همبستگی منفی قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود.



شکل(۱۰). نقشه همبستگی رطوبت نسبی در ۲۹ ایستگاه سینوپتیک و بخار آب قابل بارش سنجنده AIRS بالا سر ایستگاه‌ها در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵

در شکل (۱۰) همبستگی بخار آب قابل بارش با رطوبت نسبی آورده شده است. در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر میزان تغییرات دمایی کم و فشار بخار آب قابل بارش جو به فشار بخار آب اشباع نزدیک است، زیرا در کنار دریا قرار دارد. بنابراین مقدار مطلق همبستگی بخار آب قابل بارش و رطوبت نسبی کم است. در حالی که، برخلاف استدالال فوق در عرض‌های بالاتر اتفاق می‌افتد. بنابراین مقدار مطلق همبستگی بین این دو پارامتر در عرض‌های بالاتر بیشتر است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله بخار آب قابل بارش در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. آب قابل بارش بدست آمده از اندازه-گیری‌های سنجنده AIRS با داده‌های شیدسنج خورشیدی مستقر در دانشگاه تحصیلات تکمیلی –تنها شیدسنج خورشیدی موجود در کشور ایران- صحت‌سنجی شد. این صحت سنجی برای داده‌های مشترک روزانه از دسامبر ۲۰۰۹ تا دسامبر ۲۰۱۳ انجام شد. ضریب همبستگی بین بخار آب قابل بارش اندازه‌گیری شده از سنجنده AIRS و شیدسنج خورشیدی برابر ۰/۹۰ برای شهر زنجان بدست آمد که با نتیجه مطالعه پراساد (Prasad et al, 2009:18) که برای شهر کراچی (ضریب همبستگی برابر ۰/۹۳) محاسبه شده است همخوانی خوبی دارد. سنجنده AIRS از سال ۲۰۰۲ در مدار زمین قرار گرفته است. PWV اندازه‌گیری شده با سنجنده AIRS در بازه زمانی بین سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ استخراج شد. میانگین روزانه PWV در سطح ایران

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

با تفکیک فضایی یک درجه نشان می‌دهد که بیشترین (۲۴ میلی‌متر) مقدار بخار آب در سواحل دریا و در ارتفاعات پایین اتفاق می‌افتد و با دور شدن از دریاها و رفتن به ارتفاعات از مقدار میانگین PWV کاسته می‌شود که کمترین مقدار آن برابر ۸ میلی‌متر است شکل (۳) و جدول(۱). این نتایج با دستاوردهای عساکره و همکاران (۱۳۹۳ و ۲۰۱۵) که با استفاده از داده‌های مدل NCEP/NCAR بخار آب قابل بارش را در ایران با تفکیک فضایی ۲,۵ درجه بررسی کرده‌اند همخوانی دارد. همبستگی PWV با دمای هوا، دمای نقطه شبنم، فشار هوا و رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده در ۲۹ ایستگاه هواشناسی در نقاط مختلف ایران در بازه اندازه‌گیری سپتامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که دمای هوا اثر زیاد و افزاینده‌ای بر روی PWV دارد، در حالی‌که مقدار PWV با افزایش ارتفاع (کاهش فشار) کاهش می‌یابد جدول(۱). شکل (۳) نیز نتیجه مشابهی را نشان می‌دهد به طوری‌که در ارتفاعات پایین میزان بخار آب قابل بارش بیشتر از ارتفاعات بالاتر است. همچنین همبستگی PWV با دمای هوا برای ۲۹ ایستگاه نشان می‌دهد که با افزایش عرض جغرافیایی بخار آب و دمای هوا نیز افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش تغییرات دمای هوا در طول سال در عرض‌های جغرافیایی بالاتر می‌باشد شکل (۶) و شکل (۸). رگرسیون خطی بین مقادیر همبستگی دما و بخار آب قابل بارش هر ایستگاه و عرض جغرافیایی متناظر نشان می‌دهد این همبستگی با شیب ۲/۸ درصد به ازای یک درجه عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش تغییرات دمایی با افزایش عرض جغرافیایی است شکل (۷). با افزایش دما، هوا منبسط شده و چگالی هوا کاهش می‌یابد و صعود می‌کند در نتیجه موجب کاهش فشار در محل می‌شود یعنی همبستگی معکوسی بین دمای هوا و فشار در یک منطقه وجود دارد. بنابراین، با کاهش فشار هوا دریک منطقه مقدار بخار آب قابل بارش افزایش می‌شود شکل (۹). همبستگی بخار آب قابل بارش با رطوبت نسبی نشان می‌دهد که در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، مقدار مطلق همبستگی بخار آب قابل بارش و رطوبت نسبی کم است که برخلاف عرض‌های بالاتر است شکل (۱۰). زیرا رطوبت نسبی حاصل تقسیم فشار بخار آب قابل بارش هوا به فشار بخار اشباع ضربدر صد است. این پارامتر با تغییر دما و میزان بخار آب قابل بارش تغییر می‌کند. انتظار داریم در مقدار بخار آب قابل بارش مطلق ثابت جو، با افزایش دما رطوبت نسبی کاهش یابد. از طرفی در دمای ثابت، اگر مقدار بخار آب قابل بارش مطلق جو افزایش یابد، رطوبت نسبی نیز افزایش یابد (آرنز، ۲۰۱۲). از آنجایی‌که تغییرات دما در عرض‌های جغرافیایی بالاتر بیشتر است، بنابراین انتظار داریم که با افزایش عرض جغرافیایی مقدار مطلق همبستگی آب قابل بارش با رطوبت نسبی افزایش یابد.

منابع

صادقی حسینی، علیرضا؛ حجام، سهراب؛ تفنگ‌ساز، پوریا (۱۳۸۴). **ارتباط آب قابل بارش ابر و بارندگی دیدبانی شده در منطقه تهران، مجله فیزیک زمین و فضا**، ۱۳: ۱۳-۲۱.

مباشری، محمد رضا؛ پورباقرکردی، مهدی؛ فرجزاده اصل، منوچهر؛ صادقی نائینی، علی (۱۳۸۹). **براورد آب قابل بارش کلی با استفاده از تصاویر ماهوارهای MODIS و داده‌های رادیوساوند: ناحیه تهران، برنامه ریزی و آمایش فضا**، ۱۴: ۱۰۷-۱۲۶.

مباشری، محمد رضا (۱۳۷۹). آشنائی با فیزیک هوا، انتشارات آستان قدس رضوی، شرکت به نشر.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]

[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

عساکره، حسین؛ دوستکامیان، مهدی؛ قائمی، هوشنگ (۱۳۹۳). **تحلیل تغییرات ناهنجاری ها و چرخه های آب قابل بارش جوّ ایران، پژوهش جغرافیای طبیعی**، ۴۶(۴): ۴۳۵-۴۴۴.

بیات، علی (۱۳۸۷). **مطالعه پارامترهای اپتیکی جو زنجان با استفاده از شیدسنج خورشیدی**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان.

مشهدی‌زاده ملکی، سعید؛ عباسی، مجید (۱۳۹۳). **تحلیل هارمونیک دمای هوا در ۱۵۰ ایستگاه هواشناسی ایران**، مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، صص. ۱-۴.

Carlson, T. N. (1991). **Mid-latitude weather systems.**

Schmid, B., Michalsky, J. J., Slater, D. W., Barnard, J. C., Halthore, R. N., Liljegren, J. C., & Ingold, T. (2001). **Comparison of columnar water-vapor measurements from solar transmittance methods**. Applied Optics, 40(12), 1886-1896.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., & Miller, H. L. (2007). **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. 9, 5–13.

Asakereh, H., Doostkamian, M., & Sadrafshary, S. (2015). **Anomalies and cycles of precipitable water over Iran in recent decades.** Arabian Journal of Geosciences, 8(11), 9569-9576.

Halthore, R. N., Eck, T. F., Holben, B. N., & Markham, B. L. (1997). **Sun photometric measurements of atmospheric water vapor column abundance in the 940-nm band.** JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ALL SERIES-, 102, 4343-4352.

Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanre, D., Buis, J. P., Setzer, A., & Lavenu, F. (1998). **AERONET—a federated instrument network and data archive for aerosol characterization**. Remote sensing of environment, 66(1), 1-16.

Bedka, S., Knuteson, R., Revercomb, H., Tobin, D., & Turner, D. (2010). **An assessment of the absolute accuracy of the Atmospheric Infrared Sounder v5 precipitable water vapor product at tropical, midlatitude, and arctic ground-truth sites: September 2002 through August 2008**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115(D17).

Raja, M. R. V., Gutman, S. I., 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), 416-428.

Prasad, A. K., & Singh, R. P. (2009). **Validation of MODIS Terra, AIRS, NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis-2, and AERONET Sun photometer derived integrated precipitable water vapor using ground-based GPS receivers over India**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114(D5).

Bock, O., Bouin, M. N., Walpersdorf, A., Lafore, J. P., Janicot, S., Guichard, F., and Agusti-Panareda, A. (2007): **Comparison of groundbased GPS precipitable water vapour to independent observations and NWP model reanalyses over Africa**, Q. J. Roy. Meteorol. Soc., 133, 2011–2027.

Bayat, A., Masoumi, A., & Khalesifard, H. R. (2011). **Retrieval of atmospheric optical parameters from ground-based sun-photometer measurements for Zanjan, Iran.** Atmospheric Measurement Techniques, 4(5), 857-863.

Masoumi, A., Khalesifard, H. R., Bayat, A., & Moradhaseli, R. (2013). **Retrieval of aerosol optical and physical properties from ground-based measurements for Zanjan, a city in Northwest Iran.** Atmospheric Research, 120, 343-355.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]

Susskind, J., Barnet, C. D., & Blaisdell, J. M. (2003). **Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(2), 390-409.

Smirnov, A., Holben, B. N., Eck, T. F., Dubovik, O., & Slutsker, I. (2000). **Cloud-screening and quality control algorithms for the AERONET database.** Remote sensing of Environment, 73(3), 337-349.

Campmany, E., Bech, J., Rodríguez-Marcos, J., Sola, Y., & Lorente, J. (2010**). A comparison of total precipitable water measurements from radiosonde and sunphotometers**. Atmospheric Research, 97(3), 385-392.

Hagan, D. E., Webster, C. R., Farmer, C. B., May, R. D., Herman, R. L., Weinstock, E. M., ... & Newman, P. A. (2004). **Validating AIRS upper atmosphere water vapor retrievals using aircraft and balloon in situ measurements**. Geophysical research letters, 31(21).

Dubovik, O. and King, M. D. (2000): **A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from sun and sky radiance measurements**, J. Geophys. Res., 105, 20673–20696.

Raj, P. E., Devara, P. C. S., Saha, S. K., Sonbawne, S. M., Dani, K. K., Pandithurai, G., & Murthy, A. R. (2008). **Temporal variations in sun photometer measured precipitable water in near IR band and its comparison with model estimates at a tropical Indian station.** Atmósfera, 21(4), 317-333.

Ahrens, C. D. (2012). **Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment**. Cengage Learning, chapter 4.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.5.3]

[DOI: 10.29252/jgs.19.53.19]