

ارزیابی بخار آب قابل بارش داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR با رادیوسوند برای ایستگاه

شیراز

امین شیروانی^{۱*}، حسن نوروزی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۳

چکیده

بخار آب نقش مهمی در ترازمندی رطوبتی جو و نیز فرآیند بارش در لایه پایینی و ردسپهر ایفا می‌کند. در این مطالعه، روند تغییرات بخار آب قابل بارش که جمع بخار آب در لایه‌های مختلف می‌باشد، با استفاده از داده‌های رادیوسوند برای ایستگاه همدیدی شیراز برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ تحلیل شده است. همچنین داده‌های بازتحلیل پایگاه داده NCEP-NCAR و ERA-Interim از مرکز ECMWF دریافت و جهت مقایسه مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از آماره آزمون من-کندال، روند معنی‌داری در بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند و ECMWF برای تمامی ماه‌ها (به جز داده‌های رادیوسوند در ماه اوت) مشاهده نشد. روند بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند برای بیش‌تر ماه‌ها کاهشی و غیرمعنی‌دار می‌باشد. اما آزمون‌های شیب خط و من-کندال هر دو نشان دادند که روند سالانه داده‌های NCEP-NCAR معنی‌دار و افزایشی است. نرخ کاهشی و افزایشی بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند و NCEP-NCAR به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۵۲ میلی‌متر در هر دهه است. برای تمامی ماه‌ها (به جز آوریل)، بین داده‌های رادیوسوند و ERA-Interim یک همبستگی مثبت در سطح معنی‌داری ۵٪ وجود دارد. اما ضریب همبستگی پیرسون برای NCEP-NCAR برای هیچ یک از ماه‌ها معنی‌دار نیست. تفاوت میانگین داده‌های بخار آب قابل بارش ERA-Interim و NCEP-NCAR به ترتیب کم برآوردی و بیش برآوردی را نشان می‌دهند. جزر میانگین مربعات خطا میان داده‌های رادیوسوند و ERA-Interim به طور کلی کم‌تر از NCEP-NCAR است. در مجموع، داده‌های ERA-Interim دقت بالاتری دارند و با داده‌های رادیوسوند سازگارتر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: رادیوسوند، رطوبت جو، روند، داده‌های بازتحلیل

مقدمه

اقلیم، بلکه برای شناخت بهتر بازخورد بخار آب در پدیده گرمایش جهانی مهم است. این فراسنج نقش کلیدی در چرخه انرژی جهانی از طریق تبخیر از سطح و گرمای نهان آتمسفری دارد (Trenberth et al., 2005). تلاش‌های بسیاری برای تعیین مقدار تغییرات بخار آب موجود در جو شده است. برای این منظور از دو دسته داده استفاده می‌شود. اولین دسته شامل داده‌های رادیوسوند و سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)^۳ است (Nilsson and Elgered., 2008). مزیت استفاده از این دسته داده‌ها، اندازه‌گیری مستقیم بخار آب در هر ایستگاه است. به دلیل این‌که اغلب این داده‌ها پراکنده، ناقص یا ناهمگن هستند برون‌آوری تغییرات جهانی بخار آب از داده‌های مشاهده‌ای اغلب مشکل است. برای مثال ۹۰۰ رادیوسوند در سطح جهان توزیع شده است که تنها در سطح زمین قابل

بخار آب یکی از بنیادی‌ترین فراسنج‌های آتمسفری می‌باشد که نقش مهمی در سیستم‌های آب و هوایی دارد. این فراسنج یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای در جو است که تغییرات زمانی و مکانی آن نقش کلیدی در تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارد (Trenberth et al., 2006; Wagner et al., 2005). بنابراین پیش‌بخار آب برای درک اقلیم و تغییرات اقلیم مهم است. ارزیابی تغییرات بخار آب موجود در آتمسفر نه تنها برای تغییر

^۱دانشیار بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های جوی اقیانوسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

(*نویسنده مسئول: am_shirvani@hotmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.158865.1047

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، بخش مهندسی

آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

^۳ Global Positioning System

خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر دارای ناهنجاری‌های مثبت و نواحی مرکزی، نواحی مرتفع و شمال غرب و شمال شرق کشور به دلیل دور بودن از منابع رطوبتی و متأثر بودن از ارتفاعات دارای ناهنجاری‌های منفی است. همچنین با تحلیل چرخه‌ها نشان دادند که چرخه‌های کوتاه‌مدت دو تا پنج ساله بیش‌ترین حاکمیت را در کشور داشته‌اند. با وجود این، بیش‌ترین چرخه‌های کوتاه‌مدت در نواحی جنوب شرق رخ داده است. (Chen and Liu (2016) به منظور بررسی روند بخار آب قابل بارش جهانی مقایسه‌ای بین داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای با استفاده از منابع چندگانه، داده‌های ECMWF، داده‌های بازتحلیل مرکز ملی محیط زیست NCEP Reanalyses، رادیوسوند، GPS و میکروویو ماهواره برای دوره ۱۹۷۹-۲۰۱۴ انجام دادند. آن‌ها با ارزیابی داده‌های بخار آب قابل بارش ECMWF و NCEP توسط رادیوسوند، دریافتند که ECMWF خطای RMSE برابر ۲/۸۸ میلی‌متر می‌باشد که نسبت به NCEP با خطای ۳/۱۲ میلی‌متر دارای خطای کم‌تری است. بنابراین گزارش کردند که NCEP عملکرد ضعیفی در منطقه گرمسیری دارد. همچنین آن‌ها گزارش کردند که در طول سال‌های اخیر روند رو به رشد بخار آب جهانی با استفاده از پنج منبع ذکر شده در بالا آشکارتر شده است و شیب رگرسیون آب قابل بارش-دما در بیش‌تر اقیانوس‌ها مقادیر مثبت و در بسیاری از قاره‌ها مقادیر منفی به دست آمده است. (Xie et al., (2011) با استفاده از ۱۰۶ ایستگاه رادیوسوند در چین (۱۹۷۹-۲۰۰۵) نشان دادند که در تابستان بخش شمالی چین دارای روند بخار آب قابل بارش افزایشی و در زمستان بیش‌تر مناطق چین دارای روند بخار آب قابل بارش کاهشی هستند. (Jiang et al., (2019) با مقایسه بخار آب قابل بارش رادیوسوند با داده‌های بازتحلیل منابع ERA5، MERRA2، NCEP1 و NCEP2 نشان دادند که ERA5 برای نشان دادن تغییرات سالانه PWV در آسیای مرکزی عملکرد بهتری دارد. در تحقیق حاضر تغییرات زمانی و روند کل بخار آب قابل بارش با استفاده از داده‌های مشاهداتی رادیوسوند برای ایستگاه همدیدی شیراز برای یک دوره اقلیمی بررسی می‌شود. همچنین در پژوهش حاضر از داده‌های رادیوسوند به عنوان مبنا برای مقایسه داده‌های بازتحلیل ERA-Interim و ECMWF و NCEP-NCAR استفاده خواهد شد. در تحقیقات قبلی داخلی

دسترسی هستند (Kuo et al., 2005). داده‌های رادیوسوند بخار آب جوی در درازمدت بایگانی و ارائه شده‌اند. بنابراین در تحقیقات طولانی‌مدت آب و هوایی (اقلیم) مورد استفاده قرار می‌گیرند (Liu et al., 2015). حال با توجه به دلایل مختلف از جمله حذف ایستگاه ابزار یا روش‌های عملیاتی، اغلب ناهمگنی رخ می‌دهد و باعث تغییرات مصنوعی در سری زمانی رادیوسوند می‌شود. از این رو روند بلندمدت از داده‌های رادیوسوند به طور چشم‌گیری با توجه به ضوابط ایستگاه‌های مختلف برآورد می‌شود. دسته دوم از داده‌های بخار آب، داده‌های بازتحلیل می‌باشند. مزایای این داده‌ها پوشش جهانی، خروجی چند متغیره، درستی مکانی و همگن بودن است. بنابراین آن‌ها می‌توانند برای تحقیقات جوی بسیار با ارزش باشند. علاوه بر این موقعیت و خطا در درجه ماهواره برای داده‌های بازتحلیل ممکن است عملکرد سیستم را کاهش دهد. در نتیجه روند تولید شده برای بخار آب قابل بارش توسط داده‌های بازتحلیل ممکن است پدیده غیر واقعی را نشان دهد. بنابراین آگاهی از کیفیت و کمیت داده‌های آب قابل بارش در تحلیل و بهره‌وری از آن‌ها مهم می‌باشد. از آنجایی که رادیوسوندها بخار آب قابل بارش را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کنند دقت این داده‌ها بالا و در حد چند میلی‌متر است. بسیاری از مطالعات انجام شده مربوط به تغییرات بخار آب جوی در مناطق مختلف و دوره‌های زمانی مختلف بوده است. به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بخار آب قابل بارش در جو ایران (Asakereh and Doostkamian (2014) با استفاده از داده‌های بخار آب قابل بارش NCEP-NCAR پژوهشی را انجام دادند و نشان دادند که ضریب تغییرپذیری بخار آب قابل بارش در ایران بسیار زیاد و به شدت تحت تأثیر ارتفاعات به ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس می‌باشد. کم‌ترین میزان تغییرپذیری مربوط به نواحی مرکزی و سواحل دریای خزر و خلیج فارس می‌باشد. آن‌ها همچنین نشان دادند که روند بلندمدت بخار آب قابل بارش در تمامی ساعت‌های مورد مطالعه در سراسر ایران دارای روند کاهشی بوده است. (Asakereh et al., (2015) تحلیل تغییرات ناهنجاری‌ها و چرخه بخار آب قابل بارش جو ایران را با استفاده از داده‌های بخار آب قابل بارش مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که نواحی ساحلی به دلیل هم‌جواری با منابع عظیم رطوبتی

در کشورهای توسعه یافته قرار دارند (Vey et al., 2010). نمودار سری‌های زمانی تعداد ایستگاه‌های رادیوسوند که از سال ۱۹۰۵ به بعد داده گزارش کرده‌اند و تعداد آن‌ها متغیر بوده است در پایگاه IGRA موجود می‌باشد. بر اساس طراحی بالن مانند رادیوسوند، می‌توان به طور مستقیم پارامترهای جوی مانند فشار، دما و رطوبت نسبی را در ارتفاع‌های مختلف اندازه‌گیری کرد. داده‌های رادیوسوند به صورت برخط برای ایستگاه‌های فعال در سرتاسر دنیا در پایگاه دانشگاه Wyoming^۵ موجود و به صورت رایگان قابل ذخیره می‌باشند. در این پایگاه، ایران دارای ۱۱ ایستگاه رادیوسوند است که کل بخار آب قابل بارش و دیگر فراسنج‌های جوی را اندازه‌گیری می‌کنند. از این میان ایستگاه رادیوسوند شیراز دارای رکورد مناسبی است. در این پژوهش داده‌های رادیوسوند ایستگاه شیراز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). مشخصات این ایستگاه در جدول ۱ بر اساس اطلاعات WMO آمده است. در این مطالعه، داده‌های بخار آب قابل بارش برای ایستگاه رادیوسوند شیراز از پایگاه دانشگاه Wyoming استخراج شدند. این داده‌ها از سال ۱۹۷۴ به بعد موجود می‌باشند ولی به دلیل ناپیوستگی در سری‌های زمانی و تعداد کم روزها در برآورد میانگین بخار آب قابل بارش ماهانه برای سال‌های قبل از ۱۹۹۰، مطالعه حاضر برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ انجام شد.

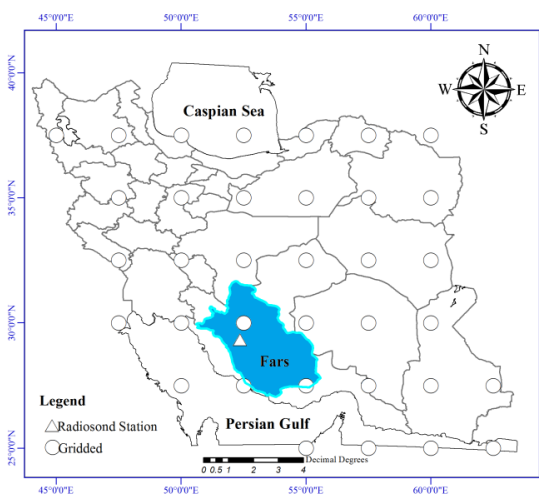


Figure 1- The geographical location of Shiraz synoptic station (triangle) and used grid point (circle) from reanalysis data (NCEP-NCAR or ERA-Interim)
 شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه همدیدی شیراز (مثلث) و گره استفاده شده (دایره) از داده‌های باز تحلیل (NCEP-NCAR یا ERA-Interim)

اغلب از داده‌های بازتحلیل NCEP-NCAR برای تحلیل بخار آب قابل بارش استفاده شده است. در تحقیق حاضر دقت این داده‌ها نسبت به داده‌های ERA-Interim بر پایه داده‌های مشاهداتی بررسی می‌شوند.

مواد و روش‌ها

کل بخار آب قابل بارش (TPWV)^۱ می‌تواند به عنوان مجموع بخار آب جوی در ستون عمودی از زمین تا ارتفاع مشخص تعریف شود (Ferrare et al., 2002). اگر x رطوبت ویژه^۲ یا نسبت آمیختگی^۳ حسب گرم بخار آب بر کیلوگرم هوا باشد آنگاه بخار آب قابل بارش حسب میلی‌متر که در یک لایه محدود شده با فشارهای p_1 و p_2 قرار دارد، به صورت معادله ۱ تعریف می‌شود.

$$PWV = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} x dp \quad (1)$$

به طوری که g شتاب جاذبه زمین حسب متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. مقدار فشار در لایه‌های بالایی می‌تواند تا لایه مشخص و دلخواهی در نظر گرفته شود. این معادله برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی بخار آب قابل بارش در جو ایران در مطالعه Asakereh and Doostkamian (2014) نیز استفاده شده است. در مطالعه حاضر، فشار در معادله ۱، ۳۰۰ میلی‌بار در نظر گرفته شد. مقدار بخار آب در لایه‌های بالایی جو که فشار کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌بار است، بسیار ناچیز می‌باشد (Jiang et al., 2019). از این رو در معادله ۱ مقدار بخار آب در لایه‌های بالایی جو که فشار کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌بار است، در نظر گرفته نشد. سه دسته داده کل بخار آب قابل بارش به شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفت.

داده‌های مشاهداتی رادیوسوند

مشاهدات ایستگاه‌های رادیوسوند دارای طولانی‌ترین رکورد مشاهدات بخار آب قابل بارش است. بیش از ۹۰۰ ایستگاه رادیوسوند فعال در سراسر جهان وجود دارد که در حال حاضر داده گزارش می‌کنند در حالی که در پایگاه IGRA^۴ داده‌های بیش از ۱۵۰۰ ایستگاه رادیوسوند در دهه ۸۰ میلادی ثبت شده است. اما بیش‌تر این ایستگاه‌ها

¹ Total Precipitable Water Vapour

² Specific Humidity

³ Mixing Ratio

⁴ <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/weather-balloon/integrated-global-radiosonde-archive>

⁵ <http://weather.uwyo.edu/upperair/Universityofyoming>.

داده‌های ERA-Interim

ERA-Interim یکی از جدیدترین محصولات داده‌های واکاوی شده جو زمین است که توسط ECMWF^۱ تهیه شده است. این داده‌ها از ۱ ژانویه ۱۹۷۹ شروع و به طور مداوم در زمان واقعی نزدیک می‌شوند (Dee et al., 2011). توسعه ERA-Interim به طور عمده برای رفع برخی از مشکلات ادغام داده‌ها در مواجهه با تولید ERA-40 (Uppla et al., 2005) و همچنین بهبود کیفیت محصولات واکاوی شده است (Dee et al., 2011). در جمع‌آوری داده‌ها، مشاهدات هواشناسی از سیستم‌های مختلف، به عنوان مثال ایستگاه‌های سطح زمین، کشتی‌ها، اقیانوس‌ها، ایستگاه‌های رادیوسوند، هواپیماها و ماهواره‌های سنجنش از دور به یک مدل گردش عمومی برای بازسازی شرایط جوی گذشته دست یافتند (Dee et al., 2011). در این پژوهش داده‌های ماهانه کل بخار آب قابل بارش به دست آمده از ERA-Interim برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ استفاده می‌شوند. در این مطالعه از دقت مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه برای داده‌های ECMWF به منظور جور بودن و روی هم قرار گرفتن موقعیت جغرافیایی گره‌های این داده با گره‌های داده‌های NCEP-NCAR استفاده می‌شود. طول و عرض جغرافیایی نزدیک‌ترین گره به ایستگاه شیراز به ترتیب ۵۲/۵ درجه شمالی و ۳۰ درجه شرقی می‌باشد که در شکل ۱ مشخص شده است.

داده‌های واکاوی شده NCEP-NCAR

داده‌های ماهانه کل بخار آب قابل بارش برای گره مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۹۰ از داده‌های واکاوی شده بانک‌های اطلاعاتی NCEP-NCAR استخراج شدند (Kalnay et al., 1996). دقت مکانی این مجموعه داده ۲/۵×۲/۵ درجه می‌باشد.

Table 1 - Characterizations of Radiosonde Shiraz station

جدول ۱- مشخصات ایستگاه رادیوسوند شیراز

WMO Index Number	40848
ICAO Location Indicator	OISS
Station Name	Shiraz
Country	Iran, Islamic Republic of
WMO Region	2
Station Position	29°32'N 052°35' E (dms)
Station Elevation (H _a)	1486 Meters
Upper Air Position	29°32'N 052°35' E (dms)
Upper Air Elevation (H _p)	1491 Meters

آزمون ناپارامتری من-کندال^۲

از آزمون ناپارامتری من-کندال برای بررسی روند بخار آب قابل بارش استفاده شد. این روش برای روندیابی مورد تأیید WMO نیز می‌باشد. مزیت این آزمون در این است که نسبت به مقادیر حدی استوار است چون که با رتبه داده‌ها کار می‌کند. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض مقابل دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. مراحل محاسبه این آزمون به قرار زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با یکدیگر، اعمال تابع sgn و برون‌آوری پارامتر S با استفاده از معادله ۲.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که n تعداد جملات سری، x_j داده زام سری و x_k داده kام سری است. تابع sgn نیز طبق معادله ۳ تعریف می‌شود.

$$\text{sgn} = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

ب) محاسبه واریانس با استفاده از معادله ۴

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن n تعداد داده‌ها و m تعداد سری‌هایی است که در آن حداقل یک داده تکراری وجود دارد.

ج) برون‌آوری آماره آزمون Z به کمک معادله ۵

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

اگر قدرمطلق آماره آزمون محاسبه شده کوچک‌تر از عدد جدول نرمال استاندارد (۱/۹۶) باشد فرض صفر (عدم وجود روند) قبول و در غیر این صورت فرض صفر در سطح خطای ۵ درصد رد می‌شود. همچنین با پذیرش رد فرض صفر اگر مقدار آماره آزمون منفی باشد روند کاهشی و در صورت مثبت بودن روند افزایشی خواهد بود.

ارزیابی داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR

برای بررسی همبستگی خطی بین داده‌های

² Mann-kendall

¹ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts>

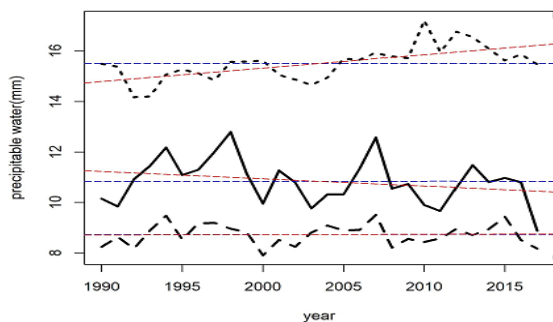


Figure 2-Time series plot of annual precipitable water vapor from Radiosonde (line), ERA-Interim (dash line) and NCEP-NCAR (dot line) data for the blue dash lines period 1990-2017. Horizontal represent the corresponding climatological means. The red dash lines indicate the corresponding linear trends

شکل ۲- نمودار سری‌های زمانی سالانه بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند (خط)، ERA-Interim (خط چین) و NCEP-NCAR (نقطه‌چین) برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰. خط چین‌های افقی آبی بیان‌گر میانگین درازمدت مربوطه می‌باشند. خط چین‌های قرمز نیز بیانگر روند خطی مربوطه می‌باشند.

قبل از انجام این آزمون، نمودار تابع خودهمبستگی^۳ به منظور بررسی همبستگی پیاپی داده‌ها در شکل ۳ رسم شد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود داده‌های میانگین سالانه بخار آب قابل بارش دارای همبستگی پیاپی نمی‌باشند. بنابراین نیاز به تبدیل داده‌ها قبل از انجام آزمون من‌کندال نمی‌باشد (Shirvani, 2015; 2017). مقدار آماره S معادله ۲، مقدار Z معادله ۵ و P-value آزمون من‌کندال برای میانگین سالانه بخار آب قابل بارش به ترتیب برابر با ۵۵-، ۱/۰۶- و ۰/۲۸ به دست آمد. اندازه مقدار Z آزمون من‌کندال نشان می‌دهد که سری سالانه بخار آب قابل بارش دارای روند کاهشی می‌باشد و مقایسه آن با عدد جدول نرمال استاندارد در سطح خطای ۵ درصد ($Z_{0.025}=1.96$) نشان می‌دهد که این روند کاهشی معنی‌دار نمی‌باشد و سری فاقد روند معنی‌دار می‌باشد. روند خطی و ناپارامتری من‌کندال برای مقیاس زمانی ماهانه بخار آب قابل بارش مشاهده شده نیز مانند مقیاس سالانه که در بالا شرح داده شد، بررسی گردید و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که روند بخار آب قابل بارش در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر و دسامبر کاهشی بوده ولی فقط در ماه اوت این روند معنی‌دار است. بنابراین در

مشاهداتی و دو مجموعه داده ERA-Interim و NCEP-NCAR از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می‌شود. همچنین برای ارزیابی خطا از جذر میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) و اختلاف میانگین^۲ (MD) مطابق معادله‌های ۶ و ۷ استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \quad (7)$$

که در آن‌ها O_i مقادیر مشاهده شده بخار آب قابل بارش و P_i مقادیر ERA-Interim یا NCEP-NCAR و n تعداد سال‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج و بحث

تغییرات درازمدت بخار آب قابل بارش بر داده‌های

مشاهداتی رادیوسوند

سری‌های زمانی میانگین سالانه بخار آب قابل بارش داده‌های مشاهداتی رادیوسوند برای ایستگاه همدیدی شیراز برای دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰ در شکل ۲ رسم شده است. میانگین درازمدت سالانه بخار آب قابل بارش در این دوره آماری برابر ۱۰/۸۴ میلی‌متر می‌باشد که با نقطه‌چین افقی در این شکل نشان داده شده است. در شکل ۲ روند خطی نیز به صورت خط‌چین قرمز نشان داده شده است. روند خطی با استفاده از یک معادله رگرسیونی بین بخار آب قابل بارش به عنوان متغیر پاسخ و زمان به عنوان متغیر مستقل به صورت معادله ۸ محاسبه شد.

$$PW(t) = -0.029 \times t + 68.9 \quad (8)$$

به طوری که آماره t برابر ۱/۴- و P-value مربوط به ضریب رگرسیونی برابر ۰/۱۷ می‌باشد. لذا شیب این خط رگرسیونی در سطح ۵٪ معنی‌دار نبوده و جدول تحلیل واریانس مربوط به مدل رگرسیونی نشان داد که این مدل معنی‌دار نمی‌باشد. از این‌رو بر خلاف آن که روند کاهشی در میانگین سالانه بخار آب قابل بارش مشاهده می‌شود ولی این روند از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. برای کنکاش بیشتر در مورد روند میانگین سالانه بخار آب قابل بارش از آزمون من‌کندال نیز استفاده شد.

¹ Root Mean Square Error

² Mean Difference

³ Autocorrelation function

میانگین معادله ۷ بین داده‌های مشاهداتی رادیوسوند و این دو مجموعه داده در جدول ۳ ذکر شده است. اندازه قدر مطلق اختلاف میانگین داده‌های ERA-Interim برای ماه‌های مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر به طور قابل توجهی کمتر از داده‌های NCEP-NCAR با داده‌های مشاهداتی رادیوسوند می‌باشند. همچنین معیارهای ضریب همبستگی پیرسون و جذر میانگین مربعات خطا معادله ۶ برای مقایسه داده‌های مشاهداتی با این دو مجموعه داده محاسبه و در جدول ۳ آورده شده است.

Table 2- Results of linear regression and MK test for monthly mean of observed precipitable water vapor data

جدول ۲- نتایج روند رگرسیون خطی و آزمون من-کندال برای میانگین ماهانه داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی

Mann-Kendall			
Months	S	Z	P value
Jan.	-77	-1.5	0.13
Feb.	-56	-1.09	0.28
Mar.	-22	-0.42	0.68
Apr.	-24	-0.45	0.65
May	-4	-0.06	0.95
Jun.	44	0.85	0.4
Jul.	-12	-0.22	0.83
Aug.	-102	-2	0.05
Sept.	-30	-0.57	0.57
Oct.	-30	-0.57	0.57
Nov.	0	0	1
Dec.	-12	-0.22	0.83

Simple linear regression			
Months	Slope	T	P value
Jan.	-0.09	-1.8	0.08
Feb.	-0.02	-0.54	0.59
Mar.	-0.03	-0.92	0.36
Apr.	-0.02	-0.5	0.62
May	-0.004	-0.10	0.92
Jun.	0.078	1.39	0.17
Jul.	-0.02	-0.36	0.71
Aug.	-0.10	-2.02	0.053
Sept.	-0.02	-0.55	0.58
Oct.	-0.053	-1.05	0.30
Nov.	-0.008	-0.14	0.88
Dec.	-0.02	-0.50	0.61

همان طور که در جدول ۳ دیده می‌شود مقدار ضریب همبستگی بین داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی و ERA-Interim برای تمامی ماه (به جز آوریل) مثبت می‌باشد و P-value مربوطه نیز همگی کمتر از سطح معنی‌داری (۵٪) می‌باشند. بنابراین بین داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی و ERA-Interim برای تمامی ماه‌ها (به جز آوریل) همبستگی معنی‌داری وجود دارد. ولی همبستگی خطی بین داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی و NCEP-NCAR برای تمامی ماه‌ها

مجموع بخار آب قابل بارش مشاهداتی دارای روند معنی‌داری در مقیاس ماهانه (جز اوت) نمی‌باشد.

مقایسه داده‌های بخار آب قابل بارش برآورد شده از مجموعه داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR با داده‌های مشاهداتی رادیوسوند

میانگین درازمدت ماهانه بخار آب قابل بارش برای تمامی ماه‌ها با استفاده از داده‌های رادیوسوند، ERA-Interim و NCEP-NCAR به طور جداگانه برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ محاسبه و در شکل ۴ رسم شد. همان گونه که دیده می‌شود با حرکت از ماه‌های سرد به طرف ماه‌های گرم میزان بخار آب قابل بارش افزایش می‌یابد و در ماه ژوئیه و اوت بیش‌ترین مقدار را دارد و در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس دارای کم‌ترین مقدار می‌باشد.

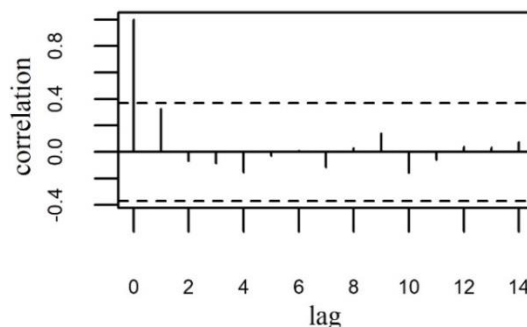


Figure 3- Autocorrelation functions (ACFs) of observed annual precipitable vapor water time series for Shiraz station for the period 1990-2017. The horizontal dashed lines represent the 95% confidence interval of $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$

شکل ۳- تابع خود همبستگی برای سری زمانی سالانه بخار آب قابل بارش مشاهداتی ایستگاه شیراز برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰. خط چین‌های افقی بیان‌گر فاصله اطمینان ۹۵ درصدی $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$

در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس مقادیر مشاهداتی و NCEP-NCAR به هم نزدیک است در حالی که از ماه مه تا سپتامبر تفاوت قابل توجهی میان تراز میله‌های NCAR-UCAR و رادیوسوند دیده می‌شود. با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که بر خلاف NCAR-UCAR تراز میله‌ها در ECMWF برای همه ماه‌ها به طور یکنواخت به تراز میله‌های رادیوسوند نزدیک است. وجود این تفاوت‌ها مؤلفان را بر آن داشت تا از آزمون‌های ناپارامتری مانند من-کندال برای بررسی بیش‌تر راست‌آزمایی داده‌های ECMWF و NCAR-UCAR بهره ببرند. اختلاف

روند افزایشی معنی‌داری می‌باشند. این در حالی است که داده‌های مشاهداتی روند کاهشی نشان دادند که معنی‌دار نبود. بنابراین داده‌های NCEP-NCAR حتی در مورد میل و جهت سری نیز قابل اعتماد نمی‌باشند. مجموع داده‌های NCEP-NCAR بیش‌برآورد و داده‌های ERA-Interim کم‌برآورد را نشان می‌دهند. تفاوت داده‌های NCEP-NCAR با داده‌های مشاهداتی چشم‌گیر و واضح است ولی داده‌های ERA-Interim به مقدار واقعی نزدیک‌تر می‌باشند.

Table 3- Correlation coefficient, root mean square error (RMSE) and the mean difference values between Radiosonde data and ERA-Interim and NCEP-NCAR

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و تفاوت میانگین‌ها بین داده‌های رادیوسوند و ERA-Interim و NCEP-NCAR

Month	P value		Correlation Coefficient	
	NCEP-NCAR	ERA-Interim	NCEP-NCAR	ERA-Interim
Jan.	0.4	0.016	-0.16	0.45
Feb.	0.98	0	-0.003	0.71
Mar.	0.78	0	0.05	0.55
Apr.	0.72	0.44	-0.06	-0.14
May	0.19	0	0.25	0.7
Jun.	0.43	0	0.15	0.66
Jul.	0.27	0	-0.21	0.55
Aug.	0.67	0	-0.08	0.69
Sept.	0.06	0.04	0.35	0.39
Oct.	0.71	0	-0.07	0.61
Nov.	0.51	0	0.12	0.71
Dec.	0.08	0	-0.32	0.69
Year	0.46	0	-0.14	0.59

Month	RMSE		Mean Difference	
	NCEP-NCAR	ERA-Interim	NCEP-NCAR	ERA-Interim
Jan.	2.71	3.29	0.03	2.55
Feb.	2.44	2.38	-0.21	1.94
Mar.	2.2	2.14	0.45	1.61
Apr.	3.19	2.95	-1.69	2.11
May	7.14	2.24	-6.63	1.8
Jun.	11.28	2.65	-10.84	1.94
Jul.	11.84	3.49	-11.02	2.08
Aug.	10.07	3.55	-9.57	3.1
Sept.	8.46	3.08	-8.16	2.37
Oct.	4.84	2.99	-4.06	2.46
Nov.	4.07	2.64	-2.69	1.96
Dec.	2.97	2	-1.46	1.52
Year	4.8	2.23	-4.6	2.17

نتیجه‌گیری

تغییرات درازمدت و روند کل بخار آب قابل بارش با استفاده از داده‌های مشاهداتی رادیوسوند برای ایستگاه همدیدی شیراز حاکی از آن است که روند کل بخار آب قابل بارش مشاهداتی در اغلب ماه‌ها و مقیاس سالانه

ضعیف می‌باشد و معنی‌دار نیست. همچنین مقدار خطای RMSE برای داده‌های بخار آب قابل بارش ERA-Interim برای تمامی ماه‌ها (به جز ژانویه) کم‌تر از RMSE داده‌های NCEP-NCAR است. برای نمونه مقدار خطای RMSE برای داده‌های بخار آب قابل بارش ERA-Interim و NCEP-NCAR در ماه ژوئیه به ترتیب برابر ۳/۴۹ و ۱۱/۸۴ میلی‌متر می‌باشد.

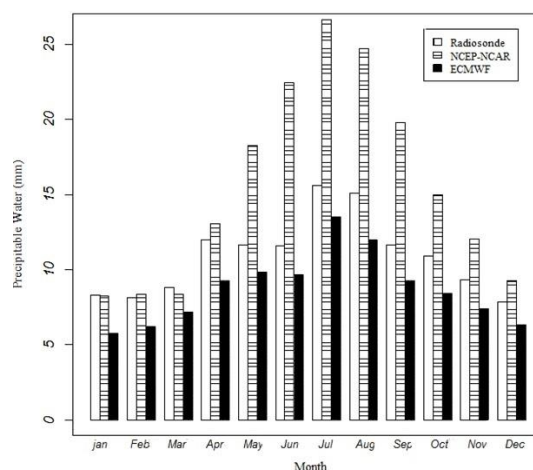


Figure 4- Bar chart of climatological mean for monthly time scale of precipitable water from Radiosonde, ERA-Interim and NCEP-NCAR data for the period 1990-2017

شکل ۴- نمودار میله‌ای میانگین دراز مدت برای مقیاس زمانی ماهانه بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند، ERA-Interim و NCEP-NCAR برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۷

همچنین این خطا در مقیاس سالانه نیز به ترتیب برابر ۲/۲۳ و ۴/۸۰ میلی‌متر می‌باشد. سری‌های زمانی میانگین سالانه بخار آب قابل بارش بر پایه داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۷ در شکل ۲ نیز رسم شده است. برآورد میانگین درازمدت سالانه بخار آب قابل بارش بر پایه داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR به ترتیب برابر ۸/۷ و ۱۵/۵ میلی‌متر می‌باشد که با خط افقی در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین روند خطی به صورت خط‌چین در این شکل نشان داده شده است. مقدار شیب روند خطی برای داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵ است. P-value مربوطه نیز به ترتیب برابر ۰/۹ و ۰/۲ می‌باشند که بیان‌گر آن است که داده‌های میانگین سالانه بخار آب قابل بارش بر پایه داده‌های ERA-Interim دارای روند خطی معنی‌داری نمی‌باشند ولی بر پایه داده‌های NCEP-NCAR دارای

کل بخار آب قابل بارش ارائه می‌دهند در حالی که در تحقیقات قبلی در کشور اغلب از داده‌های NCEP-NCAR استفاده شده است. این نتایج با کارهای Chen and Liu (2016) که در مقیاس جهانی و همچنین Jiang et al., (2019) که بر روی آسیای مرکزی تحقیق کرده‌اند، هم‌خوانی دارد. نتیجه‌گیری می‌شود که برای تحقیقات بعدی در کشور از داده‌های ERA-Interim به عنوان یک نماینده مناسب به جای NCEP-NCAR استفاده شود و قبل از استفاده داده‌های بازتحلیل در ابتدا باید این داده‌ها با داده‌های مشاهداتی برای پارامتر مورد نظر مقایسه و سپس مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- Asakereh, H., Doostkamian, M. 2014. Temporal-spatial changes of perceptible water in the atmosphere of Iran. *Iran Water Resources Research*, 10(29): 72- 86.
- Asakereh, H., Doustkamian, M., Qaemi, H. 2015. Analysis of anomalies and perceptible water cycles in Iran atmosphere. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(4): 444-453.
- Chen, B., Liu, Z. 2016. Global water vapor variability and trend from the latest 36 year (1979 to 2014) data of ECMWF and NCEP reanalyses, radiosonde, GPS, and microwave satellite. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(19), DOI: 10.1002/2016JD024917.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., . . . Bauer, d. P. 2011. The ERA- Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656): 553-597.
- Ferrare, R., Brasseur, L., Clayton, M., Turner, D., Remer, L., Gao, B. C. 2002. Evaluation of TERRA aerosol and water vapor measurements using ARM SGP data. In *American Meteorological Society 11th Conference on Atmospheric Radiation*, Ogden, Utah, pp. 3-7.
- Jiang, J., Zhou, T., Zhang, W. 2019. Evaluation of satellite and reanalysis precipitable water vapor datasets against radiosonde observations in Central Asia. *Earth and Space Science*, DOI: 10.1029/2019EA000654.
- کاهشی بوده ولی در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار نبوده است. ارزیابی کل بخار آب قابل بارش بازتحلیل NCEP-NCAR و ERA-Interim از مرکز ECMWF با داده‌های مشاهداتی رادیوسوند نشان داد که همبستگی ماهانه و سالانه بین داده‌های مشاهداتی و ERA- Interim قوی و در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد ولی داده‌های NCEP-NCAR همبستگی ضعیفی با داده‌های مشاهداتی دارند. بر پایه معیارهای تفاوت میانگین‌ها و جذر میانگین مربعات خطا، دقت داده‌های ERA- Interim بیش‌تر از NCEP-NCAR می‌باشد. بنابراین، داده‌های ERA- Interim تخمین بهتری نسبت به داده‌های NCEP-NCAR برای
- Kalnay, E. Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis project: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 437- 471.
- Kuo, Y. H., Schreiner, W., Wang, J., Rossiter, D., Zhang, Y. 2005. Comparison of GPS radio occultation soundings with radiosondes. *Geophysical Research Letters*, 32(5), DOI:10.1029/2004GL021443.
- Liu, Z., Chen, B., Chan, S. T., Cao, Y., Gao, Y., Zhang, K., Nichol, J. 2015. Analysis and modelling of water vapor and temperature changes in Hong Kong using a 40- year radiosonde record: 1973–2012. *International Journal of Climatology*, 35(3): 462-474.
- Nilsson, T., Elgered, G. 2008. Long- term trends in the atmospheric water vapor content estimated from ground- based GPS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D19), DOI: 10.1029/2008JD010110.
- Shirvani, A. 2015. Change point analysis of mean annual air temperature in Iran. *Atmospheric Research*, 160: 91-98.
- Shirvani, A. 2017. Change in annual precipitation in the northwest of Iran. *Meteorological Applications*, 24: 211-218.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J., Smith, L. 2005. Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate Dynamics*, 24(7-8): 741-758.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., Kiehl, J. 2009. Earth's global energy budget. *Bulletin of the*

- American Meteorological Society, 90(3): 311-324.
- Uppala, Sakari M., P. W. Kållberg, A. J. Simmons, U. Andrae, V. Da Costa Bechtold, M. Fiorino, J. K. Gibson et al. 2005. The ERA-40 reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 131(612): 2961-3012.
- Vey, S., Dietrich, R., Rülke, A., Fritsche, M., Steigenberger, P., Rothacher, M. 2010. Validation of precipitable water vapor within the NCEP/DOE reanalysis using global GPS observations from one decade. *Journal of Climate*, 23(7): 1675-1695.
- Wagner, T., Beirle, S., Grzegorski, M., Platt, U. 2006. Global trends 1996–2003 of total column precipitable water observed by Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) on ERS-2 and their relation to near-surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D12), DOI: 10.1029/2005JD006523.
- Xie, B., Zhang, Q., Ying, Y. 2011. Trends in precipitable water and relative humidity in China: 1979–2005. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(10): 1985-1994.



Comparison of precipitable water vapor data of ERA-Interim and NCEP-NCAR with radiosonde observations (Case study: Shiraz Station)

A. Shirvani^{1*}, H. Norouzi²

Received: 16/12/2018

Accepted: 14/07/2019

Abstract

Water vapor plays an important role in the atmospheric water balance and precipitation formation process in the lower troposphere. In this study, trend of the total precipitable water vapor (TPWV) which is column-integrated water vapor, is analyzed using radiosonde data of synoptic Shiraz station during the period 1990-2017. Besides, the TPWV data from the ERA- Interim of the ECMWF and NCEP-NCAR reanalysis datasets were retrieved and used for comparison. The Mann Kendall (M-K) test, showed no significant trend in TPW data for both Radiosonde and ECMWF data for all months, except for Radiosonde data of August. Generally a non-significant decreasing trend in radiosonde time series of TPWV was observed for most of months. However, both linear regression and M-K tests showed a significant increasing trend in annual TPW of NCEP-NCAR data. The rate of decrease and increase in PW for Radiosonde and NCEP-NCAR data are 0.29 and 0.52 mm per decade, respectively. For all months (except April), there is a positive significant Pearson correlation between Radiosonde TPW series and ERA- Interim at 5% significance level. However, the Pearson correlation coefficients were not significant for NCEP-NCAR. The root mean square error of PWV data and ERA- Interim is generally smaller than NCEP-NCAR. The latter, showed an overestimation comparing to radiosonde. In general, ERA- Interim data has higher accuracy and more agreement with observed Radiosonde data.

Keywords: Atmospheric moisture, Radiosonde, Reanalysis data, Trend



¹ Associate professor, Water department and atmospheric ocean research center, College of agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran

(*Corresponding author's email address: am_shirvani@hotmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.158865.1047

² M.Sc. Student in Agricultural Meteorology, Water department, College of agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran